

## L'attraversamento stabile dello Stretto di Messina



Memoria a cura di: Giovanni Saccà, Enrico Cantoni, Giorgio Goggi, Giuseppe Colombi, Salvatore Crapanzano, Gennaro Bernardo, Antonio Barbieri, Pietro Balbi.

Milano, 7 giugno 2021 - **Copia per Soci CIFI**



### AUTORI

**Pietro Balbi** (Genova, 9/07/1976), Laurea e Dottorato di Ricerca in geologia, con specializzazione in geodinamica e geologia strutturale. Assegno di ricerca e collaborazione continuativa con l'Università di Genova in materia di geodinamica, interpretazione geologica di mappature geofisiche ma anche di percezione dei rischi naturali. Geologo libero professionista per quindici anni, in qualità di geologo progettista e/o di cantiere o di revisore/validatore di progetto anche per realizzazione di grandi infrastrutture (es. SS77 Foligno - Civitanova Marche; Oleodotto Lokichar - Lamu, Kenya; TAV Torino - Lione). Consigliere dell'Ordine Regionale dei Geologi della Liguria per due mandati. Attualmente funzionario geologo di Protezione Civile del Comune di Genova.

**Antonio Barbieri** (Pola, 19/06/1931), Geometra e poi Architetto, libero professionista, progettista e D.L. di oltre trecento opere (ville, edifici, alberghi, industrie, ...). Consulente con progetti e direzione lavori di Villa Cagnola di Gazzada (Diocesi Lombarda e Santa Sede) per 25 anni. Segretario Collegio Geometri Varese per tre anni. Cofondatore e consulente di Alta Capacità Gottardo per progettazione tracciati linee ferroviarie, stazioni ecc. in Lombardia e Piemonte. Socio del CIFI - Collegio degli Ingegneri Ferroviari Italiani.

**Gennaro Bernardo** (Caserta, 21/11/1949), Geometra e poi Ingegnere Edile cum laude, dopo una decennale esperienza in cantieri edili è approdato nel Gruppo FS e da dirigente ha operato in varie Società del Gruppo con incarichi sia a livello nazionale che internazionale. È stato coordinatore della RSA di Trenitalia SpA e, attualmente, è coordinatore della Rappresentanza Sindacale Territoriale Lombardia dei dirigenti delle varie Società del Gruppo FS. Oggi presiede in Aldai il Comitato Infrastrutture, Trasporti e Logistica. È membro della Commissione Infrastrutture e Trasporti dell'Ordine degli Ingegneri di Milano e Socio del CIFI – Collegio degli Ingegneri Ferroviari Italiani.

**Enrico Cantoni** (Milano, 27/08/1949), dopo la laurea nel 1973 in Ingegneria Civile Trasporti e il servizio militare, ha lavorato nel settore privato in società di ingegneria (ELC Electroconsult and Polytecnica Harris), quindi in impresa di costruzioni (Impregilo), e ancora in società di ingegneria (Technital). Dirigente dal 1987, project manager, responsabile di settore aziendale, si è occupato principalmente di ferrovie / strade / porti in Italia e all'estero, ed è membro della Commissione Infrastrutture e Trasporti dell'Ordine Ingegneri della Provincia di Milano.

**Giuseppe Colombi** (Roma, 21/12/1949), dopo la laurea in ingegneria chimica nel 1975 a Roma, ha lavorato fino al 2013 per tutta la carriera in Tecnimont, società di ingegneria e costruzione di impianti, prima come ingegnere di processo, poi come manager commerciale in ambito petrolchimico, su base mondiale. Dirigente dal 1986, è stato impegnato nella RSA Tecnimont, nel 2012 è stato eletto Consigliere Aldai e attualmente è anche Consigliere Nazionale Federmanager. Si interessa di strategie industriali, con particolare attenzione ai temi dell'energia, delle infrastrutture e del trasporto pubblico.

**Salvatore Crapanzano** (Torino, 24/03/1948), Ingegnere (e architetto), presidente Commissione Infrastrutture e Trasporti Ordine Ingegneri Milano e analoga Commissione Ordini Ingegneri Lombardia (CROIL); coordinatore associazione Alta Capacità Gottardo (ACG), socio CIFI e ALDAI. Presidente Coordinamento Comitati Milanesi è impegnato a consolidare valori civici e convivenza civile, beni primari delle Comunità. Come direttore Centro Studi P.I.M ha svolto attività di programmazione e pianificazione dell'area milanese; come uno dei direttori di Metropolitana Milanese SpA ne ha sviluppato la diversificazione (progetti integrati di vari sistemi di trasporto, grandi parcheggi di interscambio e piazze di Milano, edifici, ricerca e sviluppo, energy manager). È stato coordinatore del piano dei trasporti di Napoli, consulente del Ministro per i problemi delle Aree Urbane, responsabile del piano di recupero della base missilistica di Comiso.

**Giorgio Goggi** (Lecco, 14/07/1946), laureato in architettura al Politecnico di Milano nel 1970. Professore associato di Urbanistica al Politecnico di Milano fino al 2014. A partire del 1972 svolge attività come libero professionista nel campo dell'architettura, dell'urbanistica e dei trasporti. Tra i principali incarichi pubblici è stato coordinatore del Comitato scientifico del Ministero delle Aree Urbane (1987-89); membro della Commissione Scientifica Valtellina per la Regione Lombardia, (1988-1992); membro del gruppo di consulenza dell'Assessorato all'Urbanistica del Comune di Milano (1992-1992); membro della Commissione Amministratrice di ATM (1997-98). Dal 1998 al giugno 2006, è stato Assessore ai Trasporti, Traffico e Mobilità, e Assessore alla Pubblicità del Comune di Milano. Membro del comitato scientifico per la riapertura dei Navigli del Comune di Milano dal 2013 ad oggi.

**Giovanni Saccà** (Messina, 10/11/1951), laureato in ingegneria elettrotecnica, abilitato all'esercizio della professione di ingegnere e iscritto all'Ordine degli ingegneri dal 1976, ha insegnato nelle scuole superiori di secondo grado ed è stato commissario agli esami di maturità dal 1976 al 1979. È abilitato all'insegnamento di "Elettrotecnica e Misure Elettriche" Classe XLI e di "Impianti Elettrici, Costruzioni Elettromeccaniche e Disegno" Classe LII nelle Scuole ed Istituti di istruzione secondaria di secondo grado. È stato assunto nel 1979 come ingegnere delle Ferrovie dello Stato (concorso pubblico indetto con D.M. 1926/1976). Ha operato in varie Società del Gruppo FSI con incarichi sia a livello nazionale che in progetti europei. Dirigente del Gruppo FSI iscritto a Federmanager dal 1998. È socio CIFI dal 1979 e Preside della Sezione CIFI di Verona dal 1/01/2016 ad oggi. Dal 2014 è Responsabile del Settore Studi Trasporti Ferroviari C.A.F.I., Socio delle Associazioni Alta Capacità Gottardo, Associations Européenne des Cheminots - Italia, Associazione Europea per il Mediterraneo, Sicilia in Treno e Dimensione e Trasporti. È stato Collaboratore alla Ricerca presso l'Università degli Studi di Verona dal 2008 al 2016, nonché Cultore della materia alla disciplina di "Economia dei trasporti e della mobilità". È membro della Commissione Trasporti dell'Ordine degli ingegneri di Verona dal 2010 ad oggi.



I Quaderni ALDAI si propongono di mettere a disposizione, degli associati e non, le conoscenze derivanti dalle esperienze professionali degli autori, soci ALDAI, nell'ambito del loro impegno nei vari Comitati e Gruppi di Lavoro della Commissione Studi e Progetti.

Dall'anno 2013, la loro redazione in formato e-book e la successiva distribuzione sono assicurate dal volontariato della VISES, Onlus di riferimento dell'ALDAI. A semplice richiesta la VISES li mette a disposizione tramite e-mail o su supporti digitali (CD, DVD, pen-drive, ecc).



L'elenco completo dei quaderni disponibili è richiedibile a:

[VisesMilano@aldai.it](mailto:VisesMilano@aldai.it)

Nel trasmettere i Quaderni, la VISES coglie l'occasione per illustrare brevemente i propri progetti nel sociale, che si avvalgono anche di libere donazioni di sostenitori che condividono gli obiettivi che essi si prefiggono.

Tutte le donazioni sono fiscalmente detraibili/deducibili.

IBAN: IT28 X033 5901 6001 0000 0072 807

**ALDAI - Associazione Lombarda Dirigenti Aziende Industriali**  
Via Larga 31 - 20122 - MILANO



## SOMMARIO

<b>PREMESSA</b> .....	7
<b>1 CONSIDERAZIONI GENERALI E DI SINTESI</b> .....	11
<b>2 STORIA DEL PROGETTO DELL'ATTRAVERSAMENTO STABILE DELLO STRETTO</b> ..	18
2.1 A partire dalla rivoluzione industriale: ponte o tunnel? .....	18
2.2 Come si arriva alla scelta del ponte stradale e ferroviario a campata unica da 3.300 m..	25
2.2.1 Il Dopoguerra.....	25
2.2.2 Il concorso del 1969.....	28
2.3 Il progetto del ponte a campata unica da 3300 m.....	37
2.4 Cosa è successo dopo. Perché questo progetto è fermo .....	46
<b>3 CENNI SULLA MORFOLOGIA DEL TERRITORIO, GEOLOGIA, TETTONICA, CORRENTI E MAREE, I VENTI DELLO STRETTO DI MESSINA</b> .....	49
3.1 Morfologia.....	49
3.2 Cenni di tettonica dello stretto di Messina .....	52
3.3 Idrodinamica e regime delle maree .....	58
3.4 Venti .....	60
3.5 Studi sulla zona .....	61
<b>4 ASSETTO URBANISTICO – TRASPORTISTICO E MOBILITÀ DELLA CITTA' DELLO STRETTO</b> .....	64
4.1 L'assetto urbanistico dell'area dello Stretto e le sue potenzialità.....	64
4.2 Assetto delle reti e costruzione della Città dello Stretto .....	69
4.3 Area Metropolitana e Area Integrata dello Stretto – Primi atti istituzionali.....	70
4.4 I servizi di trasporto nell'area dello Stretto.....	72
4.4.1 Servizi di trasporto marittimo.....	72
4.4.2 Servizi di trasporto ferroviari .....	74
4.5 La mobilità delle persone .....	80
4.5.1 Inquadramento e mobilità complessiva di interscambio della Sicilia con l'esterno....	80
4.5.2 Mobilità di attraversamento dello Stretto .....	84
4.6 La mobilità delle merci .....	90
4.6.1 Traffico di interscambio della Sicilia con l'esterno .....	90
4.6.2 Traffico di attraversamento dello Stretto.....	91



4.7	Conclusioni – Il ruolo dell’attraversamento .....	92
<b>5</b>	<b>GRANDI INFRASTRUTTURE IN ESERCIZIO O IN COSTRUZIONE NEL MONDO .....</b>	<b>94</b>
5.1	Premessa .....	94
5.2	Ponti a grande luce .....	97
5.2.1	Ponti misti (stradali e ferroviari).....	106
5.2.2	Ponti stradali.....	117
5.3	Tunnel sottomarini .....	123
5.3.1	Considerazioni generali .....	123
5.3.2	Tunnel sottomarini misti (stradali e ferroviari).....	130
5.3.3	Tunnel sottomarini ferroviari.....	133
5.3.4	Tunnel sottomarini stradali.....	141
5.4	Tunnel a mezz’acqua (tunnel sommersi flottanti) .....	148
<b>6</b>	<b>IL PROGETTO DEL PONTE A CAMPATA UNICA DA 3300 M.....</b>	<b>160</b>
6.1	Opera di attraversamento .....	160
6.2	Opere di allaccio ferroviario .....	167
6.2.1	Collegamenti ferroviari lato Sicilia .....	168
6.2.2	Collegamenti ferroviari lato Calabria .....	179
6.3	Opere di allaccio stradale.....	186
6.3.1	Collegamenti stradali lato Sicilia .....	188
6.3.2	Collegamenti stradali lato Calabria.....	193
6.4	Il ponte sullo stretto di Messina e il corridoio TEN-T Scandinavia-Mediterraneo .....	194
<b>7</b>	<b>NUOVE IPOTESI DI ATTRAVERSAMENTO STABILE DELLO STRETTO.....</b>	<b>199</b>
7.1	Introduzione .....	199
7.2	Ponte a più campate .....	201
7.2.1	Ipotesi di ponte a 3 campate e impalcato a unico piano .....	207
7.2.2	Ipotesi di ponte a 3 campate e impalcato a due piani.....	208
7.2.3	Ipotesi di ponte solo stradale a due campate .....	213
7.2.4	Allacci ferroviari del ponte a più campate.....	214
7.2.5	Allacci stradali del ponte a più campate .....	234
7.3	Tunnel sottomarino .....	236
7.3.1	Tratta di attraversamento dello Stretto .....	236
7.3.2	Allacci ferroviari del tunnel sottomarino.....	239
7.3.3	Allacci stradali del tunnel sottomarino .....	252



7.4	Tunnel sommerso flottante a mezz'acqua .....	254
7.4.1	Opera di attraversamento .....	256
7.4.2	Allacci ferroviari del tunnel sommerso flottante (SFT) .....	261
7.4.3	Allacci stradali del tunnel sommerso flottante a mezz'acqua .....	276
<b>8</b>	<b>VALUTAZIONI COMPARATIVE DELLE ALTERNATIVE DI ATTRAVERSAMENTO STABILE DELLO STRETTO .....</b>	<b>281</b>
8.1	Opera di attraversamento .....	281
8.1.1	Ponte a campata unica .....	281
8.1.2	Soluzioni alternative.....	281
8.2	Collegamenti ferroviari – Funzionalità e accessibilità delle stazioni e fermate .....	283
8.2.1	Ponte a campata unica .....	283
8.2.2	Soluzioni alternative.....	284
8.3	Distanze e tempi di percorrenza.....	286
8.3.1	Collegamenti ferroviari.....	286
8.3.2	Collegamenti stradali .....	288
<b>9</b>	<b>ELEMENTI DI COSTO DELL'OPERA .....</b>	<b>290</b>
9.1	Premessa .....	290
9.2	Stima di progetto ponte a campata unica 3.300m .....	291
9.3	Soluzione ponte strallato o sospeso misto ferroviario e stradale a 3 campate .....	293
9.3.1	Opere di riferimento e relativi costi di realizzazione.....	293
9.3.2	Stima orientativa ponte strallato / sospeso a 3 campate .....	294
9.4	Soluzione tunnel sottomarini ferroviario e stradale .....	294
9.4.1	Opere di riferimento e relativi costi di realizzazione.....	294
9.4.2	Stima orientativa tunnel sottomarino .....	297
9.5	Soluzione tunnel sommersi flottanti.....	297
9.5.1	Opere di riferimento e relative stime di progetto.....	297
9.5.2	Stima orientativa tunnel sommerso flottante – SFT .....	299
9.6	Collegamenti a terra ferroviari e stradali.....	300
9.6.1	Stima di progetto collegamenti ponte a campata unica 3.300m .....	300
9.6.2	Opere di riferimento e relativi costi di realizzazione.....	301
9.6.3	Stima orientativa collegamenti ferroviari e stradali delle soluzioni alternative .....	305
9.7	Costi di esercizio e manutenzione.....	307
9.7.1	Costi di manutenzione ed esercizio stimati per il ponte a campata unica 3.300m ..	307
9.7.2	Costi di manutenzione ed esercizio per le soluzioni alternative .....	309



9.8	Sintesi delle stime .....	309
<b>10</b>	<b>ADEGUAMENTO DEL SERVIZIO DI TRAGHETTAMENTO .....</b>	<b>311</b>
10.1	Introduzione .....	311
10.2	Cenni sullo stato attuale e la storia .....	311
10.3	Tendenze del traghettamento ferroviario in atto .....	317
10.4	Ipotesi di sviluppo del traghettamento ferroviario dello Stretto .....	319
10.4.1	Ipotesi di incremento delle dimensioni dei traghetti .....	322
10.4.2	Ipotesi di incremento delle dimensioni delle invasature .....	325
10.5	Riduzione delle emissioni climalteranti dei servizi con navi traghetti .....	328
10.5.1	Navi traghetti ibride-elettriche: E-ferry .....	328
10.5.2	Elettificazione dei porti ( <i>Cold Ironing</i> ) .....	331
<b>11</b>	<b>OPERE FERROVIARIE E STRADALI IPOTIZZATE NELLE AREE AL CONTORNO DELL'ATTRAVERSAMENTO STABILE .....</b>	<b>334</b>
11.1	Corridoio europeo TEN-T Scandinavo-Mediterraneo .....	334
11.2	Contratto di Programma 2017-2021 .....	336
11.3	Altre opere da realizzare congiuntamente all'attraversamento stabile dello Stretto .....	344
11.4	Il traffico merci dopo la realizzazione del collegamento stabile .....	346
<b>12</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>350</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>359</b>
	<b>INDICE DELLE FIGURE .....</b>	<b>362</b>

Quaderno presentato durante il webinar del 7/06/2021 i cui atti sono scaricabili da:

<http://www.milano.federmanager.it/events/riunione-del-comitato-trasporti/>

<https://dirigentiindustria.it/aldai/vita-associativa/aldai-federmanager-attraversa-lo-stretto.html>

<http://www.cifi.it/UplDocumenti/Milano07062021.htm>

<http://www.cifi.it/UplDocumenti/Verona07062021.htm>

<https://www.af-cafi.it/>



## PREMESSA

Nell'ambito degli appuntamenti culturali del Comitato "Infrastrutture, Trasporti e Logistica" di ALDAI, il tema del collegamento stabile nello Stretto di Messina, affrontato durante il convegno del 12 dicembre 2019, con ricchezza di particolari da eminenti relatori <sup>(1)</sup>, ha aperto un vivace dibattito interno, ha avuto seguito in alcuni articoli su riviste specializzate, ma, soprattutto, ha avviato un acuto e vivace confronto tra molti Soci portatori di personali esperienze proprio negli specifici campi che l'infrastruttura in questione impone di analizzare: gli aspetti trasportistici, la morfologia del territorio e la sua geologia e geofisica, l'evoluzione tecnologica dei manufatti, le ipotesi su cui avviare studi di fattibilità, ecc.

È stato, quindi, del tutto naturale pensare a non disperdere i contributi e le riflessioni che si sono accese e creare, com'è d'uso ormai da anni, uno specifico Quaderno ALDAI da mettere a disposizione di quanti hanno interesse al tema<sup>2</sup>.

Questo testo resta "aperto", ipotizzandosi per esso, in presenza di significative evoluzioni degli studi e delle tecnologie o anche delle scelte politiche, la realizzazione di appendici di aggiornamento o la rivisitazione degli scritti.

I collegamenti ipertestuali realizzati tra il sommario ed i singoli capitoli (da ogni pagina intermedia è sempre possibile tornare rapidamente al sommario e da questo spostarsi su diverso capitolo) consentono una lettura agile e mirata alle necessità di una più rapida e mirata acquisizione dei contenuti.

Ogni contributo di perfezionamento o segnalazione di errori e refusi sono sempre graditi.

Non appare infine superfluo evidenziare che valutazioni e considerazioni "politiche" – nell'accezione più ampia del termine - espresse dagli autori sono da considerarsi personali e non facenti capo a posizioni ufficiali dell'ALDAI. L'Associazione favorisce la produzione dei Quaderni al solo scopo di contribuire ad una sempre più ampia conoscenza di quanto utile a formare personali e incondizionati punti di vista sulle tematiche che queste pubblicazioni affrontano e analizzano.

### **Perché ci siamo interessati di questo problema**

Del ponte sullo Stretto si parla in Italia da ben 50 anni (Legge n.1158/1971) e possiamo dire con certezza che non solo non è stato realizzato (Scheda n°65 Sistema Informativo Legge

---

<sup>1</sup> L'ing. Giovanni Saccà e l'Arch. Giorgio Goggi, coautori del presente volume.

<http://www.milano.federmanager.it/events/gruppo-energia-ed-ecologia-comitato-itl-infrastrutture-strategiche-2/>

<https://www.youtube.com/watch?v=PgVPPg8xxnc&list=TLGGsZoaWtvrKUMwNjA1MjAyMQ&t=1s>

<http://www.cifi.it/UplDocumenti/Verona12122019.htm>

<http://www.cifi.it/UplDocumenti/Attraversamento%20stabile%20dello%20Stretto%20di%20Messina.pdf>

<sup>2</sup> <https://dirigentindustria.it/industria/parole-di-verita-tra-scilla-e-cariddi.html>



Opere Strategiche<sup>3</sup>), ma che, nonostante i grandi passi avanti delle tecnologie, non ne esistono ancora di simili in tutto il mondo.

Il 27 marzo 2006 venne sottoscritto il contratto tra la Stretto di Messina Spa ed il raggruppamento temporaneo di imprese (capogruppo mandataria Impregilo Spa) per l'affidamento a Contraente generale della progettazione definitiva, esecutiva e della realizzazione del ponte sullo Stretto di Messina e dei suoi collegamenti stradali e ferroviari. Il contratto, del valore di 3,9 miliardi di euro, prevedeva dieci mesi per la progettazione definitiva ed esecutiva e 5 anni per la realizzazione dell'opera. ... Omissis ...

Il 29 luglio 2011 il CdA della Stretto di Messina SpA ha completato l'iter di approvazione del progetto definitivo del ponte sullo Stretto di Messina e dei 40 chilometri di raccordi a terra stradali e ferroviari.

Ma il CIPE non ha approvato il progetto definitivo e, con delibera n. 6 del 20 gennaio 2012, ha ridefinito il quadro finanziario complessivo del Fondo per lo sviluppo e la coesione per il periodo 2012-2015 riducendo drasticamente i finanziamenti già assegnati con delibera CIPE 102/2009 per la realizzazione del Ponte sullo Stretto di Messina.

L'articolo 34-decies del D.L. n. 179 del 18/10/2012 (legge n. 221/2012), ha disciplinato la procedura da seguire per l'esame in linea tecnica del progetto definitivo dell'opera Ponte sullo Stretto di Messina e previsto, in mancanza del rispetto delle fasi disciplinate, la caducazione di tutti gli atti che regolano i rapporti di concessione, nonché delle convenzioni e di ogni altro rapporto contrattuale stipulato dalla società concessionaria.

Prima della scadenza dei termini stabiliti dalla legge n.221/2012, la Regione Siciliana, azionista di minoranza della Società Stretto di Messina<sup>4</sup>, durante la riunione dell'Assemblea Regionale Siciliana (ARS) del 22 gennaio 2013, ha approvato con tre emendamenti la mozione sugli "Interventi finalizzati al ritiro in via definitiva del progetto relativo alla costruzione del ponte sullo stretto di Messina ed alla contestuale destinazione delle somme ad infrastrutture che valorizzino il territorio siciliano e che siano volano per lo sviluppo e la sostenibilità del nostro territorio<sup>5</sup>".

In data 15 marzo 2013 è stato emesso il Parere n°1185 da parte della Commissione Tecnica di Verifica dell'impatto Ambientale — VIA e VAS nominata dal MATTM "La Commissione, esaminato il Progetto Definitivo e valutato che le risposte fornite dal Proponente alla richiesta di integrazioni avanzata dal MATTM sono state parziali, lacunose e non sempre esaustive riguardo alle criticità ambientali sopra rilevate.<sup>6</sup>"

<sup>3</sup> <http://silos.infrastrutturestrategiche.it/admin/scheda.aspx?id=1010>

<sup>4</sup> <http://www.strettodimessina.it/shareholders.html>

<sup>5</sup> [http://w3.ars.sicilia.it/DocumentiEsterni/ODG\\_PDF/ODG\\_16\\_2013\\_01\\_22\\_016\\_P.pdf](http://w3.ars.sicilia.it/DocumentiEsterni/ODG_PDF/ODG_16_2013_01_22_016_P.pdf)  
<http://www.radioradicale.it/scheda/370750/assemblea-regionale-siciliana-15a-seduta>  
<https://www.canalesicilia.it/riassunto-assemblea-regionale-siciliana-del-22-gennaio-2013/>

<sup>6</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/83901>



Dato che non è stata data ottemperanza alla legge n.221/2012, la caducazione degli atti contrattuali è avvenuta a partire dal 1° marzo 2013, come stabilito dal DPCM del 15 aprile 2013<sup>7</sup>.

Fin dal 2013 (legge 147/2103 comma 81<sup>8</sup>) e poi ancora nell'Allegato Infrastrutture del DEF 2017 e 2018, si parla della necessità di elaborare un nuovo "Progetto di fattibilità". Pertanto, al momento non esiste alcun progetto valido non solo poiché manca il progetto esecutivo, ma manca anche l'approvazione di quello definitivo.

Vale quindi la pena di affrontare una riflessione complessiva su quali siano le vere possibilità di collegare Calabria e Sicilia con tecnologie sicure e disponibili.

Il collegamento fisso servirebbe per rilanciare un servizio su rotaia competitivo tra Roma/Napoli e Catania/Palermo, per l'inoltro veloce delle merci e per i movimenti pendolari tra le due sponde dello Stretto, dove si allunga una città lineare per oltre cento chilometri, da Catania a Reggio Calabria, conurbazione di circa un milione e mezzo di abitanti. Lo sviluppo dei porti Core e delle ZES di Gioia Tauro, di Catania-Augusta-Siracusa e di Palermo-Termini Imerese e relativi interporti, così come dei porti di Messina e di Reggio Calabria dipende molto da efficaci collegamenti realizzati nel rispetto delle Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI) TEN-T.

È fondamentale che l'attraversamento dello Stretto sia disponibile 365 gg/anno in quanto ogni interruzione del servizio può nuocere in modo determinante agli eventuali accordi commerciali di utilizzo delle nuove linee AV/AC dell'Italia.

I benefici di utilizzazione dell'Italia come piattaforma logistica centro mediterranea sono molto importanti per il ritorno economico degli investimenti fatti per la realizzazione dei corridoi TEN-T.

L'attraversamento dello Stretto, qualunque esso sia, deve non solo dare risposta ai trasporti a lunga percorrenza, ma anche porsi l'obiettivo di dare una risposta e una prospettiva di sviluppo alle esigenze di una grande area: "la Città Metropolitana dello Stretto" abbattendone le barriere fisiche ed economiche. La nuova configurazione urbana genererà nuove relazioni, nuove attività, maggiore sviluppo e ricchezza.

### **Che metodo abbiamo utilizzato**

Siamo partiti dalla storia pluridecennale del ponte sullo Stretto riordinando la ricca documentazione ufficiale esistente.

Abbiamo poi ricercato quali grandi infrastrutture sono state costruite o sono in costruzione o sono in progettazione nel mondo.

<sup>7</sup> <http://www.strettodimessina.it/data/DPCM-15-aprile-2013-Liquidazione-Nomina-CL.pdf>

<sup>8</sup> <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2013/12/27/13G00191/sg/>



Ci siamo sforzati di prendere in esame l'assetto urbanistico economico e trasportistico nella città dello Stretto, sia la situazione attuale sia nelle sue prospettive future, con particolare riferimento ad un servizio ferroviario, che, se ci fosse, produrrebbe elevati benefici.

L'elemento geografico che più ha attirato la nostra attenzione è stato quello della Sella, ovvero una continuità montuosa sottomarina appartenente all'arco calabro che comprende non solo la Calabria, ma anche i Peloritani in Sicilia, e che collega le due regioni con una sorta di "cordone sottomarino" a bassa profondità.

La Sella, trovandosi a circa 100 metri sotto il pelo dell'acqua, permette di riprendere in considerazione possibilità di attraversamento già studiate in passato:

- **ponti a più campate**, poggiando i piloni in acqua, sulla Sella;
- **gallerie sottomarine** realizzate a circa 150-200 metri dentro la Sella;
- **gallerie in alveo** non necessariamente localizzate in corrispondenza della Sella.

Naturalmente, su ogni possibile soluzione di attraversamento si è costruita una rete ferroviaria e stradale di riferimento, tenendo conto sia delle esigenze di attraversamento per lunghe percorrenze (passeggeri e merci) che delle esigenze locali (passeggeri), per costruire la Città Metropolitana dello Stretto (come parte centrale di un'area più vasta).

Anche il miglioramento del servizio delle navi traghetto, indispensabile nel periodo transitorio durante il quale verrà realizzato l'attraversamento stabile, sarà parte della nostra analisi.

### **Quali obiettivi ci poniamo**

Tra i nostri obiettivi non c'è quello di "scegliere la soluzione migliore", poiché la scelta potrebbe necessitare di informazioni più ricche di quelle a noi disponibili. Vogliamo invece confrontare le varie opzioni con l'obiettivo di massimizzarne i benefici coniugando gli aspetti locali con quelli nazionali ed europei.

L'attraversamento stabile dello Stretto è necessario e urgente; ma ancora più urgente è ragionare in modo nuovo e trasparente, ed è necessario costruire l'opera giusta, non solo per non sprecare enormi risorse, ma per porre le basi del doveroso sviluppo di un'area importante del Paese.



## 1 CONSIDERAZIONI GENERALI E DI SINTESI

Lo scopo di queste pagine è quello di sintetizzare le principali determinazioni cui il Gruppo di Studio dell'ALDAI sull'attraversamento dello Stretto di Messina è pervenuto dopo una quindicina di mesi di lavoro.

Rispettando lo schema logico del quaderno, qui di seguito si tenta di fare una rapida sintesi di quanto analizzato.

### STORIA DEL PROGETTO DELL'ATTRAVERSAMENTO STABILE DELLO STRETTO

Da più di due millenni, ovvero dal tempo delle guerre puniche, si parla di stabilire forme di collegamento tra la Sicilia ed il Continente. Questo sogno antico ha portato mezzo secolo fa (1969) ad un Concorso tra idee di realizzazione della prevista connessione. I migliori studi di progettazione si confrontarono nel proporre ponti, tunnel e persino altre forme di congiunzione.

Nel 1981, con la costituzione della Società Concessionaria Stretto di Messina S.p.A, ad intero capitale pubblico, si passò ai progetti. Dopo qualche anno, venne decisa l'opera su cui convergere tutti gli sforzi: si sarebbe dovuto realizzare un ponte a campata unica, stradale e ferroviaria, con una luce record di 3300 m. Questa idea si affermò tra 1987 e 1988 quando fu fatta propria dalle FS e dall'ANAS.

Nel 1992 era pronto il progetto di massima dell'opera "ponte a campata unica". Nel 1997 il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici esprimeva il proprio parere favorevole con osservazioni, prescrizioni e raccomandazioni. Nel 2003 il CIPE approvava il progetto preliminare.

Nel 2006, in esito ad una gara internazionale, avveniva la firma di un contratto tra la Società Stretto di Messina ed il gruppo Eurolink, capitanato da Impregilo, relativo alla realizzazione dell'opera in meno di sei anni.

Ma negli anni successivi sorgono dubbi sulla fattibilità dell'opera e sulla sua finanziabilità. Ciononostante, la Società Stretto di Messina approva nel 2011 il progetto definitivo del ponte.

Tuttavia, nel 2013, in mancanza dell'approvazione da parte del CIPE del progetto definitivo, decadono tutti gli atti contrattuali sottoscritti dalla Società Stretto di Messina, che viene posta in liquidazione.

Negli anni successivi, nei Documenti di Economia e Finanza viene ribadita la necessità di effettuare nuovi "studi di fattibilità".



Nel 2020 il Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti nomina una commissione di esperti volta ad individuare la miglior soluzione per l'attraversamento stabile dello Stretto, da sottoporre a studio di fattibilità.

Se questa è la storia dei passaggi formali, la sostanza è che la scelta di un ponte a campata unica da 3300m ha suscitato negli anni obiezioni e dubbi che hanno trovato risposte solo parziali, mentre nel mondo continua a non esistere un'opera di caratteristiche tecniche comparabili, come si vedrà oltre.

### **CENNI SULLA MORFOLOGIA DEL TERRITORIO, GEOLOGIA, TETTONICA, CORRENTI E MAREE, I VENTI DELLO STRETTO DI MESSINA**

La zona dello Stretto è caratterizzata da una profonda cesura tra la penisola italiana e la Sicilia, con profondità marine molto considerevoli ed una situazione geologica e sismica particolarmente critica.

A Nord di Messina esiste tuttavia un'area marina di limitata larghezza (tra uno e due km), la Sella dello Stretto, in cui la profondità delle acque si riduce a poco più di cento metri, permettendo, almeno in linea teorica, interventi di insediamento di fondazioni profonde di moli in mare oppure di scavo di gallerie sottomarine a profondità non proibitive. Da questa essenziale considerazione sono nate e si sono sviluppate la maggioranza delle considerazioni che caratterizzano questo studio.

Da un punto di vista tettonico l'area è caratterizzata dalla presenza di un sistema particolarmente complesso e problematico non del tutto esplorato di faglie, cui corrisponde una sismicità che storicamente ha generato situazioni critiche quali quella del terremoto del 1908.

Oggi nel mondo esistono comunque interventi infrastrutturali realizzati in aree comparabili.

Piuttosto complesso appare il regime delle maree, con velocità di corrente che possono raggiungere i 7-7,5 nodi. Anche il regime dei venti, con raffiche che nell'anno possono superare i 135-140 km/h, induce l'esigenza di progettare infrastrutture adeguate alle caratteristiche dell'area.

### **ASSETTO URBANISTICO – TRASPORTISTICO E MOBILITÀ DELLA CITTA' DELLO STRETTO**

La mobilità di persone e merci costituisce un elemento fondamentale nella determinazione del grado di sviluppo equilibrato ed omogeneo di un paese. Da questo punto di vista, se da anni ci si è concentrati su progetti trasportistici transfrontalieri volti a migliorare l'integrazione dell'Italia nell'ambito europeo, a maggior ragione sarebbe assurdo trascurare le ragioni che



portano a considerare prioritario il progetto di continuità territoriale tra la penisola italiana e la Sicilia abitata da circa 5 milioni di persone.

Ma se questo elemento da solo giustifica un intervento, come avvenuto in altri paesi la cui continuità territoriale è limitata dall'insularità di certe regioni (ad esempio il Giappone), ad esso si sovrappone ed aggiunge anche quello, più locale, della costruzione di una "Città metropolitana integrata dello Stretto" tra le sponde opposte ed affacciate.

Si tratta dunque di individuare la configurazione più adatta, ed economicamente giustificabile, di un collegamento stabile da realizzare dopo un confronto accurato delle soluzioni oggi rese disponibili dagli sviluppi tecnologici nel settore infrastrutturale.

L'analisi di dettaglio dei flussi di passeggeri e merci evidenzia per lo Stretto di Messina un trend di crescita modesto, ma abbastanza evidente nei decenni.

Un'ottimizzazione della prevista infrastruttura, non solo dal punto di vista dei costi ma anche da quello della sua "fruibilità locale", rende almeno più praticabile, se non necessaria, la sua realizzazione.

Si tratterebbe dunque di inserire il nuovo collegamento nel contesto locale, trasformandolo in strumento potente di connessione ed integrazione, senza per questo limitare o danneggiare la sua rilevanza nazionale con riferimento al collegamento di lunga distanza stradale e ferroviario tra la Sicilia ed il Continente.

Coniugare dunque il trasporto locale ed interregionale con quello a più lunga distanza ha costituito un'esigenza irrinunciabile del nostro studio.

## **GRANDI INFRASTRUTTURE IN ESERCIZIO O IN COSTRUZIONE NEL MONDO**

Un rapido excursus storico porta alla considerazione che sempre più frequentemente nel mondo si assiste allo sviluppo di progetti infrastrutturali volti al collegamento di aree separate da bracci di mare importanti, con ponti e tunnel delle più varie tipologie.

L'analisi delle principali tipologie di queste opere e l'elencazione delle più recenti realizzazioni a livello mondiale dovrebbe permettere di circoscrivere la tematica dell'attraversamento dello Stretto nell'ambito dei progetti "comparabili" con l'esistente, anche al fine di impedire che la questione venga affrontata con una malintesa "rincorsa al record" che, poco attenta al controllo dei costi e dei rischi connessi al cambio di scala, mal si concili con la necessità di un intervento, affidabile ed urgente, di miglioramento infrastrutturale nell'area.

Partendo dai ponti, la nostra indagine si è dapprima concentrata sulle tipologie esistenti di ponti a grandi luci, ovvero ponti strallati e ponti sospesi, e sulle eventuali soluzioni intermedie talvolta adottate.



Dopo un necessario esame delle diverse soluzioni inerenti i piloni di sostegno e delle relative fondazioni sottomarine, giudicate fattibili sulla Sella anche se con difficoltà e costi elevati, ci si è poi concentrati sulle diverse configurazioni prevedibili per l'impalcato che, in particolare per i ponti misti stradali e ferroviari assieme, vede due “scuole di pensiero”, l'una, europea, orientata su un impalcato unico, l'altra, più diffusa in Asia, propensa all'adozione di impalcati più compatti a due piani, di maggiore rigidità strutturale.

Un altro punto importante che è stato toccato è quello dei sistemi di protezione dei piloni dall'impatto con natanti in transito.

Passando poi ai tunnel sottomarini, in analogia a quanto fatto per i ponti, sono state predisposte le più aggiornate tabelle delle opere esistenti e in costruzione, sono state approfondite le tematiche dell'uso delle TBM (Tunnel Boring Machine) di scavo nelle condizioni più diverse e proibitive, si è preso in esame il tema di come affrontare la sismicità ed il passaggio in zona di faglia.

Non è stata dimenticata la tematica della sicurezza e delle configurazioni a più canne oggi richieste dalle più recenti normative.

Un'ultima parte del capitolo è stata poi dedicata all'innovativa ipotesi di tunnel sommersi flottanti, o “Tunnel di Archimede”, che sono stati in passato oggetto di una specifica proposta del Gruppo Eni, e che oggi sono oggetto di ampio studio in particolare in Norvegia.

Questi tunnel artificiali, sospesi a mezz'acqua su colonne o ancorati a mezzo di teethers (tubi di ancoraggio), costituiscono la parte più innovativa e futuribile dello studio, anche se per ora la loro applicazione si potrebbe trovare limiti nella normativa, del tutto nuova se non ancora in corso di definizione, e nella mancanza di referenze in particolare per quanto riguarda la durata attesa dell'opera.

## **IL PROGETTO DEL PONTE A CAMPATA UNICA DA 3300 M**

Questo capitolo ha inteso richiamare le caratteristiche salienti del progetto Eurolink da molti anche oggi considerato come un progetto “cantierabile” la cui realizzazione potrebbe partire in tempi molto brevi.

Già nel Capitolo 2, inerente alla storia del progetto, si è cercato di rendere evidente come questa ipotesi risulti meno consistente di quanto non si voglia far apparire, e di come la sua realizzazione lasci fuori dal perimetro progettuale, per mera limitazione di competenza, opere al contorno che, supposte da realizzare da altri, in realtà sono essenziali per l'infrastruttura complessiva e di notevole peso economico. In sostanza qui si vuole sostenere l'importanza di una “visione ed una valutazione d'insieme” esauriente.

In questo modo, anche l'analisi dei costi del progetto potrebbe risultare parziale e non inclusiva di elementi essenziali.



Il progetto del ponte a campata unica, a partire dalle quantità di materiali coinvolte, (un esempio per tutti, le oltre 160mila tonnellate di acciaio speciale previste per i cavi di sostegno, per una durata attesa difficilmente definibile a priori) ma anche, ad ulteriore esempio, dalla difficile determinazione dei giorni di chiusura derivanti dal vento, è stato riassunto nei suoi aspetti più significativi.

Dopo aver introdotto cenni specifici sulle tematiche della sicurezza, ci si è poi concentrati sulle opere di allaccio ferroviario e stradale previsti dal progetto. In generale, si potrebbe commentare che sembra mancare al progetto complessivo lo sforzo di integrare le esigenze di trasporto a lunga distanza e allo stesso tempo di trasporto metropolitano, che sono invece state alla base delle proposte alternative sviluppate dal nostro gruppo.

Si sono poi analizzate le varianti al progetto messo in gara, richieste da istituzioni locali alcuni anni dopo la consegna dei lavori, varianti che evidenziano la discutibile razionalità di alcune scelte trasportistiche relative alle soluzioni prospettate, che potrebbero penalizzare sia il traffico ferroviario che l'integrazione tra le due sponde.

L'analisi prosegue poi con l'esame di dettaglio delle soluzioni stradali e ferroviarie previste sulle coste siciliana e calabrese.

## **NUOVE IPOTESI DI ATTRAVERSAMENTO STABILE DELLO STRETTO**

In conseguenza dell'analisi critica precedentemente sviluppata sul ponte a campata unica, prospettato da molti come l'unica soluzione "ragionevole" proponibile, il Gruppo di lavoro si è sforzato di individuare soluzioni alternative, simili ad opere già realizzate o di prossima realizzazione, almeno in parte dotate di un miglior inserimento nel contesto locale, di costi e tempi di realizzazione auspicabilmente più contenuti e meglio definibili rispetto al quadro attuale.

La prima soluzione prospettata in questo capitolo consiste essenzialmente in un ponte misto, stradale e ferroviario, caratterizzato da una configurazione a tre campate principali che scavalcano lo Stretto in corrispondenza della Sella, con fondazioni marine ad una profondità di poco superiore ai cento metri. Questo ponte è stato immaginato nella duplice configurazione di ponte ibrido (parzialmente strallato e sospeso) con impalcato ad un piano, o di ponte sospeso con impalcato a due piani.

Abbiamo poi anche preso in considerazione un tunnel sottomarino da realizzare in corrispondenza della Sella, alla profondità di circa 170 metri, derivanti da un livello del terreno sottomarino a circa -110 metri massimi, con una copertura di almeno 50 metri. Questo primo tunnel a due canne interconnesse avrebbe destinazione ferroviaria, con pendenza opportunamente limitata a favorire il massimo utilizzo ferroviario, e potrebbe essere accompagnato o da un parallelo doppio tunnel stradale (con pendenze diverse) o da un più leggero ponte solo stradale.



Una terza ipotesi presa in esame è quella di un tunnel alveo posto in acqua ad una profondità compresa tra – 30 m e -50 m, poggiato su colonne e situato in corrispondenza della Sella come le altre soluzioni, oppure trattenuto da tiranti ancorati al fondo e posizionato direttamente in corrispondenza del porto di Messina.

Quest'ultima ipotesi non dispone di referenze in quanto richiede una tecnologia non ancora impiegata se non per gasdotti e metanodotti sottomarini e deve quindi essere considerata solo come il riferimento ad una soluzione innovativa che è stata presa in esame in altri progetti e di cui sono in corso di elaborazione le normative.

Per tutte queste soluzioni sono stati presi in esame ed ottimizzati i percorsi stradali e ferroviari, il servizio ferroviario metropolitano, le interconnessioni con le linee esistenti e con l'eventuale futura velocizzazione della tratta Salerno Reggio C., nelle forme che si riterranno più opportune dopo un'analisi accurata delle necessità.

Per quanto attiene alla città di Messina, si è scelto di prospettare la futura stazione centrale della città nella posizione, relativamente baricentrica, di Maregrossa, già peraltro individuata nel progetto aggiudicato nel 2005, lasciando per ora aperta l'opzione di scelta tra la più costosa e complessa soluzione di una stazione sotterranea, e quella più semplice ed ugualmente praticabile di una stazione a livello.

Ugualmente è stata prospettata l'adozione di una linea ferroviaria di "gronda merci" appositamente dedicata al transito dei treni merci.

Dal lato calabrese la preoccupazione è stata invece quella di inserire i collegamenti stradali e ferroviari inerenti al passaggio dello Stretto per quanto possibile nel contesto esistente, così da minimizzare i nuovi investimenti ed evitare l'ulteriore rifacimento, a distanza di pochi anni, di infrastrutture appena riconfigurate. Da questo punto di vista il collegamento del servizio metropolitano da Messina con Reggio Calabria Centrale verrebbe effettuato attraverso Villa S. Giovanni, Catona e Gallico utilizzando l'esistente linea storica a doppio binario recentemente "intubata" tra Reggio Calabria Lido e Reggio Calabria Centrale.

## **VALUTAZIONI COMPARATIVE DELLE ALTERNATIVE DI ATTRAVERSAMENTO STABILE DELLO STRETTO**

Questo capitolo analizza in dettaglio le soluzioni urbanistiche prospettate per le diverse soluzioni relativamente ai tracciati, alla loro lunghezza, ai tempi di viaggio sia per il traffico locale che a lunga percorrenza, viaggiatori e merci, effettuando un confronto tra di esse e con la soluzione del ponte a campata unica.

Inoltre, vengono confrontate le diverse localizzazioni dei punti di interscambio tra i vari modi di trasporto con lo scopo di tentare di facilitare e quindi massimizzare l'uso delle nuove infrastrutture e dei nuovi servizi connessi.



## **ELEMENTI DI COSTO DELL'OPERA**

In questa parte del lavoro sono riassunte le stime di costo relative alle varie soluzioni proposte, confrontate con le migliori stime pregresse del ponte a campata unica.

Queste stime, definite con criteri essenzialmente parametrici e non sempre di sufficiente dettaglio, hanno lo scopo essenziale di impostare un confronto tra le varie soluzioni progettuali, inserendo nel contesto tutte le principali voci di costo, indipendentemente dal soggetto chiamato a farsene carico.

Solo in questo modo infatti, si potrà evitare uno dei più evidenti problemi lasciati aperti dalle valutazioni precedenti, ovvero quello di una insufficiente precisione ed omogeneità dei “battery limits” del progetto così che qualunque cifra finisse per rimanere parziale e vincolata ad altri elementi di costo, non direttamente evidenziati.

## **ADEGUAMENTO DEL SERVIZIO DI TRAGHETTAMENTO**

In questo capitolo il Gruppo di lavoro si è interrogato su quali potessero essere gli interventi da realizzare nel servizio di traghettamento per portare l'AV in Sicilia nella fase transitoria, in attesa della realizzazione dell'attraversamento stabile. Tenuto conto che le composizioni utilizzate per l'AV sono a composizione fissa sarebbe necessario dotare il servizio di navi traghetto di almeno 220m di lunghezza (contro gli attuali 156 metri lineari di lunghezza massima). Per non parlare della conseguente modifica degli invasi esistenti e della necessità di progettare ex-novo una nave atta al caso specifico il cui costo sarebbe piuttosto elevato e assai difficilmente ammortizzabile.

Un'ipotesi forse più percorribile sarebbe quella di acquisire treni AV di lunghezza ridotta, compatibili con la lunghezza delle navi traghetto oggi in servizio nello Stretto.

Nel capitolo sono state sviluppate anche considerazioni più generali sullo stato del traghettamento ferroviario nello Stretto e nel mondo.

## **OPERE FERROVIARIE E STRADALI IPOTIZZATE NELLE AREE AL CONTORNO DELL'ATTRAVERSAMENTO STABILE**

Questo ultimo capitolo ha il compito di individuare innanzitutto le opere infrastrutturali da realizzare in ambito metropolitano contestualmente alla realizzazione dell'attraversamento stabile (raccordi ferroviari e stradali, stazioni, nuovi impianti ferroviari, riqualificazione delle aree dismesse, ecc.), ma anche in ambito regionale siciliano e calabrese (porti, interporti, centri intermodali, ecc). Per concludere si sono analizzate anche le prospettive future del traffico merci a seguito della realizzazione del collegamento stabile.



## 2 STORIA DEL PROGETTO DELL'ATTRAVERSAMENTO STABILE DELLO STRETTO

L'idea di collegare in modo stabile la Sicilia al continente ha origini molto antiche. Già negli scritti di Plinio il Vecchio si fa menzione di un ponte fatto di barche e botti costruito nel 251 a.C. per consentire il transito di 140 elefanti da guerra catturati ai cartaginesi nella prima guerra punica (seconda battaglia di Palermo). Nonostante varie proposte nel corso dei secoli, la costruzione del ponte rimase una sfida impossibile per l'ingegneria del tempo.

### 2.1 A partire dalla rivoluzione industriale: ponte o tunnel?

A partire dalla rivoluzione industriale, iniziata alla fine del XVIII secolo, sono stati costruiti ponti di dimensioni sino ad allora impossibili. Dai ponti in muratura di modeste dimensioni si è passati a ponti sospesi con luci superiori a 200 metri. Questi incredibili salti dimensionali in lunghezza ed in altezza furono possibili grazie al passaggio dalla struttura muraria alla struttura in **acciaio**.

La scoperta di questo nuovo materiale da costruzione ha dato luogo ad importanti innovazioni tecnologiche, conseguenti alla "rivoluzione industriale". A partire da queste brillanti origini, la nuova ingegneria strutturale non si è mai fermata, ma ha sempre proceduto con prudente consapevolezza.

Nel 1840 **Ferdinando II di Borbone**, Re delle Due Sicilie, pensò alla realizzazione di un ponte sullo stretto di Messina incaricando un gruppo di architetti e ingegneri dell'epoca di fornirgli idee per la costruzione. Dopo averne constatata la fattibilità, preferì rinunciare per l'eccessivo costo dell'opera non ammortizzabile dalle floride casse del Regno.

Subito dopo l'Unità d'Italia, nel 1866 il Ministro dei Lavori Pubblici Jacini incaricò l'ingegnere **Alfredo Cottrau**<sup>9</sup>, che era un tecnico di fama internazionale, di studiare un progetto di ponte sullo Stretto di Messina tra Calabria e Sicilia. Le due soluzioni di ponte da lui ideate (a soli 27 anni) furono pubblicate sulla rivista il *Monitore delle Strade Ferrate* di Torino, ma non ebbero alcun seguito.

Nel 1870 l'ingegner **Carlo Alberto Navone** completò i suoi studi presso la Scuola d'Applicazione per gli ingegneri laureati in Torino presentando un progetto di massima per l'attraversamento ferroviario dello stretto di Messina mediante un tunnel sottomarino lungo

---

<sup>9</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Alfredo\\_Cottrau](https://it.wikipedia.org/wiki/Alfredo_Cottrau)

8.500 m tra le stazioni di Grotta in Sicilia e di Azarello in Calabria<sup>10</sup> ( Figura 2-1, Figura 2-2 e Tabella 2-1). Questo progetto appare tuttora di grande genialità e modernità.

Anche questo progetto non ebbe seguito.

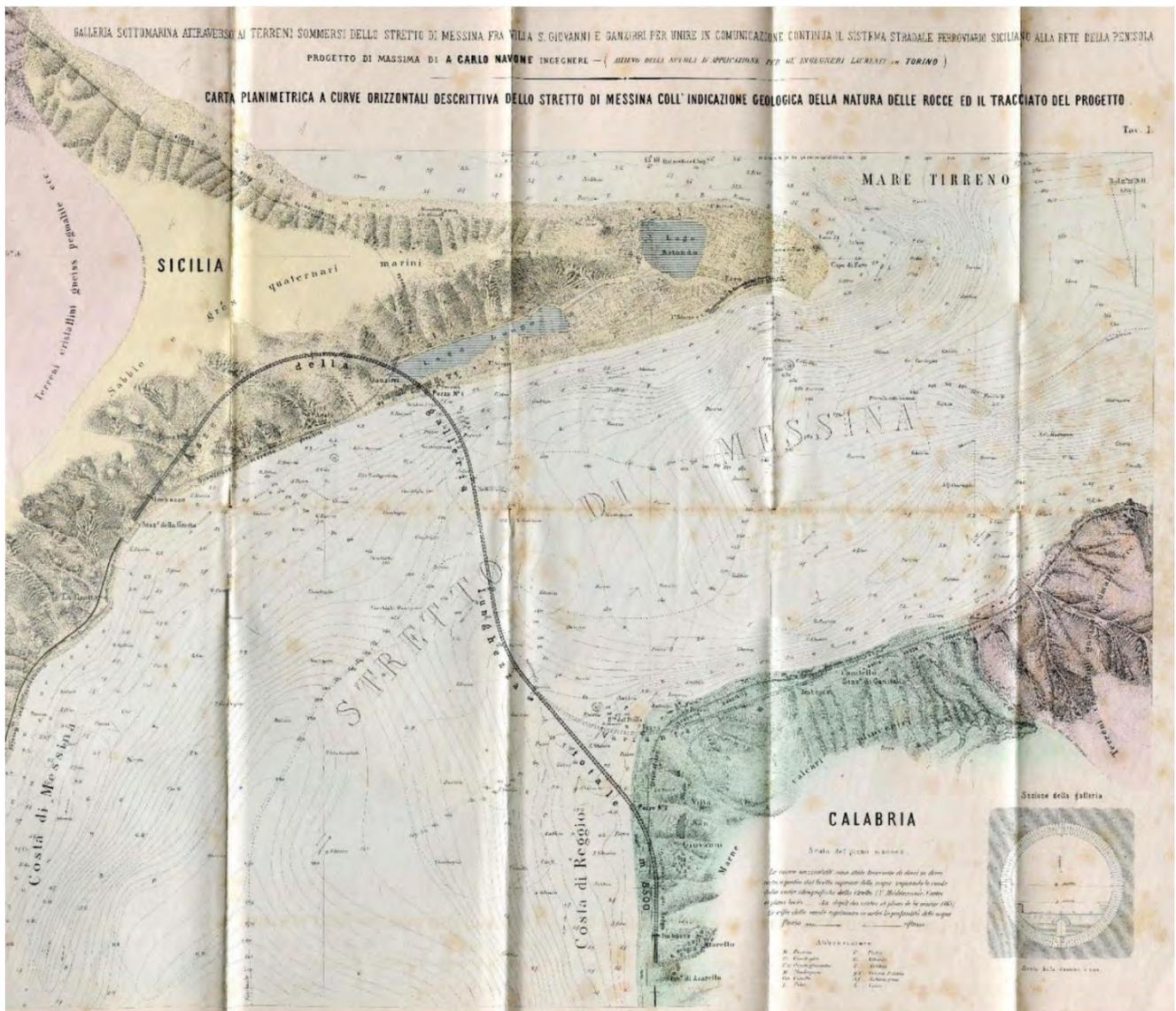


Figura 2-1 Carta planimetrica del progetto dell'ing. Carlo Navone relativo all'attraversamento ferroviario dello stretto di Messina mediante un tunnel sottomarino

<sup>10</sup> <http://www.siciliaintreno.org/index.php/temi/attraversamento-stabile-stretto-messina/547-l-attraversamento-stabile-dello-stretto-di-messina-il-progetto-dell-ingegnere-alberto-carlo-navone>

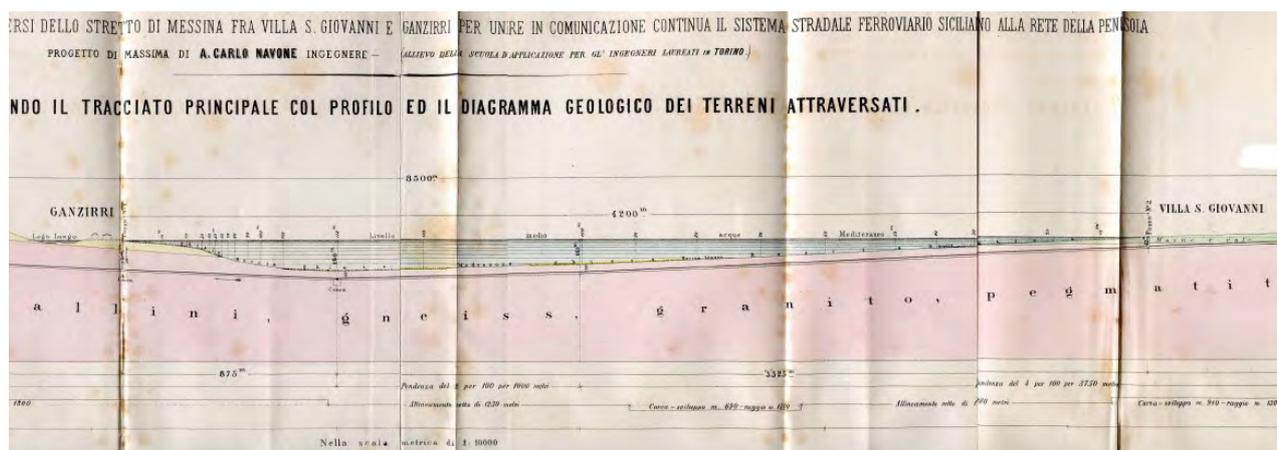


Figura 2-2 Profilo longitudinale del progetto dell'ing. Carlo Navone relativo all'attraversamento ferroviario dello stretto di Messina mediante un tunnel sottomarino

Dall'imbocco siciliano della galleria alla Stazione della Grotta	250
Lunghezza della Stazione della Grotta	200
Dalla Stazione della Grotta a Messina	5.050
Traversata della Città e raccordamento colla rete siciliana	3.000
<b>Totale tratta siciliana</b>	
Dall'imbocco calabrese della galleria alla Stazione di Azarello	250
Lunghezza della Stazione di Azerello	200
Dalla Stazione di Azarello a Reggio	11.050
Per la traversata della Città e raccordamento colla rete peninsulare	2.500
<b>Totale tratta calabra</b>	
Galleria sottomarina fra i due imbocchi	8.500
<b>In totale da Messina a Reggio, comprese le traversate delle due città</b>	<b>31.000</b>

Tabella 2-1 Lunghezza delle tratte ferroviarie tra Messina e Reggio Calabria indicate nel progetto dell'ing. Carlo Navone

Nel 1876 l'onorevole **Giuseppe Zanardelli**<sup>11</sup>, convinto dell'opportunità di un'opera fissa tra le due coste, affermava: «Sopra i flutti o sotto i flutti la Sicilia sia unita al Continente», facendosi portavoce di un'opinione corrente e di autorevoli studi.

Nel 1882 l'ing. **Federico Gabelli**<sup>12</sup> utilizzando rampe elicoidali progettò una «galleria sottomarina onde congiungere con una ferrovia continua la Sicilia all'Italia». Tale progetto, perfezionato dal comm. De Johannis, è stato presentato nel 1899 dal Prof. Legnazzi presso la facoltà di Matematica dell'Università di Padova (Figura 2-3 e Figura 2-4).

Il tracciato sottomarino era migliorativo, ma simile a quello dell'ing. Carlo Navone.

<sup>11</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Giuseppe\\_Zanardelli](https://it.wikipedia.org/wiki/Giuseppe_Zanardelli)

<sup>12</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Federico\\_Gabelli](https://it.wikipedia.org/wiki/Federico_Gabelli)

Di tale progetto è stata data notizia sulla “Gazzetta Ufficiale del Regno d’Italia” n°174 del 24 luglio 1896. A tal proposito a pag. 4121 possiamo leggere<sup>13</sup>:

” Galleria sottomarina fra il continente e la Sicilia. — Il progetto del comm. De Johannis per questa galleria importa la spesa di 70 milioni.

Il modello trovasi esposto nel Gabinetto annesso alla Cattedra di geometria descrittiva della Regia Università di Padova, e gli intelligenti lo lodano molto per la finezza del lavoro, la precisione del dettaglio, la scrupolosa rappresentazione dei dati geologici e metrici”.

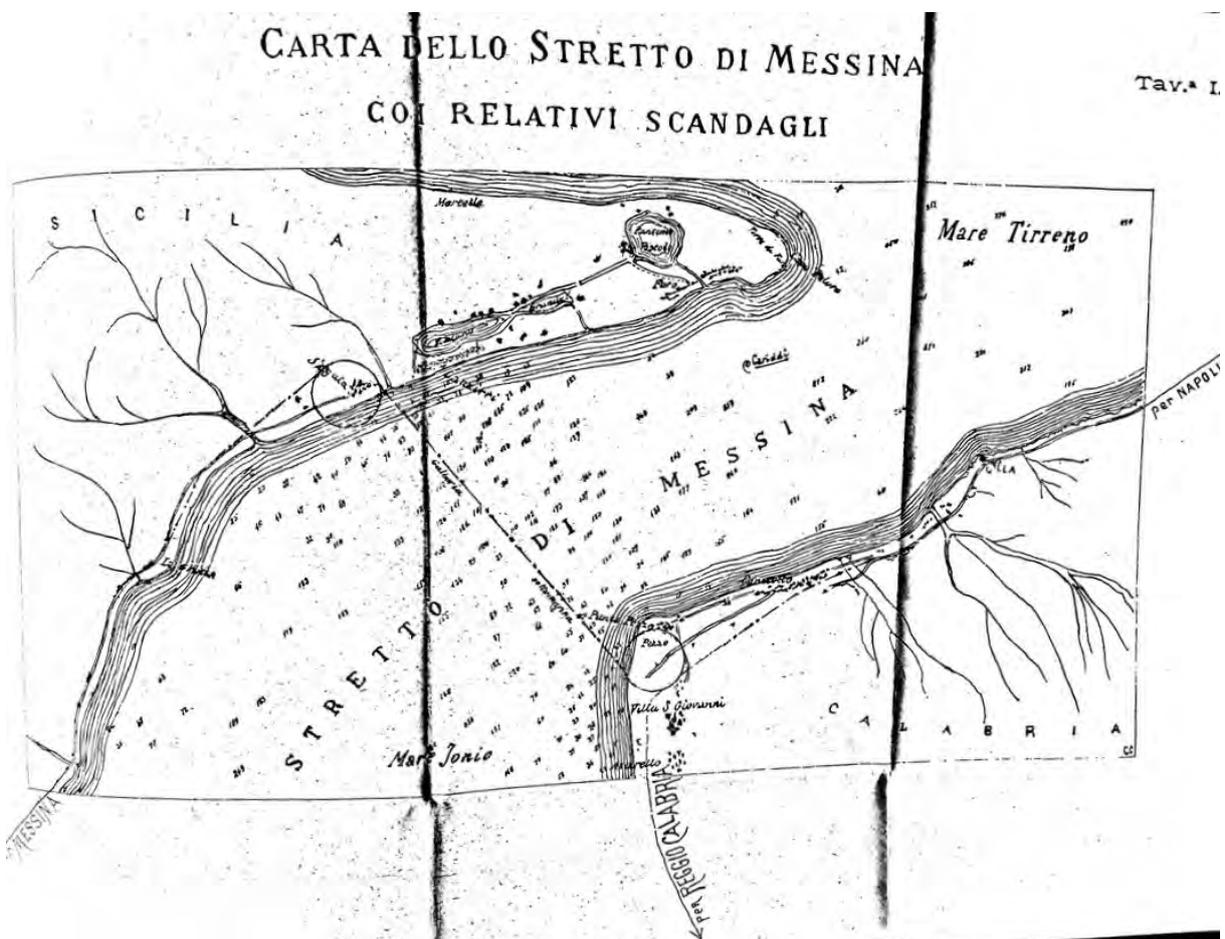


Figura 2-3 Carta planimetrica del progetto dell'ing. Federico Gabelli relativo all'attraversamento ferroviario dello stretto di Messina mediante un tunnel sottomarino (1882)

<sup>13</sup><https://www.gazzettaufficiale.it/do/gazzetta/downloadPdf?dataPubblicazioneGazzetta=18960724&numeroGazzetta=174&tipoSerie=FO&tipoSupplemento=GU&numeroSupplemento=0&progressivo=0&estensione=pdf&edizione=0>

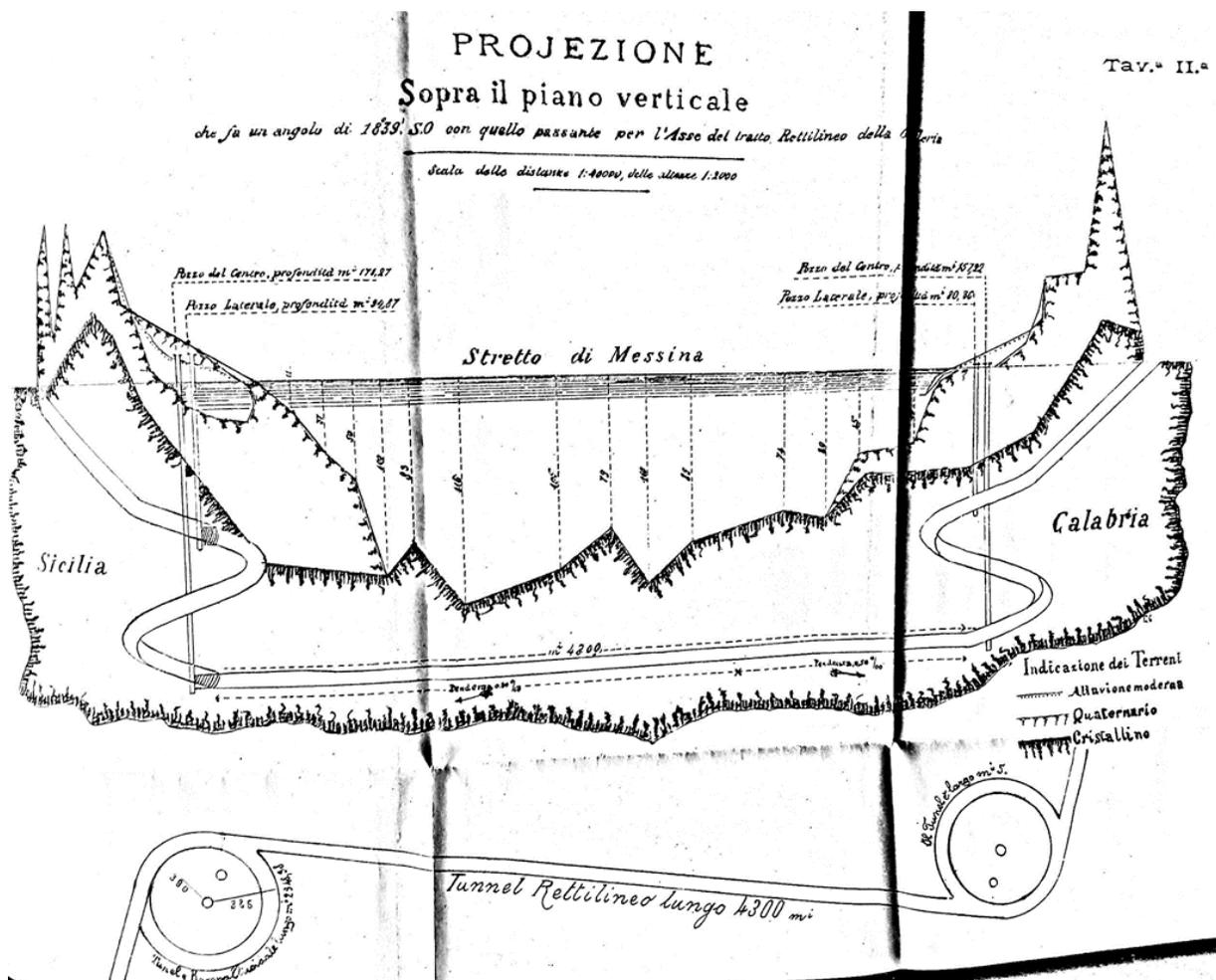


Figura 2-4 Profilo altimetrico dell'attraversamento ferroviario dello stretto di Messina mediante un tunnel sottomarino proposto dall'ing. Federico Gabelli (1882)

Un progetto di ponte sospeso in acciaio per l'attraversamento dello stretto di Messina, articolato in cinque campate fu studiato nel 1883 da un gruppo di ingegneri delle Direzione Tecnica Governativa delle Ferrovie Novara-Pino e Genova-Asti (Genova 1884) diretta dall'ingegnere Capo **Giambastiani Commendatore Angelo**. Il progetto fu presentato all'Esposizione Generale Italiana di Torino 1884; «due grandi quadri che illustravano il progetto furono esposti nella sala dell'esposizione collettiva del ministero dei lavori pubblici, il primo dei quali rappresentava il prospetto del ponte composto di 3 arcate della corda di 1000 metri ciascuna e di 2 arcate estreme, ognuna della corda di 500 metri. Il secondo rappresentava le basi della montatura dei grandi arconi<sup>14</sup>».

<sup>14</sup> Frase estratta dal "Catalogo Ufficiale dell'Esposizione Generale Italiana - Torino 1884 – Ministero dei Lavori Pubblici – pag. 88 punto n.37"

<http://www.museotorino.it/resources/pdf/books/226/files/assets/common/downloads/publication.pdf>



L'idea venne giudicata troppo mastodontica e finanziariamente poco remunerativa e fu presto abbandonata, anche perché il problema delle comunicazioni tra la Sicilia e il Continente era ormai visto in funzione delle navi traghetti.

Alla fine del 1893 fu affidata alla Società per le Strade Ferrate di Sicilia una “**Concessione per la navigazione a vapore attraverso lo Stretto**”, con due corse di traghetti al giorno tra Messina e Reggio Calabria, e altre due per Villa San Giovanni.

Nel 1896 entrarono in servizio due navi traghetti che furono battezzate con i nomi di Scilla e Cariddi. Si trattava di due piroscafi con propulsione a ruote e motore a vapore, capaci di caricare circa 400 tonnellate<sup>15</sup>. I servizi di traghettamento dei treni tra Messina Marittima e Reggio Porto, inaugurati il 31 ottobre 1899 dalla Società Italiana per le Strade Ferrate della Sicilia, furono gestiti dal **1905** dalle **Ferrovie dello Stato**<sup>16</sup>.

Con l'entrata in servizio delle navi traghetti i governi italiani abbandonarono l'idea di realizzare un collegamento stabile in quanto giudicarono che il servizio di traghettamento fosse più pratico e meno costoso, anche perché il calcolo dei tempi di percorrenza tra Messina e Reggio Calabria, sia tramite ponte che tramite tunnel, erano confrontabili con il tempo di attraversamento tramite navi traghetti.

Da allora dovettero trascorrere diversi anni prima che il problema dell'attraversamento stabile dello Stretto fosse riproposto.

Il catastrofico terremoto di Messina del 1908 ricordò a tutti che le condizioni sismiche della zona erano da valutare attentamente in previsione del progetto di un ponte sullo stretto di Messina.

Nel 1921 l'ing. **Emerico Vismara**, amministratore della Società Generale Elettrica per la Sicilia, rilanciò l'idea di realizzare un tunnel sottomarino in occasione dell'ottavo Congresso Geografico Nazionale tenutosi a Firenze nel 1921, per fare passare un cavo elettrico sottomarino fra le due sponde dello stretto di Messina (Figura 2-5).

---

<sup>15</sup> [http://www.clamfer.it/02\\_Ferrovie/Scilla%20e%20Cariddi/Scilla%20e%20Cariddi.htm](http://www.clamfer.it/02_Ferrovie/Scilla%20e%20Cariddi/Scilla%20e%20Cariddi.htm)

<sup>16</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=Ov7wol2Okpk>

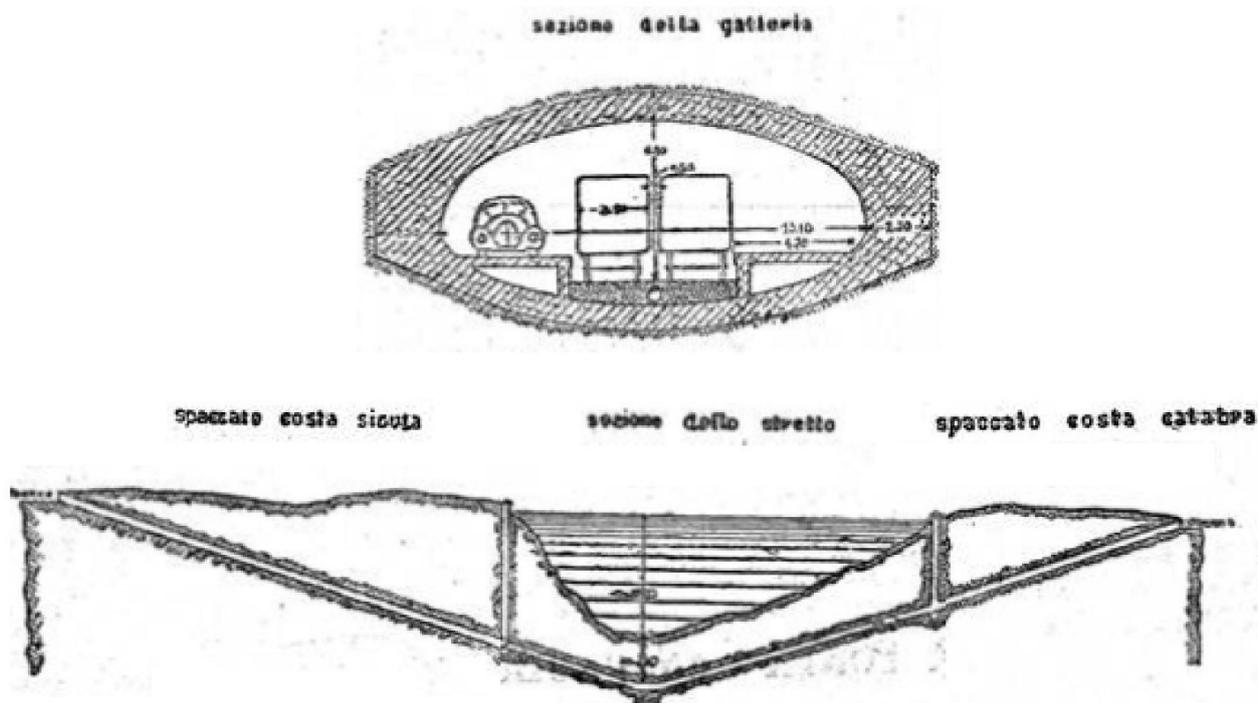


Figura 2-5 Il progetto dell'ing. Emerico Vismara (1921)

Negli anni Trenta e Quaranta ponte e tunnel continuarono a fronteggiarsi tramite progetti bisognosi di approfondimento, negli ultimi anni del fascismo l'Azienda autonoma strade statali promosse uno studio per un tunnel sottomarino. Tra le proposte presentate nel 1937 e nel 1938 si distinsero due progetti di tunnel sottomarini dei messinesi Edoardo Andò e Tullio Russo. Nel 1941 l'ingegnere **Giuseppe Fini**, direttore dell'Azienda autonoma stradale dello Stato (ANAS), ricevette dal Governo l'incarico di studiare la fattibilità di un tunnel sottomarino per l'attraversamento dello stretto di Messina. Furono condotte alcune prospezioni geognostiche, ma i lavori dovettero presto essere interrotti a causa dell'imminente sbarco delle truppe alleate in Sicilia.

Nel 1942 **Benito Mussolini**, Presidente del Consiglio, affermò<sup>17</sup>: "È tempo che finisca questa storia dell'isola: dopo la guerra, farò costruire un ponte tra il Continente e la Sicilia".

Durante la «ricostruzione» che seguì la Seconda Guerra Mondiale, un progetto di tunnel sottomarino fu riproposto alla **commissione per il Piano Marshall** dall'ingegnere messinese Sturiale.

<sup>17</sup> <https://iris.unipa.it/retrieve/handle/10447/53246/304661/IL>

## 2.2 Come si arriva alla scelta del ponte stradale e ferroviario a campata unica da 3.300 m

### 2.2.1 Il Dopoguerra

La storia che ha condotto al progetto del ponte che riempito le cronache degli ultimi 50 anni è iniziata nel 1952 quando l'**Associazione dei Costruttori Italiani in Acciaio (ACAI)** incaricò l'ingegnere statunitense David Barnard Steinman<sup>18</sup>, uno dei più qualificati e prestigiosi progettisti di ponti sospesi, di redigere un progetto preliminare.

Il **progetto Steinmann**, presentato a Messina il 28 agosto 1953 alla Camera di Commercio<sup>19</sup>, prevedeva la costruzione di due torri alte 220 m sopra il livello dell'acqua con fondazioni realizzate in acque profonde circa 120 m (Figura 2-6).



Figura 2-6 Atti del convegno sul "Ponte di Messina" e modello del ponte Steinman (1953)

Le due torri avrebbero dovuto essere attrezzate con ascensori di controllo delle strutture dal basso sul fondo dello Stretto fino alla sommità. La campata principale avrebbe dovuto essere lunga 1.524 m per cui avrebbe superato il record mondiale di campata libera dell'epoca da 1.275 m del Golden Gate Bridge.

<sup>18</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/David\\_B.\\_Steinman](https://en.wikipedia.org/wiki/David_B._Steinman)

<sup>19</sup> Youtube "Messina 1953. Il progetto del ponte sullo Stretto" - <https://www.youtube.com/watch?v=HVyGJp1yKlg>



L'impalcato, lungo 2.988 metri, era previsto a due piani, nell'inferiore avrebbe dovuto ospitare una linea ferroviaria a doppio binario e in quello superiore una strada larga 30 m, avrebbe dovuto garantire uno spazio libero di navigazione di 50 m in modo da consentire il passaggio di qualsiasi nave dell'epoca nello Stretto.

I cavi principali avrebbero avuto un diametro di 1 m. L'intera opera avrebbe avuto un costo che si aggirava intorno ai 38 miliardi di lire, di cui 10 miliardi circa spesi per l'acquisto delle materie prime e dei macchinari, tutti forniti dall'industria italiana. Avrebbe impiegato 12.000 operai, per la maggior parte siciliani e calabresi salvo alcuni specialisti stranieri, per sei anni consecutivi di lavoro.

Dato il prestigioso Curriculum dell'ingegnere David Barnard Steinman si era sparsa la notizia che alcune società americane sarebbero state disposte a finanziare l'opera.

Basandosi su questo progetto e sulla richiesta dell'ingegner Steinmann relativa allo studio geologico del fondo marino dello Stretto di Messina, nel 1955 la Regione Siciliana stanziò 100 milioni di lire per effettuare gli studi e le indagini di carattere geologico e geofisico, nonché i sondaggi meccanici nei fondali e nel sottofondo, allo scopo di accertare la possibilità di costruire il ponte sospeso (art. 1). L'incarico venne affidato alla Fondazione Lerici del Politecnico di Milano allo scopo di verificare la natura delle formazioni tanto sulle sponde che sul fondo dello Stretto<sup>20</sup>. Il quesito posto era la determinazione dello spessore e delle caratteristiche meccaniche dei sedimenti e del basamento cristallino.

La prospezione geofisica del 1955 fu preceduta da un rilievo geologico effettuato dal Servizio geologico d'Italia (Enzo Beneo) che, malgrado le difficoltà rappresentate dalla complessa geologia e dalle fortissime correnti, e con i limiti delle tecnologie allora disponibili, concluse che le proprietà meccaniche dei sedimenti e della roccia cristallina erano modeste fino a parecchie centinaia di metri sotto il piano di campagna e sotto il fondo dello Stretto (Figura 2-7).

---

<sup>20</sup> Messina 1955. Esplorazioni subacquee per il ponte sullo Stretto - <https://www.youtube.com/watch?v=Il6OdPhmo-0>



*Figura 2-7 Foto estratta da un video dell'Istituto Luce relativa alle esplorazioni di carattere geologico e geofisico dei fondali e del sottofondo dello stretto di Messina effettuate nel 1955*

Lo studio si concludeva con la dimostrazione della difficoltà di porre i piloni intermedi nelle acque dello Stretto<sup>21</sup>.

In quegli stessi anni nacque la **Comunità europea del carbone e dell'acciaio** (CECA) con lo scopo di mettere in comune le produzioni di questi due materiali.

La CECA gestiva le politiche di produzione delle materie prime indispensabili anche per la costruzione del Ponte sullo Stretto di Messina, che in quel periodo furono presentati vari progetti di variante o alternativi a quello americano dell'ingegner Steinmann da parte di tecnici europei appartenenti alle nazioni aderenti alla CECA.

Il 13 ottobre 1955 venne costituita a Palermo, in seno all'Associazione Costruttori in Acciaio Italiani (ACAI), la **società per azioni Gruppo Ponte di Messina (GPM)** comprendente alcune tra le maggiori imprese di costruzioni nazionali (Ilva, Montecatini, Falk, Italcementi, Terni, Ansaldo, Dalmine e altre società di rilevanza nazionale), che aveva come obiettivo la promozione di studi ingegneristici e ambientali finalizzati alla realizzazione di un collegamento stabile viario e ferroviario tra la Sicilia e il Continente.

In quegli anni l'interesse della nuova società era rivolto principalmente al progetto dell'ingegnere Steinman. Il Gruppo Ponte Messina S.p.A. resterà protagonista attivo della vicenda del ponte di Messina fino alla costituzione della società concessionaria Stretto di Messina S.p.A. nel 1981.

Nel dicembre 1955 in occasione dell'Assemblea Nazionale Ingegneri e Architetti, venne presentato dall'ingegnere Palmieri il progetto del Ponte sullo Stretto di Messina, il cui preliminare era già stato accolto favorevolmente nel maggio dello stesso anno dal Consiglio

<sup>21</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Fondazione\\_Lerici](https://it.wikipedia.org/wiki/Fondazione_Lerici)



Superiore dei Lavori Pubblici e i cui lavori sarebbero iniziati al più presto. Il carico finanziario sarebbe stato assunto per il 75 % da risparmiatori USA e per il 25% da risparmiatori italiani. L'inaugurazione del ponte era prevista per il 30 giugno 1960, mentre il pagamento del pedaggio sarebbe stato riscosso dal 1962 sino al trasferimento della proprietà, previsto per il 30 giugno 2000.

Nonostante l'entusiasta accettazione del progetto di Palmeri, non mancò chi continuava a sostenere l'importanza di analisi approfondite relative al sottosuolo, mentre altri proponevano soluzioni diverse e le discussioni sull'argomento continuarono anche negli anni successivi.

Per dirimere la situazione che si era creata, alla fine del 1958 il ministro dei Lavori Pubblici Togni insediò a Roma una commissione nazionale di esperti incaricata di esaminare la fattibilità di un attraversamento stabile tra la Sicilia e il Continente. Alla conclusione dei lavori, durati un paio di anni, la commissione stabilì che nessuno dei progetti fino a quel momento presentati poteva essere accolto, poiché erano state riscontrate "notevoli deficienze di natura tecnica".

### 2.2.2 Il concorso del 1969

A seguito del crescente interesse generale per l'argomento e per tentare di risolvere il problema, il Governo italiano emanò la Legge 28 marzo 1968, n° 384 "Finanziamento per provvedere alle spese occorrenti per lo studio dei problemi relativi alla realizzazione del collegamento viario e ferroviario sullo stretto di Messina<sup>22</sup>". Tale Legge all'Art. 1 stabiliva "L'Azienda nazionale autonoma delle strade in collaborazione con l'amministrazione delle ferrovie dello Stato, per la parte di competenza di questa, e sentito il Consiglio nazionale delle ricerche, è autorizzata ad effettuare un concorso di idee o di progetti di massima, cui può partecipare qualsiasi ente, organizzazione e privato, anche stranieri, da concludersi entro il 30 marzo 1969, per stabilire se e con quali sistemi possa essere effettuato il collegamento stabile viario e ferroviario tra la Sicilia e il continente. Omissis ..." Sulla base di tale autorizzazione il **28 maggio 1969** venne bandito il "**Concorso Internazionale di idee per il collegamento stabile viario e ferroviario tra la Sicilia e il continente**", che prevedeva la necessità del transito di due binari ferroviari e sei corsie autostradali applicando le severe normative vigenti dell'epoca (circ. 384 del Min. LL.PP. e circ. delle FF.SS.) La Commissione giudicatrice, nominata congiuntamente dal ministro dei Lavori Pubblici, dal presidente dell'ANAS e dal ministro del Tesoro, si insediò il 23 marzo 1970 e proclamò i progetti vincitori nel dicembre 1970.

---

<sup>22</sup> <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/1968/04/13/96/sg/pdf>



Considerando solo le proposte accettate dalla Commissione giudicatrice, tra le 143 presentate:

- 45 proponevano una soluzione con ponte a una o più campate;
- 9 proponevano la realizzazione di tunnel;
- 21 proponevano la realizzazione di ponti galleggianti, istmi, dighe o altro.

Furono assegnati 12 premi, 6 primi premi ex aequo di 15 milioni di lire e 6 secondi premi ex aequo di 3 milioni di lire<sup>23</sup>.

Tipologia progetti premiati nel 1970	N. progetti	Vincitori ex aequo 1° premio	Dimensioni campate (m)	Vincitori ex aequo 2° premio	Dimensioni campate (m)
Ponte sospeso ad 1 campata	2	Gruppo Musmeci	3000	Studio Nervi	3000
Ponte strallato a 3 campate	1	Gruppo Lambertini	540+1300+540		
Ponte sospeso a 3 campate	3	Gruppo Ponte Messina S.p.A.	770+1600+770	Colleviastreme 384	650+1300 +650
				Zancle 80	750+1500+750
Ponte sospeso a 4 campate	2	Montuori con Calini e Pavlo	465+1360+1360 +465 906+1812+906 (Stradale)	Gruppo Samonà	700+1830 +1830+700
Ponte sospeso a 5 campate	1	Technital S.p.a.	500+1000+1000 +500		
Tunnel a mezz'acqua (in alveo)	1	Alan Grant			
Tunnel incassato sul fondo su diga sottomarina	1			Parson Brinckeroff, Quadre and Douglas	
Tunnel sottomarino	1			Costruzioni Umberto Girola S.p.A.	

Tabella 2-2 Elenco dei progetti premiati nel 1970

Come naturale prosecuzione dell'iter avviato con il Concorso Internazionale, il 17 dicembre 1971 fu approvata la **Legge n. 1158/1971 "Collegamento stabile viario e ferroviario tra la Sicilia ed il continente"**<sup>24</sup>, che dichiarò l'opera di prevalente interesse nazionale e successivamente in sede di Parlamento Europeo l'opera fu considerata di primario interesse per il riequilibrio degli scompensi regionali nell'ambito della CEE.

L'**Accademia Nazionale dei Lincei** organizzò un **convegno** a Roma, dal **4-6 luglio 1978** su «**L'attraversamento dello Stretto di Messina e la sua fattibilità**»<sup>25</sup> durante il quale furono discusse le problematiche relative ai progetti di attraversamento premiati nel 1970 e furono avanzate anche proposte migliorative.

<sup>23</sup> <http://www.siciliaintreno.org/index.php/temi/attraversamento-stabile-stretto-messina/559-ipotesi-e-progetti-dal-1870-al-1970>

<sup>24</sup> <https://www.gazzettaufficiale.it/do/gazzetta/downloadPdf?dataPubblicazioneGazzetta=19720111&numeroGazzetta=8&tipoSerie=FO&tipoSupplemento=GU&numeroSupplemento=0&progressivo=0&estensione=pdf&edizione=0>

<sup>25</sup> <https://www.bardiedizioni.it/shop/lattraversamento-dello-stretto-di-messina-e-la-sua-fattibilita/>



La riunione presieduta dal prof. Antonio Carrelli, Presidente dell'Accademia Nazionale dei Lincei, era stata organizzata dal Gruppo Ponte di Messina S.p.A. (PM) per illustrare gli studi condotti dalla GPM dopo il Concorso Internazionale di Idee dove il GPM era stato premiato ex aequo al primo posto per aver presentato un progetto di ponte sospeso a 3 campate.

All'inizio del convegno l'ing. Gianfranco Gilardini, Consigliere Delegato del C.E. Gruppo Ponte di Messina, illustrò gli studi che GPM aveva affrontato — nell'arco di un ventennio — al fine di essere in condizione di presentare un esauriente rapporto di fattibilità sia dal punto di vista ambientale, tecnico, imprenditoriale, economico e finanziario per un attraversamento stabile viario e ferroviario dello Stretto di Messina. Per tale scopo il GPM aveva nominato una Commissione Tecnica Consultiva incaricata di:

- sottoporre a verifica il complesso degli studi effettuati
- eseguire un esame comparato delle diverse soluzioni
- controllare l'indirizzo emergente dalle ricerche svolte
- decidere gli studi di approfondimento e la loro reciproca interazione.

Gli studi condotti da appositi gruppi di lavoro si concentrarono sulle soluzioni di attraversamento tramite gallerie sottomarine e ponti a una e a due campate (Figura 2-8).

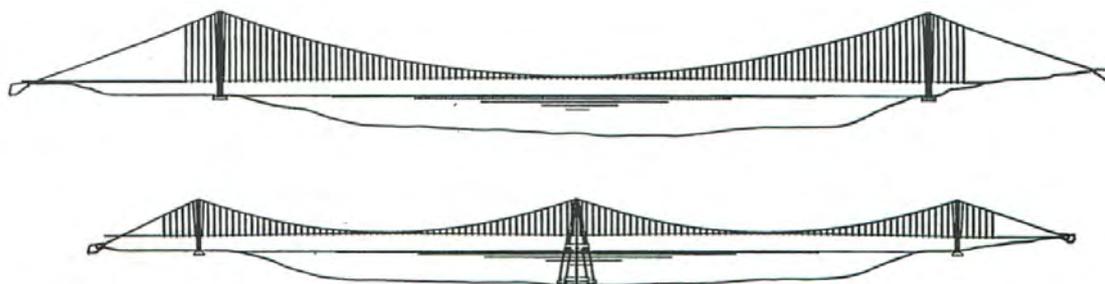


Figura 2-8 Soluzioni di ponti studiate dal Gruppo Ponte di Messina (GPM)

L'ing. Gianfranco Gilardini presentò la tabella conclusiva degli studi di raffronto economico e finanziario tra le soluzioni studiate, giudicate fattibili (Tabella 2-3).

Opera di attraversamento	Costo	Tempo
Gallerie	166	190
Ponte a due campate su pila	132	157
Ponte a due campate su isola	119	150
Ponte a campata unica	100	100

Tabella 2-3 Tabella di raffronti per indici



*L'indice 100 essendo stato attribuito alla soluzione di minor costo e tempo di esecuzione, la valutazione tecnica di un ponte a campata unica di 3.300 metri a due impalcati:*

- *quello inferiore a duplice binario*
- *quello superiore a sei corsie di traffico*

*comprensivo degli accessi ed eseguibile in cinque/sei anni è stata verificata imprenditorialmente nel 1976 e quantificata in 900 miliardi.*

Durante il convegno rappresentanti di altre società, premiate nel 1970 a seguito delle risultanze del Concorso Internazionale di Idee, lamentarono la poca attenzione dedicata ai loro progetti. Tra tutti il Prof. Ing. Fritz Leonhardt, che aveva collaborato alla progettazione del ponte proposto dal Gruppo Lambertini<sup>26</sup>, sottolineò che un ponte strallato risulterebbe particolarmente idoneo al traffico ferroviario in quanto meno deformabile di un analogo ponte sospeso, meno costoso e più facilmente costruibile. È interessante notare che, a distanza di alcuni decenni dal concorso, le idee proposte dal gruppo Lambertini sono state realizzate in altri paesi del mondo confermando quindi la fattibilità del progetto. Anche l'ing. Emanuele Massaro si lamentò con vigore perché non gli era stato permesso di illustrare in tale occasione il suo progetto di tunnel alveo tra la zona Falcata (ME) e Concessa (RC), che aveva regolarmente presentato agli organizzatori ricevendo rassicurazioni in merito.

L'idea di fondo generale era che la scelta della soluzione della tipologia di attraversamento dello Stretto, nel rispetto di quanto previsto dalla Legge 1158/1971, sarebbe stata effettuata dal Parlamento italiano dopo la conclusione degli studi che sarebbero stati effettuati da una Società appositamente incaricata, che avrebbe dovuto analizzare tutte le soluzioni premiate nel 1970.

Così come riportato nel libro "The Messina Strait Bridge", *"negli anni Settanta la Società Gruppo Ponte di Messina considerò più promettente la proposta del ponte a due campate, mentre l'alternativa a campata singola fu considerata con cautela, in quanto qualcosa di troppo lontano dalle conoscenze tecniche esistenti". ... Omissis ... "I moli di cemento in mezzo al mare erano considerati fattibili ma con due incertezze sostanziali, vale a dire le condizioni geotecniche e di faglia su cui poco si sapeva, e la costruibilità nel complesso ambiente marino dello Stretto".* Inoltre, le dimensioni della progettata isola in mezzo allo Stretto erano tali da indurre conseguenze discutibili sul flusso marino.

Il Dr. William C. Brown, noto progettista di ponti scozzese, durante un incontro con l'allora Consigliere Delegato del GPM, Gianfranco D. Gilardini, affermò che *"A Messina si ha una splendida situazione per realizzare un ponte sospeso a campata singola"* ed elencò le motivazioni e i vantaggi che sarebbero derivanti da tale scelta:

1. lo sviluppo dei primi pacchetti software avanzati per l'analisi dei ponti sospesi, non solo in condizioni statiche ma anche per determinare la percorribilità ferroviaria, hanno dimostrato che la rigidità della grande campata era tale da rendere le

---

<sup>26</sup> [https://www.wikiwand.com/it/Gruppo\\_Lambertini](https://www.wikiwand.com/it/Gruppo_Lambertini)



- deflessioni e le pendenze sotto carichi ferroviari meno critiche rispetto a campate più brevi;
2. la nascita in quei primi anni dei concetti embrionali per ponti dal design aerodinamico avrebbe consentito di raggiungere una stabilità sufficiente nonostante l'aumento della lunghezza della campata.

Dalle stime dell'epoca risultava che il costo di costruzione delle due alternative era simile, mentre le incertezze e i rischi nel processo di costruzione erano maggiori per la soluzione a due campate a causa della necessità di interagire con l'ambiente marino in acque profonde. Nonostante la riluttanza di Gilardini ad abbandonare il progetto a due campate a cui erano stati dedicati così tanti sforzi, *“nel 1979 la società GPM ha pubblicato un rapporto di fattibilità che affermava la realizzabilità sia di una soluzione a due campate, con incertezze intorno alla costruzione della fondazione offshore e la scarsa conoscenza delle condizioni geotecniche del fondo marino, sia di una soluzione a campata unica che fu considerata essere la preferita in termini di robustezza e prestazioni”*.

In attuazione della Legge 1158/1971, nel **1981** fu costituita la **Società concessionaria Stretto di Messina S.p.A. (SdM)** a maggioranza IRI-Italtel (51%) e con la partecipazione paritaria dell'Ente ferrovie dello Stato, dell'ANAS, della regione Sicilia e della regione Calabria (in percentuale del 12,25% ciascuna). Lo scopo della SdM era quello di gestire l'attività di progettazione, realizzazione e gestione in esercizio del collegamento stabile viario e ferroviario tra la Sicilia ed il continente.

Nel **1985**, attraverso un decreto Interministeriale, furono assentite in concessione alla Società Stretto di Messina le attività di progettazione, realizzazione e gestione dell'opera per il collegamento stabile tra la Sicilia e il Continente. Conseguentemente la SdM stipulò con Anas e Ferrovie dello Stato una convenzione per regolare la predisposizione dello studio di fattibilità e del progetto di massima dell'infrastruttura.

La società SdM, relativamente alla soluzione aerea, acquistò dal Gruppo Ponte di Messina gli studi relativi a ponti a una e due campate e ne valutò la localizzazione (Figura 2-9).

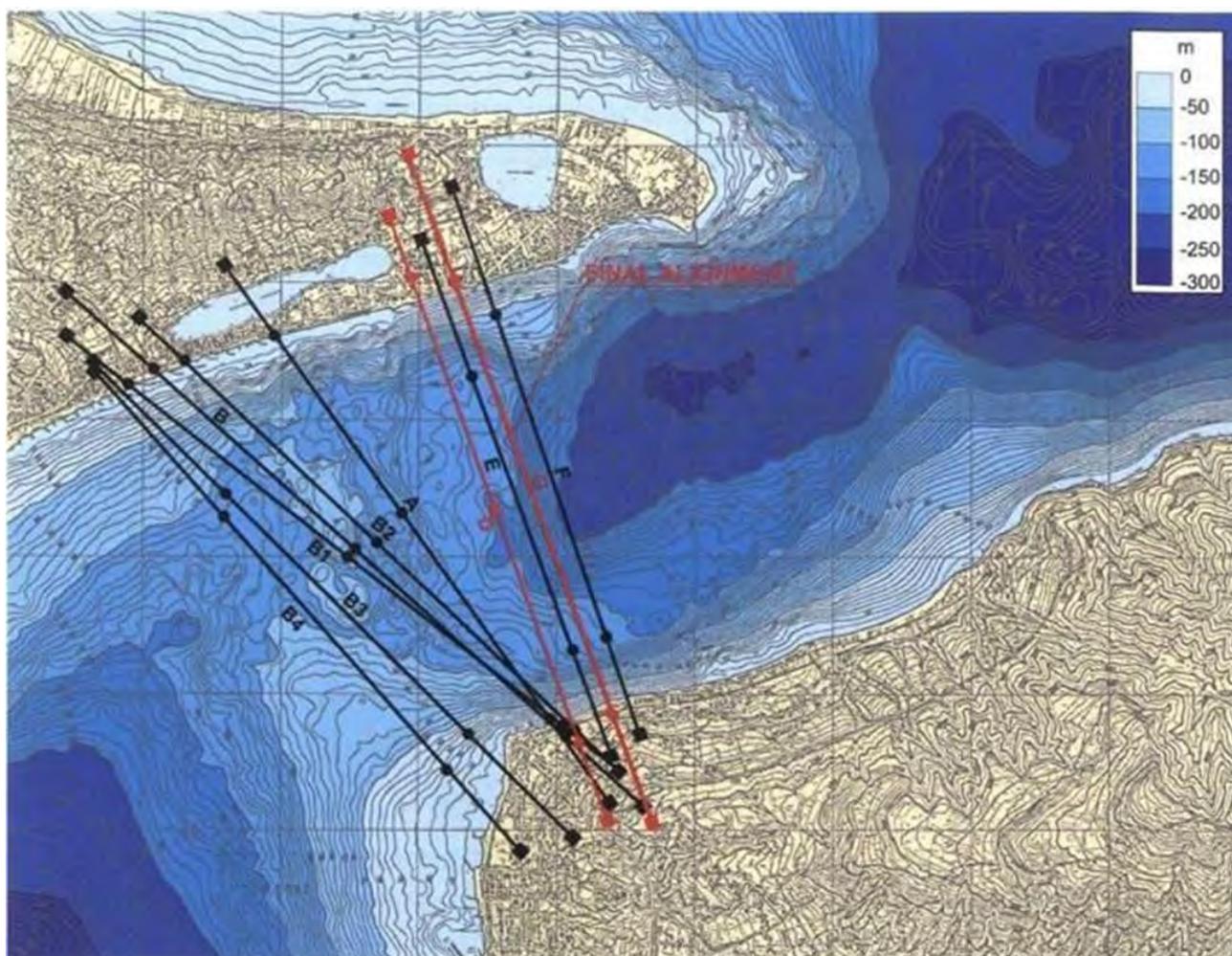


Figura 2-9 Localizzazione dei ponti sospesi a una e a due campate studiati dalla SdM negli anni '80 - Evidenziati in rosso le direttrici dei ponti selezionati per la scelta finale

L'11 giugno 1988 il Ministro dei Trasporti Santuz trasmise alla Presidenza la “**Relazione sui finanziamenti erogati per lo studio del progetto dell’attraversamento stabile dello stretto di Messina**”<sup>27</sup>. Gli studi erano relativi alle tre soluzioni tipologiche originali elaborate dalla Concessionaria Stretto di Messina S.p.A:

- ponti aerei;
- gallerie alvee;
- gallerie subalvee.

Tutte le soluzioni studiate dalla Società Stretto di Messina S.p.A. risultavano fattibili però con costi, difficoltà e tempi diversi.

In particolare, su tale relazione a partire da pag.11 possiamo leggere:

<sup>27</sup> [http://legislature.camera.it/ dati/leg10/lavori/stampati/pdf/027\\_003001.pdf](http://legislature.camera.it/ dati/leg10/lavori/stampati/pdf/027_003001.pdf)



13. - *L'analisi sistematica di fattibilità ambientale, tecnica, imprenditoriale ed economica, adottata dalla Concessionaria per addivenire alla scelta tipologica, permise - con il determinante ausilio dell'ampia documentazione acquisita dal GPM con notevole risparmio di tempo e costi — l'approfondimento degli studi con metodo oggettivo (tenendo presente, a norma della legge istitutiva, i risultati del concorso di idee), avvalendosi della significativa partecipazione di centinaia di accademici ed esperti italiani, suddivisi in trenta gruppi disciplinari, al fine di giustificare la dichiarazione di fattibilità per le tre soluzioni tipologiche originali elaborate dalla Concessionaria stessa:*

- a) **subalvee** - *due gallerie viarie (a due corsie più emergenza) ed una galleria ferroviaria a due binari (tutte collegate ogni 250-500 metri con gallerie di servizio) e scavate sotto i fondali marini a quota —258, sulla direttrice di Punta Pezzo e Ganzirri, al costo tecnico presumibile di 13.200 miliardi, compresi gli accessi viari per chilometri 39 (A 20 - A 30) e ferroviari (Messina-Villa San Giovanni) per 50 chilometri, ambedue per la quasi totalità in galleria, ed eseguibili in 17 anni;*
- b) **alvee** - *una galleria di diametro 27,50 metri immersa in acqua a —40 metri ed ancorata su fondali di 110 metri, sulla direttrice a nord di Punta Pezzo-Ganzirri, oppure a —300 metri sulla direttrice Concessa-Falcatà. I primi due livelli destinati a tre corsie stradali per ogni direzione più emergenza ed il terzo livello destinato a due binari delle ferrovie dello Stato più due passaggi di emergenza, al costo tecnico presumibile di 6.800-7.100 miliardi, compresi gli accessi viari di 22 chilometri (di cui 20 in galleria) e ferroviari di 31 chilometri in galleria ed eseguibili in 11 anni;*
- c) **aeree** - *un ponte sospeso a campata unica di 3300 metri sulla direttrice Cannitello-Ganzirri, con un franco di 80 metri dall'impalcato, a tre corsie più emergenza per ogni direzione con al centro due binari, più due corsie di emergenza, al costo tecnico presumibile di 5.400 miliardi compresi gli accessi viari di chilometri 18 e ferroviari di 19 chilometri, rendendo passante la stazione delle ferrovie dello Stato di Messina, il tutto eseguibile in circa 8 anni.*

14. - **La ripetuta Consulta estera optò a favore della tipologia aerea, con particolare riguardo ad un ponte sospeso a campata unica**, escludendo la soluzione subalvea per motivi sismici, di circolabilità stradale e ferroviaria, per l'abnorme lunghezza degli accessi, per l'elevato costo e tempi di esecuzione, considerando inoltre teoricamente fattibile, ma non valida, la soluzione con gallerie in alveo ancorate sui fondali dello Stretto.

15. - *Tale deliberazione tenne conto che non esiste un solo esempio al mondo della concezione strutturale in alveo nelle successive soluzioni presentate dall'ingegner Alan Grant, dalla società « Ponte di Archimede », dalla Metroroma e dal gruppo di imprese facenti capo alla Tecnomare, con le conseguenti incertezze tecnologiche, nonché di costi, di tempi di esecuzione, di manutenzione ordinaria e straordinaria, di circolabilità stradale e ferroviaria, ed in particolare della durabilità di un'opera sperimentale, in un ambiente fisico che risulta fra i più tormentati al mondo, in particolare rilevando che le strutture off-shore di intuitivo riferimento, sono previste per la durata massima di 30 anni, ed impostate su fondali di differente consistenza ed esenti da influenza di faglie attive.*



*Per inciso, esistono numerosi brevetti italiani ed esteri ben precedenti alla soluzione proposta dall'ingegner Alan Grant, il cui vanto deve limitarsi ad un particolare del sistema di ancoraggio, d'altra parte non condizionante altre soluzioni in alveo.*

*16. - Di contro, esistono 78 ponti sospesi attualmente in esercizio, situati anche in zone di alta sismicità, con una vita fra trascorsa e prevedibile di 200 anni.*

*17. - Le commissioni tecnico-economiche dell'Ente ferrovie dello Stato e dell'ANAS, sentito il Consiglio superiore dei lavori pubblici riunito in assemblea generale, con la partecipazione dei Ministeri della difesa e dell'ambiente hanno confermato, dopo accurata verifica e con precise motivazioni, il loro concorde parere favorevole alla scelta della tipologia aerea, proponendo la costituzione di una delegazione di alta sorveglianza composta da loro esperti per il controllo e l'assistenza alla Concessionaria nella impostazione ed elaborazione della fase progettuale.*

*Conseguentemente - a norma di convenzione con gli enti concedenti - il consiglio di amministrazione dell'ANAS ha comunicato alla Concessionaria, in data 30 aprile 1988, la sua decisione finale, espressa nel voto n. 879, integrando la decisione del consiglio di amministrazione dell'Ente ferrovie dello Stato con delibera n. 105 del 19 febbraio 1987, questa confermata definitivamente con delibera n. 188 in data 5 maggio 1988, a seguito del risultato negativo dell'esame sulla tardiva proposta di tre gallerie in alveo pervenuta dal gruppo di imprese facenti capo alla Tecnomare, di considerare la tipologia aerea la più idonea per un attraversamento stabile viario e ferroviario dello Stretto di Messina.*

*La Concessionaria è stata pertanto autorizzata ad elaborare in un biennio la progettazione di massima di un ponte sospeso viario e ferroviario, tenendo presenti le prescrizioni per la valutazione dell'impatto ambientale, secondo le direttive CEE e quelle dei Ministeri della difesa e della protezione civile, approfondendo anche l'eventuale convenienza di una pila a mare, dal punto di vista della costruibilità e relativi costi e della adeguatezza nei confronti della percorribilità viaria e ferroviaria.*

In pratica **il ponte stradale e ferroviario a campata unica da 3.300 m**, di cui nel 1988 non esisteva e a tutt'oggi non esiste alcun precedente confrontabile per lunghezza della campata<sup>28</sup>, essendo all'epoca il citato Golden Gate Bridge, avente una campata libera di 1.275 m, superato solo di poco dal Verrazzano Bridge di New York (campata libera 1.298m, 1964) e dal Humber Bridge nel Regno Unito (campata libera 1.410m, 1981), peraltro essendo tutti i ponti citati esclusivamente stradali, **è stato giudicato meritevole di essere progettato e realizzato.**

Nella Relazione istruttoria<sup>29</sup> della Commissione Speciale di Valutazione di Impatto Ambientale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio sul "Collegamento stabile viario e ferroviario tra la Sicilia e il Continente" del 2003 si può leggere tra l'altro:

<sup>28</sup> <https://structurae.net/en/structures/bridges/railroad-railway-bridges>

<sup>29</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/1697>



*Nel 1990 la Società Stretto di Messina studia e presenta due Progetti di massima preliminari costituiti l'uno da un ponte sospeso a campata unica (pile in terraferma, luce di 3.360 m), e l'altro da un ponte sospeso a due campate (due luci di 1.800 m con una pila centrale in mare, fondata a 150 m).*

Da notare che la pila del ponte sospeso a due campate non è stata collocata sulla Sella dove la profondità sarebbe stata al massimo di 100m (Figura 2-9).

*La soluzione a luce unica è raccomandata dal parere dell'International Consulting Board. Nel novembre 1990, la Società presenta un documento finale che, sulla base degli approfondimenti effettuati, esclude la realizzabilità della pila in mare.*

*Relativamente alla fattibilità della pila in mare nel documento Progetto di Massima preliminare - Documento Finale dell'ottobre 1990 il Prof. Ing. Michele Jamiolkowski (Politecnico di Torino), che è riconosciuto tra i principali esperti per la geotecnica che ha partecipato al progetto, ha così concluso: "In queste condizioni così avverse, la realizzazione di una pila off-shore ubicata nelle zone centrali dello Stretto di Messina, appare impossibile, alla luce delle tecnologie più avanzate oggi disponibili."*

*La Commissione ANAS con relazione del 25/07/1995 svolgendo le considerazioni finali sulle sottostrutture, questione sismiche, elementi speciali di impalcato, problemi aeroelastici, impianti e impatto, si è pronunciata come segue "L'esame condotto sul progetto di massima definitivo approntato dalla Società stretto di Messina ha posto in evidenza che il progetto, unitamente a numerosi ed accurati sviluppi, presenta ancora vari interrogativi e problemi inerenti la costruzione e la sicurezza che devono essere chiariti.*

*La Commissione ANAS reputa pertanto che il progetto di massima definitivo presentato nel dicembre 1992, pur nel contesto degli indubbi e validi apporti progettuali forniti, non possa ancora essere indicato quale progetto definitivamente idoneo ad essere sviluppato in un progetto esecutivo secondo il quale procedere alla costruzione del ponte e del globale attraversamento".*

*La Delegazione di Alta Sorveglianza FF.SS. con relazione del 10/06/1994 reputa che il Progetto di Massima, già nella sua attuale stesura, è sufficientemente avanzato per essere trasmesso sia alle autorità politiche che dovranno decidere definitivamente se realizzare il Ponte, sia agli organi amministrativi che dovranno valutarne la compatibilità ambientale, sia agli enti locali che dovranno emettere autorizzazioni soprattutto sui territori alle due sponde.*

*Con nota n.169 del 30/04/1997 il progetto di massima è stato trasmesso dalla Società al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per il parere definitivo.*

*Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, riunito in assemblea Generale, il 10/10/1997, con voto n.220, considerando gli aspetti riguardanti l'inserimento dell'opera sul territorio, geologia e geofisica, geotecnica, sismica, aeroelastica, strutture, azioni termiche, riparabilità delle strutture, viabilità e trasporti, impianti ed aspetti economici e finanziari, esprimeva il*



*parere “che il progetto di massima del ponte sullo Stretto di Messina, esaminato ai sensi dell’art. 4 della legge 17.12.1971 n. 1158, con le considerazioni, osservazioni e prescrizioni contenute nei “considerato” possa essere sviluppato in sede di progettazione esecutiva”, con ciò individuando nel successivo livello di elaborazione progettuale la sede in cui dare attuazione alle prescrizioni ed indicazioni formulate.*

### **2.3 Il progetto del ponte a campata unica da 3300 m**

Come si legge nella relazione allegata alla Delibera n.24/2009 della Corte dei Conti, Sezione centrale di controllo sulla gestione delle Amministrazioni dello Stato, dal titolo “Esiti dei finanziamenti per il ponte sullo Stretto di Messina<sup>30</sup>” (estratto da “3.1 Cronistoria del progetto”):

*«Di seguito alle disposizioni del Consiglio Superiore dei lavori pubblici, il CIPE, con deliberazione n. 33 del 19 febbraio 1999, decideva di sottoporre il progetto ad un esame da parte di advisors da individuare con procedure di evidenza pubblica, con riguardo in particolare ad aspetti specifici relativi alla concezione spaziale d’inserimento delle opere sul territorio ed altri profili di carattere ambientale, aspetti specifici delle strutture e degli impianti, necessità di più complete valutazioni degli eventi di rischio critici per la circolabilità, delle previsioni di traffico e delle verifiche di carattere finanziario. ... Gli advisors consegnavano i loro rapporti finali rispettivamente nel novembre 2000 e nel febbraio 2001. ...*

*Nel 2001 la deliberazione CIPE n. 121 inseriva il Ponte sullo Stretto di Messina tra le opere di preminente interesse nazionale, in base alla Legge Obiettivo 443/2001<sup>31</sup>.*

*Nel 2002 la Società ha quindi provveduto in proprio ad elaborare il Progetto Preliminare dell’opera, sulla base delle previsioni normative intervenute, in particolare in materia di sicurezza, ed a seguito delle indicazioni fornite dal Comitato Scientifico nel frattempo costituito (febbraio 2002). Il 16 gennaio 2003 il progetto preliminare, corredato da uno studio di impatto ambientale predisposto da un soggetto esterno individuato mediante gara internazionale e dagli elaborati per la localizzazione urbanistica, veniva trasmesso da Stretto di Messina S.p.A. ai Ministeri delle Infrastrutture e dei Trasporti, dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e per i Beni e le Attività Culturali, oltre che alla Regione Calabria ed alla Regione Sicilia ...*

*Mediante la deliberazione n. 66 del 1° agosto 2003, il CIPE ha approvato il progetto preliminare del ponte sullo stretto di Messina.»*

<sup>30</sup> [http://www.lavoripubblici.it/documenti2010/lvpb1/relazione\\_cortedeiconti\\_strettodiMessina.pdf](http://www.lavoripubblici.it/documenti2010/lvpb1/relazione_cortedeiconti_strettodiMessina.pdf)

<sup>31</sup> [http://www.programmazioneeconomica.gov.it/wp-content/uploads/2015/09/legge\\_443\\_2001\\_MIT.pdf](http://www.programmazioneeconomica.gov.it/wp-content/uploads/2015/09/legge_443_2001_MIT.pdf)



La **scheda n. 65**<sup>32</sup> del Sistema Informativo Legge Opere Strategiche<sup>33</sup> (S.I.L.O.S.) istituito insieme alla “legge obiettivo<sup>34</sup>” (legge n. 443 del 2001), riporta il costo di costruzione dell’Opera (oneri finanziari esclusi) stimato in 4.684,3 M euro a valori 2002. Il costo complessivo dell’investimento a valori correnti è previsto in 6.099,2 M euro. Lo schema di investimento dell’infrastruttura prevede che il fabbisogno finanziario sia coperto per il 40% attraverso un aumento di capitale della società Stretto di Messina e per il rimanente 60% attraverso finanziamenti da reperire sui mercati internazionali senza garanzie da parte dello Stato. Nel dicembre 2003 il Ministero delle Infrastrutture e la società Stretto di Messina stipulano la Convenzione di concessione comprendente anche il Piano economico-finanziario, che viene approvata nel gennaio 2004.

*La citata deliberazione 66/2003 contiene inoltre una dettagliata descrizione dell’intervento, sotto diversi profili ...*

*La deliberazione recepisce inoltre i pareri favorevoli (con raccomandazioni e prescrizioni) espressi dal Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio, dal Ministero per i beni e le attività culturali, dalla Regione Calabria e dalla Regione Sicilia ...*

*«La deliberazione delinea un progetto preliminare avente le seguenti essenziali caratteristiche:*

- *scelta fondamentale di un ponte sospeso a campata centrale unica di lunghezza pari a 3300 metri, con un impalcato di complessivi 3.666 metri, campate laterali comprese, e una larghezza di 60 metri;*
- *sezione stradale dell’impalcato composta da tre corsie per ogni carreggiata (due di marcia ed una di emergenza), ciascuna di 3,75 metri;*
- *sezione ferroviaria comprendente due binari con due marciapiedi laterali pedonabili;*
- *altezza massima delle due torri di 382,60 metri sul livello del mare,*
- *passaggio navigabile avente una altezza minima di 65 metri ed una larghezza di 600 metri;*
- *inclusione nel progetto delle opere di raccordo stradale e ferroviario sui versanti calabrese e siciliano, in massima parte in galleria, per assicurare il collegamento del ponte al nuovo tracciato dell’autostrada Salerno–Reggio Calabria ed alla prevista linea ferroviaria Napoli–Reggio Calabria, da un lato, ed alle tratte autostradali Messina–Catania e Messina–Palermo nonché alla prevista nuova stazione ferroviaria di Messina, dall’altro.*

*Queste caratteristiche rendono il progetto del ponte sullo stretto di Messina il più ambizioso sinora ideato al mondo.»*

Il **27 marzo del 2006**, a seguito dell’esito di una apposita gara internazionale, venne sottoscritto il contratto tra la Società Stretto di Messina Spa e la Società Impregilo, capogruppo mandataria del raggruppamento temporaneo d’imprese (RTI) EUROLINK S.c.p.a., per l’affidamento a Contraente generale della progettazione definitiva, esecutiva e

<sup>32</sup> <https://silos.infrastrutturestrategiche.it/Home/Scheda/1010>

<sup>33</sup> <http://silos.infrastrutturestrategiche.it/>

<sup>34</sup> <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2002/03/21/68/so/51/sg/pdf>



della realizzazione del ponte sullo Stretto di Messina e dei suoi collegamenti stradali e ferroviari. Il **contratto del valore di 3,9 miliardi di euro prevedeva dieci mesi per la progettazione definitiva ed esecutiva e 5 anni per la realizzazione dell'opera** (citata Scheda n°65) e per maggiore dettaglio 180 giorni per la predisposizione del Progetto Definitivo, massimo 540 giorni per la sua approvazione, 120 giorni per la predisposizione del progetto esecutivo e 5 anni per la sua esecuzione<sup>35</sup>.

Nel 2007 il secondo Governo Prodi era in procinto di ritirare l'appalto e annullare il contratto con la Impregilo<sup>36</sup>, pur esponendosi al pagamento di una penale di oltre 500 milioni di euro, ma l'allora Ministro dei trasporti Alessandro Bianchi e il Ministro delle infrastrutture Antonio Di Pietro, insieme all'opposizione di centrodestra, si opposero al proposito procedendo poi ad accorpate la Società Stretto di Messina all'ANAS, riducendo il numero dei suoi dipendenti<sup>37</sup>. Come si può leggere nel resoconto della Camera dei deputati Seduta n. 49 del 9/10/2006<sup>38</sup>:

*“il progetto relativo al ponte sullo stretto, pur essendo stato inserito, nella XIV legislatura, tra le infrastrutture strategiche previste dalla cosiddetta «legge obiettivo» (legge 21 dicembre 2001, n. 443), non è stato, tuttavia, adeguatamente strutturato nell'ambito delle priorità definite dalle istituzioni europee, in quanto è stato considerato l'unico vero intervento infrastrutturale da promuovere nell'ambito del cosiddetto «asse verticale Berlino-Palermo», che, invece, prevede la realizzazione di un ampio e generale sistema integrato dei sistemi viari, ferroviari e marittimi;*

*in questo ambito risulta essenziale che le risorse disponibili, anziché per la realizzazione di un'unica opera - peraltro di dubbia utilità e fattibilità - che rischia di erodere un'enorme mole di finanziamenti, possano essere utilizzate anche per la realizzazione e il completamento di un sistema di collegamenti viari nelle regioni interessate (Sicilia e Calabria), dando priorità - ad esempio - all'ammodernamento dell'autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria e al miglioramento della rete stradale e autostradale siciliana, oltre che investendo sul potenziamento dei collegamenti ferroviari;*

*al riguardo, il Governo ha già chiarito - in occasione della risposta da parte del Vicepresidente del Consiglio dei ministri Rutelli, in data 20 settembre 2006, ad un'interrogazione a risposta immediata in Assemblea sull'argomento - che «il ponte non rappresenta una priorità per l'attività di questa legislatura, cosa che emerge in modo ancora più clamoroso se si considera il bilancio delle risorse che ereditiamo dalla passata legislatura»;*

<sup>35</sup> <https://www.slideserve.com/colman/dansk-brodag-2006-fra-lilleb-It-til-messina-lars-hauge-director-cowi>

<sup>36</sup> [https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/include/chiamaconv\\_wai.asp?header=0&content=/dati/leg15/lavori/stenografici/sed146/s170.htm](https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/include/chiamaconv_wai.asp?header=0&content=/dati/leg15/lavori/stenografici/sed146/s170.htm)

<sup>37</sup> <https://www.repubblica.it/2007/10/sezioni/economia/conti-pubblici-57/societa-ponte-stretto/societa-ponte-stretto.html>

<sup>38</sup> [https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/include/chiamaconv\\_wai.asp?header=0&content=/dati/leg15/lavori/stenografici/sed049/amo01.htm](https://www.camera.it/cartellecomuni/leg15/include/chiamaconv_wai.asp?header=0&content=/dati/leg15/lavori/stenografici/sed049/amo01.htm)



*in questo contesto la realizzazione del ponte - a prescindere dall'opportunità di una sua futura realizzazione - slitta decisamente dietro ad altre indispensabili priorità infrastrutturali per il Mezzogiorno;*

*occorre prendere atto che il Governo ha già adottato iniziative concrete per utilizzare le risorse finanziarie, prima destinate al ponte sullo stretto di Messina, per la realizzazione di opere infrastrutturali nella Sicilia e nella Calabria;*

*appare evidente che la strategia del Governo muove opportunamente verso la realizzazione prioritaria delle opere considerate urgenti e improrogabili, risultando non prioritaria - almeno in questa fase - la realizzazione del ponte sullo stretto di Messina.”*

Il quarto Governo Berlusconi, succeduto nel maggio del 2008 al Governo Prodi in seguito allo svolgimento delle elezioni politiche anticipate dello stesso anno, annunciò di volere riprendere nuovamente l'iter del progetto di costruzione del ponte. A gennaio 2009, il Governo riconfermava il suo impegno a realizzare l'opera i cui lavori avrebbero avuto inizio l'anno successivo, nel 2010, per concludersi nel 2016.

In data 18.2.2009, a valle del progetto preliminare e in attesa del progetto definitivo, il Comune di Messina delibera di approvare il documento guida denominato “Attraversamento Stabile dello Stretto di Messina — Analisi e Proposte — Interventi Compensativi e Connessi alla Realizzazione dell’Opera”, redatto in data 29.10.2008 dalla Struttura Organizzativa Grandi Opere ed Infrastrutture Strategiche.

Le proposte sono formulate nell’ottica di “costituire un vero sistema multimodale metropolitano per l’Area dello Stretto ... mediante un insieme coordinato di interventi ferroviari, stradali e marittimi”.

Tali interventi, descritti nel successivo cap. 6, prevedevano, tra l’altro, la realizzazione di:

- una nuova stazione centrale di Messina nell’area di Gazzi in sostituzione di Messina Centrale;
- una nuova fermata denominata Europa in corrispondenza dell’omonimo viale;
- una nuova stazione in località Annunziata per servire l’omonimo popoloso quartiere dove esiste una cittadella universitaria;
- una nuova stazione in località Papardo per servire anche con servizi di bus integrati la zona nord di Messina, dove esiste un Polo Scientifico Universitario e un grande ospedale
- la "variante stradale cittadella universitaria Annunziata"
- il collegamento "Curcuraci - Panoramica dello Stretto", svincolo di Marotta
- il raddoppio autostradale Giostra- Annunziata (seconda canna autostradale in galleria).

Nel 2010, in parallelo con la redazione del progetto definitivo dell’opera, viene pubblicato a cura della società Stretto di Messina il libro «*The Messina Strait Bridge - A challenge and a dream*», in forma di collezione di monografie su alcuni aspetti significativi del progetto, a cura di alcuni tra i maggiori esperti coinvolti a vario titolo, ripercorrendo l’evoluzione storica

del progetto e lo sviluppo della tecnologia dei ponti a grande luce, trattando in particolare gli aspetti trasportistici, ambientali, socio-economici, territoriali, strutturali, progettuali in senso lato e di dettaglio (aeroelasticità e cavi di sospensione).

Gli autori rivendicano l'enorme sforzo compiuto per risolvere problematiche progettuali e costruttive mai affrontate prima, trasformando quelli che erano considerati solo sogni in un progetto realistico, consci del carattere di sfida estrema del progetto del ponte a campata unica di gran lunga il più lungo mai progettato, e ritenendo che le incertezze residue siano ridotte ad un livello accettabile<sup>39</sup>.

Interessante rilevare come nel testo vengano approfondite anche le motivazioni per le quali non è stato preso in seria considerazione l'attraversamento dello stretto mediante tunnel sottomarini, ancorché riconoscendo che «*L'unica area di valico possibile è la cresta sottomarina immediatamente a sud della parte più stretta, su un tratto di acqua largo circa 3500 m*». I tracciati stradale e ferroviario e il profilo longitudinale ferroviario sono riportati in Figura 2-10 e in Figura 2-11 .

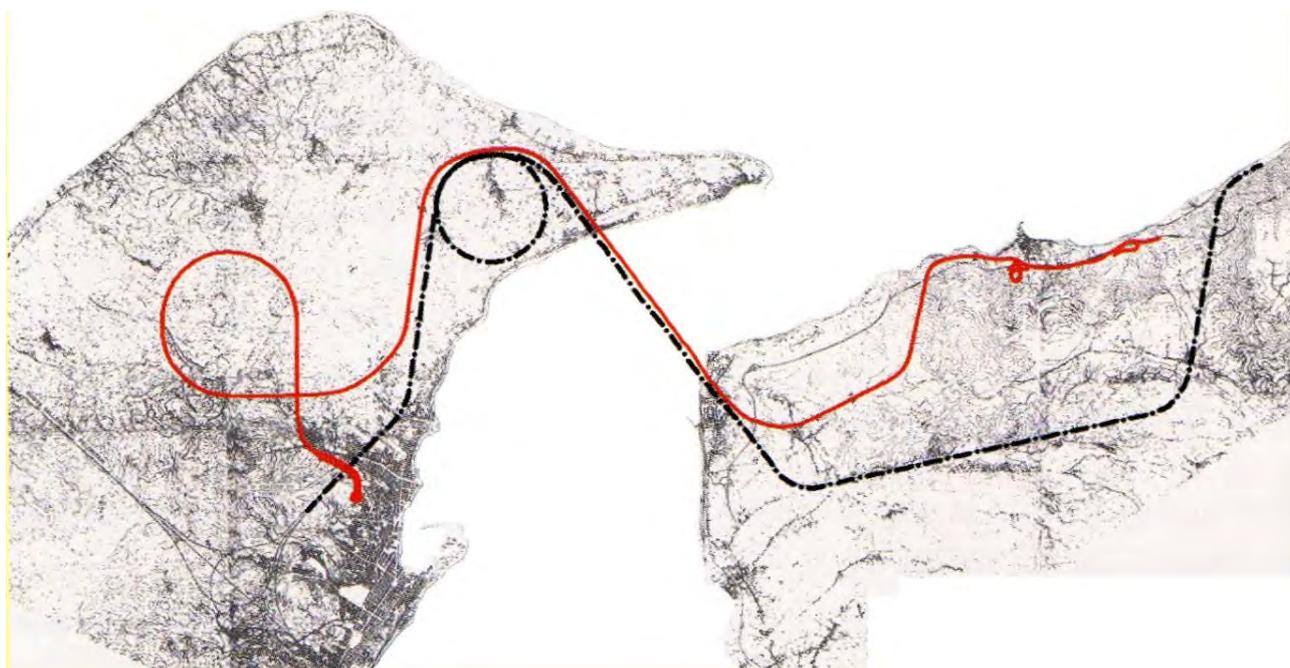


Figura 2-10 Planimetria dei tracciati stradali e ferroviari in tunnel sottomarino ipotizzati dalla società Stretto di Messina

<sup>39</sup> Con la realizzazione della linea AV/AC le gallerie saranno realizzate anche nel caso si decidesse di realizzare il ponte. Mentre non esistono ponti stradali e ferroviari che superano i 1400 m (meno della metà del ponte da 3300 m), esistono molti tunnel stradali e ferroviari di lunghezza superiore a quelli da realizzare nello stretto di Messina.

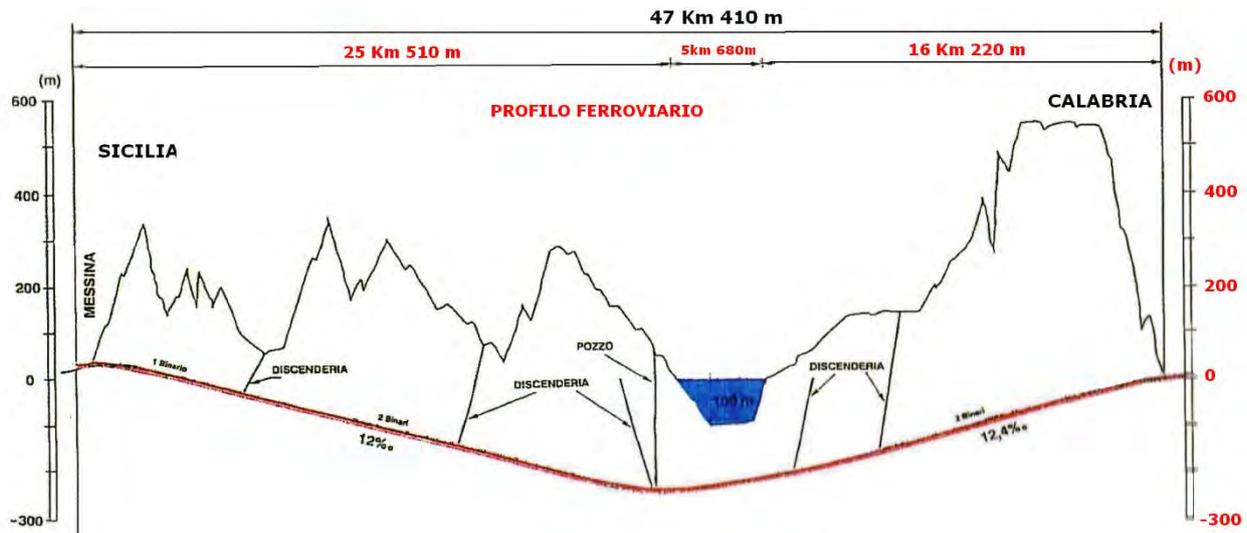


Figura 2-11 Profilo altimetrico del tracciato ferroviario in tunnel sottomarino ipotizzato dalla società Stretto di Messina  
(Fonte: «The Messina Strait Bridge: A challenge and a dream»)

La profondità dell'acqua in tale zona è di 100-120 metri, e il fondale è formato principalmente da strati di ghiaia. La costruzione di un tunnel a tale profondità risulta difficoltosa a causa della pressione dell'acqua e richiede speciali tecniche per consentirne l'avanzamento. In un tale scenario, è stato stabilito che per consentire l'utilizzo di una talpa meccanica (ingl. tunnel boring machine da cui la sigla TBM), il tunnel dovrebbe essere collocato a non meno 150-170 metri sotto il livello del mare. Di conseguenza, la lunghezza delle gallerie sarebbe di alcune decine di chilometri a causa dei limiti di pendenza delle linee ferroviarie.

In proposito viene affermato:

«Il tunnel dovrebbe anche incontrare diverse faglie potenzialmente attive, e sarebbe quindi necessario tenere conto dei loro possibili spostamenti. Esistono soluzioni idonee, tra cui la possibilità di realizzare rivestimenti doppi, ma le complessità e i rischi sono notevoli.

In sintesi, mentre i tunnel sottomarini nello stretto sono certamente fattibili, i loro principali inconvenienti sono:

- Condizioni difficili dipendenti dalla profondità e dalla geologia dei luoghi;
- Incertezze dei costi e delle soluzioni tecniche per attraversare le faglie;
- Costi di costruzione estremamente elevati;
- Aspetti funzionali negativi tipici delle lunghe gallerie dovuti ai gas di scarico del traffico stradale;
- Rischi connessi a incidenti-terrorismo-sabotaggio all'interno dei tunnel.

Quindi tali sistemi non sono stati presi in considerazione per un ulteriore esame.

Vale la pena notare che, nella storia recente, nessun partito ha mai seriamente supportato progetti relativi a tunnel subalvei.»

Nella stessa pubblicazione si espongono anche le motivazioni per le quali non è stato ritenuto fattibile l'attraversamento dello stretto mediante tunnel sommerso flottante, per il quale si ipotizza una profondità di 40-50m sotto il livello del mare (nella Figura 2-12 è indicata la localizzazione e nella Figura 2-13 è riportata la sezione del tunnel flottante ipotizzato dalla società Stretto di Messina nel 1986), con riferimento ad entrambe le alternative di tunnel sostenuto da colonne e di tunnel ancorato mediante tiranti:

- *Condizioni difficili dipendenti dalla velocità delle correnti marine specie ove la distanza tra le due sponde si riduce;*
- *Incertezza della risposta a sollecitazioni sismiche delle strutture di ancoraggio e relative fondazioni, siano esse pile di sostegno poche e distanti oppure cavi più ravvicinati e di minor lunghezza;*
- *Difficoltà costruttive e incertezza dei costi per i lavori in ambiente e sul fondo marino;*
- *Costi di costruzione estremamente elevati;*
- *Aspetti funzionali negativi tipici delle lunghe gallerie dovuti ai gas di scarico del traffico stradale;*
- *Rischi connessi a incidenti-terrorismo-sabotaggio all'interno dei tunnel.*

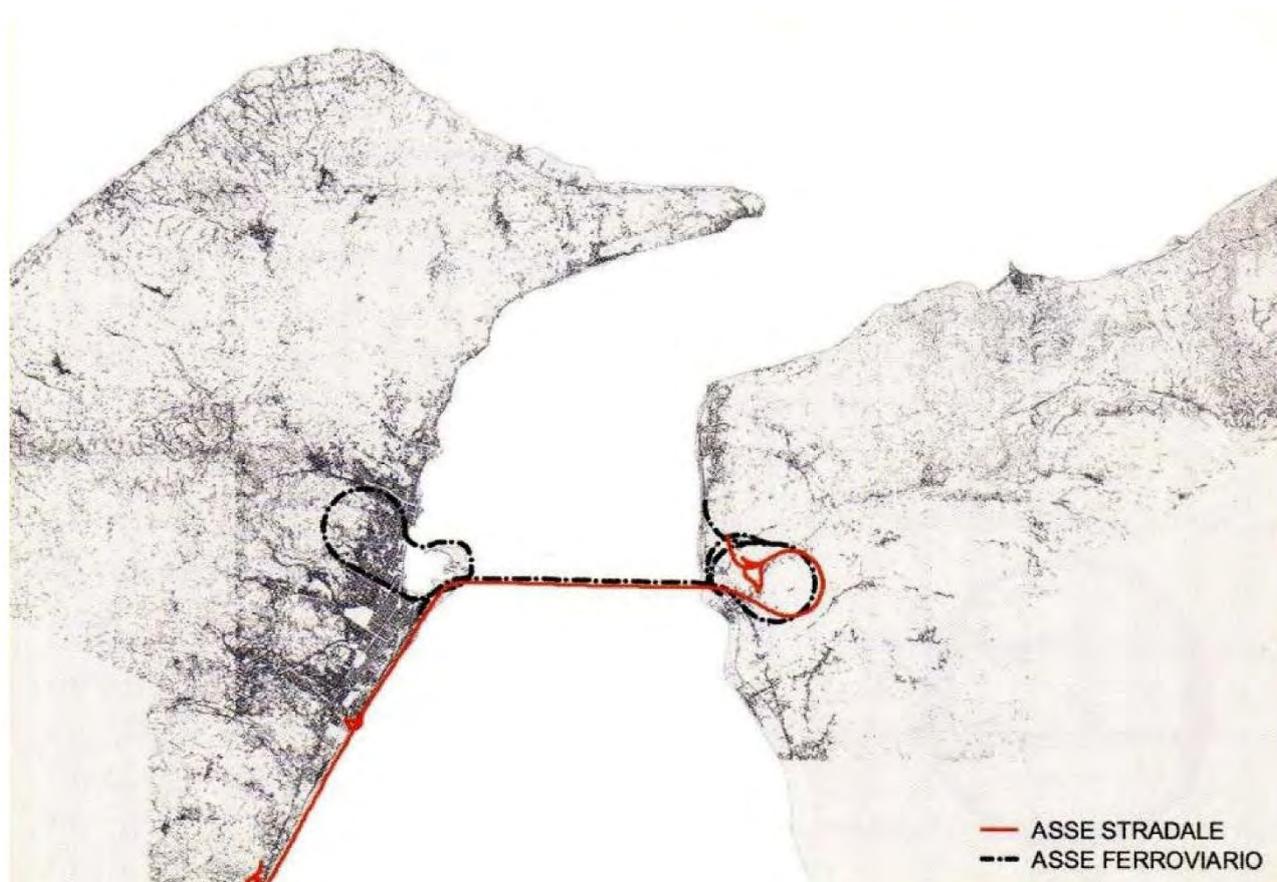


Figura 2-12 Localizzazione dei tunnel a mezz'acqua stradale e ferroviario presi in considerazione dalla SdM.  
(Fonte "The Messina Strait Bridge: A challenge and a dream»")

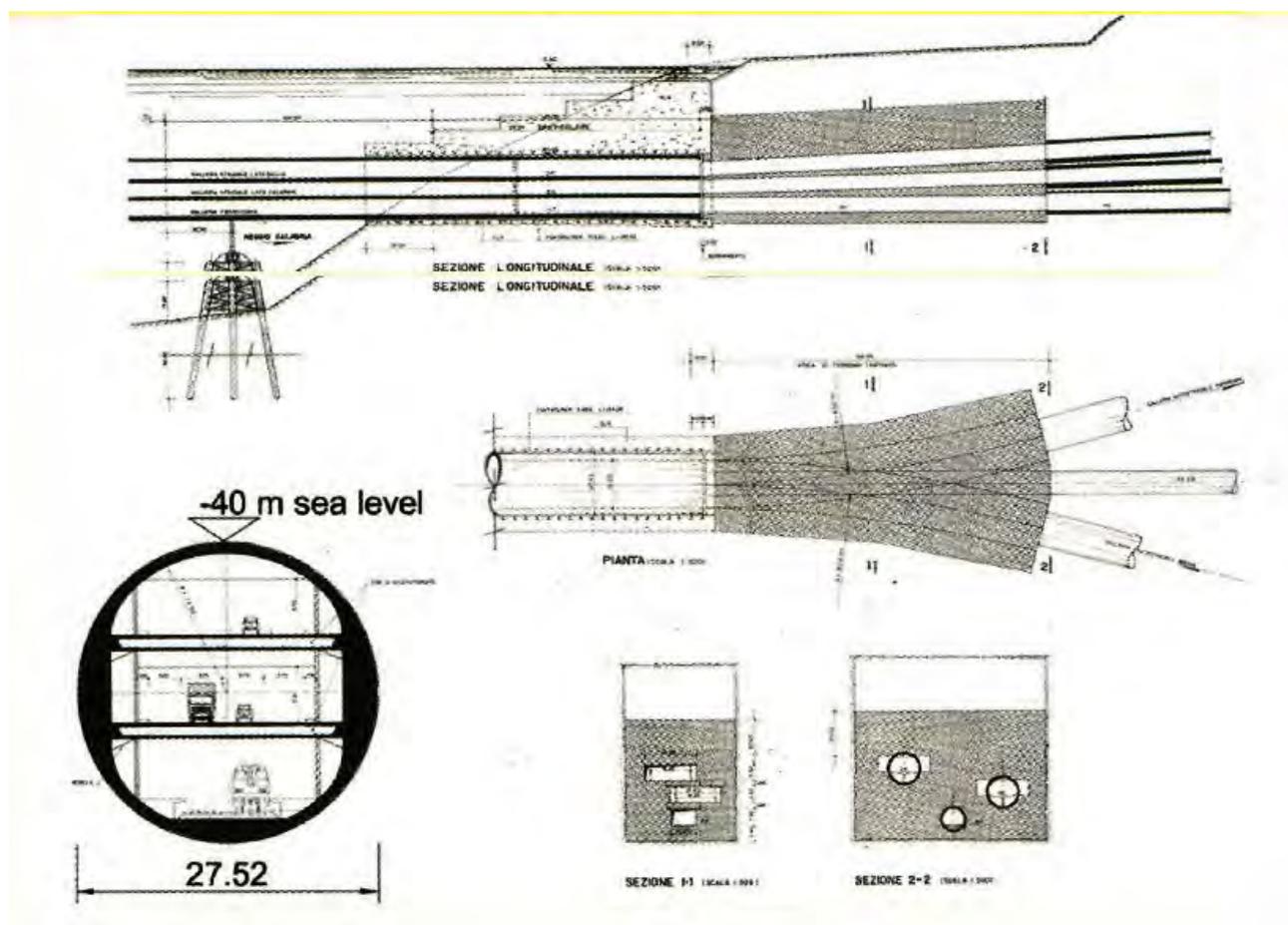


Figura 2-13 Tunnel a mezz'acqua stradale e ferroviario preso in considerazione dalla SdM.

Nella **Delibera n.24/2009 della Corte dei Conti**, Sezione centrale di controllo sulla gestione delle Amministrazioni dello Stato, dal titolo **“Esiti dei finanziamenti per il ponte sullo Stretto di Messina”**, venivano messe in rilievo alcune difficoltà di progettazione legate alla mancanza di possibili termini di paragone<sup>40</sup>. In particolare, nella “Sintesi” si può leggere:

*“La Corte dei conti ritiene che sia opportuna una attenta valutazione – da parte del Governo nel suo insieme e nelle sue articolazioni esecutive (Ministeri e CIPE) e tecnico–operative (Stretto di Messina s.p.a. e suoi azionisti) – dei profili di:*

- a) *fattibilità tecnica, analizzata nel 2000 e formalizzata nel progetto preliminare approvato nel 2003;*
- b) *Omissis ...”*

mentre a pag. 16 si può leggere *“Queste caratteristiche rendono il progetto del ponte sullo stretto di Messina il più ambizioso sinora ideato al mondo”*.

<sup>40</sup>[https://www.corteconti.it/export/sites/portalecdc/ documenti/controllo/sez\\_centrale\\_controllo\\_amm\\_stato/2009/delibera\\_24\\_2009\\_g\\_relazione.pdf](https://www.corteconti.it/export/sites/portalecdc/ documenti/controllo/sez_centrale_controllo_amm_stato/2009/delibera_24_2009_g_relazione.pdf) e <http://www.ilcaso.it/giurisprudenza/archivio/20910.pdf>



Nel 2009, ai sensi dell'art.20 del decreto-legge 185/2008, il dott. Pietro Ciucci, Amministratore delegato della società Stretto di Messina, viene nominato Commissario straordinario per la velocizzazione delle procedure relative alla realizzazione delle opere propedeutiche e funzionali del Ponte sullo Stretto di Messina, dei relativi collegamenti stradali e ferroviari nonché delle opere e misure mitigatrici e compensative dell'impatto ambientale, territoriale e sociale del progetto. La nomina ha durata triennale. Il 30 novembre è stipulata la convenzione aggiornata, comprendente il Piano finanziario, tra il MIT e la società Stretto di Messina.

Il 20 dicembre 2010 il Contraente generale Eurolink ha inviato alla Società Stretto di Messina il progetto definitivo del ponte e dei raccordi stradali e ferroviari.

Il progetto definitivo prevede, a seguito delle richieste degli Enti Locali interessati dalla realizzazione del Progetto autorizzate dal Ministero concedente, l'inserimento di alcune varianti localizzative e la realizzazione di nuove opere, tra le quali, in particolare:

- la realizzazione di un sistema metropolitano interregionale tra Reggio Calabria e Messina con tre nuove fermate ferroviarie in sotterraneo;
- la variante ferroviaria che prevede lo spostamento della nuova Stazione di Messina da Maregrossa a Gazzi ed il conseguente allungamento, per circa 3 km in galleria, dei collegamenti ferroviari;
- la nuova Area Direzionale (lato Calabria) progettata dall'architetto Daniel Libeskind;
- lo spostamento a monte del tracciato autostradale lato Sicilia in corrispondenza degli impianti sportivi della città Universitaria in località Annunziata.

Nel maggio 2011 viene comunicato da ANAS che dal processo di verifica del progetto definitivo risulta che il costo dell'opera (ponte e raccordi stradali e ferroviari) è in linea con l'ammontare previsto nel progetto preliminare approvato dal CIPE nel 2003 e aggiornato a 6,3 miliardi di euro (da 6,1 miliardi di euro nel piano finanziario approvato e in vigore).

**Il 29 luglio 2011 la Società Stretto di Messina ha approvato il progetto definitivo del ponte sullo stretto di Messina** e dei raccordi a terra stradali e ferroviari.

Nel novembre 2011 si è conclusa la Conferenza di Servizi avente finalità istruttoria delle proposte e richieste pervenute da parte delle Amministrazioni competenti e dei gestori di opere interferenti in merito al progetto definitivo dell'opera. In base ai dati comunicati dal RUP al 31 dicembre 2011, risulta che il nuovo importo contrattuale da presentare al CIPE per l'approvazione al netto del ribasso e con gli aggiornamenti contrattuali presunti è di 6,71 miliardi di euro. Le somme a disposizione (attività di Project management consulting, monitoraggio ambientale, somme a disposizione del Committente, spese capitalizzate e oneri finanziari capitalizzati), che ammontano a 1.84 miliardi di euro, portano il totale complessivo a 8.55 miliardi di euro.



Il progetto definitivo redatto dal General Contractor Eurolink comprende anche le opere di cui alla delibera citata del comune di Messina del 18.2.2009, ed è illustrato sommariamente nel successivo Cap. 6.

## 2.4 Cosa è successo dopo. Perché questo progetto è fermo

- Con delibera CIPE n.6 del 20 gennaio 2012 è stata disposta la riduzione totale del contributo assegnato alla Società Stretto di Messina e l'intervento non è stato inserito fra gli interventi indifferibili, per i quali, cioè fosse prioritario l'accesso alle risorse assegnate con priorità temporale nell'arco di periodo tra il 2012 ed il 2013.
- **Il progetto definitivo non è stato approvato dal CIPE** entro i 540 gg stabiliti contrattualmente, che sono scaduti il 3.10.2012, come si può leggere a pag. 5 della R.G. n. 20740/2014 del TRIBUNALE ORDINARIO DI ROMA<sup>41</sup> del 16.10.2018. Inoltre, sullo stesso documento a pag. 17 si può leggere *“in particolare, la imputabilità alla Eurolink della mancata approvazione del CIPE nel termine previsto dall’art. 5.2 dell’Accordo non poteva essere contestata, essendo attestata dalle richieste di integrazione formulate dalla CVTA, dalla ripubblicazione di tali integrazioni e, soprattutto, dal parere negativo espresso dal MATTM nel marzo 2013<sup>42</sup>, che aveva definitivamente accertato la impossibilità di approvazione del Progetto Definitivo;”*
- Il D.L. n. 179 del 18/10/2012<sup>43</sup>, convertito in legge n. 221/2012, tra l'altro, ha disciplinato all'art. 34-decies la procedura da seguire per l'esame in linea tecnica del progetto definitivo dell'opera Ponte sullo Stretto di Messina per poter essere approvato dal C.I.P.E. e previsto in mancanza del rispetto delle fasi disciplinate, la caducazione di tutti gli atti contrattuali tra la concessionaria Stretto di Messina e il contraente generale Eurolink. Il primo adempimento, alla cui mancanza è collegato il prodursi dell'effetto caducatorio, è la stipula, entro il termine perentorio del 1° marzo 2013, dell'atto aggiuntivo tra la concessionaria e il contraente generale. Inoltre, l'articolo 34-decies ribadiva, come già stabilito nel 2003 dagli azionisti, il fabbisogno finanziario per realizzare il progetto del ponte doveva essere coperto per il 40% attraverso un aumento di capitale della Stretto di Messina e per il rimanente 60% attraverso finanziamenti da reperire sui mercati internazionali senza garanzie da parte dello Stato.
- Durante l'audizione davanti all'8ª Commissione permanente (Lavori pubblici, comunicazioni) del 6 novembre 2012<sup>44</sup>, l'Amministratore unico di ANAS S.p.A. e Amministratore delegato di Stretto di Messina S.p.A., dottor Pietro Ciucci, ripercorrendo la storia della gestione dei contratti stipulati e delle loro varianti, ha

<sup>41</sup> <http://www.ilcaso.it/giurisprudenza/archivio/20910.pdf>

<sup>42</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/83901>

<sup>43</sup> [https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie\\_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2012-12-18&atto.codiceRedazionale=12A13277](https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2012-12-18&atto.codiceRedazionale=12A13277)

<sup>44</sup> <https://www.senato.it/service/PDF/PDFServer/DF/288182.pdf>



confermato che sarebbe riuscito a reperire sul mercato privato il 60% dei finanziamenti necessari per eseguire le opere. Però si è lamentato per il “*mancato riconoscimento di qualità al progetto, che può avere degli effetti indiretti sull’approccio ai mercati finanziari, dove dobbiamo reperire importanti finanziamenti e che sono un po’ tesi*”. Infatti, la procedura da seguire per fare approvare al C.I.P.E. il progetto definitivo, così come stabilito dall’articolo 34-decies del D.L. n. 179 del 18/10/2012, non agevolava sicuramente il reperimento dei finanziamenti.

- Nella citata audizione il dottor Pietro Ciucci ha fornito alcuni ulteriori chiarimenti in merito ai costi delle opere e ai relativi investimenti, in particolare:
  - l’aggiornamento del Piano economico finanziario della concessione a circa 6,3 miliardi di euro per tenere conto dei maggiori costi generati dal blocco delle attività nel periodo tra aprile 2006 e ottobre 2009 è risultato dall’aggiornamento a circa 5,0 miliardi di euro – a valori correnti - dei corrispettivi dovuti al Contraente Generale, a seguito dell’adeguamento del corrispettivo contrattuale dell’affidamento a valori 2002 previsto dal contratto tra la data di approvazione del Progetto Preliminare (agosto 2003) e la data prevista di approvazione del Progetto Definitivo da parte del CIPE, nonché dall’aggiornamento dei costi di investimento - a valori correnti e comprensivi delle altre spese e degli oneri finanziari capitalizzati durante il periodo di costruzione
  - la differenza di 2,2 miliardi di euro tra l’investimento aggiornato a circa 8,5 miliardi di euro con le stime redatte a seguito del progetto definitivo, a fronte di 6,3 miliardi di euro della precedente elaborazione, è attribuibile alle varianti richieste sul territorio, nonché alle variate norme tecniche intervenute tra la redazione del progetto preliminare, che risale al 2003, e la redazione e l’approvazione del progetto definitivo e ad alcuni miglioramenti per l’ottimizzazione del progetto stesso. La decisione finale relativa alla realizzazione o meno delle varianti spetta al CIPE, nel momento in cui approva il progetto definitivo. Nessun impegno è stato preso circa la realizzazione di queste opere da parte della società Stretto di Messina, riguardando l’impegno preso con il contraente generale soltanto la progettazione delle opere
- L’Assemblea Regionale Siciliana (ARS), nella seduta del 22 gennaio 2013 ha approvato con tre emendamenti la mozione sugli “*Interventi finalizzati al ritiro in via definitiva del progetto relativo alla costruzione del ponte sullo stretto di Messina ed alla contestuale destinazione delle somme ad infrastrutture che valorizzino il territorio siciliano e che siano volano per lo sviluppo e la sostenibilità del nostro territorio*”<sup>45</sup>.

<sup>45</sup> [http://w3.ars.sicilia.it/DocumentiEsterni/ODG\\_PDF/ODG\\_16\\_2013\\_01\\_22\\_016\\_P.pdf](http://w3.ars.sicilia.it/DocumentiEsterni/ODG_PDF/ODG_16_2013_01_22_016_P.pdf)  
<http://www.radioradicale.it/scheda/370750/assemblea-regionale-siciliana-15a-seduta>  
<https://www.canalesicilia.it/riassunto-assemblea-regionale-siciliana-del-22-gennaio-2013/>



- Dato che non è stata data ottemperanza a quanto previsto dalla legge n. 221/2012 nei tempi stabiliti, con DPCM del 15 aprile 2013 sono caducati a partire **dal 1° marzo 2013** tutti gli atti contrattuali stipulati dalla Società Stretto di Messina e la stessa Società è stata messa in liquidazione<sup>46</sup>.
- Nell'Allegato Infrastrutture al DEF 2017, appendice 2 - Interventi, tabella Interventi prioritari – ferrovie, nell'ambito della Direttrice Napoli-Palermo, identificata con il codice 12, è inserito l'intervento: *“Attraversamento dello stretto”, classificato “progetto di fattibilità” con la nota “Prog. di fattibilità finalizzato a verificare le possibili opzioni di attraversamento sia stabili che non stabili”*.
- Nell'Allegato Infrastrutture al DEF 2018, capitolo IV. Lo stato di attuazione degli interventi programmati, paragrafo IV. 2 Ferrovie, tabella Interventi prioritari da sottoporre a progetto di fattibilità – modalità: ferrovie, è inserito l'intervento “12 Direttrice Napoli-Palermo - Attraversamento dello stretto”, con obiettivi dello studio di fattibilità *“La verifica di fattibilità del collegamento, stabile o non stabile, attraverso lo Stretto di Messina. Le opzioni da considerarsi faranno riferimento alternativamente alla modalità stradale, ferroviaria o marittima.”*
- La Corte costituzionale con Sentenza n.265 del 5 novembre 2019<sup>47</sup> ha dichiarato inammissibile la questione di legittimità costituzionale dell'art. 1, commi 3 e 8, del decreto-legge 2 novembre 2012, n. 187 (Misure urgenti per la ridefinizione dei rapporti contrattuali con la Società Stretto di Messina S.p.A. ed in materia di trasporto pubblico locale) e smi per il profilo relativo alla quantificazione dell'indennizzo.

Nell'**agosto 2020** il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha nominato una **commissione formata da 16 membri di alto profilo per individuare la scelta migliore per l'attraversamento stabile dello stretto di Messina** dal punto di vista ingegneristico, trasportistico ed economico tra le possibili soluzioni **da sottoporre a studio di fattibilità**.

<sup>46</sup> <http://www.strettodimessina.it/data/DPCM-15-aprile-2013-Liquidazione-Nomina-CL.pdf>  
<http://www.strettodimessina.it/transparency.html>

<sup>47</sup> <https://www.cortecostituzionale.it/actionSchedaPronuncia.do?anno=2019&numero=265>

### 3 CENNI SULLA MORFOLOGIA DEL TERRITORIO, GEOLOGIA, TETTONICA, CORRENTI E MAREE, I VENTI DELLO STRETTO DI MESSINA

#### 3.1 Morfologia

Lo Stretto di Messina può assimilarsi ad un canale a forma di imbuto, che collega il mare Ionio al Tirreno, dove si verificano cicli giornalieri caratterizzati da forti correnti marine<sup>48</sup>.

È delimitato ad Est dalla costa calabra e ad Ovest da quella siciliana, con asse longitudinale disposto secondo la direttrice N-S nella parte più meridionale e piegato in direzione SW-NE nella parte più settentrionale (Figura 3-1).

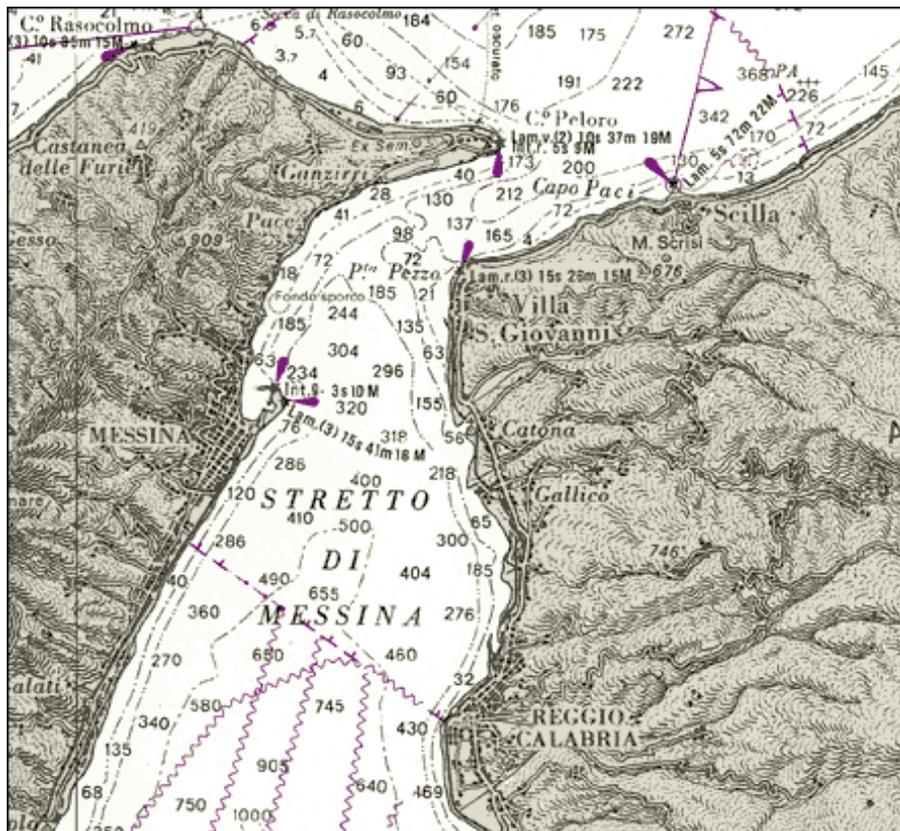


Figura 3-1 Carta marittima per lo stretto di Messina<sup>49</sup>

La sua situazione topo-batimetrica è piuttosto irregolare. È caratterizzato, infatti, sul limite ionico da scarpate ripide, mentre procedendo verso Nord il fondale si solleva rapidamente, determinando una sella nella sezione compresa tra Punta Pezzo, in Calabria, e Ganzirri, in Sicilia, laddove si raggiungono le profondità minime e il canale piega in direzione SW-NE.

<sup>48</sup> <http://www.correntidellostretto.it/>

<sup>49</sup> <https://cariddiweb.wordpress.com/2011/02/08/una-carta-marittima-per-lo-stretto-di-messina/>

La larghezza varia da un massimo di circa 16 km (misurati all'altezza di Punta Pellaro in Calabria e Capo D'Alì in Sicilia) fino a un minimo di circa 3 km (tra Torre Cavallo in Calabria e Capo Peloro in Sicilia).

In corrispondenza della Sella il fondale presenta una soglia sottomarina orientata in senso NW-SE, ampia circa 1 km, che ha una profondità media di 81 m, raggiungendo al massimo i 115 m. Chiamata anche “Sella dello Stretto”, è costituita da unità tettoniche alpine, costituite da un basamento cristallino e da resti di coperture sedimentarie che partendo dal Massiccio dell'Aspromonte proseguono nei Peloritani Settentrionali <sup>50</sup> (Figura 3-2).

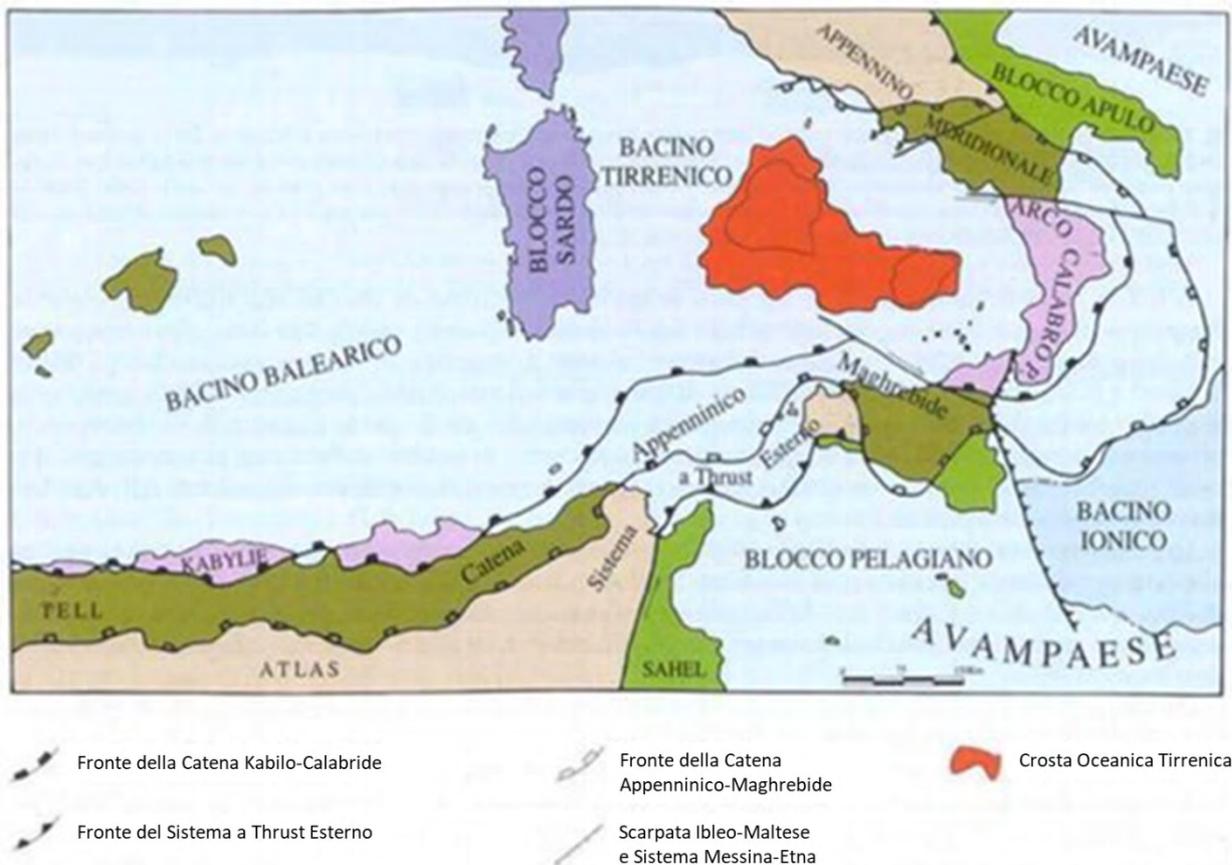


Figura 3-2 L'Arco Calabro Peloritano nell'evoluzione tettonica del Mediterraneo centrale<sup>51</sup>

Poco più a sud della sella dello Stretto esiste un'ampia ed irregolare depressione profonda circa 300 m, chiamata valle di Messina, avente sezione ad "U". Andando ancora verso sud, a profondità superiori ai 500 m, la valle di Messina si stringe divenendo più profonda e dando origine ad un ripido canyon sottomarino (canyon di Messina) che si protende fino alla piana batiale dello Ionio profonda circa 2000m in corrispondenza della congiungente ideale tra Capo Taormina (ME) e Capo d'Armi (RC).

<sup>50</sup> Fonte: Prof. Antonia Messina, Università degli Studi di Messina, Dipartimento di Fisica e di Scienze della Terra

<sup>51</sup> Fonte: Lentini et al., 2005, mod.

[https://www.unirc.it/documentazione/media/files/ufficio\\_tecnico/R3\\_Relazione\\_geologica.pdf](https://www.unirc.it/documentazione/media/files/ufficio_tecnico/R3_Relazione_geologica.pdf)

La Figura 3-3 indica poi le distanze tra le coste e la profondità massima in corrispondenza di alcune direttrici dello Stretto.

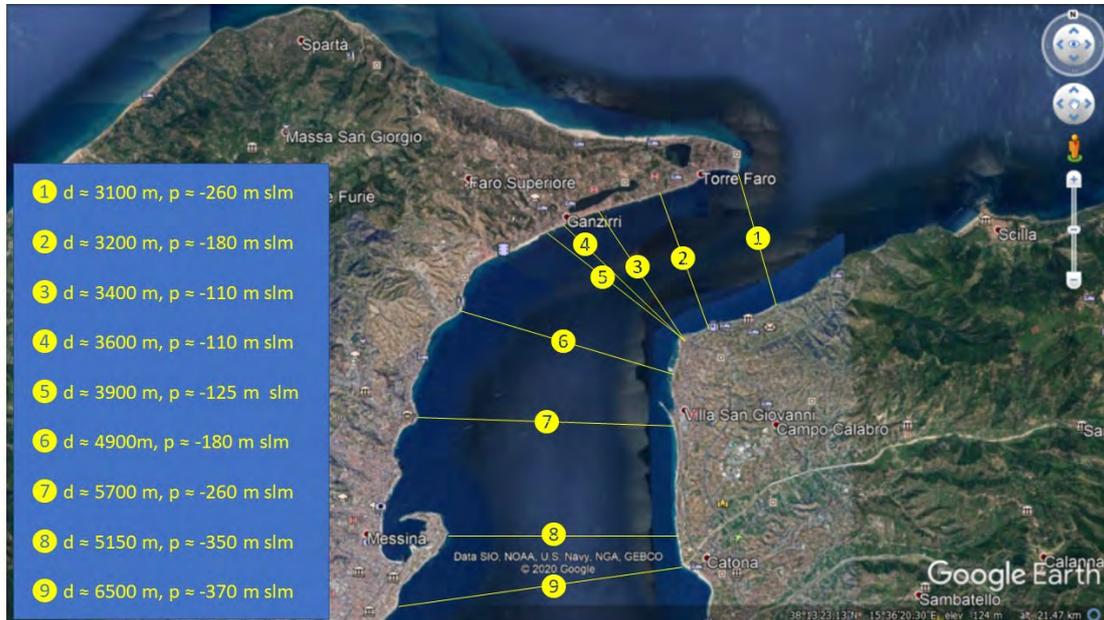


Figura 3-3 Distanze tra le coste e profondità massima del fondo marino in corrispondenza della zona dove il restringimento dello Stretto è particolarmente forte.

Dalla rappresentazione delle aree delle varie sezioni si può notare come il restringimento dello Stretto sia particolarmente forte nell'area intorno alla Sella e si mantenga uniforme per una lunghezza di circa 7 km: esso costituisce come una vera e propria strozzatura tra il Mar Tirreno e il Mar Jonio.

La geologia del terreno lungo la direttrice ② di Figura 3-3, dove è stata individuata la posizione del ponte sospeso stradale e ferroviario a campata unica da 3300 m è indicata in Figura 3-4. Il fondo del mare raggiunge la profondità di circa 180 m. (C= Depositi della piana costiera, E=Ghiaie di Messina, F=Intervallo costiero plio-pleistocenico, G= Trubi, Sabbie tortoriane, H= Conglomerato di Pezzo, R= Basamento cristallino metamorfico)<sup>52</sup>.

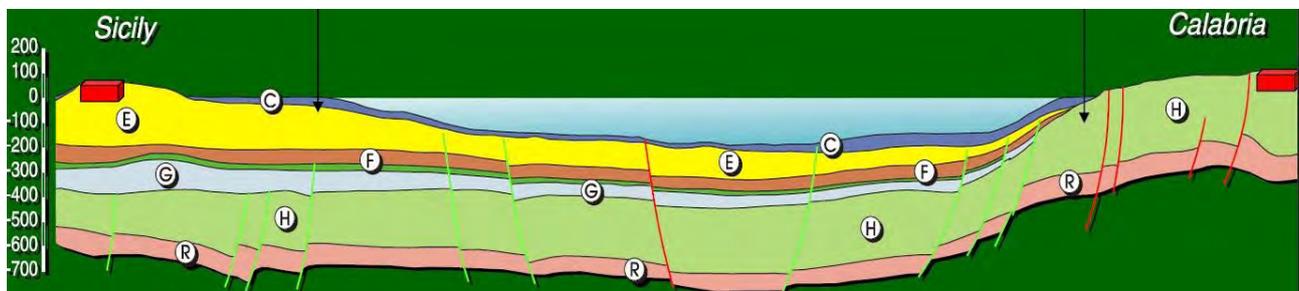


Figura 3-4 Sezione geologica del luogo dove è stato individuato il posizionamento del ponte a campata unica da 3.300 m

<sup>52</sup> <https://pdfs.semanticscholar.org/d7b1/0249c7274c5b5d816134df56c35fada87fa1.pdf>

Lo Stretto di Messina ricade in una zona del bacino del Mediterraneo caratterizzata, nel Quaternario, ed in particolare negli ultimi 700.000 anni, da una geodinamica molto intensa.

La mappa morfo-strutturale dello Stretto di Messina è riportata in Figura 3-5.

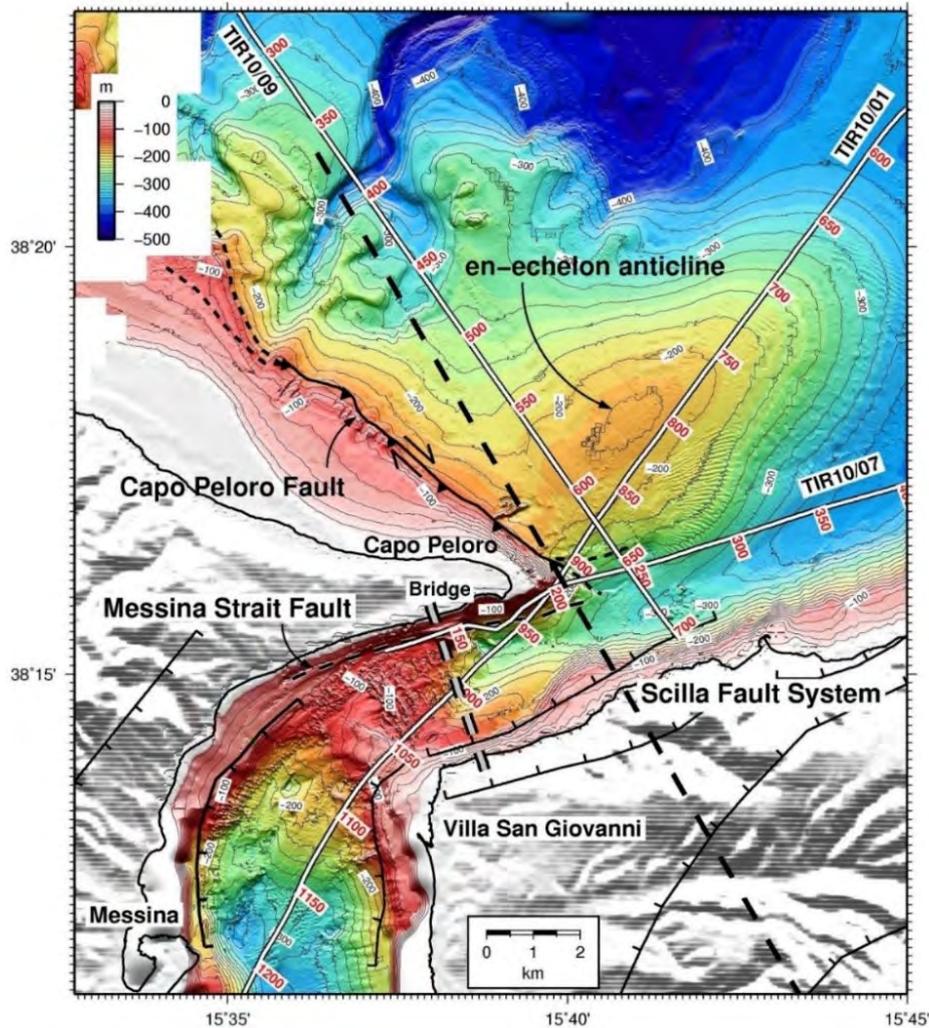


Figura 3-5 Mappa morfo-strutturale dello Stretto di Messina<sup>53</sup>

### 3.2 Cenni di tettonica dello stretto di Messina

Se si osserva la tettonica dello Stretto di Messina da una certa distanza, comprensiva quindi di una buona metà di Sicilia e di Calabria, le cose appaiono abbastanza chiare, ancorché piuttosto complesse. L'arco Calabro Peloritano, nella sua lunga deriva sud est vergente, movimento continuo ed inarrestabile cominciato nel lontano Oligocene (30 Milioni di anni

<sup>53</sup> <https://www.nature.com/articles/srep00970>  
<https://s3.amazonaws.com/cdn-media.teknoiring/2020/06/figura-3.png>



circa), sovrascorre la crosta oceanica ionica (sostanzialmente rocce magmatiche di origine mantellica e molto dense, con le loro coperture sedimentarie); il cosiddetto "slab", ossia la porzione di crosta subdotta, sprofonda gentilmente nel mantello alle spalle dell'arco calabro-peloritano, ovvero al di sotto del mar Tirreno meridionale. La crosta superficiale reagisce a questa dinamica fratturandosi tramite una serie di zone di taglio di vario tipo: faglie inverse che accomodano la subduzione a sud est (sovrascorrimenti, thrust) e faglie normali (o faglie dirette) che accomodano l'estensione che la microplacca calabro - peloritana subisce nella porzione di nord ovest.

La situazione è complicata nella porzione di microplacca calabro - peloritana che per forza di cose si trova a "strisciare" contro la rimanente parte della Sicilia centro occidentale, in un movimento trascorrente destro. Nell'areale dello Stretto di Messina, che rimane nella porzione di microplacca in estensione, sono quindi presenti zone di taglio cosiddette transtensive o transtensionali, ovvero superfici di faglia i cui due lembi non si muovono secondo un movimento puramente estensionale o trascorrente, bensì secondo un insieme dei due.

La Sicilia centrale ed occidentale poi è sottoposta ad un regime deformativo sostanzialmente estensionale, ancorché detta estensione derivi da due compressioni diverse, a nord sottoscorrendo relativamente alla placca sarda (stante Doglioni et al. 2012), a sud sovrascorrendo su porzioni di avanzaese africano e brandelli di Appennino.

La Calabria meridionale e i monti Peloritani invece, come detto, sovrascorrono sulla crosta oceanica ionica. Lo stretto di Messina si trova quindi vicinissimo ad una zona di transizione tra dinamiche crostali complesse ed opposte, da cui la transtensione di cui sopra.

Tutta questa complessa situazione è riassunta nel riquadro in basso a destra riportato nella Figura 3-6.

Il quadro si complica però quando si scende in maggiore dettaglio: lo Stretto è delineato da faglie dirette e transtensive, che ne scolpiscono la topografia, oltre che la tettonica. Le faglie emerse sono ben note e studiate, e facilmente mappabili. Le faglie sommerse sono anche sepolte al di sotto di spessi strati di sedimenti superficiali recenti ed attuali, da cui una certa variabilità delle interpretazioni degli Autori: in pratica si è certi che una grande struttura sismogenetica (una faglia attiva, insomma) sia esistente in un breve spazio, ma non vi è accordo sulla sua esatta posizione.

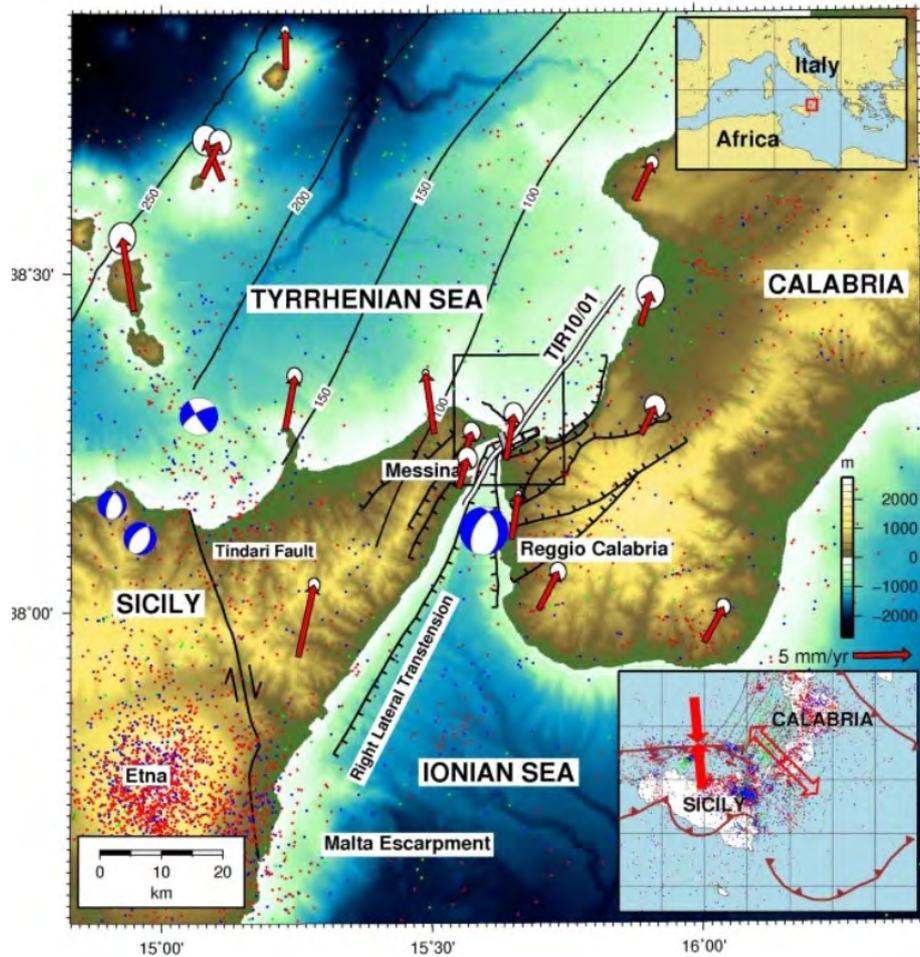


Figura 3-6 Inquadramento geologico dello stretto di Messina<sup>54</sup>

L'area risente quindi di un quadro tettonico molto complesso e, malauguratamente, molto attivo. Il terremoto del 1908 suggerisce l'incredibile quantità di energia che queste strutture possono rilasciare e, da quanto si capisce, il tempo di ritorno di simili sismi è tutt'ora oggetto di discussione<sup>55</sup>. La struttura sismogenetica principale potrebbe essere localizzata anche oltre 3 km dalla superficie topografica del fondo marino, e non facilmente visibile sulla topografia del fondale. Molte faglie attive sono presenti e riconosciute nei lavori più recenti (Figura 3-7).

<sup>54</sup> "Doglioni, C., Ligi, M., Scrocca, D. et al. The tectonic puzzle of the Messina area (Southern Italy): Insights from new seismic reflection data. *Sci Rep* 2, 970 (2012). <https://doi.org/10.1038/srep00970>" e bibliografia. Di particolare interesse sono le tracce delle faglie normali emerse e sommerse (linee nere con barbette), gli ipocentri dei terremoti segnalati dai puntini, divisi per fasce di colori in funzione della profondità (rossi, blu e verdi, rispettivamente < 15km, tra 15 e 35km e > 35km), i conseguenti meccanismi focali che delineano un quadro transtensionale attivo. Nel riquadro in basso a destra è riportata la situazione tettonica regionale, caratterizzata da coesistenza di compressione nel settore settentrionale della Sicilia ed estensione nella Calabria meridionale.

<sup>55</sup> Aloisi, M. & Bruno, Valentina & Cannavò, Flavio & Ferranti, Luigi & Mattia, Mario & Monaco, Carmelo. (2014). Reply to 'Comments on the paper "Are the source models of the M 7.1 1908 Messina Straits earthquake reliable? Insights from a novel inversion and sensitivity analysis of levelling data" by Aloisi et al. (2012)'. *Geophysical Journal International*. 197. 10.1093/gji/ggu116.

[https://www.researchgate.net/publication/235612397\\_Are\\_the\\_source\\_models\\_of\\_the\\_M\\_7\\_1\\_1908\\_Messina\\_Straits\\_earthquake\\_reliable\\_Insights\\_from\\_a\\_novel\\_inversion\\_and\\_a\\_sensitivity\\_analysis\\_of\\_Loperfido\\_1909\\_leveling\\_data](https://www.researchgate.net/publication/235612397_Are_the_source_models_of_the_M_7_1_1908_Messina_Straits_earthquake_reliable_Insights_from_a_novel_inversion_and_a_sensitivity_analysis_of_Loperfido_1909_leveling_data)

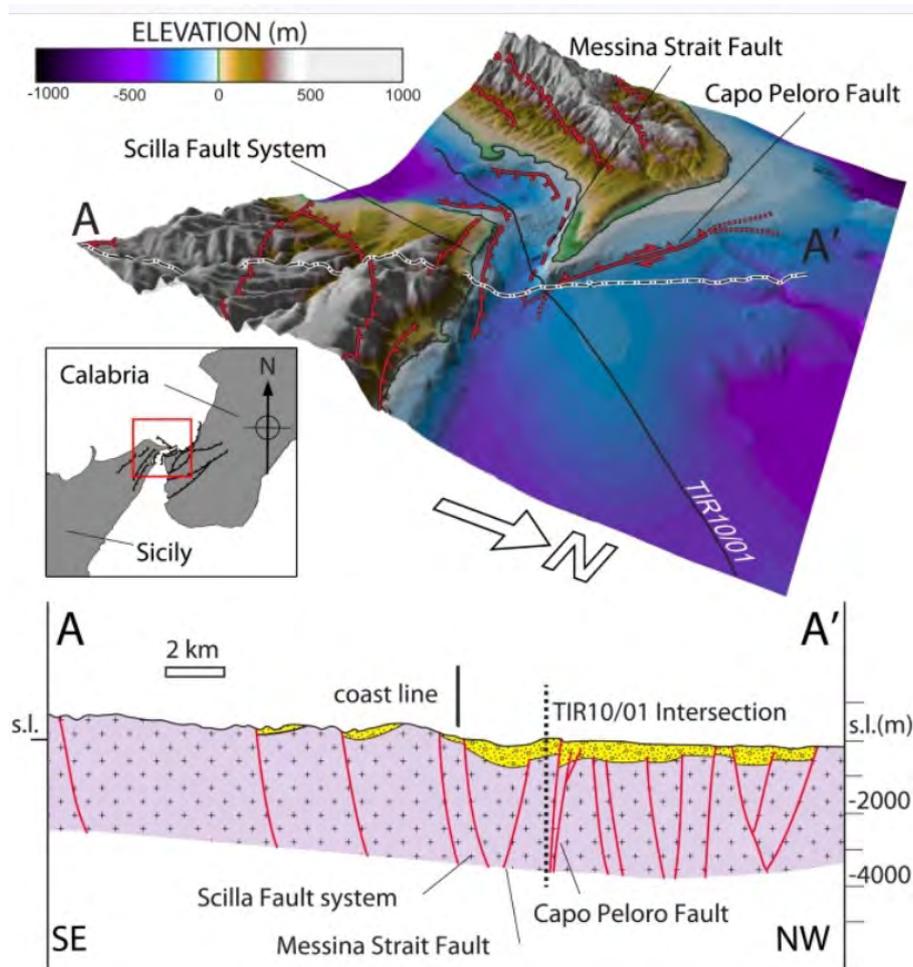


Figura 3-7 Interpretazione tettonica dello stretto di Messina<sup>56</sup>

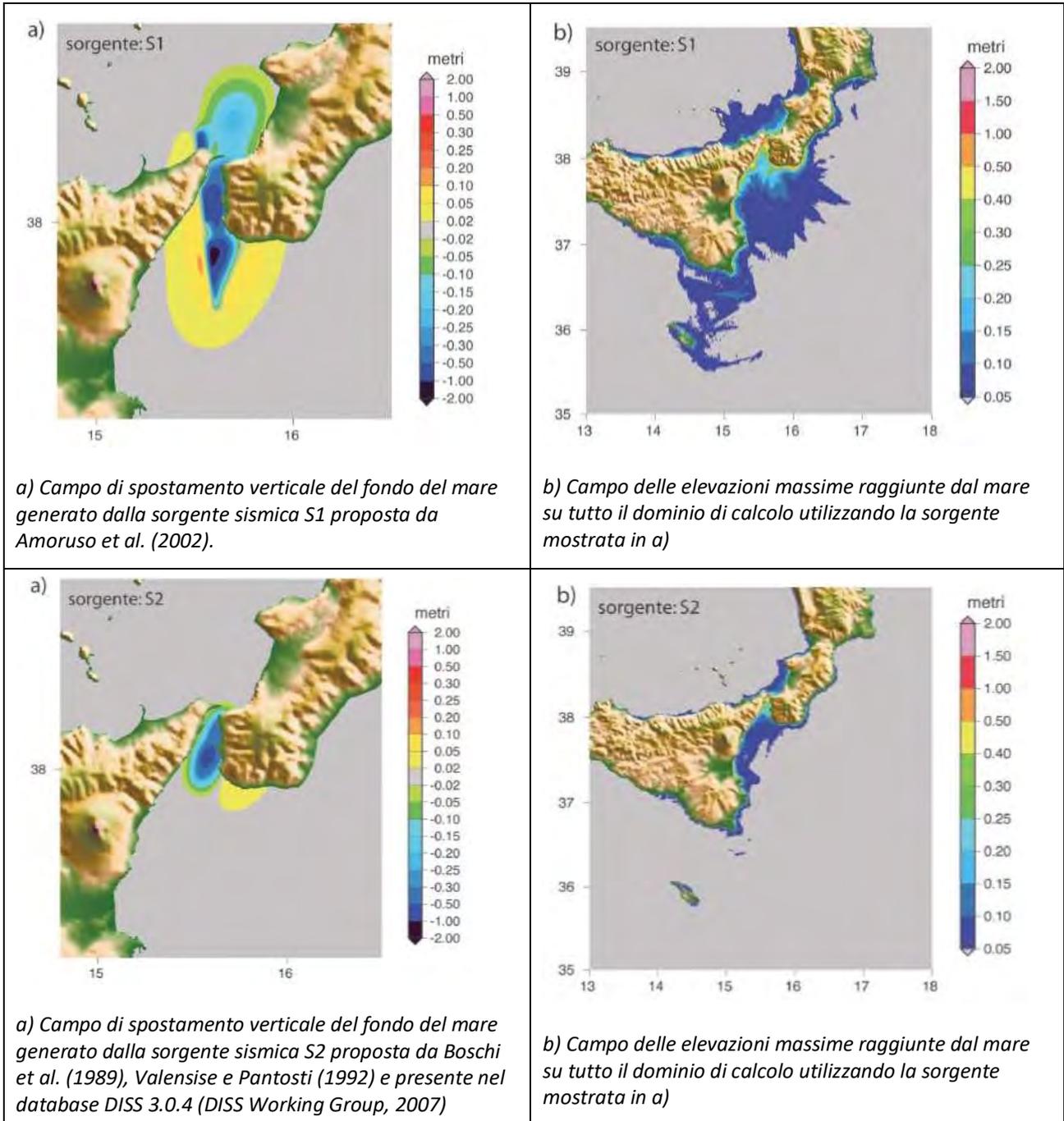
L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha pubblicato un articolo di Alessio Piatanesi e altri dal titolo "Il grande maremoto del 1908: analisi e modellazione<sup>57</sup>", estratto dal volume "Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908: analisi sismologica, impatto, prospettive", a cura di G. Bertolaso, E. Boschi, E. Guidoboni e G. Valensise, DPC-INGV, Roma-Bologna 2008.

Nell'articolo vengono dibattute varie ipotesi relative alle sorgenti sismiche che hanno determinato il maremoto manifestatosi a seguito del terremoto del 28 dicembre 1908, basandosi sulle rilevazioni a terra relative alle variazioni in altezza dei terreni e delle onde del mare.

<sup>56</sup> da Doglioni et al. 2012. Di particolare interesse è la sezione che, sebbene posizionata svariate decine di km a sud ovest dell'area di interesse, può essere utilizzata per posizionare le strutture tettoniche attive nella porzione di stretto studiata in questa fase preliminare, in attesa di ulteriori e specifiche indagini.

<sup>57</sup> [https://ingvterremoti.com/wp-content/uploads/2020/12/2008\\_SGA\\_Messina1908\\_pag\\_183-196\\_Piatanesi.pdf](https://ingvterremoti.com/wp-content/uploads/2020/12/2008_SGA_Messina1908_pag_183-196_Piatanesi.pdf)

Le ipotesi dibattute fanno riferimento a tre possibili sorgenti principali e ad alcune combinazioni di esse (S1, S2, S3 e S4=S1+S3 e S5=S2+S3). Figura 3-8 Sorgenti sismiche del terremoto del 28 dicembre 1908



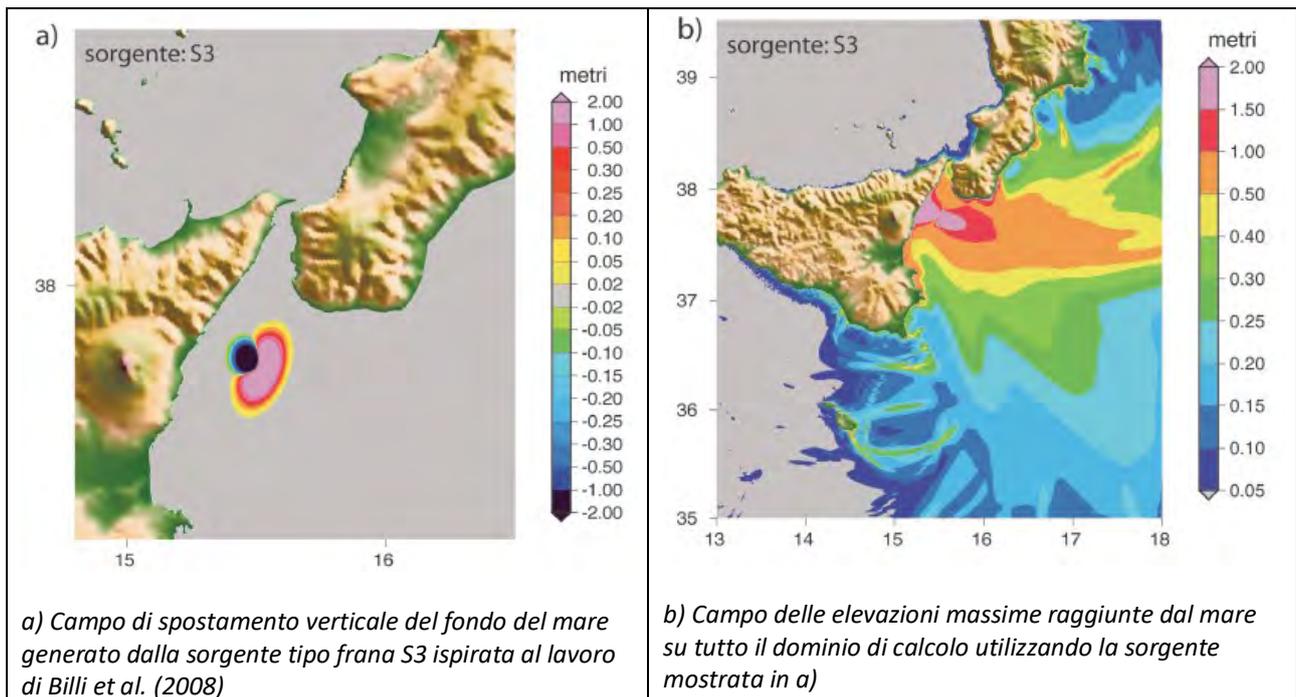


Figura 3-8 Sorgenti sismiche del terremoto del 28 dicembre 1908

*“Il confronto qualitativo e quantitativo dei dati di run-up misurati e simulati lungo la costa siciliana e calabrese fornisce un quadro contraddittorio. Se da una parte le sorgenti basate sulla dislocazione del fondo marino per effetto del terremoto (S1 e S2) generano maremoti le cui altezze massime sono 3-4 volte più piccole di quelle realmente osservate, dall'altra sembrano essere quelle che meglio riproducono l'andamento relativo della distribuzione delle altezze di run-up. Viceversa, la sorgente tsunamigenica S3, che consiste in una frana sottomarina, è in grado di riprodurre le altezze massime osservate, ma ha la tendenza a concentrare gli effetti lungo un tratto di costa molto più piccolo rispetto a quanto osservato nella realtà.*

*Le sorgenti ibride S4 e S5, per le quali agli effetti della sorgente sismica si aggiunge quello della frana, sono dominate dalla componente franosa e producono effetti sostanzialmente identici alla sorgente S3”.*

Dai risultati prodotti da questo lavoro dell'Istituto di vulcanologia, nonostante l'evoluzione modellistica, la determinazione delle cause del maremoto dello Stretto di Messina del 1908 resta un problema aperto. Vale la pena però sottolineare che la zona della Sella dello Stretto sembrerebbe essere stata coinvolta dal maremoto in modo meno significativo rispetto ad altre.

Gli studi sull'argomento continuano e tra questi si segnala la ricerca dal titolo “The Messina Strait: Seismotectonics and the Source of the 1908 Earthquake” che è stata pubblicata sulla

prestigiosa rivista internazionale 'Earth-Science Reviews'<sup>58</sup> (G.Barreca, F.Gross, L.Scarfi, M.Aloisi, C.Monaco, S.Krastele 2021) Figura 3-9.

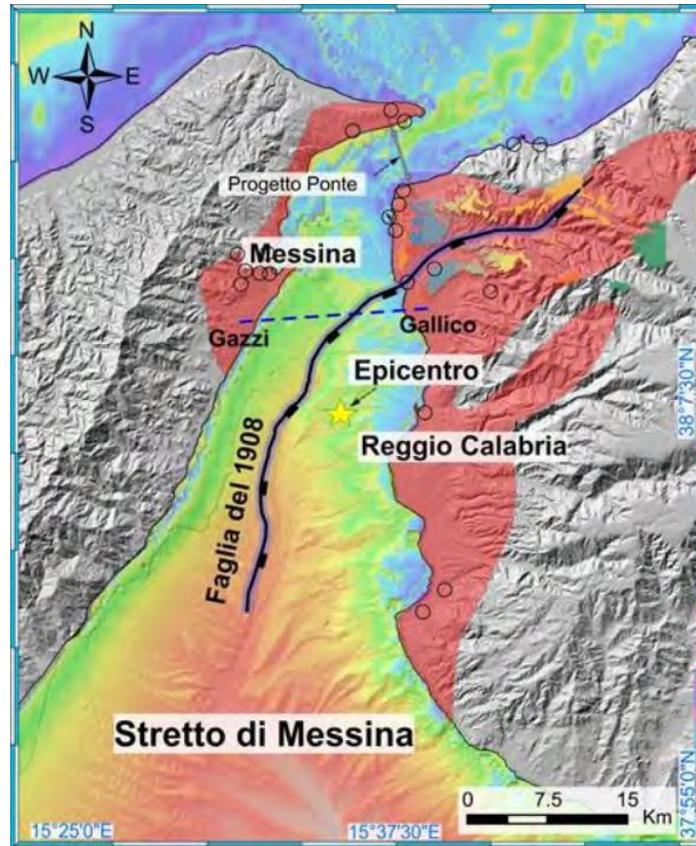


Figura 3-9 La faglia responsabile del terremoto del 1908 mappata lungo l'asse dello Stretto di Messina ed in Calabria meridionale

### 3.3 Idrodinamica e regime delle maree

Nonostante abbia piccole dimensioni, essendo caratterizzato da larghezza pari a circa 3 km e lunghezza pari a circa 20 km, lo Stretto di Messina riveste una particolare importanza in termini di circolazione idrodinamica, essendo sede di correnti marine notevolmente articolate ed intense (Mosetti, 1988; Tomasin e Tomasino, 1983).

Per rappresentare in modo molto semplice quanto avviene nello Stretto si pensi che quando il mar Tirreno presenta bassa marea al confine settentrionale del canale, il contiguo mar Ionio si trova in fase di alta marea ed il contrario avviene al successivo cambio di marea. Il dislivello che si viene a creare (fino a 27 cm) determina che periodicamente le acque dell'uno e dell'altro bacino si riversino in quello contiguo. Più in particolare, in fase di "corrente scendente" (nord-sud) le acque tirreniche più leggere (a minore densità) scorrono sulle ioniche più pesanti (a maggiore densità) fino a che l'intera parte centrale dello Stretto è

<sup>58</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825221001860>

riempita da queste acque fluenti verso sud. All'opposto, con il predominio della "corrente montante" (Sud-Nord), acque ioniche più pesanti interesseranno il centro del bacino affondando sulle acque tirreniche più leggere che, in precedenza, occupavano lo stretto per versarsi quindi nel Tirreno una volta oltrepassata la sella Ganzirri – Punta Pezzo dove si riscontra la minore profondità (80–120 m) e la minore ampiezza (3.150 m) dello stretto di Messina.

L'incontro delle due masse d'acqua (ionica e tirrenica) determina l'insorgenza di una serie di fenomeni che sono ascrivibili all'instabilità dinamica che si viene a creare e che si disperde nelle ben note spettacolari manifestazioni di turbolenza-

Infine, la soglia di P. Pezzo e la particolare morfologia del fondale marino complicheranno ulteriormente i fenomeni descritti.

Le correnti di marea dello Stretto di Messina sono dei fenomeni armonici con periodo semidiurno (due montanti e due scendenti in 24 ore circa) e i loro valori massimi variano armonicamente con il periodo lunare (28 giorni circa) (

Figura 3-10).

Particolari situazioni meteorologiche possono aumentare i valori di velocità anche del 20 ~ 25% portando, almeno le correnti superficiali, a valori di 7 ~ 7,5 nodi (pari a circa 14 km/h).

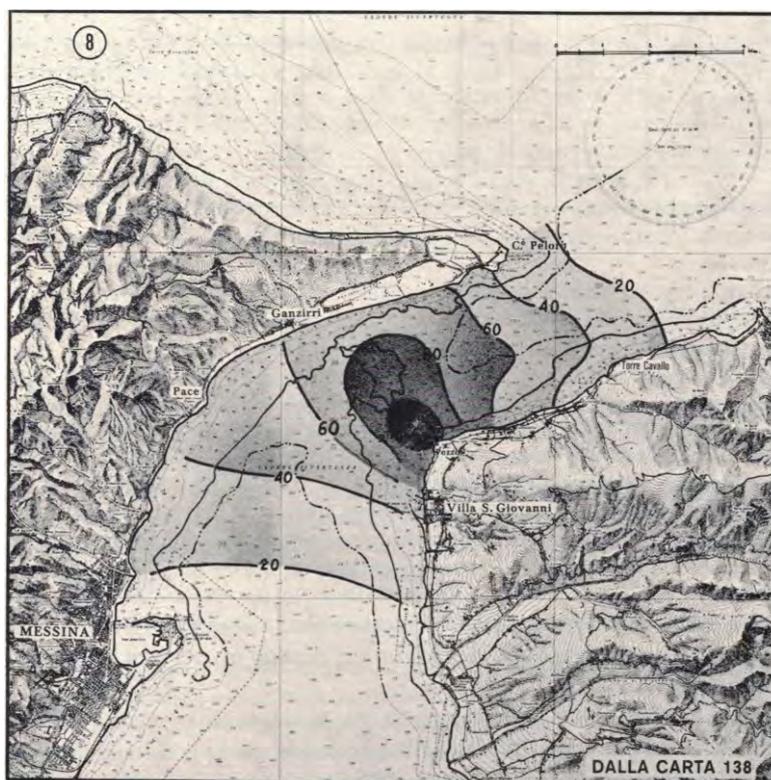


Figura 3-10 Indicazione relativa alla variabilità dei valori delle correnti marine dello Stretto<sup>59</sup>

<sup>59</sup> [https://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/correnti-marine/2011/171-rds-pdf](https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/correnti-marine/2011/171-rds-pdf)



### 3.4 Venti

Lo stretto di Messina è la più grande «galleria del vento naturale» esistente nel mar Mediterraneo<sup>60</sup>.

Data la particolare “conformazione” ad imbuto rovesciato verso nord e aperto a sud, ogni qual volta che spirano gli umidi venti dai quadranti meridionali, che dalle coste africane risalgono verso il Canale di Sicilia e lo Ionio, sullo stretto di Messina le correnti aeree possono divenire particolarmente impetuose negli strati bassi, dando luogo a intense burrasche e nei casi più estremi ad autentiche bufere, con venti che possono superare lo stadio di uragano, con raffiche di oltre i 130-140 km/h. In questi casi, sullo Stretto i venti dai quadranti meridionali tendono ad incanalarsi in questa grande “galleria del vento naturale” rafforzandosi sensibilmente durante la risalita da Sud a Nord e agitando rapidamente l'intero bacino. Si genera così il cosiddetto “effetto Venturi” che con il graduale restringimento della sezione, man mano che ci avviciniamo all'imboccatura nord, causa una conseguente e netta intensificazione del flusso eolico che raggiunge i picchi di velocità proprio nell'estrema parte nord della strettoia, fra Capo Peloro e Cannitello, dove non di rado le fortissime raffiche che risalgono da Sud, per piegare più verso S-SO attorno Capo Peloro, raggiungono o superano abbondantemente la soglia dei 100-120 km/h, mentre lungo l'imboccatura sud e nella parte centrale non si superano neppure i 70-80 km/h.

Un contributo decisivo per lo studio dell'ambiente atmosferico dello Stretto è stato fornito dalle apparecchiature anemometriche e termo-igrometriche installate a varie altezze sui piloni calabro e siculo dell'elettrodotto ENEL.

La tabella seguente è stata estratta dagli atti del convegno dell'Accademia Nazionale dei Lincei n°43 “L'attraversamento dello Stretto di Messina e la sua fattibilità”, Roma 4-6 luglio 1978, “L'ambiente atmosferico sullo Stretto di Messina”, A. Cicala.

La velocità massima del vento stimata tra il livello del mare e 500 m di quota è di 185 km/h sia con vento di scirocco, che con ponente e maestro. Valori superiori ai 185 km/h preventivati o di progetto possono verificarsi solo come fenomeno imponderabile, che esuli dai normali criteri di studio e di controllo della situazione meteorologica.

---

<sup>60</sup> <http://www.meteoweb.eu/2012/05/lo-stretto-di-messina-la-piu-grande-galleria-del-vento-naturale-esistente-nel-mar-mediterraneo/133169/>



Denominazione del vento	Settore di provenienza (per Messina)	VENTO			
		Da debole a moderato $v \leq 60$ km/h (gg/anno)	Da forte a molto forte $60$ km/h < $v$ < $100$ km/h (gg/anno)	Da fortissimo a eccezionale $v \geq 100$ km/h (gg/anno)	Totale (gg/anno)
<b>Tramontana Grecale (estate)</b>	010° - 070°	33	2	0	35
<b>Levante</b>	080° - 130°	5	0	0	5
<b>Scirocco</b>	140° - 200°	77	9	7	93
<b>Libeccio o Ponente e Libeccio</b>	210° - 280°	22	2	1	25
<b>Maestrale</b>	290° - 360°	133	12	6	151
<b>Calma di vento o quasi calma</b>	-	-	-	-	56
TOTALE gg.		270	25	14	365

Tabella 3-1 Velocità del vento nello stretto di Messina

### 3.5 Studi sulla zona

Sullo stretto di Messina sono stati condotti studi e ricerche da parte di numerosi ricercatori di Enti e università nazionali e internazionali, che hanno operato anche in tempi successivi agli studi effettuati per la progettazione del ponte sullo stretto. Tra questi segnaliamo gli studi dell'Enea (Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile) condotti insieme a diverse università pubblicati tra il 2013 e il 2015:

1. ENEA WebTV - Storie di Ricerca... E riemerse il ponte sullo stretto<sup>61</sup>
2. ENEA WebTV - 20mila anni fa, c'era una volta il ponte sullo stretto...<sup>62</sup>
3. Timing of the emergence of the Europe–Sicily bridge (40–17 cal ka BP) and its implications for the spread of modern humans<sup>63</sup> (Figura 3-11).
4. Modello di circolazione dello stretto di Messina<sup>64</sup>
5. Stretto di Messina - velocità<sup>65</sup>
6. Stretto di Messina - temperatura<sup>66</sup>
7. Stretto di Messina - salinità<sup>67</sup>

<sup>61</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=D9bCUnSxUKY>

<sup>62</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=Z4clew\\_h8BI](https://www.youtube.com/watch?v=Z4clew_h8BI)

<sup>63</sup> <https://www.researchgate.net/publication/265591798>

<sup>64</sup> [https://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/correnti-marine/2011/171-rds-pdf](https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/correnti-marine/2011/171-rds-pdf)

<sup>65</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=PTR79vLzbpw>

<sup>66</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=yyTnhCgEpf8>

<sup>67</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=Uro7FC4eIDl>



L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) a partire dalla fine degli anni '80 ha avviato il Progetto per la realizzazione della cartografia geologica nazionale in scala 1:50.000 (Progetto CARG - Cartografia geologica e geotematica<sup>68</sup>), che non è ancora stato ultimato<sup>69</sup>. Tra l'altro non è stato ancora prodotto il foglio 588 relativo allo stretto di Messina tra Villa San Giovanni e Ganzirri<sup>70</sup>.

Attualmente l'ISPRA pubblica la Carta geologica in scala 1:100.000 dell'intero territorio nazionale<sup>71</sup>, costituita da 277 fogli, i cui lavori di predisposizione iniziarono nel 1877 e furono completati nel 1976.

Gli studi geologici condotti dalla Società Stretto di Messina sono stati predisposti ai fini della realizzazione del ponte a campata unica. Nel caso in cui si dovessero prendere in considerazione altre soluzioni di attraversamento, sarebbe indispensabile eseguire rilievi dettagliati relativi al sottosuolo della Sella dello Stretto per poter progettare correttamente sia le fondazioni dei moli dei piloni dei possibili ponti sospesi, che il numero, tipologia, posizione e dimensioni dei giunti antisismici dei tunnel sottomarini per superare le faglie. Oltre ai metodi classici condotti tramite rilievi diretti offshore e onshore, attualmente possono essere utilizzati anche metodi, software specialistici e grandi elaboratori in grado di ridurre in modo significativo i tempi di elaborazione dei dati<sup>72</sup>.

---

<sup>68</sup> <https://www.isprambiente.gov.it/it/servizi/il-servizio-geologico-ditalia>

<sup>69</sup> <https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/index.html>

<sup>70</sup> <https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/sicilia.html> o  
<https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/calabria.html>

<sup>71</sup> [http://193.206.192.231/carta\\_geologica\\_italia/default.htm](http://193.206.192.231/carta_geologica_italia/default.htm)

<sup>72</sup> Il sottosuolo in 3D: l'imaging sismico - <https://www.youtube.com/watch?v=-1bA9sKiMKo> e  
<https://www.youtube.com/watch?v=q3rsJ7ToGmU>

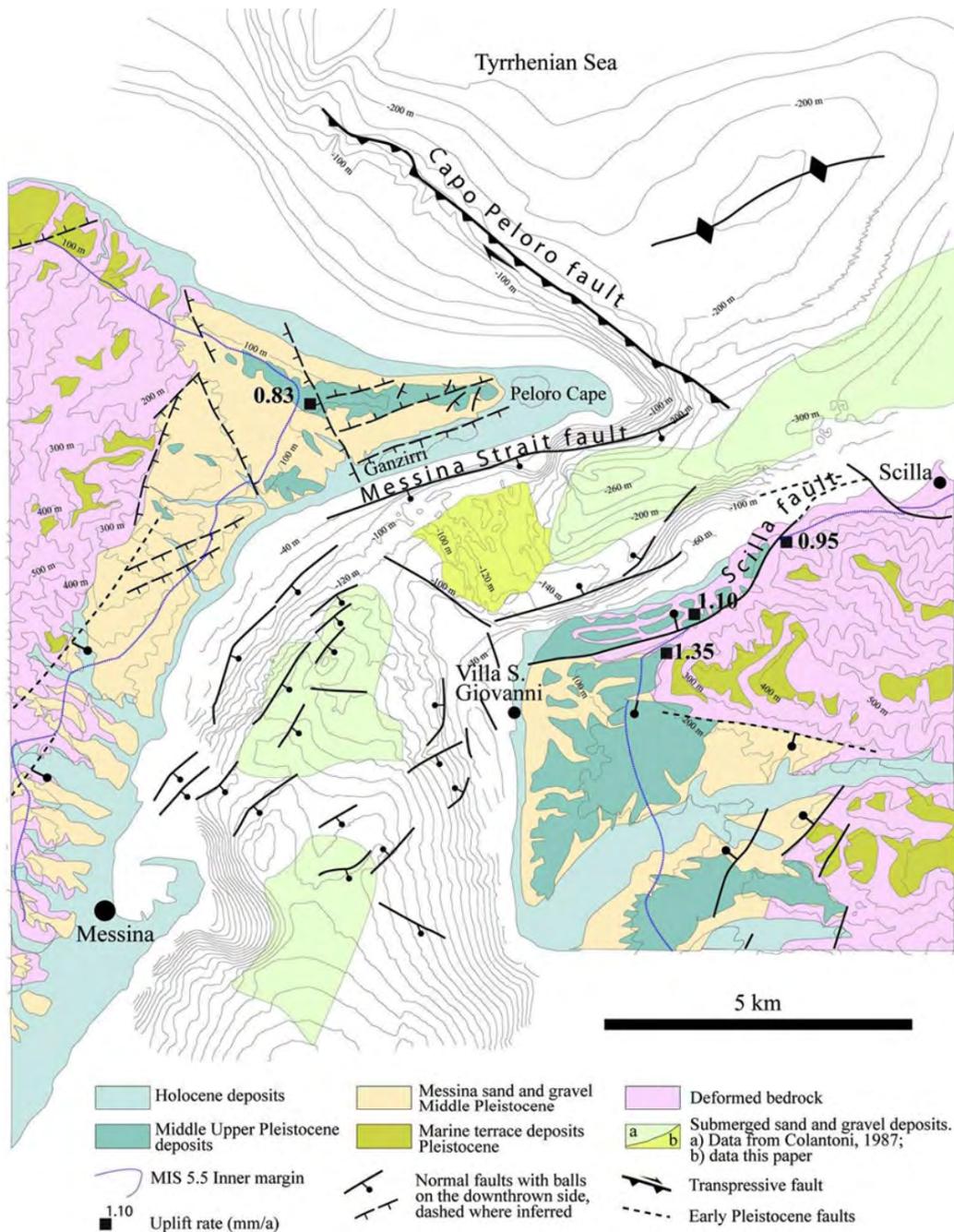


Figura 3-11 Mappa geologica e strutturale sintetica che mostra l'ambientazione morfostrutturale dell'area dello Stretto<sup>73</sup>

<sup>73</sup> Fonte: <https://www.researchgate.net/publication/265591798> Timing of the emergence of the Europe-Sicily bridge 40-17 cal ka BP and its implications for the spread of modern humans



## **4 ASSETTO URBANISTICO – TRASPORTISTICO E MOBILITÀ DELLA CITTA' DELLO STRETTO**

### **4.1 L'assetto urbanistico dell'area dello Stretto e le sue potenzialità**

Nel momento in cui si riprende il tema del collegamento stabile sullo Stretto di Messina, occorre chiarire preliminarmente quale debba essere la sua funzione, quale tipo di correnti di mobilità debba servire, quale strategia di sviluppo sia implicita nella sua realizzazione.

Il ponte sullo Stretto era stato previsto per servire prevalentemente il traffico di lunga distanza, nazionale e internazionale; tra il continente e la Sicilia.

Questa funzione, oltre che ampiamente dichiarata, era riscontrabile nella configurazione del progetto che connetteva il sistema autostradale e la rete ferroviaria nazionale e serviva gli insediamenti, soprattutto sulla costa calabra, con tracciati stradali e ferroviari meno diretti.

Infatti, perché il ponte potesse raggiungere la quota d'imposta e per la necessità di collocarsi nel punto più stretto del braccio di mare, non avrebbe potuto collegare direttamente le città dello Stretto. Pertanto, esso sarebbe stato prevalentemente al servizio del traffico nazionale ed internazionale e meno di quello urbano: dal punto di vista della mobilità urbana le due città non sarebbero rimaste del tutto connesse.

Tuttavia, ormai sappiamo che quantità di traffico nazionale ed internazionale che attraversa lo Stretto, quella rilevata allora e a maggior ragione l'attuale, non era e non sarà mai tale da non poter essere smaltita, anche se con tempi più lunghi, da un efficiente sistema di traghetti.

Lo hanno dimostrato i miglioramenti, conseguiti in questi anni, nel traghettamento. Miglioramenti che possono ancora essere conseguiti incrementando l'uso di naviglio bidirezionale (traghetti stradali) e di maggiori dimensioni.

Inoltre, buona parte del traffico pesante che si muove dal Nord Italia alla Sicilia e viceversa preferisce utilizzare direttamente i traghetti marittimi, da Genova o da altri porti, risparmiando un lungo percorso stradale (Figura 4-1).



Figura 4-1 Rotte delle “autostrade del mare” italiane (Short Sea Shipping)

Infine, una sempre maggiore parte degli spostamenti di persone tra la Sicilia e il resto d’Italia e l’estero si avvale del mezzo aereo, in particolare per quanto riguarda la domanda internazionale.

È quindi necessario, in questa fase, ricostruire un’efficiente strategia per il collegamento fisso, che sia durevole nel tempo e possa consentire costante sviluppo.

Per questo è necessario considerare preliminarmente la situazione urbanistica dell’area dello Stretto, la configurazione degli insediamenti, la loro popolazione e le tendenze della mobilità.

L’area dello Stretto con le tre città di Reggio Calabria, Messina e Villa San Giovanni conta poco meno di 500.000 abitanti (421.693 al 31.12.2019). Ancora maggiore è il bacino urbano allargato fino a Catania e Patti da una parte e Rosarno e Melito Porto Salvo dall’altra. (Figura 4-2).

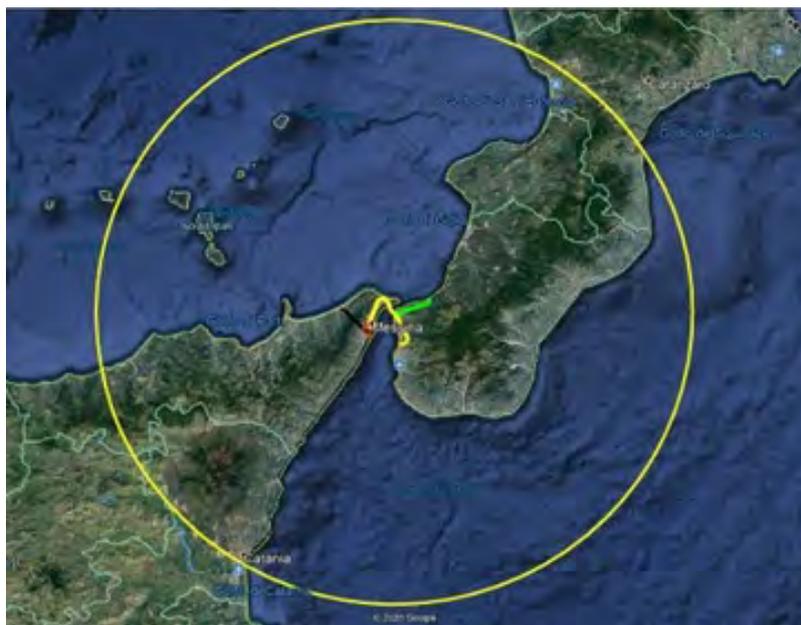


Figura 4-2 - Area dei trasporti Suburbani della futura Città dello Stretto

Le relazioni urbane sulle due coste sono molto intense. Sulla costa siciliana l'abitato di Messina è molto esteso e l'insieme degli insediamenti costieri e di mezza costa costituisce sistema quasi continuo, fino a Catania. Sulla sponda calabra il continuo insediativo va da Melito Porto Salvo fino a Scilla con estensione a Nord fino a Gioia Tauro e Rosarno, comprendendo Reggio Calabria che si estende per circa 28 chilometri di costa.

Va tenuto presente, inoltre, che Messina, Catania e Reggio Calabria sono Città Metropolitane ed insieme, al 31.12.2019, contavano 2.282.587 abitanti.

Se si tiene conto solo degli insediamenti direttamente collegati dalle infrastrutture di trasporto costiere si hanno i dati di cui alla tabella 4-1, che mostra una popolazione di 1.165.048 abitanti.

Tutta quest'area vanta una mobilità interna di elevato livello. Tuttavia, questa mobilità rimane sulle due sponde e solo in minima parte attraversa lo Stretto, benché alcune funzioni siano distribuite su entrambe le sponde, in particolare il sistema universitario, che vede le varie facoltà insediate alternativamente a Reggio o a Messina.

La barriera fisica del braccio di mare, infatti, incide molto sulle relazioni, la mobilità attraverso lo Stretto è molto meno sviluppata di quella che si svolge sulle sponde (dei 253 milioni di spostamenti/anno che si contavano nell'area di Reggio, Messina e Villa san Giovanni nel 1992, quando furono eseguiti i rilevamenti di mobilità dall'ENI, solo poco più di due milioni attraversavano lo Stretto).



<b>COSTA SICILIA IONICA</b>	<b>POPOLAZIONE</b>
Messina	229.565
Roccalumera	4.073
Letojanni	2.846
Taormina	10.844
Giardini Naxos	9.337
Calatabiano	5.192
Fiumefreddo	9.347
Mascalì	14.429
Riposto	14.504
Santa Venerina	8.547
Acireale	51.876
Aci Catena	28.856
Aci Castello	18.310
Giarre	27.417
Catania	311.402
<b>TOTALE</b>	<b>737.208</b>

<b>COSTA SICILIA TIRRENICA</b>	<b>POPOLAZIONE</b>
Rometta	6.537
Milazzo	30.860
Bacellona pozzo di Gotto	41.004
Patti	13.066
Gioiosa Marea	6.880
Brolo	5.829
Naso	3.623
Capo d'Orlando	13.249
Torrenova	4.490
S. Agata di Militello	12.209
Acquedolci	5.577
<b>TOTALE</b>	<b>143.324</b>

<b>COSTA CALABRIA</b>	<b>POPOLAZIONE</b>
Rosarno	14.978
San Ferdinando	4.701
Gioia Tauro	20.003
Palmi	18.505
Seminara	2.609
Bagnara	9.883
Scilla	4.798
Villa San Giovanni	13.368
Reggio Calabria	178.760
Motta San Giovanni	5.937
Montebello ionico	5.970
Melito Porto Salvo	10.941
<b>TOTALE</b>	<b>284.516</b>

<b>Totale Area costiera dello Stretto</b>	<b>1.165.048</b>
---	------------------

Tabella 4-1 Popolazione dell'area costiera dello Stretto (al 31.12.2019)



Oggi, come si è detto, la Città dello Stretto è già una realtà solo per il sistema universitario.

Ne consegue che una mobilità urbana integrata, in caso di collegamento delle due sponde, sarebbe in grado di giustificare ampiamente l'opera (consentendo contemporaneamente il servizio del traffico nazionale e internazionale). Si avrà la creazione di un'unica città di 500.000 abitanti oltre a un'unica area di mobilità, di oltre un milione di abitanti, che si estende sulle quattro coste che si dipartono dallo Stretto in Calabria e in Sicilia.

Se poi si considera tutto l'ambito degli insediamenti e degli spostamenti che si possono generare sulle quattro direttrici che si dipartono dallo Stretto, sulle coste tirreniche della Sicilia e della Calabria e sulle coste ioniche della Calabria, così come rappresentate in Figura 4-2, si ottiene un bacino di ben maggiore consistenza.

Infatti, contando per gli insediamenti più lontani della costa tirrenica solo quelli con buona accessibilità alla ferrovia e al sistema autostradale, si ottiene una popolazione di 1.165.048 abitanti, con un PIL al 2017 (ultimo dato Istat) di 18,6 miliardi di euro (Tabella 4-2).

Valore aggiunto per abitante 2017	Popolazione	V. A. (€)	Totale €x1000
Area dello Stretto Reggio Calabria	284.516	15.365,30	4.371.673,69
Area dello Stretto Messina	390.652	16.109,90	6.293.364,65
Area dello Stretto Catania	489.880	16.218,80	7.945.265,74
<b>Totale area dello Stretto</b>	<b>1.165.048</b>		<b>18.610.304,09</b>

Tabella 4-2 – Valore aggiunto nell'area dello Stretto. Fonte: ISTAT

Nello stesso anno il valore aggiunto pro-capite dell'Italia era di € 25.314, il che mostra che, con infrastrutture e politiche adeguate, esiste una ampia possibilità di ulteriore crescita per le provincie considerate.

Stime più recenti del Sole 24 ore attribuiscono al reddito prodotto dell'area poco meno di 21 miliardi di euro per il 2019.

Questo bacino, disponendo di infrastrutture adeguate, con i tassi di mobilità stimabili in circa due spostamenti/abitante/giorno o più, può produrre una mobilità di oltre due milioni di spostamenti al giorno (Tabella 4-3).

La mobilità rilevata dall'ENI nel 1993 era di 1,6 spostamenti abitante nelle 24 ore.				
Pertanto: con il tasso di mobilità del 1996	909.321x1,6=	1.452.451	spostamenti al giorno nell'area	
Tuttavia il tasso di mobilità è aumentato nel tempo, pertanto è più ragionevole che il tasso di mobilità sia almeno di 2 o 2,3 spostamenti al giorno. Quindi:				
1.165.048x2=	<b>2.330.096</b>			
1.165.048x2,3=	<b>2.679.610</b>			
La mobilità dell'area dello Stretto; una volta che sia realizzato il collegamento; si porrà tra <b>2,3 e 2,6 milioni di spostamenti al giorno</b>				

Tabella 4-3 – Mobilità prevista nell'area dello Stretto

Quindi, l'orizzonte strategico su cui ripensare l'infrastruttura di collegamento non è tanto il mero attraversamento, ma l'assetto dell'area dello Stretto consentito dalla connessione



stabile e le possibilità di sviluppo della città che si verrà a creare, e la conseguente necessaria capacità dell'infrastruttura.

La costruzione della “Città dello Stretto”, tramite il collegamento stabile, comporterà di gran lunga le maggiori e migliori opportunità di sviluppo per tutta l'area, senza altri costi.

## **4.2 Assetto delle reti e costruzione della Città dello Stretto**

La configurazione delle reti di trasporto, ferroviaria e stradale, fornirà il supporto per la costruzione e il funzionamento della Città dello Stretto. Vista l'ingente massa di spostamenti urbani sarà necessario sviluppare soprattutto il collegamento di tipo metropolitano sul trasporto pubblico, utilizzando la rete ferroviaria che già si estende sulle quattro coste che si dipartono dallo Stretto,

Pertanto, occorrerà scegliere la configurazione e la tecnologia dell'attraversamento affinché il collegamento su ferro sia il più rapido possibile e consenta diramazioni per tutti i poli, grandi e piccoli, del sistema insediativo dello Stretto.

Andrà individuata la localizzazione dei nodi principali in modo da minimizzare i tempi del loro raggiungimento da parte del maggior numero possibile di abitanti.

Infatti, il collegamento stabile su ferro, se realizzato su un tracciato più diretto per il servizio agli insediamenti, consentirà di mettere in comunicazione i quattro assi ferroviari che potranno costituire un sistema di totale accessibilità urbano-regionale dell'area dello Stretto:

- verso Gioia Tauro sulla costa tirrenica calabrese;
- verso Locri, sulla costa ionica calabrese;
- verso Milazzo-Barcellona P.G. sulla costa tirrenica siciliana;
- verso Catania, sulla costa ionica siciliana.

I futuri servizi ferroviari dell'Area dello Stretto si potranno basare su 6 linee (che potrebbero essere ridotte a 5 considerando che non è opportuno attivare il collegamento diretto 1-2 senza passare per Messina).

L'esercizio di questo sistema ferroviario di area urbana sarà reso possibile dal transito sia dei treni nazionali sia di quelli regionali e locali, con margini di capacità per ospitare tutti i servizi. Tutti i treni potrebbero confluire in due stazioni principali a Reggio e a Messina, dove sarà consentito lo scambio tra tutte le linee.



Nelle soluzioni di attraversamento di seguito proposte, queste stazioni d'interscambio hanno sedi diverse, in relazione alla tecnologia adottata, ma sono sempre funzionali allo scambio totalitario della mobilità urbana e lungo le quattro sponde.

Nel tratto urbano queste linee costituiranno un efficiente servizio di metropolitana delle tre città principali: Messina, Reggio e Villa S. Giovanni. La presenza sulla linea dei treni nazionali, regionali e locali consentirà frequenze molto elevate sui rami più prossimi all'attraversamento (nell'urbano di Reggio e Messina).

Questo tipo di collegamento consentirà anche di scoprire l'importanza di luoghi urbani estremamente significativi nella vasta urbanizzazione reggina e messinese. Catona e Gallico, ora insediamenti periferici di Reggio; Reggio Centrale e la stazione di Messina (Maregrossa o Messina Centro) con Annunziata e Papardo diverranno luoghi privilegiati dall'accessibilità, con le funzioni loro associate, destinati a ricoprire un importante ruolo nella "Città dello Stretto". In particolare, gli insediamenti universitari saranno direttamente accessibili.

Anche tutti i luoghi toccati dalle numerose stazioni del servizio metropolitano godranno di notevoli caratteristiche di accessibilità e potranno diventare altrettanti centri di ulteriore sviluppo urbano.

È evidente che anche il collegamento stradale trarrà giovamento da un tracciato più diretto, come risulta in tutte le tre proposte. Anche questo godrà d'importanti interscambi che renderanno altamente accessibili le funzioni della Città dello Stretto.

### **4.3 Area Metropolitana e Area Integrata dello Stretto – Primi atti istituzionali**

Un primo passo nell'auspicato processo di integrazione territoriale fra le due sponde opposte dello Stretto e di costituzione della Città dello Stretto è stato fatto negli anni recenti per iniziativa congiunta delle rispettive amministrazioni regionali.

Nel marzo 2019 la Regione Siciliana, la Regione Calabria, la Città Metropolitana di Messina, la Città Metropolitana di Reggio Calabria e la Conferenza permanente interregionale per il coordinamento delle politiche nell'Area dello Stretto hanno sottoscritto l'accordo per l'istituzione dell'Area integrata dello Stretto con riferimento ai servizi di mobilità, terrestre e marittima, sulle due sponde.

Con riferimento alla continuità territoriale marittima (art. 4), gli Enti sottoscrittori dell'accordo hanno individuato come essenziali e suscettibili di finanziamento pubblico i servizi di trasporto veloce di passeggeri sui fasci di rotte fra Messina, da un lato, e Reggio Calabria e Villa San Giovanni, dall'altro.



Inoltre, l'art. 2 dell'accordo impegna le Regioni a individuare, ciascuna nell'ambito del proprio territorio, il perimetro del bacino territoriale *“sulla base di analisi della domanda che tengano conto delle caratteristiche socio-economiche, demografiche e comportamentali dell'utenza potenziale, della struttura orografica, del livello di urbanizzazione e dell'articolazione produttiva del territorio di riferimento”*.

Con deliberazione di Giunta n. 354 del 31 luglio 2019 la Regione Calabria ha dato seguito a tale impegno delimitando il proprio bacino, che comprende 12 dei 97 comuni della provincia, esteso da Bagnara Calabria (30km dal capoluogo) a nord fino a Motta San Giovanni (25km dal capoluogo) a sud, come segue:

- Città Metropolitana di Reggio Calabria;
- Villa San Giovanni, Calanna, Campo Calabro, Fiumara, Laganadi, Motta San Giovanni, San Roberto, Cardeto, Sant'Alessio in Aspromonte, Santo Stefano in Aspromonte, Scilla e Bagnara Calabria.

Con deliberazione di Giunta n. 380 del 25 ottobre 2019 la Regione Siciliana ha dato seguito a tale impegno delimitando il proprio bacino, che comprende 44 comuni dei 108 della provincia, esteso da Messina a Giardini Naxos (55km dal capoluogo) lungo la costa jonica e da Sant'Agata Militello (105 km dal capoluogo) verso ovest a Saponara Marittima (20km da Messina, 90km da Sant'Agata Militello) verso est lungo la costa tirrenica, isole Eolie comprese, come segue:

- Città Metropolitana di Messina;
- Area Integrata Jonica: Giardini Naxos, Castelmola, Taormina, Letojanni, Forza d'Agrò, Sant'Alessio, Santa Teresa Riva, Furci Siculo, Roccalumera, Nizza di Sicilia, Ali Terme, Itala e Scaletta Zanclea;
- Area Integrata Tirrenica: Sant'Agata Militello, Torrenova, Capri Leone, Capo d'Orlando, Naso, Brolo, Piraino, Gioiosa Marea, Patti, Oliveri, Falcone, Furnari, Terme Vigliatore, Leni, Malfa, Santa Marina Salina, Lipari, Barcellona Pozzo di Gotto, Milazzo, San Filippo del Mela, Pace del Mela, San Pier Niceto, Monforte San Giorgio, Torregrotta, Valdina, Venetico, Spadafora, Rometta, Saponara e Villa Tirrena.

Tale configurazione appare rappresentativa non solo del ruolo attrattivo di Messina ma probabilmente anche delle relazioni esistenti tra le isole Eolie e la tratta di costa tirrenica siciliana ad esse prospiciente, di cui Milazzo è il porto di riferimento per i servizi di trasporto marittimo (porto peraltro già integrato con il porto di Messina nell'Autorità Portuale di Sistema dello Stretto, come i porti di Villa San Giovanni e di Reggio Calabria).

In sintesi, la consistenza dei vari ambiti territoriali menzionati in termini di popolazione risulta come riportato in Figura 4-3 (anno 2019). Anche in termini di popolazione, oltre che in termini dimensionali come evidenziato dalle distanze sopra riportate, l'Area Integrata dello Stretto risulta più estesa sul lato siciliano.

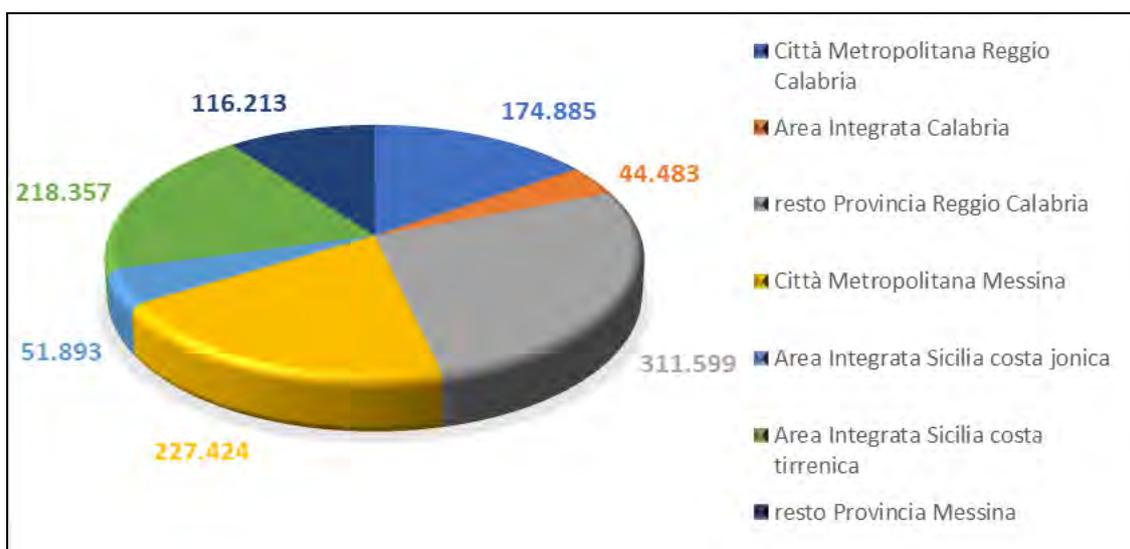


Figura 4-3 Popolazione Area Metropolitana e Area Integrata dello Stretto (deliberazioni regioni Sicilia e Calabria)

## 4.4 I servizi di trasporto nell'area dello Stretto

### 4.4.1 Servizi di trasporto marittimo

Fra Reggio Calabria e la sponda siciliana sono attive<sup>74</sup>:

- Blu Jet S.r.l., società del gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, che svolge il servizio di trasporto marittimo di soli passeggeri mediante unità navali veloci su questa linea da maggio 2019, essendo subentrata a Blufferries S.r.l.;
- Meridiano Lines, compagnia di navigazione che esegue collegamenti marittimi tramite traghetti bidirezionali per il trasporto di mezzi gommati commerciali e merci, fra Reggio Calabria e Tremestieri (Messina).

Fra Villa San Giovanni e Messina operano invece:

- RFI S.p.A., del gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, che effettua traghettamento dei convogli ferroviari con relativi passeggeri e merci;
- Blufferries S.r.l., anch'essa parte del gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, che svolge il collegamento mediante navi traghetto bidirezionali, per l'imbarco di passeggeri e mezzi gommati al seguito;
- Blu Jet S.r.l., anch'essa parte del gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, per il trasporto di soli passeggeri mediante unità navali veloci;

<sup>74</sup> [https://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/notizia/2020-07/Stretto%20di%20Messina\\_Relazione%20per%20verifica%20di%20mercato\\_07.07.2020.pdf](https://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/notizia/2020-07/Stretto%20di%20Messina_Relazione%20per%20verifica%20di%20mercato_07.07.2020.pdf)



- Caronte & Tourist S.p.A., compagnia di navigazione privata che esegue il traghettamento dei passeggeri e dei mezzi gommati.

In media, nell'intera area sono effettuate annualmente poco meno di 100.000 corse come indicato in Figura 4-4.

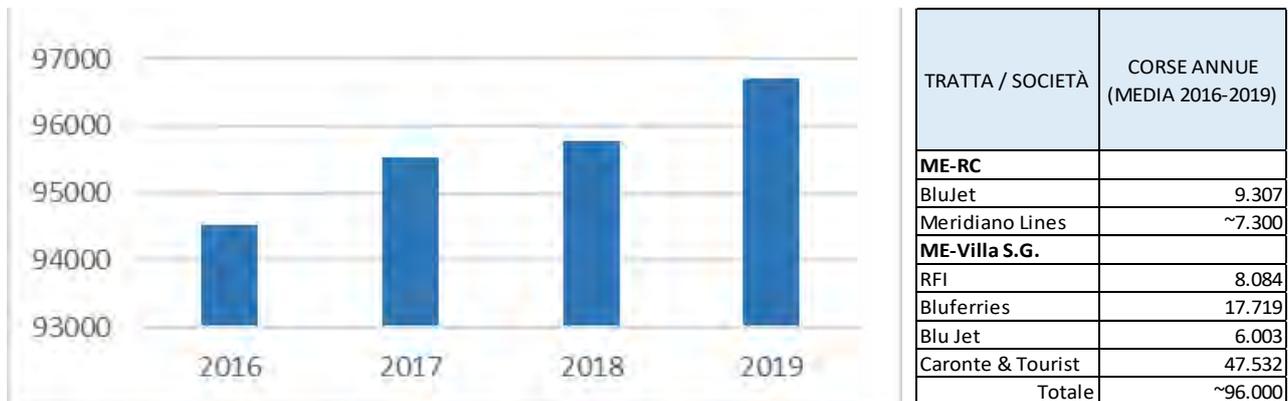


Figura 4-4 Corse marittime attraverso lo Stretto

### Reggio Calabria–Messina

- Blu Jet effettua il servizio con 16 coppie di corse giornaliere nei giorni feriali e 6 in quelli festivi (tariffa corsa singola 3,50€). Sulla linea vengono impiegate due unità navali con una velocità pari a 24-25 nodi e una capacità di trasporto fino a 386 passeggeri, a cui si aggiunge una nave di riserva. Per le corse ME-RC il tempo di percorrenza è di 30 minuti, mentre per quelle RC-ME il tempo di percorrenza è di 35 minuti. Il tempo di traversata differisce a causa della regolamentazione del traffico marittimo.
- Meridiano Lines offre 12 coppie di corse giornaliere feriali + una festiva tra Reggio Calabria e Tremestieri (orario 2021).

### Villa San Giovanni-Messina

- RFI effettua trasporto di carrozze ferroviarie (consentendo il prolungamento dei collegamenti via treno anche al di là dello Stretto) con relativi passeggeri.
- Bluferries offre 8 coppie di corse tra le ore 8:00 e le 20:00 (tariffa corsa singola 2,50€). Nei giorni festivi e nei fine settimana, le corse sono incrementate a 10. Il tempo di percorrenza è di 30 minuti per corsa. Il traghettamento viene effettuato con 4 unità bidirezionali (il servizio è svolto in sinergia con l'espletamento del servizio di trasporto mezzi commerciali nel collegamento Messina-Tremestieri), con una capacità di carico di passeggeri compresa tra 300 e 390.

Bluferries ha gestito anche il trasporto di persone con mezzi veloci fino a maggio 2019, quando ha ceduto il ramo a Blu Jet che da allora effettua servizio di soli passeggeri mediante mezzi veloci.

- Blu Jet ha la caratteristica di effettuare le corse in base all'arrivo e partenza dei treni a lunga percorrenza da e per Villa San Giovanni; effettuando 10 coppie di corse giornaliere nei giorni feriali ed 8 in quelli festivi, senza distinzione con il periodo estivo (tariffa corsa singola 2,50€). Il tempo di percorrenza è di circa 20 minuti e la flotta impiegata comprende due navi veloci con capacità compresa tra 329 e 386 passeggeri.
- Caronte & Tourist effettua un servizio continuativo durante tutto l'arco della giornata, svolgendo 36 coppie di corse ed intensificando la frequenza nel periodo estivo (tariffa corsa singola 2,50€). Il tempo di percorrenza è di circa 20 minuti per corsa, impiegando una flotta 8 navi traghetto con capacità passeggeri compresa tra 255 e 1.483.

L'analisi del servizio Messina-Reggio Calabria svolto da Bluferries con le navi veloci (28 nodi) Tindari Jet e Selinunte Jet (Figura 4-5) evidenzia anche il basso coefficiente di carico (*load factor*) di tale servizio su base annua (2019) pari al 18% (nel triennio 2016-2018 sulle corse feriali solo il 4% in direzione Reggio Calabria e il 10% in direzione Messina hanno superato la soglia di 150 passeggeri a bordo rispetto alla capacità prossima a 400 posti). Nonostante ciò, da una indagine presso l'utenza effettuata nel 2020 emerge la domanda di ampliamento della fascia di servizio feriale e di rinforzo del servizio festivo.



Figura 4-5 Flotta Blu Jet – Navi Tindari Jet e Selinunte Jet

#### 4.4.2 Servizi di trasporto ferroviari

Il programma di esercizio del giorno feriale tipo prevede 5-6 coppie di treni che attraversano lo Stretto collegando la Sicilia al Continente: sulla rete continentale ciascun treno corrisponde a una corsa del programma di esercizio, sulla rete siciliana ciascun treno



corrisponde a due corse effettuate rispettivamente lungo la direttrice Messina-Palermo (tirrenica) e lungo la direttrice Messina-Siracusa (jonica), ciascuna con una parte del materiale rotabile del treno originario.

Lato Calabria vi sono poi servizi attestati a Villa San Giovanni che servono la direttrice tirrenica costiera calabra, a breve media e lunga percorrenza, e analogamente lato Sicilia vi sono servizi lungo le suddette linee tirrenica (Palermo) e jonica (Siracusa).

Lo schema seguente (Figura 4-6 e Figura 4-7) tratto dagli studi allegati al progetto definitivo del ponte a campata unica riporta le connessioni ferroviarie di attraversamento e costiere all'epoca dello stesso, non significativamente variate nel decennio nel frattempo trascorso.

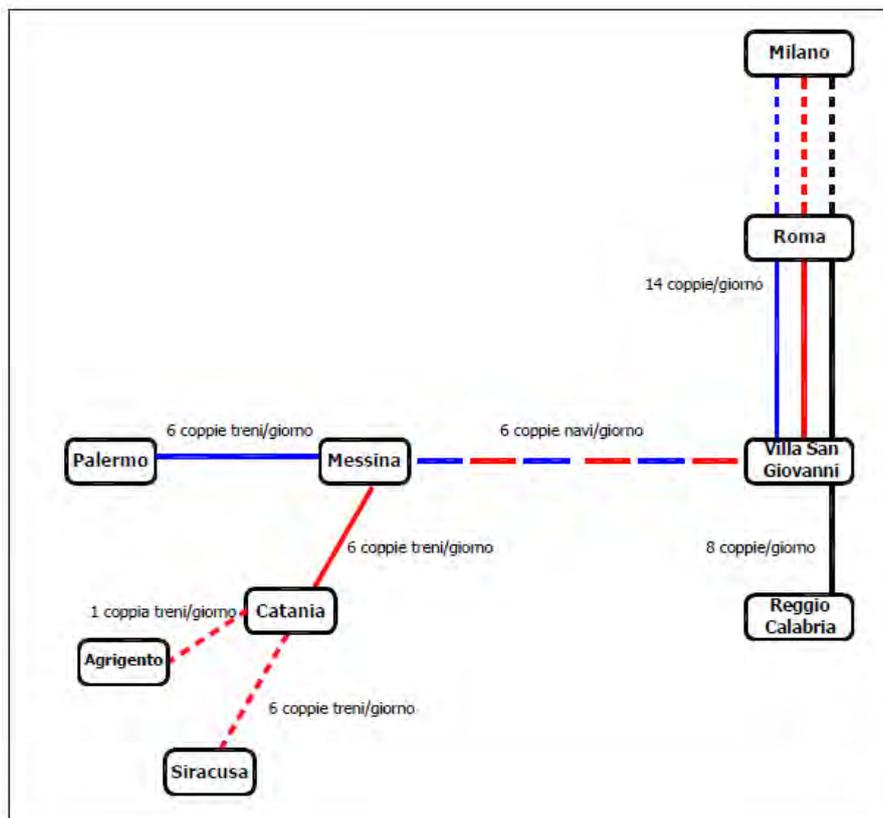


Figura 4-6 Servizi ferroviari Nazionali nell'area dello Stretto

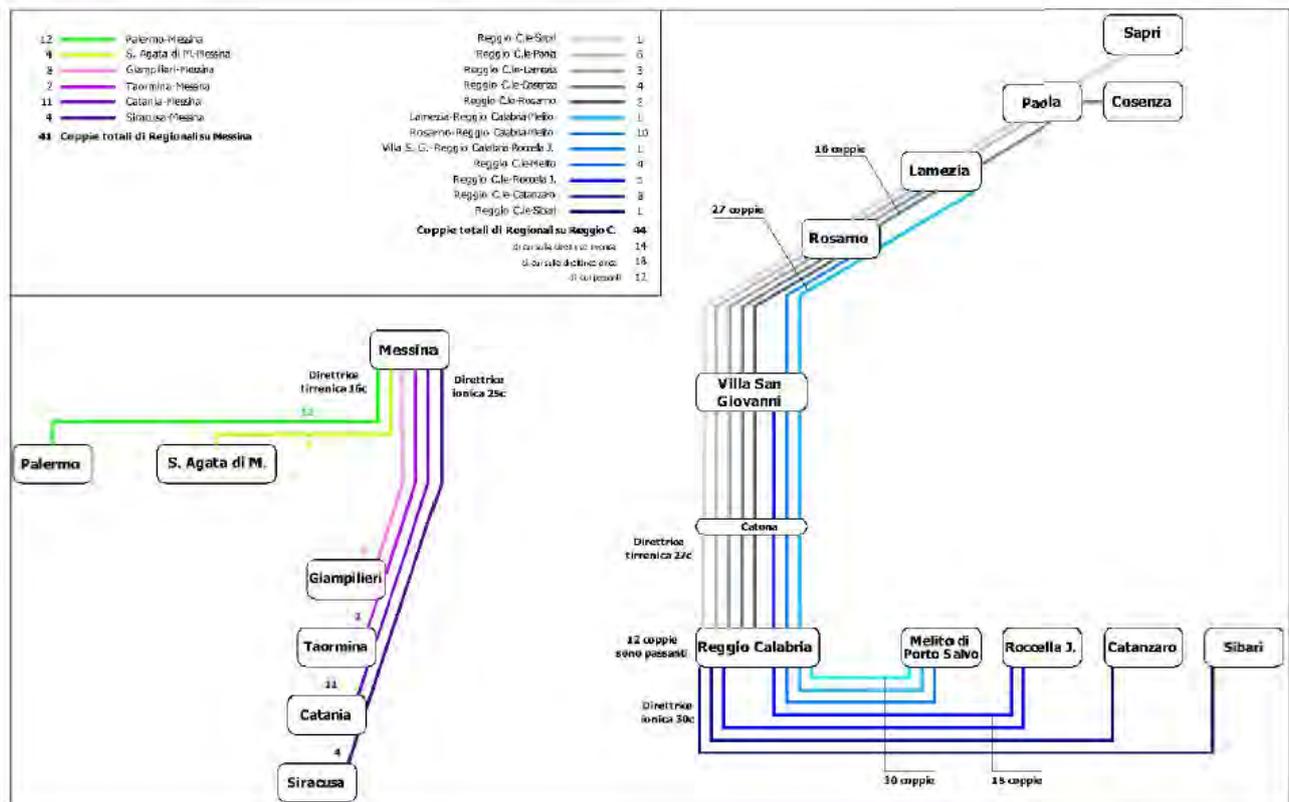


Figura 4-7 Servizi Ferroviari Locali nell'area dello Stretto

“Sulla costa calabra esistono servizi ferroviari regionali tra Melito di Porto Salvo e Rosarno, mentre sul versante siciliano è attivo un sistema di servizi di tipo sub metropolitano tra Giampileri e Messina che integra i servizi più lunghi diretti verso Taormina e Catania.

In particolare, il servizio ferroviario lungo la costa calabra è articolato su un insieme di servizi tra Melito di Porto Salvo, Reggio Calabria, Villa San Giovanni, Gioia Tauro e Rosarno che garantiscono frequenze cumulate sulle singole tratte superiori alle 30 coppie i treni regionali/giorno, configurando di fatto un servizio con caratteristiche di tipo metropolitano nella conurbazione di Reggio Calabria. Le frequenze relative alle singole tratte sono:

- tratta Melito di Porto Salvo-Reggio Calabria 30 coppie di treni/giorno
- tratta Reggio Calabria-Gioia Tauro / Rosarno 27 coppie di treni/giorno

Lungo la costa orientale siciliana sono presenti due tipologie di servizi regionali: un servizio a carattere sub metropolitano che connette Messina con Giampileri, ed un servizio interprovinciale che connette Messina con Catania; complessivamente, in un giorno feriale ordinario si hanno 25 coppie di treni regionali su Messina Centrale. Sulla costa tirrenica, i servizi regionali si sviluppano su due relazioni: Messina-Sant’Agata di Militello oppure Messina-Palermo; in totale, si hanno 16 coppie di treni regionali.”

Un quadro d’insieme dei servizi marittimi e ferroviari è riportato nella Figura 4-8.



Figura 4-8 Linee di pubblico trasporto nell'area dello Stretto.

La Tabella 4-4 riassume le frequenze e i tempi dei servizi marittimi di attraversamento e ferroviari costieri tra Villa San Giovanni e Reggio Calabria Aeroporto alla data del presente elaborato.

Partenza	Arrivo	Durata viaggio hh:mm		Feriali	Festivi	Servizio
Messina Marittima-Porto storico	Villa S. Giovanni Porto storico	00:20		9 corse	6 corse	Navi veloci Blufferries
Messina Rada San Francesco	Villa S. Giovanni Porto nuovo	00:20		32 corse	-	Caronte & Tourist
Messina Marittima-Porto storico	Reggio Calabria Porto	00:30		11 corse	6 corse	Navi veloci BluJet
Villa S. Giovanni Stazione FS	Reggio Calabria Centrale	00:15	00:25	37 corse	19 corse	Trenitalia
Reggio Calabria Centrale	Reggio Calabria Aeroporto	00:07	00:07	12 corse	2 corse	Trenitalia
Reggio Calabria Porto	Reggio Calabria Aeroporto	00:25		9 corse	-	Bus diretto ATAM

Tabella 4-4 Servizi tra le coste (navi, treni e bus) – interruzioni di carico

Nelle figure seguenti: Figura 4-9, Figura 4-10, Figura 4-11, Figura 4-12 e Figura 4-13 sono indicati gli attuali punti di arrivi e partenza dei principali vettori di trasporto (treni, traghetti e navi veloci) tra Messina, Villa S.Giovanni e Reggio Calabria.



Figura 4-9 Messina Marittima-Porto storico: ❶ attracco navi veloci, ❷ attracco navi traghetto FS, ❸ Stazione FS Messina Centrale, ❹ Capolinea autobus. In blu le linee dei Bus, in marrone la linea del Tram.



Figura 4-10 Messina Rada San Francesco: ❶ attracco navi traghetto private ❷ fermata Bus e Tram. In blu le linee dei Bus, in marrone la linea del Tram.



Figura 4-11 Villa S.Giovanni: ① Porto nuovo, attracco navi traghetto private ② Porto storico, attracco navi traghetto FS ③ Stazione FS



Figura 4-12 Reggio Calabria Porto: ① attracco navi veloci, ② Fermata FS di Reggio Calabria Santa Caterina ③ Fermata FS di Reggio Calabria Lido, ④ Stazione FS di Reggio Calabria Centrale.



Figura 4-13 Reggio Calabria Aeroporto: ① Aeroporto dello Stretto, ② Fermata FS di Reggio Calabria Aeroporto, ③ Attracco navi veloci.

La dispersione sul territorio dei punti di sbarco/imbarco e delle fermate/ stazioni ferroviarie non facilita l'interscambio fra i vari mezzi di trasporto e rende difficile un'agevole e rapida mobilità tra le due sponde dello Stretto, limitando le relazioni tra le due grandi conurbazioni messinese e reggina.

## 4.5 La mobilità delle persone

### 4.5.1 Inquadramento e mobilità complessiva di interscambio della Sicilia con l'esterno

La mobilità nell'area dello Stretto è parte della mobilità di interscambio della Sicilia con il resto d'Italia e l'estero: l'analisi dell'una non può essere considerata separatamente dall'analisi dell'altra, essendo il risultato di scelte fra itinerari e modalità di trasporto alternativi, con tempi e costi di trasporto specifici, in funzione della rete infrastrutturale e dei servizi di trasporto pubblico esistenti.

A sua volta la mobilità nell'area dello Stretto è la somma di due componenti: (i) la mobilità di transito e (ii) la mobilità locale, fra le provincie / le regioni direttamente affacciate sullo Stretto.

Si è quindi esaminata la mobilità complessiva regionale e il suo andamento, anche con riferimento agli studi effettuati in occasione della redazione del progetto definitivo del ponte a campata unica, per valutare in che misura l'andamento della domanda di trasporto nel



decennio successivo alla redazione del progetto definitivo del ponte a campata unica abbia confermato le previsioni dell'epoca.

La mobilità di interscambio passeggeri e merci della Sicilia con l'esterno (resto d'Italia / estero) è stata esaminata considerando:

- il trasporto aereo (aeroporti di Palermo, Catania, Comiso dal 2013, e in misura inferiore Trapani, Pantelleria, Lampedusa),
- il trasporto marittimo (porti di Messina, Milazzo, Palermo, Termini Imerese, Catania, Trapani, Pozzallo, Augusta).

### Mobilità di interscambio per via aerea

La mobilità dei passeggeri per via aerea è riportata nella Figura 4-14, con riferimento a varie fonti, disomogenee per periodo coperto e per composizione dei flussi, rispettivamente:

- la serie storica del periodo 2006-2019 di fonte siti web dei rispettivi Enti Aeroportuali<sup>75</sup>, che risulta in crescita costante, fino a raggiungere quasi 18 milioni di passeggeri nel 2019, soprattutto per effetto della componente internazionale che negli aeroporti siciliani supera nettamente (anno 2019) il 30% del movimento totale di passeggeri,
- la serie storica del periodo 1995-2010 riportata nel progetto definitivo del ponte a campata unica<sup>76</sup> in cui (sono considerati solo voli con O/D nazionali).

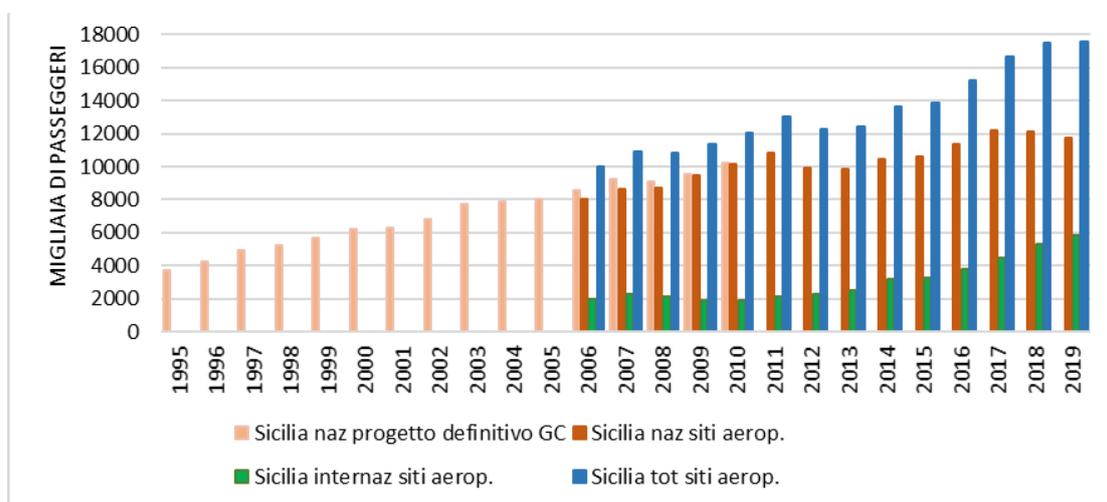


Figura 4-14 Sicilia – Mobilità passeggeri per via aerea 1995-2019 (da progetto definitivo GC / siti aeroporti)

<sup>75</sup> <http://www.aeroporto.catania.it/doc/bilanci/>; [https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroporto\\_di\\_Comiso#Dati\\_statistici](https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_di_Comiso#Dati_statistici); <https://www.aeroportodipalermo.it/en/gesap-spa/traffic-statistics/>; <https://assaeroporti.com/statistiche/>; [https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroporto\\_di\\_Lampedusa](https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_di_Lampedusa); [https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroporto\\_di\\_Pantelleria](https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_di_Pantelleria)

<sup>76</sup> Elaborato GE0322\_F0 – Aggiornamento degli studi sui flussi di traffico previsti in relazione alla messa in esercizio del Ponte – Relazione Generale

## Mobilità di interscambio via mare

I movimenti di persone da e per la Sicilia sono ricavabili dalle statistiche per singolo porto, come somma degli sbarchi e degli imbarchi, avendo cura di escludere ove possibile:

- i movimenti sui collegamenti con le isole minori (particolarmente intensi con le Eolie, facenti capo in particolare al porto di Milazzo, 780.000 passeggeri nel 2015)
- i movimenti crocieristici (prevalentemente di transito, molto limitatamente di origine / destinazione locale, facenti capo ai porti di Messina / Catania / Palermo)

I movimenti considerati sono quindi sostanzialmente i movimenti a mezzo traghetto, sia di attraversamento dello Stretto sia su navi ro-ro e ro-pax da e per porti del resto d'Italia, inclusa quindi la rotta Messina-Salerno, nonché quelli su navi solo passeggeri (servizi pubblici con navi veloci attraverso lo Stretto), il cui andamento è riportato in Figura 4-15, con riferimento a varie fonti, non omogenee per periodo coperto e per composizione dei flussi, rispettivamente:

- la serie storica del periodo 2009-2019 (stessi porti di cui al punto precedente) di fonte Assoporti / siti web delle rispettive Autorità Portuali<sup>77</sup>, che riporta per il 2010 un flusso di 10,1 milioni di passeggeri e per il 2019 un flusso di poco meno di 14 milioni di passeggeri
- la serie storica del periodo 1995-2010 riportata nel progetto definitivo del ponte a campata unica<sup>78</sup>, che riporta per il 2010 un flusso di 11,3 milioni di passeggeri, comprendente tuttavia i movimenti locali da/per le isole e i crocieristi.

Considerando l'insieme delle serie statistiche, l'andamento nel periodo 1995-2019 appare abbastanza statico fino al 2006, quindi, dopo un periodo di decremento fino al 2014, caratterizzato da un netto incremento fino al 2019.

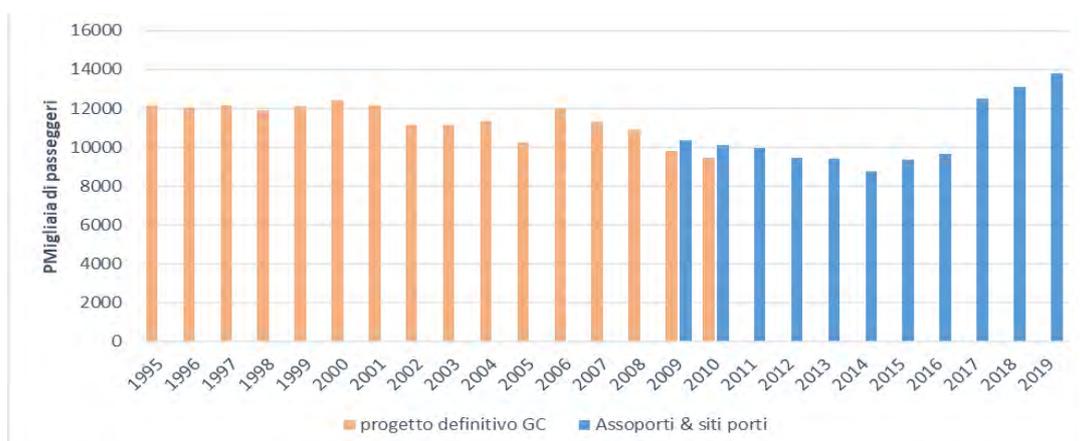


Figura 4-15 Sicilia – Mobilità passeggeri via mare 1995-2019 (da progetto definitivo GC / Assoporti & siti porti)

<sup>77</sup> <https://www.assoporti.it/it/autoritasistemaportuale/statistiche/statistiche-annuali-compressive/>;  
<http://www.assoporti.it/it/autoritasistemaportuale/statistiche/dati-per-porto/>;  
<https://www.guardiacostiera.gov.it/pozzallo/PublishingImages/Annual%20Report%202018.pdf>

<sup>78</sup> Elaborato GE0322\_F0 – Aggiornamento degli studi sui flussi di traffico previsti in relazione alla messa in esercizio del Ponte – Relazione Generale <https://va.minambiente.it/File/Documento/36443>

### Mobilità di interscambio complessiva (per via aerea e marittima)

Il movimento di passeggeri via aereo (17,6 milioni di spostamenti nel 2019) ha superato negli anni più recenti il movimento via nave (13,8 milioni di spostamenti nel 2019).

L'andamento del movimento complessivo con entrambi i mezzi aereo e nave è rappresentato graficamente in Figura 4-16 con i flussi del decennio 2011-2019 ricavati dalle fonti statistiche disponibili unitamente ai flussi fino al 2010 riportati nel citato elaborato del progetto definitivo del ponte a campata unica (GC=General Contractor), avendo tolto dal movimento aeroportuale la componente internazionale per analogia con la serie riportata nel progetto definitivo del ponte stesso.

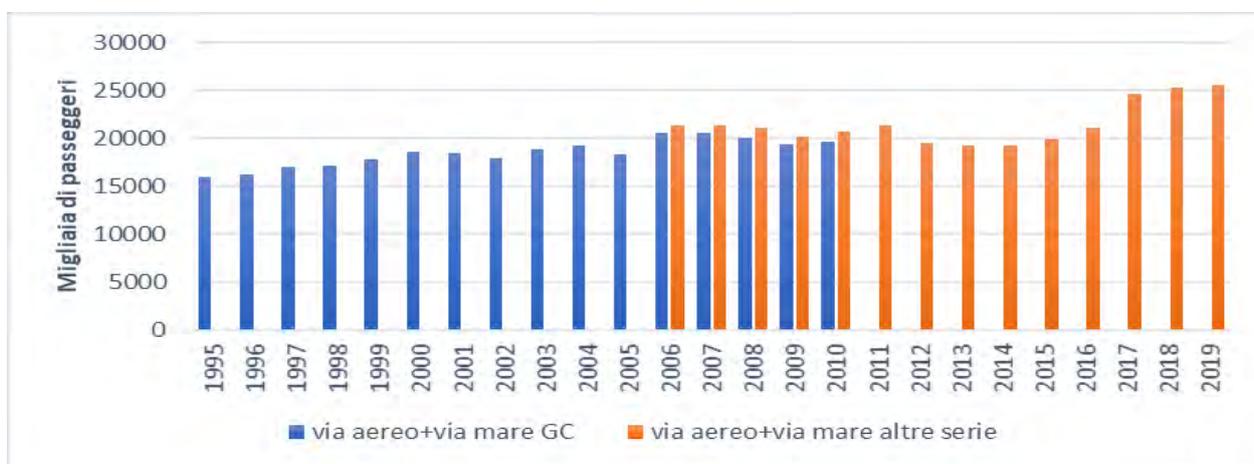


Figura 4-16 Sicilia – Mobilità passeggeri per via marittima 1995-2019 (fonti varie citate)

Permane una modesta discontinuità tra le due serie, evidenziata dal diverso flusso complessivo nell'anno 2010: 19,7 milioni di passeggeri secondo il progetto del ponte a campata unica, 20,7 milioni di passeggeri secondo le fonti direttamente consultate.

La mobilità complessiva nazionale (senza considerare gli spostamenti per via aerea internazionali) ha raggiunto nel 2019 25,5 milioni di passeggeri, in linea con il livello previsto allo stesso anno nello studio citato a supporto del progetto del ponte a campata unica<sup>79</sup>.

Il tasso di incremento nel periodo 2010-2019 in base ai dati statistici reperiti risulta pari a 2,3%, cioè di poco superiore al tasso di incremento 1,8% ipotizzato nel progetto definitivo per il periodo prima della realizzazione del ponte, anche se al limite inferiore della fascia di sviluppo economico stimata in sede di progetto preliminare (tasso annuo 1,8%-3,8%).

<sup>79</sup> Elaborato GE0322\_F0 – Aggiornamento degli studi sui flussi di traffico previsti in relazione alla messa in esercizio del Ponte – Relazione Generale <https://va.minambiente.it/File/Documento/36443>

#### 4.5.2 Mobilità di attraversamento dello Stretto

La mobilità di attraversamento (via mare) dello Stretto comprende:

- mobilità di transito di lunga percorrenza fra Sicilia e altre regioni italiane esclusa Calabria / estero vera e propria,
- mobilità fra le due aree costiere / le provincie di Messina e di Reggio Calabria / le regioni Sicilia e Calabria.

##### Traffico di transito

L'andamento storico della mobilità dei passeggeri di attraversamento dello Stretto via mare (spostamenti a piedi e con mezzo stradale e mezzo ferroviario su nave traghetto), è riportata in Figura 4-17, con riferimento a varie fonti, rispettivamente:

- la serie storica del periodo 1995-2016<sup>80</sup> (e anno 2019)<sup>81</sup> fornita dal Porto di Messina (Autorità Portuale di Sistema dello Stretto),
- la serie storica del periodo 2005-2016 di fonte Assoporti<sup>82</sup>, riferita tuttavia al sistema portuale dei porti di Messina e di Milazzo (base dei servizi per le isole Eolie, circa 780.000 passeggeri nel 2015),
- la serie storica del periodo 1995-2010 riportata nel progetto definitivo del ponte a campata unica<sup>83</sup>, escludendo la categoria degli autisti dei veicoli merci ivi considerati,
- la serie storica del periodo 2016-2019 riportata nel documento “*Stretto di Messina\_Relazione per verifica di mercato\_07.07.2020*” del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti<sup>84</sup>.



Figura 4-17 Porto di Messina – Movimento passeggeri 1995-2019 (fonti varie, esclusi crocieristi in transito)

<sup>80</sup> <http://www.porto.messina.it/statistiche-traffico/statistiche-porto-di-messina/traffico-passeggeri-messina/>

<sup>81</sup> [http://www.porto.messina.it/files/upload/PortalePagine/allegati/piano%20operativo%20triennale%20adsp%20dello%20stretto\\_definitivo.pdf](http://www.porto.messina.it/files/upload/PortalePagine/allegati/piano%20operativo%20triennale%20adsp%20dello%20stretto_definitivo.pdf)

<sup>82</sup> <https://www.assoporti.it/it/autoritasistemaportuale/statistiche/dati-per-porto/>

<sup>83</sup> Elaborato GE0322\_F0 – Aggiornamento degli studi sui flussi di traffico previsti in relazione alla messa in esercizio del Ponte – Relazione Generale <https://va.minambiente.it/File/Documento/36443>

<sup>84</sup> <https://www.mit.gov.it/comunicazione/news/verifica-di-mercato-per-i-servizi-di-trasporto-marittimo-veloce-passeggeri>

Il movimento totale di viaggiatori di attraversamento nel 2019 risulta pari a 10 milioni di passeggeri (circa 30.000 nel giorno feriale medio).

Considerando l'insieme delle serie storiche, l'andamento nel periodo appare sostanzialmente stabile (circa 11 milioni di passeggeri) fino al 2001, quindi decrescente fino alla metà della decade 2010-2020 (circa 7 milioni di passeggeri), e successivamente crescente fino quasi a raggiungere i flussi iniziali (circa 10 milioni di passeggeri) fino al 2019.

Il tasso medio di incremento nel periodo seguente al progetto definitivo del ponte a campata unica (da 8 milioni di spostamenti nel 2010 a 10 milioni nel 2019) risulta pari al 2,5% circa, superiore al corrispondente stimato nel progetto definitivo del ponte, nel periodo iniziale in assenza del ponte stesso, pari a 1,8% circa.

Il documento del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti citato riporta ulteriori aspetti significativi della mobilità tra Messina e Villa San Giovanni (traghetti) / Reggio Calabria (navi passeggeri veloci) nel periodo 2016-2019 (Figura 4-18):

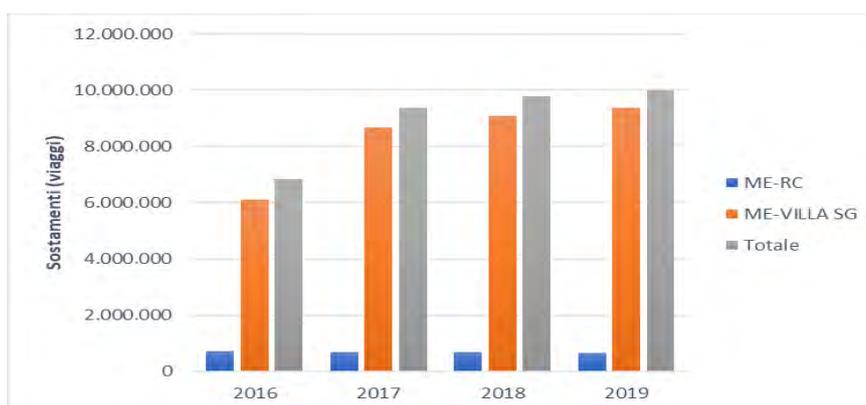


Figura 4-18 Stretto di Messina – Mobilità passeggeri per via marittima 2016-2019 (da MIT)

L'andamento mensile degli spostamenti (viaggi) effettuati dagli utenti dei servizi Messina-Reggio Calabria e Messina-Villa San Giovanni, rappresentato nella Figura 4-19, mostra che:

- il collegamento Messina-Reggio Calabria (in calo, circa 650.000 passeggeri nel 2019 pari a circa 2.000 nel giorno feriale medio) serve una domanda prevalentemente pendolare (andamento regolare con picco negativo in agosto), costituita prevalentemente da studenti e lavoratori abbonati e con punte giornaliere nei due sensi,
- il collegamento Messina-Villa San Giovanni (in crescita, circa 9.350.000 passeggeri nel 2019 pari a circa 28.000 nel giorno feriale medio) serve una domanda tipicamente turistica (flussi maggiori nei mesi da luglio a settembre e punta in agosto pari al doppio della media mensile annua).

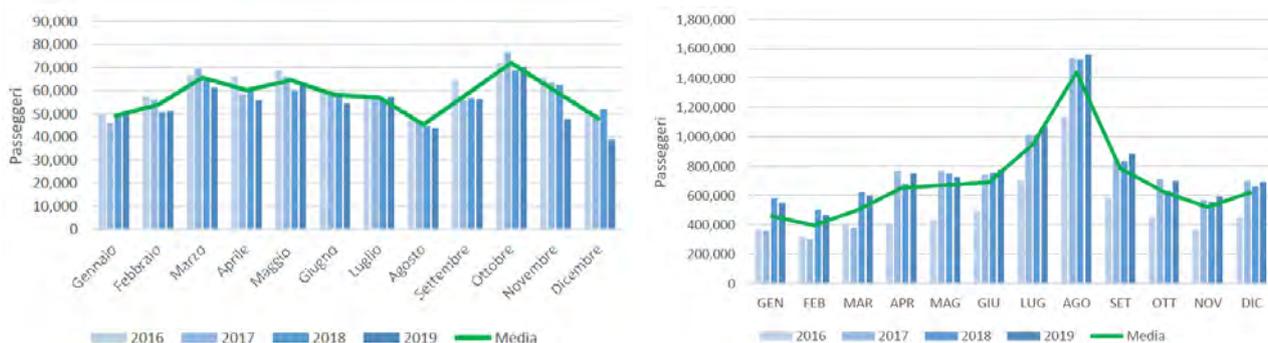


Figura 4-19 Stretto di Messina – Mobilità passeggeri per via marittima – Andamento mensile 2016-2019 (da MIT)

## Traffico locale

Il **Piano Integrato delle Infrastrutture e della Mobilità della Regione Siciliana**<sup>85</sup> e il **Piano Regionale dei Trasporti della Regione Calabria**<sup>86</sup>, entrambi del 2017, riportano alcuni aspetti significativi anche se disomogenei della mobilità sia nell'Area Metropolitana dello Stretto su base provinciale (Messina e Reggio Calabria), sia su base regionale.

### A. Mobilità generata nelle provincie costiere

Il **Piano Integrato delle Infrastrutture e della Mobilità della Regione Siciliana** quantifica in 1,0 milioni gli spostamenti giornalieri (sistematici / occasionali / ritorni a casa) interni alla provincia di Messina (al 2015), equivalenti a oltre 300 milioni di spostamenti annui. Di essi il 25% circa, cioè 250.000 spostamenti/giorno equivalenti a oltre 80 milioni di spostamenti annui, sarebbe costituita dai soli spostamenti sistematici (quota stimata su base regionale).

Il **Piano Regionale dei Trasporti della Regione Calabria** al **Capitolo 2 - Il settore dei trasporti e della logistica in Calabria** quantifica (in base al censimento ISTAT 2011) gli spostamenti giornalieri sistematici nella provincia di Reggio Calabria in circa 223.000, equivalenti a oltre 70 milioni di spostamenti annui, quindi dello stesso ordine di grandezza di quelli della provincia di Messina.

### B. Mobilità di interscambio fra regioni costiere e rispettivi capoluoghi

Il **Piano Integrato delle Infrastrutture e della Mobilità della Regione Siciliana** quantifica la domanda locale di mobilità passeggeri nell'area metropolitana dello Stretto come segue:

*“I dati rilasciati dal Censimento ISTAT 2011 in merito al pendolarismo evidenziano una domanda di mobilità nell'Area metropolitana dello Stretto, che comprende le due città metropolitane di Reggio Calabria e Messina, di poco inferiore a 5.000 spostamenti giornalieri per i motivi lavoro e scuola.*

*Gli spostamenti complessivi, che coinvolgono le due città metropolitane, evidenziano una predominanza del pendolarismo da Reggio verso Messina (circa 3.800 spostamenti/gg), mentre*

<sup>85</sup> [file:///C:/Users/Utente/Downloads/DA%201395%20del%2030%20giugno%202017%20Piano%20integrato%20delle%20infrastrutture%20e%20della%20mobilit%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Utente/Downloads/DA%201395%20del%2030%20giugno%202017%20Piano%20integrato%20delle%20infrastrutture%20e%20della%20mobilit%20(3).pdf)

<sup>86</sup> <https://www.regione.calabria.it/website/portamedia/2017-07/Capitolo-2.pdf>



risultano più contenuti gli spostamenti relativi alla relazione Messina – Reggio (poco più di 1.000 spostamenti/gg), come da prospetto seguente.

Città Metropolitana	RC	ME	Area Stretto
RC		3.797	3.797
ME	1.093		1.093
<b>Area Stretto</b>	<b>1.093</b>	<b>3.797</b>	<b>4.890</b>

Nel caso della relazione O/D tra Reggio Calabria e Messina si rileva un attraversamento, nella maggior parte dei casi, con spostamenti “a piedi”, per cui l’utenza preferisce recarsi all’imbarco senza usufruire di alcun mezzo di trasporto.

Tra questi, si segnala comunque una buona componente di mobilità che si avvale dell’intermodalità tra il trasporto pubblico su gomma ed il servizio di traghettiamento.”

Il Piano Regionale dei Trasporti della Regione Calabria al Capitolo 2 - Il settore dei trasporti e della logistica in Calabria, analizza gli spostamenti sistematici (lavoro e studio) regionali in base al censimento ISTAT 2011, riportati anche nel prospetto seguente:

- in Calabria nel giorno feriale medio da e per la Sicilia sono stati rilevati 6.304 spostamenti, di cui 3.834 in provincia di Reggio Calabria,
- dalla provincia di Reggio Calabria alla provincia di Messina sono stati rilevati 3.812 utenti/giorno, di cui 3.746 (98%) ha destinazione Messina. Gli spostamenti da Reggio Calabria a Messina sono il 53% (2.017) degli spostamenti emessi dalla provincia calabrese (3.812) verso la Sicilia,
- dalla provincia di Messina alla provincia di Reggio Calabria sono stati rilevati 1.091 utenti/giorno, di cui 861 (79%) con destinazione Reggio Calabria. Gli spostamenti da Messina a Reggio Calabria sono il 62% (673) degli spostamenti emessi dalla provincia messinese (1.091).

	Provincia di Reggio Calabria	Comune di Reggio C.	Comune di Villa S. G.	Provincia di Messina	Comune di Messina
Provincia di Reggio C.	-	-	-	3.812	3.746
Comune di Reggio C.	-	-	-	2.054	2.017
Comune di Villa S. G.	-	-	-	384	375
Provincia di Messina	1.091	861	110	-	-
Comune di Messina	854	673	90	-	-

In conclusione, i Piani concordano nel quantificare la domanda di mobilità di attraversamento locale all’epoca del Censimento ISTAT 2011 in poco meno di 5.000 persone/giorno (equivalenti a poco meno di 10.000 spostamenti giornalieri considerando i ritorni), di cui poco meno di 3.000 persone/giorno tra Messina e Reggio Calabria (equivalenti a poco meno di 6.000 spostamenti giornalieri considerando i ritorni).

Tale domanda, posta a confronto con (a) quella servita dal servizio marittimo diretto solo passeggeri Messina-Reggio Calabria a mezzo navi veloci (modalità presumibilmente preferita per gli spostamenti a piedi), pari a circa 2.000 movimenti / giorno, in calo negli anni più recenti, (b) l’andamento storico del movimento complessivo passeggeri di attraversamento precedentemente



riportato dal 2011 al 2019, incrementato grosso modo del 25% (al tasso annuo di incremento del 2,5% circa), (c) la domanda sulla rotta Messina-Villa San Giovanni, anch'essa in crescita negli anni più recenti, potrebbe indicare in assenza di ulteriori elementi che:

- il flusso Messina-Reggio si è effettivamente ridimensionato, mentre è cresciuto il traffico di transito, o in alternativa
- il flusso Messina-Reggio potrebbe essere cresciuto ma si è orientato all'uso preferenziale del mezzo privato su traghetto

### C. Ripartizione modale degli spostamenti

La ripartizione modale della domanda di mobilità ricavata dal Censimento ISTAT 2011 (Figura 4-20), tratta dal *Piano Integrato delle Infrastrutture e della Mobilità della Regione Siciliana* e dal *Piano Regionale dei Trasporti della Regione Calabria*, evidenzia in entrambe le provincie di Messina e Reggio Calabria la predominanza della modalità automobile, confermando lo scarso utilizzo del mezzo pubblico, ma mostrando un maggiore utilizzo del mezzo pubblico stradale rispetto a quello ferroviario, che può essere giustificato da un lato con la diversa dimensione dell'offerta di trasporto pubblico rispetto alla domanda, dall'altro con la diversa lunghezza dei viaggi, rispettivamente a distanza breve (bus, passeggeri superiori ma passeggeri-km inferiori) e media-lunga (treno, passeggeri inferiori ma passeggeri-km superiori).

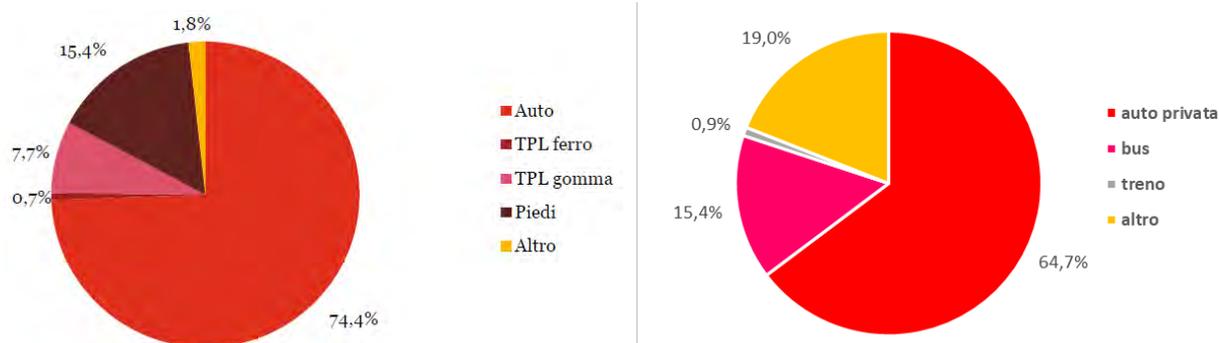


Figura 4-20 Ripartizione modale domanda di mobilità interna provincie Messina e Reggio Calabria

### D. Frequentazione dei mezzi di trasporto pubblico locale

Per gli spostamenti su mezzo collettivo (treno e bus) sono riportati alcuni dati sulle frequentazioni dei servizi di Trasporto Pubblico Locale, risultanti da rilievi di Trenitalia e della Regione Calabria, tratti dal *Piano Regionale dei Trasporti della Regione Calabria*.

Nel 2012 Trenitalia ha svolto due campagne di indagini finalizzate alla rilevazione delle frequentazioni dei servizi erogati. Sono stati analizzati i dati relativi alle indagini che si sono svolte tra il 3 e l'11 di marzo 2012 (periodo invernale) e tra il 7 ed il 15 luglio 2012 (periodo estivo). Per ognuno dei due periodi sono stati analizzati i flussi sugli archi e ai nodi.

Per quanto riguarda gli archi, nella Tabella 4-5 sono riportati i dati relativi a: numero medio di treni (corse)/giorno, numero medio di passeggeri/giorno (valore ottenuto sommando il carico medio/treno su tutti i treni che viaggiano su un dato arco), numero medio di passeggeri/treno per arco, lungo la



linea Rosarno-Villa San Giovanni-Reggio Calabria-Melito Porto Salvo.

La frequentazione media dei treni (periodo invernale) supera di poco 60 passeggeri.

Considerando la composizione standard a 6 vetture di un treno regionale (tipologia prevalente rispetto ai treni IC notturni e alle Freccie all'epoca non in servizio), nonché la capacità standard di 84 posti a sedere di una vettura standard a un piano (esclusi cioè le vetture a 2 piani più capaci e i posti in piedi), si ha un coefficiente di riempimento medio annuo del 12% circa.

Arco	Numero medio treni/giorno		Numero medio passeggeri/giorno		Numero medio passeggeri/treno	
	Invernale	Estivo	Invernale	Estivo	Invernale	Estivo
Reggio C. - Villa S.G.	52	54	3.186	2.922	61,3	54,1
Villa S.G. - Rosarno	50	52	3.110	2.904	62,2	55,8
Reggio C. - Melito P.S.	62	53	2.472	1.196	39,9	22,6

Tabella 4-5 Calabria - Linea ferroviaria costiera tirrenica - Dati di sintesi per arco – anno 2012

Per quanto concerne i flussi ai nodi, è stata svolta un'analisi relativa ai flussi rilevati nelle principali stazioni ferroviarie nei giorni 5 marzo 2012 e 9 luglio 2012:

- mov. totali/giorno, somma dei passeggeri saliti/discesi presso ciascuna stazione ferroviaria;
- treni/giorno, somma dei treni rilevati presso ciascuna stazione ferroviaria;
- mov./treno, numero medio di movimenti totali per treno presso ciascuna stazione ferroviaria.

Lungo la linea Rosarno-Villa San Giovanni-Reggio Calabria, Reggio Calabria è la stazione più frequentata con poco meno di 4.000 mov./g, e Villa San Giovanni la stazione con il massimo carico di passeggeri per treno, poco meno di 100 mov./treno (Tabella 4-6).

Stazione	Tot. Mov. Inv.	Tot. Mov. Est.	Treni Inv.	Treni Est.	Mov/Treni Inv.	Mov/Treni Est.
Rosarno	1.654	1.987	69	67	24	29.7
Gioia T.	1.315	1.057	50	48	26.3	22
Bagnara	853	719	50	48	17.1	15
Villa S. G.	2.531	1.905	27	26	93.7	73.3
RC Lido	1.692	1.390	51	61	33.2	22.8
Reggio C. C.le	3.782	3.738	93	83	40.7	45

Tabella 4-6 Calabria - Linea ferroviaria costiera tirrenica - Dati di sintesi per nodo – anno 2012

Analoga indagine sui flussi ai nodi è stata svolta presso le fermate principali dei servizi di pubblico trasporto su gomma, nel giorno 21 maggio 2012, in coerenza con i dati rilevati per i servizi ferroviari. La Tabella 4-7 riporta, per le fermate principali in Calabria lungo la costa tirrenica:

- mov. totali/giorno, somma dei passeggeri saliti/discesi presso ciascun nodo fermata;
- bus/giorno, somma dei bus rilevati presso ciascun nodo fermata;
- mov./bus, numero medio di movimenti totali per bus, presso ciascun nodo fermata.

Il numero di utenti dei servizi risulta pressoché trascurabile. La stazione FS di Bovalino (costa jonica meridionale) è la fermata con il massimo numero medio di movimenti totali per bus (6,08).



Denominazione fermata	Comune	Tot. Mov.	Bus	Mov/Bus
Stazione Reggio Lido (ex Roof Garden)	Reggio Calabria	276	135	2,04
Cardinale Portanova (ex Bar Morabito)	Reggio Calabria	34	33	1,03
Bivio Madonnina	Rosarno	26	10	2,60
Stazione F.S.	Villa San Giovanni	893	169	5,28

Tabella 4-7 Calabria – Rete automobilistica – Fermate principali lungo la costiera tirrenica - Dati di sintesi per nodo – anno 2012

## 4.6 La mobilità delle merci

### 4.6.1 Traffico di interscambio della Sicilia con l'esterno

Le merci movimentate via mare sono confezionate in vari modi (container, colli, su mezzo stradale, ecc.) o alla rinfusa (secche, liquide), e trasportate con navi di tipo diverso a seconda del tipo di carico.

I volumi di rinfuse liquide (petrolio e suoi derivati principalmente / prodotti chimici) sono di gran lunga superiori a quelli delle altre merci, e seguono rotte determinate dall'ubicazione dei terminal degli oleodotti / degli impianti di raffinazione / di produzione dell'energia termica, essendo per queste ragioni escluse dai parametri di correlazione tra andamento dei traffici marittimi e andamento economico negli studi del traffico merci marittimo.

Il traffico merci dei porti della Sicilia (escluse rinfuse liquide, quindi praticamente esclusa la quasi totalità dei volumi movimentati nei porti di Milazzo e di Augusta) è riportato in Figura 4-21 (serie storica del periodo 2009-2019 ottenuta da fonti quali Assoport<sup>87</sup> <sup>88</sup> e alcune Autorità Portuali<sup>89</sup> <sup>90</sup> <sup>91</sup>, somma dei volumi "rinfuse solide" e "ro-ro"<sup>92</sup>.

<sup>87</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Porti\\_d%27Italia\\_per\\_flusso\\_di\\_merci](https://it.wikipedia.org/wiki/Porti_d%27Italia_per_flusso_di_merci)

<sup>88</sup> <https://www.assoporti.it/it/autoritasistemaportuale/statistiche/dati-per-porto/>

<sup>89</sup> Elaborati RELAZIONE\_ART-9\_2018\_porto Catania / RELAZIONE\_ART-9\_2019\_porto Catania

<sup>90</sup> <https://www.guardiacostiera.gov.it/pozzallo/PublishingImages/Annual%20Report%202018.pdf>

<sup>91</sup> Non è compreso il porto di Trapani, che dovrebbe movimentare circa 3 milioni di tonnellate (dato più recente disponibile 3,3 milioni di tonnellate nel 2005)

<sup>92</sup> Non si considera la serie storica (periodo 1998-2010) riportata nello studio facente parte del progetto definitivo del ponte a campata unica, per la quale è precisato che i volumi "in attraversamento dello Stretto" sono ottenuti indirettamente applicando al traffico veicolare "coefficienti di riempimento" dell'ordine di 13-15 tonnellate per veicolo, che si ritengono sovrastimati includendo probabilmente la tara del veicolo, e che indicherebbero volumi del traffico marittimo di interscambio della Sicilia con l'esterno incrementati da 15 a 19 milioni di tonnellate annue circa.

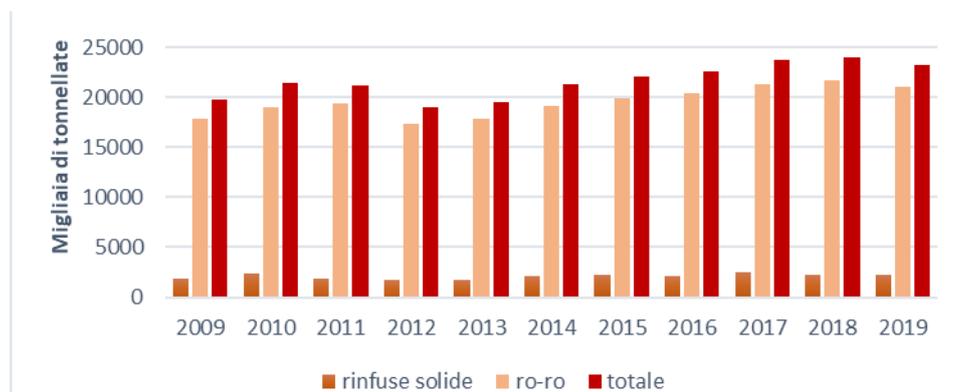


Figura 4-21 Sicilia – Mobilità merci via mare 1998-2019 (da Assoporti & siti Autorità Portuali)

Il tasso annuo di incremento nel periodo recente successivo al progetto del ponte a campata unica (2010-2019) risulta dell'ordine di 1% circa (0,9% e 1,1% con e senza le rinfuse solide), rispetto a 2,1% stimato nel breve periodo (in assenza dell'attraversamento stabile) nello studio del progetto del ponte a campata unica stesso, quindi inferiore a quanto stimato un decennio prima.

Il *Piano Integrato delle Infrastrutture e della Mobilità* della Regione Siciliana citato (aprile 2017) fornisce ulteriori indicazioni di maggior dettaglio sul traffico merci di interscambio della Sicilia con l'esterno della regione, come segue (anni 2014-2015):

- *“la percentuale di merci in ingresso ed in uscita per ferrovia sul totale si attesta al 1,2%;*
- *l'indice di utilizzo del traffico ferroviario (merci in ingresso ed in uscita per ferrovia, calcolato come tonnellate per cento abitanti) si attesta al 15,8% (contro una media nazionale del 27,9%).*
- *i volumi di merci in uscita via strada sono pari a circa 2,4 milioni di tonnellate verso altre regioni italiane e 0,1 milioni di tonnellate verso l'estero.*
- *i volumi di merci in ingresso via strada sono pari a circa 1,9 milioni di tonnellate da altre regioni italiane.”*

#### 4.6.2 Traffico di attraversamento dello Stretto

Il traffico merci di attraversamento dello Stretto è rappresentato dal traffico del porto di Messina, terminal dei collegamenti Rada Santo Stefano-Villa San Giovanni e Tremestieri-Villa San Giovanni.

L'andamento storico del traffico merci del porto di Messina è riportato in Figura 4-22, con riferimento a fonti diverse per periodo coperto e per tipologia di traffico, rispettivamente<sup>93</sup>:

<sup>93</sup> Non si considera la serie storica (periodo 1995-2010) riportata nello studio facente parte del progetto definitivo del ponte a campata unica, per la quale è precisato che i volumi “in attraversamento dello Stretto” sono ottenuti indirettamente applicando al traffico veicolare “coefficienti di riempimento” dell'ordine di 13-15 tonnellate per veicolo, che si ritengono sovrastimati includendo probabilmente la tara del veicolo, e che indicherebbero volumi stazionari del traffico di attraversamento intorno a 11 milioni di tonnellate annue.

- la serie storica del periodo 2002-2016 fornita dal Porto di Messina (Autorità Portuale di Sistema dello Stretto)<sup>94</sup>, che indica un andamento piuttosto stazionario nell’arco del decennio 2007-2016 con volumi complessivi dell’ordine di 6-8 milioni di tonnellate annue,
- la serie storica (anni 2009-2019) dei dati statistici di Assoportì<sup>95</sup> (merci movimentate nell’ambito del sistema portuale dello Stretto depurate delle rinfuse liquide che costituiscono il traffico pressoché esclusivo di Milazzo), che conferma la stazionarietà dei volumi di traffico intorno a 6 milioni di tonnellate annue.

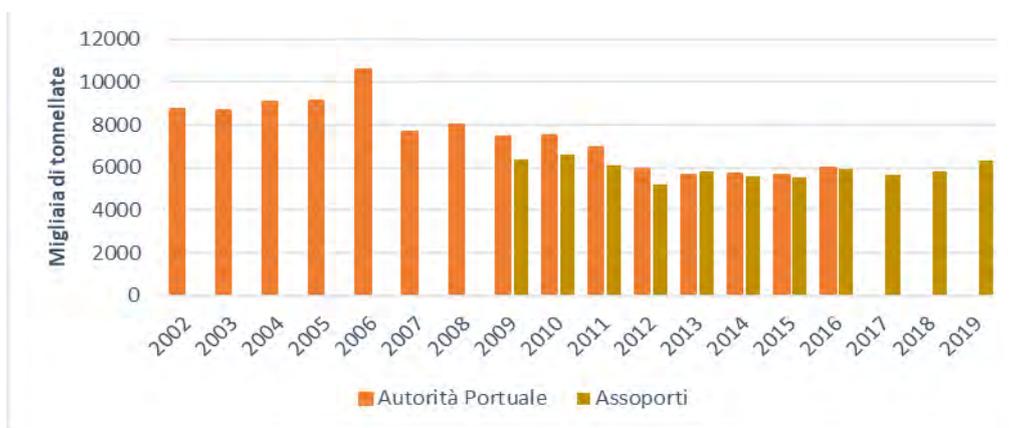


Figura 4-22 Porto di Messina – Traffico merci 2002-2019 (da Autorità Portuale / Assoportì)

La stazionarietà dei flussi non risulta in linea con le previsioni formulate nel progetto del ponte a campata unica (studio citato) di incremento al tasso annuo del 2,1% nel periodo precedente la realizzazione del ponte stesso.

#### 4.7 Conclusioni – Il ruolo dell’attraversamento

Sulla base dell’andamento degli spostamenti di persone e del traffico di merci in base alle statistiche disponibili fino al 2019 (l’anno 2020 non è considerato causa effetti della pandemia), considerando sia gli spostamenti di persone e il traffico di merci tra Sicilia ed esterno della regione, sia la quota parte degli uni e dell’altro che attraversa lo Stretto, nonché comparato le proiezioni effettuate nell’ambito del progetto definitivo del ponte a campata unica (2010), sono possibili alcune considerazioni conclusive.

- si evidenzia in Sicilia da e per l’esterno della regione – nel decennio trascorso dal progetto definitivo del ponte a campata unica – il dinamismo dei movimenti di passeggeri sia per via aerea, sia per via marittima (nel quinquennio più recente), con una più

<sup>94</sup> <http://www.porto.messina.it/statistiche-traffico/statistiche-porto-di-messina/movimento-merci-messina/>

<sup>95</sup> <https://www.assoportì.it/it/autoritasistemaportuale/statistiche/dati-per-porto/>



accentuata crescita della quota internazionale della domanda del settore aereo.

Considerando l'insieme dei movimenti di passeggeri per via aerea e marittima fra la Sicilia e l'esterno della regione – sempre nel decennio trascorso dal progetto definitivo del ponte - il tasso di incremento nel periodo 2010-2019 risulta pari a 2,3%, cioè di poco superiore al tasso di incremento 1,8% ipotizzato nel progetto definitivo per il periodo prima della realizzazione del ponte, anche se al limite inferiore della fascia di sviluppo economico stimata in sede di progetto preliminare (tasso annuo 1,8%-3,8%).

- il movimento dei passeggeri attraverso lo Stretto– nel decennio trascorso dal progetto definitivo del ponte a campata unica – presenta un incremento abbastanza significativo (tasso annuo 2,5%), sostanzialmente dello stesso ordine di grandezza del corrispondente risultante per l'insieme dei movimenti di passeggeri per via aerea e marittima fra la Sicilia e l'esterno della regione di cui sopra (2,3%).

La mobilità di passeggeri di attraversamento rappresenta una quota significativa della mobilità passeggeri complessiva tra la Sicilia e l'esterno della regione, dell'ordine del 38% senza considerare la domanda per via aerea su voli internazionali, e del 32% considerando anche tale domanda.

- Si evidenzia in Sicilia da e per l'esterno della regione – nel decennio trascorso dal progetto definitivo del ponte a campata unica – il dinamismo dei volumi di merci scambiate, attribuibile in particolare allo sviluppo delle rotte ro-ro facenti capo ai porti isolani verso Salerno / Napoli / Civitavecchia / Livorno / Genova / Cagliari.

Considerando l'insieme dei volumi di merci scambiate per via marittima fra la Sicilia e l'esterno della regione – sempre nel decennio trascorso dal progetto definitivo del ponte - il tasso di incremento nel periodo 2010-2019 risulta pari a 1,0%, cioè pari alla metà circa del tasso di incremento ipotizzato nel progetto definitivo per il periodo prima della realizzazione del ponte (2,1%),

- Il traffico delle merci attraverso lo Stretto– nel decennio trascorso dal progetto definitivo del ponte a campata unica – presenta un andamento stazionario, quindi inferiore rispetto al corrispondente risultante per l'insieme dei traffici di merci per via marittima fra la Sicilia e l'esterno della regione di cui sopra (1,0%).

La mobilità di merci di attraversamento dello Stretto rappresenta una quota significativa della mobilità complessiva di merci tra la Sicilia e l'esterno della regione, compresa orientativamente fra il 25% e il 40% a seconda delle fonti e dell'inclusione o meno delle rinfuse solide nel traffico di riferimento.

## 5 GRANDI INFRASTRUTTURE IN ESERCIZIO O IN COSTRUZIONE NEL MONDO

### 5.1 Premessa

Non è inutile ricordare che, già alla fine dell'Ottocento, bracci di mare di una certa ampiezza – in primo luogo i grandi estuari dei fiumi britannici – furono attraversati sia con gallerie sottomarine (per esempio, l'estuario del Severn, oltre 7 chilometri lungo la direttrice Londra-Cardiff), sia con giganteschi ponti come il Forth Bridge (Figura 5-1) lo spettacolare viadotto a sbalzo, oggi patrimonio dell'Umanità, sul Firth of the Forth, per collegare Edinburgo alle Highlands. Si tratta di opere che, a quasi 150 anni dall'inaugurazione, sono tuttora pienamente funzionanti.



Figura 5-1 Forth Bridge<sup>96</sup> (1890)

Nel corso degli anni il Giappone – un arcipelago esteso su quattro isole principali – ha deciso di fondersi in un unico territorio non più dipendente dai ferries. Prima con una breve galleria sottomarina tra Honshu e Kyushu (nel 1939), poi con il lunghissimo tunnel di Seikan<sup>97</sup> sotto lo stretto di Tsugaru, per raggiungere Hokkaido, infine con due imponenti viadotti per collegare Shikoku.

Mentre negli anni Novanta, come è noto, è stato realizzato il tunnel sotto la Manica che ha posto fine alla insularità britannica.

Anche la Norvegia, con i suoi cinque milioni di abitanti, ha deciso di ammodernare l'autostrada E39 lunga circa 1.100 km eliminando 8 servizi di navi traghetto che si prevede di sostituire entro il 2035 con altrettanti ponti o tunnel per un costo stimato di 47 miliardi di dollari (Figura 5-2). I tratti di mare da superare nella maggior parte dei casi sono più ampi e

<sup>96</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Forth\\_Bridge](https://it.wikipedia.org/wiki/Forth_Bridge)

<sup>97</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Galleria\\_Seikan](https://it.wikipedia.org/wiki/Galleria_Seikan)

profondi dei tratti di mare dello stretto di Messina dove sono state localizzate le varie ipotesi di attraversamento stabile da realizzare.

Queste realizzazioni, di certo non meno impegnative rispetto al collegamento fisso sullo stretto di Messina, dimostrano che la tecnologia moderna può vincere le sfide ingegneristiche, promuovendo le relazioni tra popoli e sviluppando un indotto economico positivo.

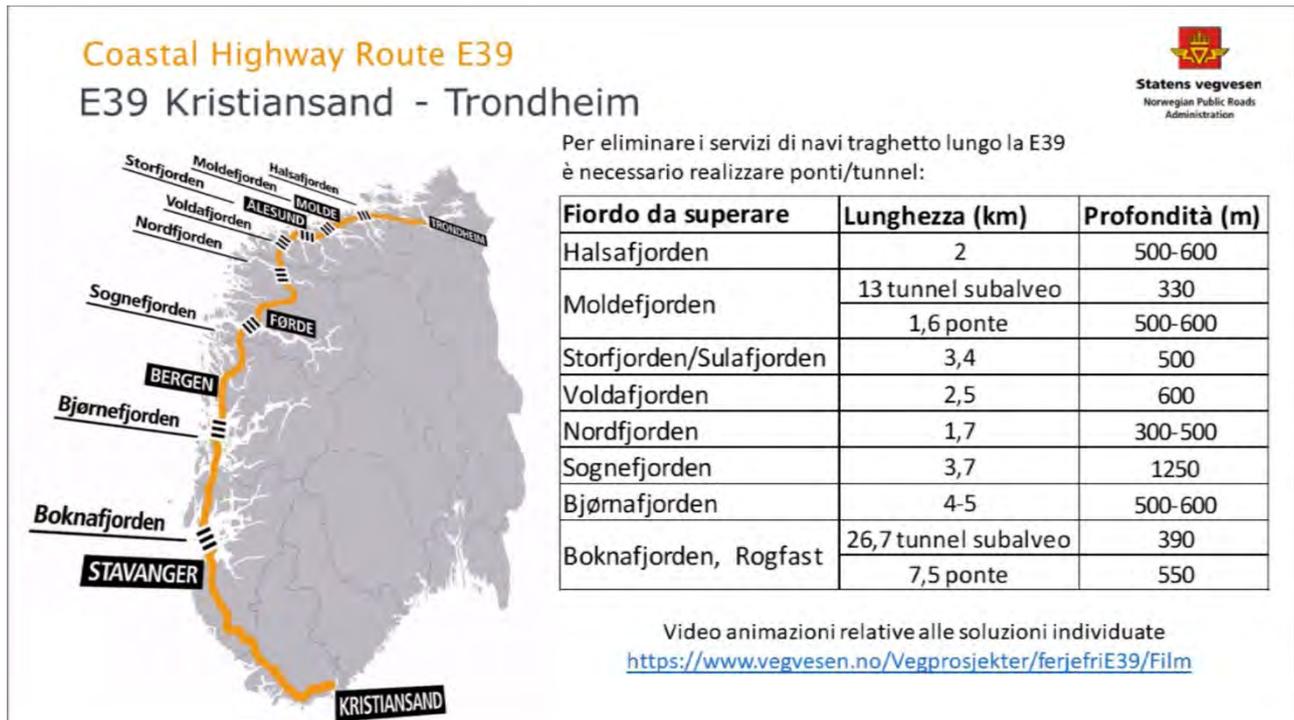


Figura 5-2 Progetto norvegese di adeguamento della E39<sup>98</sup>

Le gallerie più lunghe che superano i 50 km di lunghezza (Seikan, la Manica, la galleria di base del Gottardo) sono state concepite solo per il vettore ferroviario, mentre quelle stradali ad oggi non superano i 24 km circa sia perchè i tracciati stradali a parità di origine e destinazione godono del vantaggio di poter essere più pendenti e più tortuosi, adattandosi meglio alla morfologia montuosa e potendo posizionarsi a quote più alte di quelle ferroviarie, risultando quindi naturalmente più corte, sia a causa dei problemi di smaltimento dei fumi veicolari e dei relativi rischi in caso di incendio.

Una gestione mista strada rotaia è stata invece scelta per i collegamenti fissi tra lo Jutland e le maggiori isole danesi e per la relazione internazionale con la Svezia. In questi casi si è preferito optare per la realizzazione di grandi ponti comuni ad autostrade e linee ferroviarie a doppio binario, mentre tra Copenhagen e Malmoe la soluzione è stata in parte in viadotto, in parte in tunnel (il passaggio in sotterranea avviene in un'isola intermedia), onde

<sup>98</sup> <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/ferjefriE39/Film>



consentire il transito di navi di ogni tonnellaggio sull'Oresund che è poi l'accesso al Mar Baltico, su cui si affacciano porti di nove nazioni.

Anche per la relazione diretta tra Copenhagen ed Amburgo è in progetto un lungo ponte.

Per l'attraversamento del Bosforo, che separa l'Europa dall'Asia e divide in due la megalopoli di Istanbul, per molti anni la Turchia aveva accordato la priorità al trasporto su strada, realizzando in sequenza tre spettacolari ponti (che non sembrano aver mortificato uno dei panorami più suggestivi della terra). Per venire incontro all'aumento del traffico stradale e ferroviario è stato realizzato l'Eurasia Tunnel<sup>99</sup> (Avrasya T'neli), tunnel stradale a doppio piano (attivato nel 2016) ed è stata approvata la soluzione Great Istanbul Tunnel<sup>100</sup>, che prevede la realizzazione di un tunnel a più piani di cui due livelli per il traffico stradale e uno per il sistema ferroviario.

Un percorso analogo è stato seguito a Lisbona, dove inizialmente il ponte Venticinco de Abril<sup>101</sup> era stato aperto solo alle auto (1966), prevedendo tuttavia fin da subito un piano dedicato al passaggio dei treni che, molti anni dopo (1999), hanno finalmente collegato il centro della capitale con l'Alentejo e l'Algarve.

Ragioni strategiche hanno invece indotto la Russia a realizzare un ponte, sia stradale che ferroviario, sullo stretto di Kerc' per raggiungere la Crimea, riannessa alla Russia, senza attraversare il territorio ucraino.

Più in generale, dove hanno prevalso soluzioni unicamente stradali è in contesti che all'epoca avevano privilegiato questa modalità di trasporto, per esempio a New York con il Verrazzano Bridge tra Brooklyn e Staten Island o a San Francisco con il Golden Gate, anche perché orientato verso una zona scarsamente popolata, mentre il collegamento verso Berkeley è assicurato sia da un ponte stradale, il Bay Bridge, sia da una galleria ferroviaria sottomarina, utilizzata dal metro Bart.

Oppure ci sono ponti unicamente stradali dove la rete ferroviaria è marginale, se non del tutto assente, come nel caso del viadotto tra Rio e Antirio, che scavalca il golfo di Corinto in Grecia.

O tra Rio de Janeiro e Niteroi, allo sbocco della baia di Guanabara; ma, almeno in quest'ultimo caso, trattandosi di una popolosa area metropolitana, è ora in progetto una linea di metropolitana lungo il medesimo itinerario.

Dato il numero elevatissimo di ponti e tunnel realizzati in tutto il mondo in situazioni anche più impegnative di quelle esistenti nello stretto di Messina, i tempi sono più che maturi per realizzare anche quest'opera da troppi anni agognata.

---

<sup>99</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia_Tunnel)

<sup>100</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Istanbul\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Istanbul_Tunnel)

<sup>101</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/25\\_de\\_Abril\\_Bridge](https://en.wikipedia.org/wiki/25_de_Abril_Bridge)

Nella nostra analisi prenderemo in considerazione tre tipologie di attraversamento stabile (Figura 5-3):

- 1) Ponti a grande luce
- 2) Tunnel sottomarini
- 3) Tunnel sommersi in acqua

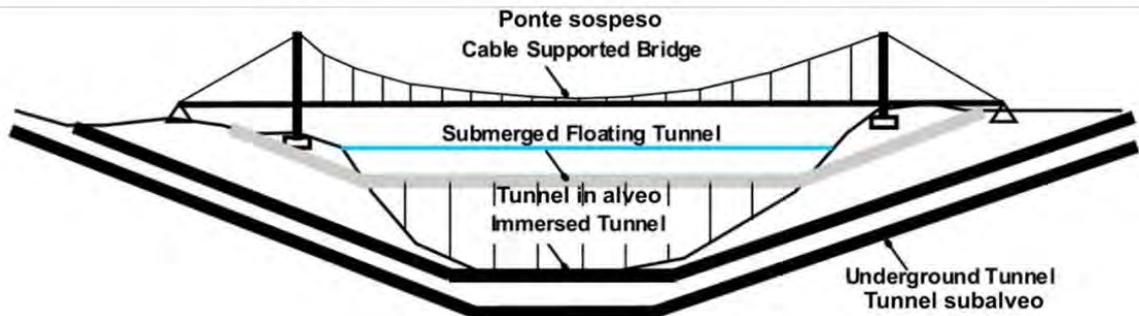


Figura 5-3 Tipologie delle soluzioni di attraversamento stabile prese in considerazione<sup>102</sup>

## 5.2 Ponti a grande luce

Tra le opere umane, i ponti sono particolarmente ricchi di storia e di fascino. Molti degli antichi ponti romani e medioevali, in pietra o in laterizio, prevalentemente soggetti a sforzi di compressione, sono tuttora attivi. Dall'età industriale è subentrato dapprima il primato del ferro, poi quello del calcestruzzo armato.

I progressi delle tecniche di progettazione e costruzione dei ponti mostrano l'infinito sforzo umano per superare gli ostacoli, inventare, sviluppare e implementare nuove idee e soluzioni. Su tali argomenti esiste una consistente letteratura. Per sintesi citiamo il libro *"Innovative Bridge Design Handbook (Construction, Rehabilitation and Maintenance"*<sup>103</sup> edizioni Butterworth Heinemann 2015), che può essere considerato il più recente riferimento mondiale sullo stato dell'arte dei ponti (tra teoria, progettazione, costruzione, ricerca e sviluppo (R&S)), nonché la rivista internazionale *e-mosty* specializzata nel trattare le evoluzioni dei ponti<sup>104</sup>, *Academia*<sup>105</sup> specializzata nella pubblicazione di articoli accademici, *Structurae.net*<sup>106</sup>, che è la più grande banca dati del mondo per ingegneri civili e strutturali

<sup>102</sup> [https://issuu.com/trasportecultura/docs/t\\_c.44 - grandi attraversamenti.alt](https://issuu.com/trasportecultura/docs/t_c.44_-_grandi_attraversamenti.alt)

<sup>103</sup> <https://www.sciencedirect.com/book/9780128000588/innovative-bridge-design-handbook>

<sup>104</sup> <https://e-mosty.cz/>

<sup>105</sup> [https://www.academia.edu/22312614/CABLE SUSPENDED BRIDGES](https://www.academia.edu/22312614/CABLE_SUSPENDED_BRIDGES)

<sup>106</sup> <https://structurae.net/en>

e le pubblicazioni dell'International Association for Bridge and Structural Engineering<sup>107</sup> (IABSE).

Introduciamo innanzitutto la differenza tra ponti strallati e ponti sospesi (Figura 5-4).

Un **ponte strallato** è costituito da una o più torri con cavi che supportano l'impalcato del ponte. In questo tipo di ponti il peso viene scaricato a terra tramite le fondazioni delle singole torri.

I ponti strallati hanno una buona stabilità, un uso ottimale dei materiali strutturali, hanno costi di progettazione e manutenzione relativamente bassi e caratteristiche strutturali efficienti.

Pertanto, questo tipo di ponti sta diventando sempre più popolare e di solito è preferito per gli attraversamenti stradali di grande luce e misti stradali e ferroviari di media luce, per la maggiore rigidità strutturale conferita all'impalcato.

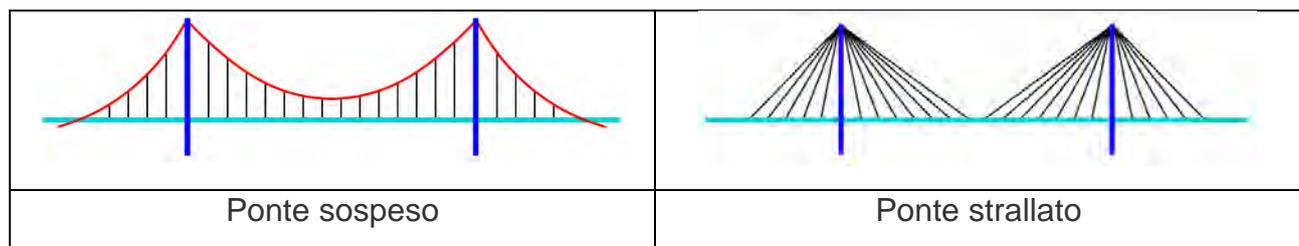


Figura 5-4 Tipologie di ponte

In base alla disposizione dei cavi, i ponti strallati possono essere ad arpa (*harp arrangement*), a ventaglio (*fan arrangement*), a semi-ventaglio (*modified fan* o *semi-fan*) (Figura 5-5).

Nella disposizione a ventaglio, tutti i cavi si collegano o passano sopra le torri. Per ragioni pratiche, si preferisce il semi-ventaglio (soprattutto dove sono necessari molti cavi), in cui i cavi terminano vicino alla sommità della torre ma sono sufficientemente distanziati l'uno dall'altro, per consentire una migliore terminazione, una migliore protezione ambientale (agenti atmosferici e ambiente marino) e un buon accesso ai singoli cavi per la manutenzione.

<sup>107</sup> <https://iabse.org/>, <https://www.e-periodica.ch/digbib/volumes?UID=bse-re-003>

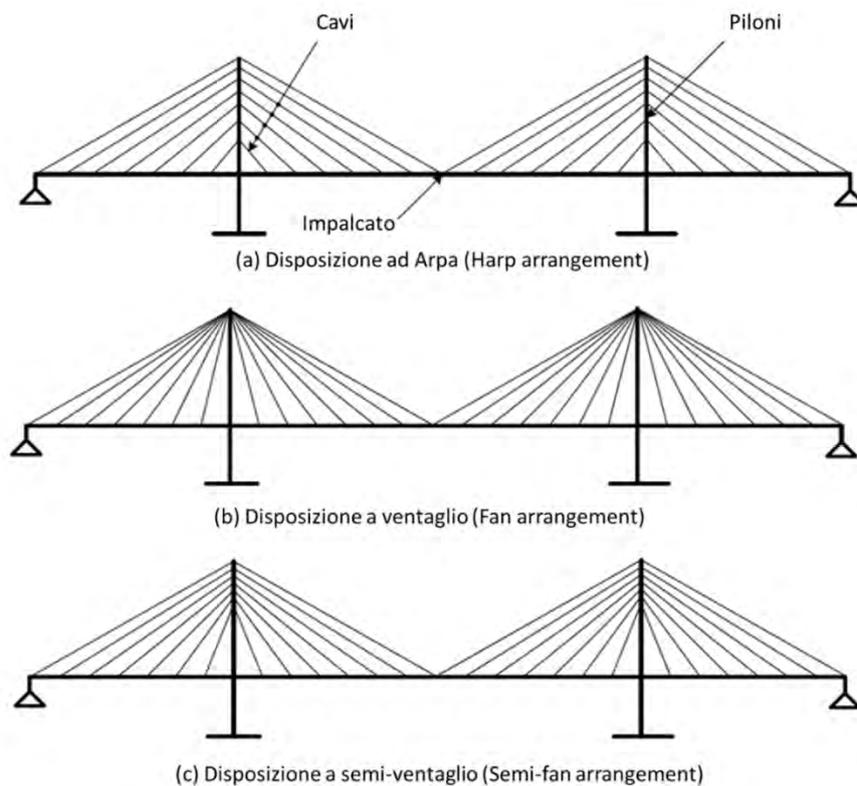


Figura 5-5 Le tre principali disposizioni dei cavi dei ponti strallati<sup>108</sup>

Nei **ponti sospesi** i cavi principali (normalmente due) pendono tra le torri e sono ancorati al suolo alle estremità. L'ancoraggio, attuato mediante blocchi di dimensioni proporzionali alle forze in gioco, può incontrare una certa complicazione realizzativa quando le caratteristiche del terreno sono scarse. Questo tipo di ponti appare preferito per i ponti misti stradali e ferroviari di grande luce, anche nella forma combinata di ponte insieme strallato e sospeso.

Un ponte sospeso classico è piuttosto flessibile non è facile da adattare ai carichi pesanti e concentrati di un treno. Quando il treno è fra la mezzeria e l'estremità della campata, i cavi di sospensione si muovono verso il basso sotto il carico e verso l'alto sul lato opposto, con un'efficienza limitata producendo deviazioni molto grandi<sup>109</sup> (Figura 5-6).

<sup>108</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_longest\\_cable-stayed\\_bridge\\_spans](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_longest_cable-stayed_bridge_spans)

<sup>109</sup> [http://www.cifi.it/UplDocumenti/Roma30112016/08\\_CIFI\\_TO-LY.pdf](http://www.cifi.it/UplDocumenti/Roma30112016/08_CIFI_TO-LY.pdf)

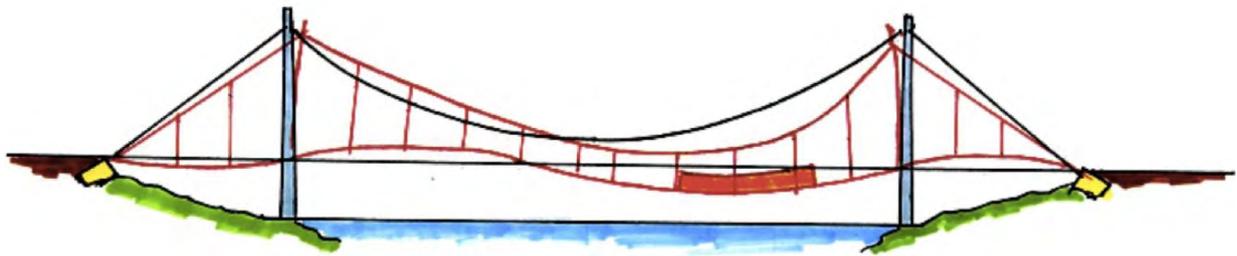


Figura 5-6 Flessione di un ponte sospeso sottoposto a carichi pesanti come un treno

Utilizzando contemporaneamente il sistema a sospensione e stralli di irrigidimento vicino alle torri (Highly Rigid Suspension Bridge: H.R.S.B.) si ottengono minori flessioni delle campate sino a ridurle di un fattore compreso tra 3 e 4 (Figura 5-7).

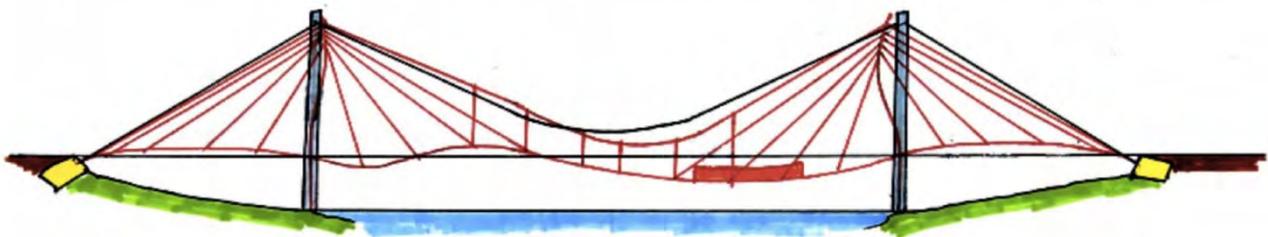


Figura 5-7 Flessione di un ponte ibrido (H.R.S.B.) sottoposto ad un carico ferroviario

Nel caso di ponti strallati multicampata, per ridurre le flessioni delle torri centrali dovute ai carichi determinati dai treni, è possibile aggiungere dei cavi di sostegno opportunamente posizionati in modo da sviluppare un traliccio virtuale<sup>110</sup> che fornisca una maggiore rigidità globale complessiva, migliorando sia le prestazioni statiche che dinamiche<sup>111</sup> (Figura 5-8).

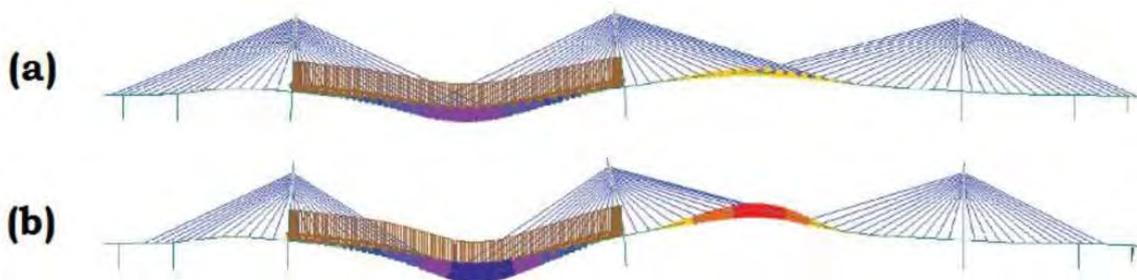


Figura 5-8 Deformazioni del ponte per carico in movimento su una campata, (a) con e (b) senza cavi di sostegno incrociati

<sup>110</sup> [https://www.researchgate.net/publication/323187564\\_Optimum\\_crossing\\_cable\\_system\\_in\\_multi-span\\_cable-stayed\\_bridges](https://www.researchgate.net/publication/323187564_Optimum_crossing_cable_system_in_multi-span_cable-stayed_bridges)

<sup>111</sup> <https://e-mosty.cz/wp-content/uploads/2016/06/e-mosty12017QueensferryCrossing.ForthRoadandRailwayBridges.March2017.pdf>

Un'altra tecnica consiste nel realizzare torri estremamente rigide per ridurre la flessione (ad esempio il Ponte Rion-Antirion<sup>112</sup> e il Chang-Tai Yangtze River Bridge – Figura 5-9).



Figura 5-9 Rion-Antirion Bridge<sup>113</sup>e Chang-Tai Yangtze River Bridge<sup>114</sup>

Le **colonne di supporto** sia per i ponti strallati che per quelli sospesi possono essere realizzate in modi diversi: single, double, portal e A-shaped (

Figura 5-10).

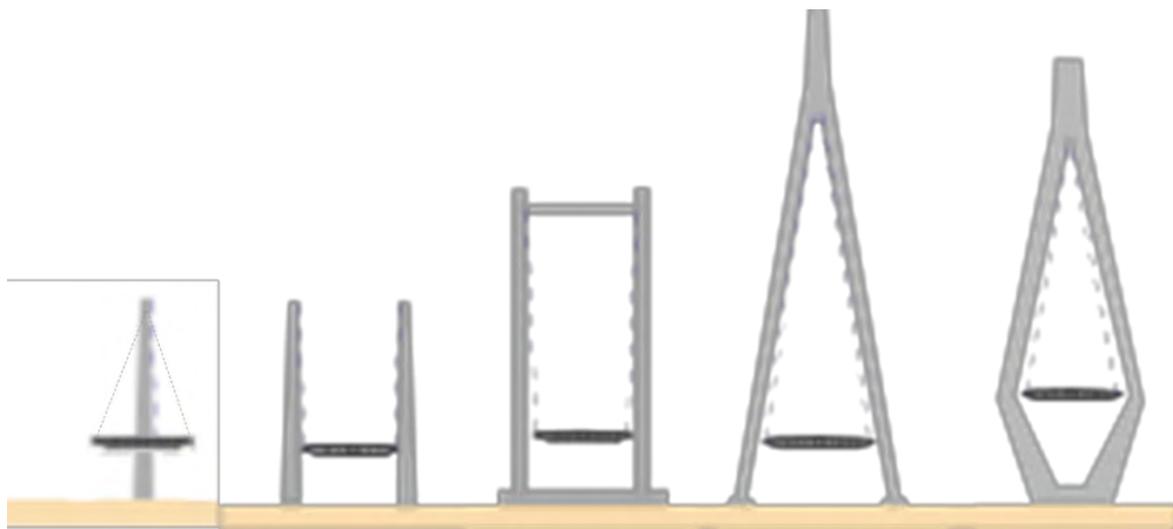


Figura 5-10 Differenti tipologie di piloni per ponti con sospensione laterale

- La disposizione singola (**single**) utilizza una sola colonna per il supporto dei cavi;
- La disposizione doppia (**double**) prevede coppie di colonne su entrambi i lati del ponte.
- Il portale (**portal**) è simile alla coppia di colonne, ma ha un terzo elemento che le collega per formare una struttura simile a una porta. Questo offre ulteriore resistenza, soprattutto contro i carichi trasversali.

<sup>112</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Rio%E2%80%93Antirion\\_Bridge](https://en.wikipedia.org/wiki/Rio%E2%80%93Antirion_Bridge)

<sup>113</sup> <https://structurae.net/en/structures/rio-antirion-bridge>

<sup>114</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=ouiOzGfaZPQ>



- I piloni a forma di **A** sono simili al portale e raggiungono lo stesso obiettivo collegando le due colonne in alto, eliminando la necessità del terzo elemento. I piloni ad **Y** invertito equivalgono ad una doppia A in quanto sono collegati sia in alto che in basso.

Gli **impalcati** dei ponti a grande luce sono suddivisibili in due tipologie: reticolare e aerodinamico.

Alla tipologia con **impalcato reticolare** appartengono numerosi ponti costruiti in grande numero, soprattutto negli Stati Uniti, tra la fine dell'Ottocento e la prima metà del Novecento (Brooklyn 1883, Golden Gate, 1937), e, più recentemente, in Giappone (Ohanruto 1985, Minami-Bisan Seto 1988), in Cina (Hutong Yangtze River Bridge 2020 e Wufengshan Yangtze River Bridge 2020). Questa tipologia di ponti ha luci tipiche che vanno da alcune centinaia di metri a 1.100 m circa. L'impalcato reticolare contribuisce sostanzialmente con la sua grande rigidezza flessionale e torsionale alla stabilità globale dell'opera. La sua grande resistenza al vento si traduce però in pesi molto elevati di tutte le strutture e grandi deformazioni sottovento dell'impalcato stesso.

Con la realizzazione del ponte giapponese Akashi-Kaikyo (1998), si è raggiunto quello che può considerarsi il limite estremo di luce per questa tipologia di ponti<sup>115</sup>. Esso, infatti, con una luce di poco meno di 2.000 m sconta la notevolissima freccia laterale di oltre 30 m sotto l'azione del vento di progetto (Figura 5-11).

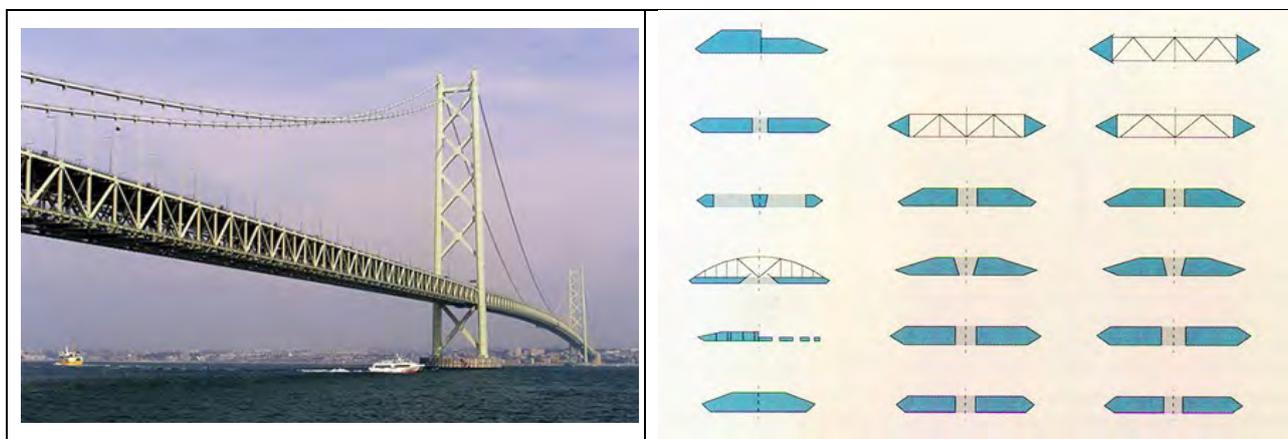


Figura 5-11 Akashi Kaikyo Bridge e tipologie di impalcato prese in considerazione per la sua progettazione  
Fonte: *The Messina Strait Bridge- Ed. Stretto di Messina 2010*

I ponti con **impalcato aerodinamico** si suddividono in due tipologie, a cassone singolo e a cassoni multipli. I ponti con impalcato aerodinamico **a cassone singolo**, per la loro forma sono spesso chiamati alari. Costruiti nella seconda metà del Novecento, specialmente in Europa (Severn 1966, Little Belt 1970, Humber Bridge 1981, Bosforo 1973), questi ponti hanno normalmente luci comprese tra i 1.000 e i 1.600 m. L'impalcato a cassone scatolare, già concepito per l'aerodinamica, offre una resistenza al vento più limitata, presenta anche minori deformazioni sottovento, è più leggero ed efficiente dal punto di vista strutturale. La

<sup>115</sup> <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bse-re-003%3A1998%3A79>

sezione a cassone unico non è intrinsecamente stabile e presenta problemi di instabilità aeroelastica crescenti al crescere della luce libera. Per grandi luci occorre allora aumentare l'altezza del cassone per avere maggiore rigidezza (4,5 m nel caso dell'Humber Bridge). Così facendo si ottiene però un profilo più tozzo che presenta maggiore resistenza al vento, ma con lo svantaggio di avere strutture molto pesanti. Inoltre, impalcato con profili tozzi sono soggetti al fenomeno del distacco di vortici (vortex shedding), con tutta una serie di problematiche che ne conseguono. Si presenta quindi, anche per questa tipologia, un limite di circa 2.000 m per la luce massima di utilizzo, un limite nel quale il contributo dell'impalcato alla stabilità globale tende a diventare insignificante.

I ponti con impalcato aerodinamico **a cassoni multipli** sono stati progettati a seguito degli studi effettuati per il ponte sospeso sullo Stretto di Messina. La sezione dell'impalcato è composta da cassoni multipli a profilo alare, separati da superfici trasparenti all'aria e dotati di adeguati accorgimenti aerodinamici. Esso non solo presenta una modestissima resistenza al vento, ma è anche intrinsecamente stabile nei confronti dei fenomeni di instabilità aeroelastica. Utilizzando tali studi sono stati progettati e realizzati molti ponti stradali di luce sino a 2023 m (1915 Çanakkale Bridge), mentre non esistono esempi di ponti ferroviari a grande luce realizzati su tale principio.

Non è da dimenticare che la reale utilizzabilità dei ponti sospesi a grande luce dipende anche dalle condizioni atmosferiche, che possono determinarne delle limitazioni sino alla totale chiusura in funzione della velocità del vento e di altri aspetti studiati in sede di analisi del rischio. Tali valori vengono determinati dalle autorità competenti in sede di valutazione della sicurezza dell'esercizio e manutenzione ordinaria e straordinaria sia in situazioni normali che di emergenza.

Esistono studi e proposte di impalcato aerodinamici completamente chiusi. Nel 1990, ad esempio, è stata proposta per la prima volta da Astiz e Ansen (H.Ostenfeld e Larsen 1992) un impalcato per il ponte di Gibilterra con sezione trasversale di forma ellittica chiusa (Figura 5-12). Tale tipologia di impalcato presenta il vantaggio che le forze di resistenza, a parità di larghezza, possono essere ridotte a circa il 30%. Inoltre, il traffico stradale e ferroviario è completamente protetto dall'elevata velocità del vento.

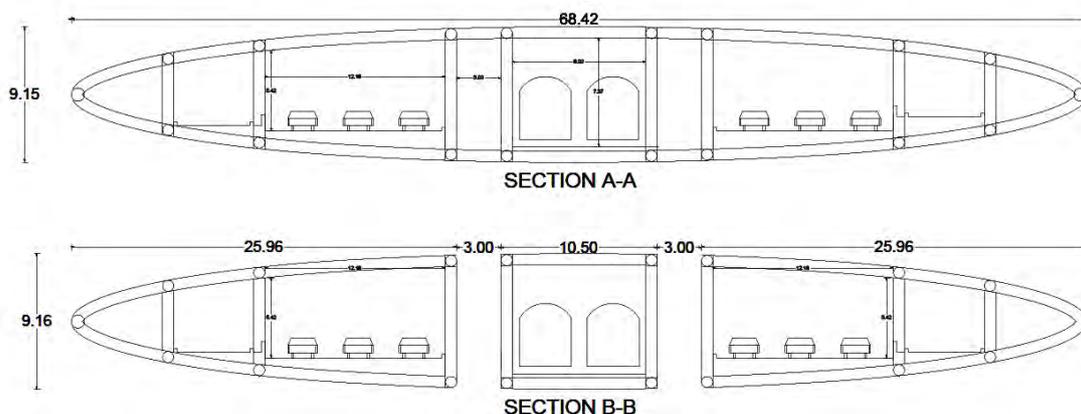
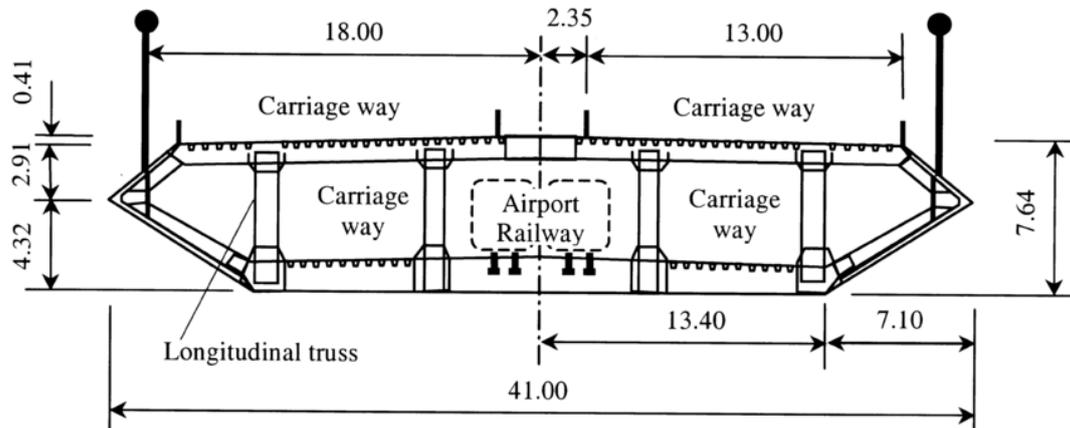


Figura 5-12 Impalcato ellittico chiuso a uno e a tre cassoni proposto nel 1990 per il ponte di Gibilterra<sup>116</sup>

Per garantire l'esercizio stradale e ferroviario anche in presenza di forti venti il ponte Tsing Ma di Hong Kong (1997) è stato progettato con un impalcato aerodinamico chiuso (Figura 5-13) in grado di proteggere i mezzi circolanti al piano inferiore.

Figura 5-13 Impalcato aerodinamico chiuso del ponte Tsing Ma di Hong Kong<sup>117</sup>

Si elencano di seguito alcuni dei problemi ingegneristici che pongono i ponti sospesi a grande luce:

- **Stabilità dell'impalcato sotto l'azione del vento<sup>118</sup>**  
A ponte scarico l'impalcato deve risultare stabile nei confronti dei rischi di vibrazioni autoeccitate (flutter, distacco di schiere di vortici di von Karman, buffeting, ecc.) anche con venti molto forti. Per tali verifiche ci si avvale dei risultati dei test in galleria del vento su modelli in scala.
- **Deformabilità laterale**  
In esercizio (a ponte carico), con i venti moderati previsti dalle norme, l'impalcato deve essere sufficientemente rigido da poter consentire il traffico stradale e ferroviario (oltre che stabile), cioè le deformazioni laterali devono essere contenute entro limiti accettabili dalle normative
- **Deformabilità nel piano verticale**  
Le deformazioni dell'impalcato nel piano verticale, soprattutto per stese di carico non simmetriche, devono essere contenute entro i limiti adeguati a consentire il traffico ferroviario (generalmente si richiedono frecce massime inferiori a 1/500–1/1000 della luce).
- **Rigidezza torsionale**  
L'impalcato deve essere sufficientemente rigido a torsione per evitare eccessive pendenze trasversali incompatibili con l'esercizio stradale e ferroviario.
- **Problemi sismici<sup>119</sup>**

<sup>116</sup> [https://www.academia.edu/30175566/Aerodynamic Stability of Ultra Long Span Cable Suspension Bridges](https://www.academia.edu/30175566/Aerodynamic_Stability_of_Ultra_Long_Span_Cable_Suspension_Bridges)

<sup>117</sup> <https://silo.tips/download/the-bridge-engineering-2-conference>

<sup>118</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=MuxYe\\_gSyMw&t=1043s](https://www.youtube.com/watch?v=MuxYe_gSyMw&t=1043s)

<sup>119</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=XebTRj\\_3OW8](https://www.youtube.com/watch?v=XebTRj_3OW8)



*I ponti in zona sismica devono essere costruiti non solo per resistere alle scosse telluriche, ma anche per garantire, durante il terremoto, la circolazione in sicurezza dei treni e degli autoveicoli non solo sul ponte, ma anche sui loro viadotti di raccordo alla terraferma.*

A livello teorico sarebbe possibile progettare ponti sospesi con una campata principale massima sino a 5,4 km circa<sup>120</sup>. Negli anni Ottanta erano state ipotizzate varie soluzioni per il ponte di Gibilterra con campate lunghe 5 km, progetti poi accantonati per orientare la scelta su tunnel sottomarini, certamente meno problematici da realizzare<sup>121</sup>.

Prendendo in considerazione i primi 50 ponti più grandi del mondo realizzati dal 1931 ad oggi (2020), riordinati per data (in nero i ponti stradali e ferroviari, in blu quelli stradali) e confrontati con la campata del progetto del ponte sullo stretto di Messina, si rileva che la dimensione della loro campata principale non ha mai superato i 2.000 m.<sup>122</sup> (Figura 5-14)

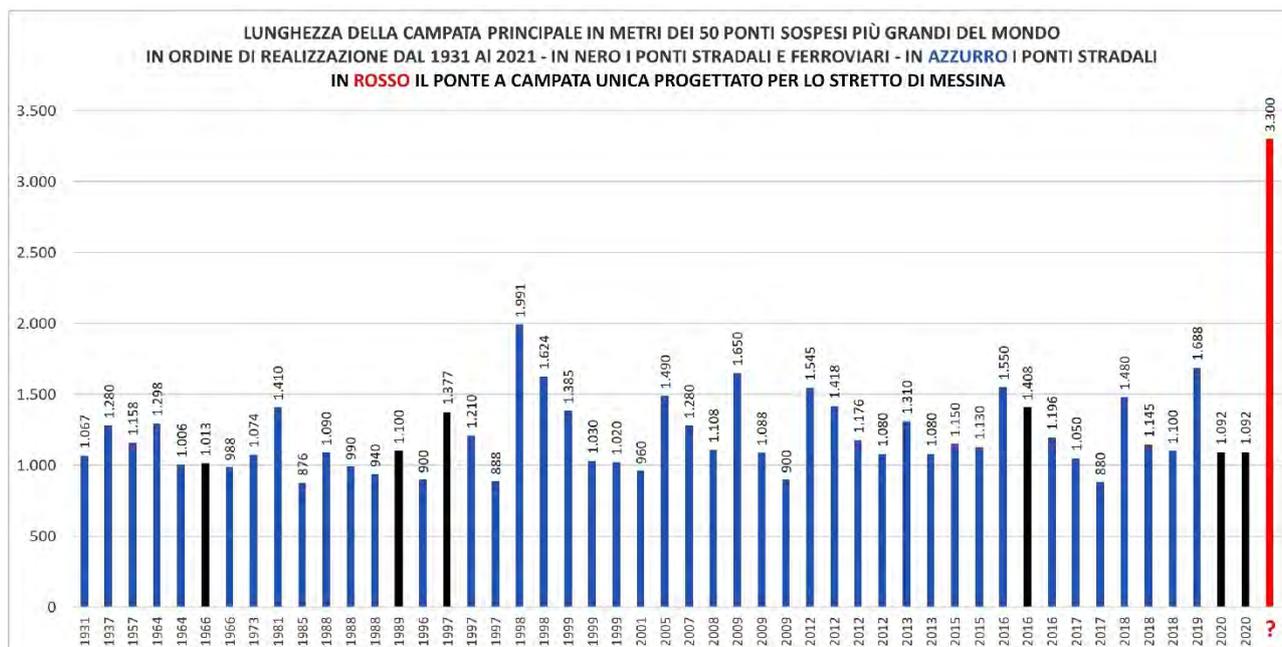


Figura 5-14 Lunghezze a confronto

<sup>120</sup> [https://www.academia.edu/22312614/CABLE SUSPENDED BRIDGES](https://www.academia.edu/22312614/CABLE_SUSPENDED_BRIDGES) e

Il costo dei ponti sospesi varia esponenzialmente in funzione della lunghezza della campata (v fig.8.1 di [http://www.fedo.unina.it/8407/1/Martire\\_Giulio\\_23.pdf](http://www.fedo.unina.it/8407/1/Martire_Giulio_23.pdf))

<sup>121</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=pmGVXKu-BnE>, <https://www.youtube.com/watch?v=MzIN5zm-ubs>, <https://www.youtube.com/watch?v=FGDUe4Ju93Q>, <https://www.youtube.com/watch?v=UkPXKO7LLIY>, <https://www.youtube.com/watch?v=3iCjVezZaws>, <https://www.youtube.com/watch?v=POgcSGoy-Xs>, <https://www.youtube.com/watch?v=t4u75dbJGs0>

<sup>122</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_longest\\_suspension\\_bridge\\_spans](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_longest_suspension_bridge_spans), [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_longest\\_cable-stayed\\_bridge\\_spans](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_longest_cable-stayed_bridge_spans), [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_spansn](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_spansn), [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_longest\\_arch\\_bridge\\_spans](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_longest_arch_bridge_spans), [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_longest\\_bridges](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_longest_bridges)



### 5.2.1 Ponti misti (stradali e ferroviari)

Un “ponte misto” (che prevede carreggiate stradali e linee ferroviarie insieme) può essere strutturato con un impalcato a piano singolo, o a due (o più) livelli sovrapposti.

Nella Tabella 5-1 sono riportati i dieci ponti misti più grandi del mondo. Da notare che quelli di più recente realizzazione sono tutti di tipo strallato, e che quelli di maggiore lunghezza sono tutti di tipo sospeso o di tipo ibrido strallato e sospeso.

	Ponte <sup>123</sup>	Nazione	Attivazione	Campata principale	Piani	Tipo di ponte
1	<a href="#">Yavuz Sultan Selim Bridge</a> (realizzato per essere misto, attualmente è solo stradale)	Turkey	2016	1.408 m	1	Suspension bridge with cable-stays
2	<a href="#">Tsing Ma Bridge</a>	China	1997	1.377 m	2	Suspension bridge
3	<a href="#">Minami Bisan-Seto Bridge</a>	Japan	1988	1.100 m	2	Suspension bridge
4	<a href="#">Hutong Yangtze River Bridge</a>	China	2020	1,092 m	2	Cable-stayed bridge
5	<a href="#">Tagus River Bridge</a>	Portugal	1966	1.013 m	2	Suspension bridge
6	<a href="#">Kita Bisan-Seto Bridge</a>	Japan	1985	990 m	2	Suspension bridge
7	<a href="#">Shimotsui-Seto Bridge</a>	Japan	1988	940 m	2	Suspension bridge
8	<a href="#">Ohnaruto Bridge</a>	Japan	1985	876 m	2	Suspension bridge
9	<a href="#">Chongming North Bridge</a>	China	2009	730 m	2	Cable-stayed bridge
10	<a href="#">Queensferry Crossing</a>	United Kingdom	2017	650 m	1	Cable-stayed bridge

Tabella 5-1 Ponti misti stradali e ferroviari più lunghi del mondo

Tra i ponti stradali e ferroviari, il più lungo, con una campata principale lunga 1.408 m è lo **Yavuz Sultan Selim Bridge**<sup>124</sup>, noto anche con il nome di "Terzo ponte sul Bosforo"<sup>125</sup>. Aperto al traffico stradale nell'agosto 2016, il ponte, che vanta l'impalcato più largo del mondo, ha otto corsie autostradali<sup>126</sup>. La sede ferroviaria è predisposta ma i due binari ferroviari previsti non sono stati ancora posati<sup>127</sup> (Figura 5-15 e Figura 5-16). La struttura è di tipo ibrido (Highly Rigid Suspension Bridge (HRSB)) ovvero si tratta di un ponte in parte strallato e in parte sospeso<sup>128</sup>, progettato con particolare cura per quanto riguarda i terremoti e i venti<sup>129</sup>.

<sup>123</sup> <https://structurae.net/en/structures/bridges/railroad-railway-bridges>

<sup>124</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=D5sh1eO-Xc4&t=1s>

<sup>125</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Yavuz\\_Sultan\\_Selim\\_Bridge](https://en.wikipedia.org/wiki/Yavuz_Sultan_Selim_Bridge)

<sup>126</sup> [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/TEM/Turkey\\_1.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/TEM/Turkey_1.pdf)

<sup>127</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=1qZArA1xkSU&t=1s>

<sup>128</sup> <http://www.ingciv.polimi.it/wp-content/uploads/2017/10/Terzo-Ponte-Bosforo-POLIMI-17.10.2017.pdf>

<sup>129</sup> <https://www.worldhighways.com/wh10/feature/major-europe-asia-bridge-connection-turkey>

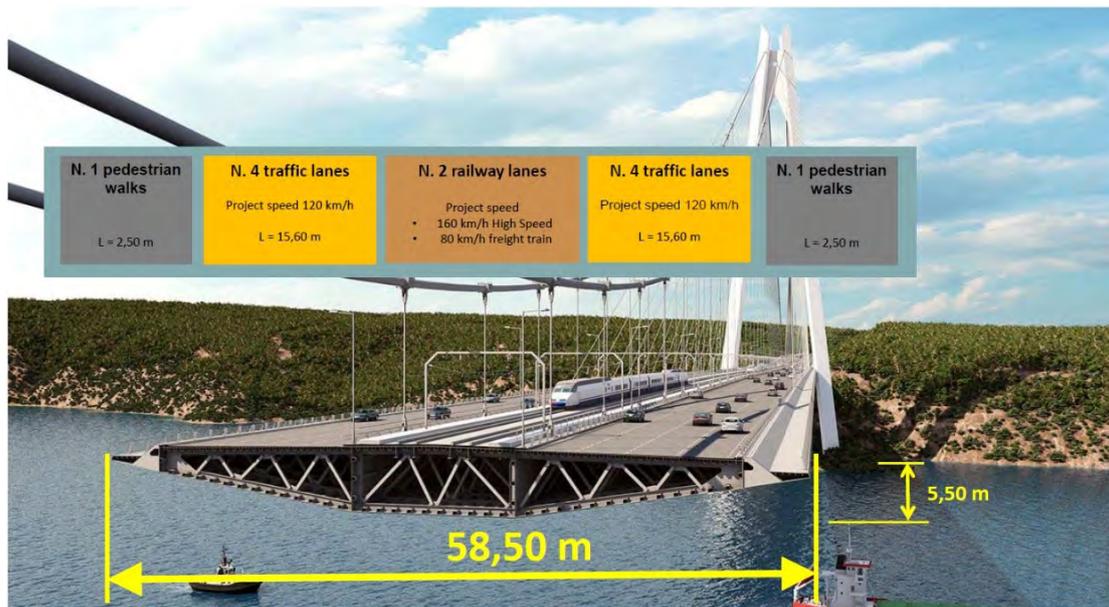


Figura 5-15 Terzo Ponte sul Bosforo: impalcato

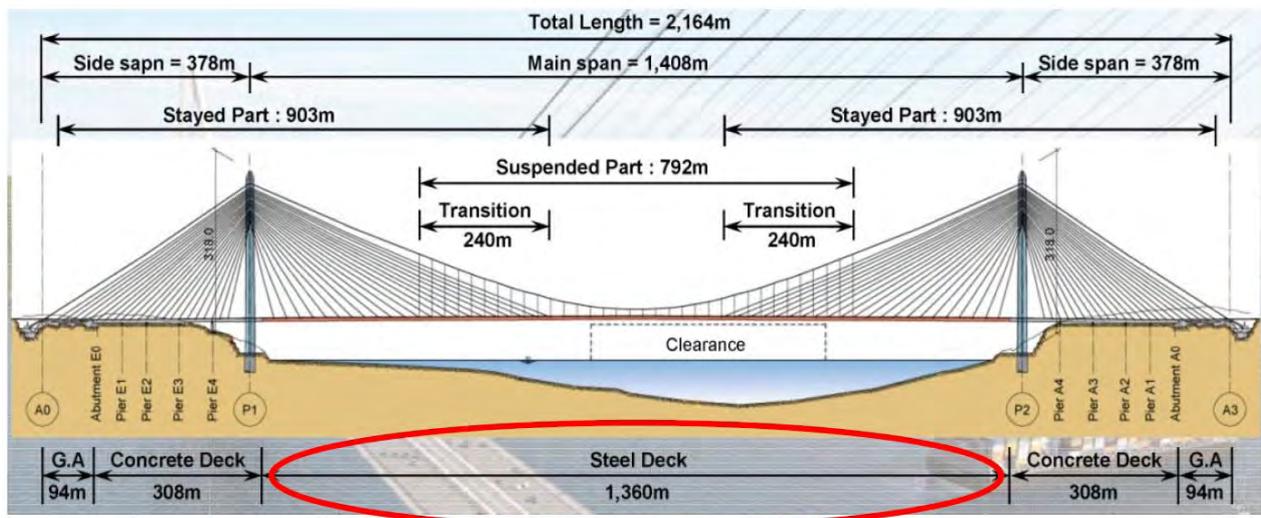


Figura 5-16 Terzo Ponte sul Bosforo: soluzione ibrida “Ponte sospeso e strallato” - H.R.S.B.

Il ponte misto stradale e ferroviario in servizio secondo per lunghezza della campata principale nel mondo è lo **Tsing Ma Bridge**<sup>130</sup> di Hong Kong (Figura 5-17) aperto al traffico nel 1997.

<sup>130</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Tsing\\_Ma\\_Bridge](https://it.wikipedia.org/wiki/Tsing_Ma_Bridge)



Figura 5-17 Tsing Ma Bridge visto dalla penisola Ma Wan<sup>131</sup>

L'impalcato del ponte (Figura 5-18) prevede sia il traffico stradale (tre corsie per ogni senso di marcia) che il traffico ferroviario (doppio binario). Il ponte ha una campata centrale di 1.377 m ed un'altezza dei piloni di 206 m. È a due livelli con due binari ferroviari alloggiati al livello inferiore, all'interno della struttura dell'impalcato (come se fossero in galleria), avendo così una maggior sicurezza nei confronti del vento. Quando la velocità media del vento supera per dieci minuti i 75 km/h il ponte superiore viene chiuso ed il traffico automobilistico viene dirottato al piano inferiore. Quando la velocità del vento supera i 165 km/h il piano inferiore viene chiuso al traffico stradale, ma non a quello ferroviario, che viene sempre garantito anche in presenza di fortissimi venti (tifoni). In situazione normale, le due carreggiate al piano inferiore vengono utilizzate per la manutenzione e come carreggiata di emergenza con limite di velocità pari a 50 km/h e per veicoli di altezza non superiore a 4,6 metri. La velocità massima di progetto del traffico automobilistico al piano superiore è di 100 km/h, mentre la velocità massima di progetto del traffico ferroviario è di 135 km/h. Informazioni in tempo reale riguardanti sia l'utilizzo delle corsie stradali sia sulla velocità massima ammessa vengono fornite agli automobilisti tramite appositi tabelloni luminosi a portale situati prima e lungo il ponte<sup>132</sup>.

L'impalcato del ponte ha una forma aerodinamica studiata per fornire la massima stabilità possibile per resistere ai tifoni tipici di Hong Kong ed è rivestito con pannelli in acciaio inossidabile per evitarne la verniciatura e la successiva difficile e costosa manutenzione.

<sup>131</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=AvzU6j-kPyM&t=1s>

<sup>132</sup> [https://www.td.gov.hk/en/publications\\_and\\_press\\_releases/publications/free\\_publications/driving\\_in\\_the\\_tsing\\_ma\\_control\\_area/index.html](https://www.td.gov.hk/en/publications_and_press_releases/publications/free_publications/driving_in_the_tsing_ma_control_area/index.html)

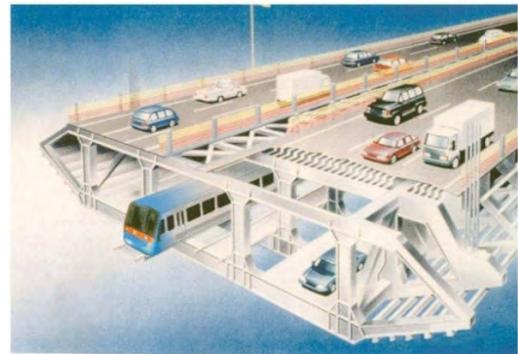
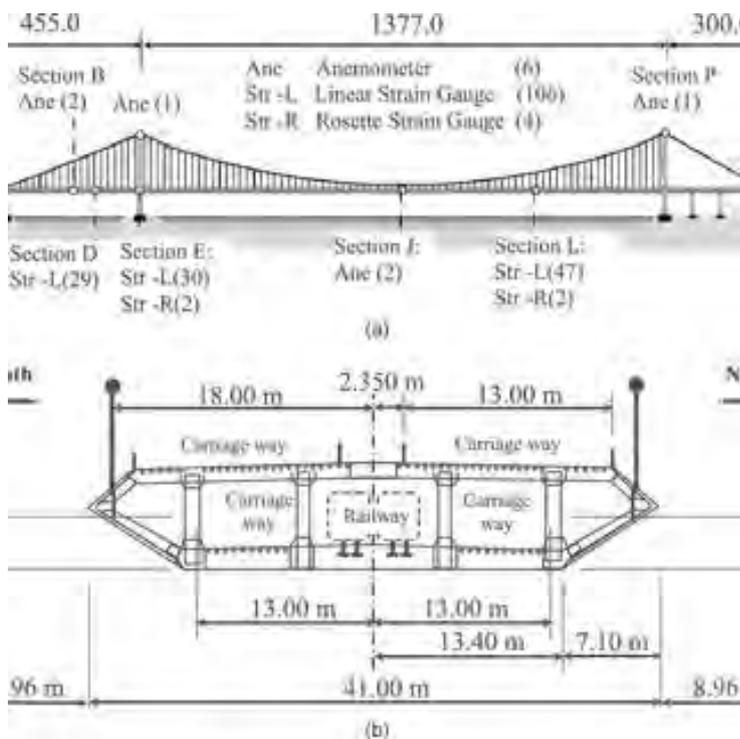


Figura 5-18 Sezione del ponte Tsing Ma Bridge di Hong Kong<sup>133</sup>

Il ponte misto stradale e ferroviario giapponese **Minami Bisan-Seto Bridge**<sup>134</sup> ha una campata centrale di 1.100 m. Realizzato su due piani ha sopra quattro corsie stradali e sotto una linea ferroviaria a doppio binario con scartamento da 1.067 mm (Figura 5-19).

I ponti misti più grandi del mondo realizzati appositamente per fare circolare treni ad alta velocità sino a 250 km/h con scartamento standard (1435mm) sono i ponti cinesi **Hutong Yangtze River Bridge**<sup>135</sup> (Figura 5-20 e Figura 5-21) attivato il 1° luglio 2020 e **Wufengshan Yangtze River Bridge** (Figura 5-22 e Figura 5-23), aperto al traffico ferroviario il 11 dicembre 2020.

<sup>133</sup> <https://www.checkerboardhill.com/2017/03/driving-through-tsing-ma-bridge-lantau-link-lower-deck/>

<sup>134</sup> [http://bestbridge.net/Asia\\_en/minami-bisan-seto-bridge.phtml](http://bestbridge.net/Asia_en/minami-bisan-seto-bridge.phtml)

<sup>135</sup> Development of Construction Technology and Equipment for Marine Bridges

[https://www.researchgate.net/publication/334368324\\_Development\\_of\\_Construction\\_Technology\\_and\\_Equipment\\_for\\_Marine\\_Bridges](https://www.researchgate.net/publication/334368324_Development_of_Construction_Technology_and_Equipment_for_Marine_Bridges) di Zhang Ruixia e Pan Dongfa

<https://www.sciencedirect.com/search?q=Development%20of%20Construction%20Technology%20and%20Equipment%20for%20Marine%20Bridges>



Figura 5-19 Minami Bisan-Seto Bridge<sup>136</sup>



Figura 5-20 Hutong Yangtze River Bridge<sup>137</sup>

<sup>136</sup> Youtube “Seto-Ohashi bridge” - [https://www.youtube.com/watch?v=oOLCv1Y\\_Erc](https://www.youtube.com/watch?v=oOLCv1Y_Erc)

<sup>137</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=tX6LUrOX3Ak>

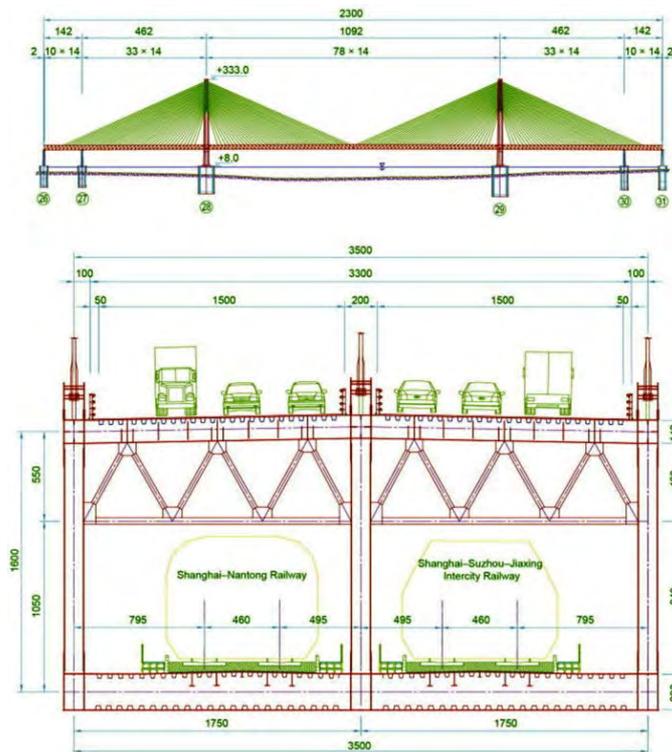


Figura 5-21 Sezione longitudinale e trasversale dello Hutong Yangtze River Bridge<sup>138</sup>

Entrambi con campata principale di luce 1092 m, impalcato a due livelli, aventi al livello sottostante 2 linee ferroviarie di cui una ad alta velocità (250 km/h), differiscono per il sistema di sospensione e per la larghezza dell'impalcato al livello superiore destinato a sede stradale:

- il ponte Hutong (altezza delle torri 325m) è ad impalcato reticolare strallato a semi-ventaglio, a sezione rettangolare, e presenta 2 carreggiate di 3 corsie ciascuna
- il ponte Wufengshan è ad impalcato reticolare sospeso, a sezione trapezoidale, e presenta 2 carreggiate di 4 corsie ciascuna.

<sup>138</sup> Youtube “World's largest cable-stayed rail-road bridge” <https://www.youtube.com/watch?v=ZMChBOpoosA> e <https://www.youtube.com/watch?v=iLYuPwX4eO8&t=1s>



Figura 5-22 Wufengshan Yangtze River Bridge<sup>139</sup>



Figura 5-23 Elemento modulare di impalcato del Wufengshan Yangtze River Bridge durante la fase di costruzione<sup>140</sup>

È in costruzione sempre in Cina il Chang-Tai Yangtze River Bridge<sup>141</sup>, che stabilirà il nuovo record di lunghezza della campata principale per i ponti misti stradali e ferroviari strallati con 1176 m, altezza delle torri 340m, e verrà ultimato nel 2024 (Figura 5-24). L'impalcato reticolare del tipo strallato a semi-ventaglio a 2 livelli combina 3 infrastrutture di trasporto: autostrada (6 corsie percorribili sino alla velocità massima di 100 km/h + 2 corsie di

<sup>139</sup> Youtube "World's first high-speed rail suspension bridge under construction"

<https://www.youtube.com/watch?v=DajCyNhWXE8>

<sup>140</sup> Fonte Alamy Stock Photo

<sup>141</sup> <http://www.chinadaily.com.cn/a/201901/11/WS5c387c74a3106c65c34e3fd0.html>



emergenza) al livello superiore, ferrovia interurbana a doppio binario (velocità di progettazione 200 km/h) e strada ordinaria a 2 corsie per senso di marcia (velocità massima 80 km/h) (Figura 5-25).



Figura 5-24 Chang-Tai Yangtze River Bridge<sup>142</sup> (campata da 1176 m)

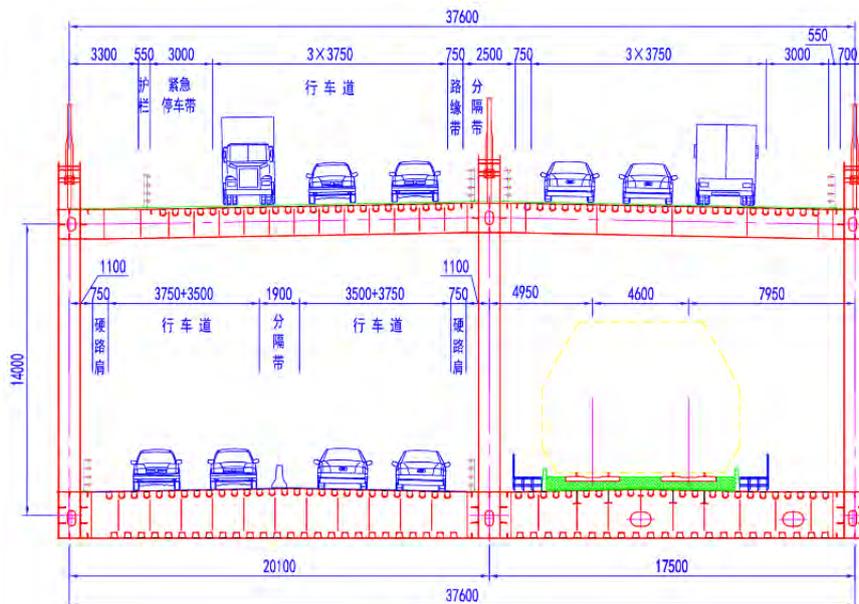


Figura 5-25 Dimensioni dell'impalcato del ponte Chang-Tai<sup>143</sup>

<sup>142</sup> [https://www.liyucsf.com/page141?l=en&article\\_id=504](https://www.liyucsf.com/page141?l=en&article_id=504)

<sup>143</sup> <http://www.jshbgz.cn/ssgs/201804/P020180420340927738444.pdf>

Le fondazioni dei ponti citati hanno tipologie diverse, per quanto riguarda sia le torri di sostegno degli stralli (ponti strallati) e dei cavi di sospensione (ponti sospesi), sia per quanto riguarda gli ancoraggi a terra dei cavi di sospensione ove presenti (ponti sospesi).

La tipologia adottata dipende oltre che da motivazioni strutturali anche dal contesto geologico e geotecnico locale: con riferimento ai casi citati di ponti recenti misti stradali e ferroviari attraverso lo Yangtze River sono diffuse le fondazioni a cassoni aperti (il fiume ha una profondità di 20-30m e il subalveo è caratterizzato da uno strato di oltre 200m di sedimenti sovrastanti il substrato roccioso) (Figura 5-26 e Figura 5-27), ma non mancano i casi di fondazioni su pali (Figura 5-28) che peraltro lungo l'intero corso del fiume rappresentano oltre il 90% delle fondazioni sia per i ponti strallati che per i ponti sospesi<sup>144</sup>. Non mancano soluzioni miste di fondazioni a cassoni aperti su pali.

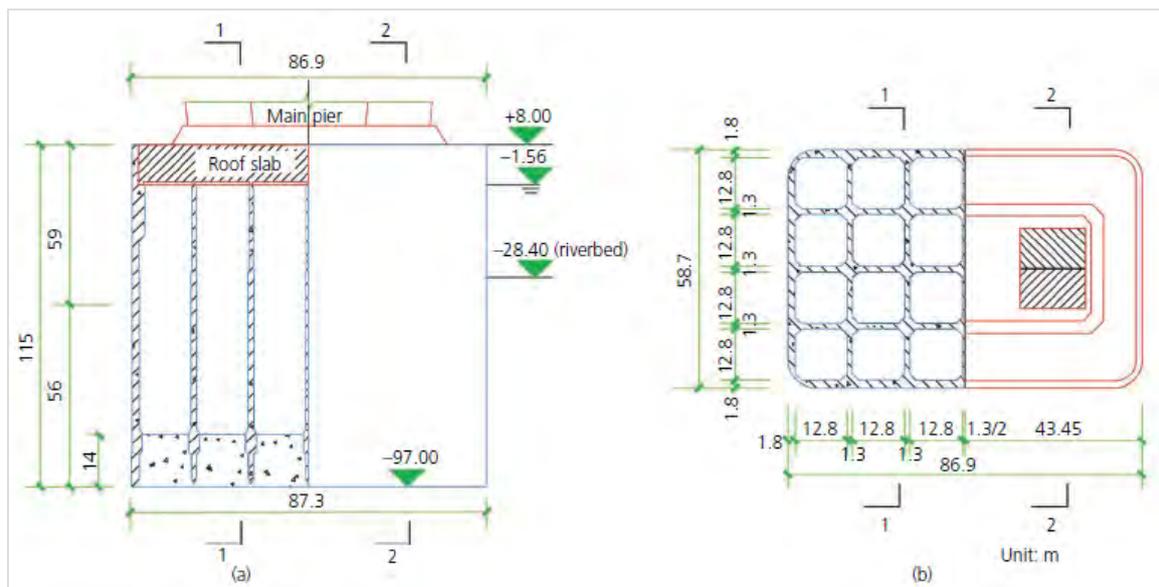


Figura 5-26 Hutong Yangtze River Bridge – Tipica fondazione a cassone aperto

<sup>144</sup> Foundations of Yangtze River mainstream bridges in China - Authors: Wei-ming Gong Zheng-zhen Wang Guo-liang Dai Xiao-guang Liu Ming-xing Zhu Xin-xin Zhao Hui Guo

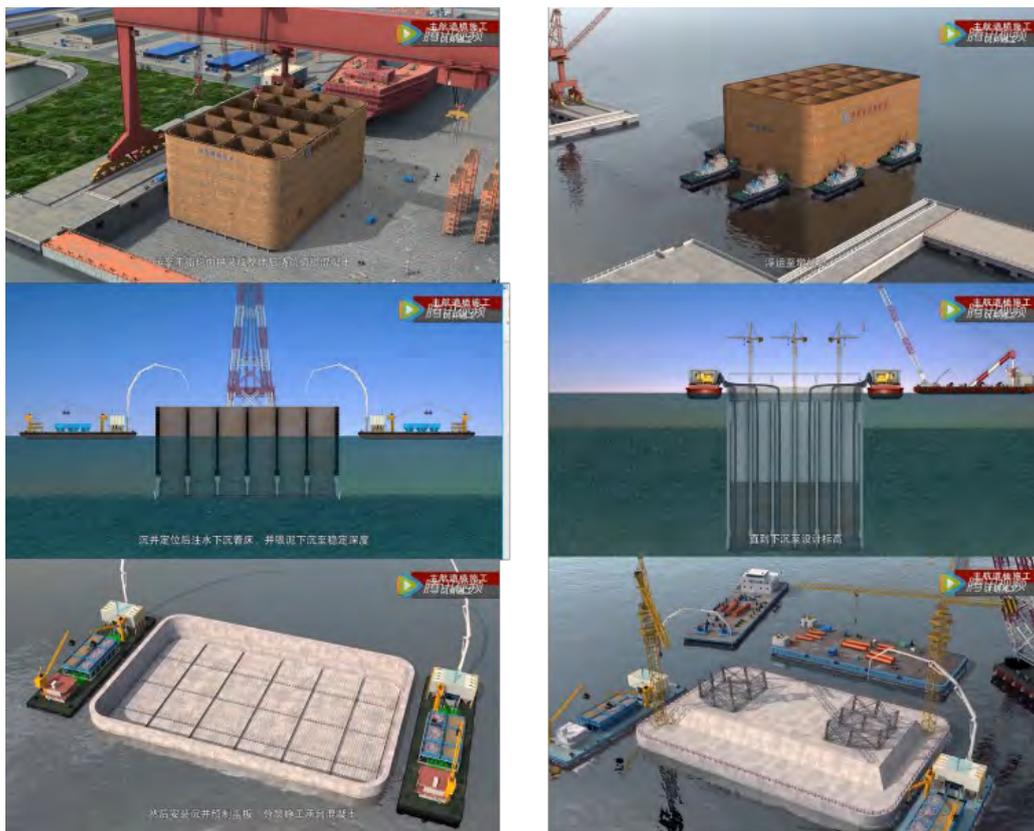


Figura 5-27 Sequenza costruttiva di una fondazione a cassone aperto dell'Hutong Yangtze River Bridge<sup>145</sup>

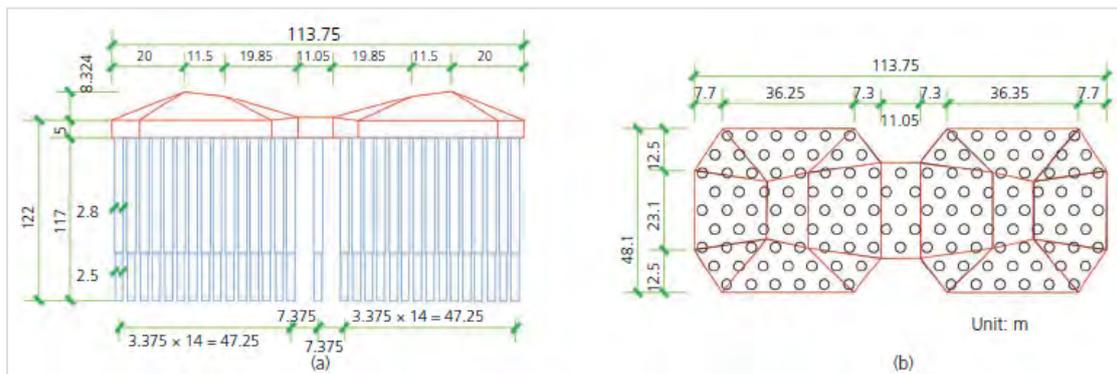


Figura 5-28 Sutong Yantze River Bridge – Tipica fondazione su pali<sup>146</sup>

Il pericolo di collisione delle navi con i moli dei piloni offshore può essere gestito mediante una protezione flottante con grandi elementi di gomma collegati a corde d'acciaio ben

<sup>145</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=PxoNI6HabiA&t=424s> , <https://www.youtube.com/watch?v=8CmSnz7vqTc>  
<https://www.youtube.com/watch?v=LD2mwxMikMQ>

<sup>146</sup> <https://youtu.be/581kTVNfAIU&t=240s> , <https://www.youtube.com/watch?v=LD2mwxMikMQ>



ancorate<sup>147</sup>. Questa protezione salva non solo il ponte ma anche la nave. Ci sono anche altri dispositivi disponibili per rendere sicura la navigazione<sup>148</sup> attraverso un canale con una larghezza libera di circa 1300 m.

Il sistema migliore per proteggere i moli dalla collisione delle navi nelle acque profonde è renderli abbastanza forti da resistere da soli alle forze di collisione.

Nella Figura 5-29 e Figura 5-30 alcuni esempi di protezione.



Figura 5-29 Esempio di sistema di protezione da collisioni navali: “2nd Incheon Bridge, Korea” Fonte: COWI A/S

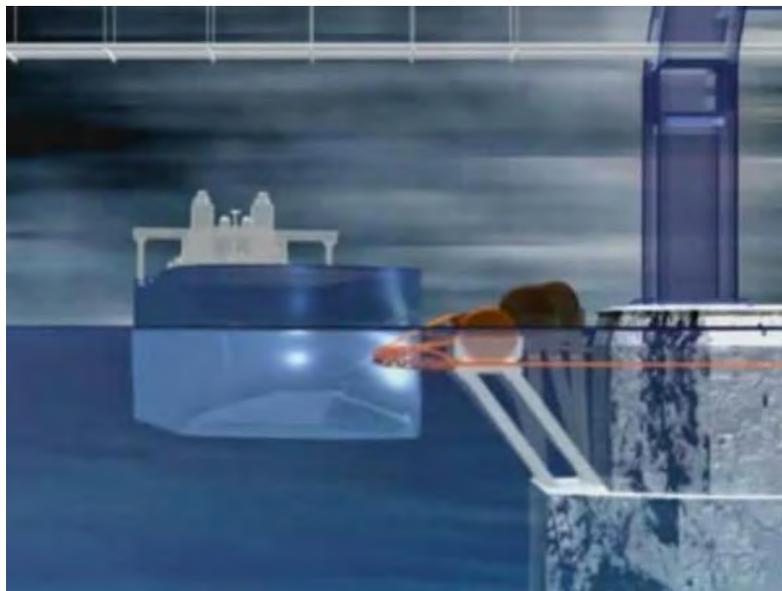


Figura 5-30 Esempio di sistema di protezione di un ponte da collisioni navali: Anello di respingenti semisommersi: sistema ipotizzato per il ponte di Gibilterra<sup>149</sup> - Fonte: © T.Y. LIN International

<sup>147</sup> <http://www.pneumaticrubberfenders.com/sale-11977619-yokohama-pneumatic-rubber-fender-anti-collision-ship-protection-in-all-size.html>

<sup>148</sup> <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/218807/1/218807.pdf> e <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/stco.200910004>

<sup>149</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=t4u75dbJGs0&t=229s>



In conclusione, i ponti in grado di sopportare traffico ferroviario – che determina forti sollecitazioni che aumentano con la velocità e con il peso del treno – hanno campate che non superano i 1.408 m, lunghezza decisamente inferiore rispetto ai ponti costruiti per il solo traffico stradale.

A favore della soluzione di struttura a due livelli dell'impalcato per i ponti misti stradali e ferroviari (che appare essere uno standard consolidato per le opere recenti di attraversamento dello Yantze River) va evidenziata anche la possibilità di svincolare più agevolmente i tracciati stradali e ferroviari di collegamento a terra alle due estremità dell'opera di attraversamento.

Gli sviluppi e prospettive delle tecnologie dei ponti ferroviari per l'alta velocità sono illustrati sulla rivista "Engineering" Volume 3, numero 6, Pagine 779-914 (dicembre 2017)<sup>150</sup> Tra gli articoli pubblicati si segnala "Developments and Prospects of Long-Span High-Speed Railway Bridge Technologies in China" di Shunquan Qin e Zongyu Gao, China Railway Major Bridge Reconnaissance and Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430050, China.

## 5.2.2 Ponti stradali

Il ponte stradale costituisce in genere una struttura più semplice di quella del ponte misto, perché sottoposta a più limitati carichi statici e dinamici. Questo permette la realizzazione delle luci maggiori, con problemi relativamente più semplici.

Nella Tabella 5-2 sono riportati i dieci ponti stradali più grandi del mondo.

	Ponti stradali <sup>151</sup>	Nazione	Attivazione	Campata principale	Tipo di ponte
1	<a href="#">Akashi Kaikyo Bridge</a>	Japan	1998	1.991 m	Suspension bridge
2	<a href="#">Yangsigang Bridge</a>	China	2019	1.700 m	Suspension bridge
3	<a href="#">Nansha Bridge (East)</a>	China	2019	1.688 m	Suspension bridge
4	<a href="#">Xihoumen Bridge</a>	China	2009	1.650 m	Suspension bridge
5	<a href="#">Great Belt East Bridge</a>	Denmark	1998	1.624 m	Suspension bridge
6	<a href="#">Osman Gazi Bridge</a>	Turkey	2016	1.550 m	Suspension bridge
7	<a href="#">Runyang Yangtze River North Bridge</a>	China	2005	1.490 m	Suspension bridge
8	<a href="#">Hangrui Expressway Dongting Lake Bridge</a>	China	2018	1.480 m	Suspension bridge
9	<a href="#">Humber Bridge</a>	United Kingdom	1981	1.410 m	Suspension bridge
10	<a href="#">Yavuz Sultan Selim Bridge (realizzato per essere misto, attualmente è solo stradale)</a>	Turkey	2016	1.408 m	Suspension bridge with cable-stays

Tabella 5-2 Ponti stradali più grandi del mondo

<sup>150</sup> <https://www.sciencedirect.com/journal/engineering/vol/3/issue/6>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917304496>  
[https://www.academia.edu/22312614/CABLE\\_SUSPENDED\\_BRIDGES](https://www.academia.edu/22312614/CABLE_SUSPENDED_BRIDGES)

<sup>151</sup> <https://structurae.net/en/structures/bridges/road-bridges>

Il ponte stradale più lungo al mondo è l'**Akashi Kaikyo Bridge**, ponte sospeso lungo 3911 metri<sup>152</sup>. La sua campata principale è lunga 1991 metri, quelle laterali 960m. Originariamente progettato come stradale e ferroviario con campata da 1780 m, a partire dal 1985, a causa del deterioramento finanziario delle ferrovie nazionali giapponesi, è stato riprogettato come ponte solo stradale da 1990 m di campata principale (2 carreggiate 3 corsie per direzione) costruito in 10 anni, è entrato in servizio nell'aprile 1998. Nel 1995 durante la costruzione a seguito di un forte terremoto i due moli in mare si sono spostati tra di loro di circa un metro per cui la campata è diventata di 1991 m. Unisce la città di Kōbe sull'isola di Honshū all'isola Awaji, passando al di sopra dello stretto di Akashi (Figura 5-31). Il braccio di mare superato dal ponte ha una profondità massima di 110m, il franco libero per il passaggio delle navi è di 66m. Le due torri di sostegno dei cavi, aventi altezza di circa 283m (297m al punto di attacco dei cavi di sospensione), sono erette su fondali di circa 60m.

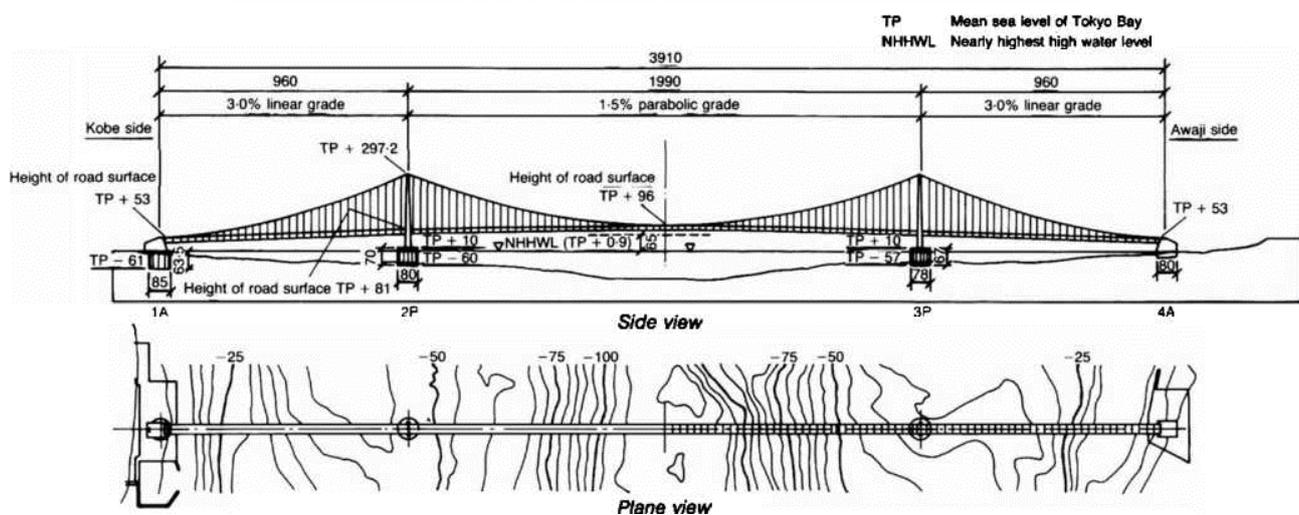


Figura 5-31 Akashi Kaikyo Bridge<sup>153</sup>

<sup>152</sup> <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=bse-re-003%3A1998%3A79>

<sup>153</sup> Fonte: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/istbu.1994.26779>

Le fondazioni sono del tipo a cassone circolare metallico, diametro 80m, costruite a terra e rimorciate in galleggiamento nella posizione finale, quindi riempite d'acqua / calate sul fondo in uno scavo appositamente preparato / riempite di calcestruzzo speciale resistente all'acqua e coperte in sommità dalla piastra di ancoraggio delle torri (Figura 5-32).



Figura 5-32 Fasi di realizzazione delle fondazioni dell'Akashi-Kaikyo Bridge<sup>154</sup>

Le torri, realizzate in cantiere, e il relativo metodo di messa in opera sono progettati per correnti marine di 4,5 m/sec, mentre l'impalcato è progettato per venti di 290 km/h e terremoti di magnitudo 8,5 della scala Richter (un terremoto di magnitudo 7,5 si è verificato nel 1995 durante la costruzione provocando lo spostamento di una torre di circa 1m, a seguito del quale l'impalcato che non era ancora stato varato è stato adattato di conseguenza).

<sup>154</sup> Youtube "Exploring The Design Process And Construction Of Akashi Kaikyo Bridge"  
<https://www.youtube.com/watch?v=sOH64HsKyVc&t=1s>



Per quanto riguarda i ponti stradali in corso di progettazione e realizzazione, si segnalano le soluzioni recentemente individuate in Norvegia per superare sette fiordi lungo l'autostrada E39, che collega, lungo la costa atlantica, Kristiansand a Trondheim<sup>155</sup>, distanti circa 1100 km, eliminando sette servizi di navi traghetto e dimezzando il tempo di percorrenza da 21 ore a 11 ore circa.

Per realizzare tale ambizioso programma sono stati progettati attraversamenti stabili sia con tecniche classiche, che con tecniche sviluppate per la realizzazione di grandi piattaforme offshore oceaniche<sup>156</sup> utilizzate per l'estrazione di gas e petrolio da grandi giacimenti sottomarini<sup>157</sup>.

Per quanto riguarda i ponti, è stata presa in considerazione la possibilità di realizzare ponti sospesi multicampata con fondazioni a gravità (Multispan suspension bridge Gravity Based Structures (GBS)) per profondità del mare sino a 500 m.

In particolare, nel caso del **Sulafjorden** (per il quale è stata studiata anche la soluzione mediante tunnel sommerso flottante), profondo 450 m, è stata presa in considerazione la soluzione di ponte stradale sospeso a due campate da 2.000 m con fondazione della torre di sostegno del tipo GBS<sup>158</sup> (Figura 5-33 e Figura 5-34).



Figura 5-33 Sulafjorden Bridge – Progetto ponte a due campate con fondazioni a gravità di tipo GBS<sup>159</sup>

<sup>155</sup> <https://www.vegvesen.no/en/roads/Roads+and+bridges/Road+projects/e39coastalhighwayroute>

<sup>156</sup> <https://www.vegvesen.no/en/roads/Roads+and+bridges/Road+projects/e39coastalhighwayroute/film>

<sup>157</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Offshore\\_concrete\\_structure](https://en.wikipedia.org/wiki/Offshore_concrete_structure)

<sup>158</sup> [https://www.vegvesen.no/attachment/1122114/binary/1253086?fast\\_title=Presentasjon+Sweco+Ramb%C3%B8ll+%28revidert+2018%29.pdf](https://www.vegvesen.no/attachment/1122114/binary/1253086?fast_title=Presentasjon+Sweco+Ramb%C3%B8ll+%28revidert+2018%29.pdf)

<sup>159</sup> Youtube "Statens vegvesen - E39 Sulafjorden K2" [https://www.youtube.com/watch?v=7s2l7Uq\\_oZ4](https://www.youtube.com/watch?v=7s2l7Uq_oZ4)

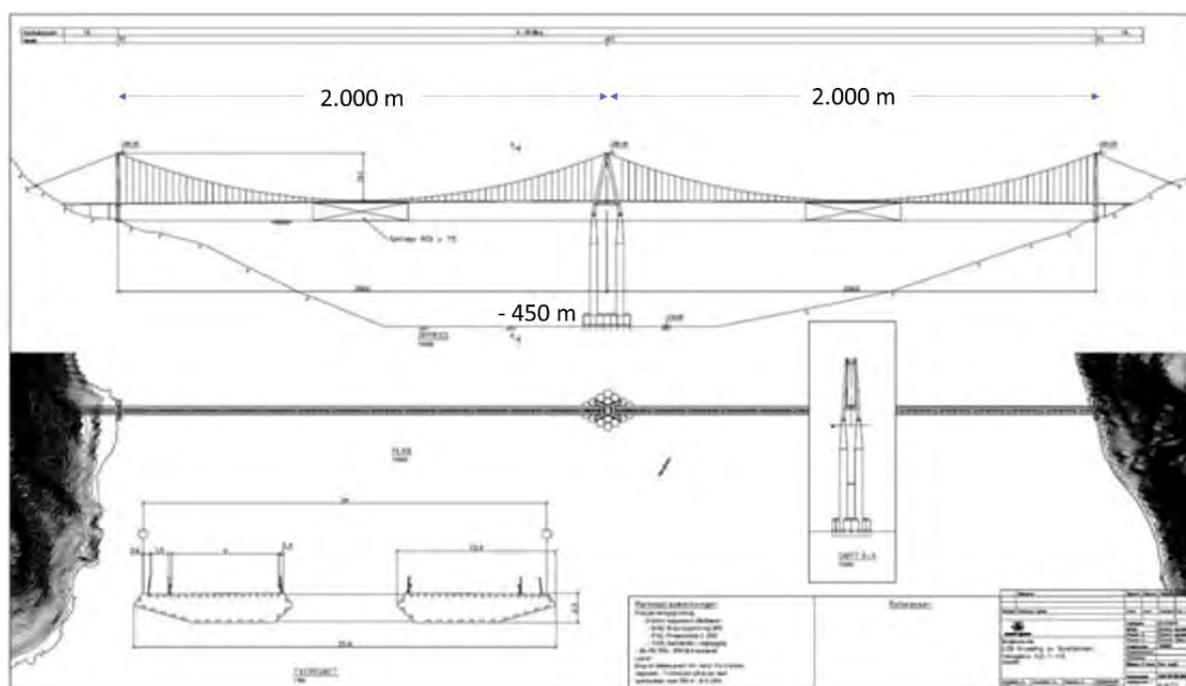


Figura 5-34 Progetto del ponte a due campate per l'attraversamento del Sulafjorden

Di recente realizzazione e opera da primato è nella Turchia nord-occidentale il ponte sospeso stradale **1915 Çanakkale**<sup>160</sup> (nello Stretto di Çanakkale o Stretto dei Dardanelli, che collega il Mar di Marmara al Mar Egeo, separando come lo Stretto del Bosforo le sponde europea e asiatica della Turchia), in costruzione e la cui ultimazione è prevista per marzo 2022 (Figura 5-35).

Con una campata principale di 2.023 m e due campate laterali di 770 m, il ponte supererà l'Akashi Kaikyo citato di 32 m per diventare il ponte stradale sospeso più lungo del mondo.

Le due carreggiate stradali, posate su sezioni di impalcato separate, distanti 9m l'una dall'altra e connesse trasversalmente da setti intervallati, sono costituite da 3 corsie per senso di marcia, per una larghezza complessiva dell'impalcato di 45m (Figura 5-36). Le torri di sostegno dei cavi, fondate su cassoni, sono alte 318m, il franco libero per il transito delle navi è di 69m.

<sup>160</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%87anakkale\\_1915\\_Bridge](https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%87anakkale_1915_Bridge)



Figura 5-35 «1915 Çanakkale Bridge»

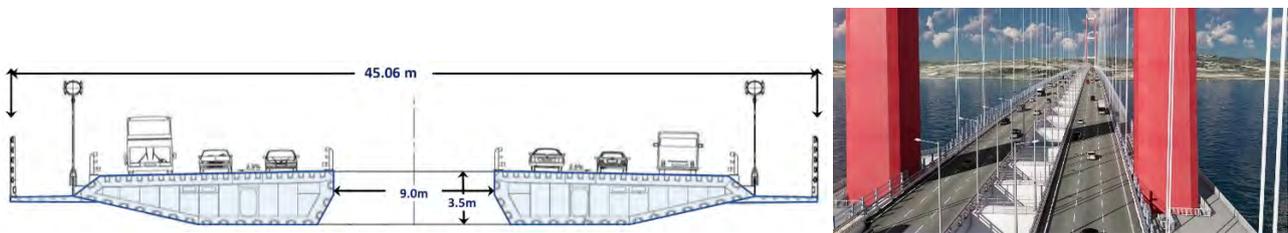


Figura 5-36 «1915 Çanakkale Bridge<sup>161</sup>» (sezione trasversale e vista impalcato)

La base della fondazione della torre sud (lato asiatico) è posta a circa 45m di profondità.

La fondazione di ciascuna torre è costituita da un cassone a gravità appoggiato sopra il fondo marino avendo rinforzato il suolo con inclusioni di pali in acciaio. Un letto di ghiaia è posto sotto la base del cassone (senza alcun collegamento strutturale tra il cassone e le teste dei pali) (Figura 5-37 e Figura 5-38).

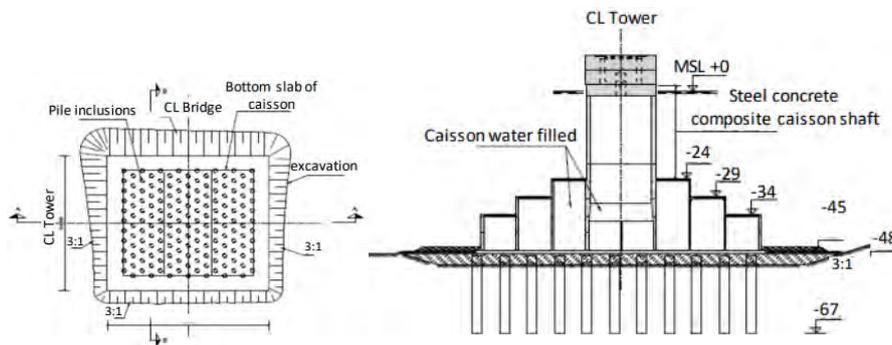


Figura 5-37 Fondazioni del «1915 Çanakkale Bridge»

<sup>161</sup> [https://www.vegvesen.no/attachment/2849602/binary/1349784?fast\\_title=Canakkale+Bridge.pdf](https://www.vegvesen.no/attachment/2849602/binary/1349784?fast_title=Canakkale+Bridge.pdf)

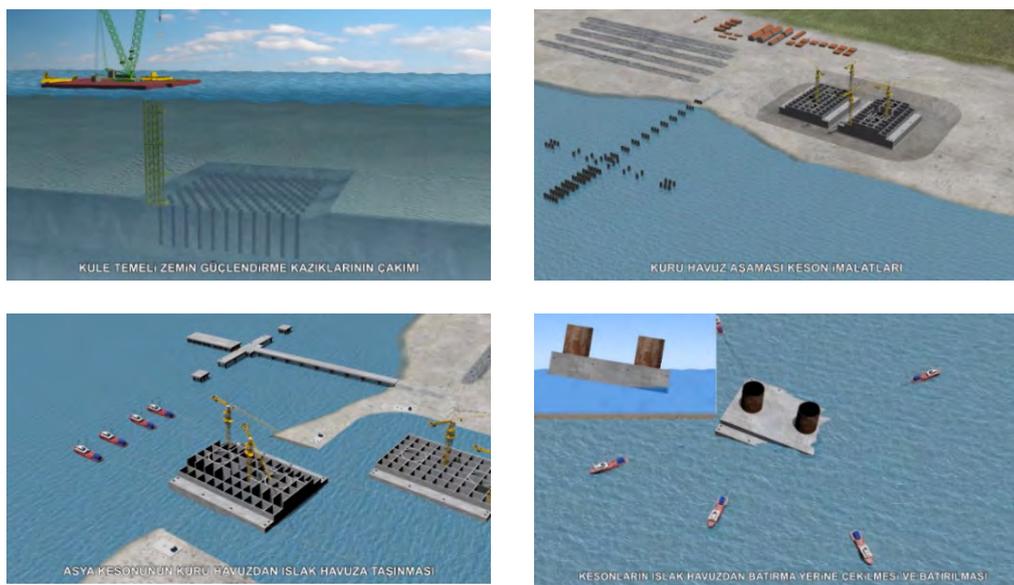


Figura 5-38 Fasi di realizzazione delle fondazioni del «1915 Çanakkale Bridge<sup>162</sup>»

## 5.3 Tunnel sottomarini

### 5.3.1 Considerazioni generali

Fin dagli inizi della rivoluzione industriale furono costruiti tunnel per sottopassare specchi d'acqua quando non era possibile costruire un ponte adatto allo scopo. In molti casi per superare lo stesso specchio d'acqua sono stati costruiti ponti per i collegamenti stradali e tunnel per quelli ferroviari.

I ponti possono anche essere messi fuori servizio a causa del maltempo, come quando si verificano forti venti. Il transito attraverso tunnel è indipendente dalle condizioni meteorologiche<sup>163</sup>.

Non bisogna dimenticare che sono stati costruiti tunnel sottomarini anche in zone sismicamente attive<sup>164</sup>. In tali situazioni, per ridurre le sollecitazioni sismiche al di sotto dei livelli ammissibili, possono essere inseriti giunti sismici flessibili. Sono stati realizzati tunnel sottomarini in aree dove sono previsti terremoti di magnitudo sino a 7.25 Richter<sup>165</sup> ovvero di valore superiore a quello di calcolo del Ponte a campata unica stabilito in 7.1 Richter<sup>166</sup>.

<sup>162</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=Pst-v4ldgmU&t=20s>

<sup>163</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel#Choice\\_of\\_tunnels\\_versus\\_bridges](https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel#Choice_of_tunnels_versus_bridges)

<sup>164</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Undersea\\_tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Undersea_tunnel)

<sup>165</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia\\_Tunnel#Technical\\_details](https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia_Tunnel#Technical_details)

<sup>166</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Ponte\\_sullo\\_stretto\\_di\\_Messina#Caratteristiche\\_del\\_progetto\\_della\\_Stretto\\_di\\_Messina\\_S.p.A.](https://it.wikipedia.org/wiki/Ponte_sullo_stretto_di_Messina#Caratteristiche_del_progetto_della_Stretto_di_Messina_S.p.A.)



Oggi per la realizzazione di tunnel si utilizzano frese meccaniche a sezione circolare (Tunnel Boring Machine – TBM), macchine che permettono la meccanizzazione completa dello scavo delle gallerie e la realizzazione del rivestimento delle stesse.

Una TBM è costituita da uno scudo (un grande cilindro metallico) e da meccanismi di supporto finali. Una ruota rotante si trova all'estremità anteriore dello scudo. Dietro la ruota di taglio c'è una camera in cui il terreno scavato è mescolato con liquami o lasciato così come è a seconda del tipo di TBM scelta in funzione del tipo di terreno da scavare.

Sono presenti anche sistemi per la rimozione del terreno scavato.

Dietro la camera c'è una serie di pistoni idraulici supportati dalla parte finita del tunnel che vengono utilizzati per spingere la TBM in avanti. Una volta che una certa distanza è stata scavata (circa 1,5-2 metri), un nuovo anello di tunnel viene costruito utilizzando l'anello appena eretto. L'erektor è un sistema rotante che raccoglie segmenti di cemento prefabbricati e li posiziona nella posizione desiderata (Figura 5-39).

Diversi meccanismi di supporto possono essere trovati dietro lo scudo, all'interno della parte finita del tunnel, che fanno parte della TBM: rimozione dello sporco, condutture di liquami (se necessario), sale di controllo, rotaie per il trasporto dei segmenti prefabbricati, ecc.

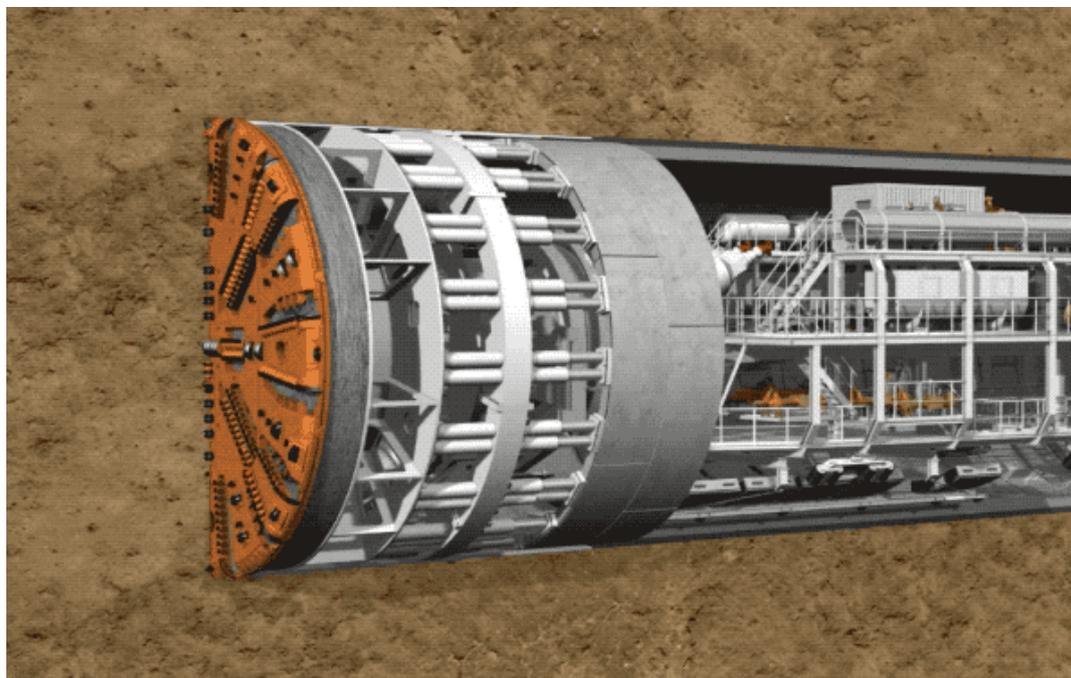


Figura 5-39 Le due fasi del tunneling: spingere in avanti e installare il rivestimento del tunnel<sup>167</sup>

Gli ultimi anni hanno mostrato notevoli progressi nella tecnologia TBM e in diversi settori correlati che oggi consentono di realizzare progetti che sono stati ritenuti troppo impegnativi solo pochi anni fa. Tecnologie innovative sempre più evolute hanno contribuito ad

<sup>167</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=dJ6BfiPVoGs>



espandere i limiti della fattibilità tecnica per tunnel di grandi dimensioni in contesti molto sfidanti.

Primo fra tutti l'Eurasia Tunnel in Turchia dove è stata impiegata TBM da 13,71 m di diametro, specificamente progettata per affrontare le asperità geologiche ed idrogeologiche.

Aspetto cruciale del progetto del tunnel del Bosforo è stato quello di dover coniugare l'alternanza di differenti substrati geologici – strati di argilla, arenarie, diabase, andesite, diorite, limi, sabbie e ghiaie – alle elevatissime pressioni idrostatiche (oltre i 12 bar), operando ad oltre 105 m profondità e con più di 25 m di copertura di fondale marino.

Essendo il tunnel del Bosforo inserito nel contesto geologico della faglia di Marmara, son installati nel tunnel specifici giunti sismici per superare le faglie attive (Figura 5-40).



The Eurasia Undersea Tunnel Project

<https://www.youtube.com/watch?v=7v4KgSyqZLs>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia_Tunnel)

Figura 5-40 Giunti sismici nell'Eurasia tunnel di Istanbul<sup>168</sup>, dimensionato per resistere sino a 7.25 Richter<sup>169</sup>

Da ricordare il Mount Bolu Tunnel realizzato nell'ambito del progetto Trans-European Motorway, per collegare Istanbul ed Ankara. Il tunnel attraversa la faglia anatolica settentrionale. Il terremoto del 12 novembre 1999 di magnitudo 7.2 causò danni sostanziali alla galleria e ai viadotti, che erano in costruzione al momento del terremoto. Successivamente vennero installati dei giunti sismici (Figura 5-41) per superare la faglia attiva.

<sup>168</sup> <https://www.avrasyatuneli.com/en/> <https://www.youtube.com/watch?v=7v4KgSyqZLs&t=250s>  
<http://www.italferr.it/content/italferr/it/progetti-e-studi/turchia--iran-e-centro-asia/turchia.html>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia_Tunnel)

<sup>169</sup> Comportamento dei tunnel e dei ponti in caso di terremoto <https://www.youtube.com/watch?v=uVWRwSJU2al>

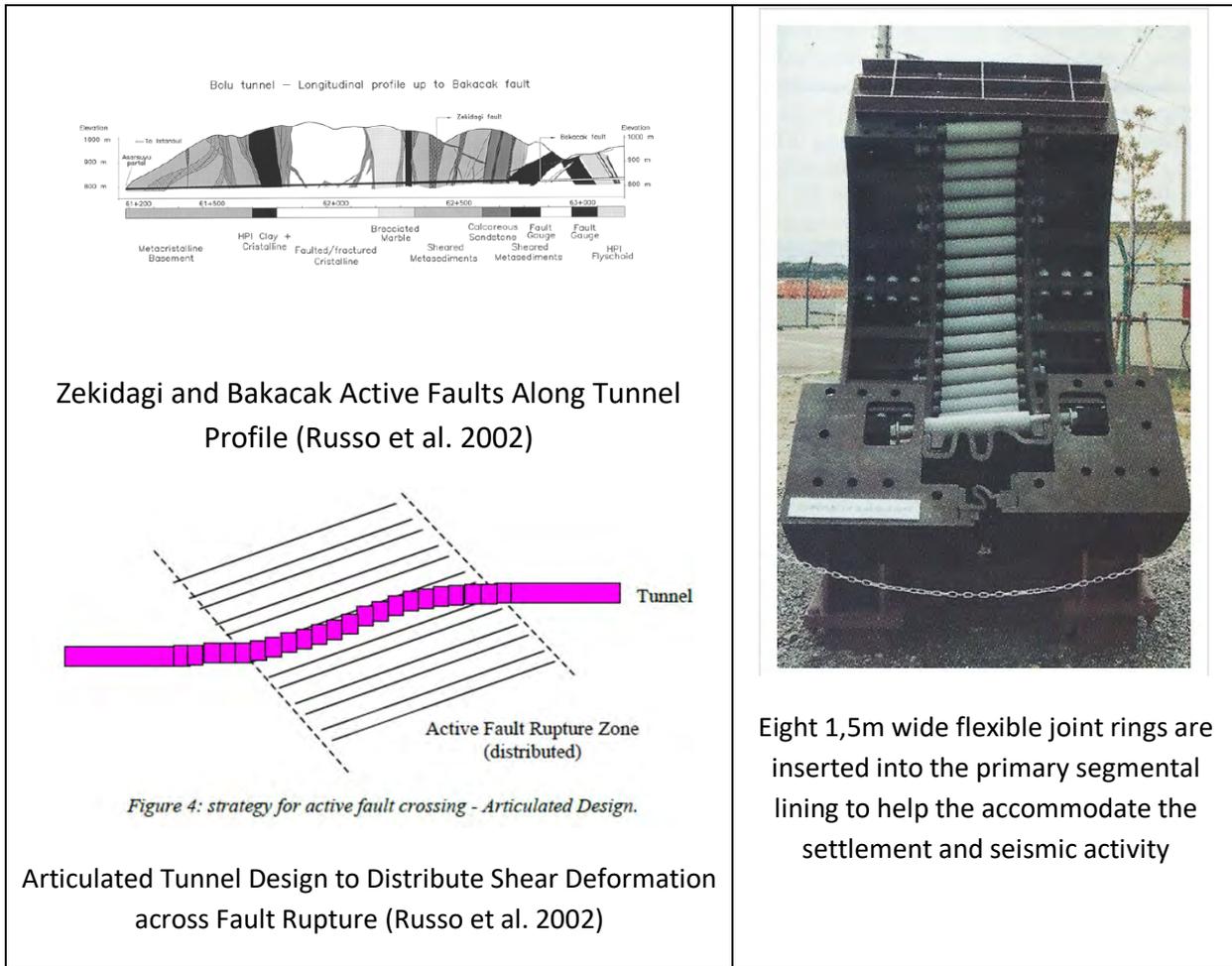


Figura 5-41 Giunti sismici installati nella galleria di Bolu per superare faglie attive<sup>170</sup>

Stessa tipologia di giunti venne utilizzata per la costruzione del tunnel stradale Tokyo Bay Aqua-Line in funzione dal 1997. La posizione in una zona altamente sismica ha richiesto particolare attenzione nella fase di progettazione dei due tunnel che, sebbene realizzati per resistere alle notevoli onde d'urto dei terremoti, sono stati dotati di giunti flessibili in grado di adattarsi al movimento. I giunti flessibili sono speciali anelli larghi 1,5 m che consentono fino a 59 mm di deformazione a taglio. Ci sono otto set di giunti flessibili nei tunnel, quattro in ogni tubo. Questi si trovano vicino alle giunzioni verticali dell'albero di ventilazione posizionato circa a metà di ciascun tunnel<sup>171</sup>.

<sup>170</sup> <https://www.lombardi.ch/it-it/SiteAssets/Publications/1174/Pubb-0354-L-Design%20and%20construction%20of%20large%20tunnel%20through%20active%20faults%20-%20a%20recent%20application.pdf>  
 The seismic behavior of the tunnel across active fault [https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_0779.pdf](https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_0779.pdf)  
 Seismic Stability of Subsea Tunnels Subjected to Seepage <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/631925/>  
**ITA Working Group n° 17 on Long tunnels at great depth**  
<https://about.ita-aites.org/wg-committees/itatech/publications/search?searchword=Working%20Group%2017>  
[https://about.ita-aites.org/publications/wg-publications/download/132\\_8b48aeb9e3afc21390cba007f9458668](https://about.ita-aites.org/publications/wg-publications/download/132_8b48aeb9e3afc21390cba007f9458668)  
[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_2976.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_2976.pdf)  
<sup>171</sup> <https://www.tunneltalk.com/Japan-Aug1994-Trans-Tokyo-Bay-Highway.php>

Altra realizzazione unica al mondo è il Lake Mead Tunnel, un articolato sistema di prelievo e trasporto delle acque del Lake Mead, il più grande lago artificiale degli Stati Uniti a circa 30km a sud-est di Las Vegas, per aumentare la fornitura di acqua per usi potabili e domestici della città di Las Vegas (Figura 5-42). Per realizzare il tunnel si sono dovuti affrontare e risolvere problemi dovuti alla presenza di elementi geologici altamente sfidanti – alternanza di rocce dure sedimentarie e vulcaniche con alta presenza di faglie – in condizioni di pressioni idrostatiche proibitive (oltre 15bar).



Figura 5-42 Lake Mead Tunnel

Anche nel Tunnel Euralpin Lyon Turin, attualmente in costruzione, nel dicembre 2016 a Saint Martin La Porte dopo 300 metri di scavo della galleria geognostica di 9 km realizzata nell'asse e nel diametro del futuro tunnel di base, la fresa ha dovuto fermarsi perché ha incontrato una zona geologica di faglia molto complessa<sup>172</sup>.

La faglia, profonda circa 15 metri, era caratterizzata da materiale friabile contenente carbone e acqua. La fresa si è trovata a estrarre oltre 15 volte il quantitativo normale di materiale che, impastandone la testa, le impediva di avanzare. Per affrontare il problema e studiare il metodo migliore di superare la faglia, sono stati realizzati una serie di sondaggi geologici in avanzamento: sono state iniettate 30 tonnellate di resine che hanno consentito di rinforzare ed impermeabilizzare il terreno e sono state ridotte le aperture nella testa che modulano l'evacuazione del volume scavato. Questi due interventi simultanei hanno permesso alla fresa di riprendere ad avanzare.

In generale, la costruzione di tunnel presenta complessità di vario livello che oggi sono affrontate e superate anche grazie alla condivisione di esperienze di tunneling maturate durante diversi anni in terreno difficile e geologia complessa.

Le più moderne TBM per tunnel sottomarini sono realizzate con le teste di taglio accessibili; ciò permette lavori di manutenzione e di riparazione da parte del personale che può entrare nella camera di scavo nonostante l'elevata pressione<sup>173</sup> (Figura 5 43).

<sup>172</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=KTuj9R1vd9M&t=20s>

<sup>173</sup> TBM Excavation in Difficult Ground Conditions | Wiley Online Books  
<https://www.ernst-und-sohn.de/en/tbm-excavation-in-difficult-ground-conditions>

I lavori di ispezione e misurazione dell'usura dell'utensile possono essere automatizzati. L'implementazione di telecamere fisse o mobili nella camera di scavo consente di eseguire ispezioni visive sulla testa di taglio senza la necessità di interventi umani. Con lo standard tecnico odierno non è ancora possibile eseguire lavori di manutenzione regolari con robot.

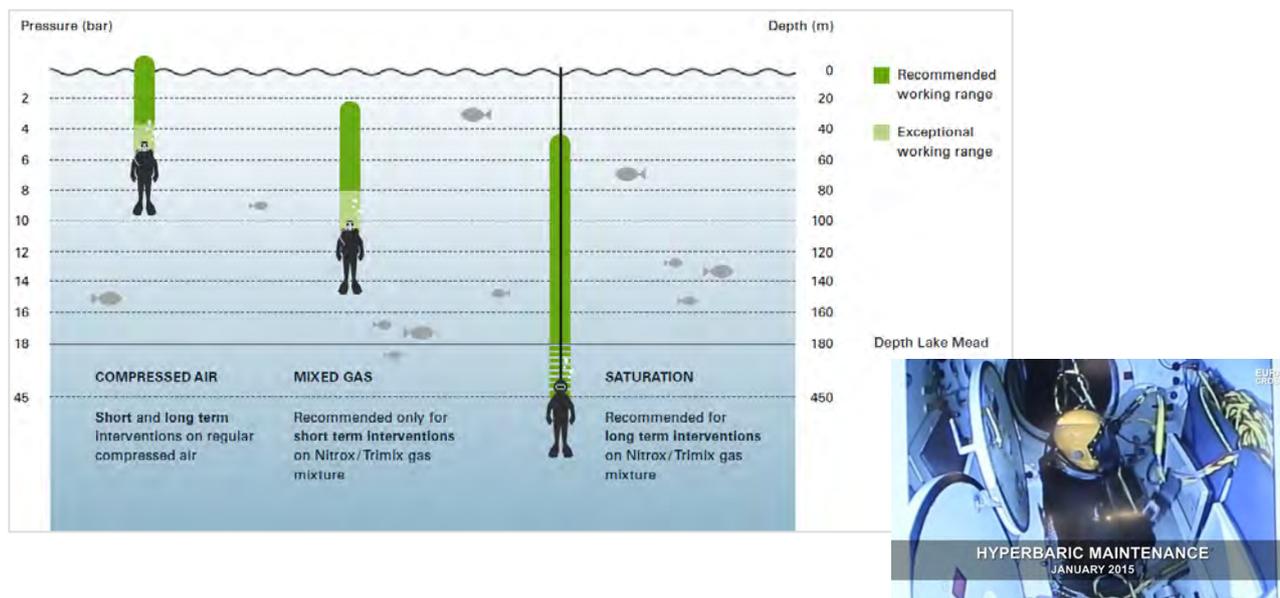


Figura 5-43 Tecniche e limiti di immersione per diverse pressioni e modalità di accesso alla testa della TBM tramite camera iperbarica<sup>174</sup> per effettuare operazioni di manutenzione (Fonte: Herrenknecht<sup>175</sup>)

I lavori di riparazione possono richiedere molto tempo e ad alte pressioni il tempo di esposizione consentito ai lavoratori diminuisce con l'aumentare della pressione. Le linee guida fornite nella relazione dell'International Tunnelling and Underground Space Association (ITA) del febbraio 2012 stabiliscono le norme per effettuare interventi in situazioni di alta pressione.

Negli anni recenti si è assistito ad un forte inasprimento dei criteri di progettazione connessi alla sicurezza, ai temi dell'antincendio e più in generale degli eventi catastrofici, all'impatto ambientale ed alle compensazioni al territorio. Le gallerie stradali, dopo i tragici incidenti accaduti nei trafori del Monte Bianco e del Tauri, sono state oggetto di azioni legislative incentrate sul problema della sicurezza in galleria. Il 29 aprile 2004 il Parlamento Europeo ha adottato la Direttiva 2004/54/CE "Requisiti minimi di sicurezza per le Gallerie della Rete Stradale TransEuropea (TERN)", che venne recepita dall'Italia con il Decreto Legislativo italiano 264/06 e smi<sup>176</sup>.

Anche le gallerie ferroviarie, dall'entrata in vigore del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti<sup>177</sup> del 28 ottobre 2005 sulla "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie" devono essere realizzate a due canne separate e intercomunicanti.

<sup>174</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=7v4KgSyqZLs&t=280s> e <https://www.youtube.com/watch?v=XyrC9QvVHOS>

<sup>175</sup> Designing TBMs for Subsea Tunnels [http://www.i-asem.org/publication\\_conf/asem17/7.TS/W3G.1.TS1401\\_4232F1.pdf](http://www.i-asem.org/publication_conf/asem17/7.TS/W3G.1.TS1401_4232F1.pdf)

<sup>176</sup> Evoluzione degli standard di progettazione delle gallerie ANAS secondo le norme nazionali ed europee: [https://about.ita-aites.org/wg-committees/ita-cosuf/publications/download/224\\_01b3ae08cae67c2a696ad4f25a313a09](https://about.ita-aites.org/wg-committees/ita-cosuf/publications/download/224_01b3ae08cae67c2a696ad4f25a313a09)

<sup>177</sup> [https://www.mit.gov.it/mit/mop\\_all.php?p\\_id=05051](https://www.mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=05051)



L'elenco dei tunnel sottomarini sarebbe molto lungo<sup>178</sup> ma ci limitiamo a citare quelli costruiti a partire dagli anni Ottanta del secolo scorso (Tabella 5-3).

Nome	Luogo	Descrizione	Lunghezza	Profondità max slm	Costruito negli anni
<a href="#">Flekkerøy Tunnel</a>	Flekkerøy, Norvegia	Collega l'isola di Flekkerøy nel sud della Norvegia alla terraferma	2.3 km	-101 m	1986–1989
<a href="#">Seikan Tunnel</a>	Seikan, Giappone	È il tunnel più lungo del mondo che ha un segmento sottomarino.	53.8 km	-240 m	1971–1988
<a href="#">Sydney Harbour Tunnel</a>	Sydney, Australia		2.8 km	-25 m	1988–1992
<a href="#">Channel Tunnel</a>	Inghilterra – Francia	Il tunnel ferroviario sottomarino più lungo del mondo (37,9 km di lunghezza subacquea)	50.4 km	-40 m	1988–1994
<a href="#">Hitra Tunnel</a>	Trøndelag, Norvegia	Il più profondo del mondo al momento della costruzione	5.6 km	-264 m	1992–1994
<a href="#">Tokyo Bay Aqua-Line</a>	Tokyo, Giappone	Il tunnel stradale sottomarino più lungo del mondo	9.6 km	-60 m	1988–1997
<a href="#">North Cape Tunnel</a>	Magerøya, Norvegia	Sotto lo stretto di Magerysundet tra la terraferma norvegese e la grande isola di Magerya e il Capo Nord, Norvegia	6.8 km	-212 m	1993–1999
<a href="#">Bømlafjord Tunnel</a>	Føyeno – Sveio, Norvegia	Il punto più profondo della rete internazionale E-road. Collega il comune di Stord alla terraferma norvegese.	7.8 km	-260.4 m	1997–2000
<a href="#">Eiksund Tunnel</a>	Møre og Romsdal, Norvegia	Il secondo tunnel stradale sottomarino più profondo del mondo	7.7 km	-287 m	2003–2008
<a href="#">Xiamen Xiang'an Tunnel</a>	Xiamen, Cina		6.05 km	-70 m	2005–2010
<a href="#">Busan–Geoje Fixed Link</a>	Busan – Geoje, Korea del Sud		3.7 km	-48 m	2008–2010
<a href="#">Qingdao Jiaozhou Bay Tunnel</a>	Hangdao – Qingdao, Cina		7.808 km	-84.2 m	2006–2011
<a href="#">Marmaray</a>	Istanbul (Bosphorus strait), Turchia	Tunnel ferroviario che collega Asia ed Europa a Istanbul	13.6 km	-60 m	2004–2013
<a href="#">Marina Coastal Expressway</a>	Singapore	Il primo tunnel sottomarino di Singapore	5 km	-20 m	2008–2013
<a href="#">Port of Miami Tunnel</a>	Miami, USA		2.1 km	-36,6 m	2010–2014
<a href="#">Eurasia Tunnel</a>	Istanbul (Bosphorus strait), Turkey	Tunnel stradale che collega Asia ed Europa a Istanbul	5.4 km	-106 m	2011–2016
<a href="#">Hong Kong–Zhuhai–Macau Bridge</a>	Hong Kong – Macau, Cina	Attraversamento marittimo di 55 km tra Hong Kong, Macao e Zhuhai, Cina	6.7 km (tunnel section)	-44 m	2009–2018
<a href="#">Ryfylke Tunnel</a>	Stavanger – Ryfylke, Norway	Tunnel sottomarino più lungo e profondo per le auto, da Stavanger a Ryfylke	14.3 km	-293 m	2013–2020
<a href="#">Eysturoyartunnin</a>	Faroe Islands	Tunnel stradale sottomarino che collega l'isola di Streymoy all'isola di Eysturoy	11,3 km	-189 m	2016–2020

Tabella 5-3 Tunnel sottomarini costruiti negli ultimi quarant'anni

<sup>178</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Undersea\\_tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Undersea_tunnel)



Si considerano nel seguito i soli tunnel scavati, mentre non si considerano i tunnel immersi sul fondo marino, di cui esistono numerose realizzazioni in tutto il mondo, costruiti con elementi prefabbricati, posati sul fondo in trincea preventivamente scavata, quindi collegati in serie e protetti da un manto di copertura, il cui campo di impiego arriva a profondità di qualche decina di metri rispetto al livello del mare.

Esempi europei di tunnel immersi, tipologia non proponibile nello Stretto di Messina, sono:

- l'**Oresund tunnel**, fra Danimarca e Svezia, parte di un'opera più complessa comprendente anche un ponte stradale e ferroviario, entrato in servizio nel 2000 (20 elementi scatolari da 176m, larghezza circa 40m, 5 sezioni interne di cui 2 ferroviarie a singolo binario, 2 autostradali a 2 corsie, 1 di servizio, battente d'acqua 10m),
- il **Marmaray tunnel**<sup>179</sup> che collega i lati europei e asiatici di Istanbul, in Turchia, parte anch'esso di un'opera più complessa comprendente anche un tunnel sotterraneo, entrato in servizio nel 2003 (a 55 metri sotto il livello del mare, lungo 1,4 km, larghezza circa 15m, 2 sezioni interne ferroviarie a singolo binario), progettato come gli altri tunnel di Istanbul<sup>180</sup> per resistere ad intensi terremoti<sup>181</sup>.
- il **Fehmarn Belt tunnel**, in costruzione, fra l'isola danese di Lolland e l'isola tedesca di Fehmarn (lunghezza 18km, elementi scatolari di 180m aventi sezione analoga a quella del tunnel Oresund citato, ma anche elementi scatolari separati per l'infrastruttura stradale e quella ferroviaria nelle tratte terminali, battente d'acqua fino a 40m), se ne prevede l'ultimazione nel 2028.

### 5.3.2 Tunnel sottomarini misti (stradali e ferroviari)

Si tratta di una tipologia assai poco frequente, in quanto le pendenze che possono assumere i tunnel stradali e ferroviari sono piuttosto diverse e quindi si tende a realizzare opere separate.

Con specifico riferimento ai tunnel sottomarini scavati misti (stradali e ferroviari), esistono alcune opere realizzate e numerose opere in fase di progettazione più o meno avanzata e di più o meno prossima realizzazione.

<sup>179</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Marmaray\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Marmaray_Tunnel)

<sup>180</sup> <https://informedinfrastructure.com/6592/new-marmaray-tunnel-puts-the-topics-of-earthquake-resistance-and-urban-planning-in-the-spotlight/>

<sup>181</sup> <https://www.nationalgeographic.com/news/2013/11/131104-earthquake-proof-marmaray-tunnel-turkey-engineering/>



Il più grande tunnel misto in servizio è lo **Shanghai Yangtze River Tunnel**<sup>182</sup> che, in combinazione con il ponte Chongqi, fa parte di complesso sistema di collegamenti che attraversano il fiume Yangtze vicino alla foce (

Figura 5-44). Attivato nel 2009, ha lunghezza 8,9km e due livelli sovrapposti. Il livello superiore è sede di un'autostrada a 3 corsie per direzione (velocità 80 km/h), il livello inferiore è riservato per una futura linea metropolitana di Shanghai.

La galleria è stata scavata con quattro TBM, la più grande delle quali avente diametro 15,43m<sup>183</sup>.

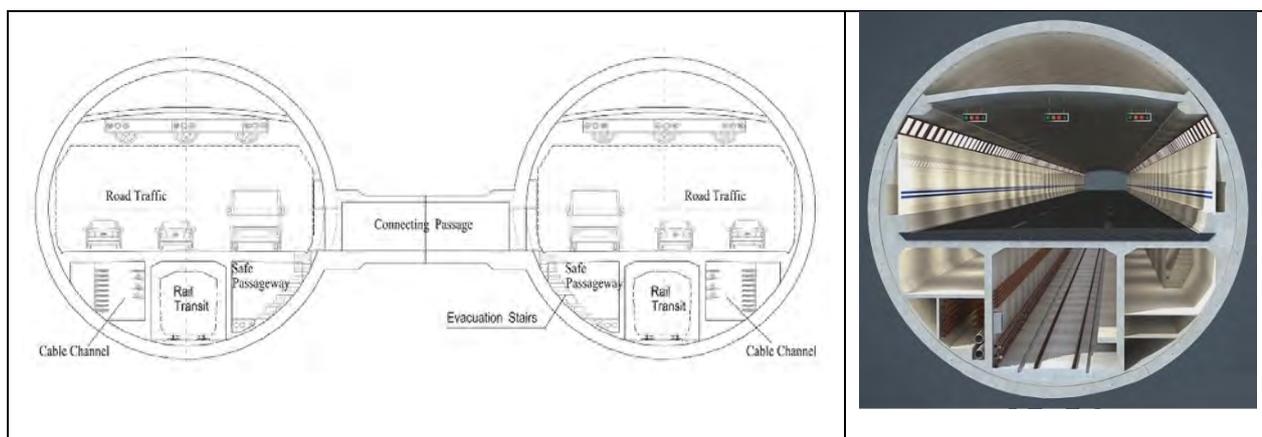


Figura 5-44 Sezione trasversale del tunnel subalveo Yangtze di Shanghai<sup>184</sup>

Il **Grande Tunnel di Istanbul (The Great Istanbul Tunnel**<sup>185</sup>), è un tunnel sottomarino multiuso che verrà realizzato a Istanbul, in Turchia, per attraversare lo stretto del Bosforo (Figura 5-45), il cui progetto dovrebbe essere messo in gara entro il 2020.

Il tunnel, lungo 6,5 km e con diametro di 18,80 m, profondità massima di 110 m sotto il livello del mare<sup>186</sup>, avrà una sezione trasversale a tre livelli, di cui due livelli per il traffico stradale (due corsie di marcia ciascuno) e un livello per il traffico ferroviario (doppio binario) (Figura 5-46).

<sup>182</sup> [https://it.qaz.wiki/wiki/Shanghai Yangtze River Tunnel and Bridge](https://it.qaz.wiki/wiki/Shanghai_Yangtze_River_Tunnel_and_Bridge)

<sup>183</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=uJALOGON1tU>

<sup>184</sup> [https://www.issmge.org/uploads/publications/6/12/2008\\_003.pdf](https://www.issmge.org/uploads/publications/6/12/2008_003.pdf)

<sup>185</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Istanbul\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Istanbul_Tunnel)

<sup>186</sup> Youtube "The 3-Deck Great Istanbul Tunnel" - <https://www.youtube.com/watch?v=StdqGVCoazg>

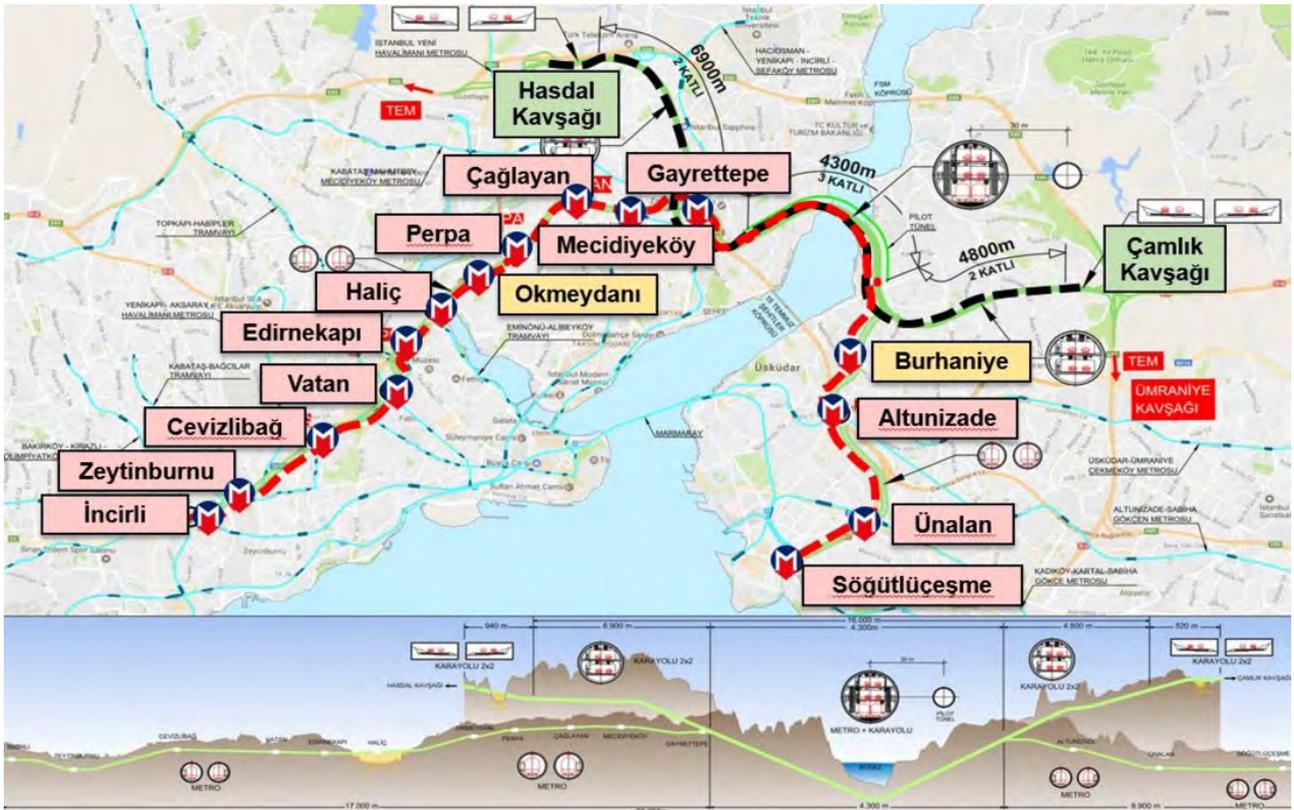


Figura 5-45 Grande Tunnel di Istanbul – Tracciato planimetrico e altimetrico



Figura 5-46 Grande Tunnel di Istanbul – sezione trasversale

### 5.3.3 Tunnel sottomarini ferroviari

Nella Tabella 5-4 sono indicati i dieci tunnel ferroviari, terrestri e sottomarini, più lunghi del modo.

	Tunnel ferroviari	Nazione	Lunghezza (m)
1	<a href="#">Gotthard Base Tunnel Q</a>	Switzerland	57.091
2	<a href="#">Seikan Tunnel Q</a>	Japan	53.850
3	<a href="#">Channel Tunnel Q</a>	United Kingdom- France	50.450
4	<a href="#">Lotschberg Base Tunnel Q</a>	Switzerland	34.577
5	<a href="#">Guadarrama Tunnel</a>	Spain	28.419
6	<a href="#">Taihang Tunnel</a>	China	27.848
7	<a href="#">Hakkōda Tunnel Q</a>	Japan	26.445
8	<a href="#">Iwate-ichinohe Tunnel</a>	Japan	25.810
9	<a href="#">Iiyama Tunnel</a>	Japan	22.225
10	<a href="#">Dai-Shimizu Tunnel</a>	Japan	22.221

Tabella 5-4 Elenco dei dieci tunnel ferroviari più lunghi del mondo<sup>187</sup>

Il tunnel **Seikan** (Giappone), destinato a traffico ferroviario sia viaggiatori che merci, collega l'isola di Honshū a quella di Hokkaidō ed è lungo complessivamente 53,85 km, di cui 23,3km di tracciato sottomarino. Inaugurata nel 1988, è la galleria sottomarina più lunga al mondo. Situato a 100 m sotto il fondo marino e a 240 m sotto il livello del mare è anche il secondo tunnel più profondo al mondo (Figura 5-47).

È a canna unica a doppio binario (Figura 5-48) e a sagoma ampia per poter fare circolare sia i treni veloci Shinkansen che quelli a scartamento ordinario.

L'opera è ubicata in un contesto geologico estremamente complesso, la costruzione è stata piuttosto difficoltosa per le non adeguate prestazioni delle TBM dell'epoca (anni '70-'80) che hanno comportato la necessità di procedere allo scavo con le tecniche tradizionali, causando il rallentamento dei lavori e l'aumento dei costi.

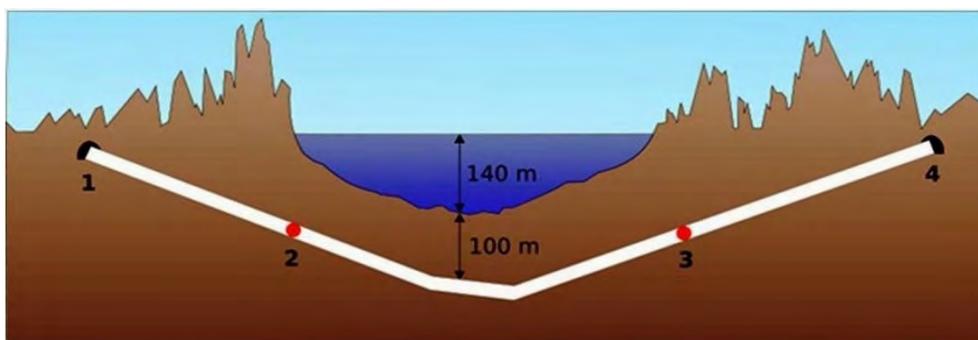


Figura 5-47 Tunnel Seikan – Profilo longitudinale<sup>188</sup>

<sup>187</sup> <https://structurae.net/en/structures/tunnels-caverns-and-shafts/railroad-railway-tunnels>

<sup>188</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Seikan\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Seikan_Tunnel)



Figura 5-48 Tunnel Seikan - Imbocco della galleria

Il **tunnel della Manica** (Channel Tunnel)<sup>189</sup>, inaugurato nel 1994, unisce il Regno Unito alla Francia passando sotto il fondo del Canale della Manica.

È una galleria ferroviaria lunga oltre 50 km che figura al terzo posto per lunghezza complessiva, dopo la galleria di base del San Gottardo in Svizzera e la galleria Seikan in Giappone, ma al primo posto per quanto riguarda la parte sottomarina lunga circa 39 km.

L'opera è a due canne parallele circolari di diametro 7,6m a singolo binario per ciascun senso di marcia (A), fra loro distanti circa 30 metri, integrate da by-pass di sicurezza ortogonali ogni 375 metri (C) nonché da una terza galleria di servizio intermedia di diametro 4,8m (B), adibita a circolazione mezzi di manutenzione e via di fuga sicura in caso di emergenza.

Le due gallerie ferroviarie sono inoltre collegate direttamente ogni 250 metri da condotti di circolazione dell'aria (D) che riducono l'effetto pistone dovuto alla compressione dell'aria al transito del treno in corsa (Figura 5-49 e Figura 5-50).

I lavori di scavo del tunnel procedettero simultaneamente da entrambe le coste, impiegando in totale undici TBM nell'arco di meno di 4 anni di lavoro.

<sup>189</sup> <https://www.videofanpage.com/leuro-tunnel-della-manica/?cn-reloaded=1>



Figura 5-49 Channel Tunnel – Imbocco gallerie lato Francia

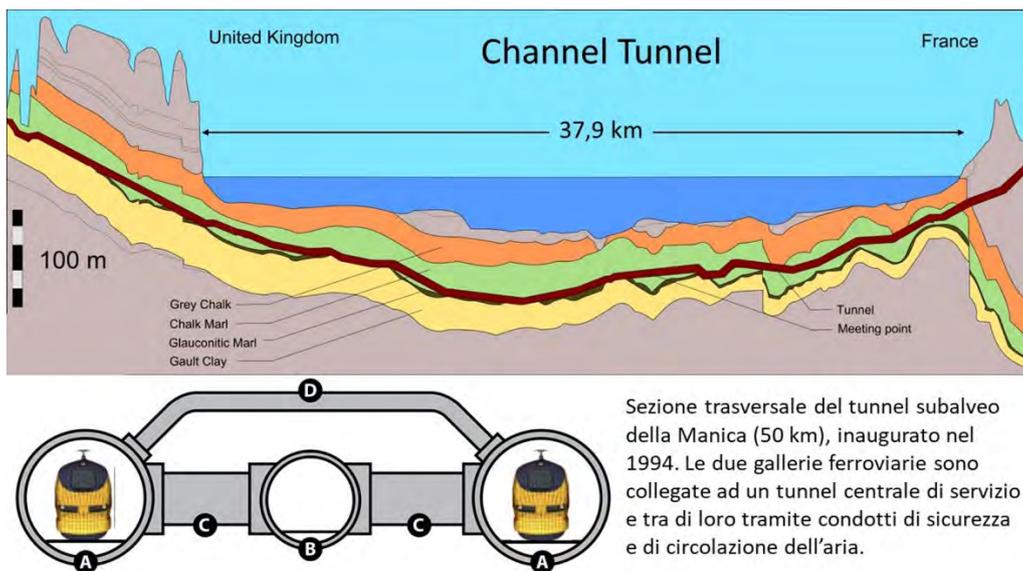


Figura 5-50 Channel Tunnel - galleria scavata sotto il fondo del Canale della Manica<sup>190</sup>

Il **Great Belt Fixed Link**<sup>191</sup> è un'opera di collegamento tra le due isole danesi Selandia a est, dove si trova la capitale Copenaghen, e Fionia (Figura 5-51). Entrato in servizio nel 1997, comprende un ponte sospeso stradale (Ponte Est) e un tunnel ferroviario tra l'isola Selandia e l'isola Sprogø, nonché un ponte misto stradale e ferroviario (Ponte Ovest), tra l'isola Sprogø e l'isola Fionia. Il Ponte Est ha la terza più lunga campata principale al mondo (1.624 m), la più lunga al di fuori dell'Asia. Ha due torri di sostegno di 228m di altezza, larghezza dell'impalcato 25m, franco 65m rispetto al livello del mare. La struttura lunga e

<sup>190</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Channel\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Channel_Tunnel)

<sup>191</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Belt\\_Fixed\\_Link](https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Belt_Fixed_Link)

flessibile ha un indice di snellezza (altezza della sezione trasversale dell'impalcato / lunghezza campata) è di 1/350, che rappresenta il valore massimo esistente.

Il tunnel ferroviario è lungo 8.024 m, a doppia canna ciascuna a singolo binario, con by-pass di sicurezza intervallati di 250m (Figura 5-52), e raggiunge la quota -75m rispetto al livello del mare, con una pendenza longitudinale del 16‰. La costruzione è stata rallentata dall'allagamento di una delle due gallerie in seguito al cedimento del fondo marino (e conseguente danneggiamento di due TBM), superato mediante la posa di un letto di argilla sul fondo marino stesso.

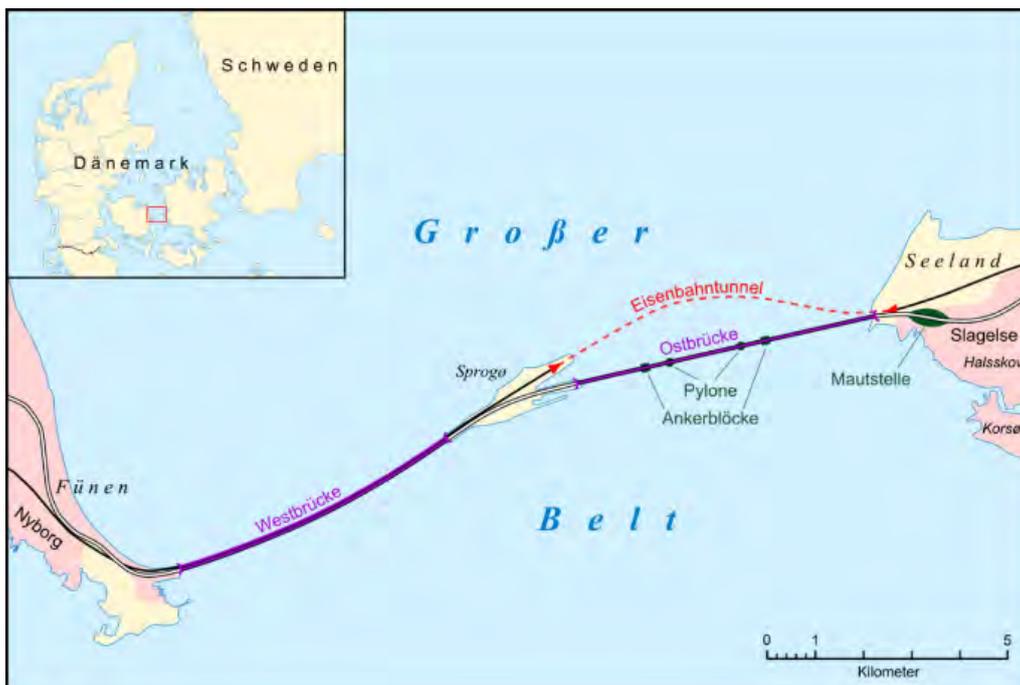


Figura 5-51 Great Belt Fixed Link – Planimetria d'insieme



Figura 5-52 Great Belt Fixed Link – Galleria ferroviaria e by-pass

È in fase di progettazione un **tunnel ferroviario tra Helsinki (Finlandia) e Tallinn (Estonia)**<sup>192</sup> sotto il Golfo di Finlandia (lunghezza tratto sottomarino circa 50 km)<sup>193</sup>, inserito nel corridoio TEN-T Mare del Nord-Baltico, che, nel rispetto degli accordi europei, dovrebbe essere realizzato entro il 2030. Ogni anno tra le capitali viaggiano circa 8 milioni di passeggeri in traghetto e navi veloci, e circa 300.000 in aereo (i viaggi via terra tra Helsinki e Tallinn richiedono un percorso di 800 circa chilometri attraverso la Russia). Si stima che 12,5 milioni di passeggeri all'anno utilizzerebbero il tunnel.

È previsto che il tunnel raggiunga la profondità di circa 200m sotto il livello del mare. La sezione è prevista a 2 canne a doppio binario (diametro 17,4m) di cui una per treni passeggeri e l'altra per treni merci (Figura 5-53 e Figura 5-54). Le ferrovie in Finlandia ed Estonia utilizzano lo scartamento 1.524 millimetri, il tunnel Helsinki-Tallinn utilizzerebbe lo scartamento europeo di 1.435 mm.

Il costo stimato è di circa 12 miliardi di euro, di cui circa 3 miliardi per lo scavo della galleria, circa 2-3 miliardi per infrastrutture e sistemi di sicurezza. Il costo elevato è dovuto anche alle caratteristiche geologiche delle rocce attraversate. L'Unione Europea ha approvato un finanziamento di 3,1 milioni di euro per studi di fattibilità.



Figura 5-53 Ubicazione e profilo longitudinale tunnel sottomarino ferroviario Helsinki-Tallinn

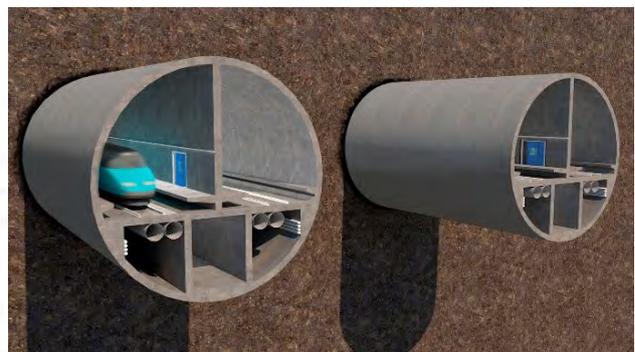
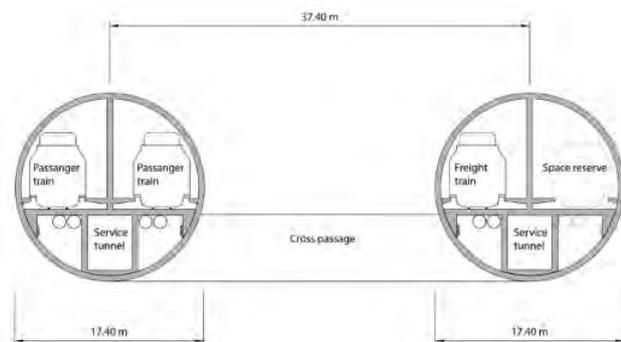
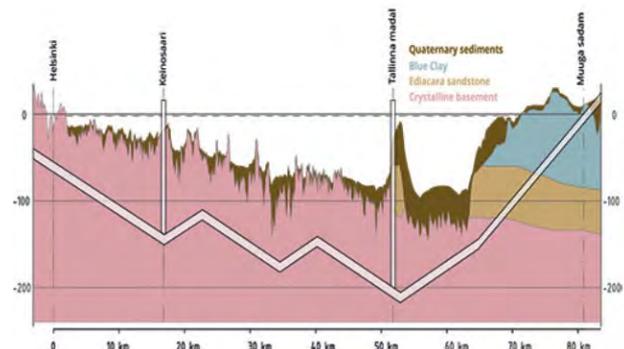


Figura 5-54 Tunnel sottomarino ferroviario Helsinki-Tallinn – Sezione trasversale<sup>194</sup>

<sup>192</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Helsinki%E2%80%93Tallinn\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Helsinki%E2%80%93Tallinn_Tunnel) e Youtube “Helsinki–Tallinn Transport Link” <https://www.youtube.com/watch?v=OmZsqMq5mXw> e <https://www.youtube.com/watch?v=iYj9b5EYg7A>

<sup>193</sup> <http://www.finestlink.fi/wp-content/uploads/2018/02/FinEst-link-REPORT-FINAL-7.2.2018.pdf>

<sup>194</sup> [https://finestbayarea.online/sites/default/files/2019-04/Finest%20Bay%20Area%20Project%20EIA%20brochure%202019\\_EN.pdf](https://finestbayarea.online/sites/default/files/2019-04/Finest%20Bay%20Area%20Project%20EIA%20brochure%202019_EN.pdf)

Allo stato di progetto è anche il **tunnel ferroviario attraverso lo Stretto di Gibilterra** (progetto Euromed), tra Spagna e Marocco (38,7 km, di cui tratto sottomarino 27,7 km).

UE e Marocco prevedono di costruire un tunnel ferroviario (preferito a un ponte essendo le tecniche costruttive note e collaudate e per l'assenza di interferenze con la navigazione marittima) in tre fasi (ulteriore fattore a favore dell'opzione tunnel rispetto all'opzione ponte): prima verrà realizzato il troncone sottomarino del tunnel di servizio come galleria "esplorativa" e poi verrà costruita la prima galleria ferroviaria (distanza tra le stazioni terminali 42km, profondità di scavo superiore a 300 m, copertura minima nel punto più basso 175m, pendenza 30 ‰). La terza fase, più a lungo termine, prevede la costruzione della seconda galleria ferroviaria in funzione dell'evoluzione del traffico del primo tunnel. Le due gallerie principali avranno un diametro di 7,5 metri, quella di servizio una circonferenza di 4,8m (Figura 5-55 e Figura 5-56).

Il tunnel presenta notevoli difficoltà costruttive, pur se da alcuni anni la tecnologia è giunta al punto da essere dichiarato realizzabile, infatti l'area presenta una forte sismicità dovuta al contatto tra le placche europea e africana e la profondità unita a forti correnti marine rendono difficoltosi rilievi e indagini<sup>195</sup>.

Inizialmente il tunnel monotubo ogni anno potrà sostenere il traffico di 1,6 milioni di vetture, con 5 milioni di passeggeri automobilisti e 11 milioni di passeggeri ferroviari. La capacità al completamento del sistema è stimata pari a 50 milioni di passeggeri e di 6 milioni di veicoli.

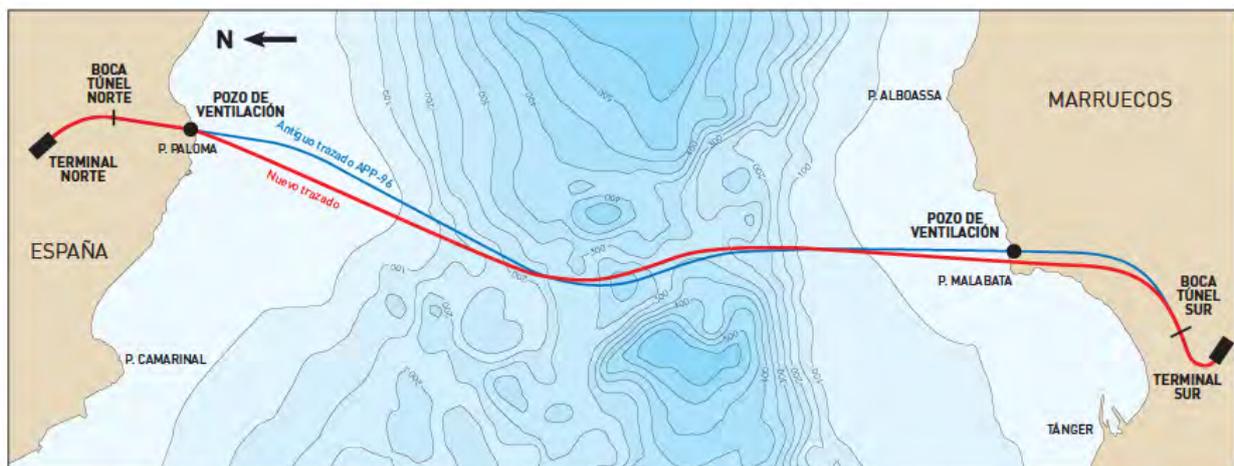


Figura 5-55 Tracciato (in rosso) del tunnel sottomarino ferroviario di Gibilterra.

<sup>195</sup> [https://www.secegsa.gob.es/SECEGSA/LANG\\_CASTELLANO/PROYECTO/](https://www.secegsa.gob.es/SECEGSA/LANG_CASTELLANO/PROYECTO/)

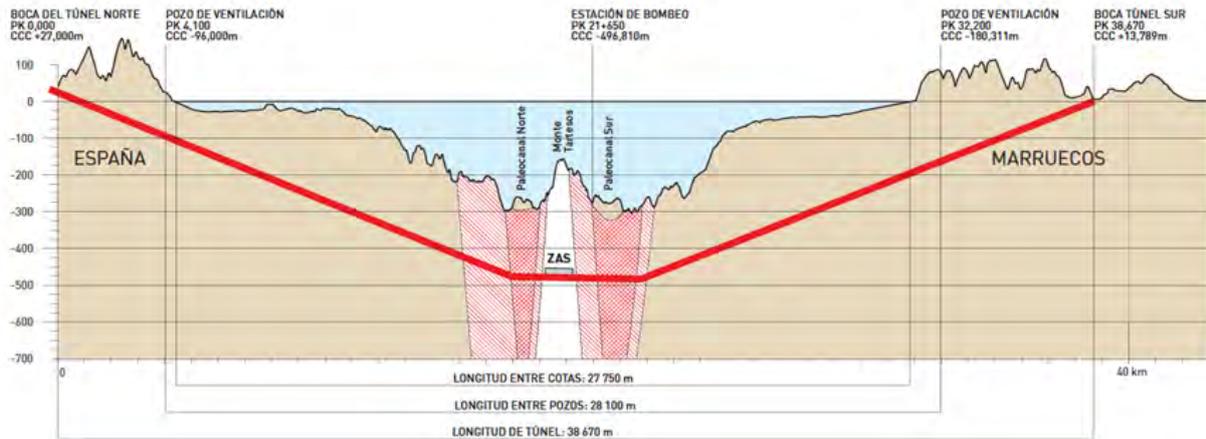


Figura 5-56 Profilo longitudinale del tunnel sottomarino ferroviario di Gibilterra

È da tempo allo studio anche un collegamento stabile Irlanda-Scozia o Irlanda-Galles, sia a mezzo ponte che a mezzo tunnel. L'orientamento prevalente sembra essere per un **tunnel ferroviario tra Irlanda del Nord (all'altezza di Belfast, contea dell'Ulster) e Scozia (all'altezza di Stranraer, contea di Galloway)**, che risulta essere più breve (circa 34km) rispetto ad attraversamenti più meridionali (oltre 50km) senza essere eccessivamente periferica, in modo da collegare in treno Glasgow a Dublino in circa 90 minuti.

Lungo lo stesso allineamento (Galloway route) già nel 2010 il Center for Cross Border Studies aveva studiato la realizzazione di un ponte stimandone il costo in poco meno di 20,5 miliardi di sterline. Tuttavia, a causa della fossa marina Beaufort's Dyke (utilizzata anche per lo scarico di munizioni dopo la Seconda guerra mondiale, e che quindi sarebbe da bonificare) che è profonda circa 300m, la realizzazione di pile e relative fondazioni in mare è ritenuta problematica.

Anche se non è esclusa la possibilità che la soluzione in tunnel sommerso flottante possa essere quella ottimale, data l'esperienza maturata anche in Scozia nella realizzazione di strutture galleggianti per la produzione di petrolio del Mare del Nord, nello stesso tempo l'abbondanza di conoscenze tecniche e l'esperienza britannica della progettazione e costruzione di gallerie ferroviarie è ritenuta adeguata ad intraprendere tale progetto.

Due potenziali allineamenti di tunnel sono allo studio (Figura 5-57): l'opzione nord a un tracciato meno profondo sotto Beaufort's Dyke, l'opzione meridionale più diretta e più corta. Gli imbocchi del tunnel sono stati individuati lato Scozia in corrispondenza di un aeroporto in disuso, lato Irlanda del Nord in corrispondenza dell'isola di Copeland (a circa 2 km dalla costa) o delle vicine isole minori di Mew e Faro (a circa 3,5km dalla costa), completando l'attraversamento con un ponte o altra opportuna opera.

La struttura ipotizzata è a due canne separate a binario unico integrate da by-pass e un tunnel di servizio intermedio per l'evacuazione di emergenza, la manutenzione delle gallerie e la ventilazione sotterranea, con funzione anche di tunnel pilota da costruire per primo.

Un problema è rappresentato dallo scartamento ferroviario irlandese 1600mm diverso dallo scartamento standard europeo 1435mm in uso nel resto del Regno Unito.



Figura 5-57 Diretrici ipotizzate per realizzare ponti e/o tunnel tra la Scozia e l'Irlanda del Nord

Il trasferimento ai metodi di costruzione dei progressi compiuti nelle trivellazioni minerarie, delle esperienze acquisite con lo scavo di centinaia di chilometri di metropolitane in tutto il mondo e dello sviluppo delle prospezioni geologiche sottomarine nate per ricercare idrocarburi sta invitando a considerare con sempre maggiore realismo la fattibilità di opere che sino a pochi anni fa sarebbero apparse irrealizzabili, a causa di insormontabili difficoltà tecniche e costi proibitivi. In particolare, il miglioramento delle tecniche e dei mezzi di escavazione ha indotto a ipotizzare tunnel sottomarini ferroviari di lunghezza anche dell'ordine di 100-200 km, quali i seguenti che si riportano per memoria, pur apparendo essi ben oltre l'ordine di grandezza delle opere simili già realizzate:

- Cina-Taiwan 150km
- Giappone – Sud Corea 128 -200km
- Stretto di Bohai (Cina) 123km
- Russia – Stati Uniti (Stretto di Bering) 95km
- Giappone – Russia (isola Sakhalin) 42+7km
- Italia - Tunisia 136km

Non solo, ma i progetti citati sono tutti pesantemente condizionati, oltre che dalle problematiche tecniche e dai costi connessi con le loro dimensioni, anche dalle problematiche geo-politiche derivanti dall'essere le opere di attraversamento tutte o quasi trans-nazionali quando non trans-continentali.

A titolo di esempio, si ritiene utile un cenno al progetto del **Tunnel dello Stretto di Bohai**, che separa il Mare omonimo dal Mar Giallo, per collegare Dalian sulla penisola di Liaodong con Yantai sulla penisola di Shandong (Figura 5-58), lungo la costa più settentrionale della Cina (123 km di cui 90km sottomarini)<sup>196</sup>, interamente in territorio cinese e quindi la cui realizzazione sarebbe meno condizionata sia da carenza di fondi sia da considerazioni geo-politiche. Il nome ufficiale del progetto è **Bohai Strait Cross-Sea Traffic Way**. A rendere meno irrealistica la fattibilità dell'iniziativa contribuiscono anche caratteristiche tecniche

<sup>196</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Bohai\\_Strait\\_tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Bohai_Strait_tunnel)

decisamente favorevoli, quale la bassa profondità, utile riferimento per le stime di costo e tempo di realizzazione.

Il tunnel avrà una profondità media di 20-30 metri, raggiungendo la profondità massima di 70 metri, e attraversando due grandi zone di faglie, e dovrà essere dimensionato per terremoti di magnitudo 8 scala Richter. Il progetto prevede la realizzazione di 3 gallerie parallele: 2 laterali per il trasporto ferroviario direzionale singolo alla velocità massima di 200 km/h e quella centrale per il servizio e la manutenzione. I lavori dovrebbero iniziare nel 2021 e durare 10 anni.

Gestito dalla China Railway Engineering Corporation, il tunnel sarà collegato al sistema ferroviario cinese ad alta velocità. Le automobili verrebbero caricate sui vagoni ferroviari per effettuare la traversata di 40 minuti. Attualmente, il Bohai Train Ferry, inaugurato nel 2007, attraversa lo stretto in 8 ore. In base alla stima dei traffici predisposta dalla Chinese Academy of Engineering il nuovo collegamento dovrebbe essere in gran parte usato per il trasporto merci. Il costo del progetto è stimato dell'ordine di 40 miliardi di dollari, incluse opere aggiuntive al tunnel quali ponti attraverso le isole Changdao sul lato sud dello stretto.

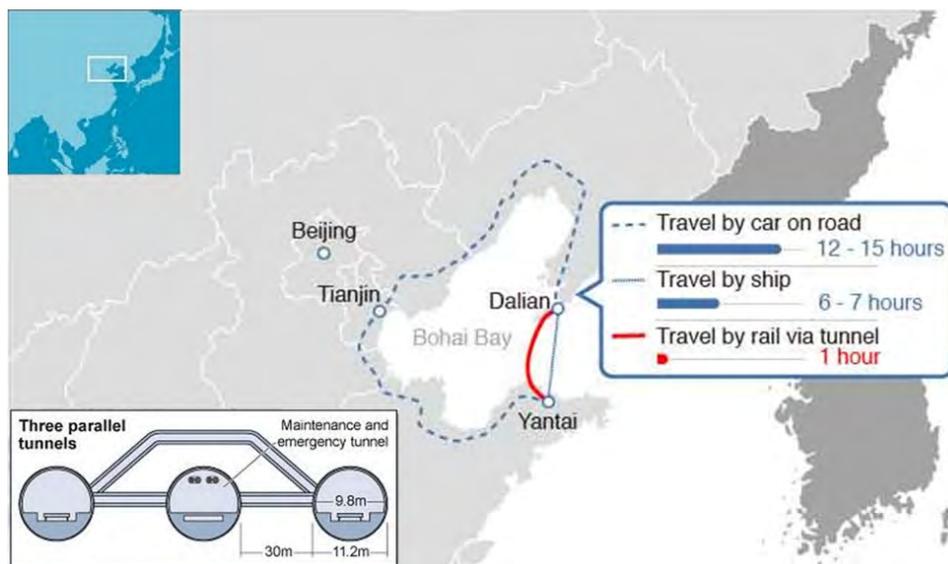


Figura 5-58 Tunnel sottomarino ferroviario dello stretto di Bohai

### 5.3.4 Tunnel sottomarini stradali

Il **Tokyo Bay Aqua-Line** (Figura 5-59) è la combinazione di un ponte ed una galleria sulla baia di Tokyo. La galleria lunga 9,5 km è seguita da un ponte della lunghezza di 4,4 km. La transizione tra ponte e galleria avviene sull'isola artificiale di Umi Hotaru.

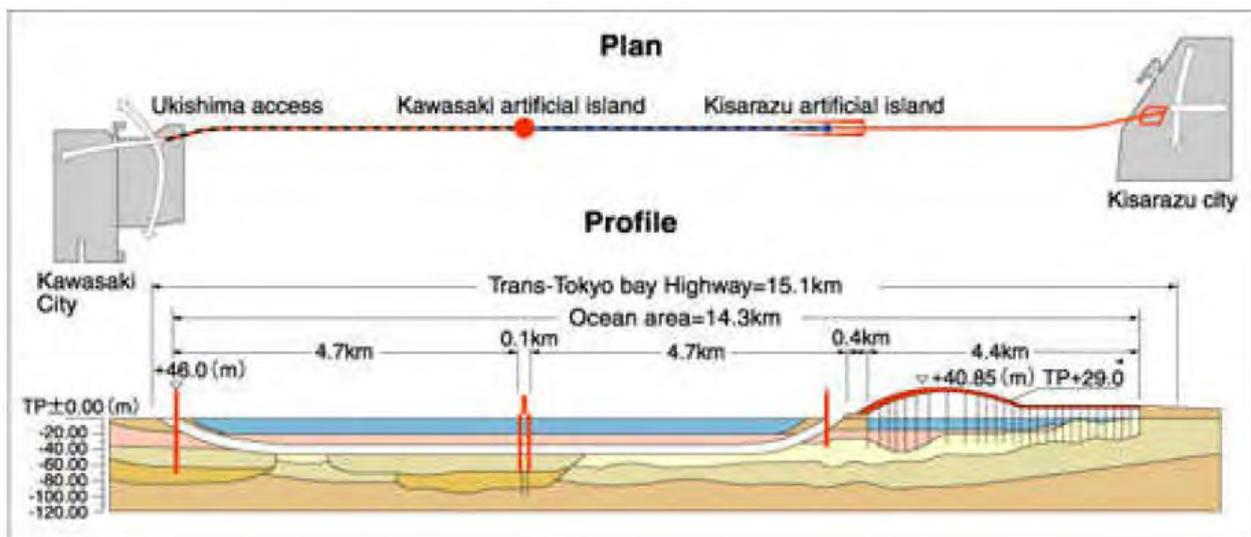


Figura 5-59 Tokyo Bay Aqua-Line<sup>197</sup>

L'**Eurasia Tunnel** (Figura 5-60) è un tunnel stradale sottomarino lungo 5,4 km che collega le due parti di Istanbul. Inaugurato nel dicembre 2016, attraversa lo stretto del Bosforo sotto il fondo del mare ad una profondità massima di 106 metri.

<sup>197</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Tokyo\\_Bay\\_Aqua-Line](https://en.wikipedia.org/wiki/Tokyo_Bay_Aqua-Line)

Figura 5-60 Eurasia Tunnel<sup>198</sup>

È in corso di avanzata costruzione il **Boryeong Tunnel**<sup>199</sup> (Corea), tra il porto di Daecheon a Boryeong, nella Provincia del Sud Chungcheong, e Wonsan Island (Figura 5-61).

Lungo 6.927 m, è il più lungo tunnel sottomarino della Corea<sup>200</sup>. A sagoma semi-circolare, ad una profondità fino a 80 m sotto il livello del mare, con copertura minima di circa 25 m, il tunnel è a doppia canna con 2 corsie per direzione di marcia (Figura 5-62).

Per lo scavo delle gallerie, effettuato con tecnica tradizionale (senza TBM) in area geologicamente complessa (presenza di faglie), è stata impiegata una particolare tecnica di consolidamento del fronte mediante *jet-grouting* in funzione della pressione e della quantità di acqua di mare, completando lo scavo di entrambe le canne del tunnel sottomarino senza afflusso di acqua di mare e contribuendo a ridurre tempi e costi di costruzione.

L'ultimazione dei lavori è prevista per febbraio 2022.



Figura 5-61 Boryeong Tunnel – Sezione e fronte di scavo

<sup>198</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia\\_Tunnel#Technical\\_details](https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasia_Tunnel#Technical_details)

<sup>199</sup> <https://tunnelbuilder.it/Archive/NewsArticle.aspx?filename=Corea-Completato-scavo-del-pi-lungo-tunnel-subalveo>

<sup>200</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=fE0SCWaJm0E>

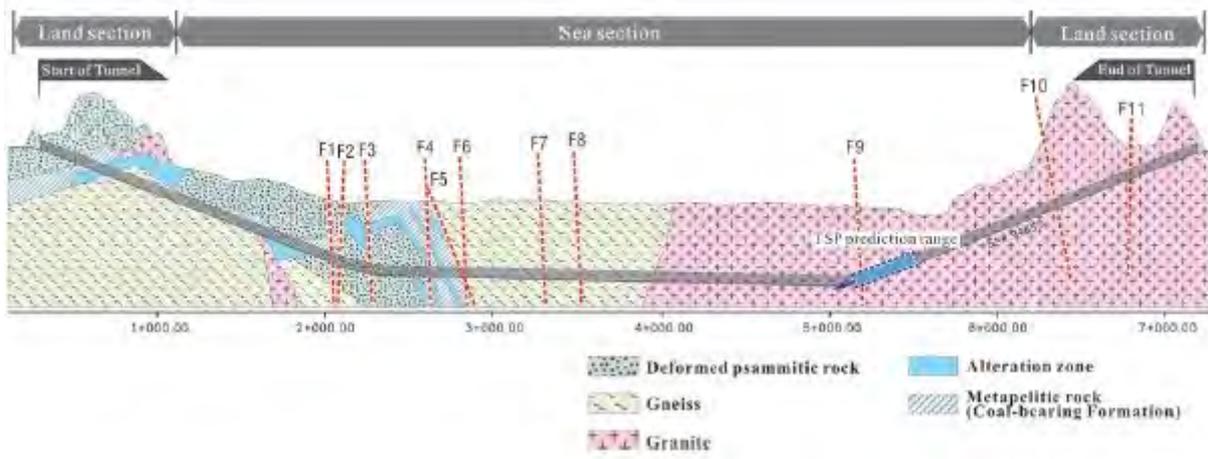


Figura 5-62 Boryeong Tunnel – Sezione longitudinale

Il più lungo dei tunnel sottomarini stradali è il **Tunnel di Lærdal**<sup>201</sup>, **Norvegia**, entrato in servizio nel 2000, che raggiunge i 24,5 km. Il tunnel permette, a differenza del percorso attraverso le montagne, il collegamento tra Oslo e Bergen anche durante il periodo invernale.

Il tunnel è a canna singola bidirezionale (1 corsia per direzione), essendo il traffico molto scarso. La galleria, dotata di illuminazione speciale, è suddivisa in quattro tratte separate da tre grandi caverne nella montagna, che interrompono la monotonia e permettono agli automobilisti di effettuare una sosta (Figura 5-63).

La galleria non dispone di uscite di sicurezza, ma solo di nicchie di emergenza ogni 500m.



Figura 5-63 Laerdal Tunnel

<sup>201</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Tunnel\\_di\\_L%C3%A6rdal](https://it.wikipedia.org/wiki/Tunnel_di_L%C3%A6rdal)

Di recentissima realizzazione (entrato in servizio nel dicembre 2019), sempre in Norvegia, è il **tunnel sottomarino stradale Ryfylke** <sup>202</sup>, che collega **Stavanger** a **Ryfylke** (Figura 5-64). È lungo 14,3 km, raggiunge una profondità di 293 m sotto al livello del mare. Il tunnel è a due canne monodirezionali ciascuna con due corsie veicolari ed è progettato per 10.000 veicoli al giorno.

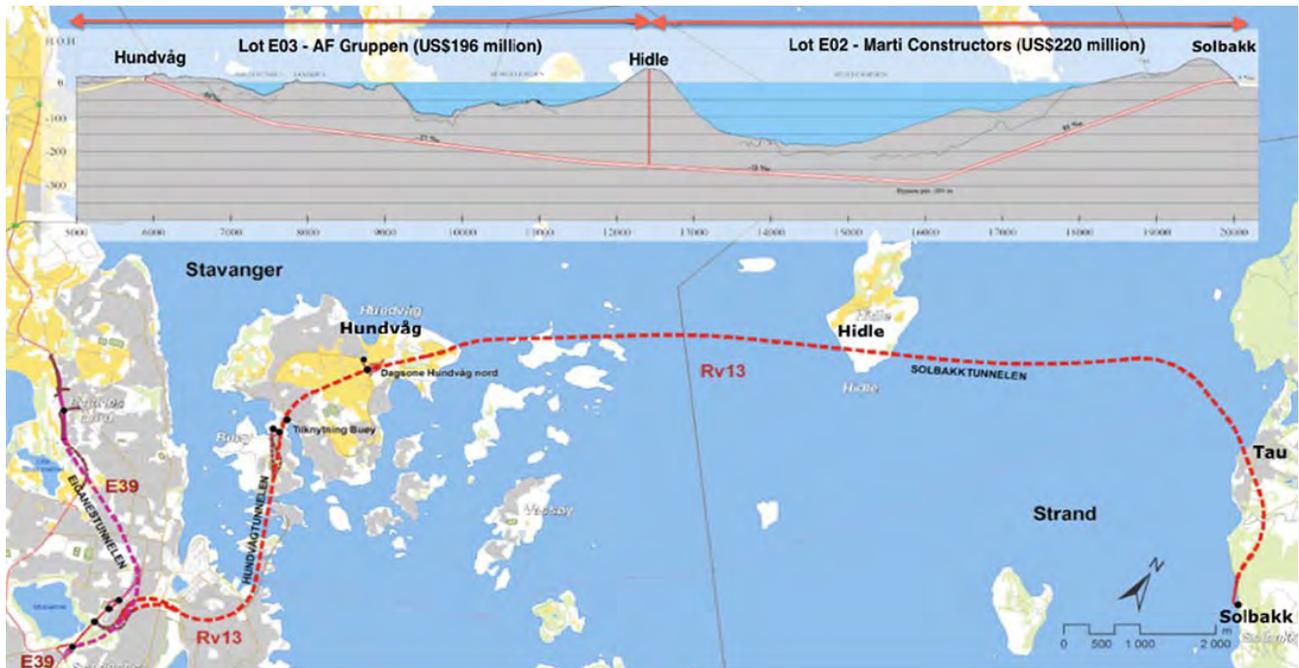


Figura 5-64 Sezione longitudinale e mappa del Ryfylke Tunnel<sup>203</sup>

Il **tunnel sottomarino stradale di Penang (Penang Undersea Tunnel)** in Malesia<sup>204 205</sup> è un tunnel in progetto di cui è prossimo l'avvio della costruzione tra Butterworth sulla terraferma e George Town sull'isola di Penang, nel nord della Malesia, già collegati da due ponti e da un servizio ferry. Il tunnel di 7,2 km collegherà Butterworth, Seberang Perai a est a George Town, Penang Island a ovest (Figura 5-65). Una volta completato nel 2025, diventerà il secondo tunnel sottomarino nel sud-est asiatico dopo la parte sottomarina della Marina Coastal Expressway (MCE) a Singapore. Il tunnel sottomarino sarà a pagamento con casello autostradale e avrà una sezione ferroviaria riservata per la futura Penang LRT. La costruzione del tunnel inizierà nel 2021.

<sup>202</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Ryfylke\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Ryfylke_Tunnel)

<sup>203</sup> [https://vegkart-2019.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/hva:\(~\(farge:'0\\_0,id:67\)\)/@-24646,6580375,10/vegobjekt:1004742282:40a744:67](https://vegkart-2019.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/hva:(~(farge:'0_0,id:67))/@-24646,6580375,10/vegobjekt:1004742282:40a744:67)

<sup>204</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Penang\\_Undersea\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/Penang_Undersea_Tunnel)

<sup>205</sup> Youtube "Penang undersea tunnel investigation" - <https://www.youtube.com/watch?v=L4MSEaNWSCE>

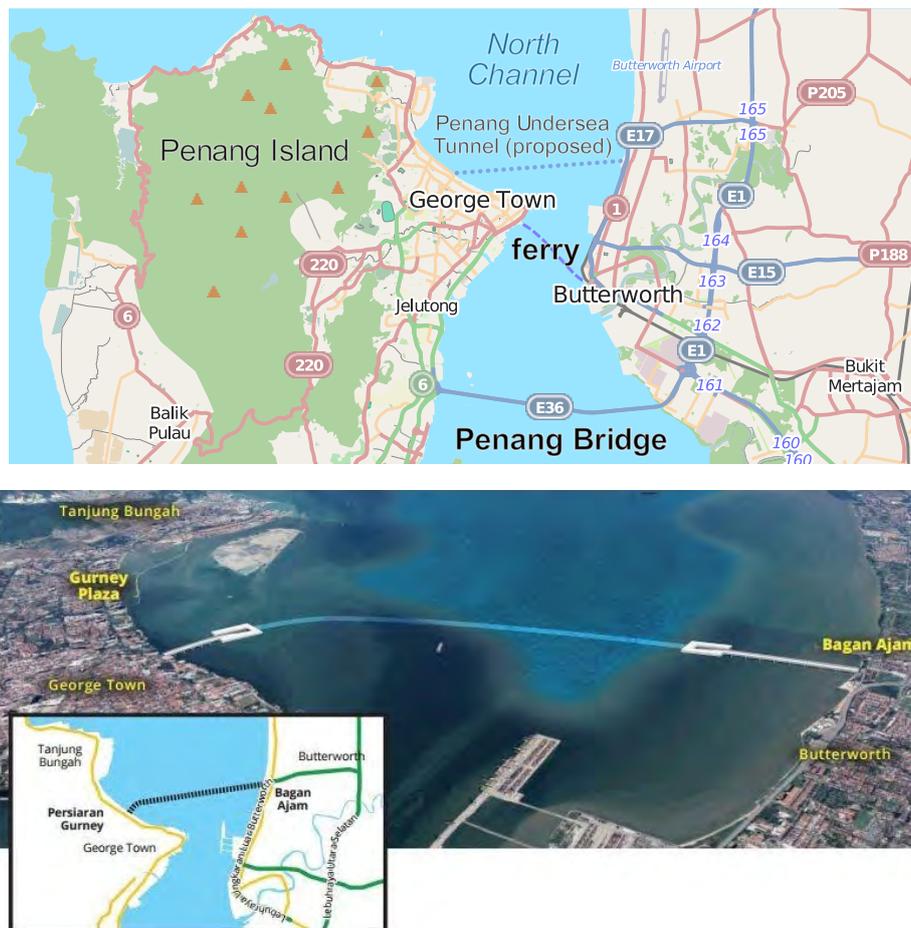


Figura 5-65 Penang Undersea Tunnel

In fase di costruzione, avviata nel 2018, si cita il **tunnel sottomarino stradale Rogfast**<sup>206</sup> sotto il Boknafjorden, in Norvegia (

Figura 5-66 e

Figura 5-67), che collegherà le municipalità di Randaberg, Kvitsøy e Bokn e le rispettive isole. Si tratta in realtà di un complesso – lungo 27 km – di tunnel completati da uno svicolo intermedio sottomarino alla progressiva 14+500 situato a –266 m, del tipo a diamante con 4 rampe laterali e rotonde di interscambio per il raccordo all’isola Kvitsoy: l’intersezione più profonda del mondo.

Destinato anche a servire alcune aree industriali di nuovo insediamento rafforzando importanti cluster di imprese sulle isole Kvitsøy e Bokn, lo scopo del progetto è quello di collegare le imprese e la popolazione nella Norvegia Occidentale, nonché di costituire la prima fase del progetto di itinerario E39 senza traghetti tra Kristiansand e Trondheim.

<sup>206</sup> Youtube “Statens vegvesen - E39 Rogfast” - <https://www.youtube.com/watch?v=4vp19pRTJ9s>

L'asse principale è costituito da due tunnel per le due direzioni, ciascuno contenente una sede stradale a doppia corsia con piazzole di sosta intervallate, avente diametro di 10,5m, con by-pass ogni 250m.

Le canne saranno realizzate col profilo norvegese T10,5, cifra che identifica la larghezza della carreggiata; ospiteranno infatti ognuna due corsie da 3,5 m, due margini da 25 cm e due marciapiedi da 1,5 m. L'interasse minimo tra le due canne sarà di 25 m (Figura 5-68).

Le pendenze raggiungono i valori seguenti: lungo il tratto dal portale meridionale allo svincolo, per 7,5 km una pendenza costante del 5,15%, quindi per altrettanti chilometri seguirà una leggera salita dell'1%, dallo svincolo lungo il tratto settentrionale due pendenze opposte del 4,5% e del 5,1%, sempre dallo svincolo lungo il ramo secondario una pendenza del 7,1%. Raggiungendo la profondità massima di 392 m sotto al livello del mare, l'opera sarà quindi il tunnel stradale più lungo e il tunnel sottomarino più profondo del mondo.

La ventilazione sarà di tipo longitudinale, coadiuvata dal cosiddetto "effetto pistone" generato dai flussi di traffico. Gli impianti di ventilazione sono stati progettati per il massimo flusso di traffico previsto: 750 veicoli/ora per direzione.

La costruzione è iniziata nel 2018 e il sistema dovrebbe entrare in servizio nel 2029.

Quando Rogfast sarà completato, il tempo di viaggio tra Stavanger e Bergen sarà ridotto di circa 40 minuti. Questo non particolarmente significativo risparmio di tempo consentito dalla nuova opera ha rallentato l'approvazione dell'opera, anche a fronte del costo elevato essendo questo tipo di opere in Norvegia finanziate anche con innalzamento delle tariffe dei traghetti esistenti nell'area.

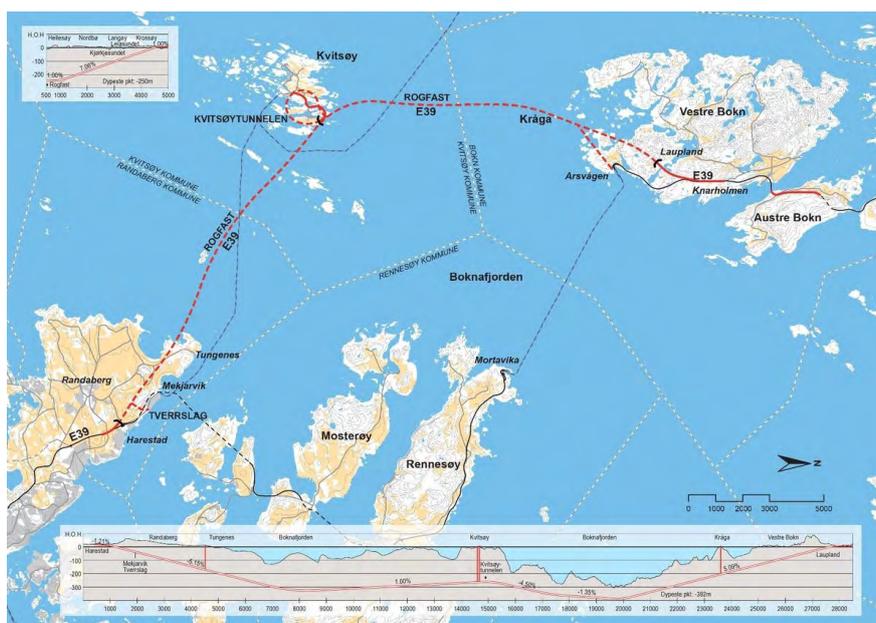


Figura 5-66 Rogfast Tunnel<sup>07</sup>

<sup>207</sup> <https://www.vegvesen.no/Europaveg/e39rogfast>



Figura 5-67 Rogfast Tunnel – Svincolo Kvitsøy

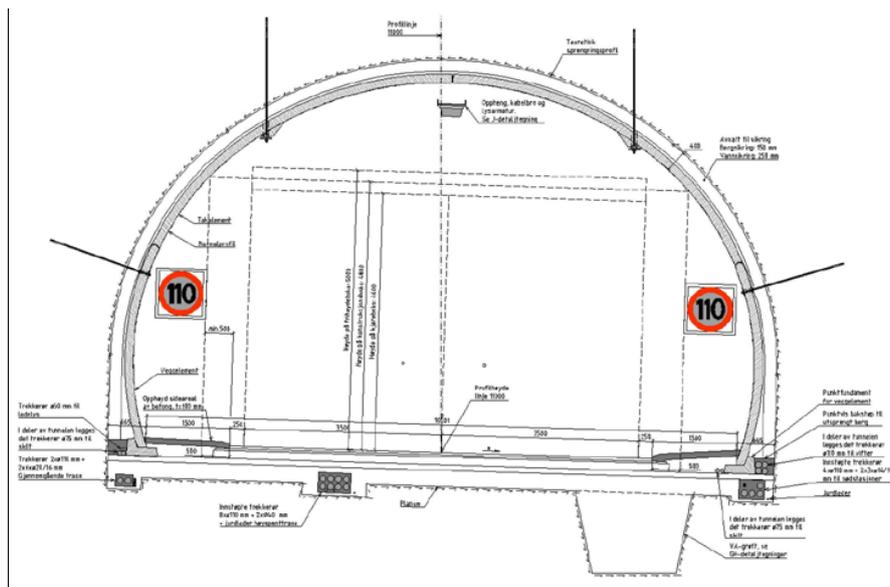


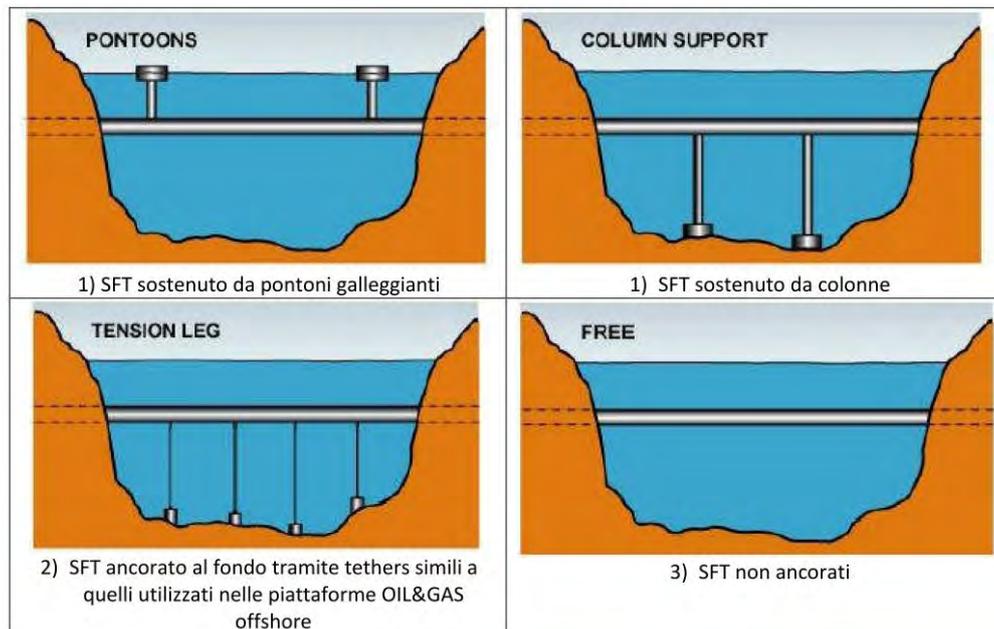
Figura 5-68 Rogfast Tunnel – Sezione trasversale

#### 5.4 Tunnel a mezz'acqua (tunnel sommersi flottanti)

Un tunnel galleggiante sommerso (Submerged Floating Tunnel - SFT), noto anche come ponte di Archimede, è un tunnel che galleggia in acqua sostenuto dalla spinta idrostatica. Il tubo è posto sott'acqua con un battente d'acqua di almeno 30m in modo da non creare alcun ostacolo alla navigazione e da non subire alcuna sollecitazione dovuta alle condizioni atmosferiche. A seconda delle condizioni locali, può essere mantenuto in posizione in vari modi come indicato in

Figura 5-69:

1. **SFT sostenuto da pontoni galleggianti<sup>208</sup>**: è indipendente dalla profondità dell'acqua, il sistema è sensibile al vento, alle onde, alle correnti e alla possibile collisione delle navi.
2. **SFT sostenuto da colonne<sup>209</sup>**: è un "ponte sottomarino" con basi sul fondo, in linea di principio le colonne lavorano in compressione, ma possono anche resistere a sforzi di trazione<sup>210</sup>. La profondità dell'acqua in cui può essere realizzato tale tipologia è limitata ad alcune centinaia di metri.
3. **SFT ancorati al fondo<sup>211</sup>**: si basa sul fatto che i tiranti (cavi o *tethers*, verticali o inclinati, simili a quelli utilizzati nelle piattaforme OIL&GAS offshore<sup>212</sup>) devono essere sempre in trazione altrimenti la struttura diventa instabile. Questa tipologia di ancoraggio può essere utilizzata sino a diverse centinaia di metri.
4. **SFT non ancorato**: è ancorato agli estremi ed è quindi indipendente dalla profondità. C'è un limite alla sua lunghezza, che attualmente è stimato in circa 100-200 metri.



<sup>208</sup> <http://dftu.dk/dansk/wp-content/uploads/2019/04/E39-og-SFT-Dansk-Tunnelforening.pdf>

<sup>209</sup> <https://actu.epfl.ch/news/an-underwater-tunnel-connecting-geneva-and-lausa-3/>

<sup>210</sup> <https://actu.epfl.ch/image/67992/original/6623x9362.jpg>

<https://actu.epfl.ch/image/67993/original/6623x9362.jpg>

<https://actu.epfl.ch/image/67994/original/9356x13245.jpg>

<sup>211</sup> [https://www.researchgate.net/publication/299609583\\_OMAE2016-54030\\_HYDRODYNAMIC\\_LOADS\\_ON\\_A\\_SUBMERGED\\_FLOATING\\_TUBE\\_BRIDGE\\_INDUCED\\_BY\\_A\\_PASSING\\_SHIP\\_OR\\_TWO\\_SHIPS\\_IN\\_MANEUVER\\_IN\\_CALM\\_WATER](https://www.researchgate.net/publication/299609583_OMAE2016-54030_HYDRODYNAMIC_LOADS_ON_A_SUBMERGED_FLOATING_TUBE_BRIDGE_INDUCED_BY_A_PASSING_SHIP_OR_TWO_SHIPS_IN_MANEUVER_IN_CALM_WATER)

<sup>212</sup> [http://utpedia.utp.edu.my/753/1/Mas\\_Nazli\\_Aziah\\_Mohd\\_Adnan.pdf](http://utpedia.utp.edu.my/753/1/Mas_Nazli_Aziah_Mohd_Adnan.pdf)

[https://www.saipem.com/sites/default/files/2019-03/2329spm\\_fixOFF\\_WEB.pdf](https://www.saipem.com/sites/default/files/2019-03/2329spm_fixOFF_WEB.pdf)



Figura 5-69 Tipologie di ancoraggio dei tunnel sommersi a mezz'acqua (SFT)

Questa tipologia di infrastrutture, basata su tecnologie ben collaudate che vengono normalmente utilizzate per la realizzazione di gallerie sia immerse che sommerse per elettrodotti, gasdotti e oleodotti, è stata oggetto di studi e calcoli molto approfonditi, ma non ne esistono realizzazioni per infrastrutture stradali e/o ferroviarie alla data del presente documento.

Essa è stata studiata in vari casi progettuali, in particolare in paesi quali la Norvegia, la Cina, la Corea, l'Italia stessa, ed è da tempo oggetto di programmi di ricerca universitari teorici e sperimentali in ambito prevalentemente universitario, anche attraverso modelli fisici tendenti a realizzare tale tipo di infrastrutture non solo in acque calme, ma anche in specchi di mare caratterizzati da correnti e soprattutto moti ondosi molto intensi.

In particolare, la Corea del Sud nel 2017 ha incaricato il *Department of Civil and Environment Engineering* del *Korea Advanced Institute of Science and Technology* (KAIST<sup>213</sup>) di studiare a fondo tutti gli aspetti degli SFT, sviluppando l'attività in collaborazione oltre che con le principali industrie coreane interessate anche con università e istituzioni estere in paesi in cui vi fosse attenzione al tema, quali Cina / Norvegia / Italia, dato il grande numero di siti esistenti di potenziale realizzazione di SFT in luogo di ponti o tunnel (Figura 5-70). In tale istituto nel 2019 è stata costruita la più grande vasca di prova del mondo per collaudare i modelli di SFT.

Figura 5-70 KAIST - SFT – Ipotesi di realizzazione di SFT nel mondo<sup>214</sup>

Nello stesso tempo anche il gruppo cinese di ingegneria e costruzione China Communications Construction Co. (CCCC) avvia la collaborazione con la Delft University of Technology<sup>215</sup> olandese.

<sup>213</sup> [https://www.vegvesen.no/attachment/2487060/binary/1294864?fast\\_title=Research+center+for+smart+submerged+floating+tunnel+system.pdf](https://www.vegvesen.no/attachment/2487060/binary/1294864?fast_title=Research+center+for+smart+submerged+floating+tunnel+system.pdf)

<sup>214</sup> <https://www.ntnu.edu/kt/research/dynamics/research/long-span/submerged-floating-tube>

<sup>215</sup> <https://www.tudelft.nl/citg/over-faculteit/afdelingen/hydraulic-engineering/sections/hydraulic-structures-and-flood-risk/research/submerged-floating-tunnel/>



Si sono quindi recentemente formati gruppi di lavoro internazionali con lo scopo di normare i criteri di progettazione dei tunnel in alveo.

A livello non solo teorico, ma anche concretamente applicato a casi specifici di studio progettuale più avanzato dell'attraversamento di tratti di mare e di laghi con tunnel sommerso, si segnalano i seguenti:

- *Seismic analysis of a SFT solution for the Messina Strait crossing* – di Giulio Martire e altri (2010)<sup>216</sup>
- *University of Waterloo “Improved Crossing Option for the Strait of Georgia”* (fra Vancouver e l'isola Victoria in Canada, largo da 18,5 a 55 km), tunnel ferroviario in alveo progettato nel 2016 dall'Università di Waterloo <sup>217</sup>,
- *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) – “An underwater tunnel connecting Geneva and Lausanne”*<sup>218</sup>(2018), tunnel ferroviario di 55km di cui 38 in tunnel sommerso in acqua per collegare Ginevra con Losanna (Svizzera francese) attraverso il lago Lemano, con treni AV a levitazione magnetica,
- *Norwegian Public Road Administration – Tunnel stradali*<sup>219</sup> di tipo SFT, in particolare per il progetto *E39 Coastal Highway Route* dell'attraversamento stabile stradale senza impiego di traghetti di numerosi fiordi lungo l'autostrada europea E39<sup>220</sup> (progetti avviati nel 2011)<sup>221</sup>.

Nel seguito si riportano comunque cenni significativi di alcuni progetti di tunnel in alveo a mezz'acqua.

### A. Progetto Tunnel sommerso Consorzio ENI 1984-1993

Nel 1984 l'ENI ha acquistato con fondi pubblici il progetto e i brevetti del Gruppo “Alan Grant”, premiato ex-aequo al primo posto nel 1970, e ha costituito la società “Ponte di Archimede nello Stretto di Messina”. Quest'ultima ideò un tubo alveo flottante, con un collegamento di 6375 metri lungo la traversale che collega Catona sulla costa calabra con

<sup>216</sup> <https://www.researchgate.net/publication/233910319>

<sup>217</sup> [https://uwaterloo.ca/civil-environmental-engineering/sites/ca.civil-environmental-engineering/files/uploads/files/c3\\_poster.pdf](https://uwaterloo.ca/civil-environmental-engineering/sites/ca.civil-environmental-engineering/files/uploads/files/c3_poster.pdf)

<sup>218</sup> [https://pdfs.semanticscholar.org/d7ea/1ddc1c8d5200ac8c45d529834e41bb05861d.pdf?\\_ga=2.165975098.521167743.1567869081-1394234925.1566462825%20](https://pdfs.semanticscholar.org/d7ea/1ddc1c8d5200ac8c45d529834e41bb05861d.pdf?_ga=2.165975098.521167743.1567869081-1394234925.1566462825%20)

<https://actu.epfl.ch/news/an-underwater-tunnel-connecting-geneva-and-lausa-3/>

<sup>219</sup> [https://www.vegvesen.no/attachment/1607172/binary/1145785?fast\\_title=Bj%C3%B8rnafjorden+R%C3%B8yrbru+%28Submerged+floating+tunnel%29+K3-K4+Technical+report.pdf](https://www.vegvesen.no/attachment/1607172/binary/1145785?fast_title=Bj%C3%B8rnafjorden+R%C3%B8yrbru+%28Submerged+floating+tunnel%29+K3-K4+Technical+report.pdf)

<sup>220</sup> Youtube “World's First Floating Tunnel Project In Norway” <https://www.youtube.com/watch?v=OZl3N5MA50&t=1s>

<sup>221</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=B\\_3dODfsDEU](https://www.youtube.com/watch?v=B_3dODfsDEU) e <https://www.youtube.com/watch?v=fYW9NxdZsjI&t=1s>

Punta S. Raineri a Messina, le cui testate, sul versante calabro e su quello siculo, avrebbero dovuto assumere una funzione di collegamento metropolitano rispettivamente nella periferia di Reggio Calabria e nel centro urbano di Messina (Figura 5-71).

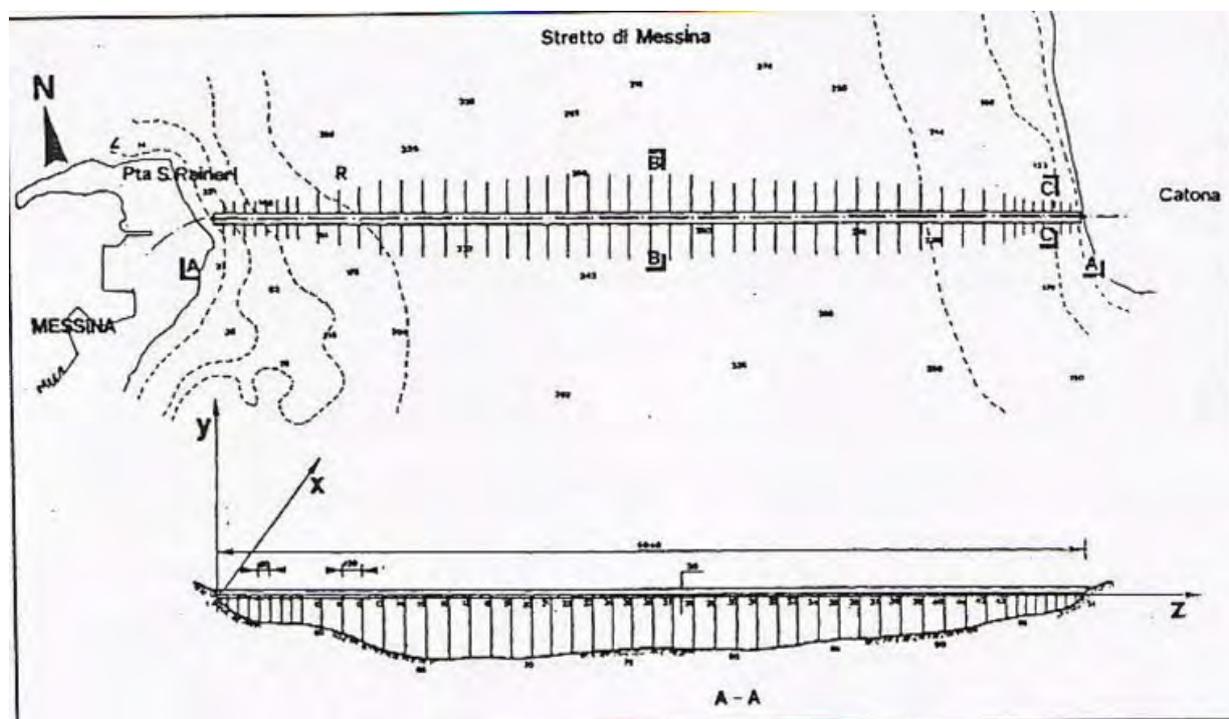


Figura 5-71 Prospetto e planimetria del progetto del 1984-1988 "Società Ponte di Archimede nello Stretto di Messina"<sup>222</sup>

Successivamente l'ENI attraverso il Consorzio per lo Stretto di Messina (Saipem, Snamprogetti, Spea, Tecnomare), ha redatto un progetto di attraversamento stabile stradale e ferroviario dello stretto tra Messina e Villa San Giovanni-Catona mediante tunnel sommerso flottante: lo Studio di fattibilità nel 1987 (presentato nel 1991 in audizione parlamentare), il Progetto di massima e gli studi sulla mobilità e le infrastrutture nel 1992-1993.

La soluzione – definita come "tunnel strallato" – nasce dall'esigenza di combinare i punti di forza di due sistemi di attraversamento: i ponti strallati ed i tunnel immersi o appoggiati, oltre che del settore dell'ingegneria off-shore, in particolare per quanto riguarda:

- la configurazione e le tecnologie adottate nelle opere di interfaccia con le gallerie a terra,
- le caratteristiche delle zone di testa dei moduli del tunnel;
- alcuni aspetti i mezzi navali e le tecnologie di costruzione, installazione e connessione dei moduli del tunnel.
- le tecnologie adottate nelle connessioni degli stralli al tunnel ed alle basi di fondazione.

<sup>222</sup> Aurelio Angelini "Il mitico Ponte sullo Stretto di Messina", ed. Franco Angeli

<https://iris.unipa.it/retrieve/handle/10447/53246/304661/IL>

La proposta di soluzione di attraversamento è costituita da 3 tunnel a percorso rettilineo ed orizzontale da costa a costa, rispettivamente uno più meridionale dedicato al traffico ferroviario e due più settentrionali fra loro paralleli e affiancati a quello stradale, aventi identica sezione circolare di diametro esterno pari a 17m circa, localizzati a sud della Sella dello Stretto quindi in corrispondenza non della minore distanza fra le due coste né del minor fondale, ma in funzione della migliore interconnessione con le autostrade e le ferrovie esistenti.

Gli innesti ferroviari sarebbero lato Calabria sulla ferrovia Napoli-Reggio Calabria, in una zona compresa tra Villa San Giovanni e Reggio Calabria, lato Sicilia sotto la stazione ferroviaria di Messina, con una nuova stazione passante “Messina sotterranea”, allacciata sia alla linea per Palermo che a quella per Catania. Gli innesti autostradali avverrebbero più a nord con svincoli dedicati delle autostrade esistenti (Figura 5-72).

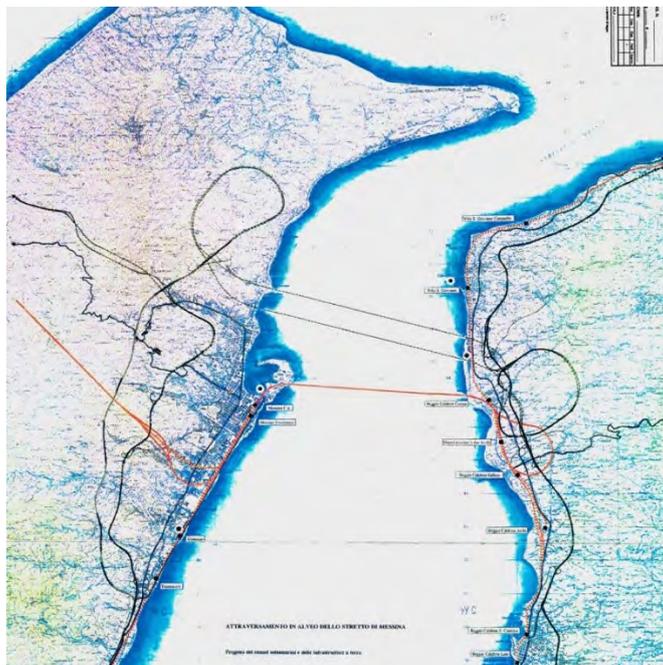


Figura 5-72 Tunnel sommerso progetto ENI 1993 – Planimetria (in rosso il tunnel ferroviario, in nero i tunnel stradali)

I tunnel sono posti ad una profondità di 35-40 m rispetto al livello del medio mare (l.m.m.) lungo l'intera luce di attraversamento per non costituire ostacolo alla navigazione nello Stretto, nel rispetto del valore minimo di 30 m indicato dall'International Maritime Organization (IMO).

Ciascun tunnel strallato si interfaccia con la corrispondente galleria a terra mediante transizioni formate da una serie di elementi aventi funzioni di allineamento, di aggancio e di tenuta idrostatica tra i moduli durante le operazioni di installazione a mare nonché di connessione definitiva tra gli elementi modulari di tunnel strallato lato mare e le gallerie ferroviaria e stradali lato terra, In particolare il primo elemento lato mare per ciascun tunnel

e ciascun lato contiene un elemento di giunzione strutturale elastica, che consente di separare fisicamente il tunnel stesso dall'azione di terremoti che dovessero eventualmente verificarsi nella zona dello Stretto, mentre il primo elemento lato terra costituisce il raccordo tra gli elementi appoggiati a fondo mare e le gallerie ferroviaria e stradali lato terra.

I moduli che costituiscono le interfacce hanno lunghezze variabili a seconda del tunnel – ferroviario / stradale sud o nord – e del lato – Sicilia o Calabria – e vengono alloggiati sul fondo di una trincea scavata alla profondità di 55m circa. Lo scavo, a costruzione ultimata, viene reinterrato ripristinando la configurazione originale del pendio.

Le lunghezze di tratti modulari e di interfaccia dei tre attraversamenti sono riportate nella tabella sottostante (Tabella 5-5).

PARTE D'OPERA	LUNGHEZZA [m]			
	interfaccia lato Calabria	tunnel strallato	interfaccia lato Sicilia	Totale
tunnel ferroviario	281	4680	234	5195
tunnel stradale sud	170	5760	234	6164
tunnel stradale nord	350	5256	234	5834

Tabella 5-5 Tunnel sommerso progetto ENI 1993 - Lunghezza tunnel ferroviario e tunnel stradali

Il comportamento strutturale del tunnel risente delle azioni della corrente in particolare nelle zone prossime alla costa siciliana ove vengono raggiunti i più elevati valori di velocità. Rilevanti sono infatti gli effetti in termini sia di spostamenti imposti al tunnel stesso che di stato di sollecitazione degli stralli. Poco marcati risultano gli effetti del moto ondoso a causa principalmente della profondità di installazione degli elementi strutturali e del conseguente decadimento delle azioni ad essi applicate.

Il tunnel ferroviario prevede 2 binari indipendenti e banalizzati, integrati da 2 posti di movimento alle due estremità dell'attraversamento. La sezione del tunnel ferroviario (Figura 5-73) è divisa funzionalmente in vari comparti destinati oltre che ai treni agli impianti elettrici / di ventilazione / di drenaggio.

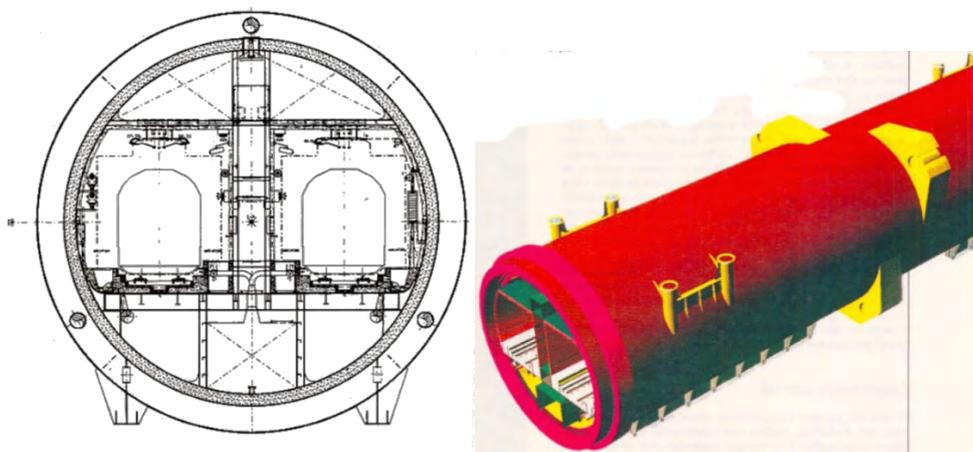


Figura 5-73 Tunnel sommerso progetto ENI 1993 – Sezione tunnel ferroviario



Ciascun tunnel stradale contiene una carreggiata autostradale con due corsie di marcia da 3,75 m più una di emergenza da 3,50 m e banchine laterali. L'altezza libera minima è pari a 5 metri.

La sezione dei tunnel stradali è anch'essa divisa funzionalmente in vari comparti dedicati.

Il tunnel ferroviario ed i due tunnel stradali sono formati da una serie di moduli prefabbricati di 72m di lunghezza.

La sezione dei tunnel è composta da due gusci / anelli concentrici in acciaio di elevato spessore la cui intercapedine è riempita di calcestruzzo, collegati fra loro con setti a intervalli di 3m. Il guscio esterno è formato da un cilindro in acciaio di elevato spessore ed è rinforzato con anelli.

La protezione delle strutture dall'azione corrosiva dell'acqua di mare è di tipo misto attivo e passivo, essendo assicurata l'una da una protezione catodica ad anodi sacrificali, e l'altra da un rivestimento di resina poliuretana ad alto spessore.

I tunnel sono vincolati al fondo marino mediante stralli, cavi di ancoraggio agganciati a intervalli regolari ad appositi collari fissati ai moduli cilindrici di cui è composto ogni tunnel. Ogni modulo è dotato di 4 stralli o meglio 2 coppie di cavi, inclinati di circa 45 gradi rispetto alla verticale, posizionati ai due lati del tunnel e giacenti in piani verticali normali all'asse del tunnel.

La tensione dei cavi, che può essere regolata attraverso il collare di fissaggi, sommata al peso del modulo, compensa la spinta verticale dell'acqua (ridotta in fase di installazione mediante l'inserimento al suo interno di una certa quantità di acqua, estratta una volta montati i collari e tesi i cavi). Qualora, a seguito di un sisma, si verificassero vibrazioni e variazioni di livello del fondo marino (stimati al massimo dell'ordine di centimetri), il tunnel non ne risente grazie all'elasticità dei cavi che sono in grado di assorbire le variazioni di tensione restando sempre adeguatamente tesi.

Gli stralli sono formati da tubi in acciaio di diametro di 2m circa. Ciascuna coppia di cavi di ancoraggio converge a fondo mare in uno stesso blocco di fondazione su pali.

## **B. Progetto Tunnel sommerso Bjornafjord 2016 (Norvegia)**

Come riportato in altra parte del presente documento, il progetto più recente ha per oggetto l'attraversamento del Bjornafjord (*Submerged Floating Bridge Tunnel – SFBT*)<sup>223</sup>, (Norvegia, 2016, attraversamento solo stradale, lunghezza 5.495m, tracciato curvilineo raggio 2.350m per seguire meglio l'andamento del fondale e per assorbire meglio le sollecitazioni termiche, livelletta orizzontale, profondità del fondale fino a 550m, 2 canne

---

<sup>223</sup> *Progetto sviluppato oltre che con tiranti di ancoraggio anche con pontoni galleggianti di sospensione (lunghezza 5.350m)*

diametro 12.6m ciascuna con carreggiata a 2 corsia di marcia e diametro 15.0m con piazzole di sosta ogni 400m, pista ciclabile sottostante il piano stradale, by-pass di sicurezza trasversali ogni 200m, distanza fra i centri delle 2 canne 40m, travi diagonali di irrigidimento fra le canne, altezza minima d'acqua libera sopra i tunnel 30m, 4 tiranti verticali per ciascun ancoraggio).

La sezione trasversale corrente e in corrispondenza della piazzola di sosta è rappresentata nella Figura 5-74.

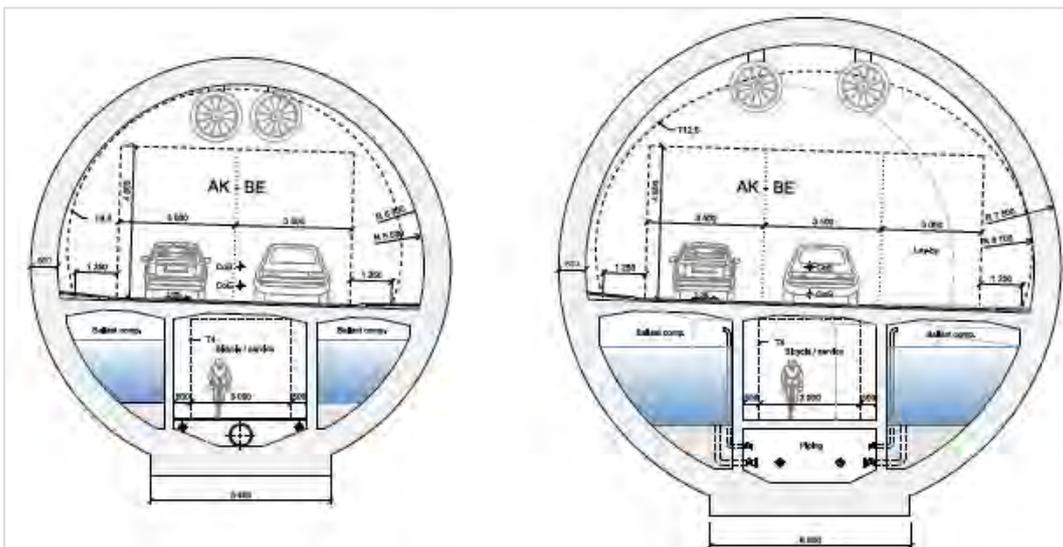


Figura 5-74 Tunnel sommerso progetto Bjornafjord 2016 – Sezione tunnel stradale (Fonte Statens vegvesen)

Le condizioni locali di velocità della corrente marina sono le seguenti:

Depth	10 year	100 year	10000 year *
Surface	1.13 m/s	1.33 m/s	1.69 m/s
30 m	0.46 m/s	0.54 m/s	0.69 m/s

mentre le condizioni locali di altezza e periodo d'onda in direzione perpendicolare al ponte sono le seguenti:

Return period	Scaling from 100 y	Hs (m)	Tp, min (s)	Tp, max (s)
1 y	0.67	2.0	4.0	6.0
10 y	0.81	2.4	4.0	6.0
100 y	1.00	3.0	4.0	6.0
1000 y	1.19	3.6	4.0	6.0



### C. Progetto Tunnel SFT Lago Lemano 2018 (Svizzera)

Il progetto viene illustrato solo per conoscenza trattandosi di una infrastruttura da realizzare in acque ferme dedicata al solo traffico ferroviario di cui non esiste neanche il prototipo<sup>224</sup>, però sembrerebbe troppo tecnicamente fattibile per essere utopico.

La tesi di Master dell'ing. Elia Notari prevedeva la progettazione e il dimensionamento di un ponte-tunnel sommerso (Submerged floating tunnel Bridge: SFTB) nel Lago di Lemano, sotto la supervisione del Prof. Aurelio Muttoni e dell'ing. Francesco Moccia dell'École Polytechnique Federale De Lausanne, per collegare le città di Losanna e Ginevra con un sistema di trasporto ad alta velocità di tipo MAGLEV<sup>225</sup>. Questo tipo di struttura rappresenta una promettente soluzione per l'attraversamento di specchi d'acqua grazie alla realizzazione di una struttura completamente sommersa posta ad una profondità fissa.

La soluzione proposta è composta interamente da moduli prefabbricati in cemento armato precompresso monoliticamente collegati tra loro in cantiere. La galleria è realizzata con 199 elementi cilindrici di diametro = 14,5 m e 190 m di lunghezza disposti su un numero equivalente di pile con una configurazione strutturale tipica dei ponti a giunti Gerber.

I piloni, di altezza variabile tra 7,5 e 45 m, hanno una sezione cilindrica di diametro = 6,0 m che viene allargata superiormente per accogliere i dispositivi meccanici di supporto. Le fondazioni di ogni singolo pilone sono realizzate tramite un sistema di 20 pali aperti in acciaio conficcati nel terreno secondo uno schema fisso.

I moduli prefabbricati in cemento armato precompresso hanno una sufficiente capacità di galleggiamento indispensabile per le operazioni di traino. Questa capacità è regolabile attraverso due vani di zavorra che permettono sia di sommergere le parti che di regolare i carichi di gravità in modo che siano perfettamente in equilibrio con la spinta di Archimede durante la fase di servizio. Il tracciato del ponte si sviluppa principalmente lungo la riva del lago ad una profondità fissa di circa 30m. Questo allineamento consente di ridurre notevolmente le azioni idrodinamiche e ambientali garantendo profondità contenute che facilitano le operazioni di realizzazione.

Nelle figure seguenti Figura 5-75, Figura 5-76 e Figura 5-77 sono indicate alcune caratteristiche del progetto.

<sup>224</sup> <https://actu.epfl.ch/news/an-underwater-tunnel-connecting-geneva-and-lausann/>

<sup>225</sup> <https://actu.epfl.ch/news/epfloop-takes-third-place/>



**ENAC / PROJET DE MASTER ANNÉE 2018**  
**SECTION DE GÉNIE CIVIL**



**Conception et dimensionnement d'un pont submergé dans le lac Léman**

Auteur: Elia Notari  
Encadrement: Prof. Aurelio Muttoni / Ing. Francesco Moccia

Laboratoire de construction en béton (IBETON), EPFL

**DESCRIPTION GÉNÉRALE**

Le projet de Master a prévu la conception et le dimensionnement d'un pont submergé dans le lac Léman qui permettra de connecter les villes de Lausanne et Genève avec un système de transport à haute vitesse du type MAGLEV. Ce genre de structure représente une alternative performante aux ponts traditionnelles pour le franchissement des surfaces d'eau grâce à l'exploitation d'une ouvrage complètement submergé situé à une profondeur fixe.

La solution proposée est composée entièrement de modules préfabriqués en béton armé précontrainte liés monolithiquement ensemble sur place. Le tunnel est réalisé avec 199 éléments cylindriques de  $\phi=14.5m$  et  $190m$  de longueur disposés sur un nombre équivalent de piles avec une configuration structurale typique des ponts à joint Gerber.

Les piles, d'hauteur variable entre  $7.5$  et  $45m$ , ont une section cylindrique de  $0.60m$  qui est élargie en tête pour accueillir les appareils mécaniques d'appuis. Un système de 20 pieux, battu ouvert en acier assure la transmission des actions au sol de fondation.

Les pièces du pont sont conçues pour avoir une certaine capacité de flottage nécessaire pour les opérations de remorquage. Cette aptitude est réglable à travers deux compartiments de ballast disposés dans le caisson qui permet soit de submerger les pièces que de régler les charges gravitaires pour qu'elles soient parfaitement en équilibre avec la poussée d'Archimède lors de la phase de service.

Le tracé du pont se développe principalement le long de la côte du lac à profondeur fixe d'environ  $30m$ . Cette alignement permet de réduire considérablement les actions hydrodynamiques et environnementales tout en garantissant des profondeurs connues qui facilitent les opérations de mise en œuvre.

Le concept structural proposé peut être certainement adapté pour d'autres projet de ce type.

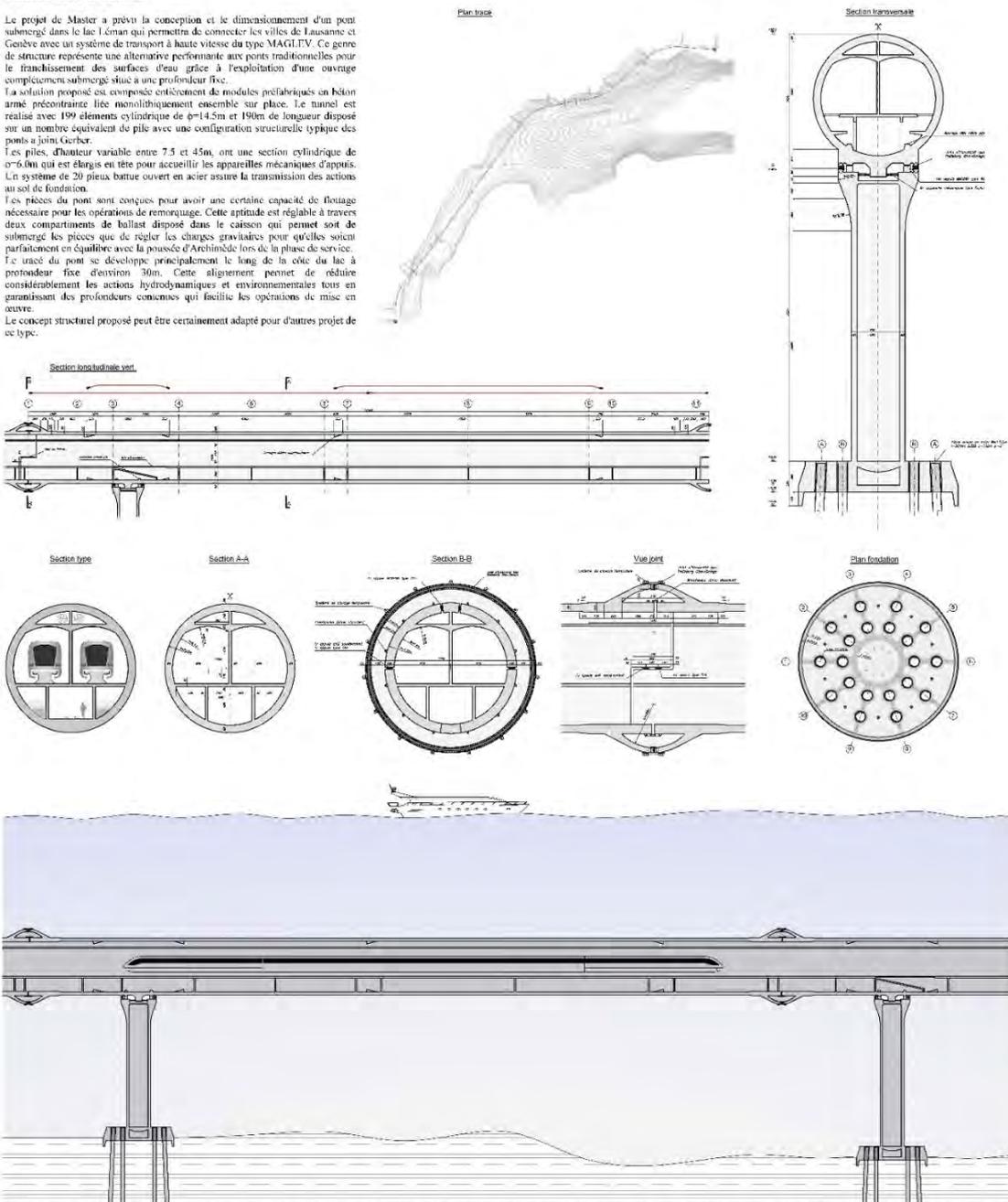


Figura 5-75 Attraversamento del lago di Lemano<sup>226</sup>

226 <https://actu.epfl.ch/image/67851/original/9356x13245.jpg>



Figura 5-76 Particolari costruttivi del tunnel SFTB nel Lago Lemano<sup>227</sup>  
(Fonte: École Polytechnique Federale De Lausanne)

#### Procédure constructive

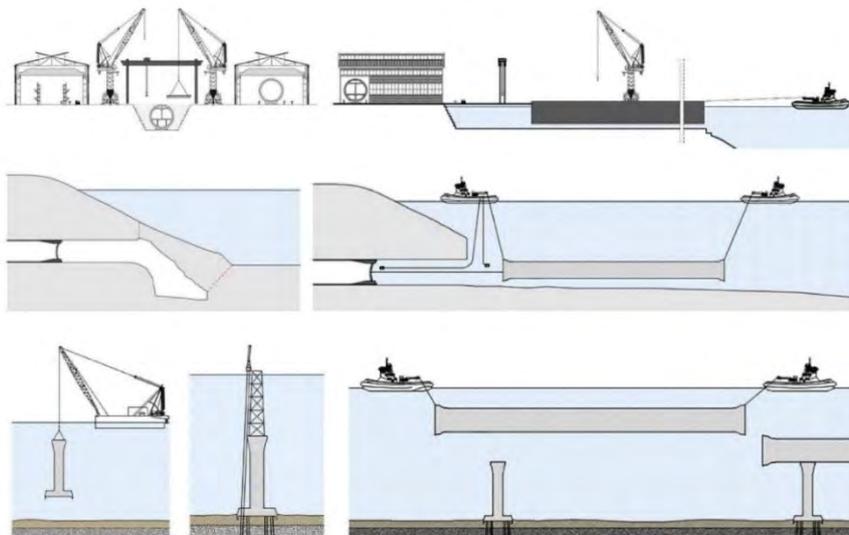


Figura 5-77 Procedura costruttiva per la realizzazione del tunnel SFTB nel Lago Lemano<sup>228</sup>  
(Fonte: École Polytechnique Federale De Lausanne)

<sup>227</sup> <https://actu.epfl.ch/image/67849/original/6623x9362.jpg>

<sup>228</sup> <https://actu.epfl.ch/image/67850/original/6623x9362.jpg>

## 6 IL PROGETTO DEL PONTE A CAMPATA UNICA DA 3300 M

### 6.1 Opera di attraversamento

Il Progetto Definitivo è stato sviluppato a partire dal Progetto Preliminare dell'Opera di Attraversamento, derivante a sua volta direttamente dal Progetto di Massima ultimato nel dicembre 1992 in osservanza alla legge speciale 1158/71.

L'idea di realizzare un ponte a campata unica nello stretto di Messina venne prospettata già nel concorso internazionale di idee del 1969 in cui furono premiati il progetto del Gruppo Musmeci (tra i vincitori del 1° premio) e il progetto dello Studio Nervi (tra i vincitori del 2° premio) (Figura 6-1).

Idea sviluppata negli anni Settanta dal Gruppo Ponte di Messina e fatta propria negli anni Ottanta dalla Società Stretto di Messina. Però, a differenza del progetto del Gruppo Musmeci, il ponte sviluppato era privo delle funi di stabilizzazione orizzontali, dei relativi pendini e blocchi di amarro.



Figura 6-1 Concorso di idee 1969 – Progetti Musmeci e Nervi

A seguito dell'approvazione della relazione del 1988 del Ministro Santuz la Società Stretto di Messina ha completato il Progetto di massima nel 1992, il Progetto preliminare nel 2002, approvato dal CIPE con deliberazione n. 66 del 1° agosto 2003.

Il 27 marzo 2006, a seguito dell'esito di una apposita gara internazionale, viene sottoscritto il contratto tra la Società Stretto di Messina Spa e la Società Impregilo, per conto del raggruppamento temporaneo d'impresе EUROLINK, relativo alla progettazione definitiva, esecutiva e alla realizzazione dell'opera. Il progetto definitivo, approvato dalla SdM il 29 luglio 2011, non è stato approvato dal CIPE.

Le principali dimensioni dell'opera di attraversamento secondo il progetto definitivo sono riportate nella Tabella 6-1. La Figura 6-2 rappresenta la sezione longitudinale dell'opera.

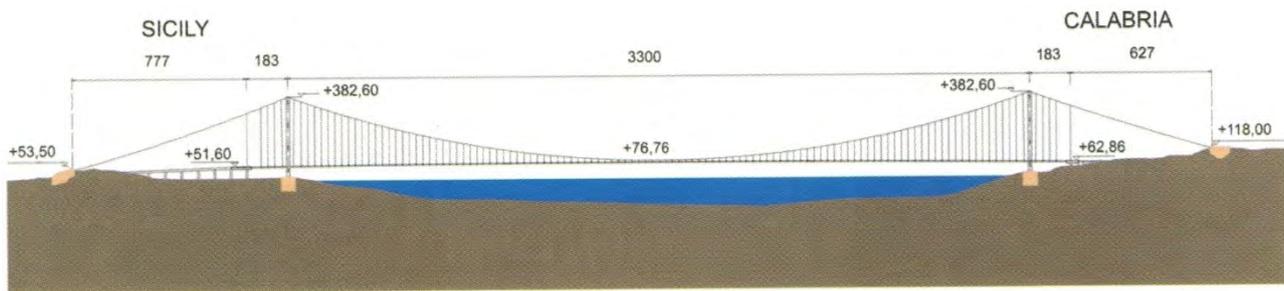


Figura 6-2 Sezione longitudinale

Principali Dimensioni	
Lunghezza della campata centrale	3300 m
Lunghezza complessiva con campate laterali	3666 m
Larghezza dell'impalcato	60,4 m
Altezza della sezione trasversale dell'impalcato	2,5 m
Altezza delle torri	399 m
Cavi nel sistema di sospensione	4
Lunghezza dei cavi di sospensione	5290 m
Diametro dei 4 cavi di sospensione	1,274 m
Altezza del canale navigabile	76 m
Franco minimo in corrispondenza del canale navigabile	65,4 m
Larghezza canale navigabile centrale	600 m
Altezza per ciascuno dei canali navigabili laterali	50 m
Larghezza per ciascuno dei canali navigabili laterali	1000 m
Indice di snellezza dell'impalcato (altezza della sezione trasversale dell'impalcato / lunghezza campata)	1/1320

Tabella 6-1 Principali dimensioni dell'opera di attraversamento a campata unica <sup>229</sup>

La campata laterale siciliana chiamata viadotto "Pantano" è composta da 6 campate uguali di circa 73 m. Il sistema di sospensione è costituito da 4 cavi principali disposti in 2 coppie, ciascuna a 2,00 m di interasse, distanziati trasversalmente di 52 m l'uno dall'altro. Ogni cavo percorre l'intera lunghezza del ponte da ancoraggio ad ancoraggio ed è costituito da 349 filamenti, ciascuno del peso di 121 tonnellate. Le torri in acciaio pesano complessivamente 108.500 tonnellate.

I blocchi di ancoraggio richiedono un volume di calcestruzzo di circa 290.000 m<sup>3</sup> sul lato siciliano e 230.000 m<sup>3</sup> sul lato calabrese<sup>230</sup>

La sezione trasversale dell'impalcato sospeso è un box multiplo formato da tre travi scatolari longitudinali in acciaio, quelle laterali per le carreggiate stradali e quella centrale per la sede

<sup>229</sup> <https://www.stradeanas.it/it/search/node/Ponte%20sullo%20Stretto%20di%20Messina>

<sup>230</sup> Dal testo: A Bridge Somewhere – ed. Trani and Davis 2014 - Engineering Aspects of the Bridge (G. Muscolino)



ferroviaria, forma prescelta da Stretto di Messina già nel progetto di massima redatto nel 1992, e via via ottimizzata e alleggerita così come l'intera struttura: impalcato, sistemi di sospensione, torri, fondazioni e spalle.

Le travi scatolari longitudinali sono sostenute da traverse scatolari in acciaio poste a 30 m di distanza, collegate a una coppia di pendini.

Il ponte ha due carreggiate stradali, ciascuna con due corsie per il traffico e una per i servizi di emergenza e manutenzione. La piattaforma ferroviaria ha due binari.

La Figura 6-3 e la Figura 6-4 rappresentano per confronto la sezione trasversale dell'impalcato di progetto preliminare del 2002 (a firma dell'ingegnere inglese William Brown) e di progetto definitivo del 2009 (consegnato alla società Stretto di Messina il 20/12/2010 e da questa approvato il 29/07/2011), aventi analoga forma e dimensioni.<sup>231</sup>

<sup>231</sup> Gli elaborati del "Progetto dell'attraversamento stabile dello Stretto di Messina e collegamenti stradali e ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia" sono pubblicati sul sito del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare all'indirizzo:

<https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Info/1>

Procedura	Codice procedura	Data avvio	Stato procedura		
Verifica di Ottemperanza (Legge Obiettivo 443/2001)	1546	08/09/2011	Conclusa	Dettagli procedura	<a href="#">Documentazione[2]</a>
Valutazione Impatto Ambientale (Legge Obiettivo 443/2001)	1546	08/09/2011	Conclusa	Dettagli procedura	<a href="#">Documentazione[3]</a>
Valutazione Impatto Ambientale (Legge Obiettivo 443/2001)	585	16/01/2003	Conclusa	Dettagli procedura	<a href="#">Documentazione[4]</a>

I documenti relativi alla procedura di Valutazione Impatto Ambientale (Legge Obiettivo 443/2001) sono 10.504.

L'elenco è scaricabile cliccando su **ESPORTA**<sup>231</sup>

Sono disponibili anche la "Guida alla consultazione degli elaborati del Progetto Definitivo", l'Elenco degli Elaborati del Progetto Definitivo, ecc.

Guida alla consultazione degli elaborati del Progetto Definitivo <a href="https://va.minambiente.it/File/Documento/42586">https://va.minambiente.it/File/Documento/42586</a>	Elenchi Elaborati	GC-PD-001	04/10/2011	-	2135 kB
Elenco Elaborati - Progetto Definitivo <a href="https://va.minambiente.it/File/Documento/29051">https://va.minambiente.it/File/Documento/29051</a>	Elenchi Elaborati	GE0000-F0	20/06/2011	-	1422 kB
ELENCO ELABORATI RISP INTEGRAZIONI <a href="https://va.minambiente.it/File/Documento/59933">https://va.minambiente.it/File/Documento/59933</a>	Documentazione integrativa	ELENCO-ELABORATI-RISP-INTEGRAZIONI	30/05/2012	-	501 kB

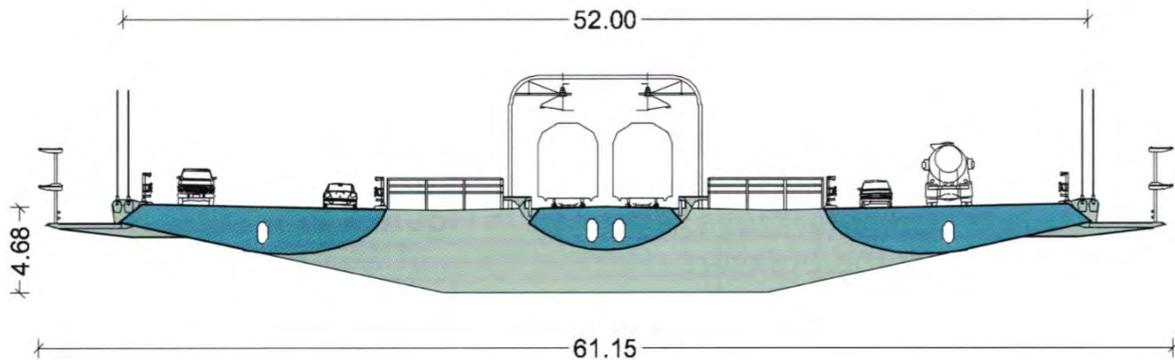
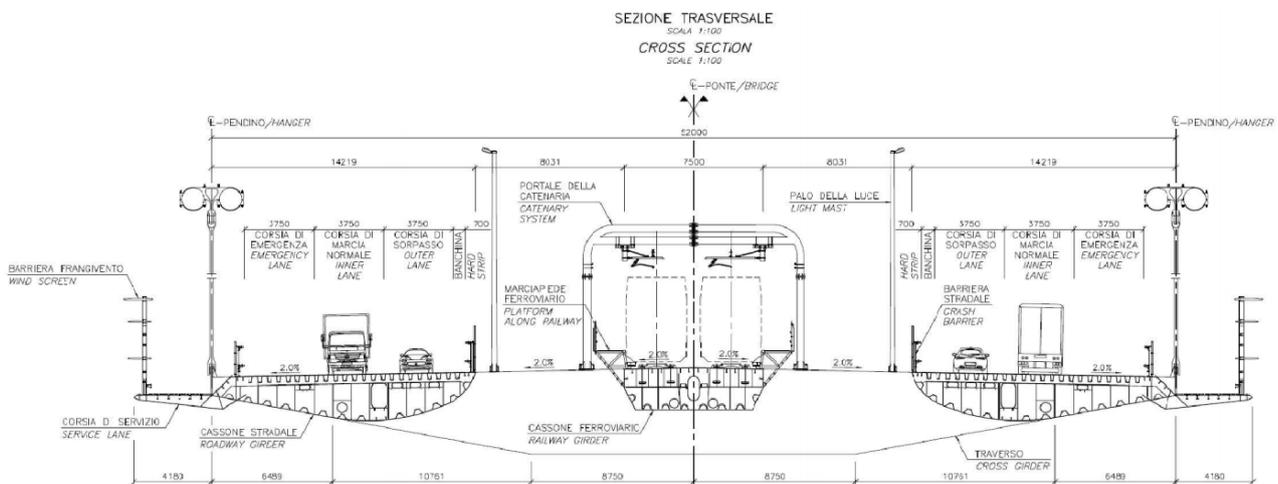


Figura 6-3 Sezione di impalcato del ponte – Progetto Preliminare 2002

Figura 6-4 Sezione di impalcato del ponte – Progetto Definitivo 2010<sup>232</sup>

## Cenni in merito alle problematiche della sicurezza

Il progetto dedica ampio spazio agli studi approfonditi condotti con particolare riguardo per la percorribilità ferroviaria del ponte, considerata la sensibilità ai carichi di vento che agiscono sul ponte e, in particolare, sui treni, come posto in rilievo in apposito elaborato<sup>233</sup>, nel quale si rileva che *“In particolare, i vagoni merci vuoti risultano problematici a tale proposito. Le accelerazioni indotte sui treni al passaggio dei giunti di dilatazione rappresentano un’area di ulteriore interesse.”*

Utilizzando la funzione ricerca è possibile rintracciare facilmente qualsiasi documento.

Nel campo “Testo da ricercare” si possono inserire le parole chiave relative agli argomenti di interesse, esempio:

- Titolo del documento (Vedi file excel scaricato tramite la funzione ESPORTA sopra citata)
- Codice elaborato (Esempio per rintracciare il documento GE0000-F0 è necessario scrivere GE0000)

<sup>232</sup> Elaborato PG0020-F0 – Relazione Tecnica Generale – pag. 344 di 671

<https://va.minambiente.it/File/Documento/37121>

<sup>233</sup> Elaborato PB0029-F0 – Analisi di Percorribilità, Sicurezza e Comfort

<https://va.minambiente.it/File/Documento/36791>



Il tema è stato analizzato con modelli specifici sviluppati e testati dai progettisti di Eurolink (in particolare COWI e Dipartimento di Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano) applicati a un numero molto elevato di possibili combinazioni analitiche, attraverso un approccio di calcolo sistematico e altamente automatizzato.

Nel seguito si riportano i risultati dell'analisi tratta dall'elaborato citato (par. 1.8):

*“L'unica violazione dei requisiti in assenza di carichi ambientali (vento o sisma) applicati è l'accelerazione verticale non ponderata RMS per il treno di tipo RFI 3. Quest'ultimo è un treno a due piani e contiene quindi una sospensione alquanto rigida per prevenire movimenti dinamici eccessivi. Di conseguenza, tale violazione di minore entità non desta preoccupazioni. Inoltre, il contraccollo, ritenuto un criterio del comfort e quindi applicabile soltanto ai treni passeggeri, aumenta notevolmente in tutti i casi analizzati. Tuttavia, i valori inferiori dell'indice di comfort Sperling Ride implica che il comfort dei passeggeri sia mantenuto a un livello molto soddisfacente e il criterio del contraccollo è stato recentemente sostituito con un approccio del filtro di frequenza, rif. EN 12299. Per la combinazione di carico che introduce il carico dinamico del vento laterale orizzontale sulla struttura e sui veicoli in movimento, la velocità critica del vento trasversale deve essere ridotta con lo scopo di conformarsi al criterio sul ribaltamento  $\Delta P/P$  e quindi il valore per il treno tipo RFI 6 (treno merci scarico) vicino a 0.9 è stato determinato per una velocità del vento applicata a tutti i tipi di treno (38 m/s media 10 min, raffica del vento di 50.5 m/s). Questo fa in modo che certi altri tipi di treno abbiano un margine di sicurezza considerevole, ma è stata adottata una velocità del vento unica per tutti i treni per motivi di semplicità di operazione. Se si sceglie di distinguere fra treni merci e passeggeri durante l'esercizio del ponte i treni passeggeri possono essere conformi alle specifiche di sicurezza (deragliamento e ribaltamento) quando sono esposti a carichi di vento del tipo SLS2. In tal caso RFI 3 è il treno più sensibile al vento.*

*Il carico sismico peggiore si verifica quando il picco del terremoto si verifica nel momento in cui i treni attraversano l'area dei piloni. Ciò è prevedibile in quanto la rigidità nettamente superiore di quest'area tenderà a provocare accelerazioni decisamente maggiori sul cassone ferroviario. Il carico sismico applicato nella condizione SLS1 generalmente non causa problemi in termini di ribaltamento e deragliamento. Tuttavia, i due treni merci (RFI 5 + RFI6) mostrano una violazione del rapporto di ribaltamento a questo livello di accelerazione al suolo. Nella condizione SLS2 diversi treni superano i limiti prescritti di ribaltamento e/o deragliamento, mentre altri sono ben al di sotto dei limiti. L'approccio usato per la modellizzazione dei treni dinamici che viaggiano direttamente sull'impalcato del ponte impedisce di ottenere risultati affidabili quando i treni attraversano il giunto di espansione. Gli studi sui rischi (ORA Natural Hazards - CG1000-P-SR-DP-GE-R5-00-00-00-04-C) valutano se i treni si ribaltano realmente o si sollevino soltanto dal binario per poi ricadere.*

*Le analisi comparative hanno evidenziato che le forze dinamiche calcolate con ADTreS non superano i carichi statici RFI amplificati, neppure nei casi peggiori. Per questo non è richiesta alcuna ulteriore analisi.”*

Nel documento citato viene inoltre evidenziato (par. 1.9) che *“la percorribilità stradale non è stata considerata difficoltosa quanto quella ferroviaria. I progettisti hanno quindi concordato di affrontare l'analisi calcolando le accelerazioni dell'impalcato stradale quando il ponte è soggetto a carichi del vento dinamici corrispondenti a carico del vento SLS1, cioè nessun veicolo dinamico è stato modellizzato come nel caso della percorribilità ferroviaria. A parte il fatto che la percorribilità stradale non sia realmente un'area di attenzione rilevante, nessuna proprietà dinamica è attualmente*



*disponibile per automobili e autocarri. I risultati mostrano un margine significativo tra le accelerazioni reali calcolate e i limiti assegnati nel documento del Progetto di Base GCG F.04.01.”*

Per i veicoli stradali e loro passeggeri quindi non si dispone di modelli di simulazione degli effetti dei carichi permanenti e accidentali sul complesso infrastruttura-veicolo stradale in movimento in termini di percorribilità, e quindi sui passeggeri del veicolo in termini di sicurezza e comfort, che si ritengono comunque meno significativi degli effetti sui passeggeri del veicolo ferroviario calcolati.

Con riferimento alla circolazione stradale, il progetto contiene una stima dell'incidentalità attesa<sup>234</sup> / una verifica della visibilità lungo le varie tratte<sup>235</sup> / un'analisi delle conseguenze da scenari di manutenzione e di guasto<sup>236</sup> / un'analisi degli scenari di emergenza<sup>237</sup> / una stima della probabilità di sfondamento delle barriere di sicurezza<sup>238</sup> / un'analisi del rischio di acquaplaning sul ponte<sup>239</sup>.

Le procedure di sicurezza da adottare durante le fasi di costruzione, di esercizio e di manutenzione ordinaria e straordinaria e durante le situazioni di emergenza sono riportate in appositi documenti che dovranno essere inoltrati alle Autorità competenti nella fase di progettazione esecutiva per la relativa approvazione<sup>240</sup> prima dell'inizio dei lavori.

Il Piano di Emergenza oggetto – con le procedure operative di esercizio – di apposito manuale<sup>241</sup>, classifica le procedure come segue:

- Strade di Accesso e di Fuga (da completare) (Figura 6-5)
- Emergenza stradale
- Emergenza ferroviaria
- Emergenza generica sul ponte
- Emergenza Incendio
- Emergenza sui siti di lavoro

Tra l'altro, le Autorità competenti dovranno stabilire le soglie preventivamente determinate delle sollecitazioni indotte da alcuni parametri variabili, quali ad esempio della velocità del vento (limitazioni alla circolazione oltre una certa velocità del vento prefissata), tali da risultare insicure per la circolazione sia dei carri ferroviari (vuoti) sia dei veicoli stradali, e quali siano questi limiti e le procedure per fronteggiarne i superamenti, così come normalmente avviene in tutti i ponti a grande luce<sup>242</sup>.

<sup>234</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/36413> / <https://va.minambiente.it/File/Documento/36414>

<sup>235</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/36415> / <https://va.minambiente.it/File/Documento/36416> / <https://va.minambiente.it/File/Documento/36417>

<sup>236</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/36418> / <https://va.minambiente.it/File/Documento/36419>

<sup>237</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/36420> / <https://va.minambiente.it/File/Documento/36422>

<sup>238</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/36421>

<sup>239</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/36423>

<sup>240</sup> <http://www.siciliaintreno.org/index.php/temi/attraversamento-stabile-stretto-messina/594-il-progetto-definitivo-dell-attraversamento-stabile-dello-stretto-di-messina-e-collegamenti-stradali-e-ferroviari-sui-versanti-calabria-e-sicilia>

<sup>241</sup> Elaborato PG0031-F0 – Manuale di Esercizio ed Emergenza <https://va.minambiente.it/File/Documento/37142>  
<https://va.minambiente.it/File/Documento/37143>

<sup>242</sup> Runability, Safety and Comfort Analysis of the planned Messina Strait Bridge  
<https://va.minambiente.it/File/Documento/36790>  
<https://bwk.kuleuven.be/apps/bwm/eurodyn2011/papers/MS07-1368.pdf>

Ci si riferisce ad esempio anche a condizioni momentanee / imprevedibili, quali ad esempio una tromba d'aria che investa il ponte e i veicoli che vi stiano transitando.

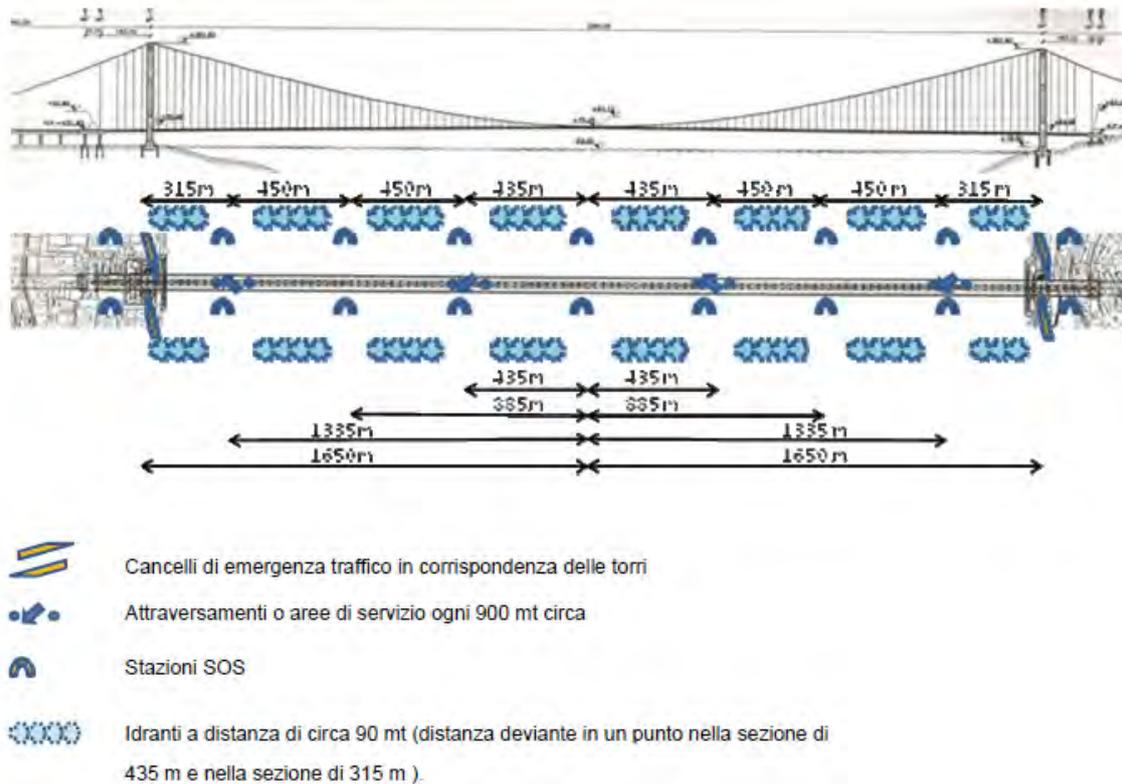


Figura 6-5 Strutture di emergenza sull'impalcato del ponte – Progetto Definitivo 2010

Informazioni tecniche di dettaglio, immagini e documenti accademici possono essere rintracciati consultando il sito di “International Database and Gallery of Structures” alla voce “Messina bridge<sup>243</sup>”. Il sito mette in rilievo la principale criticità dell’opera come segue: “Il problema più grande nella progettazione del ponte è la stabilità aerodinamica dell’impalcato sotto l’azione del vento così come dell’attività sismica.”

Per completezza di informazione, si citano alcuni degli esperti che hanno espresso perplessità sulla fattibilità tecnica dell’opera:

- il professor Federico M. Mazzolani dell’Università Federico II di Napoli ha più volte, in pubblici dibattiti, sostenuto la tesi che il progetto del ponte a campata unica da 3300 m costituisca un salto tecnico eccessivo rispetto ai ponti sospesi finora realizzati<sup>244</sup>;

<sup>243</sup> <https://structurae.net/en/search/?search=messina+bridge>  
<https://structurae.net/en/structures/messina-straits-bridge>

<sup>244</sup> [https://www.siderweb.com/filter/other/upload/doc\\_news/PonteMessinaapprofondimento.pdf](https://www.siderweb.com/filter/other/upload/doc_news/PonteMessinaapprofondimento.pdf)  
<http://www.ordineingegnerinapoli.it/notiziario/notiz405.pdf>  
[https://www.youtube.com/watch?v=1ppY\\_ol4VQ8&t=1s](https://www.youtube.com/watch?v=1ppY_ol4VQ8&t=1s)

- il professor Massimo Majowiecki dell'Università IUAV di Venezia, in un'intervista pubblica ha espresso critiche circostanziate al progetto e alle modalità con cui è stato portato avanti<sup>245</sup>;
- il professor Antonio Maria Michetti<sup>246</sup>, docente all'Università la Sapienza di Roma, ha più volte espresso in pubblici dibattiti forti dubbi sulla fattibilità in sicurezza del progetto a campata unica di 3.300 m.
- il professor Remo Calzona dell'Università la Sapienza di Roma, ingegnere già coordinatore dell'ultimo comitato scientifico che approvò il progetto preliminare, nel suo libro del 2008 "La ricerca non ha fine - Il ponte sullo stretto di Messina" esprime analoghi dubbi riferiti soprattutto alla sicurezza nei confronti delle azioni del vento<sup>247</sup>.

## 6.2 Opere di allaccio ferroviario

La Figura 6-6 riporta schematicamente i tracciati stradali e ferroviari delle opere di allaccio secondo il progetto definitivo, in forma di mappa<sup>248</sup> e di mappa su foto aerea.

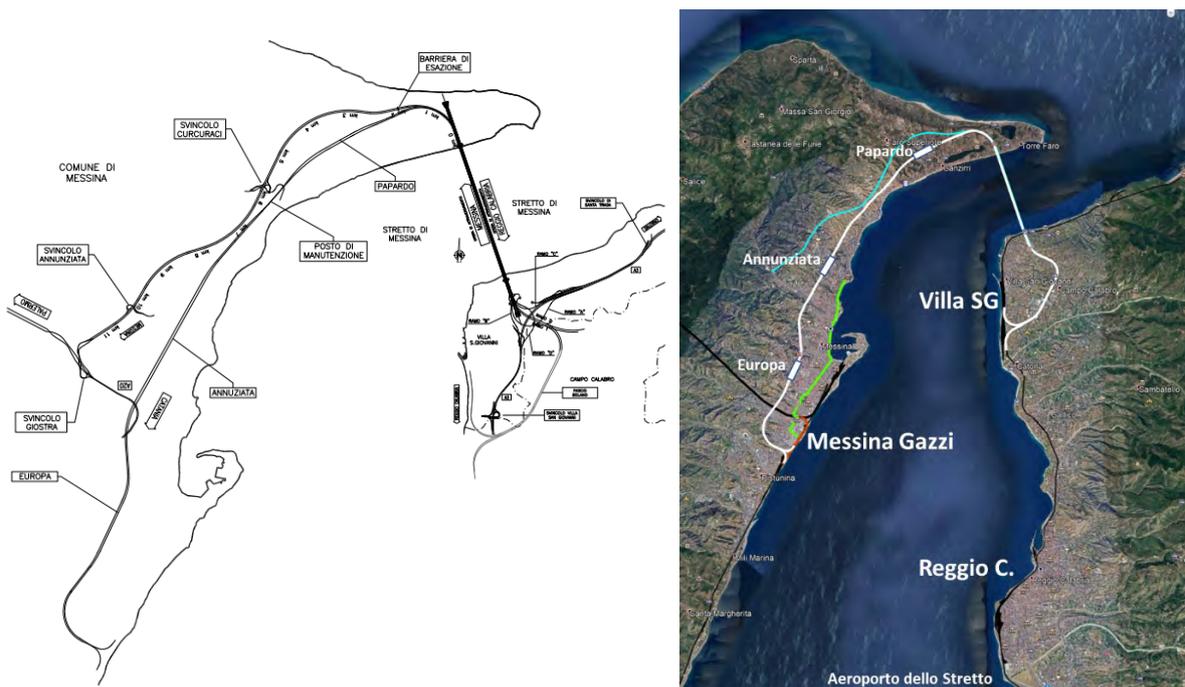


Figura 6-6 Collegamenti ferroviari e stradali del ponte a campata unica 3300 m

<sup>245</sup> [https://archivio.unita.news/assets/main/2002/06/28/page\\_011.pdf](https://archivio.unita.news/assets/main/2002/06/28/page_011.pdf)

<sup>246</sup> <http://www.argocatania.org/2010/09/04/ponte-sullo-stretto-agli-esperti-michetti-non-piace-perche/>

<sup>247</sup> <https://www.repubblica.it/2008/11/sezioni/economia/ponte-messina-inchiesta/tecnico-boccia-ponte/tecnico-boccia-ponte.html> e <https://www.libreriauniversitaria.it/ricerca-non-ha-fine-ponte/libro/9788849639919>

<sup>248</sup> tavola AM0092-F0 - Tracciato stradale e ferroviario - Inquadramento Generale degli interventi

<https://va.minambiente.it/File/Documento/32860>

<https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1/2> e <https://va.minambiente.it/File/Documento/29478>

Lo schema dei collegamenti ferroviari, dopo la realizzazione del ponte, è riportato nella Figura 6-7.

Il corridoio TEN-T Scandinavia Mediterraneo è rappresentato in figura dal collegamento 2-3 dove appare evidente che tutti i treni viaggiatori e merci circolanti lungo tale corridoio transiteranno per la fermata Europa e le stazioni Annunziata e Papardo.

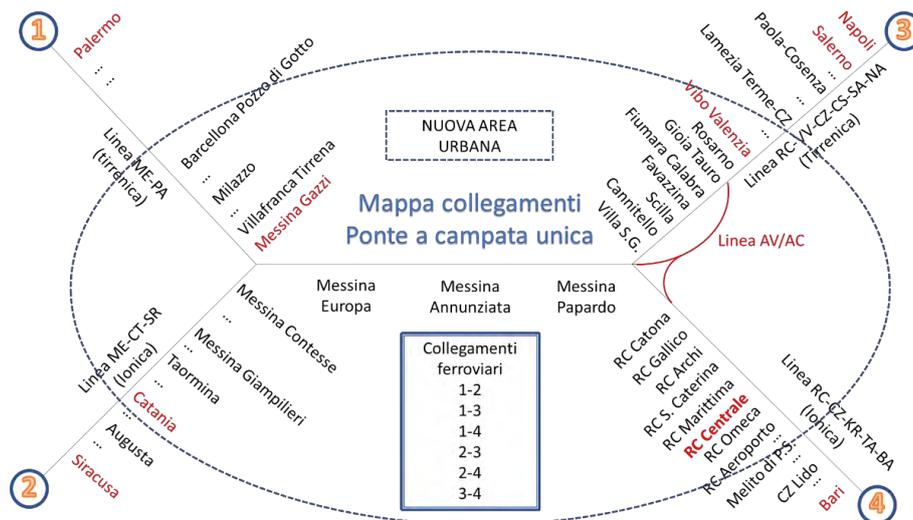


Figura 6-7 Rete dei collegamenti ferroviari con l'attraversamento stabile dello Stretto

Con linea rossa è indicata la possibile nuova linea AV/AC prevista in Calabria dal Contratto di Programma parte Investimenti 2017-2021 Appendice 5, progetto I107A: Alta Velocità ferroviaria Salerno-Reggio Calabria, che, tra l'altro, prevede la realizzazione di una nuova tratta di linea in variante di tracciato con caratteristiche AV/AC fra Gioia Tauro e Villa San Giovanni.

### 6.2.1 Collegamenti ferroviari lato Sicilia

Lato Sicilia il tracciato tra il ponte e la ferrovia esistente è interamente sotterraneo, salvo che in corrispondenza dell'innesto nella linea Messina-Catania, sia verso sud (in corrispondenza della fermata

Contesse) che verso nord (in corrispondenza della fermata Fiumara Gazzi) e nella zona di Capo Peloro prima del pilone siciliano.

A nord dell'innesto di Contesse è prevista la stazione Messina Ponte (o Messina Gazzi), e a nord della stazione un raccordo alla linea Messina-Palermo (galleria Peloritani esistente), utilizzando il "camerone di smistamento" appositamente predisposto quando è stata realizzata la galleria.



La stazione Messina Ponte (o Gazzi), che non farebbe parte del corridoio TEN-T Scandinavia-Mediterraneo, risulterebbe di testa per tutti i treni regionali e passante per i treni interregionali e a lunga percorrenza da e per Palermo (schema in figura 6-7) sia viaggiatori che merci, che circoleranno lungo l'attuale linea tirrenica.

Allo scoperto è previsto anche il posto di manutenzione in località Curcuraci tra la galleria S. Cecilia e la galleria S. Agata.

Lungo il tracciato tra Messina Gazzi e il ponte, sono previste tre fermate sotterranee, rispettivamente Messina Europa (quota -23m), Messina Annunziata (quota -34m) e Messina Papardo (quota -29m).

La stazione di Messina Ponte (o Messina-Gazzi) è esclusa dalla progettazione definitiva e dal relativo preventivo di costo, come pure il raccordo ferroviario in galleria dalla stazione Messina Gazzi alla linea Messina-Palermo (galleria Peloritani). Analogamente sono esclusi dal progetto i rami terminali – bivi – di innesto nella Messina-Catania a Contesse. Tali opere restano di competenza di RFI-Italferr.

Né vi sono indicazioni circa la destinazione delle attuali aree ferroviarie delle Officine Grandi Riparazioni ferroviarie di Gazzi, di Messina Scalo (binari di arrivo e partenza treni, fascio di carico/scarico carri merci), del Deposito Locomotive, di Messina Centrale (stazione viaggiatori e relativi binari) e Messina Marittima (scalo di composizione e scomposizione treni passeggeri e merci da e per gli invasi ferroviari portuali), lungo la fascia costiera oltre la stazione Messina Ponte verso nord per circa 3 km.

L'inserimento della nuova stazione Messina Ponte (o Gazzi) richiede comunque l'esproprio di aree in cui sono insediati edifici residenziali e ad uso produttivo, in parte attivi e in parte dismessi oltre alla riconquista del terreno occupato in parte dalla spiaggia e dal mare.

La realizzazione delle nuove stazioni in località Papardo, Annunziata ed Europa, consente l'utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria, destinata all'Alta Velocità, anche a livello di sistema di trasporto metropolitano. Il progetto definitivo prevede la fermata Europa con due binari e banchine lunghe 400m, le stazioni Annunziata e Papardo a quattro binari con banchine lunghe 250m. Sia nella fermata Europa che nella stazione Papardo è prevista una galleria di servizio intermedia longitudinale fra le due gallerie di banchina, mentre in tutti tre gli impianti ferroviari sono previste gallerie trasversali di comunicazione.

Le caratteristiche plano-altimetriche della linea di allaccio all'opera di attraversamento sono previste per velocità di tracciato da 60km/h a 200km/h, con pendenza massima 15‰.

L'interasse delle gallerie varia da 30m a 52m.

Nella tratta siciliana le gallerie sono a doppia canna singolo binario con sezione circolare per scavo meccanizzato a mezzo frese (TBM) (diametro 8,80 m), collegamenti (by-pass) a prova di fumo ogni 500m costituenti rifugi (luoghi sicuri) di adeguate dimensioni, e nicchie di sicurezza per il personale ogni 250m, provviste di impianti idrici, di eliminazione fumi,



elettrici, comunicazioni e segnaletica di emergenza, realizzate con elementi prefabbricati sul marciapiedi all'interno della galleria.

Le linee Messina-Catania e Messina-Palermo, limitatamente alle tratte a doppio binario, hanno velocità di tracciato rispettivamente 140km/h e 160km/h, con pendenza massima 15‰.

Le successive Figura 6-8, Figura 6-9, Figura 6-10, Figura 6-11, Figura 6-12, Figura 6-13, Figura 6-14 riportano dettagli della soluzione di progetto definitivo 2010 lato Sicilia descritta, rispettivamente<sup>249</sup>:

- linea di allaccio all'opera di attraversamento lato Sicilia <sup>250</sup>
- localizzazione stazione Messina Ponte (o Gazzi) e mappa galleria Peloritani
- sezione tipo in galleria monodirezionale a singolo binario<sup>251</sup>
- localizzazione e pianta schematica fermata Europa / stazioni Annunziata e Papardo
- sezione tipo in banchina fermata Europa / stazioni Annunziata e Papardo



Figura 6-8 Collegamento ferroviario lato Sicilia

<sup>249</sup> Tavole del Progetto Definitivo reperibili all'indirizzo: <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Info/1>

<sup>250</sup> Tavola SF0001\_R0 - Corografia generale <https://va.minambiente.it/File/Documento/38191>

<sup>251</sup> Tavola SF0091 – Sezioni tipo – Galleria naturale <https://va.minambiente.it/File/Documento/38281>

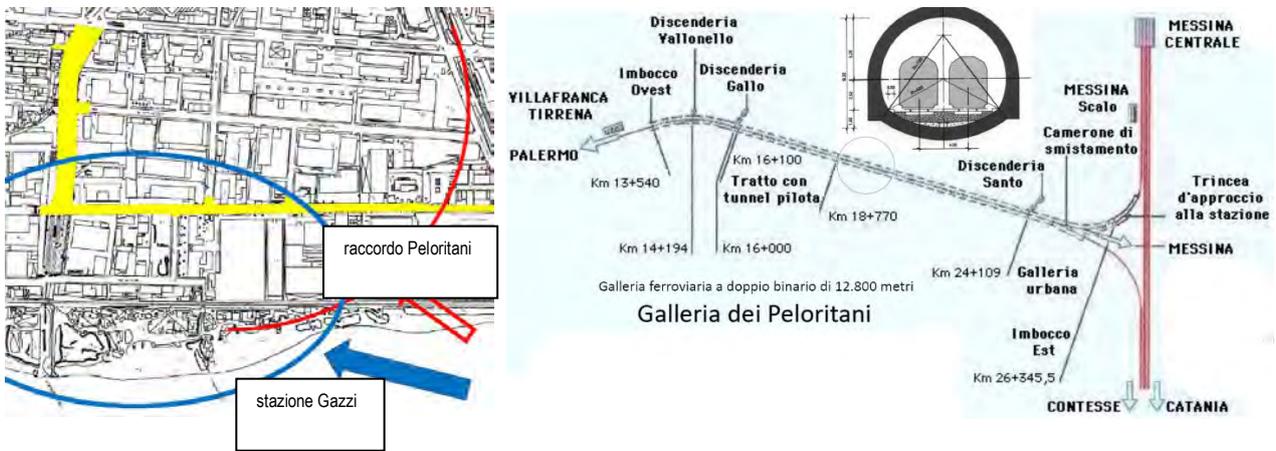


Figura 6-9 Area della nuova stazione Ponte (o Gazzi) e mappa della galleria Peloritani

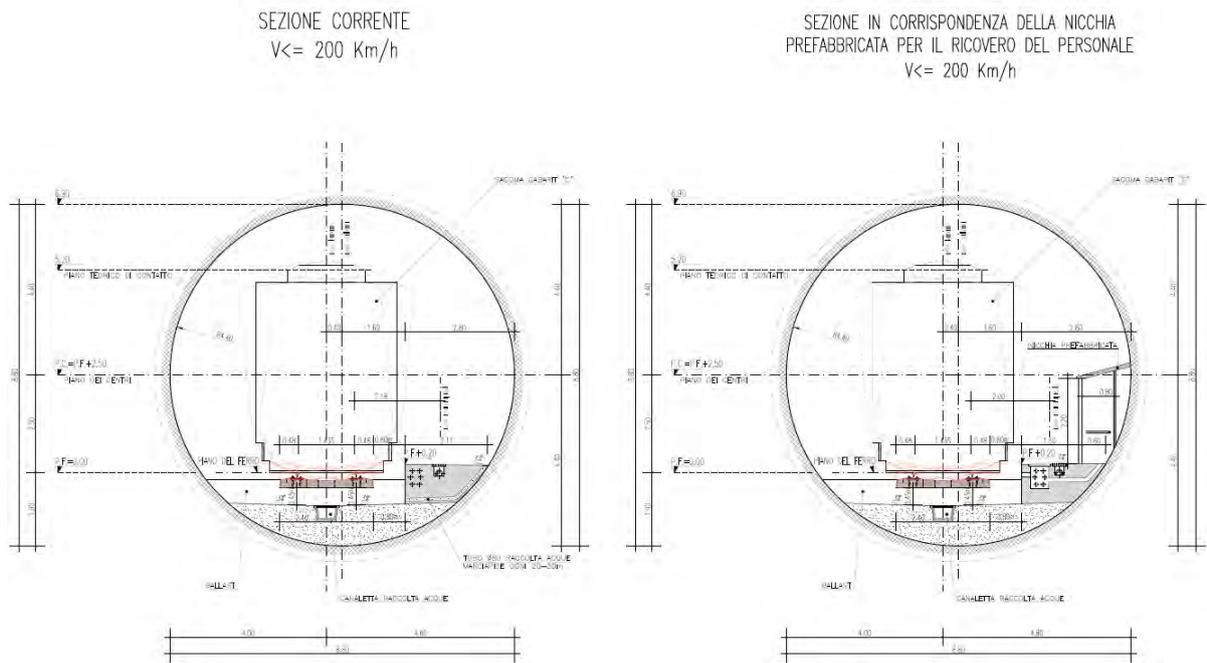


Figura 6-10 Sezioni tipo galleria ferroviaria linea doppia canna singolo binario lato Sicilia

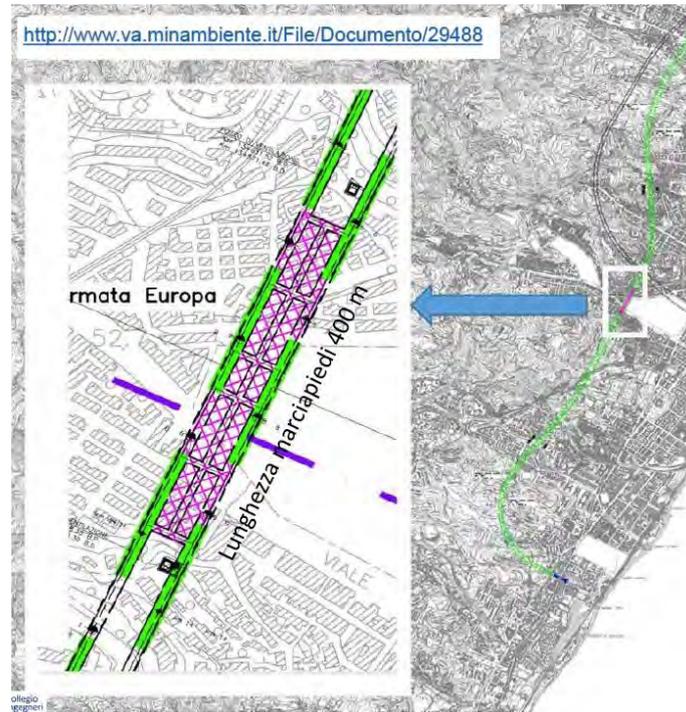


Figura 6-11 Fermata Europa – ubicazione e pianta schematica (2 binari lunghezza 400m)<sup>252</sup>

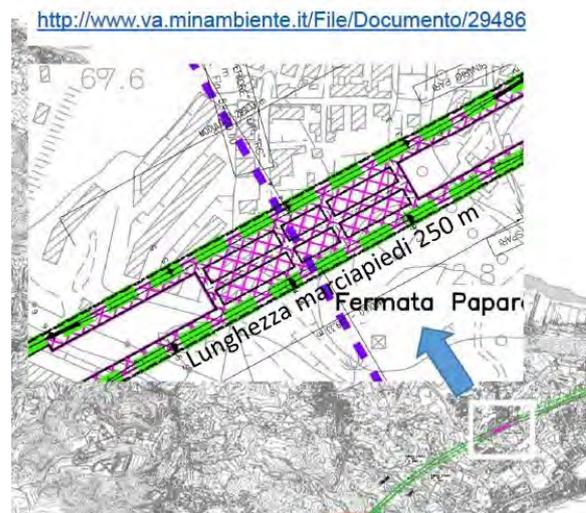
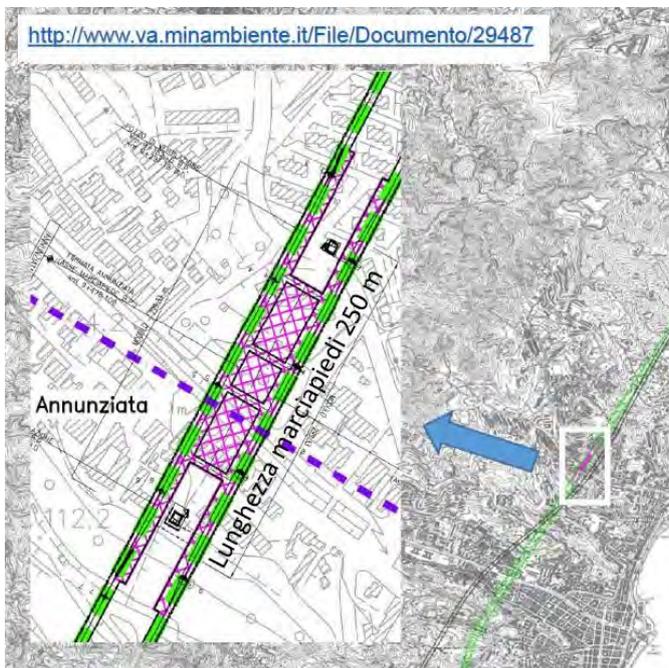
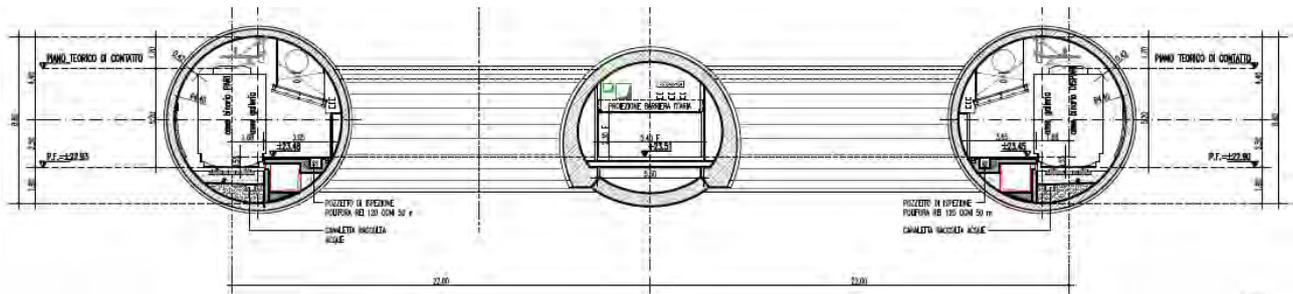
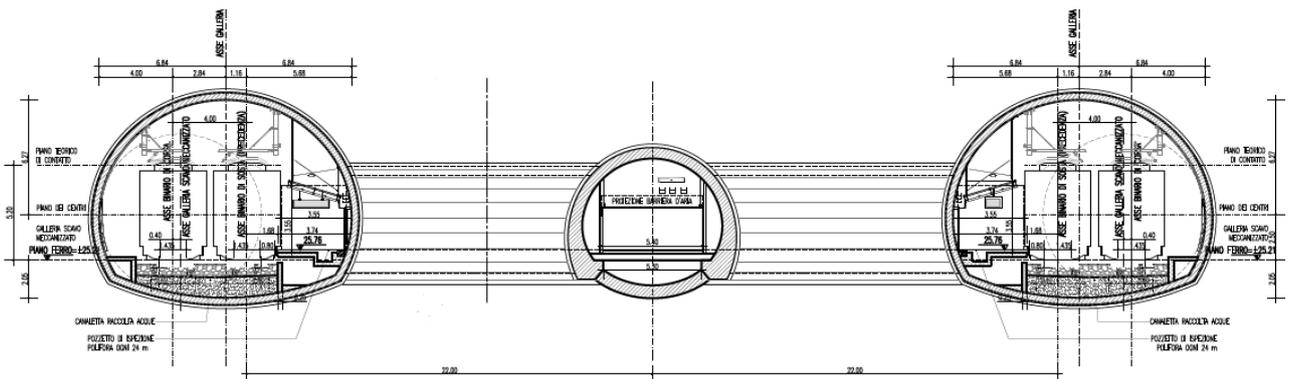


Figura 6-12 Stazioni Annunziata e Papardo – ubicazione e pianta schematica (4 binari lunghezza 250m)<sup>253 254</sup>

<sup>252</sup> <http://www.va.minambiente.it/File/Documento/29488>

<sup>253</sup> <http://www.va.minambiente.it/File/Documento/29487>

<sup>254</sup> <http://www.va.minambiente.it/File/Documento/29486>

Figura 6-13 Sezione trasversale in banchina fermata Europa<sup>255</sup>Figura 6-14 Sezione trasversale in banchina stazioni Annunziata e Papardo<sup>256</sup>

## Varianti rispetto al progetto preliminare

Il progetto definitivo<sup>257</sup> – lato Sicilia – differisce da quello preliminare approvato dal CIPE, cui era seguito in data 11 novembre 2003 l'Accordo di Programma tra il MIT, il Ministero dell'Economia, le Regioni Calabria e Sicilia, RFI, ANAS e Società Stretto di Messina Spa.

Infatti, il progetto preliminare prevedeva la stazione Ponte in località Maregrossa (esclusa dalla progettazione e dal preventivo di costo del progetto preliminare), posizionata circa 1,5km più a nord rispetto a Gazzi, passante sia in direzione Catania che in direzione Palermo, che comportava uno sviluppo di linea inferiore di circa 3km.

Maregrossa<sup>258</sup> è una stretta striscia di costa compresa fra la linea ferroviaria e il mare; una lingua di terra che dal bastione Don Blasco si allarga per scomparire immediatamente dopo la foce della fiumara Zaera, mal connessa alla città ricostruita, anche se in parte creata con il deposito delle macerie della Messina distrutta dal terremoto del 1908. Non solo ma è

<sup>255</sup> Tavola ST0022-F0 Sezioni <https://va.minambiente.it/File/Documento/40538>

<sup>256</sup> Tavole ST0088-F0 Sezioni / ST0156-F0 Sezioni <https://va.minambiente.it/File/Documento/40605> e <https://va.minambiente.it/File/Documento/40673>

<sup>257</sup> Documento "GE0010\_F0 CARATTERISTICHE GENERALI DEL PROGETTO FERROVIARIO" <https://va.minambiente.it/IT/Oggetti/Documentazione/1/2>

<sup>258</sup> [https://www.researchgate.net/profile/Alessio\\_Cardaci/publication/330778985\\_Il\\_Waterfront\\_di\\_Messina\\_Maregrossa\\_cuore\\_della\\_citta\\_tra\\_evoluzione\\_e\\_involuzione/links/5cd6e897458515712ea38636/Il-Waterfront-di-Messina-Maregrossa-cuore-della-citta-tra-evoluzione-e-involuzione.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alessio_Cardaci/publication/330778985_Il_Waterfront_di_Messina_Maregrossa_cuore_della_citta_tra_evoluzione_e_involuzione/links/5cd6e897458515712ea38636/Il-Waterfront-di-Messina-Maregrossa-cuore-della-citta-tra-evoluzione-e-involuzione.pdf)



penalizzata dalla presenza di due grandi collettori di scarico del sistema di fognatura, e dei relativi pennelli per il riparo dalle onde.

Nella Figura 6-15 è riportata una proposta di assetto dell'area di stazione, redatta da Italferr nel 2005, ultima di varie alternative presentate, su base cartografica non aggiornata, in quanto non riportante l'adiacente insediamento commerciale all'epoca da poco insediato, come da stralcio di foto aerea riportata nella stessa figura.



Figura 6-15 Proposta Italferr per la stazione Ponte in località Maregrossso a confronto con la vista aerea attuale

Nel progetto di RFI e Italferr i binari di linea della nuova stazione di Messina Ponte, subito dopo il ponte sulla fiumara Zaera, avrebbero dovuto essere realizzati con una pendenza del 15‰ in discesa verso l'inizio della galleria a doppia canna chiamata "Santa Cecilia", che conduce al ponte sullo stretto di Messina. Tale galleria avrebbe dovuto iniziare sottopassando la via La Farina. Una canna della galleria era prevista sotto alla via Aurelio Saffi, l'altra sotto alla via Santa Cecilia. Un ulteriore paio di binari avrebbero proseguito verso gli invasi dei traghetti ferroviari e verso il porto.

Anche la fermata Europa e le stazioni Annunziata e Papardo non erano previste nel progetto preliminare.

Il Progetto Definitivo ottempera infatti alle richieste del Comune di Messina che modificano il progetto precedentemente approvato.

In particolare, si fa riferimento al documento di analisi e proposte relativo agli interventi compensativi e connessi alla realizzazione dell'opera di attraversamento corredato di schema planimetrico per le infrastrutture ferroviarie (Figura 6-16), approvato dal Consiglio Comunale di Messina con deliberazione del 25/01/2010<sup>259</sup>.

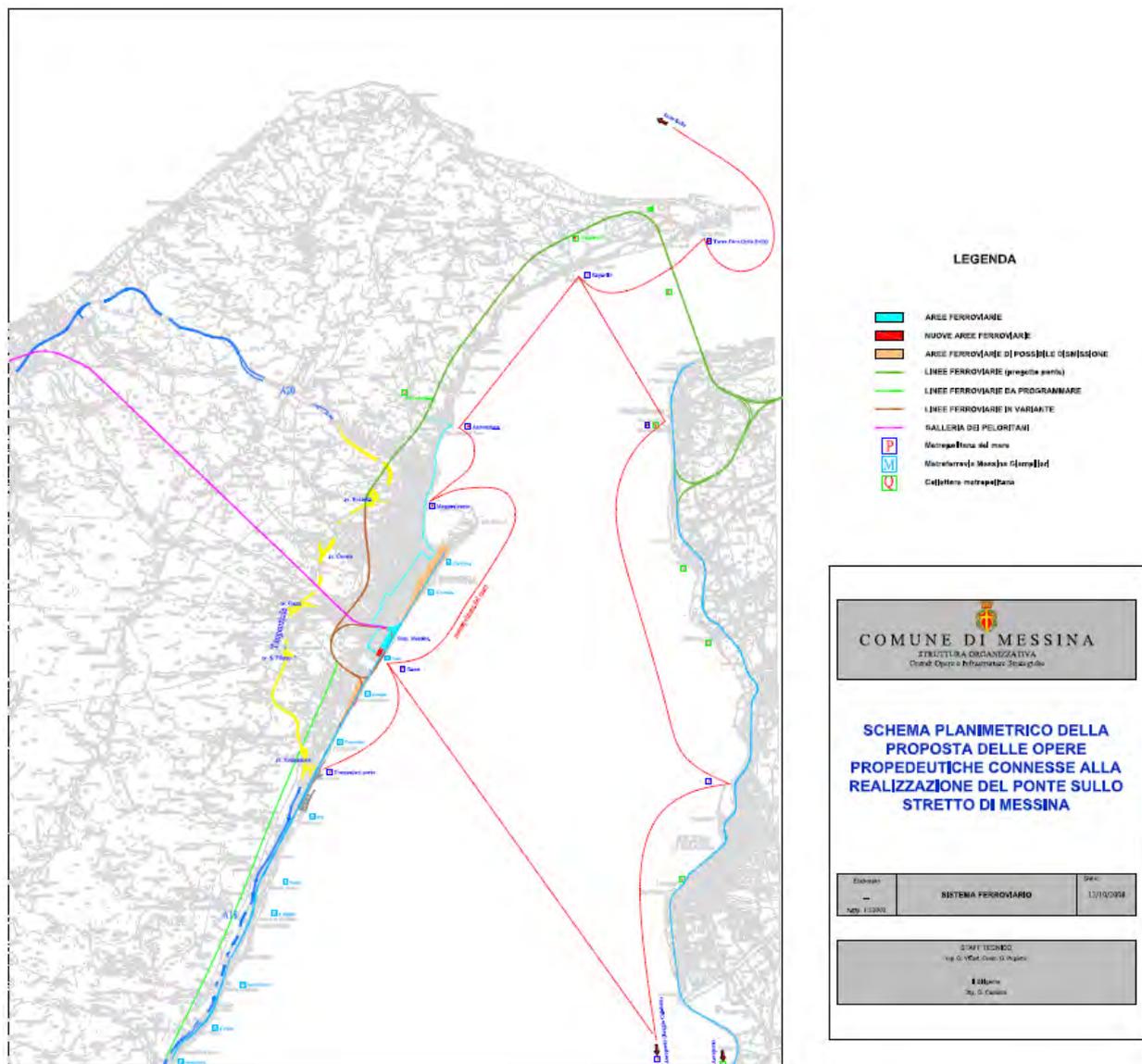


Figura 6-16 Opere ferroviarie propedeutiche e compensative proposte dal Comune di Messina

<sup>259</sup> Deliberazione 5/C <http://oldsite.comune.messina.it/il-comune/grandi-opere-ed-infrastrutture-strategiche/>



Lo schema e la relativa relazione di accompagnamento riportano le opere di cui sopra:

- due nuove stazioni ferroviarie in sotterraneo (Annunziata e Papardo), funzionali alla realizzazione di un sistema metropolitano interregionale tra Reggio Calabria e Messina (la fermata Europa è stata aggiunta successivamente in sede di progetto definitivo);
- la variante che prevede la nuova stazione di Messina Ponte (o Messina Gazzi) ed il conseguente allungamento per circa 3 km in galleria della linea di collegamento con l'opera di attraversamento, innestata nella linea esistente Messina-Catania in corrispondenza di Contesse mediante due bivi verso nord e verso sud;
- il raccordo dalla stazione di Messina ponte (o Messina Gazzi) alla linea Messina-Palermo in galleria con innesto nella galleria Peloritani,

nonché le seguenti ulteriori opere (non recepite dal progetto definitivo e anch'esse da progettare e realizzare a cura di Italferr-RFI):

- un ulteriore raccordo dalla linea Messina-Palermo verso la linea di collegamento con l'opera di attraversamento;
- una nuova linea (*“tronco in galleria Gazzi-Giampilieri da realizzarsi nel lungo termine”*), in diramazione dalla linea di collegamento all'opera di attraversamento verso sud fino a Giampilieri, in variante interna alla linea costiera esistente, avente lunghezza dell'ordine di 10 km, finalizzata ad accogliere i treni a media e lunga distanza. Giampilieri è stazione di inizio della tratta Giampilieri-Fiumefreddo a doppio binario, anch'essa in variante interna (*“raddoppio”*) rispetto alla linea costiera esistente, lunghezza 42km di cui l'85% in galleria, velocità di progetto 160km/h, progetto definitivo approvato, costo stimato 2,3 miliardi di euro;
- l'interramento dei binari dell'intera tratta di linea costiera Messina-Catania da Tremestieri a Messina Marittima (circa 7km, inclusa quindi nuova stazione Gazzi).

Poiché il posizionamento della nuova stazione di Messina (di competenza RFI) nella località Maregrossa, previsto nel progetto preliminare era stato approvato dal CIPE con delibera n. 66 del 1° agosto 2003, il riposizionamento in località Gazzi si configura come variante alla localizzazione dell'Opera ed assume, per la sua rilevanza, carattere sostanziale rispetto al Progetto Preliminare.

La posizione del Comune di Messina prende le mosse dal PIAU<sup>260</sup>, finalizzato al rafforzamento della attrattività dei nodi costieri caratterizzati dalla compresenza di porti e di stazioni ferroviarie, riqualificandoli e tramutandoli in nuove centralità urbane.

In vista della realizzazione del ponte sullo Stretto, con il «Piano strategico Messina 2020», il Comune ha formulato nel 2010 una proposta di riassetto territoriale della fascia costiera (*waterfront*) di 7 km nella parte sud della città, dalla zona Falcata agli approdi di Tremestieri,

<sup>260</sup> Il Programma innovativo in ambito urbano «Porti e stazioni» è stato introdotto dal Ministero per le Infrastrutture (con dm n. 2522 del 27 dic. 2001) per favorire la riqualificazione di ambiti urbani prossimi alle aree ferroviarie o portuali in condizioni di forte degrado. Sono stati sottoscritti i Protocolli d'Intesa relativi a 22 programmi. fra cui Messina, con un finanziamento di circa 3 milioni di € rispetto al totale del programma di 37 milioni di €.

segnato dal degrado (aree industriali dismesse o sottoutilizzate), imperniato sull’acquisizione delle aree occupate dalla ferrovia, attuale barriera verso il mare, e sul trasferimento della stazione Centrale a Gazzi. Il *waterfront* si sviluppa lungo la costa con una larghezza media di 450 m, per una superficie complessiva di 360 ettari, per il 10% interessato da infrastrutture ferroviarie<sup>261</sup>. (Figura 6-17)



Figura 6-17 Comune di Messina – Aree di interesse del PIAU

Il masterplan recepisce la proposta dello studio di un gruppo guidato dall’architetto Oriol Bohigas (società MBM Arquitectes) nel 2009 (Figura 6-18), avente come punti prioritari i seguenti:

- il riutilizzo degli ampi spazi occupati da parco ferroviario passeggeri e merci, fatta esclusione per i binari di accesso ferroviario agli invasi ferroviari portuali (interrati), individuando una soluzione allo spostamento della stazione Centrale (a Messina Gazzi), e destinando le aree recuperate a servizi e funzioni ricettivo turistiche,
- la rimodellazione della linea di costa con la creazione di un canale artificiale in corrispondenza del fascio di binari di stazione, originando così un’isola artificiale di quasi 12 ha, collegata alla terraferma da due ponti.

<sup>261</sup> M. SAVINO, “Waterfront d’Italia” Piani, Politiche, Progetti. Editore Franco Angeli, Milano (2010)



Figura 6-18 Comune di Messina - Masterplan del waterfront - Progetto MBM Arquitectes 2009<sup>262</sup>.

Particolarmente innovativa è la proposta avanzata del canale e dell'isola artificiali, la cui fattibilità tecnica è stata successivamente posta in discussione con varie motivazioni:

- la presenza di alcune fiumare (due in corrispondenza dell'isola artificiale), i cui sbocchi a mare – per quanto da tempo coperti – continuano a condizionare l'assetto idrogeologico dell'area
- la scarsa disponibilità di RFI all'interramento dei binari ferroviari
- le osservazioni del Genio Civile<sup>263</sup>, riguardanti la presenza di aree da bonificare e siti di interesse archeologico, la presenza di "fondali sottomarini acclivi ed instabili e soggetti a fortissime correnti" in corrispondenza dell'isola artificiale, l'inadeguatezza della viabilità, la mancanza di un piano di ricollocazione delle attività produttive esistenti nell'area.

Alla data del presente documento sembrano avviate alcune iniziative funzionali al conseguimento degli obiettivi del Comune di Messina, in particolare:<sup>264</sup> la realizzazione della

<sup>262</sup> Youtube: "WATERFRONT MESSINA" <https://www.youtube.com/watch?v=SJq25o2Qfw4>

<sup>263</sup> <https://www.tempostretto.it/news/semaforo-rosso-giallo-piau-stop-genio-civile-prima-studi-bonifiche-salvacolline.html>

<sup>264</sup> <https://www.letteraemme.it/zona-falcata-torna-il-p-i-a-u-porti-e-stazioni-cose-e-come-rivoluzionera-il-waterfront-del-centro/>



“Via del Mare”, asse di accesso al Porto attraverso la zona industriale costiera, utile anche con lo spostamento del traffico portuale commerciale nel nuovo approdo di Tremestieri; i parchi urbani Stazione Marittima e Maregrossio; la piastra logistico/distributiva nell’area San Filippo Tremestieri – Messina.

## 6.2.2 Collegamenti ferroviari lato Calabria

Lato Calabria il tracciato è interamente sotterraneo, salvo che in corrispondenza dell’innesto nella linea costiera Reggio Calabria-Battipaglia (linea “tirrenica meridionale”), in località Concessa, a sud di Villa San Giovanni, attraverso due rami rispettivamente verso sud (direzione Reggio Calabria) e verso nord (direzione Villa San Giovanni).

Da Concessa la prima stazione lato Nord sarà Villa San Giovanni, mentre verso Sud, proseguendo verso Reggio Calabria lungo la linea esistente, si incontreranno le stazioni/fermate di Catona, Gallico, Archi, Pentimele, S. Caterina, Reggio Calabria Marittima e Reggio Calabria Centrale.

Con questa configurazione un treno che arriva dalla Sicilia può andare o verso Villa San Giovanni e proseguire verso nord, o verso Reggio Calabria e proseguire lungo la linea costiera ionica.

La presenza, nella programmazione nazionale, dell’intervento linea AV/AC Salerno-Reggio Calabria ha condotto a una configurazione di progetto integrante l’allaccio al ponte sia con la linea costiera tirrenica come sopra descritto che con la futura linea AV/AC, prevedendo apposita diramazione, pur essendo la linea AV/AC esclusa dalla progettazione definitiva e dal relativo preventivo di costo.

Analogamente sono esclusi dal progetto i rami terminali – bivi – di innesto nella Villa San Giovanni-Reggio Calabria in località Concessa. Tali opere restano di competenza di RFI-Italferr.

Le caratteristiche plano-altimetriche della linea di allaccio all’opera di attraversamento sono previste per velocità di tracciato da 100km/h a 140km/h, con pendenza massima 15‰.

Nella tratta calabrese le gallerie sono a doppia canna singolo binario con sagoma policentrica e con collegamenti a prova di fumo ogni 250 m costituenti rifugi (luoghi sicuri) di adeguate dimensioni, corredati di impianti idrici, di eliminazione fumi, elettrici, comunicazioni e segnaletica di emergenza. È prevista la realizzazione con scavo tradizionale non meccanizzato.



La linea “tirrenica meridionale” ha velocità di tracciato rispettivamente 140km/h a nord di Gioia Tauro e 110km/h da Gioia Tauro a Pentimele e 65km/h fino a Reggio Calabria, con pendenza massima 12‰.

La Figura 6-19 e la Figura 6-20 riportano dettagli della soluzione di progetto definitivo 2010 lato Calabria descritta, rispettivamente:

- linea di allaccio all’opera di attraversamento lato Calabria <sup>265</sup>
- sezione tipo in galleria monodirezionale a singolo binario<sup>266</sup>

Il Progetto Definitivo delle opere ferroviarie di allaccio lato Calabria non differisce dal progetto preliminare approvato dal CIPE.

La Figura 6-21 rappresenta il profilo altimetrico di massima del tracciato ferroviario basato su dati approssimativi dedotti dal progetto definitivo.

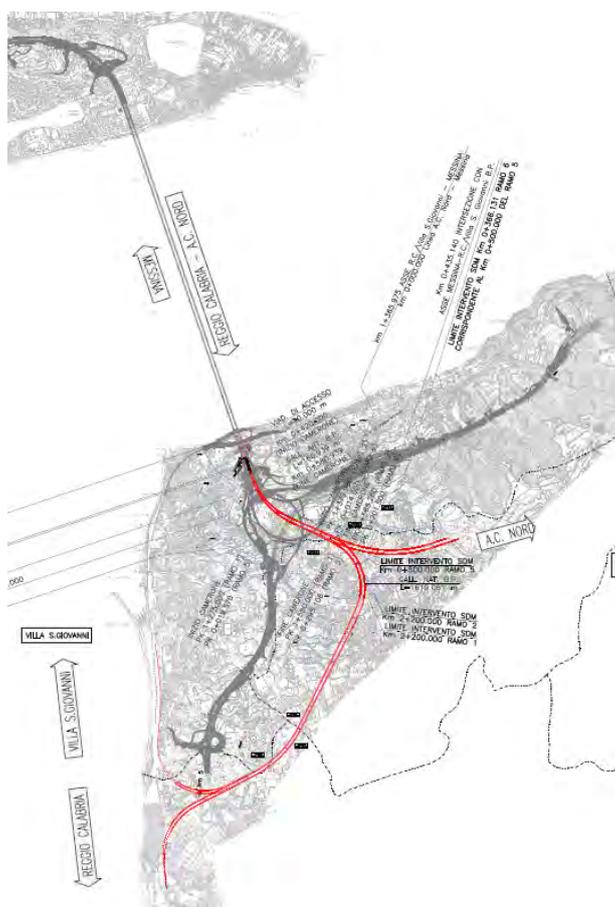


Figura 6-19 Collegamento ferroviario lato Calabria

<sup>265</sup> Tavola CF0001\_R0 - Corografia generale <https://va.minambiente.it/File/Documento/34215>

<sup>266</sup> Tavola CF0031-F0 – Sezioni tipo – Galleria naturale <https://va.minambiente.it/File/Documento/34245>

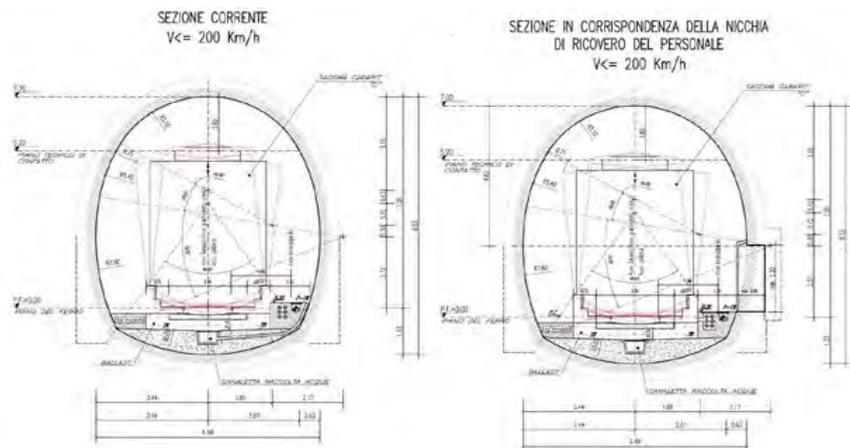


Figura 6-20 Sezioni tipo galleria ferroviaria linea doppia canna singolo binario lato Calabria<sup>267</sup>

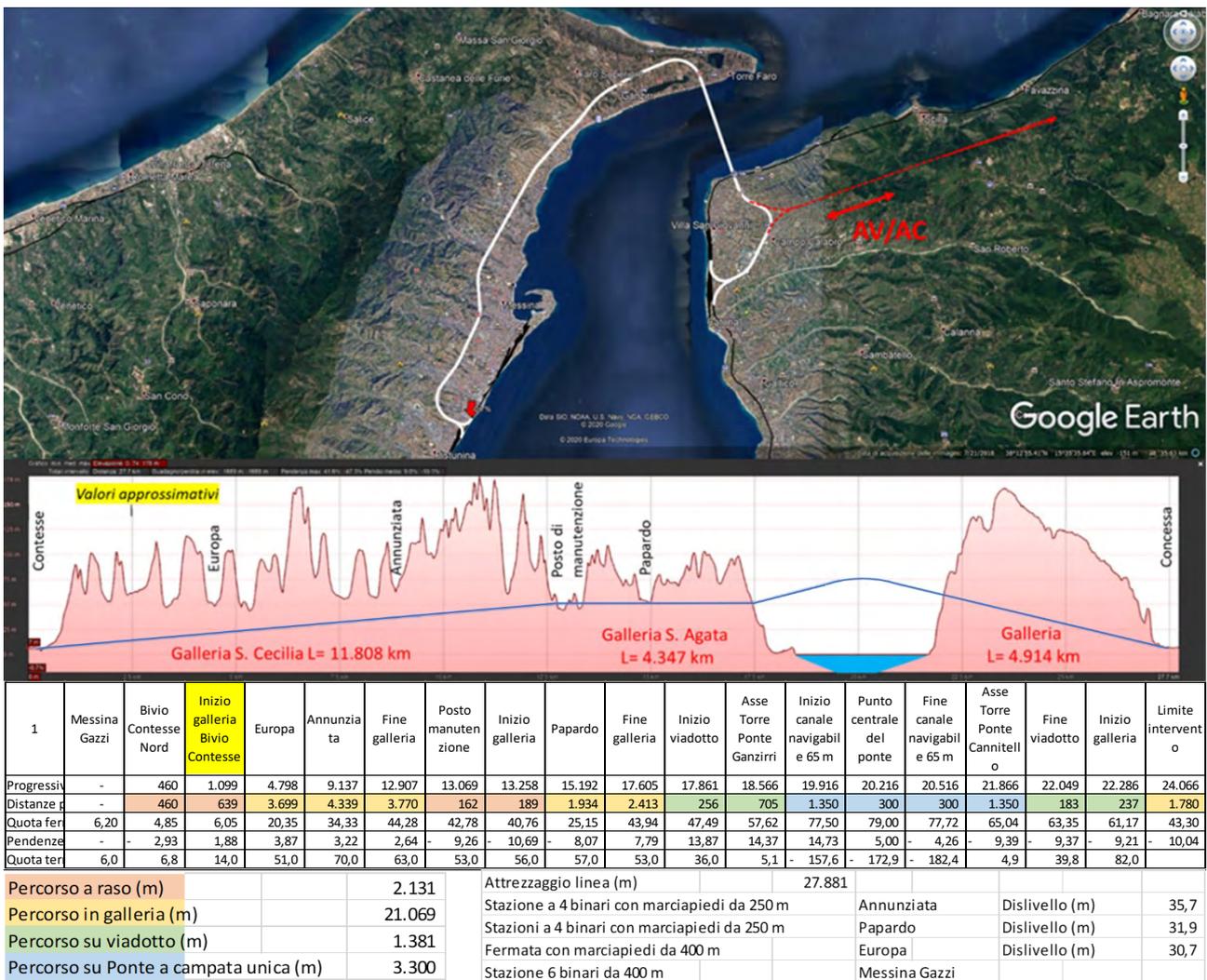


Figura 6-21 Profilo altimetrico di massima del tracciato ferroviario del ponte a campata unica (fonte: dati approssimativi dedotti dal progetto definitivo)

<sup>267</sup> <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Info/1>

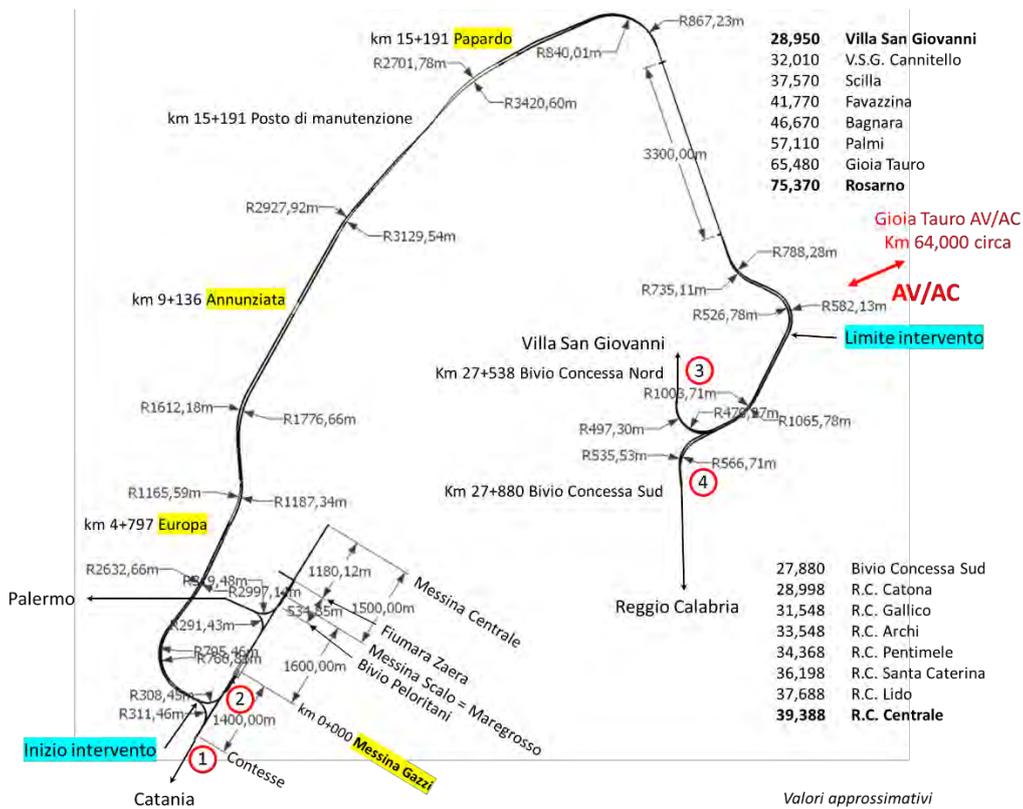


Figura 6-22 Tracciato ferroviario di massima del ponte a campata unica

Nella Figura 6-22 è rappresentato in modo schematico il tracciato ferroviario di massima con indicate le distanze parziali, i raggi di curvatura, le progressive chilometriche.



Con la realizzazione del ponte a campata unica gli schemi di collegamento previsti attraverso lo Stretto sono indicati nella Figura 6-23.

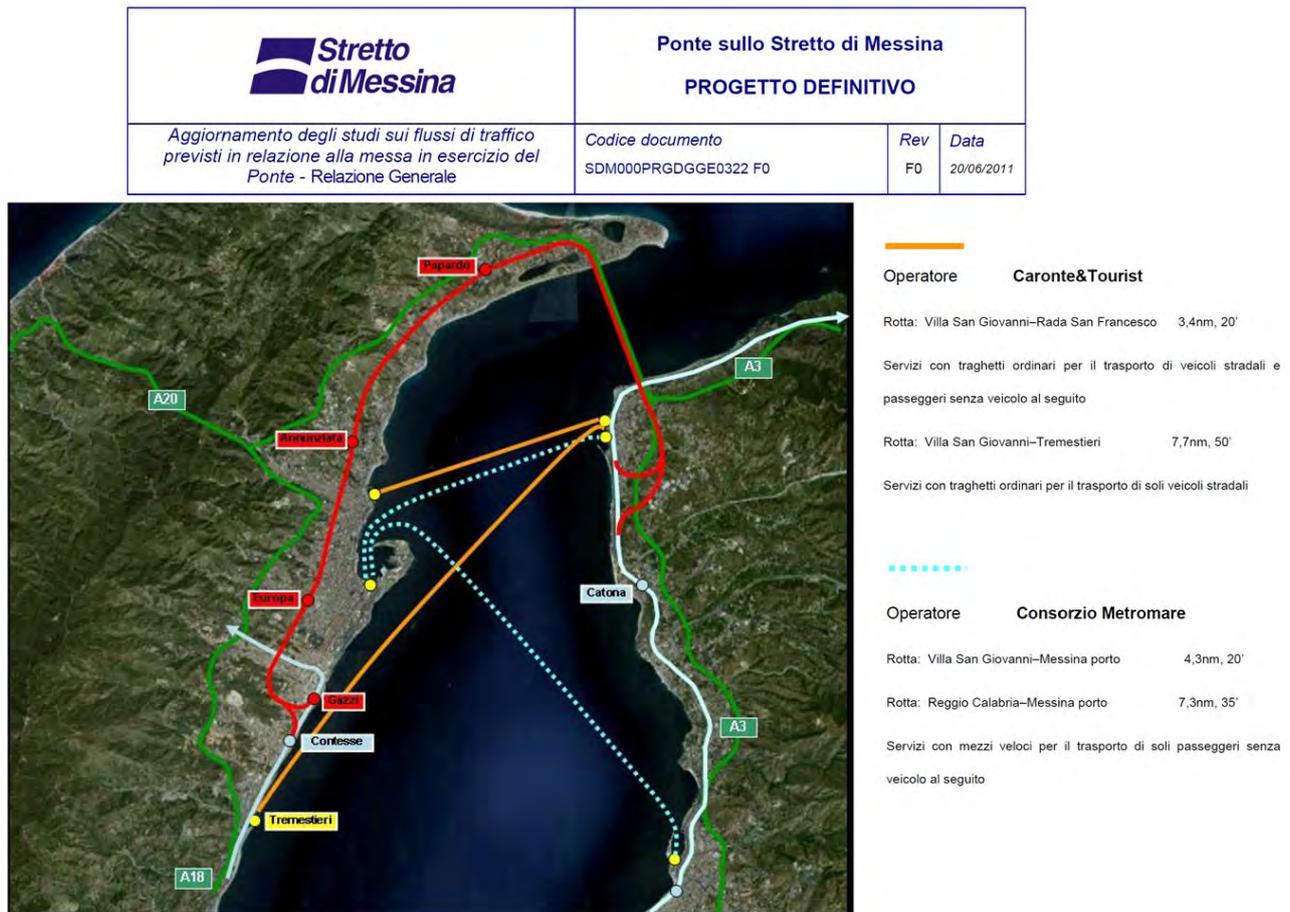


Figura 6-23 Schema dei collegamenti marittimi nello Stretto nello scenario di progetto – Fonte: progetto Definitivo

Partendo da una situazione di flussi di traffico ferroviario viaggiatori locale descritta schematicamente in Figura 6-24 (ottobre 2010), con la realizzazione del ponte a campata unica i servizi ferroviari locali nell'area dello Stretto sarebbero stati potenziati secondo lo schema di Figura 6-25 come indicato nella *Relazione Generale degli studi di flussi di traffico previsti in relazione alla messa in esercizio del Ponte* redatta dalla Stretto di Messina SpA<sup>268</sup>.

<sup>268</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/36443>



 <b>Stretto di Messina</b>	<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b>		
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
Aggiornamento degli studi sui flussi di traffico previsti in relazione alla messa in esercizio del Ponte - Relazione Generale	Codice documento SDM000PRGDGGE0322 F0	Rev F0	Data 20/06/2011

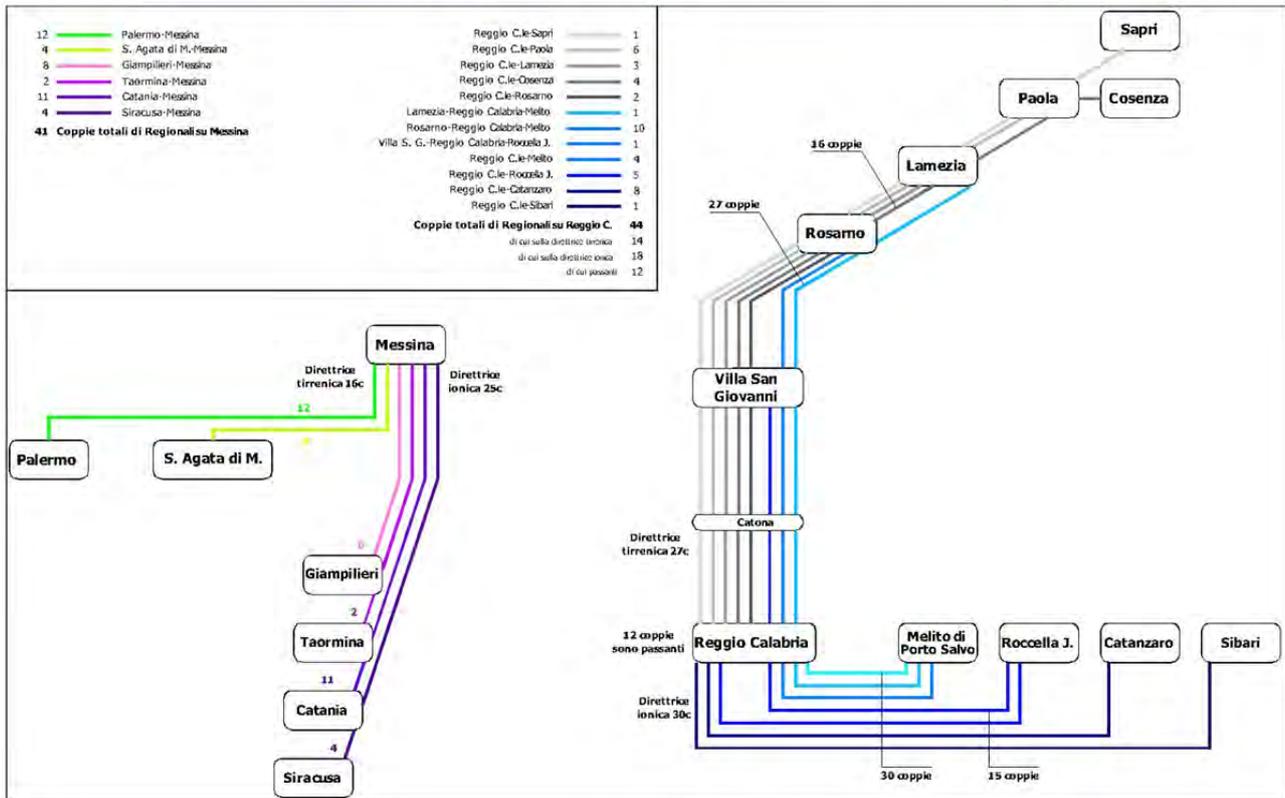


Figura 6-24 Servizi Ferroviari Locali dello Stretto (riferimento orario Trenitalia ottobre 2010) - Fonte: Progetto Definitivo

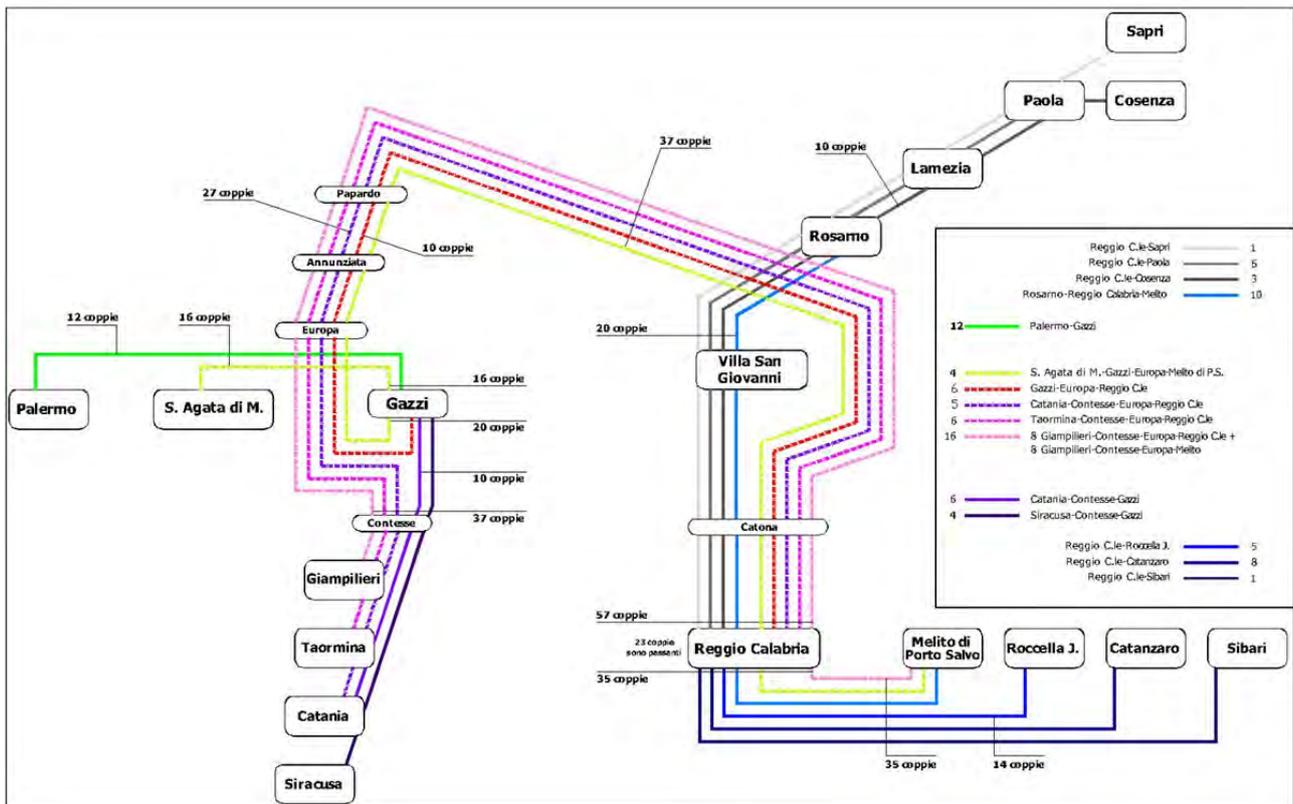


Figura 6-25 Servizi ferroviari locali ipotizzati nell'area dello Stretto dopo il completamento dei lavori del Ponte  
Fonte: Progetto definitivo Ponte sullo stretto di Messina

I servizi ferroviari a lunga percorrenza prima e dopo la realizzazione del ponte sono indicati schematicamente nella Figura 6-26.

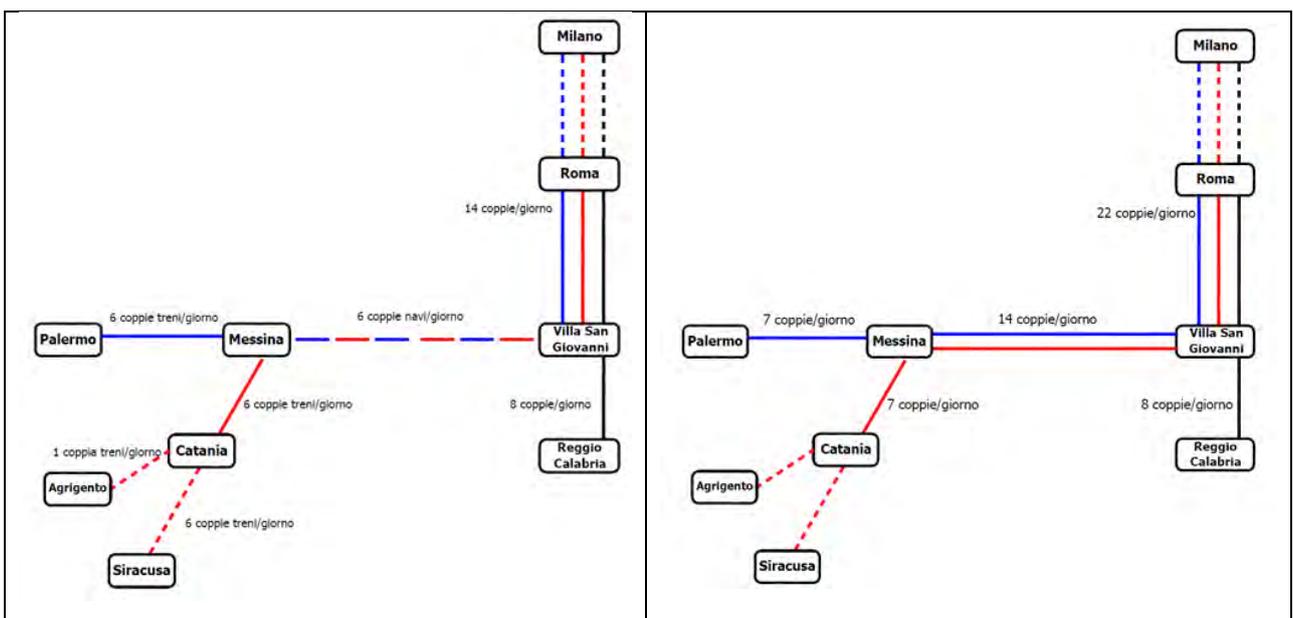


Figura 6-26 Servizi ferroviari a lunga percorrenza tramite navi traghetto attuali (Trenitalia ottobre 2010) e dopo il completamento dei lavori del Ponte - Fonte: Progetto definitivo Ponte sullo stretto di Messina

I servizi ferroviari merci relativi al trasporto combinato che verranno potenziati con la realizzazione del ponte sono indicati schematicamente nella Figura 6-27.

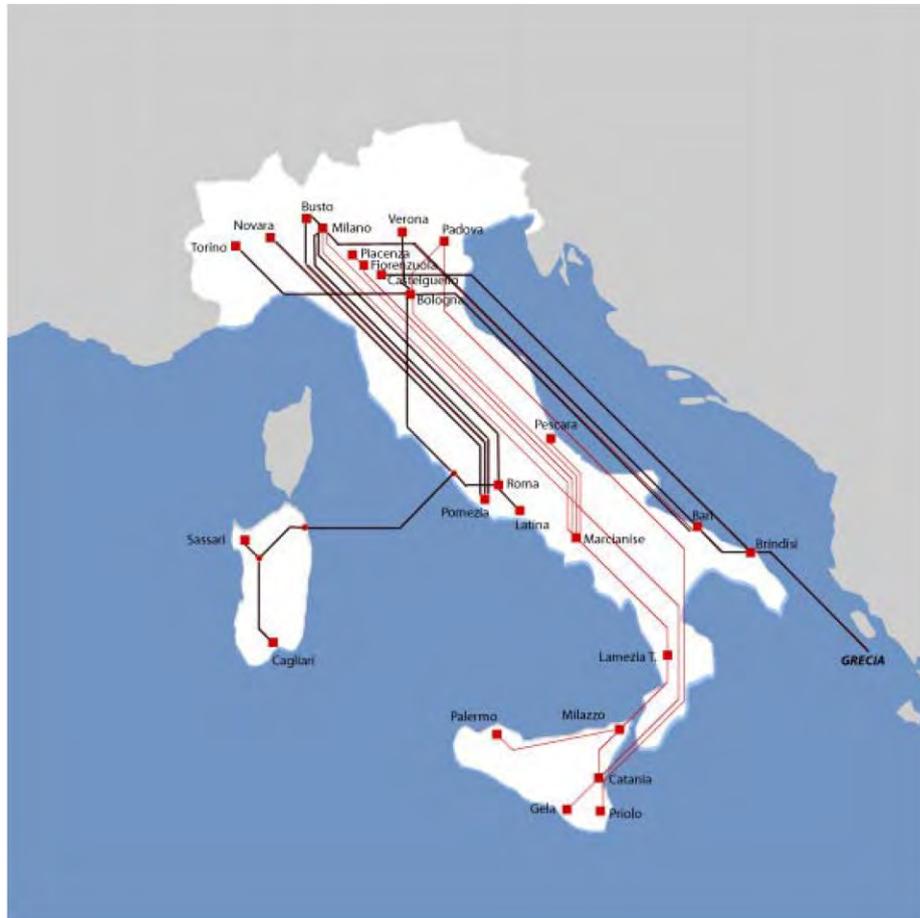


Figura 6-27 Servizi ferroviari merci relativi al traffico combinato

### 6.3 Opere di allaccio stradale

I collegamenti stradali sono imperniati sia lato Sicilia che lato Calabria sul collegamento con le autostrade esistenti, rispettivamente lato Sicilia l'autostrada A20 Messina-Palermo e lato Calabria l'autostrada A2 Salerno-Reggio Calabria (Autostrada del Mediterraneo).

Entrambi hanno quindi caratteristiche di tipo autostradale ("autostrada urbana" secondo la classificazione delle strade prevista dalla normativa), in particolare con:

- velocità di tracciato 130 km/h (raggio minimo di curva 339m),
- pendenza massima delle livellette pari al 5% (in galleria 4%).

La sezione tipo adottata (all'aperto) è la seguente:

- 2 carreggiate separate con 2 corsie da 3,75 m ciascuna, per sorpasso e marcia normale,
- margine laterale con corsia di emergenza da 3.00 m,
- margine interno variabile: da minimo 4.00 m, costituito da spartitraffico da 2.60 m e 2 banchine pavimentate da 0,70 m in rettilineo, a misure superiori per l'allargamento delle banchine in curva al fine di garantire le corrette visuali libere e percezione visiva del tracciato.

Il progetto delle gallerie, che si estendono per la parte prevalente dello sviluppo, prevede gallerie a doppia canna monodirezionali a sagoma pluricentrica (scavate con metodi tradizionali e non con TBM), di dimensione variabile – in funzione della larghezza delle banchine / della presenza di piazzole / della presenza di corsie di accelerazione e decelerazione – e corredate delle seguenti opere di sicurezza:

- piazzole di sosta ogni 600 m con profondità 3.25 m dal ciglio stradale e lunghezza 45 m,
- by-pass pedonali tra le canne ogni 300 m,
- by-pass carrabili tra le canne ogni 900 m

La Figura 6-28 e la Figura 6-29 riportano, tratte dal progetto definitivo, alcune sezioni tipo della galleria monodirezionale per la carreggiata stradale.

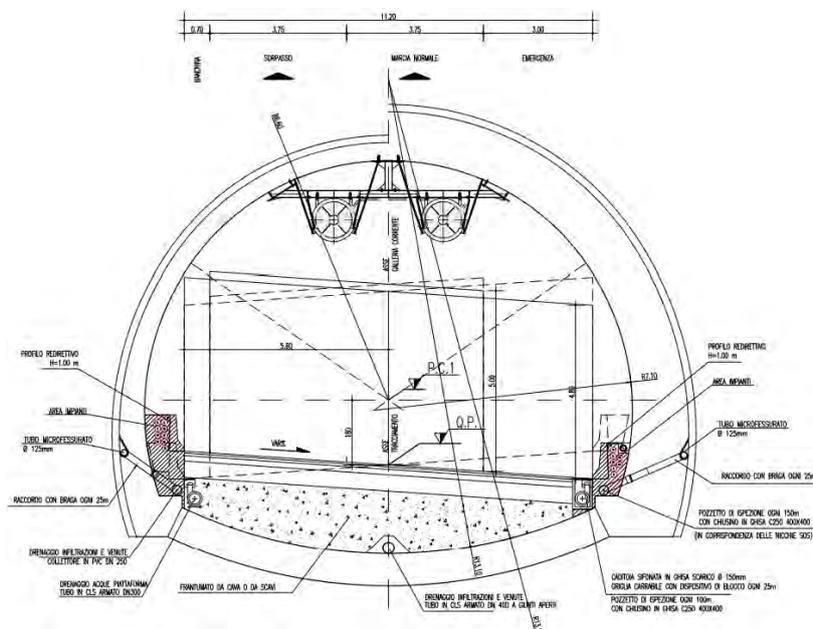


Figura 6-28 Sezione tipo galleria stradale carreggiata monodirezionale standard<sup>269</sup>

<sup>269</sup> Tavole SS0059-F0 / CS0062-F – Sezioni tipo autostrada – Galleria naturale

<https://va.minambiente.it/File/Documento/39270> e <https://va.minambiente.it/File/Documento/34675>



- galleria Faro Superiore (3,4km),
  - galleria Balena (1,2km),
  - galleria Le Fosse (2,3km),
- nonché i seguenti viadotti intermedi:

- viadotto Pace, tra galleria Balena e galleria Le Fosse,
- viadotto Annunziata, tra galleria Le Fosse e svincolo Annunziata.

Lungo il tracciato sono inseriti gli svincoli seguenti:

- svincolo Curcuraci (fra le gallerie Faro Superiore e Balena),
- svincolo Annunziata (fra galleria Le Fosse e galleria esistente a canna singola di collegamento con lo svincolo Giostra dell'autostrada A20 Messina-Palermo).

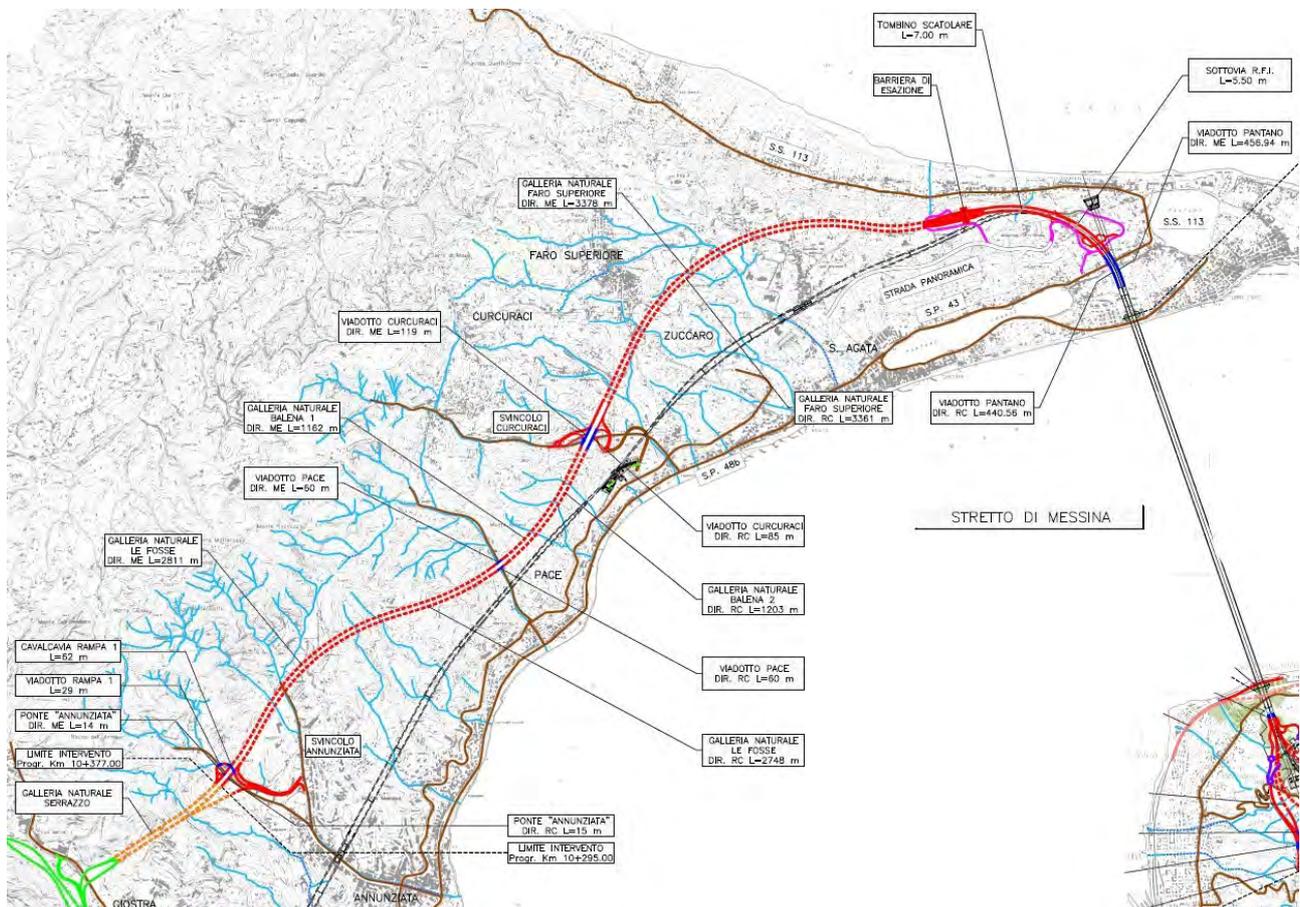


Figura 6-30 Tracciato del collegamento autostradale all'opera di attraversamento lato Sicilia

Il completamento dello svincolo di Giostra, integrato dal raddoppio dell'esistente galleria tra Annunziata e Giostra, in tal modo creando un tratto autostradale a doppia carreggiata di circa 2 km tra Annunziata e Giostra, fa parte di un progetto più ampio del Comune di Messina, definito "Collettore ad Ansa", ed è di competenza del comune di Messina, e come



tale escluso dal progetto definitivo di Eurolink e dalla relativa stima di costo, come da progetto preliminare approvato dal CIPE.

### **Varianti rispetto al progetto preliminare**

Sul ponte – e sul viadotto Pantano che ne costituisce il prolungamento lato Sicilia (lunghezza totale 450m, 6 campate) – è stato modificato il senso di circolazione, passando da quello “a sinistra” o “all’inglese” del progetto preliminare, cioè con le corsie di emergenza verso l’interno (lato ferrovia) e quindi con la stessa direzione di marcia per autoveicoli e treni, a quello standard “a destra”.

Di conseguenza, il raccordo con la nuova autostrada di collegamento con Messina è stato adattato e semplificato, evitando lo sfalsamento altimetrico per permettere ad una delle due carreggiate di sovrappassare l’altra.

Oltre a ciò, il progetto definitivo<sup>272</sup> – lato Sicilia – differisce anche per altri aspetti da quello preliminare approvato dal CIPE, cui era seguito in data 11 novembre 2003 l’Accordo di Programma tra il MIT, il Ministero dell’Economia, le Regioni Calabria e Sicilia, RFI, ANAS e Società Stretto di Messina Spa.

Il progetto definitivo recepisce infatti alcune richieste del Comune di Messina che modificano il progetto precedentemente approvato.

In particolare, si fa riferimento al documento citato di analisi e proposte relativo agli interventi compensativi e connessi alla realizzazione dell’opera di attraversamento corredato di schema planimetrico per le infrastrutture stradali (Figura 6-31), approvato dal Consiglio Comunale di Messina con deliberazione del 25/01/2010<sup>273</sup>.

Per le infrastrutture stradali il documento prevede tre tipologie di opere:

- Opere del progetto Ponte, da includere nel progetto definitivo del Contraente Generale:
  - “variante cittadella universitaria Annunziata”
  - “raccordo Panoramica – Litoranea”
  - “minisvincolo Ganzirri”
- Opere previste nell’Accordo di Programma del 27/11/2003:
  - “collegamento Curcuraci - Panoramica dello Stretto” (svincolo località Marotta)
  - “raddoppio autostradale Giostra- Annunziata” (seconda canna autostradale in galleria).
- Opere connesse, finalizzate alla piena funzionalità del collegamento, da integrare nell’accordo di programma del 27.11.2003, come da Tabella 6-2.

<sup>272</sup> Documento “SS0002\_F0 Sistema Stradale – Opere Civili – Relazione Descrittiva”

<https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1/2> e <https://va.minambiente.it/File/Documento/39213>

<sup>273</sup> Deliberazione 5/C <http://oldsite.comune.messina.it/il-comune/grandi-opere-ed-infrastrutture-strategiche/>  
<http://oldsite.comune.messina.it/il-comune/grandi-opere-ed-infrastrutture-strategiche/documentale/delibera-consiglio-comunale-atteversamento-stabile.pdf>



Il progetto definitivo ha pertanto incorporato, oltre alle opere previste dall'Accordo di Programma del 2003, anche le opere di cui al primo punto di cui sopra richieste esplicitamente dal Comune.

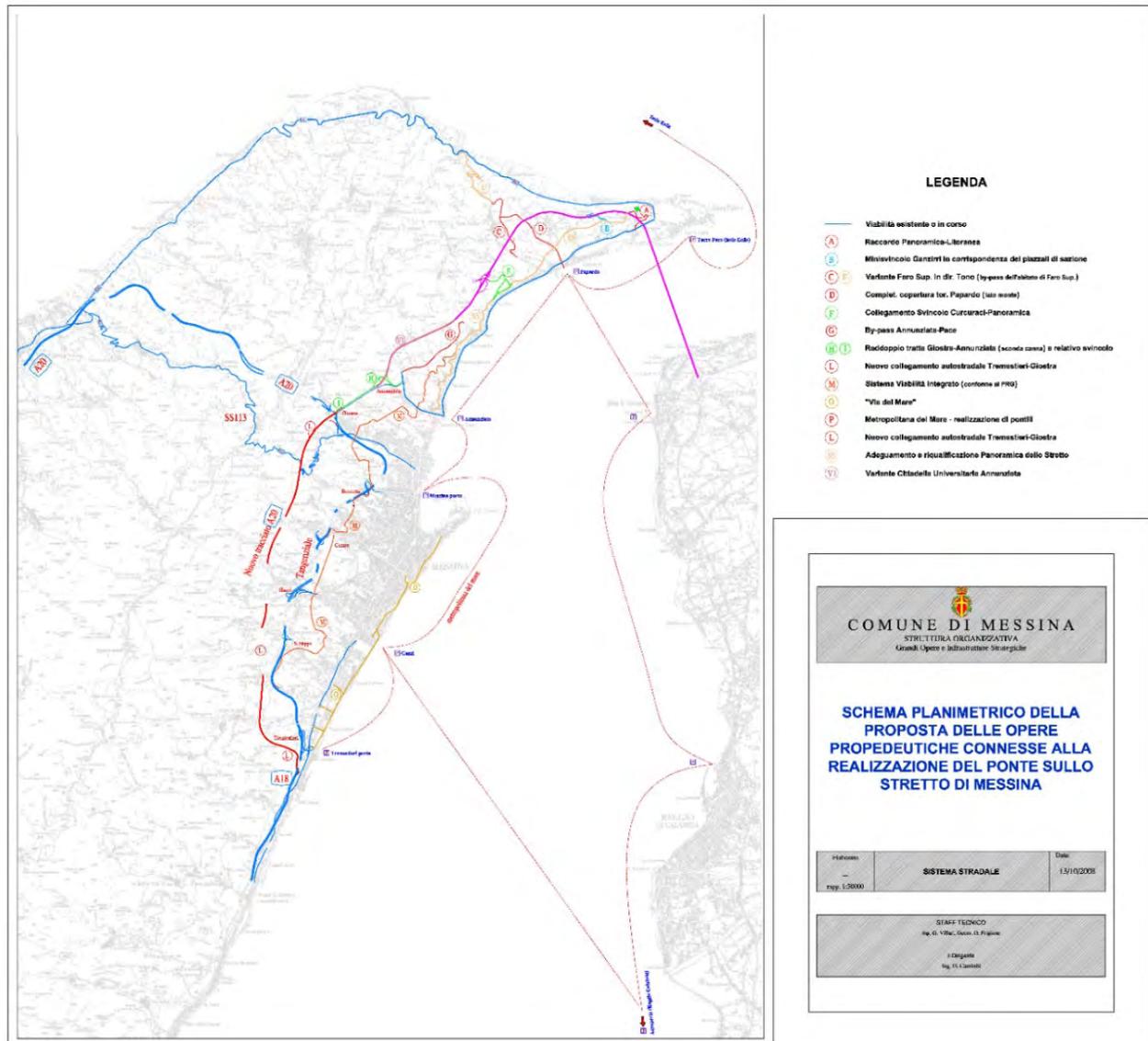


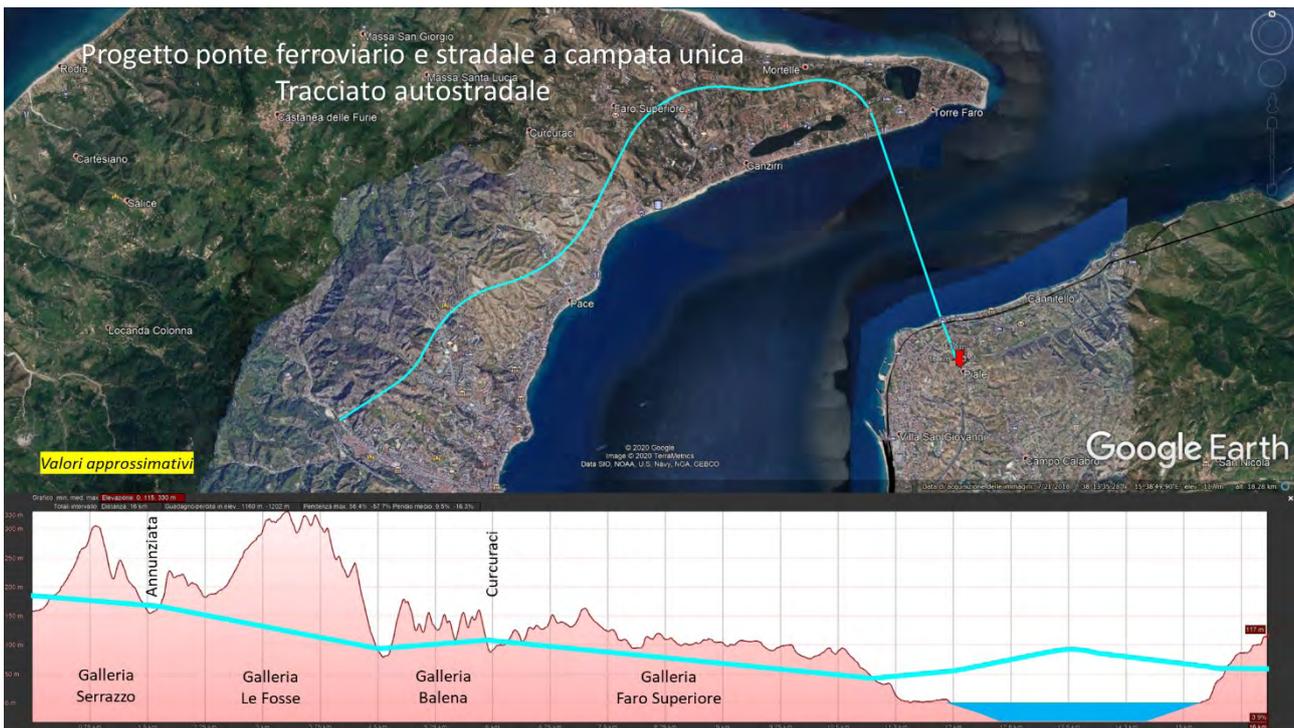
Figura 6-31 Opere stradali propedeutiche e compensative proposte dal Comune di Messina<sup>274</sup>

<sup>274</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=ZN5Ysdk\\_azA](https://www.youtube.com/watch?v=ZN5Ysdk_azA)

OPERE STRADALI CONNESSE (da integrare nell'accordo di programma)				
Rif. Doc. Comitato Inter.	Priorità	Intervento	Spesa M€uro	Attuatore
D	2	Completamento copertura torrente Papardo (lato monte e lato valle)	15,0	Comune Messina
L	7	Nuovo collegamento autostradale Tremestieri-Giostra	650,0	CAS/ANAS
M	6	Sistema Viabilità Integrato (conforme al PRG)	130,0	Comune Messina
O	3	"Via del Mare"	65,0	Comune Messina
P	2	Metropolitana del Mare - realizzazione di pontili ed opere a terra	25,0	Comune Messina/ Autorità Portuale
G	4	By-Pass Annunziata/Pace	40,0	Comune di Messina
<b>TOTALE</b>			<b>925,0</b>	

Tabella 6-2 Opere connesse proposte dal Comune di Messina

La Figura 6-32 rappresenta il profilo altimetrico di massima del tracciato stradale basato su dati approssimativi dedotti dal progetto definitivo



Valori approssimativi

Ponte a campata unica	Inizio galleria Serrazzo	Fine galleria Serrazzo (Annunziata)	Inizio galleria Le Fosse	Fine galleria Le Fosse	Inizio galleria Balena	Fine galleria Balena (Curcuraci)	Inizio galleria Faro Superiore	Fine galleria Faro Superiore	Inizio viadotto	Fine viadotto	Pilone Sicilia	Inizio canale navigabile 65 m	Fine canale navigabile 65 m	Pilone Calabria
Progressiva (m)	-	923,00	1.284,67	3.971,25	4.200,00	5.285,34	5.674,00	9.116,16	10.595,75	11.036,15	11.300,00	12.650,00	13.250,00	14.600,00
Distanze parziali (m)	-	923,00	361,67	2.686,58	228,75	1.085,34	388,66	3.442,16	1.479,59	440,40	263,85	1.350,00	600,00	1.350,00
Quota di progetto slm (m)	187,74	169,98	156,82	98,47	110,88	110,88	110,41	70,97	46,93	53,12	57,08	76,95	76,96	64,50
Pendenza %	19,24	-	30,86	-22,46	2,14	11,89	-2,21	-11,46	16,25	14,06	15,01	14,72	0,02	-9,23
Quota terreno (m)	189,72	181,02	213,44	102,13	145,60	105,32	122,00	81,00	34,87	0,93	5,38	157,60	182,40	4,90
Distanza terreno-strada	1,98	11,04	54,62	-3,66	47,62	-	5,36	11,59	10,03	12,06	52,19	51,70	234,55	-59,60

Figura 6-32 Profilo altimetrico di massima del tracciato stradale del ponte a campata unica (fonte: dati approssimati dedotti dal progetto definitivo)

### 6.3.2 Collegamenti stradali lato Calabria

Lato Calabria il progetto dell'opera di attraversamento dello Stretto prevede come opera principale il collegamento con l'autostrada A2 Salerno-Reggio Calabria, con innesto a "T" bidirezionale cioè tale da consentire l'interscambio sia in direzione nord (Salerno) sia in direzione sud (Reggio Calabria).

La Figura 6-33 riporta, tratto dal progetto definitivo, il tracciato del collegamento autostradale all'opera di attraversamento lato Calabria <sup>275</sup>

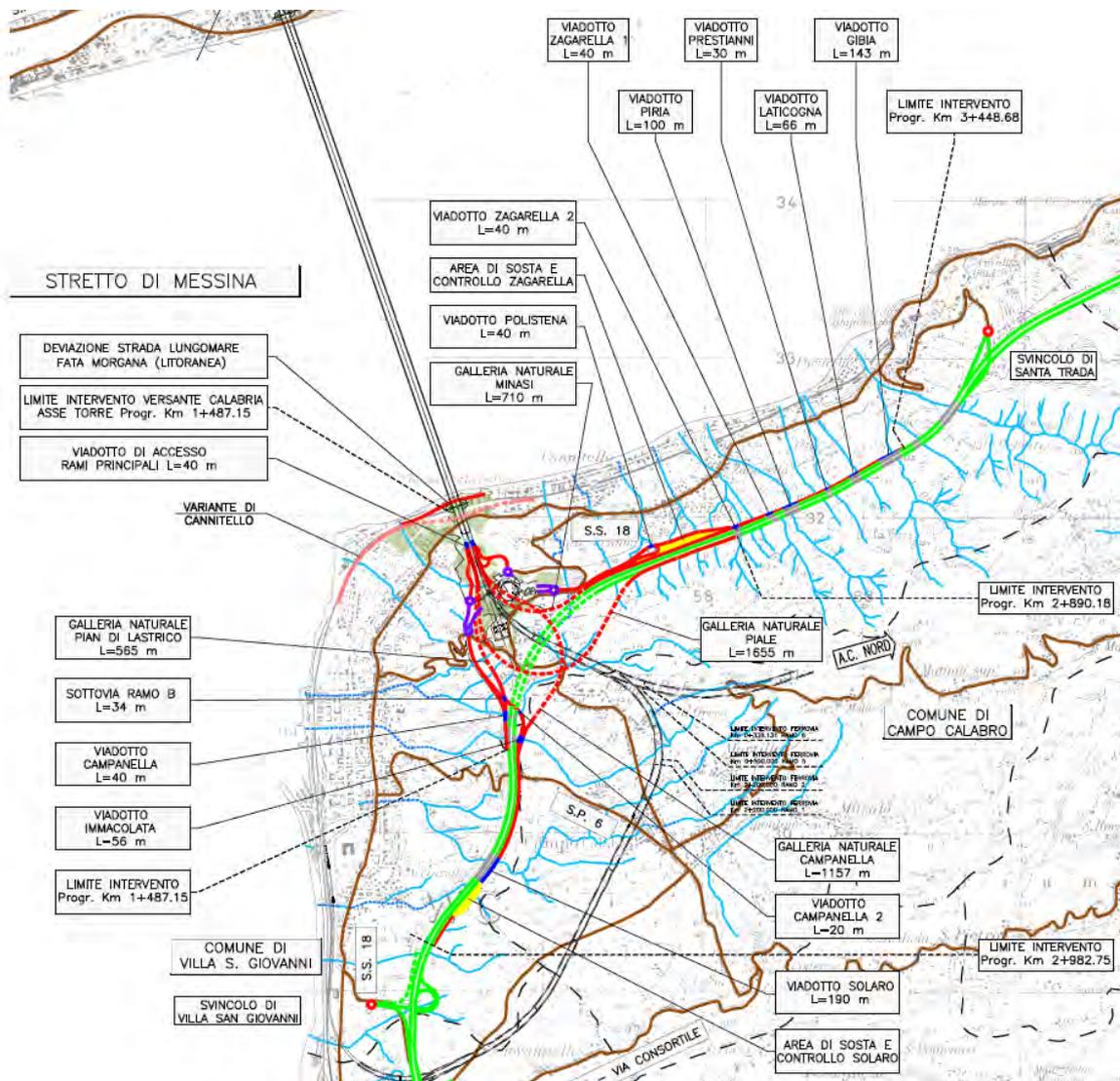


Figura 6-33 Opere stradali propedeutiche e compensative proposte dal Comune di Messina

<sup>275</sup> Tavola SS0004\_F0 - Corografia generale <https://va.minambiente.it/File/Documento/39215>



Il progetto individua i seguenti sistemi di strade:

- sistema principale degli assi di accesso al / uscita dal ponte (Rami A, B, C, D): Tutti i rami sono monodirezionali. I rami A (ME-SA) e C (SA-ME) hanno caratteristiche di bretella autostradale a due corsie; i rami B (ME-RC) e D (RC-ME) sono, invece, ad unica corsia e confluiscono nei rami A e C, che fungono da viabilità principale;
- sistema degli assi di collegamento al Centro Direzionale, costituito da tre distinte viabilità a doppio senso di marcia, ciascuna dedicata ad una delle tre possibili direzioni Messina (Ponte), Salerno, Reggio Calabria.;
- viabilità di emergenza e servizio;
- viabilità interna al Centro Direzionale.

Sono previste numerose opere d'arte, di cui le principali sono:

- galleria Piale (1.620m) lungo il ramo A,
- galleria Pian di Lastrico (565m) lungo il ramo B,
- viadotti Gibia (143m), Latticogna (66m), Piria (100m), lungo il ramo C,
- galleria Minasi (710m), lungo il ramo C,
- viadotto Immacolata (56m), lungo il ramo D,
- galleria Campanella (1157m), lungo il ramo D.

### **Varianti rispetto al progetto preliminare**

Rispetto al progetto preliminare si segnalano le seguenti varianti:

- modifica del senso di circolazione sul ponte da “a sinistra” o “all’inglese” a “a destra” (standard),
- affinamenti dei tracciati degli assi stradali (andamento plano-altimetrico, punti di confluenza e di diramazione e geometria relativa, ecc.),
- verifica di congruità delle opere con il progetto esecutivo di adeguamento dell’autostrada A3 tra il km 427+000 ed il km 437+500 predisposto dall’ANAS (“Lotto 7°”), all’epoca in corso di realizzazione.

## **6.4 Il ponte sullo stretto di Messina e il corridoio TEN-T Scandinavia-Mediterraneo**

A partire dalla metà degli anni Ottanta la Rete Transeuropea dei Trasporti (TEN-T) ha costituito il quadro per lo sviluppo delle infrastrutture dirette a permettere un efficiente funzionamento del mercato interno e per garantire la coesione economica, sociale e territoriale nonché una migliore accessibilità in tutta l’Unione europea. Ciò ha portato nel 1992 all’inserimento di una base giuridica specifica per le reti Transeuropee nel trattato di Maastricht e nel 1994, in occasione del Consiglio Europeo di Essen degli allora 15 Stati membri, fu stilato un elenco di 14 importanti progetti prioritari.



Nel 1996 il Parlamento Europeo e il Consiglio hanno adottato i primi orientamenti che definivano la politica delle TEN-T (Rete Transeuropea dei trasporti) e la programmazione delle infrastrutture<sup>276</sup>.

Nel 2004 si è proceduto ad una approfondita revisione dei suddetti orientamenti, per tener conto dell'allargamento dell'UE e delle previste modifiche dei flussi di traffico. È stato inoltre ampliato l'elenco dei 14 progetti prioritari.

Nel corso di una profonda revisione avvenuta nel 2004 (Van Miert Priority Projects), tenendo conto dell'allargamento dell'UE, il numero di progetti prioritari è stato portato a 30. Tra i progetti il cui inizio era previsto entro il 2010 (v. Allegato III Gazzetta ufficiale dell'Unione europea 7.6.2004<sup>277</sup>) al primo posto era stato inserito il progetto "Asse ferroviario Berlino-Verona/Milano-Bologna-Napoli-Messina-Palermo" e tra le principali opere ivi elencate c'era il "Ponte ferroviario / stradale sullo stretto di Messina-Palermo (2015)". Inoltre, in quella occasione sono stati istituiti diversi strumenti finanziari e di altro tipo allo scopo di facilitare la realizzazione di tali progetti.

Gli strumenti comprendevano il Regolamento Finanziario TEN, il Fondo di Coesione, il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) e i prestiti della Banca Europea per gli Investimenti (BEI), assieme ad altre iniziative di coordinamento messe in atto dalla Commissione<sup>278</sup>.

Nel 2010, ai fini di una maggiore chiarezza, il Parlamento Europeo e il Consiglio hanno adottato la decisione n. 661/2010/UE, che costituisce una rifusione degli orientamenti TEN-T<sup>279</sup>.

Il 19 ottobre 2011, a seguito di un processo di consultazione durato due anni e in coerenza con il Libro Bianco dei Trasporti 2011 "Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile" [COM (2011) 144 IT 3 IT]<sup>280</sup>, la Commissione Europea ha adottato una proposta, che ha sostituito e abrogato la decisione n.661/2010/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 7 luglio 2010, per "ridefinire la Rete di trasporti unificata Europea (Rete TEN-T), che sarà costituita da una Rete di trasporto completa ed integrata di strade, ferrovie, linee aeree, vie navigabili interne

<sup>276</sup> Decisione n. 1692/96/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 luglio 1996, sugli orientamenti comunitari per lo sviluppo della Rete Transeuropea dei Trasporti (GU L 228 del 9.9.1996, pag. 1)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A31996D1692>

<sup>277</sup> Decisione n. 884/2004/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 29 aprile 2004, che modifica la decisione n.1692/96/CE sugli orientamenti comunitari per lo sviluppo della Rete Transeuropea dei Trasporti (GU L 201 del 7.6.2004) [https://ec.europa.eu/ten/transport/legislation/doc/2004\\_0884\\_it.pdf](https://ec.europa.eu/ten/transport/legislation/doc/2004_0884_it.pdf)

<sup>278</sup> Regolamento (CE) n. 680/2007 del Parlamento europeo e del Consiglio del 20 giugno 2007, che stabilisce i principi generali per la concessione di un contributo finanziario della Comunità nel settore delle reti transeuropee dei trasporti e dell'energia (GU L 162 del 22.6.2007, pag. 1)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32007R0680>

<sup>279</sup> Decisione n. 661/2010/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 7 luglio 2010, sugli orientamenti dell'Unione per lo sviluppo della Rete Transeuropea dei Trasporti (rifusione) (GU L 204 del 5.8.2010, pag. 1).

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=celex:32010D0661>

<sup>280</sup> <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/index.cfm?fuseaction=list&coteld=1&year=2011&number=144&language=it>



e trasporto marittimo, nonché da piattaforme intermodali estesa a tutti gli Stati membri e a tutte le regioni e in grado di offrire la base per uno sviluppo equilibrato di tutti i modi di trasporto, al fine di agevolarne i *rispettivi punti di forza, massimizzando in tal modo il valore aggiunto della Rete per l'Europa*".

*"La nuova Rete TEN-T sarà costituita da una Rete Centrale e da una Rete Globale (Core and Comprehensive Network)<sup>281</sup>.*

*La Rete Centrale, costituita da 10 Corridoi (successivamente ridotti a 9), eliminerà le strozzature, ammodernerà le infrastrutture e snellerà le operazioni transfrontaliere di trasporto per passeggeri e merci in tutta l'UE, in modo da migliorare i collegamenti fra i diversi modi di trasporto e da contribuire a raggiungere gli obiettivi dell'UE in materia di riduzione delle emissioni di CO2 provocate dai trasporti.*

*La Rete Centrale (Core), che fungerà da struttura portante dei trasporti nel mercato unico, dovrà essere realizzata entro il 2030.*

*Le proposte di finanziamento pubblicate (per il periodo 2014-2020) indirizzano rigorosamente i fondi destinati ai trasporti sulla Rete Centrale<sup>282</sup>.*

*Essa interesserà:*

- *83 porti europei principali mediante collegamenti ferroviari e stradali;*
- *37 aeroporti principali mediante collegamenti ferroviari verso grandi città;*
- *15 000 km di linee ferroviarie convertite all'alta velocità;*
- *35 grandi progetti transfrontalieri per ridurre le strozzature".*

In tale occasione la stima dei costi di attuazione della prima fase di finanziamento per la realizzazione della Rete Centrale europea, nel periodo 2014-2020, era di 500 miliardi di euro. Gli interventi previsti hanno l'obiettivo di eliminare le strozzature e completare i collegamenti mancanti con particolare attenzione ai progetti transfrontalieri.

È da notare che nell'elenco dei corridoi europei individuati nel 2011 e approvati con regolamento UE 1315/2013 del 17/10/2013 l'ex corridoio n°1 Berlino-Palermo è stato inserito al n°5 come facente parte del corridoio Scandinavia-Mediterraneo. Inoltre, è stato eliminato dall'elenco delle opere da realizzare il Ponte ferroviario e stradale sullo Stretto di Messina.

Consultando il sito della Camera dei Deputati relativo alle attività parlamentari della XVII Legislatura si può leggere per il Corridoio Scandinavo-Mediterraneo (Helsinki-La Valletta):

*"Il corridoio scandinavo-mediterraneo attraversa il Mar Baltico, la Germania, le Alpi e l'Italia.*

*I progetti più importanti sono il collegamento fisso del Fehmarnbelt e la Galleria di base del Brennero, con le rispettive vie di accesso. Il corridoio attraversa l'Italia dal confine con l'Austria fino a Palermo;*

<sup>281</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=en>

<sup>282</sup> [http://ec.europa.eu/transport/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/index_en.htm)

oltre al tunnel di base del Brennero, prevede i collegamenti ferroviari Fortezza-Verona, Napoli-Bari, Napoli-Reggio Calabria, Messina-Palermo e Palermo-La Valletta”.

Consultando il sito MOBILITY AND TRANSPORT della Commissione Europea si può conoscere lo stato di avanzamento dei progetti TEN-T. Per quanto riguarda lo stretto di Messina si può leggere che il collegamento ferroviario è completato tramite l'uso delle navi traghetto da Villa S. Giovanni a Messina (Figura 6-34), mentre quello stradale dovrebbe essere realizzato con la costruzione di un Ponte collocato lungo la stessa direttrice del ponte a campata unica da 3300 (Figura 6-35).

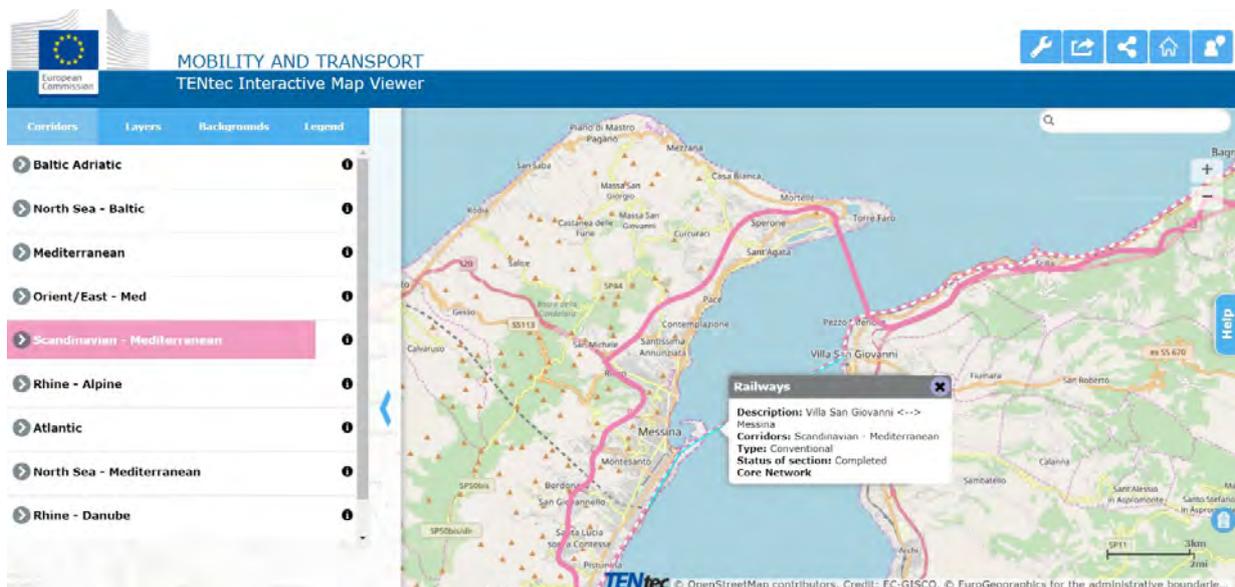


Figura 6-34 Il collegamento ferroviario (Railways) risulterebbe “Completato” tramite il collegamento navale Villa S. Giovanni-Messina

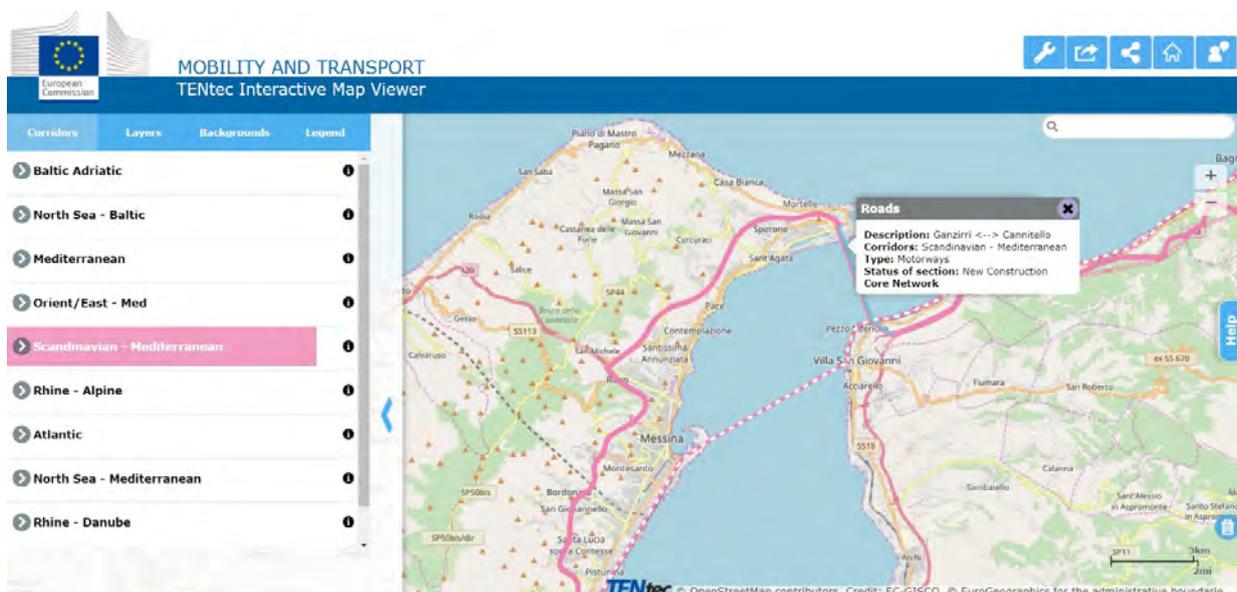


Figura 6-35 Il collegamento stradale (Roads) da realizzare tramite il ponte a campata unica da 3300m (New Construction)



Attualmente in base al regolamento (UE) n. 1315/2013 la rete TEN-T deve essere completata per la parte Core entro il 2030 e la parte Comprehensive entro il 2050 in modo da realizzare entro tale data uno spazio unico europeo dei trasporti basato su un sistema di trasporti competitivo ed efficiente<sup>283</sup>.

---

<sup>283</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=OJ%3AL%3A2013%3A348%3ATOC>  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/ALL/?uri=CELEX%3A32013R1316>



## 7 NUOVE IPOTESI DI ATTRAVERSAMENTO STABILE DELLO STRETTO

### 7.1 Introduzione

Il progetto definitivo del ponte a campata unica da 3300m non è stato approvato dal CIPE (rif. capitolo 2). Di conseguenza la società Stretto di Messina, che aveva sviluppato il progetto fin dalla sua fondazione (1981), predisponendo il progetto di massima e il progetto preliminare e che aveva gestito l'incarico al Contraente Generale Eurolink per la redazione dei progetti definitivo ed esecutivo e per la realizzazione dell'opera, è stata posta in liquidazione e il contratto con Eurolink "caducato".

Peraltro, gli stessi progettisti di Eurolink hanno definito il progetto "*una sfida e un sogno*"<sup>284</sup> e il CIPE già in sede di approvazione del progetto preliminare del 2003 ha rilevato come le caratteristiche dell'opera – non modificate nel progetto definitivo presentato nel 2010 – "*rendono il progetto del ponte sullo stretto di Messina il più ambizioso sinora ideato al mondo*".

Le verifiche della compatibilità delle varie parti della struttura del ponte con le sollecitazioni indotte dal suo stesso peso e dai carichi accidentali (vento / treni e veicoli stradali in transito / sisma ecc.), anche attraverso le sperimentazioni con modello fisico in galleria del vento, non hanno dissolto i dubbi e le perplessità espresse da autorevoli esponenti del mondo accademico sulla stabilità dell'opera con le condizioni ambientali peggiori.

Peraltro le opere di attraversamento (ponti stradali e ferroviari) realizzate nel mondo nel decennio trascorso dalla consegna del progetto definitivo del ponte a campata unica non hanno superato (campata principale) la lunghezza 1.408m del 3° ponte sul Bosforo (Yavuz Sultan Selim Bridge), solo di poco superiore al precedente massimo rappresentato dal ponte Tsing Ma di Hong Kong (1.377m), mentre tutti gli altri ponti misti esistenti hanno campata principale massima di circa 1.100m (opere recenti in Cina lungo il fiume Yangtze e opere precedenti).

Analogamente per i ponti solo stradali l'opera maggiore è rimasta il ponte Akashi Kaikyo in Giappone (1991m) già realizzata all'epoca del progetto definitivo e riferimento per lo stesso, che verrà superato nel 2022 dal 1915 Çanakkale (2023m) in fase di costruzione.

Da non dimenticare che tutti i ponti sospesi a grande luce ad un solo piano possono subire limitazioni di utilizzo sino alla chiusura del traffico quando la velocità del vento supera valori stabiliti dalle autorità competenti (rif. capitolo 5). Normalmente sui ponti ad un solo piano il traffico stradale viene interrotto per venti di valore compreso tra 75 e 100 km/h.

Come già riferito nel capitolo 3, il vento tra Capo Peloro e Cannitello supera i 100 km/h mediamente 14 gg/anno non necessariamente in direzione ortogonale all'impalcato in quanto può provenire da varie direzioni (vento di scirocco, ponente e maestro). Non essendo

<sup>284</sup> Libro «The Messina Strait Bridge - A challenge and a dream». pubblicato a cura della società Stretto di Messina



stati inviati il “Manuale di esercizio ed emergenza<sup>285</sup>”, lo “Schema di piano di gestione delle emergenze<sup>286</sup>” e tutti i documenti relativi alla sicurezza del progetto del ponte da 3300m alle Autorità competenti per la conseguente approvazione, non è possibile conoscere con quale regime di esercizio verrebbe gestito e quindi stimare quanti giorni l’anno dovrebbe essere chiuso all’esercizio o subire limitazioni. Tali procedure erano previste nella fase di progettazione esecutiva, con successive messe a punto durante le varie fasi di costruzione.

Nel presente capitolo si formulano ipotesi di opere di attraversamento alternative, senza entrare nel dettaglio progettuale, ma individuando alcune caratteristiche di massima mutuata dall’analisi delle opere esistenti o in fase di realizzazione o di avanzata progettazione e considerando le tipologie oggetto del precedente capitolo 5:

- ponte misto stradale e ferroviario a più campate:
  - ponte ibrido tipo H.R.S.B. con impalcato ad un solo piano;
  - ponte sospeso con impalcato a due piani di cui l’inferiore protetto dai venti;
- gallerie sottomarine stradali e ferroviarie;
- gallerie miste stradali e ferroviarie sommerse flottanti (SFT *submerged floating tunne*):
  - su colonne
  - ancorate al fondo

Per ciascuna alternativa si formulano inoltre proposte di assetto dei collegamenti ferroviari e stradali di allaccio alle infrastrutture esistenti tenendo conto che il collegamento stabile dello Stretto, oltre a rappresentare il completamento del corridoio Scandinavo Mediterraneo indispensabile per i traffici a lunga percorrenza, dovrà essere il perno principale degli spostamenti urbani di quella vasta area costituita in Sicilia da Messina e dagli insediamenti costieri fino a Catania (sul lato ionico) e fino a Patti (sul lato tirrenico) e in Calabria da Melito di Porto Salvo, a Reggio Calabria fino a Rosarno.

Questo imporrebbe il cambiamento della configurazione dei tracciati stradali e ferroviari già previsti per il ponte a campata unica, in quanto dovrebbero servire efficacemente entrambi i tipi di spostamento sia viaggiatori che merci, separandoli nel rispetto del «Modello delle infrastrutture di trasporto pubblico locale nelle aree metropolitane» di RFI SpA.

Non è il solo collegamento veloce tra continente e Sicilia quello che perseguono le proposte di questo documento, ma anche la connessione urbanistica degli insediamenti che dovrebbe consentire la nascita della Città dello Stretto e lo sviluppo dei centri produttivi favorendo nuove relazioni, nuove attività, maggiore sviluppo e ricchezza in tutta l’area.

L’attraversamento stabile deve realizzare la connessione tra due conurbazioni: quella di Reggio Calabria, Villa San Giovanni e dei centri della costa tirrenica e ionica della Calabria da una parte e quella delle province di Messina e Catania dall’altra.

<sup>285</sup> <http://www.va.minambiente.it/File/Documento/37143>

<sup>286</sup> <http://www.va.minambiente.it/File/Documento/36422>

## 7.2 Ponte a più campate

La “Sella dello Stretto” tra Ganzirri e Punta Pezzo si configura come la migliore area di valico possibile per realizzare un ponte a più campate e posare le fondazioni dei relativi piloni offshore. Con tale allineamento, e collocando la direttrice del ponte in modo da evitare lato Sicilia l’interessamento della riserva naturale di Capo Peloro, la distanza tra le coste, tra Punta Pezzo e Contrada Arcieri, è di circa 4 km. La profondità massima del mare lungo la Sella è di 100-120 metri, e il fondale è formato principalmente da strati di ghiaia.

La soluzione di ponte a più campate era già presente fra quelle presentate nel concorso di idee del 1969, con soluzioni a 2, 3, 5 campate fra quelle vincitrici del 1° premio (in Figura 7-1 le sole soluzioni a 3 campate):

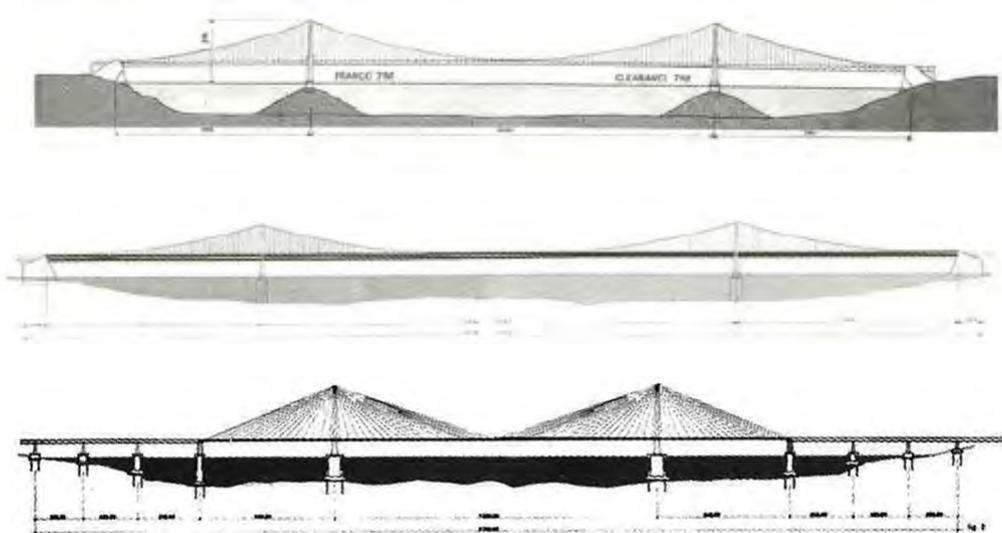


Figura 7-1 Soluzioni Gruppo Ponte di Messina / Calini-Montuori-Pavlo / Lambertini

Delle soluzioni a 3 campate raffigurate, due sono con impalcato sospeso, mentre una (campata principale 1.300m) è con impalcato strallato, quest’ultima particolarmente apprezzata dal prof. ing. Fritz Leonhardt<sup>287</sup>, uno dei progettisti di ponti più significativi del XX secolo, durante il suo intervento al convegno tenutosi presso l’Accademia Nazionale dei Lincei nel 1978<sup>288</sup>. Interessante rilevare come Leonhardt si pronunciasse – fra l’altro – rispetto ai piloni di sostegno degli stralli rifacendosi alla tecnologia delle piattaforme petrolifere in acque profonde allora nella fase di sviluppo iniziale: “Per lo stretto di Messina sarebbero necessarie una o due fondazioni di torri in acque profonde da 90 a 100 m. Questi possono essere costruiti in modo sicuro? Dico di sì, e questo sì è confermato dalla riuscita realizzazione di

<sup>287</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Fritz\\_Leonhardt](https://it.wikipedia.org/wiki/Fritz_Leonhardt)

<sup>288</sup> Accademia Nazionale dei Lincei – atti dei convegni lincei – Convegno “L’attraversamento dello Stretto di Messina e la sua fattibilità” (389 pagine oltre a numerose tavole illustrative) Roma 4-6 luglio 1978 - Edizioni Accademia Nazionale dei Lincei 1979



*molti piloni e piattaforme offshore che sono stati costruiti nel Mare del Nord negli ultimi 7 anni in acque profonde da 100 a 150 m. Queste strutture dovevano essere dimensionate per onde normali di 17 m di altezza e onde eccezionali di 30 m. L'altezza massima delle onde nello stretto di Messina è stata data con 6,5 m e da maremoto con solo 8 m.”*

La tipologia attualmente prevalente per i ponti misti (stradale e ferroviario) a grande luce è quella con impalcato sospeso (adottata anche nel progetto del ponte a campata unica), ma non mancano esempi di ponti a impalcato strallato e di ponti ibridi (a impalcato sospeso e tutto o in parte strallato).

La soluzione di ponte a più campate consente di ridurre l'altezza dei piloni di ancoraggio dei cavi di sostegno.

Peraltro, tale soluzione comporta la collocazione dei piloni e delle relative fondazioni in alveo, e un rischio addizionale da collisione con le navi in transito nello Stretto, per il quale si dovranno studiare le opportune misure di protezione e adattare le norme di navigazione. Analogamente dovranno essere condotte indagini approfondite circa le caratteristiche geotecniche del fondale in corrispondenza dei piloni per individuare ed evitare le eventuali faglie attive.

La larghezza di circa 4km tra costa e costa è compatibile con una struttura a 3 campate di lunghezza dell'ordine di 1.400m pari a quelle massime esistenti per ponti misti stradali e ferroviari, con 2 piloni intermedi in alveo e 2 piloni di estremità, ubicati in corrispondenza delle rive: la posizione di questi ultimi dovrà essere ottimizzata al fine di minimizzare l'impatto ambientale sia sull'assetto morfologico delle rive, in un'area dove le correnti sono particolarmente intense, sia sugli insediamenti rivieraschi in un'area fortemente antropizzata. Dato che il ponte a 3 campate richiede la realizzazione di enormi blocchi di amarro dei cavi principali nelle vicinanze delle rive (v. ponte Akashi<sup>289</sup>), nel tentativo di ridurre l'impatto ambientale è stata ipotizzata la realizzazione di piloni al posto dei blocchi di amarro in modo da spostare i blocchi di amarro in luoghi ambientalmente meno invasivi e in modo da ridurre per quanto possibile la lunghezza delle campate.

Si è ipotizzato quindi un ponte ibrido HRSB a tre campate, ciascuna della lunghezza di 1380 m, per coprire la distanza che esiste tra Punta Pezzo e Contrada Arcieri. (Figura 7-2 e Figura 7-3).

La lunghezza totale è pari a 4.890 m ( $375+3 \times 1380+375= 4.890$ ).

---

<sup>289</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=ISTeYmg7jpU&t=226s>

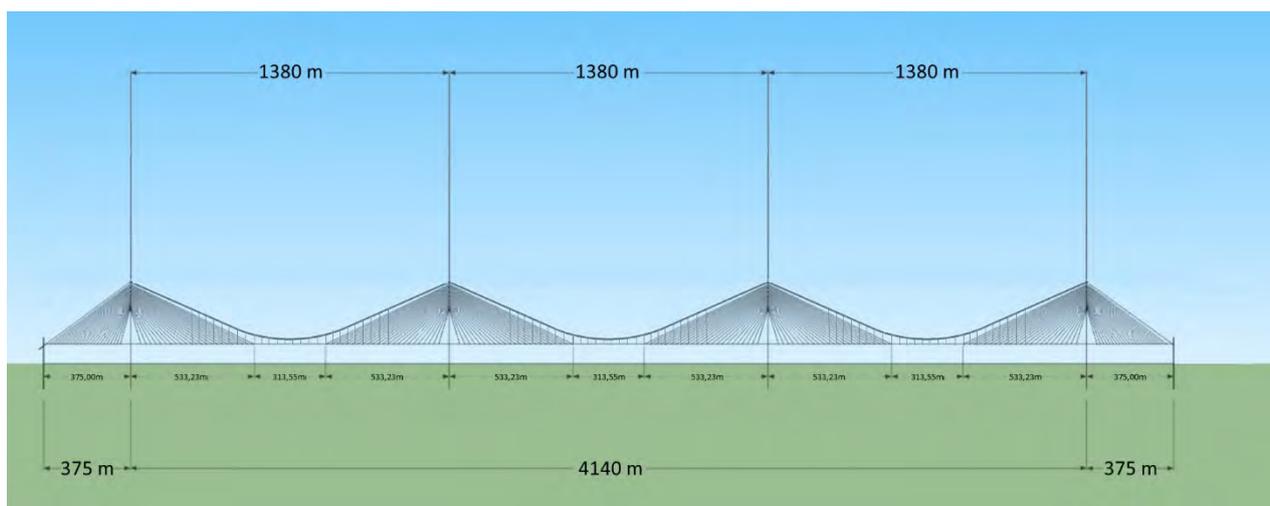


Figura 7-2- Schema di massima di un ponte H.R.S.B. in corrispondenza della Sella dello Stretto - Prospetto

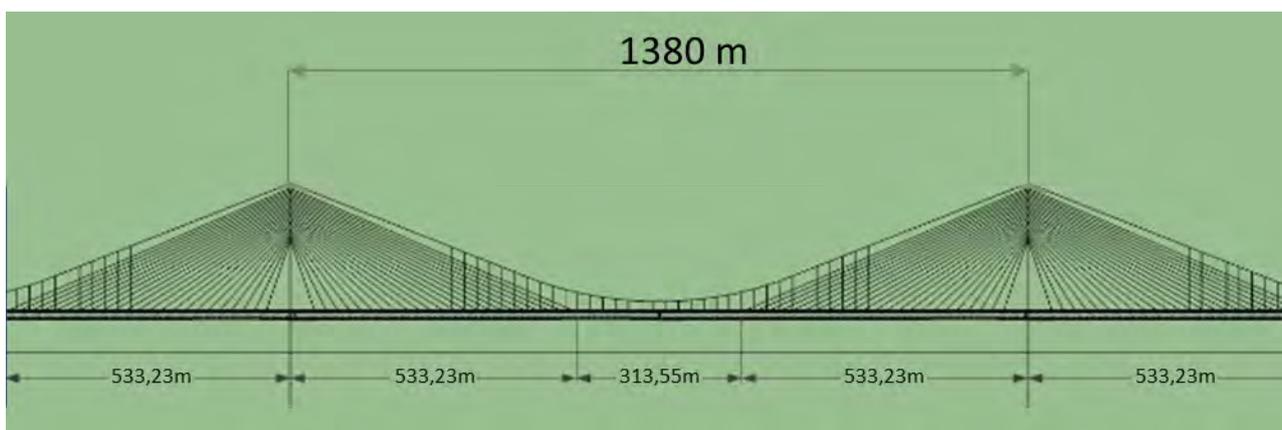


Figura 7-3- Schema di massima di un ponte H.R.S.B. in corrispondenza della Sella dello Stretto – Dettaglio campata

Un ponte di tale tipo deve essere in grado di resistere agli squilibri dei carichi dovuti al passaggio dei treni. Il ponte ibrido HRSB (strallato vicino ai piloni e sospeso nella parte centrale delle campate) è più rigido di un ponte sospeso in quanto, come già evidenziato nel capitolo 5, le flessioni delle campate si riducono di un fattore compreso tra 3 e 4. Con un franco libero per il passaggio delle navi di 75m, l'altezza dei piloni sul livello del mare sarebbe dell'ordine di 340m.

Nella Figura 7-4 e Figura 7-5 sono rappresentati uno schema prospettico dell'opera vista dal lato calabrese, unitamente alle linee batimetriche con passo 5m in corrispondenza dell'attraversamento, e la campata centrale dello stesso schema. Le linee batimetriche evidenziano che i piloni offshore sarebbero collocati su fondali profondi 100m circa.

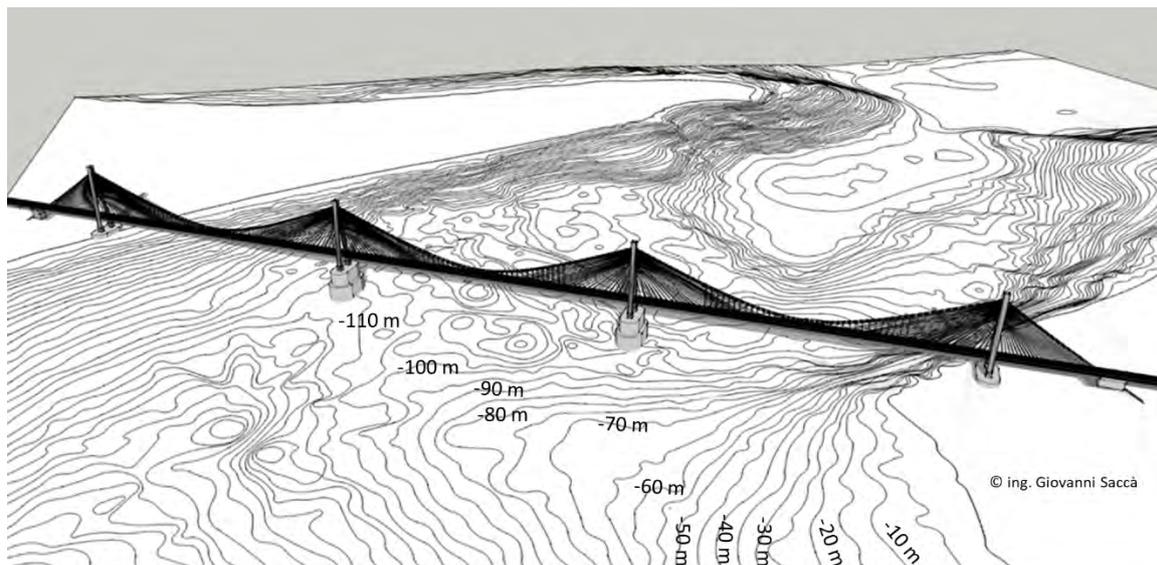


Figura 7-4 Ponte strallato a tre campate con evidenziate le curve batimetriche<sup>290</sup>

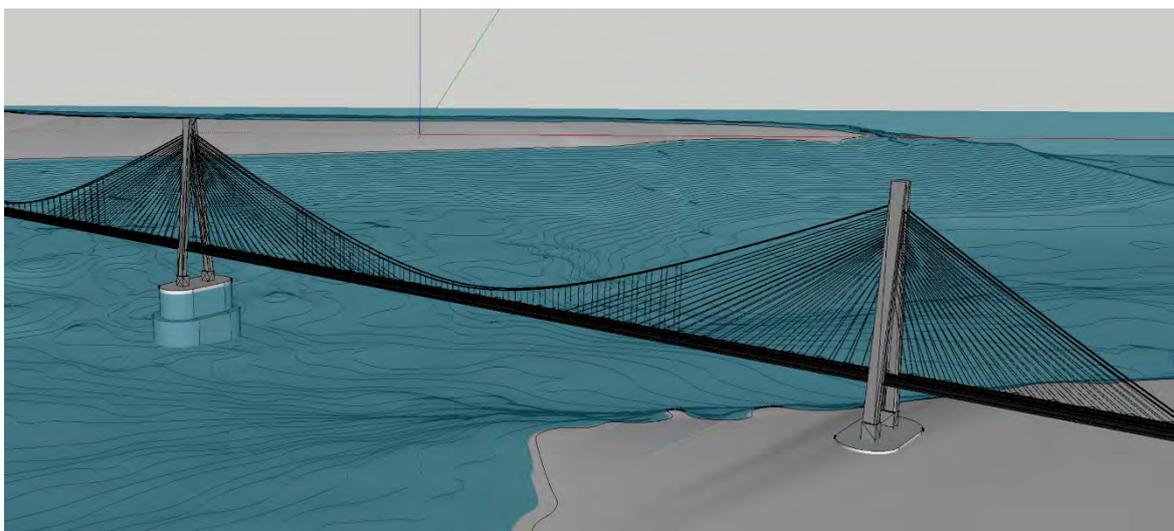


Figura 7-5 Ponte strallato a tre campate – Particolare della campata laterale

Dato che il ponte a più campate da realizzare sulla Sella dello Stretto di Messina si trova in un'area altamente sismica e deve essere dimensionato per resistere a terremoti superiori a 7 gradi della scala Richter. Per realizzare le fondazioni si ipotizza di utilizzare una tecnica analoga a quella impiegata per il ponte greco Rion-Antirion<sup>291</sup> (2004). Le fondazioni di tale ponte sono poggiate su uno strato di ghiaia di 3 m di spessore di grossa granulometria, al di sotto del quale è presente terreno argilloso precedentemente consolidato con centinaia di lunghe colonne cave di acciaio di 2 m di diametro conficcate ad una distanza regolare di 7-8 m. Il ponte Rion-Antirion è stato progettato per sopportare possibili movimenti di faglia

<sup>290</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=DDJ5PqodiXw>

<sup>291</sup> [https://www.researchgate.net/publication/229009863\\_The\\_Rion-Antirion\\_bridge-when\\_a\\_dream\\_becomes\\_reality](https://www.researchgate.net/publication/229009863_The_Rion-Antirion_bridge-when_a_dream_becomes_reality)  
[https://www.academia.edu/13980804/The\\_Rion\\_Antirion\\_Bridge\\_Concept\\_Design\\_and\\_Construction?email\\_work\\_card=view-paper](https://www.academia.edu/13980804/The_Rion_Antirion_Bridge_Concept_Design_and_Construction?email_work_card=view-paper)  
[https://www.researchgate.net/publication/268591718\\_Design\\_and\\_Construction\\_of\\_the\\_Rion\\_Antirion\\_Bridge](https://www.researchgate.net/publication/268591718_Design_and_Construction_of_the_Rion_Antirion_Bridge)



fino a 2 m in qualsiasi direzione, orizzontalmente e/o verticalmente. Sopra alle fondazioni così realizzate, verrà posata la struttura GBS (*Gravity-Based Structure*) di sostegno dei piloni del ponte. Tale tecnica è ampiamente utilizzata non solo nell'industria petrolifera<sup>292</sup> e del gas sin dai primi anni '70, ma anche nella realizzazione dei ponti a grande luce<sup>293</sup>, così come riferito nel capitolo 5.

Nella Figura 7-6 e Figura 7-7 sono riportate viste prospettiche del ponte a tre campate da 1380 m, rispettivamente dalla costa calabra e da quella siciliana. I piloni di terra sono ipotizzati uno a Punta Pezzo in Calabria e l'altro a Sant'Agata in Sicilia per evitare di dover realizzare un viadotto con piloni in mare e per consentire la navigazione in sicurezza sotto tutte le campate.

La Figura 7-8 rappresenta l'estremità del ponte lato Sicilia.



Figura 7-6 Ponte a tre campate– Vista da Villa San Giovanni

<sup>292</sup> [https://www.kvaerner.com/wp-content/uploads/2019/04/Concrete\\_2014\\_eng\\_final.pdf](https://www.kvaerner.com/wp-content/uploads/2019/04/Concrete_2014_eng_final.pdf)

<sup>293</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=sOH64HsKyVc&t=1s>,  
[https://www.youtube.com/watch?v=7s2l7Uq\\_oZ4](https://www.youtube.com/watch?v=7s2l7Uq_oZ4)  
<https://www.youtube.com/watch?v=Pst-v4ldgmU&t=20s>  
<https://www.youtube.com/watch?v=LD2mwxMIkMQ>  
<https://www.youtube.com/watch?v=PxoNI6HabiA&t=424s>



Figura 7-7 Ponte strallato a tre campate – Vista da Messina



Figura 7-8 Ponte a tre campate – Vista estremità lato Sicilia

I piloni ipotizzati sono a portale, il sistema di sospensione è di tipo sospeso o strallato a semi ventaglio (*Cable-stayed bridge with semi-fan system*) o ibrido (sospeso e strallato).

I piloni di supporto sono ad “A”, ad “Y” rovesciata, ad “H” a seconda dei casi, con i cavi di sospensione e relativi pendini e gli stralli su piani paralleli, agganciati gli uni ai bordi dell’impalcato e gli altri centralmente, o viceversa.

Sul piano verticale, si hanno esempi di impalcato ad unico piano (sede stradale e ferroviaria allo stesso livello, come nel caso del citato 3° ponte sul Bosforo e del progetto del ponte a campata unica) o su due livelli separati (sede stradale al piano superiore e sede ferroviaria



al piano inferiore, come nel caso dei ponti cinesi sullo Yangtze River e del ponte Tsing Ma di Hong Kong): si considerano in questa sede entrambe le alternative di ponte con impalcato ad unico piano e a due piani, rinviando a successivi approfondimenti uno studio più dettagliato.

### 7.2.1 Ipotesi di ponte a 3 campate e impalcato a unico piano

La sezione è mutuata dal recente 3° ponte sul Bosforo (Yavuz Sultan Selim Bridge), che ha un impalcato costituito da una struttura ortotropa<sup>294</sup> semplificata per migliorarne l'aerodinamica, con due binari ferroviari al centro, autostrada a 3 corsie di marcia (riducibili a 2 per analogia con il progetto del ponte a campata unica), corsia di emergenza ai lati e passerelle di servizio agli estremi (Figura 7-9).

La larghezza dell'impalcato sarebbe dell'ordine di 50m, inferiore sia quella del progetto del ponte a campata unica, per eliminazione degli spazi vuoti tra le sezioni di impalcato ferroviario e stradali, che a quella del 3° ponte sul Bosforo, per riduzione del numero delle corsie stradali da 4 a 3 (Figura 7-10).

Per analogia con tale infrastruttura, le velocità massime consentite sarebbero di 160 km/h per i treni viaggiatori, di 80 km/h per i treni merci e di 120 km/h per i veicoli stradali.

Sul modello dello stesso 3° ponte sul Bosforo, potrebbero essere adottati piloni ad "A" e un sistema ibrido di sostegno, comprendente sia cavi di sospensione con pendini nella parte centrale dell'impalcato, lungo i limiti esterni della sede ferroviaria, sia stralli a semi-ventaglio agganciati ai bordi dell'impalcato<sup>295</sup>.

Tale sistema ibrido andrebbe tuttavia affinato, e la rigidità dell'impalcato incrementata, dato che nello Stretto di Messina tra Capo Peloro e Punta Pezzo i venti raggiungono e superano non di rado la soglia di velocità 100-120 km/h (rif. capitolo 3), per ridurre i periodi di sospensione della circolazione che nel caso del 3° ponte sul Bosforo è prevista:

- per il traffico stradale con venti superiori a 90 km/h,
- per il traffico ferroviario con venti superiori a 115 km/h.

<sup>294</sup> [http://www.dica.unict.it/users/prossi/Files/Files%20Ponti%202014-15/Lezione%2011%20Ponti%20\(L%27impalcato%20dei%20ponti%20a%20struttura%20mista\).pdf](http://www.dica.unict.it/users/prossi/Files/Files%20Ponti%202014-15/Lezione%2011%20Ponti%20(L%27impalcato%20dei%20ponti%20a%20struttura%20mista).pdf)  
<http://www.dica.unict.it/users/prossi/>

<sup>295</sup> [https://www.academia.edu/43132983/IJERT\\_Dynamic\\_Analysis\\_of\\_Cable\\_Stayed\\_Bridge\\_under\\_Moving\\_Loads\\_with\\_the\\_Effect\\_of\\_Corrosion\\_of\\_Cables?auto=download&email\\_work\\_card=download-paper](https://www.academia.edu/43132983/IJERT_Dynamic_Analysis_of_Cable_Stayed_Bridge_under_Moving_Loads_with_the_Effect_of_Corrosion_of_Cables?auto=download&email_work_card=download-paper)

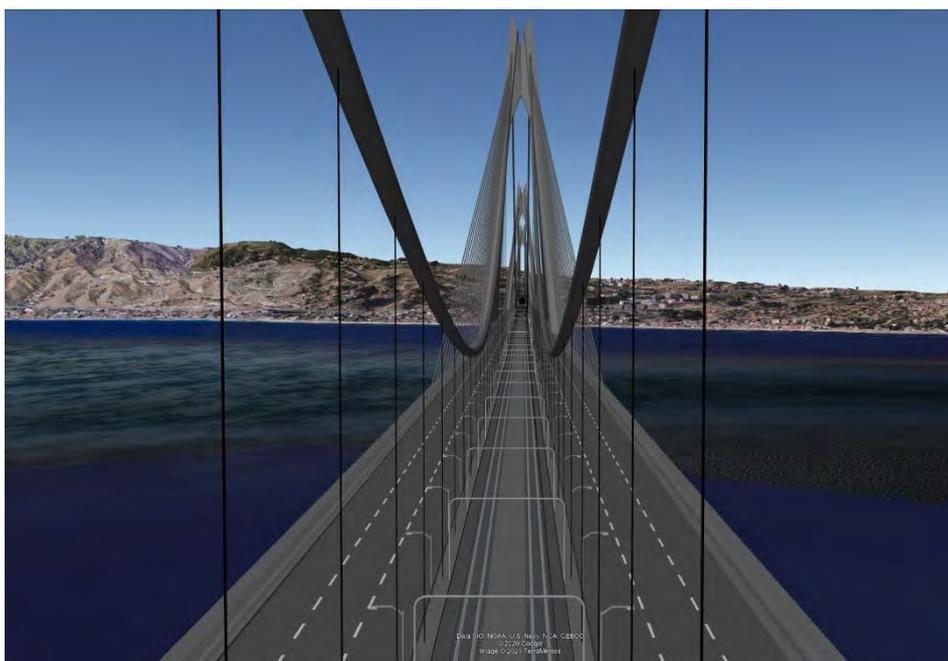


Figura 7-9 Ipotesi di ponte ibrido multicampata<sup>296</sup>

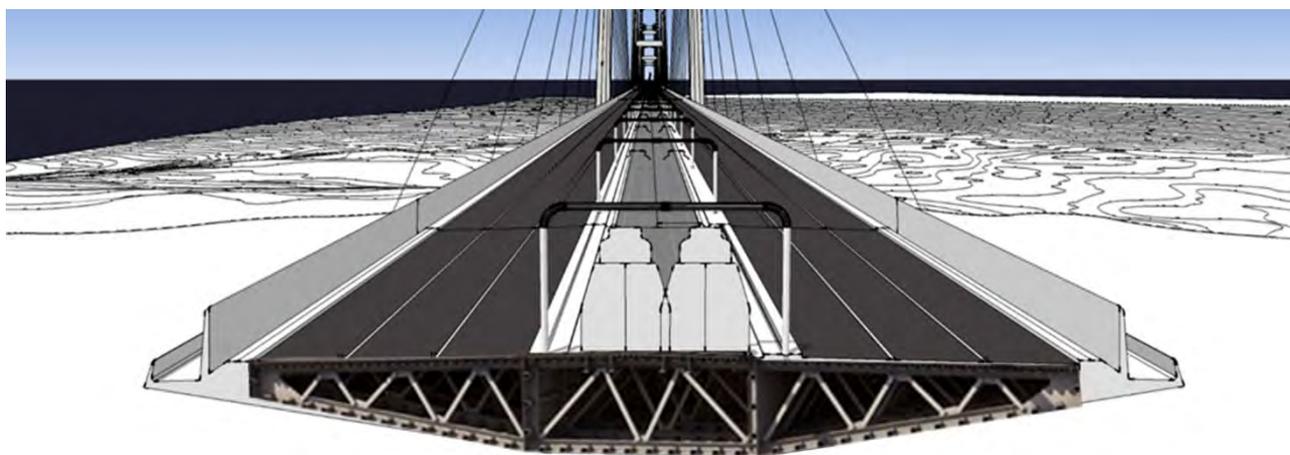


Figura 7-10 Sezione dell'impalcato del ponte ibrido multicampata ad unico piano

## 7.2.2 Ipotesi di ponte a 3 campate e impalcato a due piani

La sezione a due livelli – sede stradale al piano superiore e sede ferroviaria a quello inferiore – era già presente in alcuni dei progetti premiati nel concorso di idee per l'attraversamento stabile dello Stretto citato (1969), in particolare dal gruppo Ponte di Messina e dal gruppo Calini-Montuori-Pavlo, sia pure adottando tipologie totalmente differenti (Figura 7-11).

<sup>296</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=DDJ5PqodiXw>

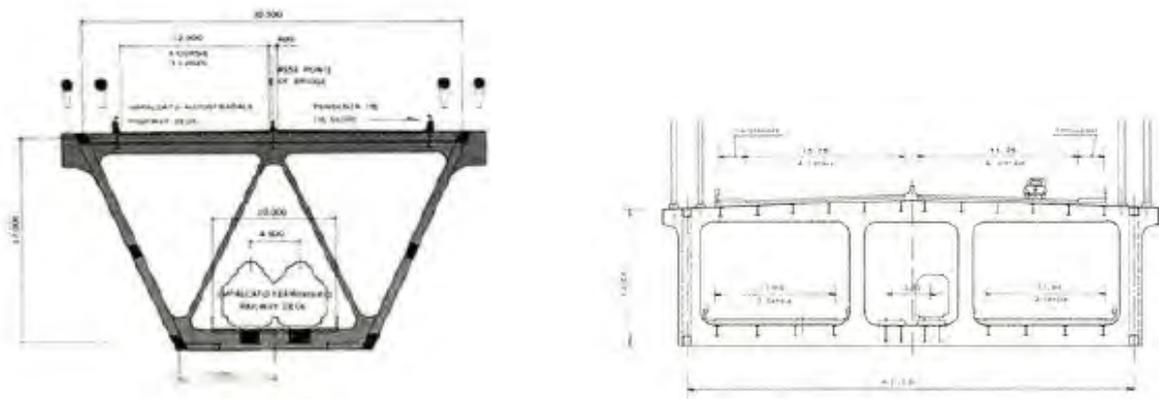


Figura 7-11 Gruppo Ponte di Messina / Gruppo Calini-Montuori-Pavlo

Le recenti realizzazioni di ponti misti stradali e ferroviari in Cina (attraversamenti dello Yangtze River) sono per la quasi totalità a due livelli, anche replicando la stessa struttura con varianti minime.

L'impalcato – sospeso o strallato a seconda dei casi – ha sezione rettangolare o trapezoidale, e struttura metallica scatolare a traliccio, in favore di leggerezza e rigidità. I vari casi presentano 4/6 corsie autostradali al livello superiore e 4 binari ferroviari per velocità anche fino a 200km/h o in alternativa 2 binari ferroviari e 2 corsie stradali) al livello inferiore.

Senza escludere tale tipologia, si ritiene possibile considerare anche una soluzione mutuata dal ponte Tsing Ma di Hong Kong (Figura 7-12 e

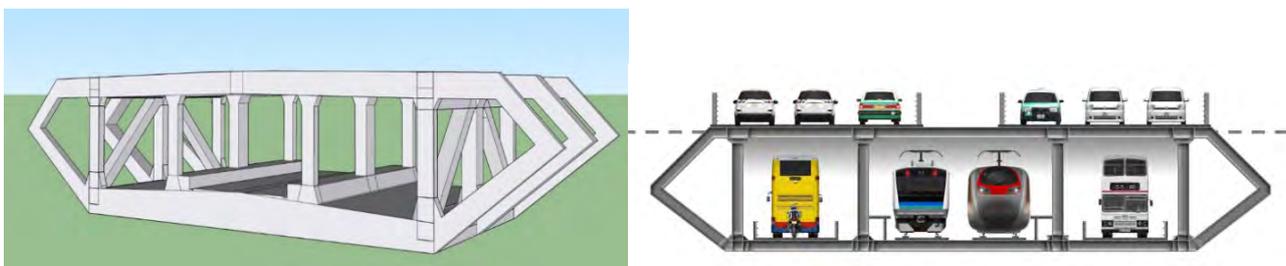


Figura 7-13), opera già menzionata nel precedente capitolo 5.

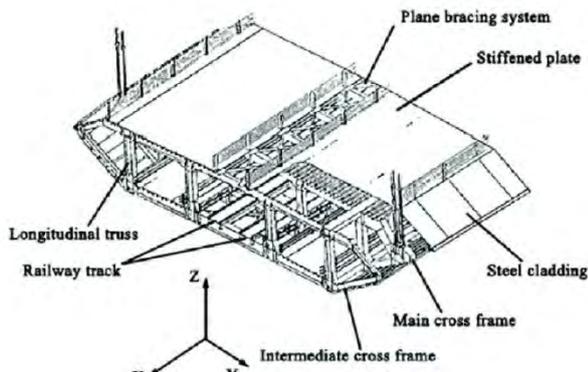


Figura 7-12 Ponte Tsing Ma – Concio di impalcato

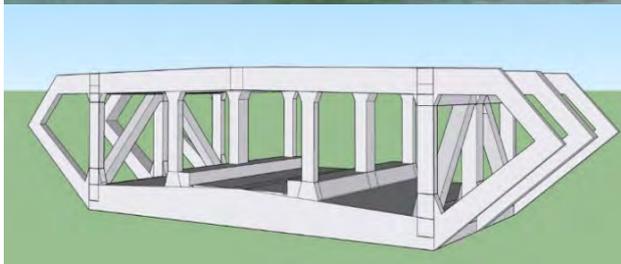
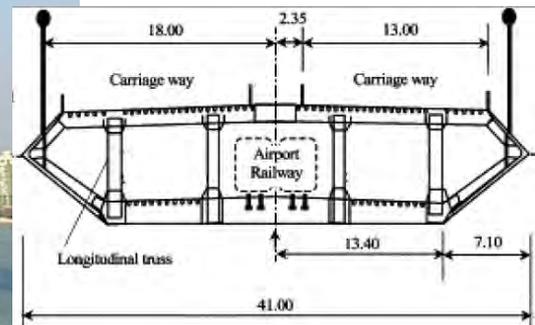


Figura 7-13 Ponte Tsing Ma – Vista e sezioni trasversali

L'impalcato ha un una sezione scatolare esagonale di larghezza 41m e altezza 7,6m, è rivestita con pannelli in acciaio inossidabile, ad eccezione di una fascia longitudinale al centro del piano superiore aperta per il ricambio d'aria. La struttura è prefabbricata in moduli standard di 18m di lunghezza.

In base ai test in galleria del vento su modello la stabilità aerodinamica dell'impalcato<sup>297</sup> è

<sup>297</sup> (Michael CH HUI, Doris YAU. Major bridge development in Hong Kong, China<sup>297</sup> - past, present and future. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 2011, 5(4): 405-414). <http://academic.hep.com.cn/fsce/article/2011/2095-2430/1990>

garantita fino alla velocità del vento estrema<sup>298</sup> 342 km/h.

La sezione è prevista:

- al livello superiore per autostrada a 3 corsie di marcia per direzione (equivalenti a 2 corsie più corsia di emergenza per analogia con il progetto del ponte a campata unica),
- al livello inferiore per 2 binari ferroviari centrali e 1 corsia stradale laterale per senso di marcia, per manutenzione e di emergenza con limite di velocità pari a 50 km/h.

La velocità massima di progetto del traffico stradale al piano superiore è di 100 km/h mentre quella del traffico ferroviario è di 135 km/h.

In base alle disposizioni del *Transport Department* del Governo di Hong Kong<sup>299</sup>, il piano superiore dello Tsing Ma Bridge viene chiuso e tutti i veicoli stradali sono deviati verso il piano inferiore quando la velocità media del vento supera i 75 km/h per più di 10 minuti, ma non supera i 165 km/h. Oltre tale valore, viene chiuso il traffico stradale anche al piano inferiore, mentre quello ferroviario continua sino ad ordine contrario dell'autorità di controllo<sup>300</sup>.

La larghezza dell'impalcato dovrebbe essere aumentata di circa un metro per garantire l'interbinario minimo di 4m in conformità alle STI Europee. Inoltre, sarebbe possibile rivedere la posizione dei piloni in mare in funzione delle caratteristiche del sottosuolo (non necessariamente le tre campate dovranno avere uguale lunghezza) (Figura 7-14).

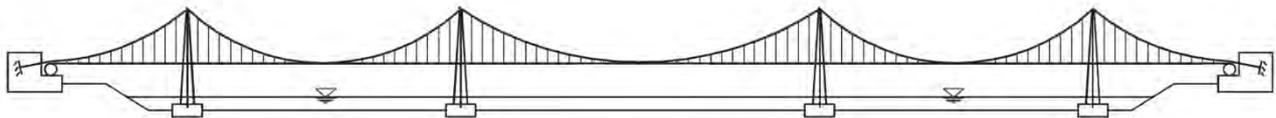


Figura 7-14 Ponte sospeso multicampata<sup>301</sup>

Il ponte è stato pensato a 5 anziché a 3 campate per evitare di realizzare enormi blocchi di amarro dei cavi principali nelle vicinanze delle rive. In tal modo si è cercato di ridurre l'impatto ambientale spostando i blocchi di amarro in luoghi ambientalmente meno invasivi e contemporaneamente è stata ridotta la dimensione delle campate che è diventata comparabile con quelle dei ponti ferroviari esistenti.

<sup>298</sup> THE BRIDGE ENGINEERING 2 CONFERENCE - Polly Pui Yu Ng - Proceedings of Bridge Engineering 2 Conference 2007 27 April 2007, University of Bath, Bath, UK <https://silo.tips/download/the-bridge-engineering-2-conference#>

<sup>299</sup> [https://www.td.gov.hk/en/publications\\_and\\_press\\_releases/publications/free\\_publications/driving\\_in\\_the\\_tsing\\_ma\\_control\\_area/](https://www.td.gov.hk/en/publications_and_press_releases/publications/free_publications/driving_in_the_tsing_ma_control_area/)

<sup>300</sup> [https://www.researchgate.net/publication/226514591\\_Running\\_safety\\_analysis\\_of\\_a\\_train\\_on\\_the\\_Tsing\\_Ma\\_Bridge\\_under\\_turbulent\\_winds](https://www.researchgate.net/publication/226514591_Running_safety_analysis_of_a_train_on_the_Tsing_Ma_Bridge_under_turbulent_winds)

<sup>301</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X13002058>



Figura 7-15 Ipotesi di ponte sospeso multicampata con impalcato a due piani<sup>302</sup>

Con questa soluzione, si mantengono le caratteristiche geometriche del sistema descritte in precedenza, l'unica sostanziale modifica – oltre all'impalcato – riguarda il sistema di sospensione e di conseguenza la configurazione dei piloni (

Figura 7-15). I cavi di sospensione e i relativi pendini sono agganciati in corrispondenza del bordo esterno dell'impalcato, comportando l'impiego di piloni di forma aperta ad "H". Per ridurre le flessioni dell'impalcato, una eventuale maggiore rigidità della struttura potrebbe essere ottenuta con una struttura ibrida, attraverso l'installazione di stralli centrali di irrigidimento in vicinanza dei piloni. Per ridurre il peso della struttura, il rivestimento dell'impalcato potrebbe essere realizzato con materiali più leggeri dell'acciaio inossidabile, però la scelta deve essere oculata per evitare successivi onerosi problemi manutentivi durante la vita del ponte.

Analogamente a quanto fatto per il Rion Antirion Bridge, le fondazioni delle strutture GBS offshore dovrebbero essere poggiate su delle basi di ghiaione di grossa granulometria, al di sotto del quale il terreno dovrebbe essere consolidato con centinaia di lunghi tubi di acciaio cavi di circa 2 m di diametro (Figura 7-16). Il ponte Rion Antirion è stato progettato per sopportare possibili movimenti di faglia fino a 2 m in qualsiasi direzione, orizzontalmente e/o verticalmente.

<sup>302</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=VqD91irqi0E&t=1s>, <https://youtu.be/vi5MwNNgP2Y> e <https://youtu.be/C8vxg-jSK8M>

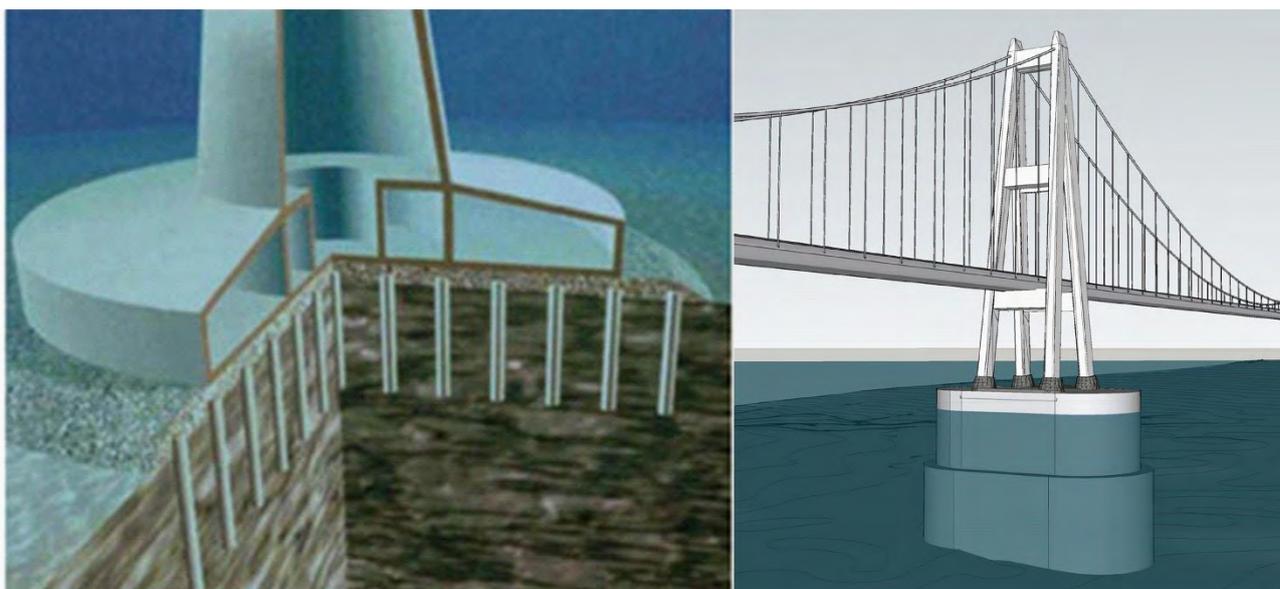


Figura 7-16 Ipotesi di fondazioni GBS mutuata dal Rion Antirion Bridge<sup>303</sup> e dall’Akashi-Kaikyo Bridge<sup>304</sup>

### 7.2.3 Ipotesi di ponte solo stradale a due campate

Una soluzione alternativa al ponte misto, non paragonabile al progetto di ponte a campata unica, sarebbe un ponte solo stradale, nel qual caso l’attraversamento stabile ferroviario sarebbe e realizzato con tunnel sottomarino analogamente al Great Belt Fixed Link<sup>305</sup> già citato nel capitolo 5.

Nel caso di un ponte solo stradale, questo potrebbe mantenere la configurazione a 3 campate, o in alternativa assumere quella a 2 campate con un solo pilone a mare, lungo la stessa direttrice già individuata per il ponte stradale e ferroviario a tre campate.

In entrambi i casi, con riferimento a opere recenti realizzate o in corso di realizzazione, la campata principale (delle 3 previste da 1380m circa), o entrambe le 2 previste potrebbero avere lunghezza di 2.000m circa, già raggiunta nei casi citati nel capitolo 5 del ponte Akashi Kaikyo in Giappone (campata principale di 1.991 m) e del ponte 1915 Canakkale in Turchia (campata principale di 2.023 m). Nel caso del ponte a 2 campate, la profondità del mare lungo tale direttrice della Sella al centro dell’attraversamento è di 105 m circa. In questo caso il progetto di riferimento potrebbe essere quello del ponte a due campate per l’attraversamento del Sulafjorden.

<sup>303</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=dmwljpcPv0> e [https://www.youtube.com/watch?v=dQf\\_vE7tOlw](https://www.youtube.com/watch?v=dQf_vE7tOlw)

<sup>304</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=sOH64HsKyVc> e <https://www.youtube.com/watch?v=oPkC6dHEv4Y>

<sup>305</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Belt\\_Fixed\\_Link](https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Belt_Fixed_Link)



Dai suddetti progetti potrebbero essere mutuati i piloni e il sistema di ancoraggio delle funi, nonché la sezione dell'impalcato e il sistema di protezione da possibili collisioni con delle navi in transito.

Anche per questo tipo di ponte valgono le limitazioni di utilizzabilità già accennate in caso di forti venti.

#### **7.2.4 Allacci ferroviari del ponte a più campate**

In Sicilia il collegamento con Messina del ponte a più campate, il cui orientamento segue quello della Sella dello Stretto, ha uno sviluppo più breve di circa 5 km del corrispondente previsto nel progetto del ponte a campata unica, essendo il punto di arrivo di quest'ultimo situato più a nord-est (più lontano dal centro urbano, a est invece che a ovest del lago Ganzirri), e in quanto per la stazione viaggiatori "Messina Ponte" di attestamento della nuova linea si ritiene preferibile una posizione più baricentrica rispetto all'abitato (Figura 7-17), circa 1,5km più centrale, in linea con il progetto preliminare del ponte a campata unica e non con il progetto definitivo della stessa opera (rif. capitolo 6).

Tale localizzazione ha lo scopo non solo di evitare la riserva naturale di Capo Peloro, ma anche quello di favorire veloci interscambi tra i vari modi di trasporto (tram, bus, futura metropolitana, ecc.), e punta ad incrementare l'uso dei mezzi pubblici in ambito urbano e suburbano della città metropolitana, così come auspicato dagli accordi internazionali, europei e nazionali.

- Dalla nuova stazione denominata Messina Maregrossa inizierà sia la linea Messina-Catania, sia la linea Messina-Palermo e pertanto risulterà passante per il collegamento con la Calabria. Come tale la nuova stazione non necessiterebbe più degli spazi ausiliari per la sosta del materiale rotabile, non escludendo comunque la possibilità di attestare eventuali treni viaggiatori.



Figura 7-17 Possibili tracciati ferroviari, tranviari e metropolitani da realizzare a Messina (in nero le linee ferroviarie esistenti, in giallo l'ipotesi di nuova linea ferroviaria, in marrone l'ipotesi relativa alla "Gronda merci" da realizzare)

In tale posizione la nuova stazione potrebbe essere sia sotterranea (come auspicato dal Comune di Messina) sia in superficie come è attualmente la linea, dipendendo la scelta dall'assetto delle aree del *waterfront* attualmente occupate dagli impianti ferroviari di Messina Scalo / Messina Centrale / Messina Marittima.

Nel caso in cui si decidesse di realizzare la nuova stazione in sotterraneo, si dovrebbe prevederne la realizzazione in due fasi, realizzando in prima fase il camerone e le opere di accesso necessarie mantenendo in esercizio le attuali linee di superficie, che in seconda fase verrebbero in gran parte dismesse. Subito dopo sarà possibile la ricollocazione degli insediamenti esistenti e la realizzazione del nuovo assetto del *waterfront*.

In ogni caso per tutta la durata della costruzione dell'opera di attraversamento lo scalo di Messina Marittima (scalo di composizione e scomposizione treni passeggeri e merci da e per gli invasi ferroviari portuali) dovrà rimanere in servizio e probabilmente solo in fase di esercizio dell'opera di attraversamento si potrà verificare la possibilità della sua parziale dismissione.

Lo sviluppo minore del collegamento ponte-Messina (circa 13.3km invece di 18,5km), che potrebbe consentire un risparmio dell'ordine di 5 minuti nel tempo di percorrenza, rimane comunque compatibile con il limite di progetto della pendenza longitudinale assunto pari al 15% circa, per superare il dislivello tra quota del ponte all'altezza della linea costiera (circa 80m) e quota della stazione di attestamento a Messina (assunta in prima approssimazione a livello del mare).

I tracciati ferroviari viaggiatori e merci nell'ambito urbano di Messina dovrebbero rispettare il «*Modello delle infrastrutture di trasporto pubblico locale nelle aree metropolitane*» di RFI che prevede la separazione del traffico viaggiatori da quello merci. A tale scopo per i treni merci si propone la realizzazione di un percorso dedicato mediante un raccordo (“gronda”) dalla linea di adduzione all'attraversamento stabile, in direzione parallela alla costa fino ad innestarsi con la linea Messina-Catania a Contesse, così come previsto nel progetto definitivo del Ponte a Campata unica e con la galleria dei Peloritani con un bivio bidirezionale nord (Palermo) in tal modo escludendo Messina Centro e Messina Maregrossa dal transito dei treni merci.



Figura 7-18 Ipotesi di Terminal Intermodale Contesse e stazione merci Pistunina-Tremestieri

Il servizio ferroviario merci della città di Messina potrebbe essere svolto in località Contesse e Pistunina con la realizzazione di un Terminal intermodale a Contesse e una stazione merci a Pistunina-Tremestieri raccordate con l'autostrada A19-svincolo San Filippo.

Le nuove infrastrutture riutilizzerebbero le aree abbandonate di proprietà di RFI che in passato sono state adibite al servizio di sosta delle merci in attesa di traghettamento e un'area che in passato è stata utilizzata come parco auto nuove in vendita.

Nella Figura 7-18 sono state delimitate le aree dove potrebbe essere realizzato il Terminal intermodale Contesse:

- in verde l'area stradale collegata con la A20 tramite il viale San Filippo da completare con la copertura della omonima fiumara
  - lato sud (Pistunina) l'area stradale accettazione e parcheggio TIR e servizi connessi
  - lato nord (Contesse) il Terminal Intermodale dotato di più gru a portale a servizio del fascio binari

- in giallo la stazione merci Pistunina-Tremestieri dotata di un fascio binari di arrivo e partenza merci per treni da 750 m che percorreranno il corridoio TEN-T Scandinavo-Mediterraneo dovrà essere in grado di svolgere oltre al ricevimento treni anche le manovre dei treni a supporto dell'ipotizzato Terminal intermodale di Contesse.

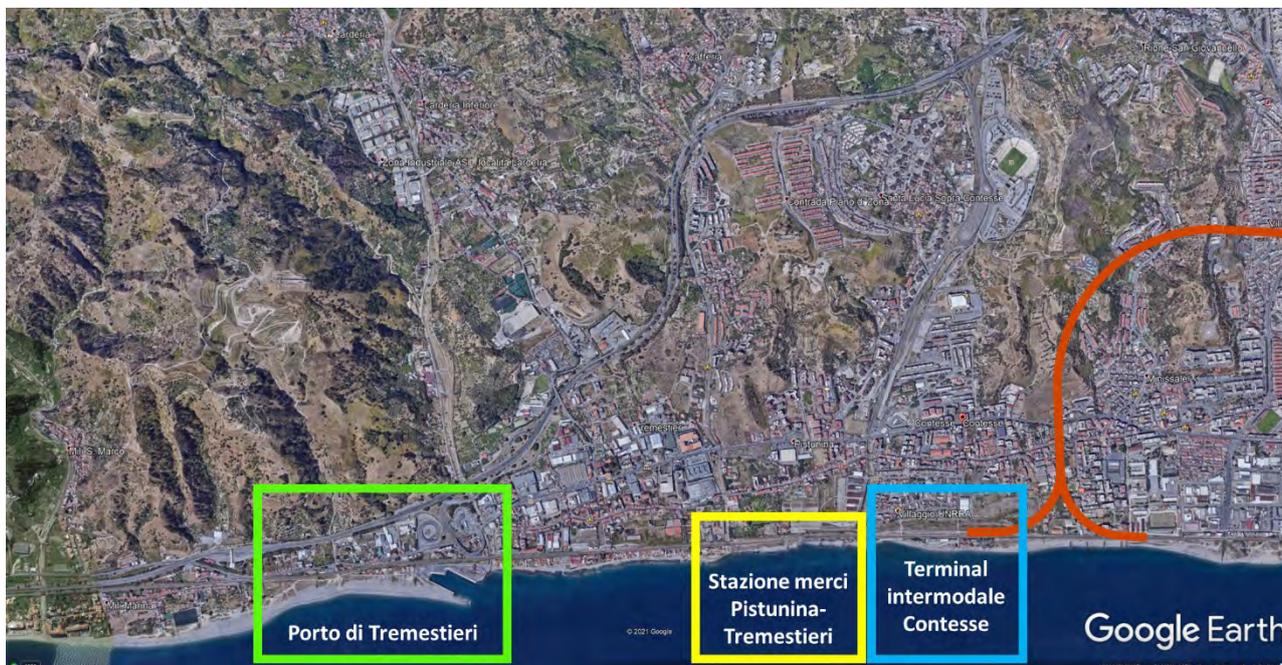


Figura 7-19 Porto di Tremestieri e ipotesi di Terminal Intermodale Contesse e stazione merci Pistunina-Tremestieri

Nella Figura 7-19 sono riepilogate le infrastrutture a servizio del traffico merci, a seguito del completamento dei lavori dell'attraversamento stabile dello Stretto di Messina:

1. Porto di Tremestieri: imbarco-sbarco mezzi stradali sulle navi Ro-Ro
2. Terminal intermodale Contesse: imbarco-sbarco mezzi stradali sui treni merci
3. Stazione di Pistunina-Tremestieri gestione treni a supporto dell'ipotizzato Terminal intermodale di Contesse e ricevimento treni circolanti lungo il corridoio Scandinavo-Mediterraneo.

Attualmente sono in corso i lavori di costruzione della piattaforma logistica intermodale Tremestieri con annesso scalo portuale che prevede la realizzazione di un nuovo porto in grado di sostituire tutto il traffico attualmente gestito dalle navi che approdano nella Rada San Francesco (a nord del porto storico di Messina). Alla fine dei lavori del nuovo porto di Tremestieri, avviati nell'agosto del 2018 e di durata prevista in circa due anni<sup>306</sup>, tutto il gommato, pesante e leggero, dovrà lasciare il centro cittadino. La durata della concessione in uso dell'approdo della Rada San Francesco prevede rinnovi triennali.

<sup>306</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/111835>

Nella Figura 7-20 sono rappresentati i lavori di costruzione della piattaforma logistica intermodale con annesso scalo portuale. Al centro il progetto del nuovo porto di Tremestieri in fase di realizzazione, in alto a destra il porto esistente<sup>307</sup>

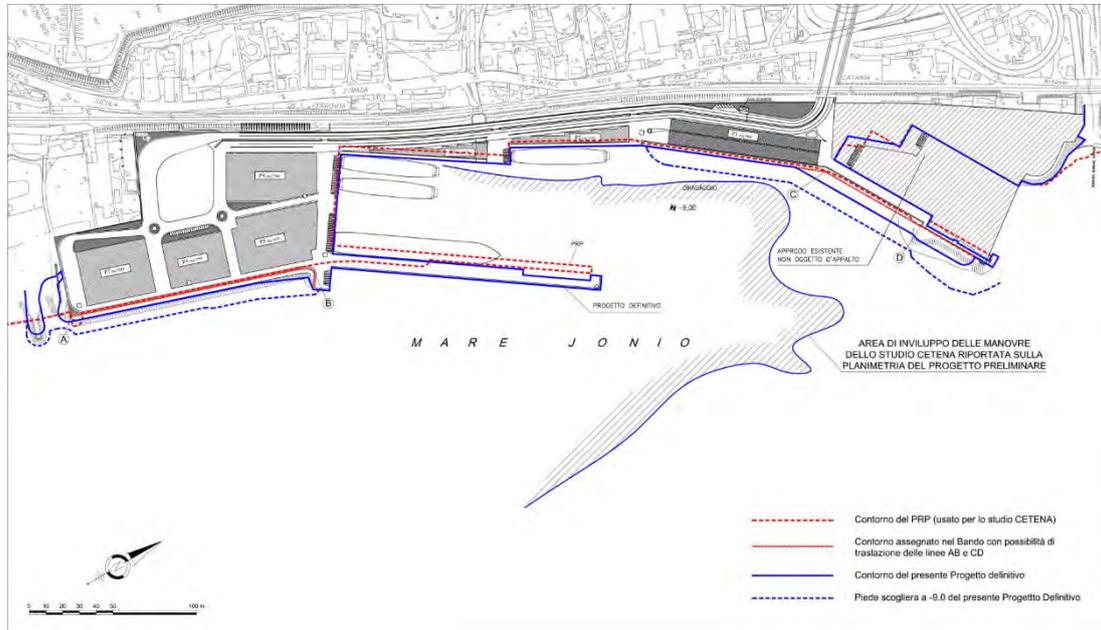


Figura 7-20 Porto di Tremestieri

Pertanto, sino a che non verrà realizzato l'attraversamento stabile dello Stretto, il traghettamento di tutto il gommato dovrà avvenire tra il nuovo porto di Tremestieri e il Porto di Reggio Calabria, con conseguente allungamento dei tempi di attraversamento. I viaggiatori e i treni continueranno ad utilizzare il porto storico di Messina. In caso di

<sup>307</sup> <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1397/1931?pagina=16>



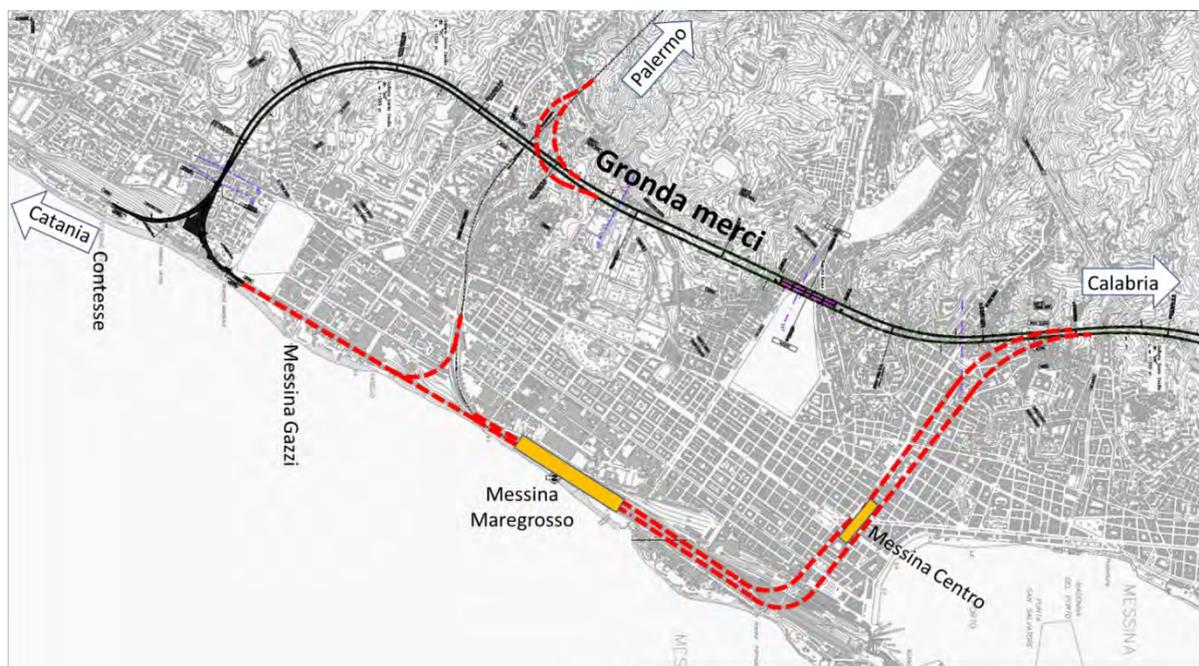
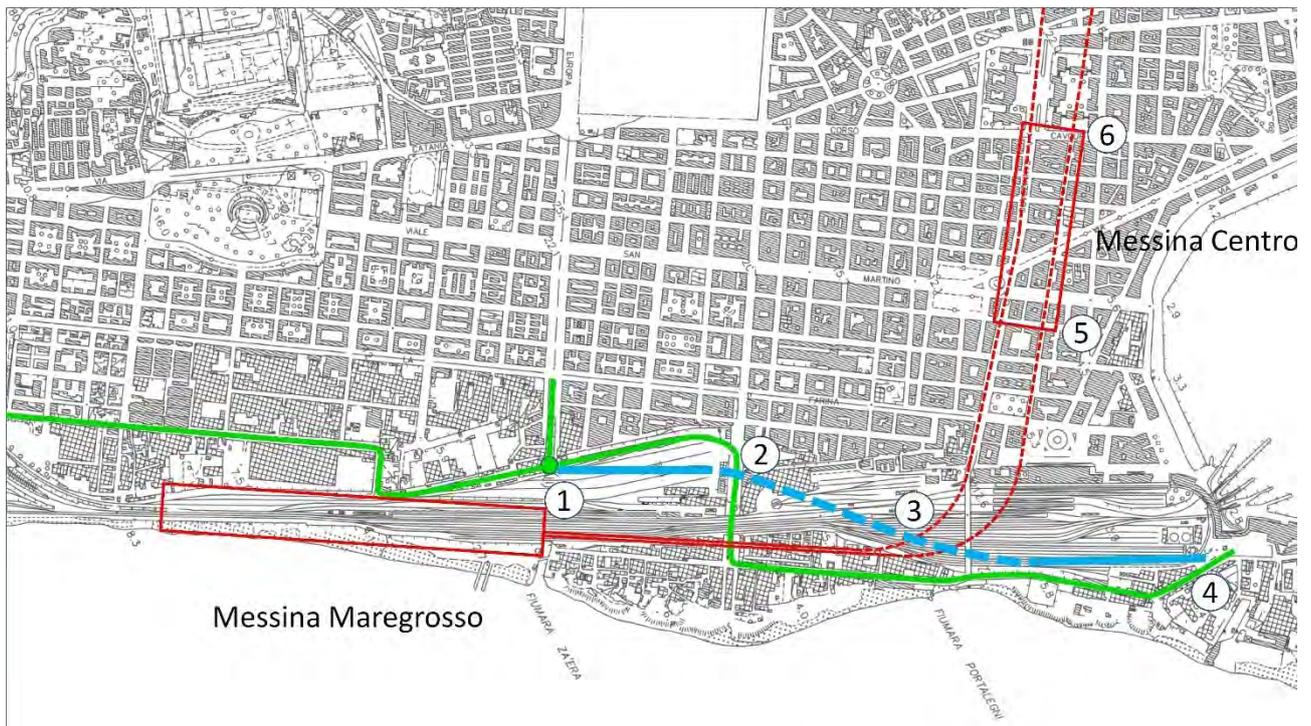


Figura 7-22 Nuova Gronda merci, stazione Messina Maregrossso e fermata Messina Centro

I treni in partenza dalla nuova stazione di Messina Maregrossso, subito dopo il ponte sul torrente Zaera (Viale Europa), proseguirebbero in discesa (pendenza del 15‰) parallelamente alla via Don Blasco e agli attuali binari.

La galleria a doppia canna, dopo aver sottopassato gli attuali binari di Messina Centrale, sottopasserà via Tommaso Cannizzaro (binario pari) e via Del Vespro (binario dispari), lungo le quali, tra Piazza Cairoli e Piazza Pugliatti, sarebbe realizzata la nuova fermata Messina Centro (Figura 7-22).

Bisogna tenere in considerazione il progetto della “Via del Mare” che collegherà viale Gazzi con il porto di Messina (linea verde). Per non creare interferenze con l’ipotesi di tracciato ferroviario (linea rossa) è necessario realizzare una variante di tracciato alla “Via del mare” (Figura 7-23).



Nuovo tracciato ferroviario Messina	1- Ponte Zaera	2- Via S. Cecilia	3-inizio galleria	5-Inizio marciapiedi fermata Cairoli Università	6-Fine marciapiedi fermata Cairoli Università	Variante via del Mare	1- Ponte Zaera	2- Via S. Cecilia e inizio galleria stradale	3-Punto incrocio strada ferrovia	4-Fine galleria stradale	4-Messina Marittima
Progressiva (m)	0,00	385,00	780,00	1300,00	1.700,00	Progressiva (m)	0,00	385,00	780,00	1062,07	1.370,00
Distanze parziali (m)	0,00	385,00	780,00	520,00	400,00	Distanze parziali (m)	0,00	385,00	395,00	282,07	307,93
Quota ferro slm (m)	6,54	0,77	-5,16	-9,00	-9,00	Quota strada slm (m)	7,00	-3,94	-15,16	-6,00	4,00
Pendenze ‰	0,00	-15,00	-15,00	-7,38	0,00	Pendenze ‰	0,00	-28,41	-28,41	32,47	-220,06
Quota terreno (m)	6,54	2,24	5,00	10,00	17,00	Quota terreno (m)	7,00	5,00	5,00	4,00	4,00
Copertura (m)		1,48	10,16	19,00	26,00	Copertura (m)	-	8,94	20,16	10,00	-

Figura 7-23 Tracciato compreso tra la stazione di Messina Maregrossa e la fermata di Messina Centro (linee rosse) Via del mare (linea verde), ipotesi di variante di via del mare (linea celeste)

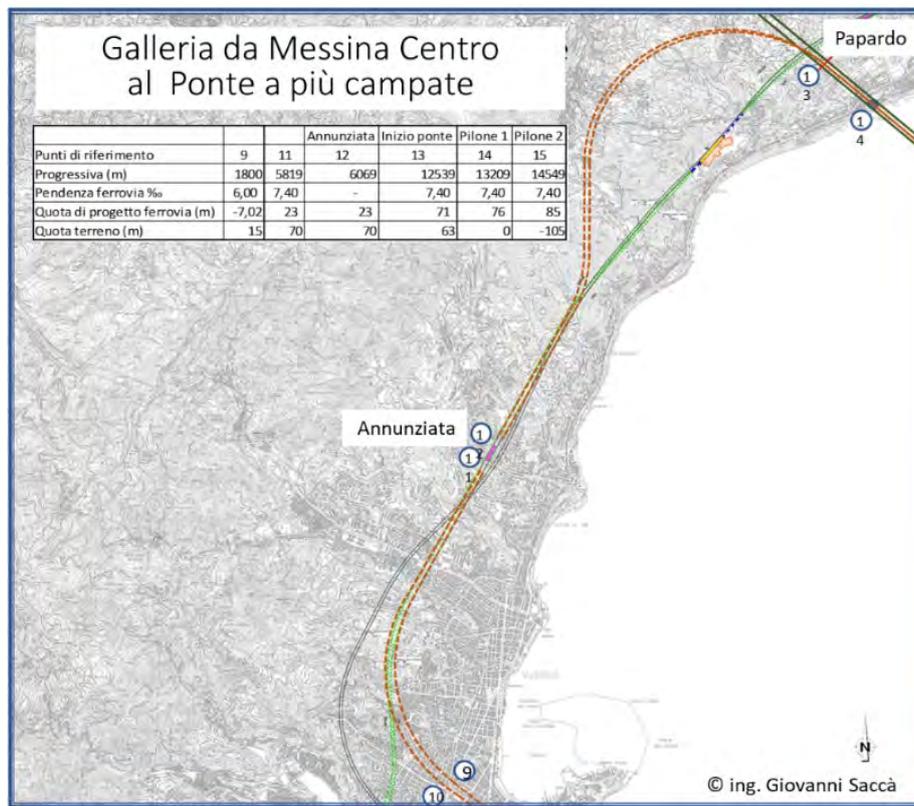


Figura 7-24 Collegamento ferroviario del ponte a 3 campate lato Sicilia – Stazioni Annunziata e Papardo

Lungo il tracciato, tra Messina e il ponte (Figura 7-24), sono quindi previste tre fermate sotterranee, consentendo l'utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria anche come sistema di trasporto metropolitano, rispettivamente Messina Centro (analoga alla fermata Messina Europa del progetto definitivo del ponte a campata unica, ma meno profonda) Annunziata (analoga alla corrispondente stazione del progetto citato), e Papardo (stazione collocata in adiacenza al ponte a 3 campate e in prossimità degli istituti universitari di ingegneria, parzialmente in superficie, con funzioni anche di posto di movimento). La stazione Papardo sarebbe accessibile da via Messina e da via Contrada di Dio, a differenza del progetto del ponte a campata unica in cui sarebbe accessibile da Viale Stagno d'Alcontres.

In Calabria il tracciato è interamente sotterraneo (pendenza massima 10‰), fino all'innesto nella linea costiera Reggio Calabria-Battipaglia, previsto in località Cannitello, a nord di Villa San Giovanni, attraverso un bivio a due rami rispettivamente verso sud (direzione Reggio Calabria) e verso nord (direzione Battipaglia), in modo che i treni diretti a Reggio Calabria possano servire con un'unica linea tutte le località dello Stretto della costa calabrese. In questo modo è possibile realizzare un servizio metropolitano. La prima stazione lato Sud sarà Villa San Giovanni, e proseguendo verso Reggio Calabria lungo la linea esistente si incontreranno le stazioni/fermate di Catona, Gallico, Archi, Pentimele, S. Caterina, Reggio Calabria Lido e Reggio Calabria Centrale.

La presenza, nella programmazione nazionale, dell'intervento linea AV/AC Salerno-Reggio Calabria ha condotto a una configurazione di progetto integrante l'allaccio al ponte sia con

la linea costiera tirrenica come sopra descritto che con la futura linea AV/AC, prevedendo apposita diramazione in galleria. In assenza della realizzazione della nuova linea AV/AC tra Gioia Tauro e Villa San Giovanni, i treni diretti verso nord proseguirebbero utilizzando l'attuale linea ferroviaria.

Il tracciato ferroviario del ponte a più campate con i collegamenti in prosecuzione a terra alle linee esistenti è rappresentato in Figura 7-25, Figura 7-26 e Figura 7-27.

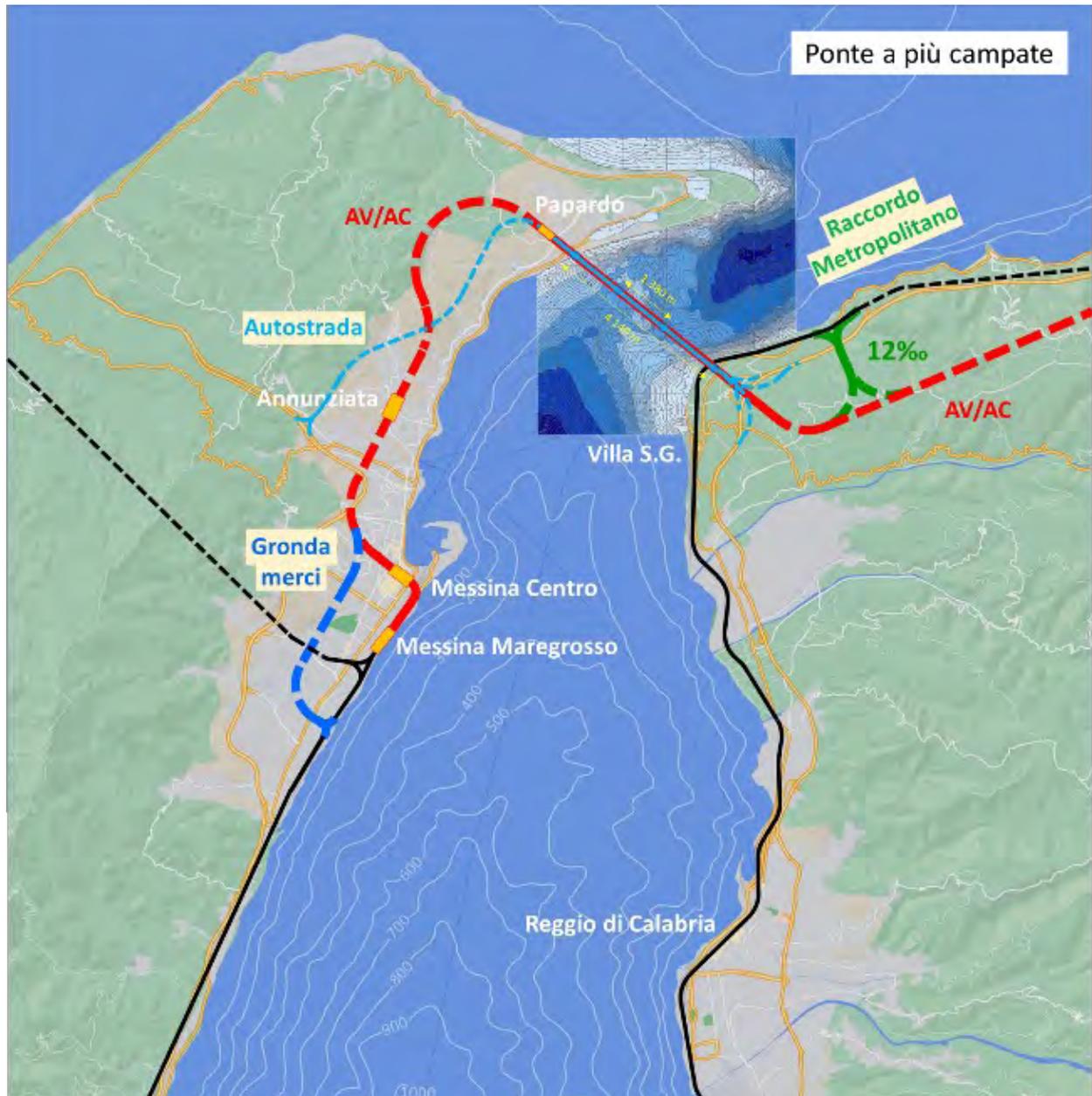


Figura 7-25 Ponte a più campate – Tracciati ferroviari- Planimetria

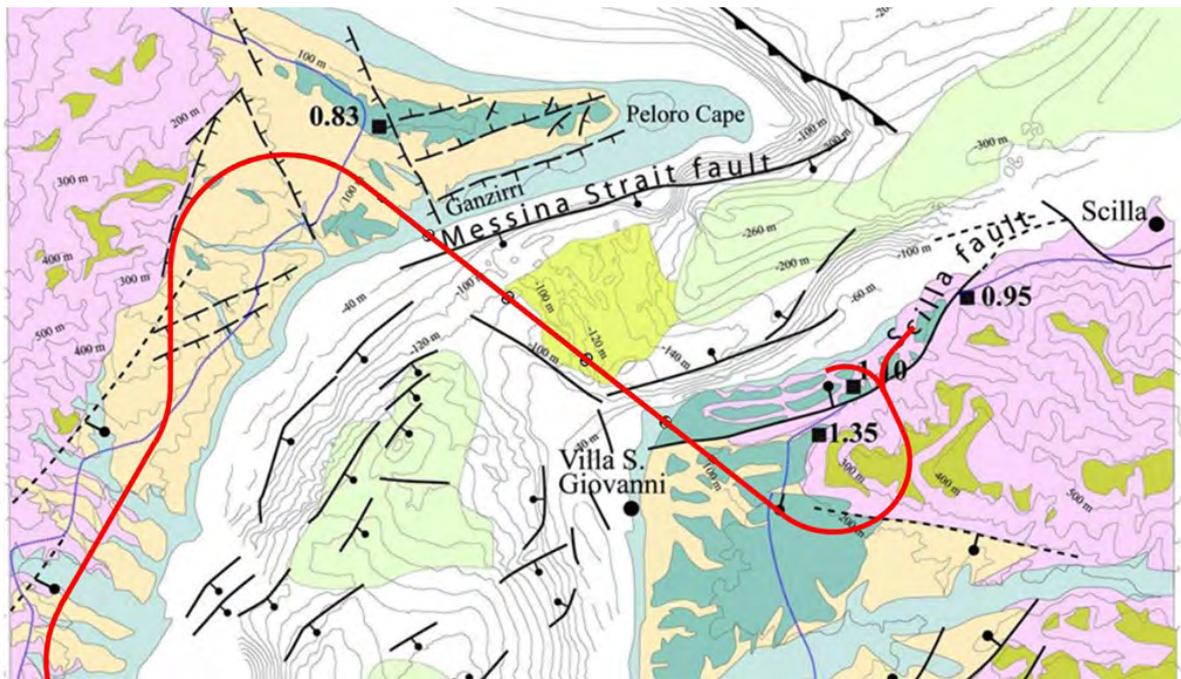
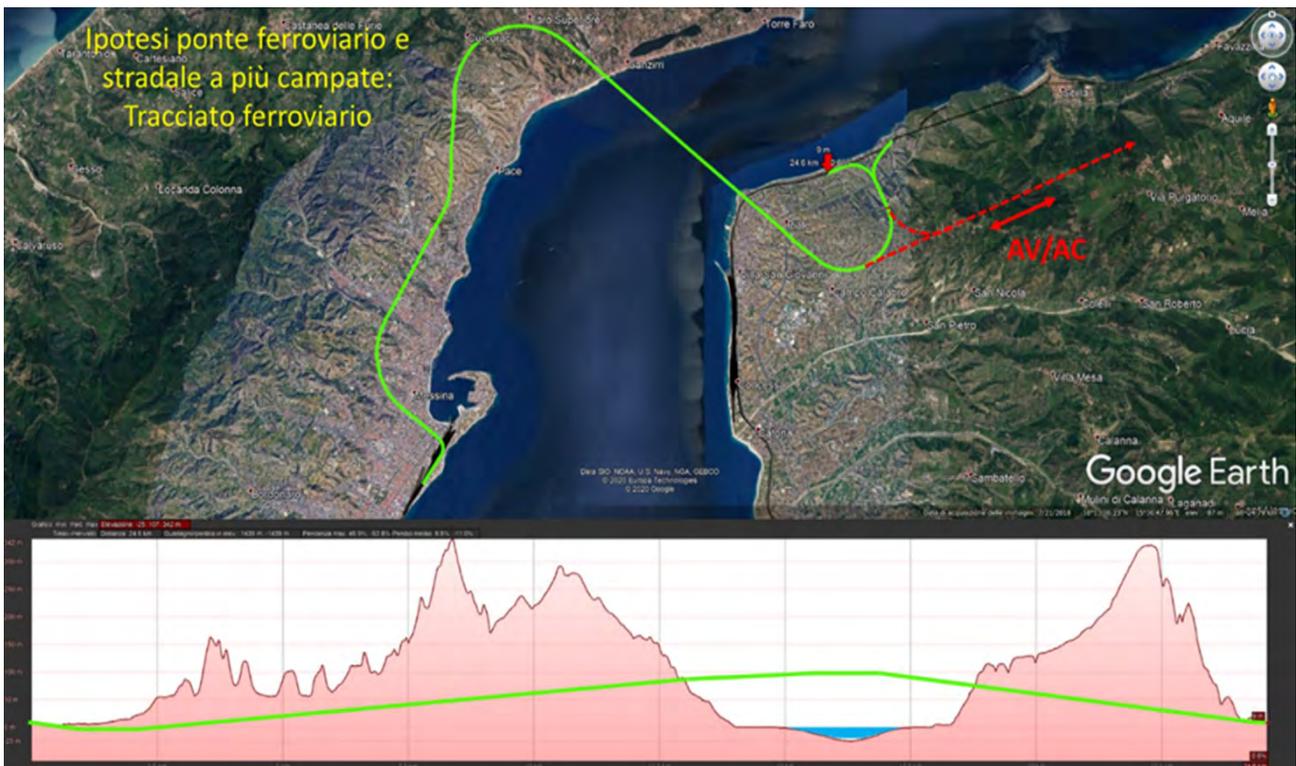


Figura 7-26 Mappa geologica dell'area dello Stretto con sovrapposto il tracciato di massima del ponte a più campate.



2 - 2	Ponte Zaera	inizio galleria	Messina Centro	Stazione Annunziata	Stazione Papardo	Fine galleria	Inizio ponte	Asse pilone 1	Asse pilone 2	Asse pilone 3	Asse pilone 4	Fine ponte	Inizio galleria	Bivio Cannitello	Fine galleria	Bivio Cannitello Sud	
Progressiva (m)	-	780	1.700	6.080	13.000	13.100	13.330	14.000	15.340	16.680	18.020	18.690	18.800	23.400	24.500	24.800	
Distanze parziali (m)	-	780	920	4.380	6.920	100	230	670	1.340	1.340	1.340	670	110	4.600	1.100	300	
Quota ferro slm (m)	6,54	- 5,16	- 7,02	23,00	69,33	70,00	71,54	76,03	85,00	85,00	72,16	65,73	64,68	20,59	9,91	7,00	
Pendenze ‰	-	- 15,00	- 2,02	6,85	6,70	6,70	6,70	6,70	6,70	- 0,00	- 9,59	- 9,59	- 9,59	- 9,59	- 9,70	- 9,70	
Quota terreno (m)	6,54	5,00	13,00	66,00	80,00	71,46	63,00	-	- 105,00	- 110,00	-	59,00	82,00	109,00	7,00	7,00	
Percorso a raso (m)		-															
Percorso in galleria (m)		16.920															
Percorso su viadotto (m)		340															
Percorso su Ponte a 3 campate (m)		5.360															
Innesto Sicilia		780															
Bivi Calabria		2.400															
Attrezzaggio linea (m)										25.800							
Stazione a 4 binari con marciapiedi da 250 m												Annunziata		Dislivello (m)		43,00	
Stazioni a 4 binari con marciapiedi da 250 m												Papardo		Dislivello (m)		10,67	
Fermata con marciapiedi da 400 m												Cairolì-Università		Dislivello (m)		20,02	
Stazione 6 binari da 400 m												Messina Maregrossa					

Figura 7-27 Ponte a più campate -Tracciato ferroviario ramo Cannitello Sud – Caratteristiche plano-altimetriche e dati d'insieme

Si noti che il tracciato del ponte a più campate richiede una pendenza nettamente inferiore alla massima ammessa per le nuove linee ferroviarie (12,5‰). Lato Sicilia il tracciato può essere mantenuto intorno al 6,70‰ e tale valore può essere mantenuto analogo o inferiore per la “Gronda merci”. La pendenza del 15‰ interesserebbe solo un breve tratto in ambito urbano dove dovrebbero circolare normalmente solo treni viaggiatori. Tale valore potrebbe essere ridotto se venisse interrata la stazione di Messina Maregrossa. Lato Calabria la pendenza della nuova linea AV/AC in prosecuzione verso Gioia Tauro potrebbe essere realizzata ad un valore nettamente inferiore al 9,59‰ collegandola direttamente al ponte.

Nella Figura 7-28 è rappresentato in modo schematico il tracciato ferroviario di massima con indicate le distanze parziali, i raggi di curvatura, le progressive chilometriche, dati che



permettono una valutazione sommaria della velocità massima di tracciato e una stima dei tempi di percorrenza.

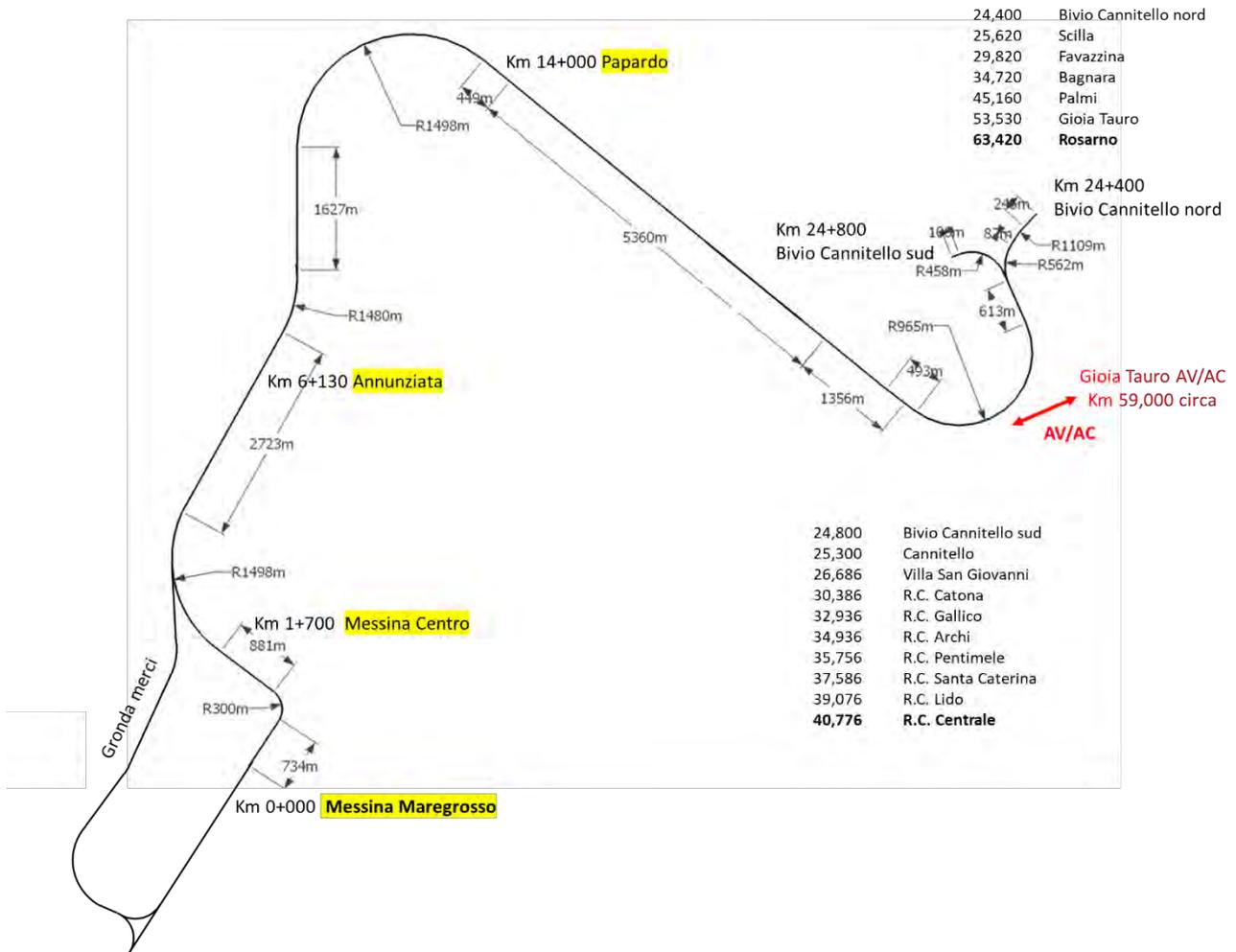


Figura 7-28 Ipotesi tracciato ferroviario del ponte a più campate

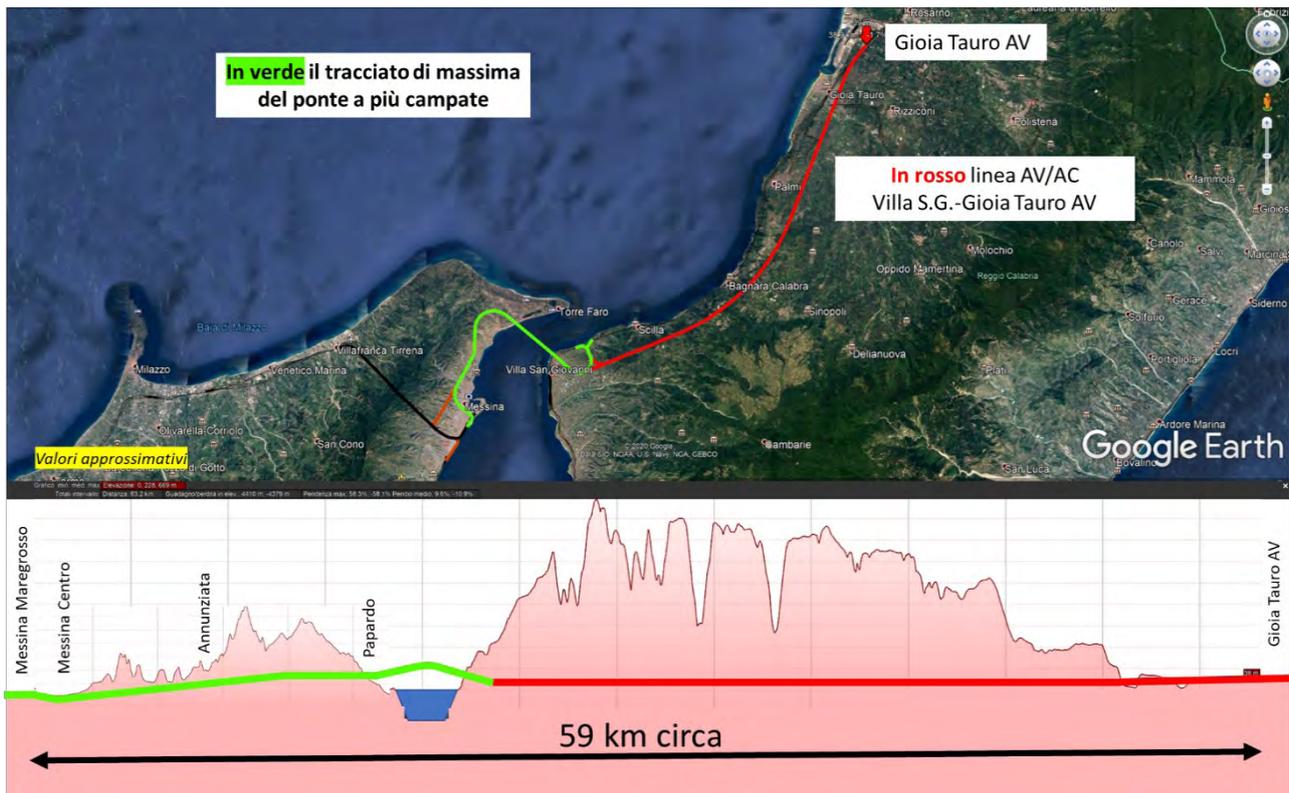


Figura 7-29 Ponte a più campate -Tracciato ferroviario da Messina a Gioia Tauro  
Caratteristiche plano-altimetriche

Sia lato Sicilia che lato Calabria le gallerie sono previste – in analogia al progetto del ponte a campata unica – a doppia canna singolo binario, collegamenti (by-pass) a prova di fumo ogni 500 m. Data la loro lunghezza, complessivamente più di 50km (Figura 7-29), saranno a sezione circolare per scavo meccanizzato a mezzo frese (TBM).

La mappa dei collegamenti ferroviari, relativa alla soluzione del ponte a più campate è riportata in Figura 7-30. Con linea rossa è indicata la possibile nuova linea AV/AC prevista in Calabria e con la linea arancione è indicata la possibile gronda merci.

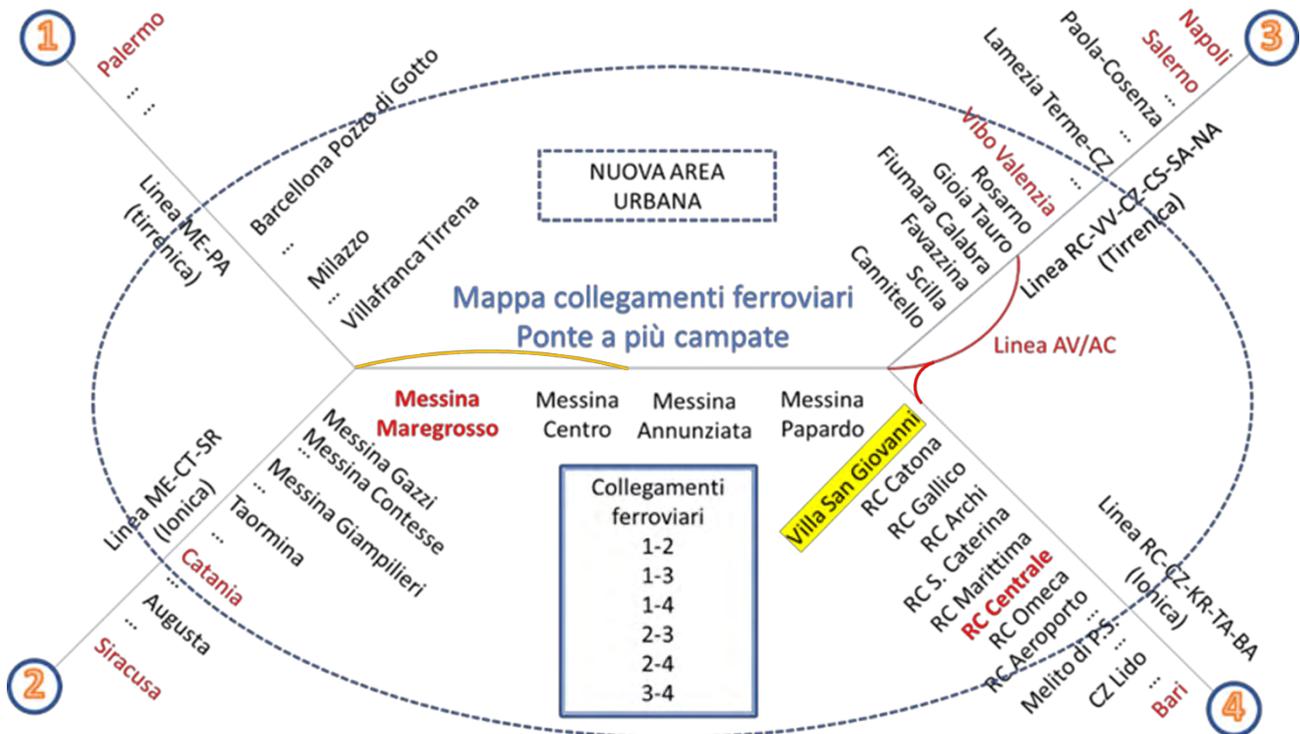


Figura 7-30 Mappa dei collegamenti ferroviari relativa alla realizzazione del ponte a più campate

A seguito della realizzazione dell'attraversamento stabile, i servizi ferroviari locali nell'area dello Stretto sarebbero potenziati secondo gli schemi riportati di seguito, validi per tutti e tre gli attraversamenti ipotizzati in corrispondenza della Sella. Nella Figura 7-31 è indicato il servizio ferroviario metropolitano e nella Figura 7-32 il servizio ferroviario interregionale.

Nella Tabella 7-1 sono riportate distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano del ponte a più campate e nella Tabella 7-2 i tempi di viaggio da Messina Marengrosso a Reggio Calabria Centrale.

Analogamente nella Tabella 7-3 e nella Tabella 7-4 distanze, tempi di percorrenza e tempi di viaggio da Messina Marengrosso a Rosarno.

Le successive Tabella 7-5, Tabella 7-6, Tabella 7-7, Tabella 7-8 riportano gli stessi dati relativamente al servizio ferroviario interregionale con il ponte a più campate.

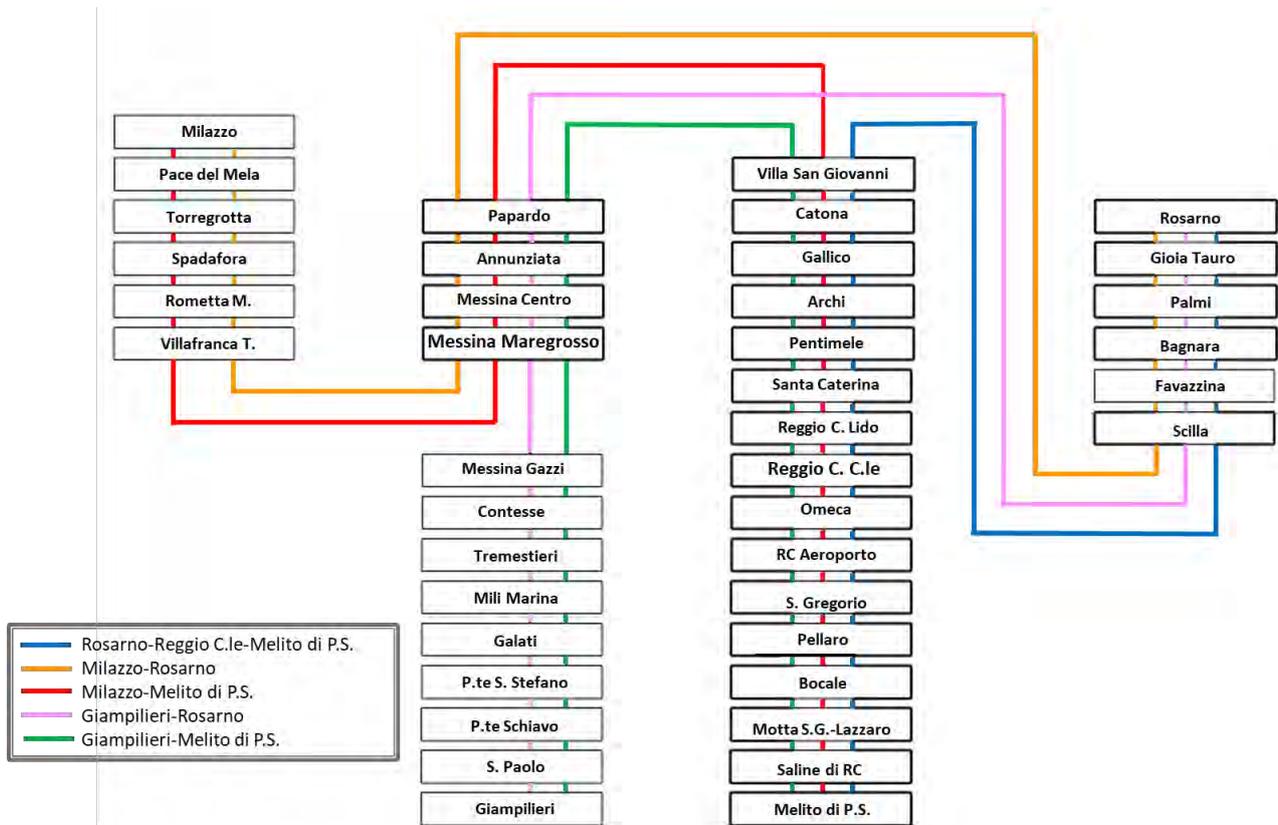


Figura 7-31 Ipotesi di Servizio ferroviario metropolitano dello Stretto con il ponte a più campate

Ponte a più campate Servizio Metropolitano Linee rossa e verde	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregrossso</b>	-	0	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Annunziata	6,130	4,330	65	00:04	00:01	00:07
Papardo	14,000	7,870	67	00:07	00:01	00:15
Villa S. Giovanni	26,686	12,686	63	00:12	00:01	00:28
Reggio Calabria Catona	30,386	3,700	74	00:03	00:01	00:32
Reggio Calabria Gallico	32,936	2,550	51	00:03	00:01	00:36
Reggio Calabria Archi	34,936	2,000	60	00:02	00:01	00:39
Reggio Calabria Pentimele	35,756	0,820	25	00:02	00:01	00:42
Reggio Calabria S. Caterina	37,586	1,830	37	00:03	00:01	00:46
Reggio Calabria Lido	39,076	1,490	45	00:02	00:01	00:49
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	40,776	1,700	20	00:05	00:00	00:55
<b>Totale</b>		40,776		00:45	00:10	

Tabella 7-1 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano da Messina Maregrossso a Reggio C. Centrale



Ponte a più campate Servizio Metropolitano Linee rossa e verde	Messina Maregrosso	Messina Centro	Annunziata	Papardo	Villa S.G.	Catona	Gallico	Archi	Pentimele	S. Caterina	R.C. Lido	Reggio C. Centrale
<b>Messina Maregrosso</b>		00:02	00:07	00:15	00:28	00:32	00:36	00:39	00:42	00:46	00:49	00:55
Messina Centro	00:02		00:05	00:13	00:26	00:30	00:34	00:37	00:40	00:44	00:47	00:53
Annunziata	00:07	00:05		00:08	00:21	00:25	00:29	00:32	00:35	00:39	00:42	00:48
Papardo	00:15	00:13	00:08		00:13	00:17	00:21	00:24	00:27	00:31	00:34	00:40
Villa S. Giovanni	00:28	00:26	00:21	00:13		00:04	00:08	00:11	00:14	00:18	00:21	00:27
Reggio Calabria Catona	00:32	00:30	00:25	00:17	00:04		00:04	00:07	00:10	00:14	00:17	00:23
Reggio Calabria Gallico	00:36	00:34	00:29	00:21	00:08	00:04		00:03	00:06	00:10	00:13	00:19
Reggio Calabria Archi	00:39	00:37	00:32	00:24	00:11	00:07	00:03		00:03	00:07	00:10	00:16
Reggio Calabria Pentimele	00:42	00:40	00:35	00:27	00:14	00:10	00:06	00:03		00:04	00:07	00:13
Reggio Calabria S. Caterina	00:46	00:44	00:39	00:31	00:18	00:14	00:10	00:07	00:04		00:03	00:09
Reggio Calabria Lido	00:49	00:47	00:42	00:34	00:21	00:17	00:13	00:10	00:07	00:03		00:06
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	00:55	00:53	00:48	00:40	00:27	00:23	00:19	00:16	00:13	00:09	00:06	

Tabella 7-2 Tempi di viaggio servizio metropolitano da Messina Maregrosso a Reggio Calabria Centrale

Ponte a più campate Servizio Metropolitano Linee arancione e rosa	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregrosso</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Annunziata	6,130	4,330	65	00:04	00:01	00:07
Papardo	14,000	7,870	67	00:07	00:01	00:15
Scilla	25,620	11,620	63	00:11	00:01	00:27
Favazzina	29,820	4,200	63	00:04	00:01	00:32
Bagnara	34,720	4,900	74	00:04	00:01	00:37
Palmi	45,160	10,440	89	00:07	00:01	00:45
Gioia Tauro	53,530	8,370	84	00:06	00:01	00:52
<b>Rosarno</b>	63,420	9,890	74	00:08	00:00	01:01
Totale		63,420		00:53	00:08	

Tabella 7-3 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano da Messina Maregrosso a Rosarno



Ponte a più campate Servizio Metropolitan Linea arancione e rosa	Messina Maregrosso	Messina Centro	Annunziata	Papardo	Scilla	Favazzina	Bagnara	Palmi	Gioia Tauro	Rosarno
<b>Messina Maregrosso</b>		00:02	00:07	00:15	00:27	00:32	00:37	00:45	00:52	01:01
Messina Centro	00:02		00:05	00:13	00:25	00:30	00:35	00:43	00:50	00:59
Annunziata	00:07	00:05		00:08	00:20	00:25	00:30	00:38	00:45	00:54
Papardo	00:15	00:13	00:08		00:12	00:17	00:22	00:30	00:37	00:46
Scilla	00:27	00:25	00:20	00:12		00:05	00:10	00:18	00:25	00:34
Favazzina	00:32	00:30	00:25	00:17	00:05		00:05	00:13	00:20	00:29
Bagnara	00:37	00:35	00:30	00:22	00:10	00:05		00:08	00:15	00:24
Palmi	00:45	00:43	00:38	00:30	00:18	00:13	00:08		00:07	00:16
Gioia Tauro	00:52	00:50	00:45	00:37	00:25	00:20	00:15	00:07		00:09
<b>Rosarno</b>	01:01	00:59	00:54	00:46	00:34	00:29	00:24	00:16	00:09	

Tabella 7-4 Tempi di viaggio del servizio metropolitano da Messina Maregrosso a Rosarno

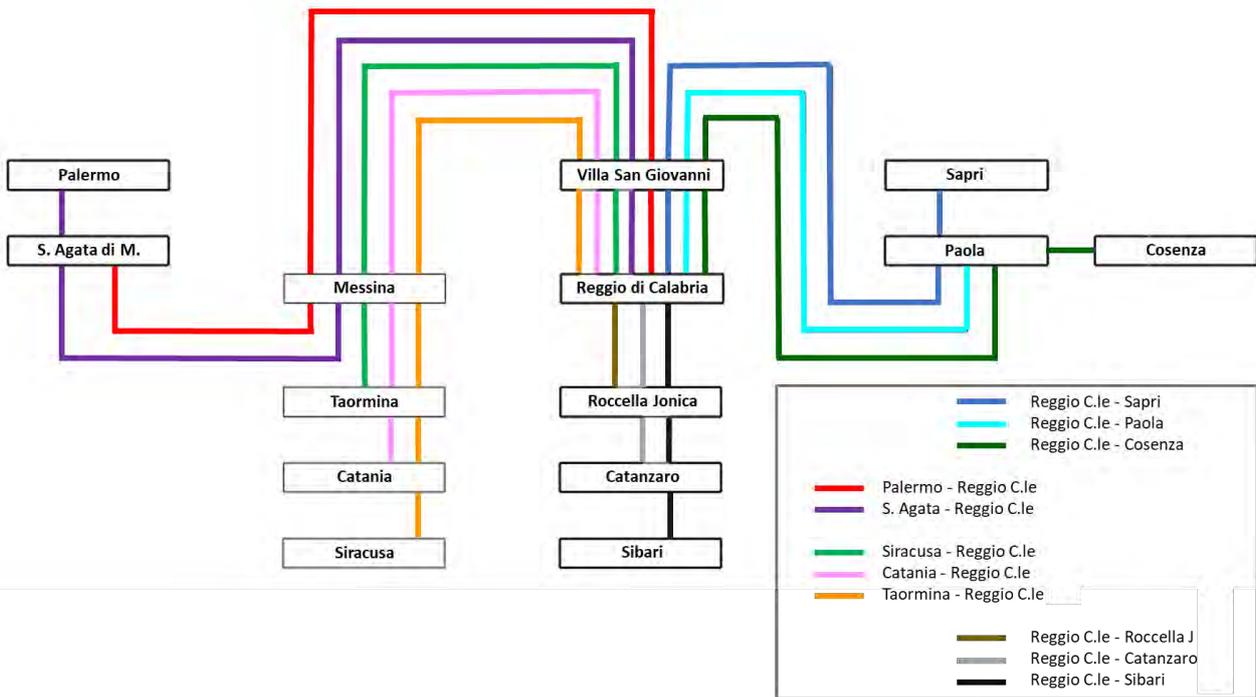


Figura 7-32 Ipotesi di Servizio ferroviario interregionale dello Stretto tramite il ponte a più campate



Ponte a più campate Servizio interregionale Linea rossa e verde	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media km/h	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregrosso</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Villa S. Giovanni	26,686	24,886	68	00:22	00:01	00:25
Reggio Calabria Lido	39,076	12,390	68	00:11	00:01	00:37
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	40,776	1,700	17	00:06	00:00	00:44
Totale		40,776		00:41	00:03	

Tabella 7-5 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario interregionale da Messina Maregrosso a Reggio Calabria Centrale

Ponte a più campate Servizio interregionale Linea rossa e verde	Messina Maregrosso	Messina Centro	Villa S. Giovanni	Reggio Calabria Lido	Reggio Calabria Centrale
<b>Messina Maregrosso</b>		00:02	00:25	00:37	00:44
Messina Centro	00:02		00:23	00:35	00:42
Villa S. Giovanni	00:25	00:23		00:12	00:19
Reggio Calabria Lido	00:37	00:35	00:12		00:07
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	00:44	00:42	00:19	00:07	

Tabella 7-6 Tempi di viaggio del servizio interregionale da Messina Maregrosso a Reggio Calabria Centrale

Ponte a più campate Servizio Interregionale Linee arancione e rosa	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregrosso</b>	-	-	-	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Gioia Tauro	53,530	51,730	89	00:35	00:01	00:38
<b>Rosarno</b>	63,420	9,890	74	00:08	00:00	00:47
Totale		63,420		00:45	00:02	

Tabella 7-7 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario interregionale da Messina Maregrosso a Rosarno

Ponte a più campate Servizio Interregionale Linee arancione e rosa	Messina Maregrosso	Messina Centro	Gioia Tauro	Rosarno
<b>Messina Maregrosso</b>		00:02	00:38	00:47
Messina Centro	00:02		00:36	00:45
Gioia Tauro	00:38	00:36		00:09
<b>Rosarno</b>	00:47	00:45	00:09	

Tabella 7-8 Tempi di viaggio del servizio metropolitano da Messina Maregrosso a Rosarno

Le tabelle riportano distanze e tempi di percorrenza fino alla stazione di Reggio Calabria Centrale. Per raggiungere la fermata esistente di Reggio Calabria Aeroporto dello Stretto, continuando con lo stesso treno, sono necessari circa 7 minuti. La fermata essendo localizzata sul lato opposto dell'area aeroportuale rispetto all'aerostazione, a circa 750m in linea d'aria dalla stessa (Figura 7-33), sarebbe collegabile direttamente all'aerostazione attraverso una galleria sotterranea attrezzata con tappeti mobili, percorribile in circa 15 minuti con bagagli al seguito, analogamente a quanto già avviene in altri aeroporti.



Figura 7-33 Collegamento fermata ferroviaria Aeroporto-Aerostazione aeroporto Minniti

I treni dalla Sicilia diretti verso nord e viceversa, in Calabria non transiteranno più da Villa San Giovanni nel caso in cui venisse realizzato il raccordo con la linea ferroviaria esistente a nord di Villa San Giovanni (bivi in località Cannitello). Nel caso in cui il raccordo venisse realizzato a sud di Villa San Giovanni (bivi in località Concessa), come già previsto dal progetto del ponte a campata unica, tutti i treni diretti verso nord lungo la linea ferroviaria esistente continuerebbero a transitare da Villa San Giovanni, mentre i treni provenienti dalla Sicilia per Reggio Calabria non transiterebbero più da Villa San Giovanni.

La realizzazione della nuova linea AV/AC escluderebbe il passaggio di tutti i treni sia viaggiatori che merci da Villa San Giovanni, che rimarrebbe collegata con la Sicilia solo tramite la linea ferroviaria esistente.

Le stazioni di Messina e di Reggio Calabria saranno di tipo passante e pertanto non saranno origine o destinazione di alcun treno. In tale scenario, i treni circolanti nell'area dello Stretto potrebbero attestarsi a sud di Reggio Calabria Centrale oltre l'aeroporto.

Una possibile ipotesi da valutare è la realizzazione di nuovi impianti ferroviari a Saline Joniche in corrispondenza del porto. Nella Figura 7-34 è indicata in rosso l'attuale Officina Grandi Riparazioni, oggi dismessa, che potrebbe essere riattivata e adeguata alle nuove esigenze. In celeste è indicata una possibile delocalizzazione dei Deposito Locomotive e dell'Officina Manutenzione Rotabili che attualmente si trovano a Messina e a Reggio Calabria, in giallo l'area della futura stazione di Reggio Calabria Sud ed in verde il fabbricato viaggiatori.



Figura 7-34 Ipotesi di localizzazione di nuovi impianti ferroviari a Saline Joniche

Le aree ferroviarie dismesse sia di Messina che di Reggio Calabria potranno essere riqualificate a beneficio delle città.

Per quanto riguarda le merci, il piazzale di Contesse potrebbe essere utilizzato come centro intermodale per il servizio del traffico merci combinato strada/rotaia.

### 7.2.5 Allacci stradali del ponte a più campate

Lato Sicilia il ponte a più campate sarebbe collegato da una nuova infrastruttura con caratteristiche autostradali alla esistente A20 Messina-Palermo, con innesto in corrispondenza dello svincolo di Giostra: il tracciato autostradale coinciderebbe con quello progettato per il ponte a campata unica precedentemente descritto, anche se il collegamento sarebbe di circa 2,5km più breve, per il diverso orientamento dell'opera di attraversamento. Analogamente sono previsti gli svincoli Curcuraci e Annunziata, nonché il completamento dello svincolo Giostra parzialmente esistente sull'autostrada A20 Messina-Palermo.



Lato Calabria il ponte a più campate prevede un collegamento analogo a quello del progetto del ponte a campata singola, raccordato in località Piaie con l'A2 del Mediterraneo (Figura 7-35 e Figura 7-36).

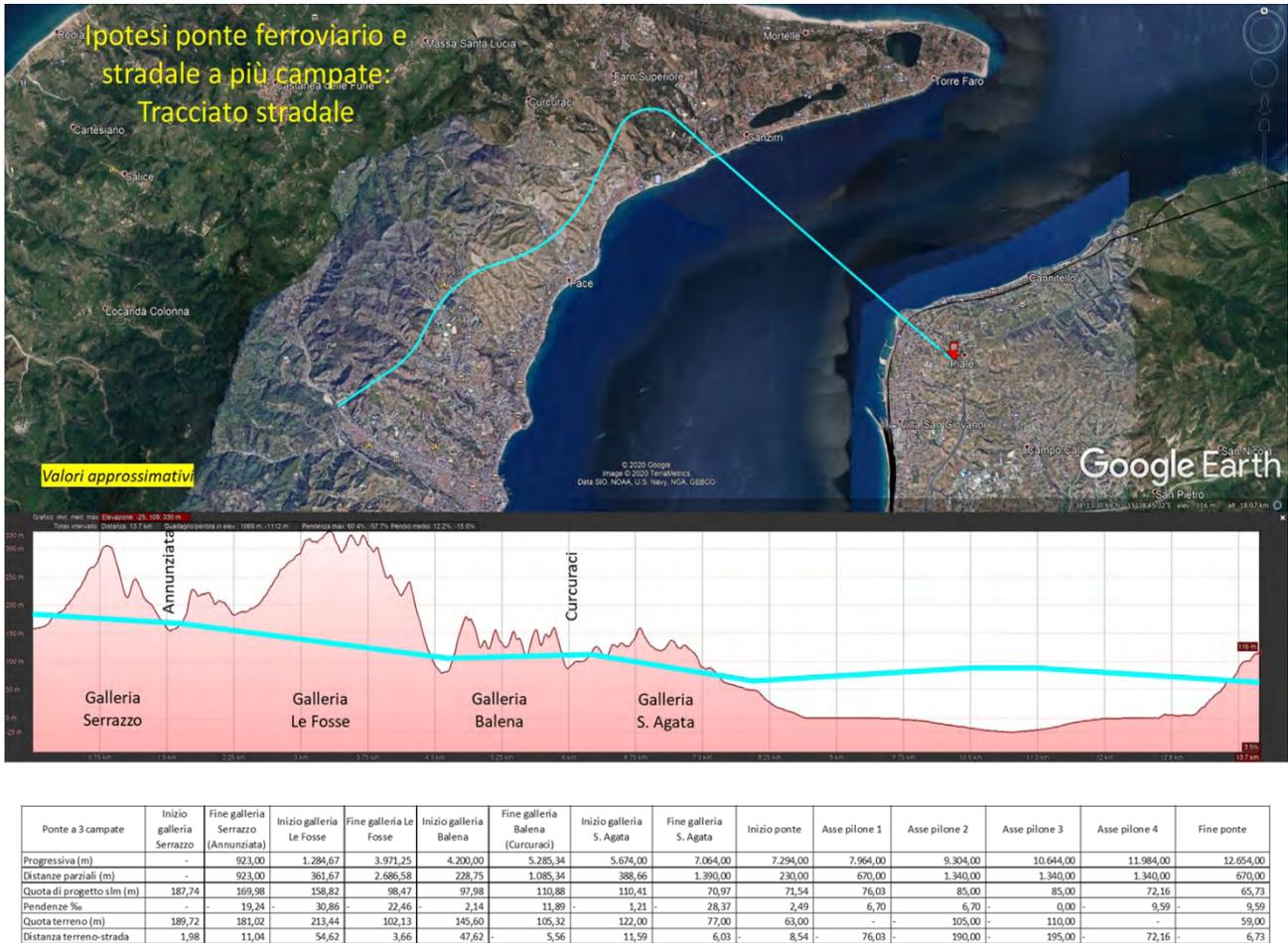


Figura 7-35 Ponte a più campate - Tracciato autostradale – Caratteristiche plano-altimetriche

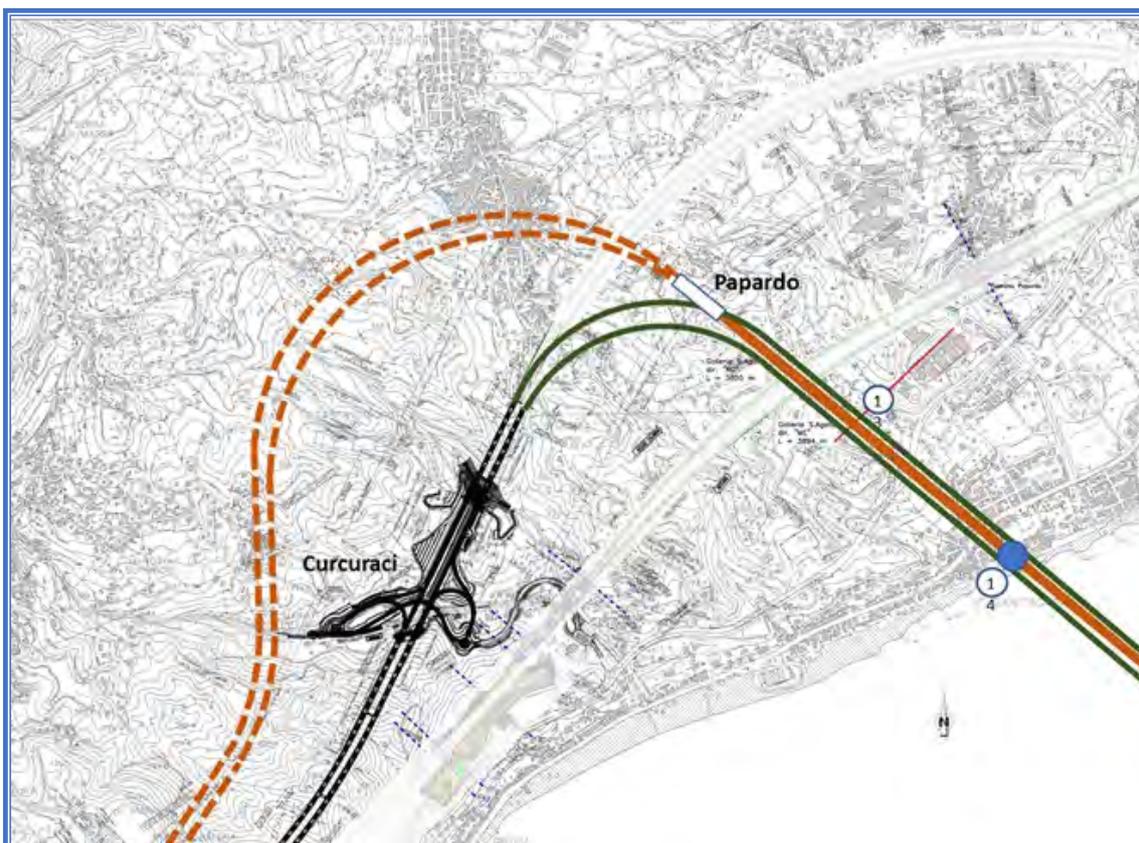


Figura 7-36 Svincolo autostradale Curcuraci e nuovo percorso stradale di accesso al ponte a più campate (in nero).  
Percorso ferroviario di accesso al ponte a più campate e fermata Papardo (in rosso)

## 7.3 Tunnel sottomarino

### 7.3.1 Tratta di attraversamento dello Stretto

L'ipotesi di attraversamento stabile in tunnel sottomarino è anch'essa ipotizzata lungo la direttrice della Sella dello Stretto, dove il fondale raggiunge profondità massima compresa fra 100m e 120m (Figura 7-37).

La profondità dell'attraversamento stabile in tunnel sottomarino (quota minima dei binari) è ipotizzata a circa -175m, quota che garantisce una copertura di almeno 50 m.

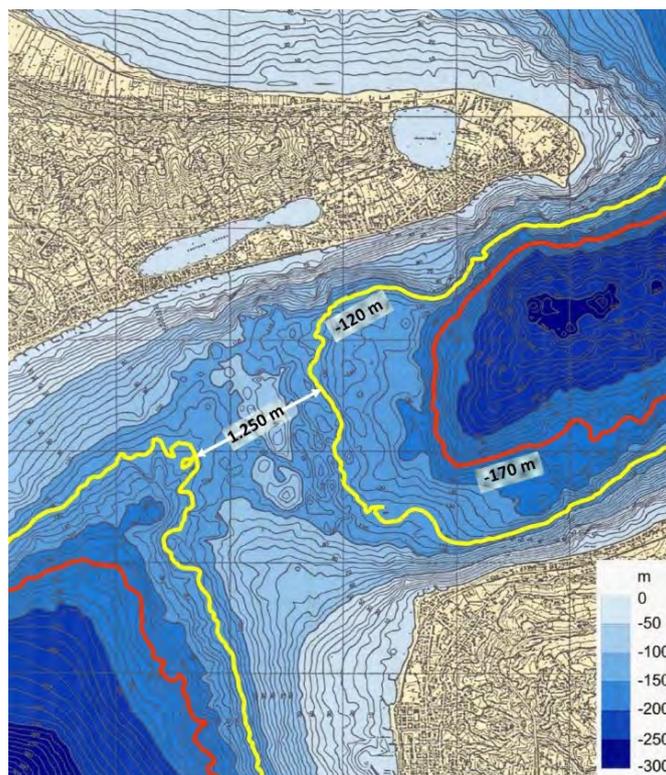


Figura 7-37 Area di valico possibile per gallerie sottomarine (Sella dello Stretto)

Nel precedente capitolo 2 sono stati ricordati i progetti di attraversamento stabile dello Stretto in tunnel sottomarino, anch'essi lungo la direttrice della Sella dello Stretto, a partire dal progetto dell'ingegnere Navone del 1870, passando per il progetto del tunnel sottomarino della Società Costruzioni Umberto Girola premiato al secondo posto ex aequo al concorso internazionale di idee del 1969, e fino al progetto della Società Stretto di Messina negli anni Ottanta, in cui erano ipotizzati due tunnel stradali e un tunnel ferroviario alla quota minima di attraversamento -258m.

Peraltro, come riportato nello stesso capitolo 2, nel libro "The Messina Strait Bridge" pubblicato dalla Società Stretto di Messina S.p.A. nel 2009, veniva dichiarato dagli autori – progettisti del General Contractor Eurolink – che sono realizzabili tunnel ad una profondità di 150-170 m sotto il livello del mare utilizzando una TBM.

Partendo dalle recenti evoluzioni tecnologiche<sup>311</sup>, in particolare lo sviluppo delle tecniche volte a impermeabilizzare preventivamente le rocce e i terreni scavati mediante iniezioni di miscele cementizie, e soprattutto l'uso di frese perforatrici a piena sezione (*tunnel boring machine* o TBM) sempre più perfezionate, dotate di accorgimenti per operare con i terreni

<sup>311</sup> che hanno reso possibile la realizzazione di progetti prima impensabili come l'Eurasia tunnel in Turchia, il tunnel sotto Lake Mead (Stati Uniti), la galleria di Bolu, il tunnel tra TuenMun e ChekLapKok ad Hong Kong, il tunnel stradale / scolmatore di Kuala Lumpur in Malesia

<https://tunnelbuilder.it/News/Unit-dItalia-20-un-tunnel-per-portare-lAlta-Velocit-fino-in-Sicilia.aspx>

più critici (spingenti e/o a bassissima resistenza) o in presenza di fronti instabili<sup>312</sup>, nonché da alcune esperienze recenti di tunnel sottomarini scavati in presenza di pressioni idrostatiche molto elevate, si può ragionevolmente ipotizzare che l'attraversamento stabile dello Stretto in tunnel sottomarino di circa 4,5km all'interno della Sella, a profondità sottomarine di circa 170m, con un assetto geologico che lascia presupporre la presenza di faglie, sia fattibile<sup>313</sup>.

La conoscenza delle caratteristiche geologiche e geotecniche dell'area dello Stretto in corrispondenza della Sella deve essere approfondita mediante una estesa e dettagliata indagine conoscitiva<sup>314</sup>, volta a chiarire gli aspetti sui quali vi sono interpretazioni discordi quali la posizione e l'orientamento delle faglie attive (rif. capitolo 3).

L'opera di attraversamento sottomarina è costituita da tunnel separati, rispettivamente:

- tunnel a doppia canna ferroviaria monodirezionale (singolo binario)
  - tunnel a doppia canna stradale monodirezionale (singola carreggiata),
- per complessive 4 gallerie distinte (Figura 7-38).

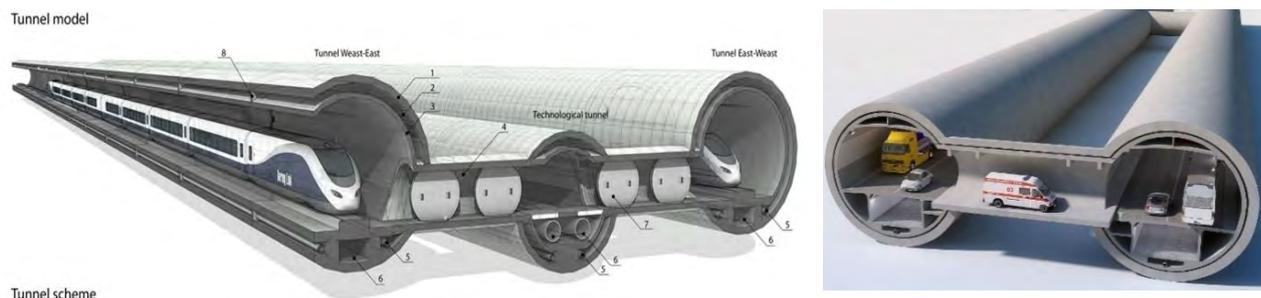


Figura 7-38 Esempi di tunnel sottomarini ferroviario e stradale<sup>315</sup>

Nella tratta di attraversamento, come pure nelle tratte di collegamento con le linee esistenti lato Sicilia e lato Calabria, sia il tunnel ferroviario che il tunnel stradale saranno corredati di collegamenti tra le canne monodirezionali (by-pass) a prova di fumo al massimo ogni 500m, idonei a contenere la sosta provvisoria di viaggiatori esodanti (oltre alle nicchie di ricovero

<sup>312</sup> <http://www.selioverseas.com/assets/2016--expotunnel---rg.pdf>

<sup>313</sup> *Unità d'Italia 2.0: un tunnel anche per il "nostro" Stretto di Messina per portare l'Alta Velocità fino in Sicilia*, Simone Schmalzbauer, Managing Director, TimecoSrl (Rappresentante Italia Herrenknecht AG); [https://tunnelbuilder.it/uploads/CMS/Documents/Week4420\\_Timeco\\_Stretto%20di%20Messina\\_Tunnel\\_Articolo\\_v3\\_SS\\_SENT\\_20201019.pdf](https://tunnelbuilder.it/uploads/CMS/Documents/Week4420_Timeco_Stretto%20di%20Messina_Tunnel_Articolo_v3_SS_SENT_20201019.pdf)

<sup>314</sup> *Riflessioni su aspetti geologici rilevanti nella prospettiva di realizzazione di un tunnel di attraversamento dello Stretto di Messina scavato nel substrato sommerso*, A.Baietto, P.Perello GDP-GEOMIN srl [https://tunnelbuilder.it/uploads/CMS/Documents/Week4020\\_GDP-GEOMIN\\_BaiettoPerello\\_StrettoMessina\\_AspettiGeologiciTunnelSubstratoSommerso\\_300920.pdf](https://tunnelbuilder.it/uploads/CMS/Documents/Week4020_GDP-GEOMIN_BaiettoPerello_StrettoMessina_AspettiGeologiciTunnelSubstratoSommerso_300920.pdf)

<sup>315</sup> <http://interbering.com/Bering-Strait-Tunnel-Plan.html>  
<https://www.cgtrader.com/3d-models/exterior/street/a-type-tunnel-section-detail> v



del personale di manutenzione, contenenti dotazioni di emergenza), come previsto dalla normativa in tema di misure di sicurezza<sup>316</sup>, in tal modo assicurando uscite idonee all'esodo delle persone e accessi dei mezzi carrabili e delle squadre di soccorso in caso di emergenza in galleria.

Per il tunnel ferroviario è prevista lungo la tratta sottomarina e in quelle in prosecuzione l'adozione di una sezione circolare per scavo meccanizzato a mezzo frese (TBM).

Per il tunnel stradale dovrà essere individuata la sezione e tipologia di scavo più opportuna, che si presume possa essere analoga a quella del progetto norvegese Ryfast<sup>317</sup> con una sezione circolare di diametro circa 11,5m scavata con fresa meccanizzata, che consente tempi di avanzamento contenuti.

I tunnel stradali potrebbero essere raccordati con le stazioni ferroviarie di emergenza realizzate in Sicilia in località Papardo e in Calabria in località Villa San Giovanni.

Non è conveniente realizzare nello stretto di Messina tunnel a doppio piano in quanto i tracciati stradali e ferroviari sono diversi e hanno pendenze diverse. Volendo potrebbe essere realizzato solo per un breve tratto di circa due chilometri aumentando di molto i costi e i tempi di realizzazione e pertanto non ha senso trattare l'argomento.

### **Ipotesi di tunnel solo ferroviario**

In combinazione con l'ipotesi di ponte a più campate solo stradale menzionata nel precedente paragrafo del presente capitolo, si considera l'ipotesi di tunnel sottomarino solo ferroviario, ipotesi maggiormente compatibile con la realizzazione dell'opera in tempi successivi.

Si sottolinea che nel caso di opere di attraversamento separate, la realizzazione del tunnel sottomarino ferroviario richiederà comunque opere stradali in galleria per assicurare l'accessibilità in caso di emergenza al tunnel ferroviario, opere che nel caso di realizzazione congiunta sono parzialmente incluse nell'opera di attraversamento stradale.

### **7.3.2 Allacci ferroviari del tunnel sottomarino**

La quota dell'attraversamento comporta sia lato Sicilia che lato Calabria gallerie lunghe per collegarsi alle linee ferroviarie esistenti su entrambe le coste dello Stretto, situate al livello del mare.

<sup>316</sup> [https://www.mit.gov.it/mit/mop\\_all.php?p\\_id=05051](https://www.mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=05051)

<sup>317</sup> [https://www.researchgate.net/publication/317256543\\_Tunnelling\\_experiences\\_on\\_using\\_conveyor\\_belt\\_for\\_mucking\\_at\\_the\\_world-longest\\_and\\_deepest\\_subsea\\_road\\_tunnel](https://www.researchgate.net/publication/317256543_Tunnelling_experiences_on_using_conveyor_belt_for_mucking_at_the_world-longest_and_deepest_subsea_road_tunnel)



La distanza tra Messina Centro e la Sella dello Stretto (inizio copertura minima della galleria sottomarina rispetto al fondo del mare) è di circa 14 km. Nel caso in cui tale tratto di linea venisse realizzato con la pendenza del 12‰ la quota del ferro in attraversamento dello Stretto verrebbe a trovarsi a circa -172m, mentre con pendenza del 15‰ potrebbe arrivare sino a -214m. In tal caso si potrebbe arrivare ad avere una copertura della galleria sottomarina di circa 100m, che è nettamente superiore ai 50 m indicati come minima dalla Società Stretto di Messina nel libro “The Messina Strait Bridge” del 2010.

Per le gallerie di lunghezza superiore a 5000 m, deve essere previsto come richiesto dalle norme di sicurezza:

- un piazzale di emergenza, posizionato in prossimità degli imbocchi, adeguato alla sosta degli automezzi di soccorso e all'impiego delle attrezzature necessarie all'emergenza, che consenta il posizionamento di un mezzo bimodale sul binario e l'attraversamento dei binari da parte di mezzi gommati,

oppure, in alternativa:

- un collegamento viario percorribile da mezzi di soccorso tra almeno uno dei due imbocchi (o degli accessi/uscite intermedi, se presenti) e la viabilità stradale ordinaria di zona.

Si ipotizza quindi di realizzare in corrispondenza sia di Papardo che di Villa San Giovanni, o eventualmente solo in quest'ultima località, una fermata di emergenza, sul modello delle infrastrutture realizzate nel tunnel di base del San Gottardo (Sedrun / Faido) e in corso di realizzazione nel tunnel di base del Brennero (Campo di Trens / St. Jodock / Innsbruck), tali da permettere la messa in salvo delle persone attraverso un pozzo / una discenderia / un accesso derivato dal tunnel stradale di attraversamento, nonché il cambio di binario dei treni, l'alloggiamento di impianti e la ventilazione in caso di emergenza (immissione di aria fresca / messa in sovrappressione delle aree sicure / estrazione dei fumi).

Per i treni merci, si propone la realizzazione di una gronda merci identica a quella già descritta per l'attraversamento dello Stretto tramite ponte a più campate.

Il tracciato ferroviario del tunnel sottomarino e dei collegamenti in prosecuzione a terra alle linee esistenti è rappresentato in Figura 7-39, Figura 7-40, Figura 7-41 e Figura 7-42.

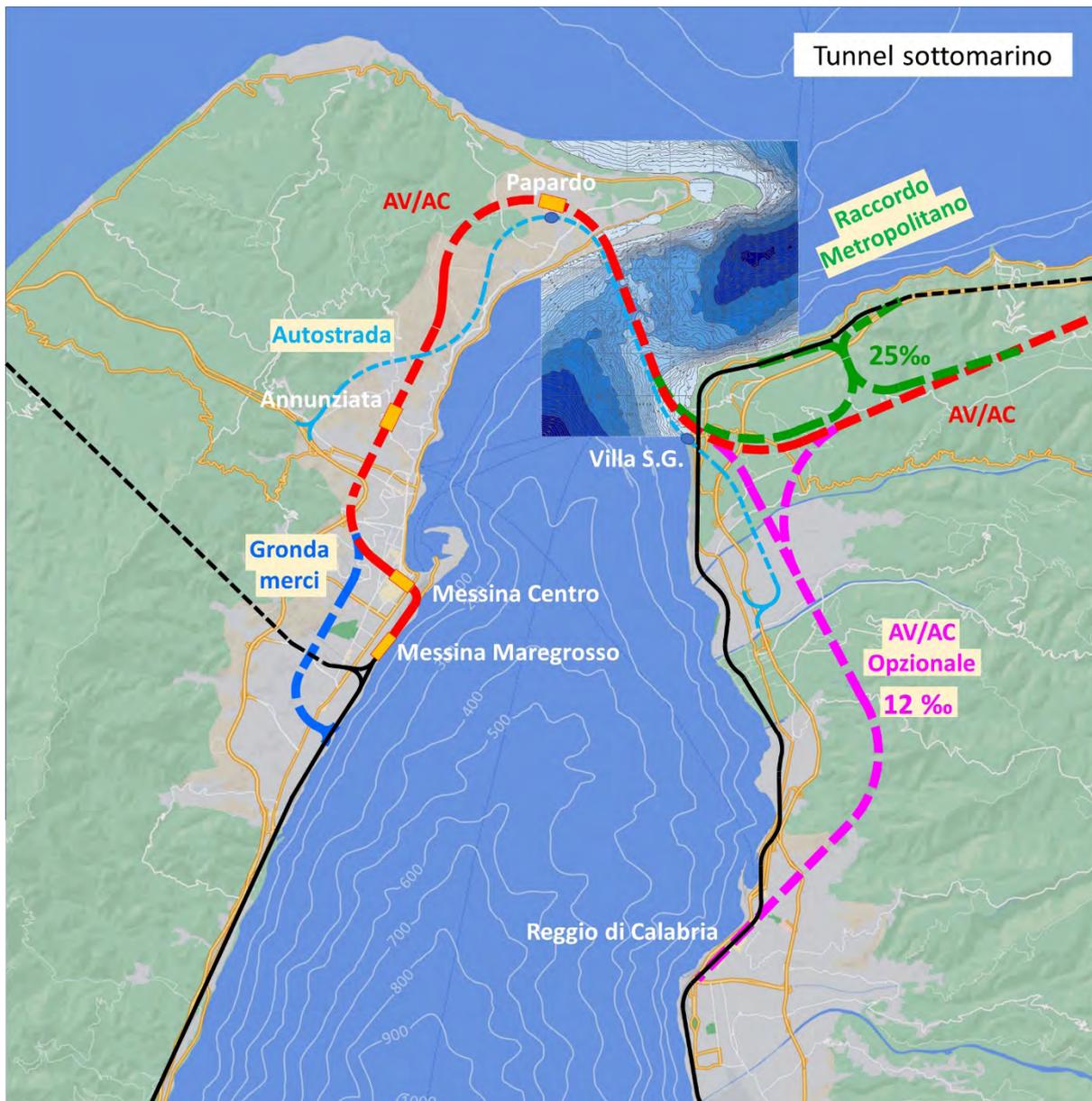


Figura 7-39 Tunnel sottomarino – Tracciato ferroviario – Planimetria e dati d'insieme

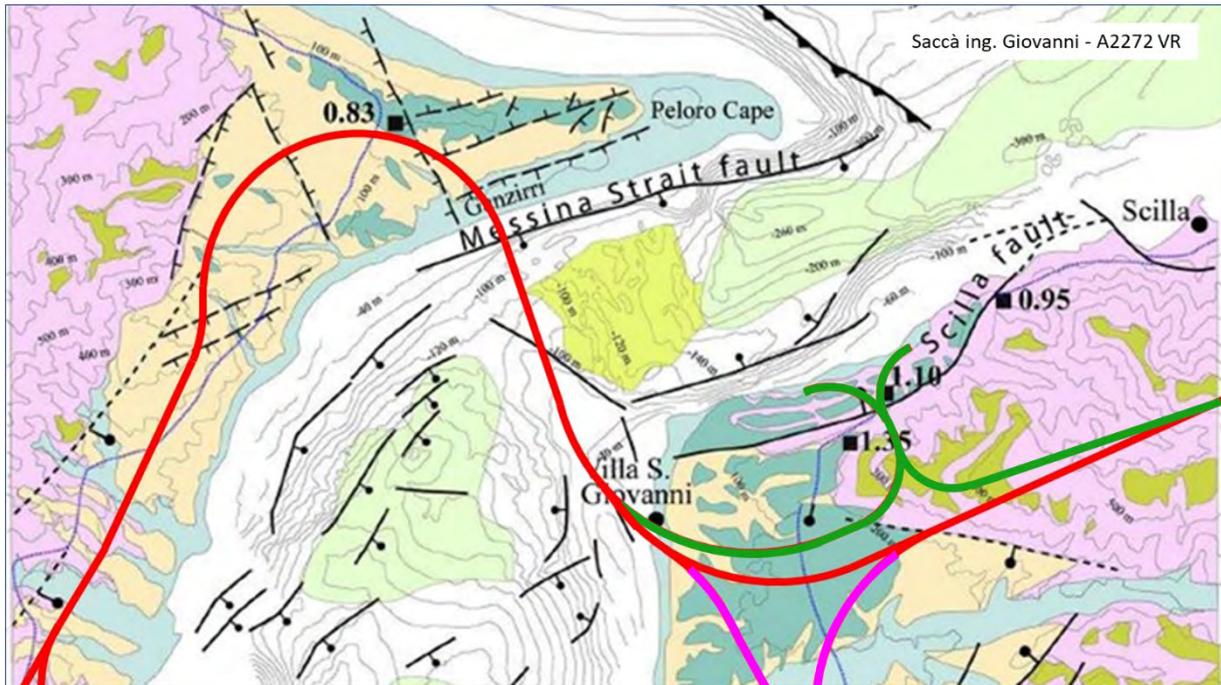


Figura 7-40 Mappa geologica dell'area dello Stretto con sovrapposto il tracciato di massima del tunnel sottomarino.

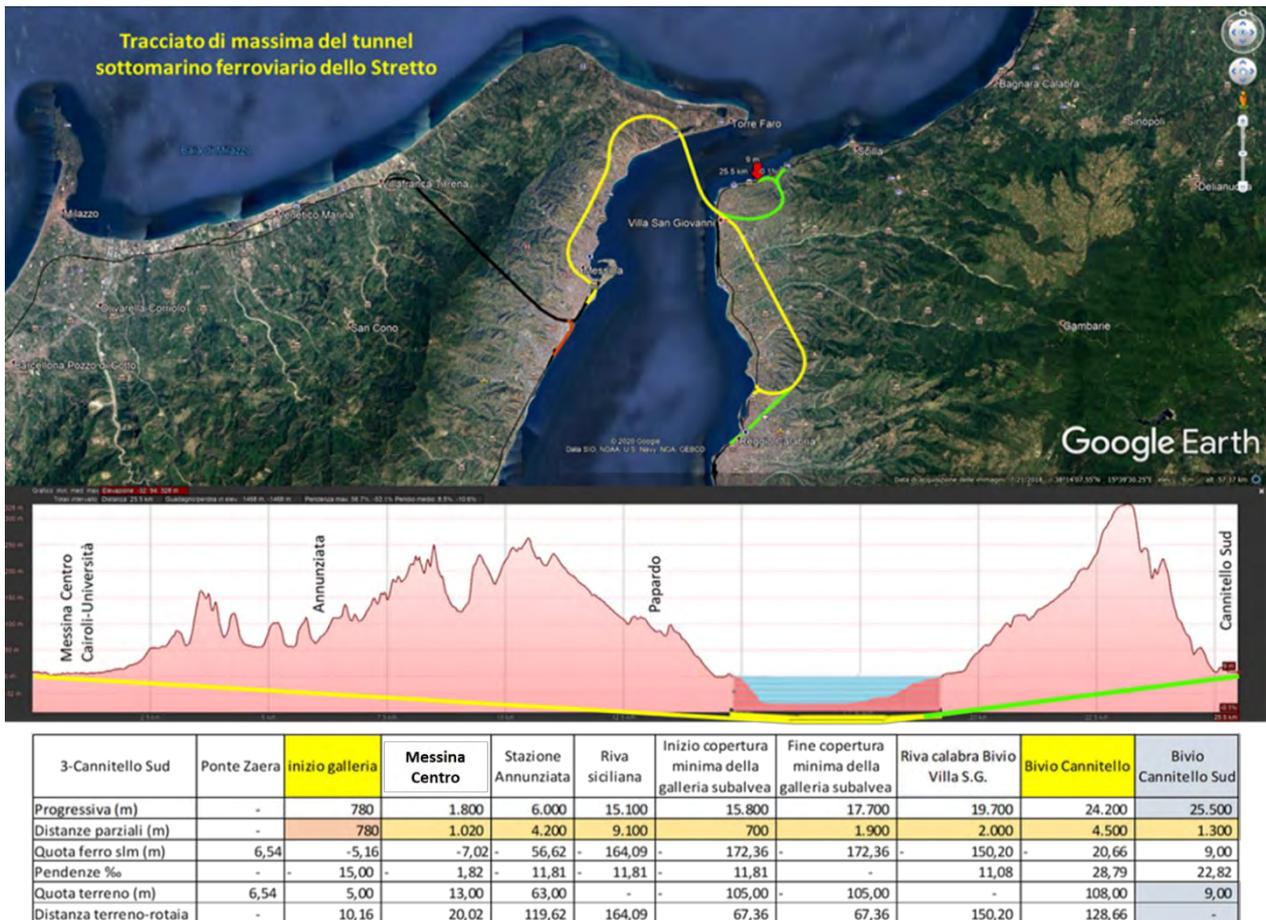


Figura 7-41 Tunnel sottomarino tracciato ferroviario ramo Cannitello Sud – Caratteristiche plano-altimetriche

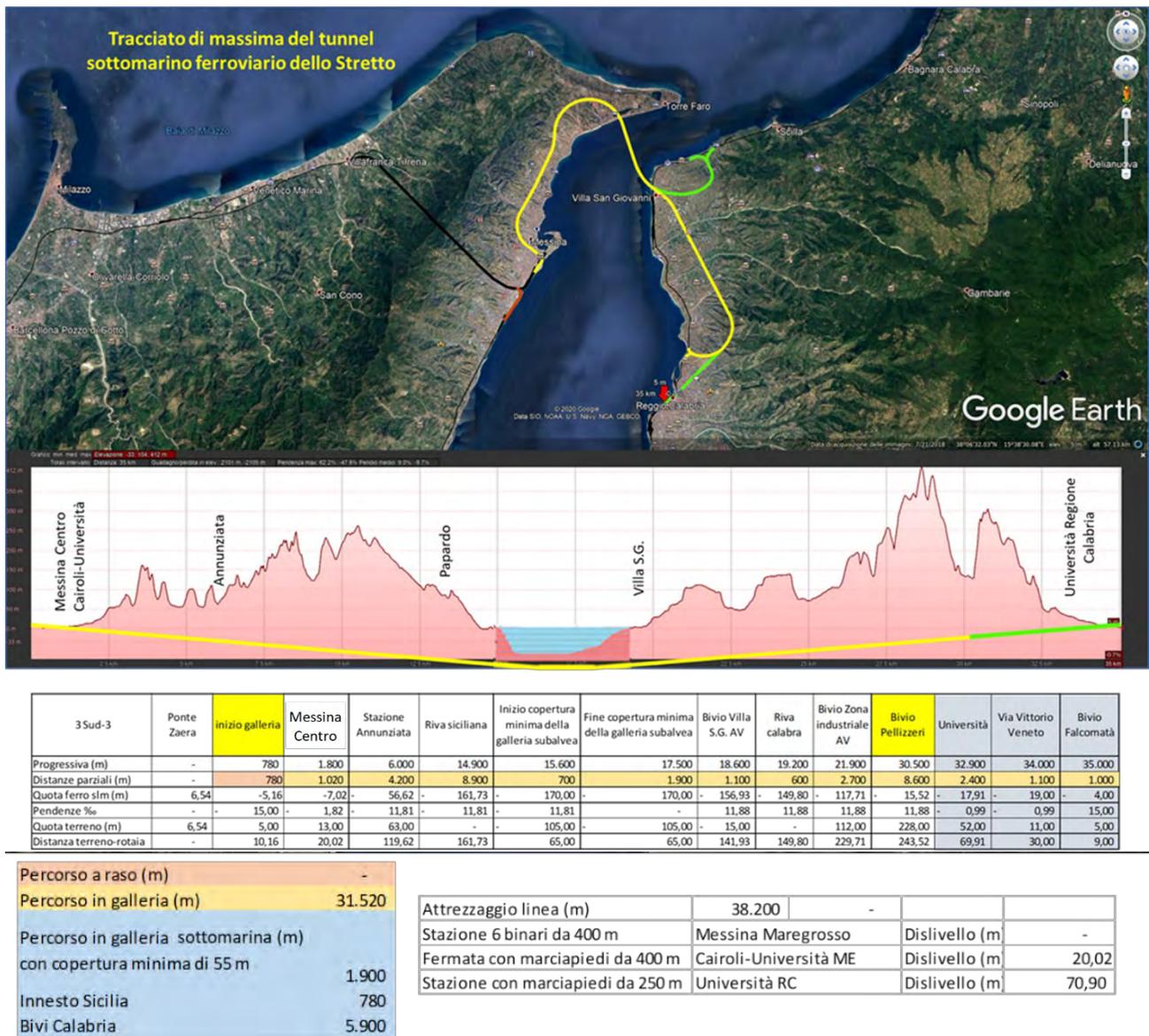


Figura 7-42 Tunnel sottomarino – Tracciato ferroviario ramo Reggio Calabria  
Caratteristiche plano-altimetriche e dati d'insieme

Nella Figura 7-43 è rappresentato in modo schematico il tracciato ferroviario di massima con indicate le distanze parziali, i raggi di curvatura, le progressive chilometriche, dati che permettono una valutazione sommaria della velocità massima di tracciato e una stima dei tempi di percorrenza.

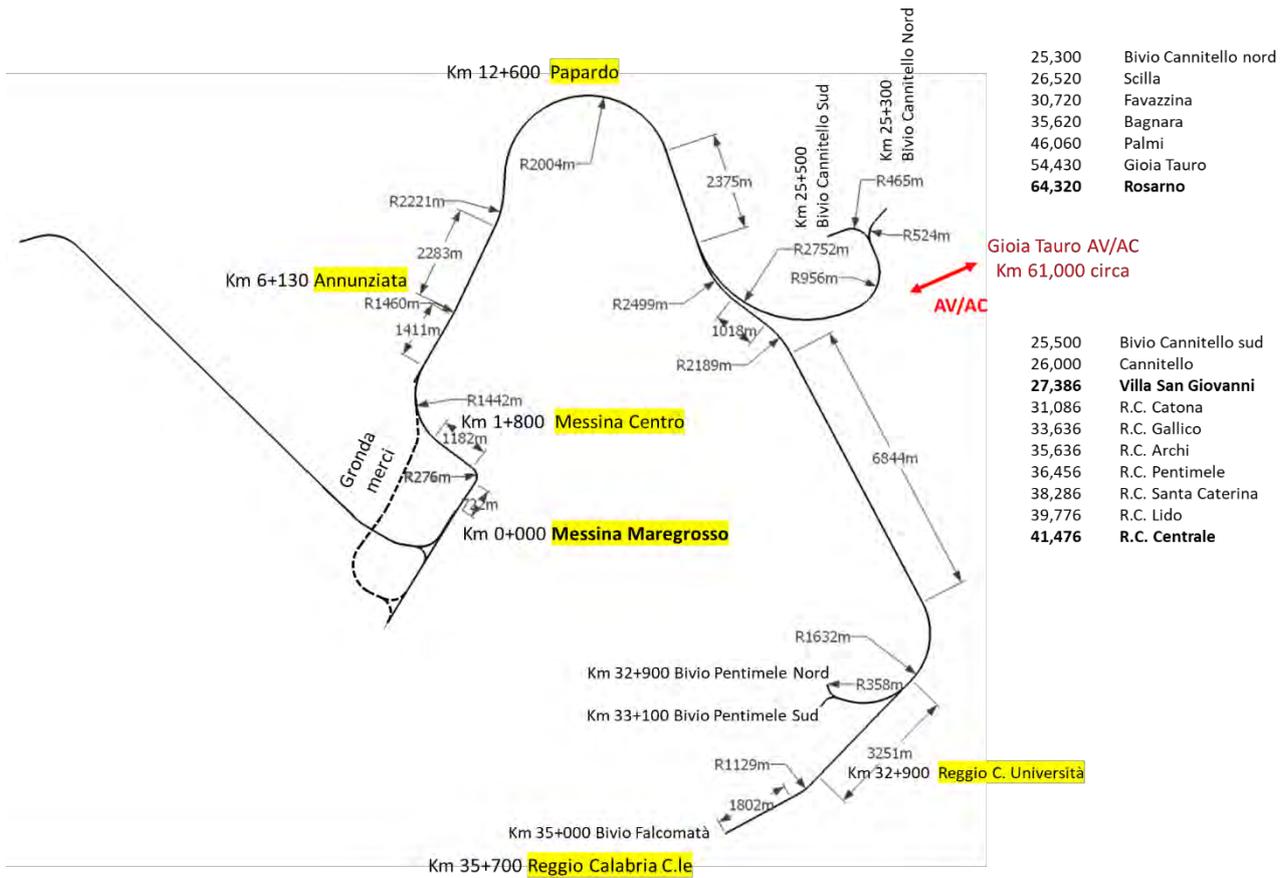


Figura 7-43 Ipotesi tracciato ferroviario del tunnel sottomarino

Considerando che verrà realizzata anche la linea AV/AC in Calabria, la lunghezza del tracciato in galleria sarà confrontabile con quella prevista per il ponte a una o più campate (Figura 7-44).

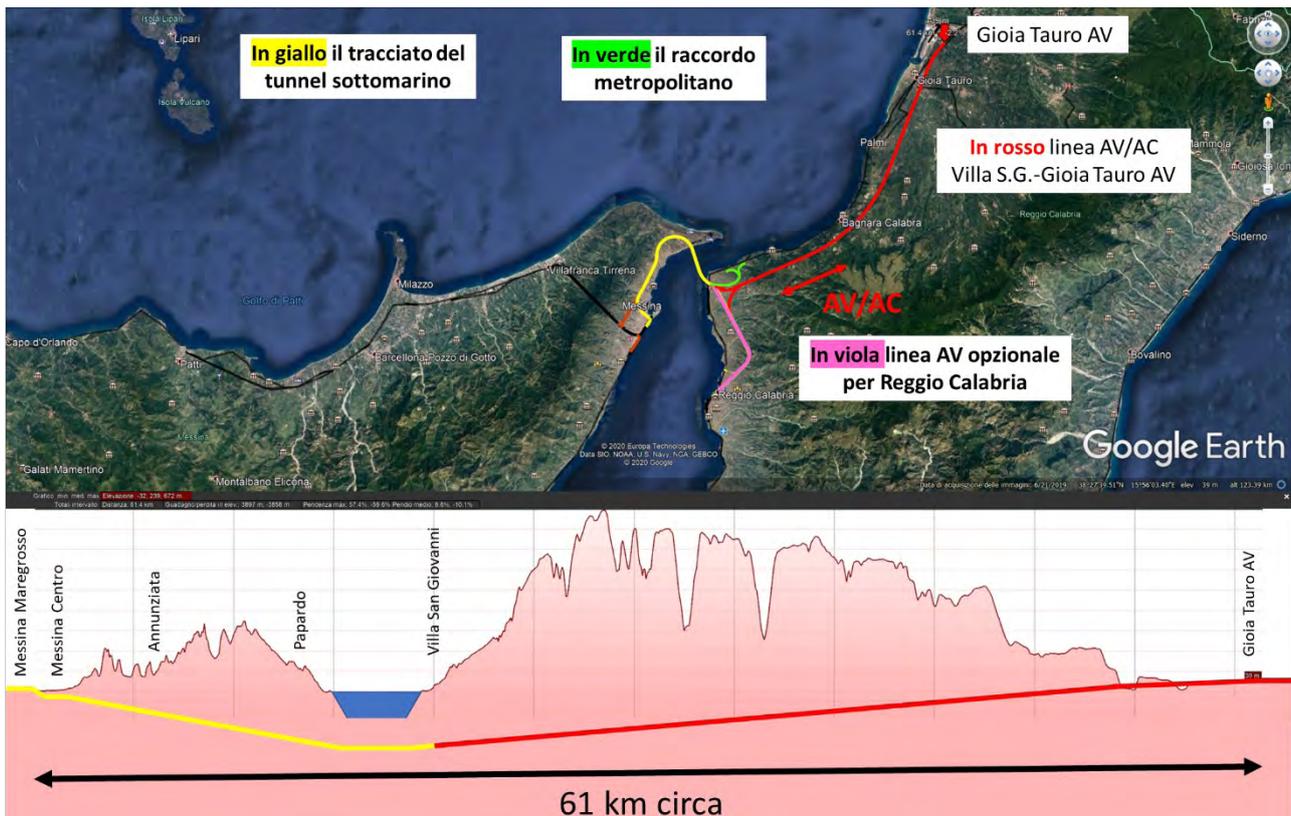


Figura 7-44 Tunnel sottomarino -Tracciato ferroviario da Messina a Gioia Tauro  
Caratteristiche plano-altimetriche

In Sicilia (Figura 7-45) il tracciato sottopassa il lago Ganzirri anziché passare a ovest dello stesso come nell’alternativa di ponte a 3 campate, quindi la lunghezza del collegamento dal limite della tratta sottomarina a Messina risulta di circa 13km.



Figura 7-45 Tunnel sottomarino: tracciato ferroviario in Sicilia

Sono previste la fermata di Messina Centro e le stazioni di Annunziata e Papardo. Messina Centro sarebbe invariata rispetto alla soluzione ponte a tre campate.

La stazione Annunziata si troverebbe ad una quota di -120m rispetto al terreno, nettamente superiore a quella del ponte a più campate. Analogamente, la stazione Papardo si verrebbe a trovare ad una quota di almeno -160m rispetto al terreno.

La differenza di quota potrebbe essere superata tramite ascensori da grattacielo o su piano inclinato, il che consentirebbe di localizzare l'ingresso della stazione in superficie in un punto a scelta entro un ampio raggio dall'asse verticale delle gallerie ferroviarie, in particolare in Viale Annunziata di fronte all'omonima chiesa, come previsto nel progetto del ponte a campata unica. Potendo un ascensore su piano inclinato operare con un'inclinazione massima pari a 75° e minima di 15°, nel caso specifico l'ingresso della stazione in superficie può essere realizzato entro una distanza orizzontale compresa tra 40m e 160m dalla stazione ferroviaria sotterranea. La velocità massima di un ascensore inclinato è di 4 m/s.

Analogamente, nel caso della stazione Papardo, l'ingresso potrebbe essere collocato in un punto a scelta di Viale Stagno d'Alcontres, nella stessa posizione prevista dal progetto del ponte a campata unica.

Un caso simile si presenta lungo la linea ferroviaria Messina-Catania, nella nuova fermata di Taormina della tratta in fase di raddoppio in variante Giampileri (ME)-Fiumefreddo (CT), che comporta un dislivello di circa 130 m tra l'accesso della stazione e il piano del ferro: il progetto prevede l'installazione di più gruppi di ascensori verticali, e di corridoi di collegamento orizzontali dotati di tappeti mobili (Figura 7-46).

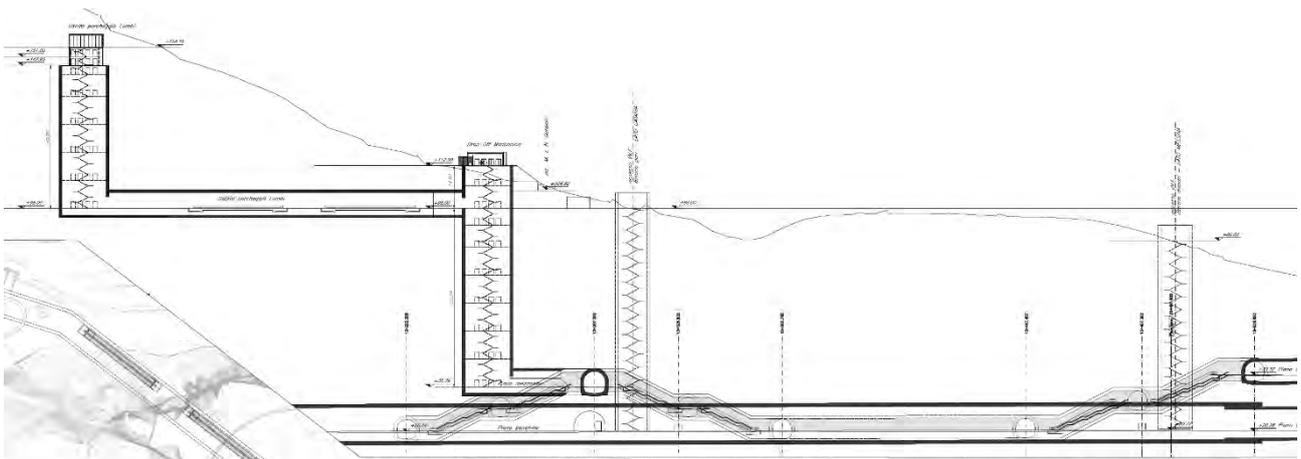


Figura 7-46 Linea ferroviaria Messina-Catania - Tratta Giampileri-Fiumefreddo- Ascensori nuova fermata di Taormina<sup>318</sup>

<sup>318</sup> <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/6875/9614>

Teoricamente, sempre nel caso di attraversamento con tunnel sottomarino, si potrebbe ipotizzare una stazione sotterranea anche a Villa San Giovanni, con ingresso dall'attuale stazione ferroviaria, per garantire il servizio di fermata dei treni AV a lunga percorrenza da e per la Sicilia.

In Calabria Il tunnel ferroviario sottomarino si innesterà a Villa San Giovanni con la linea AV/AC Salerno-Reggio Calabria (lotto Villa San Giovanni-Gioia Tauro AV).

Il collegamento con la linea ferroviaria esistente, analogamente a quanto ipotizzato per il ponte a più campate, è stato previsto a nord di Villa San Giovanni in corrispondenza di Cannitello, con bivio bidirezionale verso nord (direzione Rosarno-Battipaglia) e verso sud (direzione Villa San Giovanni-Reggio Calabria), per soli treni passeggeri in servizio locale. Dato il tipo di servizio, il tracciato è stato previsto di lunghezza 5-6km in galleria con pendenza del 30%.

Nel caso in cui si volesse portare la linea ferroviaria AV/AC sino a Reggio Calabria, si potrebbe prevedere subito dopo Villa San Giovanni un raccordo diretto tra il tunnel sottomarino e tale nuova linea (

Figura 7-47). Lungo il nuovo tracciato sarebbe possibile realizzare una fermata intermedia sotterranea a modesta profondità, in corrispondenza dell'area universitaria (Università Mediterranea) alla periferia nord-est della città.



Figura 7-47 Tunnel sottomarino – tracciato ferroviario in Calabria



La mappa dei collegamenti ferroviari relativa alla soluzione dell'attraversamento con tunnel sottomarino è riportata nella Figura 7-48.

Con linea rossa è indicata la possibile nuova linea AV/AC prevista in Calabria da Gioia Tauro a Reggio Calabria e la sua prosecuzione in attraversamento sino a Messina. Con la linea arancione è indicata la possibile gronda merci.

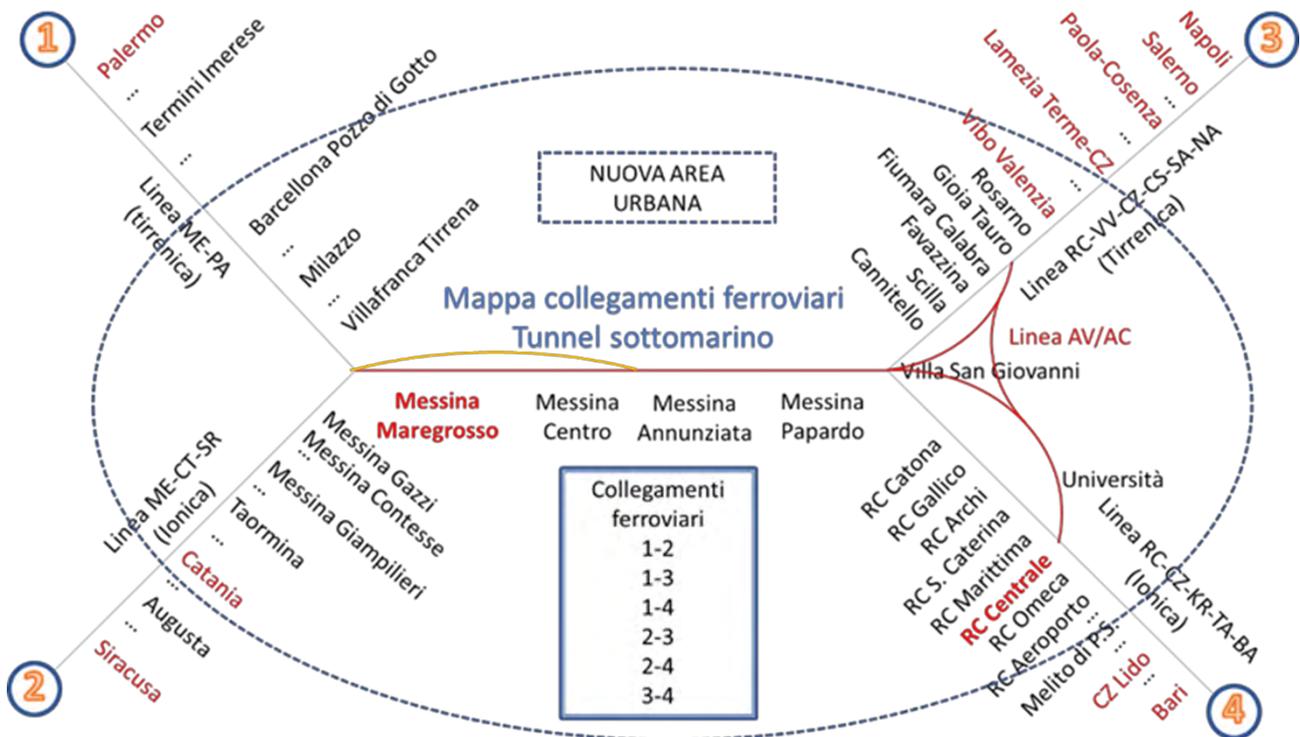


Figura 7-48 Mappa dei collegamenti ferroviari relativa alla realizzazione del tunnel sottomarino

I Servizi ferroviari dello Stretto, sia metropolitano che interregionale, con il tunnel sottomarino sarebbero gli stessi di quelli già indicati per il ponte a tre campate (Figura 7-31 e Figura 7-32).

Nella Tabella 7-9 sono riportate distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano del tunnel sottomarino e nella Tabella 7-10 i tempi di viaggio da Messina Marengrosso a Reggio Calabria Centrale.

Analogamente nelle Tabella 7-11 e Tabella 7-12 distanze, tempi di percorrenza e tempi di viaggio da Messina Marengrosso a Rosarno.

Le seguenti Tabella 7-13, Tabella 7-14, Tabella 7-15, Tabella 7-16 riportano gli stessi dati relativamente al servizio ferroviario interregionale con il tunnel sottomarino.



Tunnel sottomarino Servizio Metropolitano Linee rossa e verde	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregrosso</b>	-	0	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Annunziata	6,130	4,330	65	00:04	00:01	00:07
Papardo	12,600	6,470	55	00:07	00:01	00:15
Villa S. Giovanni	27,386	14,786	68	00:13	00:01	00:29
Reggio Calabria Catona	31,086	3,700	74	00:03	00:01	00:33
Reggio Calabria Gallico	33,636	2,550	51	00:03	00:01	00:37
Reggio Calabria Archi	35,636	2,000	60	00:02	00:01	00:40
Reggio Calabria Pentimele	36,456	0,820	25	00:02	00:01	00:43
Reggio Calabria S. Caterina	38,286	1,830	37	00:03	00:01	00:47
Reggio Calabria Lido	39,776	1,490	45	00:02	00:01	00:50
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	41,476	1,700	20	00:05	00:00	00:56
Totale		41,476		00:46	00:10	

Tabella 7-9 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano da Messina Maregrosso a Reggio Calabria Centrale

Tunnel sottomarino Servizio Metropolitano Linee rossa e verde	Messina Maregrosso	Messina Centro	Annunziata	Papardo	Villa S.G.	Catona	Gallico	Archi	Pentimele	S. Caterina	R.C. Lido	Reggio C. Centrale
<b>Messina Maregrosso</b>	0	00:02	00:07	00:15	00:29	00:33	00:37	00:40	00:43	00:47	00:50	00:56
Messina Centro	00:02		00:05	00:13	00:27	00:31	00:35	00:38	00:41	00:45	00:48	00:54
Annunziata	00:07	00:05		00:08	00:22	00:26	00:30	00:33	00:36	00:40	00:43	00:49
Papardo	00:15	00:13	00:08		00:14	00:18	00:22	00:25	00:28	00:32	00:35	00:41
Villa S. Giovanni	00:29	00:27	00:22	00:14		00:04	00:08	00:11	00:14	00:18	00:21	00:27
Reggio Calabria Catona	00:33	00:31	00:26	00:18	00:04		00:04	00:07	00:10	00:14	00:17	00:23
Reggio Calabria Gallico	00:37	00:35	00:30	00:22	00:08	00:04		00:03	00:06	00:10	00:13	00:19
Reggio Calabria Archi	00:40	00:38	00:33	00:25	00:11	00:07	00:03		00:03	00:07	00:10	00:16
Reggio Calabria Pentimele	00:43	00:41	00:36	00:28	00:14	00:10	00:06	00:03		00:04	00:07	00:13
Reggio Calabria S. Caterina	00:47	00:45	00:40	00:32	00:18	00:14	00:10	00:07	00:04		00:03	00:09
Reggio Calabria Lido	00:50	00:48	00:43	00:35	00:21	00:17	00:13	00:10	00:07	00:03		00:06
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	00:56	00:54	00:49	00:41	00:27	00:23	00:19	00:16	00:13	00:09	00:06	

Tabella 7-10 Tempi di viaggio servizio metropolitano da Messina Maregrosso a Reggio Calabria Centrale



Tunnel sottomarino Servizio Metropolitan Linee arancione e rosa	Progressive (km)	Distanze intermedie(km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregresso</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Annunziata	6,130	4,330	65	00:04	00:01	00:07
Papardo	12,600	6,470	55	00:07	00:01	00:15
Scilla	26,520	13,920	70	00:12	00:01	00:28
Favazzina	30,720	4,200	63	00:04	00:01	00:33
Bagnara	35,620	4,900	74	00:04	00:01	00:38
Palmi	46,060	10,440	89	00:07	00:01	00:46
Gioia Tauro	54,430	8,370	84	00:06	00:01	00:53
<b>Rosarno</b>	64,320	9,890	74	00:08	00:00	01:02
<b>Totale</b>		64,320		00:54	00:08	

Tabella 7-11 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano da Messina Maregresso a Rosarno

Tunnel sottomarino Servizio Metropolitan Linea arancione e rosa	Messina Maregresso	Messina Centro	Annunziata	Papardo	Scilla	Favazzina	Bagnara	Palmi	Gioia Tauro	Rosarno
<b>Messina Maregresso</b>		00:02	00:07	00:15	00:28	00:33	00:38	00:46	00:53	01:02
Messina Centro	00:02		00:05	00:13	00:26	00:31	00:36	00:44	00:51	01:00
Annunziata	00:07	00:05		00:08	00:21	00:26	00:31	00:39	00:46	00:55
Papardo	00:15	00:13	00:08		00:13	00:18	00:23	00:31	00:38	00:47
Scilla	00:28	00:26	00:21	00:13		00:05	00:10	00:18	00:25	00:34
Favazzina	00:33	00:31	00:26	00:18	00:05		00:05	00:13	00:20	00:29
Bagnara	00:38	00:36	00:31	00:23	00:10	00:05		00:08	00:15	00:24
Palmi	00:46	00:44	00:39	00:31	00:18	00:13	00:08		00:07	00:16
Gioia Tauro	00:53	00:51	00:46	00:38	00:25	00:20	00:15	00:07		00:09
<b>Rosarno</b>	01:02	01:00	00:55	00:47	00:34	00:29	00:24	00:16	00:09	

Tabella 7-12 Tempi di viaggio servizio metropolitano da Messina Maregresso a Rosarno

Tunnel sottomarino Servizio interregionale Linea rossa e verde	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregresso</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Reggio Calabria Università	32,900	31,100	93	00:20	00:01	00:23
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	35,700	2,800	42	00:04	00:00	00:28
<b>Totale</b>		35,700		00:26	00:02	

Tabella 7-13 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario interregionale da Messina Maregresso a Reggio Calabria Centrale



<b>Tunnel sottomarino Servizio interregionale Linea rossa e verde</b>	Messina Maregroso	Messina Centro	Reggio Calabria Università	Reggio C. Centrale
<b>Messina Maregroso</b>		00:02	00:23	00:28
Messina Centro	00:02		00:21	00:26
Reggio Calabria Università	00:23	00:21		00:05
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	00:28	00:26	00:05	

Tabella 7-14 Tempi di viaggio servizio interregionale da Messina Maregroso a Reggio Calabria Centrale

<b>Tunnel sottomarino Servizio Interregionale Linee arancione e rosa</b>	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregroso</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Gioia Tauro	54,430	52,630	90	00:35	00:01	00:38
<b>Rosarno</b>	64,320	9,890	74	00:08	00:00	00:47
Totale		64,320		00:45	00:02	

Tabella 7-15 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario interregionale da Messina Maregroso a Rosarno

<b>Tunnel sottomarino Servizio Interregionale Linee arancione e rosa</b>	Messina Maregroso	Messina Centro	Gioia Tauro	Rosarno
<b>Messina Maregroso</b>		00:02	00:38	00:47
Messina Centro	00:02		00:36	00:45
Gioia Tauro	00:38	00:36		00:09
<b>Rosarno</b>	00:47	00:45	00:09	

Tabella 7-16 Tempi di viaggio servizio metropolitano da Messina Maregroso a Rosarno

Le tabelle riportano distanze e tempi di percorrenza fino alla fermata esistente Reggio Calabria Centrale. Per raggiungere la fermata esistente di Reggio Calabria aeroporto dello Stretto, continuando con lo stesso treno, sono necessari circa 7 minuti. Per il collegamento con l'area aeroportuale dell'aeroporto valgono considerazioni identiche a quelle sopra riportate per il ponte.

Anche nel caso del tunnel sottomarino, per quanto riguarda i treni dalla Sicilia diretti verso nord e viceversa e da e per Reggio Calabria, valgono le stesse considerazioni già espresse per i tracciati del ponte a più campate relativamente alla stazione di Villa San Giovanni.

La realizzazione della nuova linea AV/AC e dell'attraversamento stabile escluderà il passaggio di tutti i treni sia viaggiatori che merci da Villa San Giovanni, che rimarrà collegata con la Sicilia solo tramite la linea ferroviaria esistente.

### 7.3.3 Allacci stradali del tunnel sottomarino

Il tracciato del tunnel sottomarino e dei collegamenti autostradali è riportato in Figura 7-49.

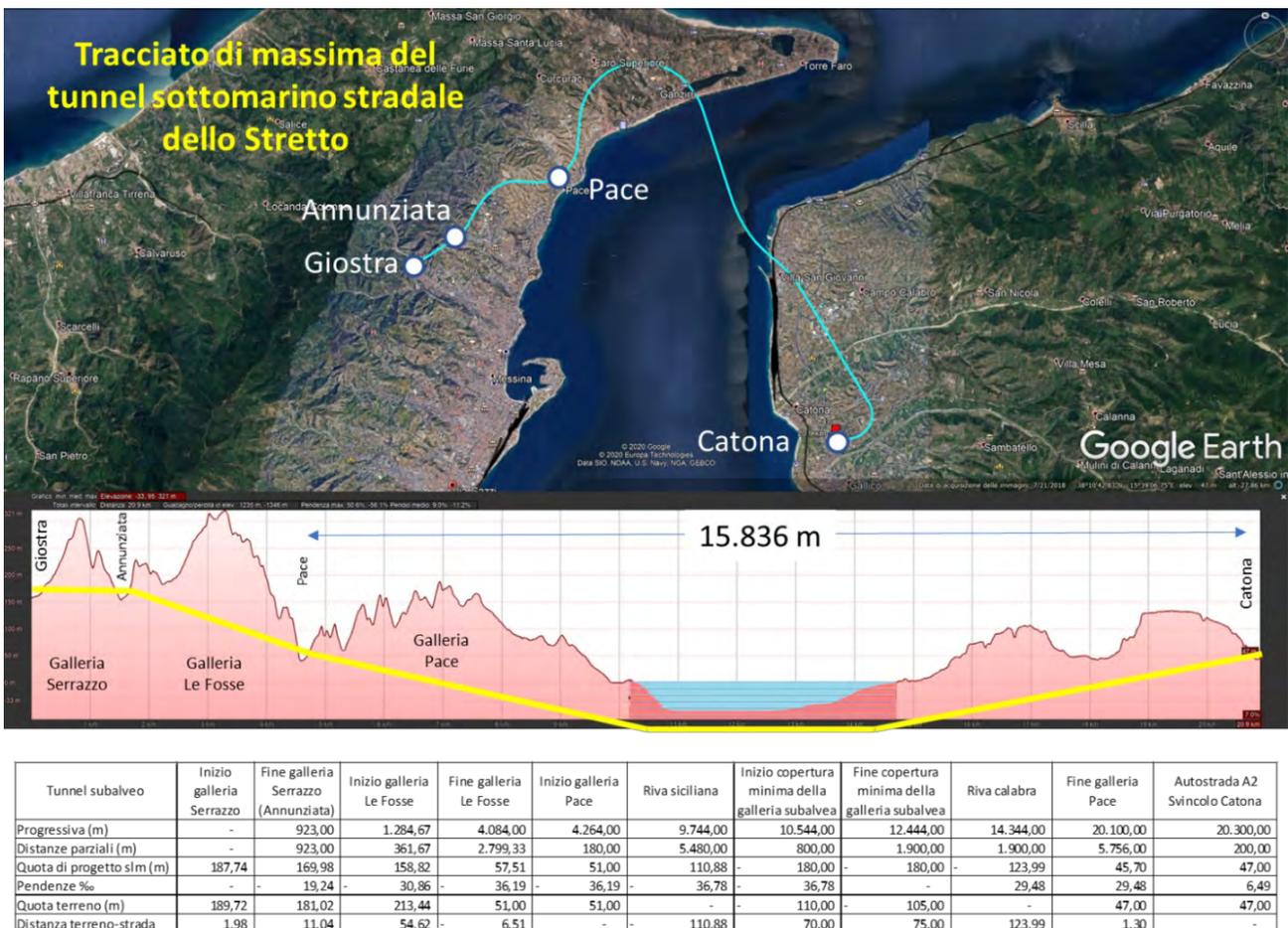


Figura 7-49 Alcuni dati caratteristici del tracciato autostradale del tunnel sottomarino

Lato Sicilia il tunnel sottomarino sarebbe collegato come le altre alternative da una nuova infrastruttura con caratteristiche autostradali all'autostrada esistente A20 Messina-Palermo, con innesto in corrispondenza dello svincolo di Giostra: il tracciato autostradale coinciderebbe planimetricamente con quello dei ponti precedentemente descritti sino allo svincolo Annunziata compreso. Subito dopo il tracciato si abbasserebbe in galleria con una pendenza di circa il 36‰ in modo da poter raggiungere quota -180m in corrispondenza della Sella dello Stretto dopo essere passato per la località Pace. Analogamente al tracciato del ponte è previsto lo svincolo Annunziata, nonché il completamento dello svincolo Giostra parziale esistente sull'autostrada A20 Messina-Palermo, mentre lo svincolo Curcurato

non è previsto dato che il tunnel in tale località transita in sotterraneo. L'imbocco del tunnel sottomarino è previsto in località Pace (Figura 7-50) dove potrebbe essere realizzato uno svincolo.



Figura 7-50 Localizzazione dell'inizio del tunnel autostradale sottomarino lato Sicilia in località Pace (ME)

Lato Calabria il tunnel sottomarino prevede un innesto nell'autostrada A2 attraverso un nuovo collegamento con caratteristiche autostradali e un nuovo svincolo, in corrispondenza di Catona, intermedio fra il semi-svincolo "Reggio Calabria" (solo ingresso verso / uscita da sud) a nord, e lo svincolo Gallico a sud, a meno di 1 km da quest'ultimo. Lo svincolo potrebbe essere del tipo a trombetta essendo l'imbocco del tunnel sul lato interno dell'autostrada rispetto alla costa (Figura 7-51).

Lungo il tracciato del tunnel sottomarino potrebbero essere realizzate delle deviazioni per raggiungere le stazioni di emergenza del tunnel ferroviario a Papardo e a Villa San Giovanni.



Figura 7-51 Localizzazione dell'inizio del tunnel autostradale sottomarino lato Calabria in località Catona (RC)





di simulazione in vasca<sup>319</sup>. A tal proposito si segnala che la fib (Fédération Internationale du Béton denominata anche International Federation for Structural Concrete) ha emesso nel 2020 il Bollettino n. 96 “*Guidelines for Submerged Floating Tube Bridges: Guide to good practice*”, che fornisce numerose informazioni sulla progettazione, costruzione e gestione degli SFTB<sup>320</sup>. Tale documento è stato presentato il 20/01/2021 durante il fib Webinar “Floating Concrete Structures & Submerged Floating Tube Bridges<sup>321</sup>”.

Pertanto, si è ritenuto utile approfondire per quanto possibile tale soluzione anche per l’attraversamento dello Stretto di Messina in vista di futuri sviluppi e realizzazioni collaudate e felicemente in esercizio. Questa soluzione normalmente è stata ipotizzata dove non è possibile realizzare ponti sospesi o tunnel immersi o sottomarini a causa dell’eccessiva profondità e larghezza degli specchi d’acqua da superare. Inoltre, per motivi prudenziali, si dovrebbero realizzare per primi tunnel nei laghi o nei fiordi dove le sollecitazioni dovute alle correnti sono molto limitate.

Il tunnel ipotizzato nello stretto di Messina dovrebbe essere a doppia canna a sezione circolare, con copertura d’acqua di almeno 30m. La sezione delle gallerie ipotizzate è a doppio piano, stradale sopra e ferroviaria sotto. Le gallerie gemelle, mutate da recenti progetti norvegesi stradali della Statens vegvesen Norwegian Public Roads Administration<sup>322</sup>, sarebbero collegate tra di loro ogni 200 m tramite opportuni passaggi di sicurezza.

Possibili disposizioni interne della carreggiata stradale e della sede ferroviaria, mutate dagli studi e progetti esistenti, sono riportate nella Figura 7-53.

<sup>319</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=B\\_3d0DfsDEU&list=UU8U8GZs3SV877\\_kJ9Y4Nk3Q&index=37](https://www.youtube.com/watch?v=B_3d0DfsDEU&list=UU8U8GZs3SV877_kJ9Y4Nk3Q&index=37)

<sup>320</sup> <https://www.fib-international.org/publications/fib-bulletins/guidelines-for-submerged-floating-tube-bridges-pdf-detail.html>

<sup>321</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=MJbpyT1y0\\_o&t=2316s](https://www.youtube.com/watch?v=MJbpyT1y0_o&t=2316s)

<sup>322</sup> Arianna Minoretti: Il ponte di Archimede - Strategie per il futuro -

[https://www.youtube.com/watch?v=B\\_3d0DfsDEU](https://www.youtube.com/watch?v=B_3d0DfsDEU)

REPORT “BJØRNAFJORD SUBMERGED FLOATING TUBE BRIDGE: K3/K4 TECHNICAL REPORT”

[https://www.vegvesen.no/attachment/1607172/binary/1145785?fast\\_title=Bj%C3%B8rnafjorden+R%C3%B8yrbru+%28Submerged+floating+tunnel%29+K3-K4+Technical+report.pdf](https://www.vegvesen.no/attachment/1607172/binary/1145785?fast_title=Bj%C3%B8rnafjorden+R%C3%B8yrbru+%28Submerged+floating+tunnel%29+K3-K4+Technical+report.pdf)

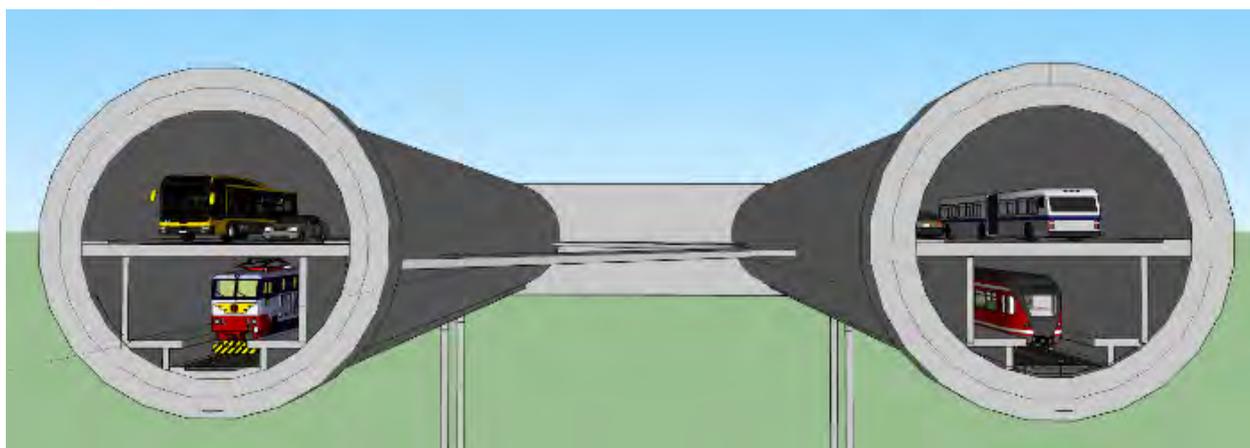


Figura 7-53 Ipotesi sezione SFT a due canne stradali e ferroviarie monodirezionali

Quanto al sistema di ancoraggio, anche in questo caso si fa riferimento agli studi e progetti disponibili e alle tecniche di ancoraggio / sostegno impiegate nel settore dell'esplorazione e dell'estrazione del petrolio e del gas (studi sopracitati norvegesi effettuati per conto della Statens vegvesen), nonché alla ipotetica possibile localizzazione dell'opera nello Stretto.

#### 7.4.1 Opera di attraversamento

##### Ipotesi direttrice Ganzirri-Villa San Giovanni

Si è pensato di attuare l'attraversamento in alveo lungo la direttrice della Sella dello Stretto, tra Ganzirri (a ovest del lago omonimo) e Villa San Giovanni, dove per la minore profondità si è ritenuto preferibile collocare anche le alternative del ponte a più campate e del tunnel sottomarino.

Il tunnel-viadotto sommerso da Ganzirri a Villa San Giovanni sarebbe lungo circa 2.850 m.

Mantenendo invariata la struttura della doppia canna collegata da by-pass avente modulo 200-250m, nonché la stessa sezione con la sede stradale al livello superiore e quella ferroviaria al livello inferiore, si ipotizza un diverso e più efficace sistema di sostegno e ancoraggio.

In particolare, con la minore profondità si considera maggiormente fattibile l'ipotesi di una struttura di tunnel immerso ancorato su colonne collegate tra di loro a coppie, con travi sia superiori che inferiori, in grado di resistere ai carichi, alle correnti marine e ai terremoti (Figura 7-54). L'ipotesi è derivata dal progetto della Staten vegvesen per il Bjørnafjorden e dal progetto "An underwater tunnel connecting Geneva and Lausanne" - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) già menzionati nel capitolo 5.

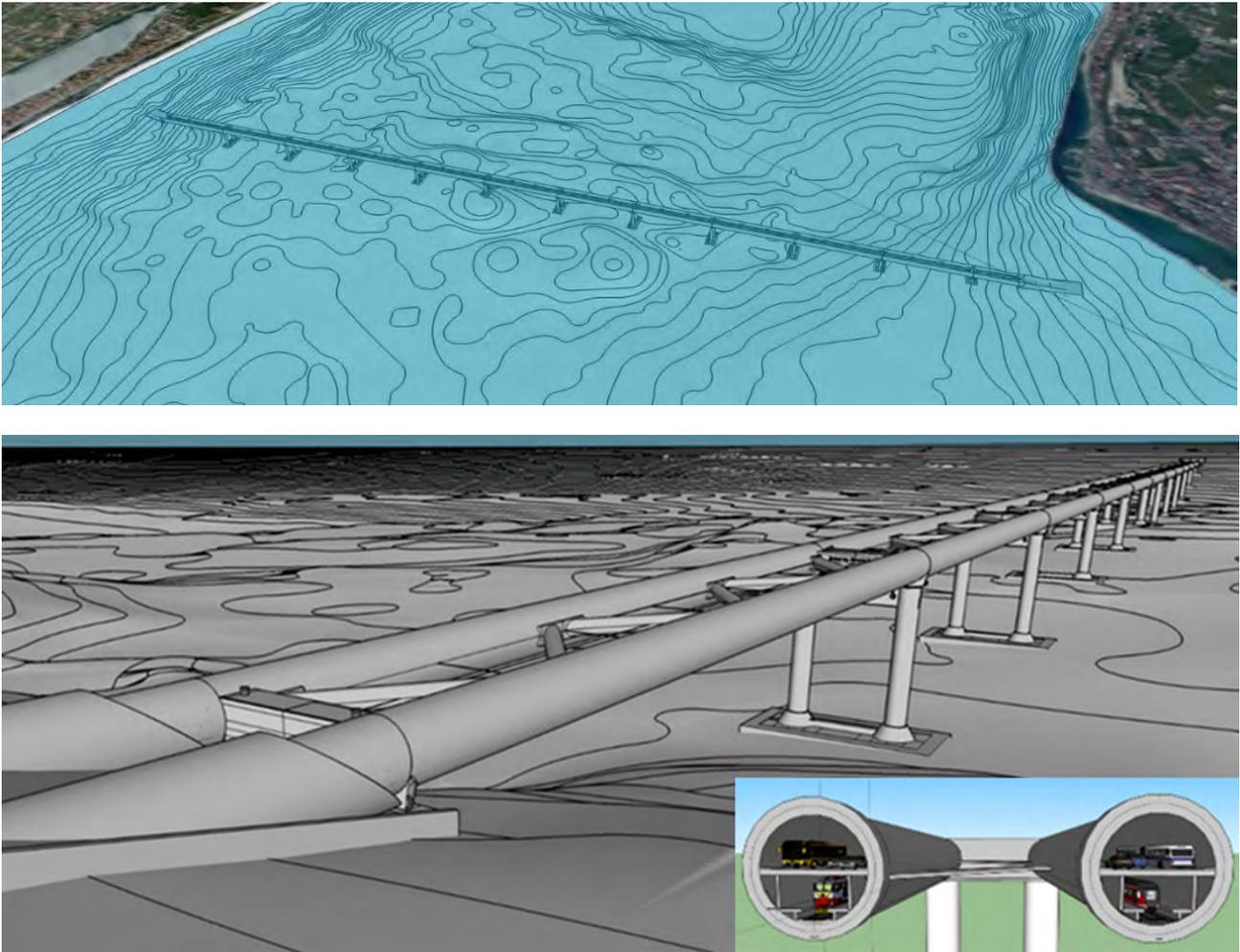


Figura 7-54 Ipotesi di tunnel sommerso su colonna tra Ganzirri e Villa San Giovanni<sup>323</sup> con colonne poste in corrispondenza di tutti i by-pass

Per resistere alle sollecitazioni tra SFT e colonne, in caso di forti terremoti, si è ipotizzato l'utilizzo di idonei isolatori sismici da posizionare tra la testa di ogni singola colonna e SFTB nonché in corrispondenza delle piastre/testate lato Sicilia e lato Calabria (Figura 7-55).

Il numero delle colonne e il loro distanziamento dipenderanno dai calcoli che verranno effettuati in fase di progetto.

<sup>323</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=SepfnYB\\_12s&t=3510s](https://www.youtube.com/watch?v=SepfnYB_12s&t=3510s)

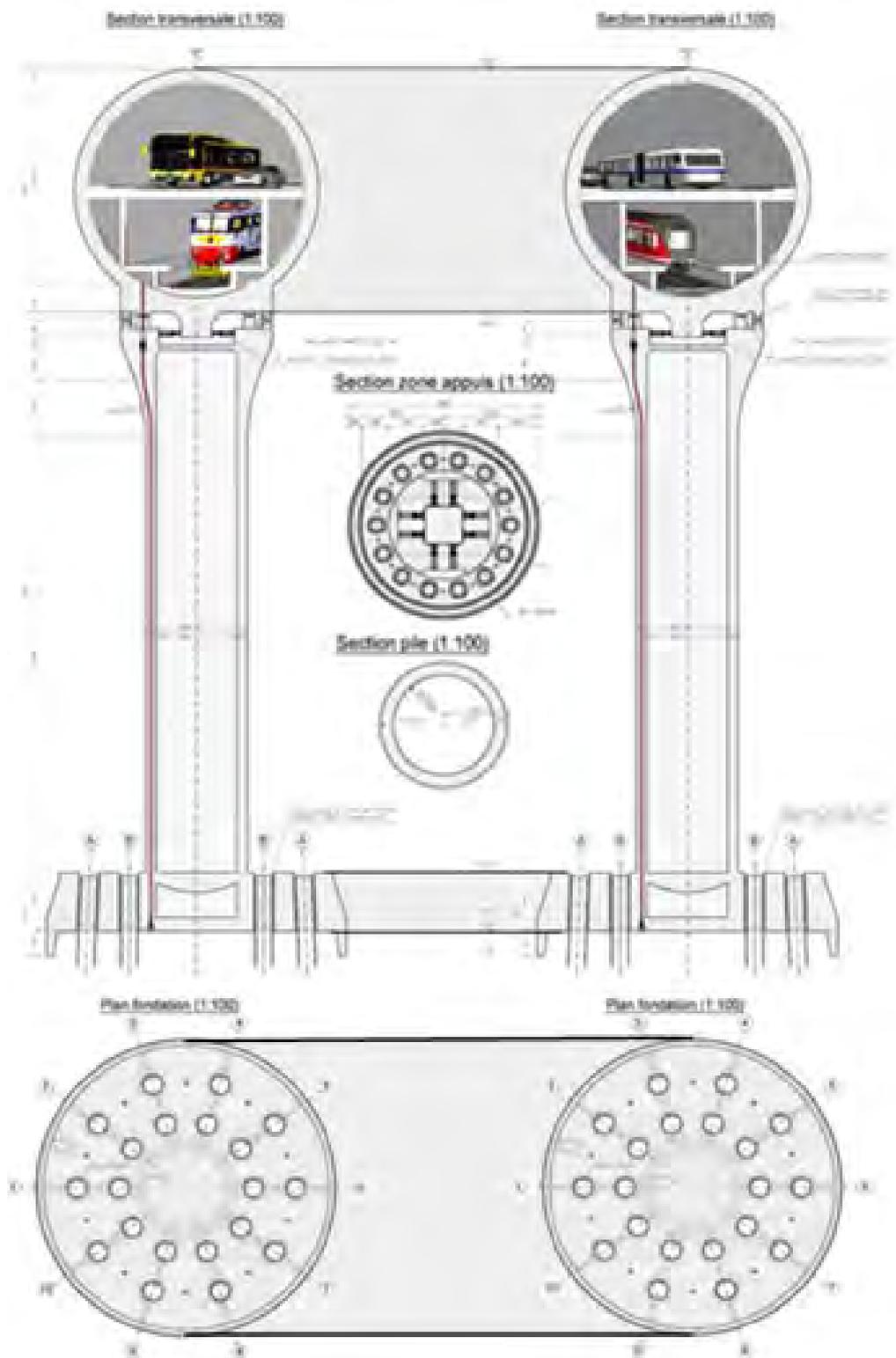


Figura 7-55 Ipotesi di sezione in corrispondenza dei piloni, giunto antisismico e fondazioni derivati dal progetto EPFL<sup>324</sup>  
(Fonte École Polytechnique Fédérale de Lausanne)

<sup>324</sup> <https://actu.epfl.ch/news/an-underwater-tunnel-connecting-geneva-and-lausann/>  
<https://actu.epfl.ch/image/67850/original/6623x9362.jpg>

### Ipotesi direttrice Zona Falcata-Villa San Giovanni (ponte ME-RC alveo)

Un'ipotesi particolarmente suggestiva è quella di un attraversamento all'altezza di Messina, e in particolare dalla Zona Falcata (penisola di forma arcuata che racchiude il bacino portuale storico di Messina), che orientato in direzione ovest-est raggiungerebbe la sponda opposta in corrispondenza della località Villa San Giovanni/Concessa (Figura 7-56). Si tratta sostanzialmente di una direttrice di attraversamento simile a quella ipotizzata nel progetto ENI di attraversamento stabile dei primi anni '90 (rif. capitolo 5). Tra la Zona Falcata e Villa San Giovanni la distanza tra le coste è di circa 6,4 km e il fondale raggiunge 310m circa.<sup>325</sup>



Figura 7-56 Ipotesi di localizzazione del tunnel alveo tra la Zona Falcata e Villa San Giovanni

Con tali profondità l'ancoraggio mediante tiranti (*tethers*), costituiti da tubazioni metalliche di diametro dell'ordine di grandezza di 1m, fissati alla struttura a intervalli dell'ordine di 200m (con l'obiettivo di allineare la modularità strutturale / dei tiranti di ancoraggio / dei by-pass di sicurezza), tecnologia mutuata dai recenti progetti di attraversamento dei fiordi norvegesi<sup>326</sup>, prevista anche nel progetto ENI, sembrerebbe la più adatta (Figura 7-57 e Figura 7-58).

<sup>325</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=q8ING6UKUk&t=769s>

<sup>326</sup> Statens Vegvesen – Norwegian Public Roads Administration  
<https://www.vegvesen.no/en/roads/Roads+and+bridges/Road+projects/e39coastalhighwayroute>

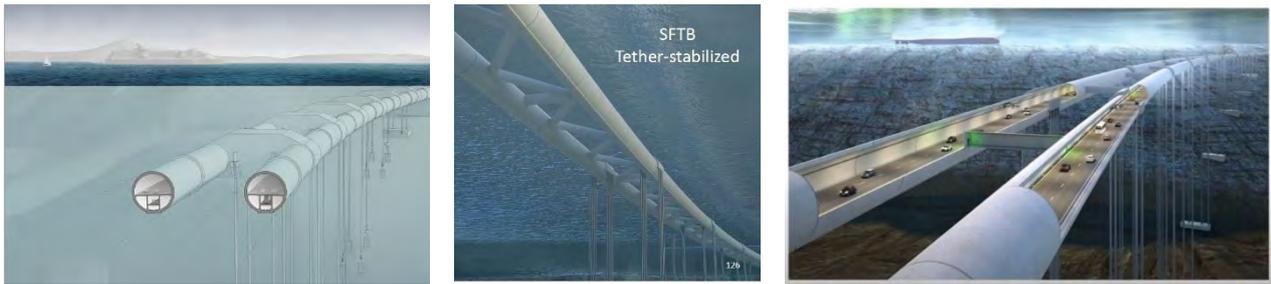


Figura 7-57 SFTB progettati dalla Statens Vegvesen<sup>327</sup>

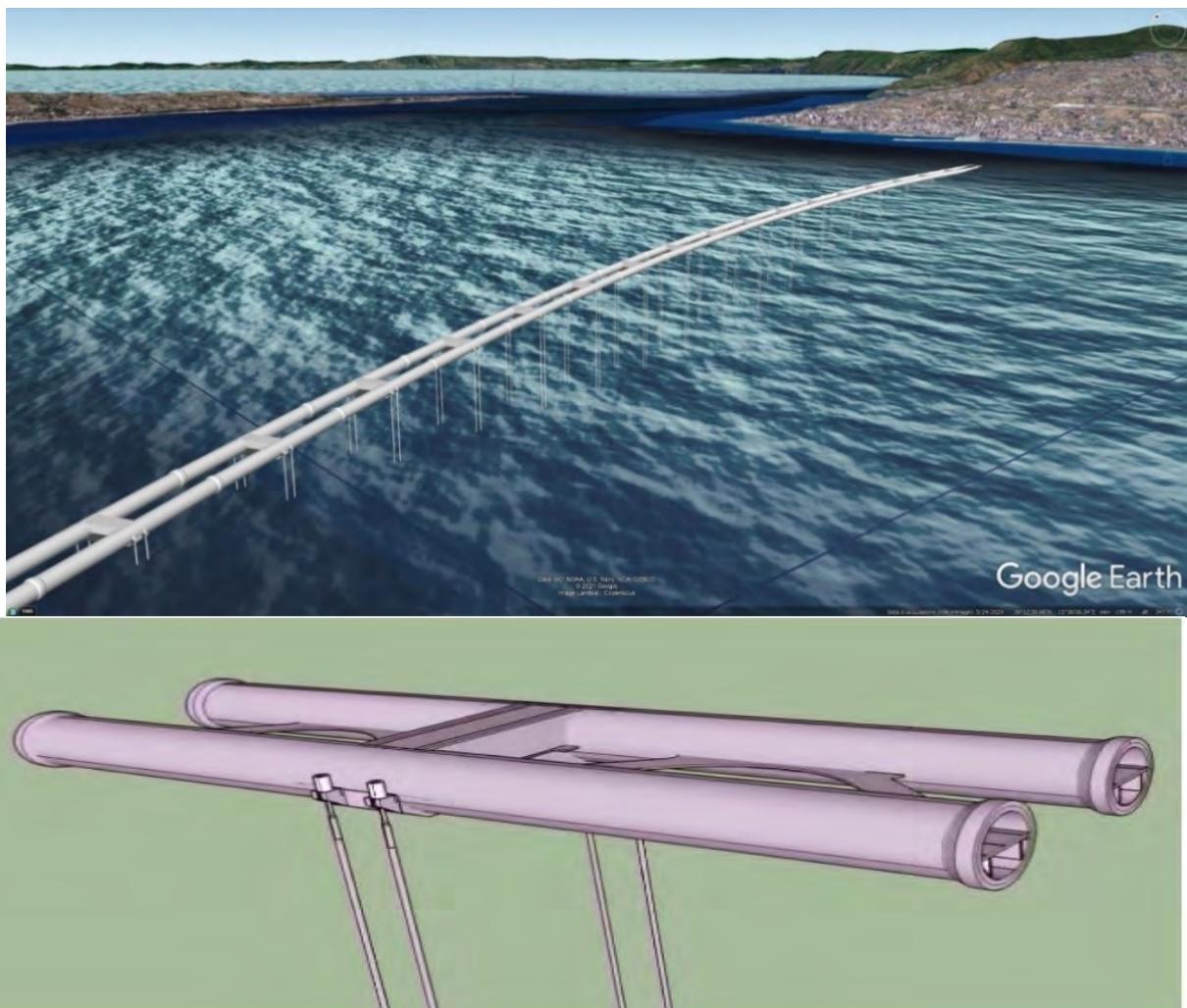


Figura 7-58 SFT Zona Falcata-Villa San Giovanni- Ancoraggio mediante tiranti (tethers)

<sup>327</sup> [https://www.vegvesen.no/attachment/1607172/binary/1145785?fast\\_title=Bj%C3%B8rnafjorden+R%C3%B8yrbru+%28Submerged+floating+tunnel%29+K3-K4+Technical+report.pdf](https://www.vegvesen.no/attachment/1607172/binary/1145785?fast_title=Bj%C3%B8rnafjorden+R%C3%B8yrbru+%28Submerged+floating+tunnel%29+K3-K4+Technical+report.pdf)

## 7.4.2 Allacci ferroviari del tunnel sommerso flottante (SFT)

### Ipotesi direttrice Ganzirri-Villa San Giovanni

Il collegamento lungo la direttrice Ganzirri-Villa San Giovanni avrebbe andamento planimetrico simile a quello del collegamento con ponte a più campate, da cui si discosterebbe altimetricamente.

I collegamenti ferroviario stradale avverrebbero in corrispondenza della linea costiera ad una quota di circa -35m e -40m sul livello del mare.

Il tracciato ferroviario del tunnel sommerso e dei collegamenti in prosecuzione a terra alle linee esistenti è rappresentato in Figura 7-59, Figura 7-60 e Figura 7-61.

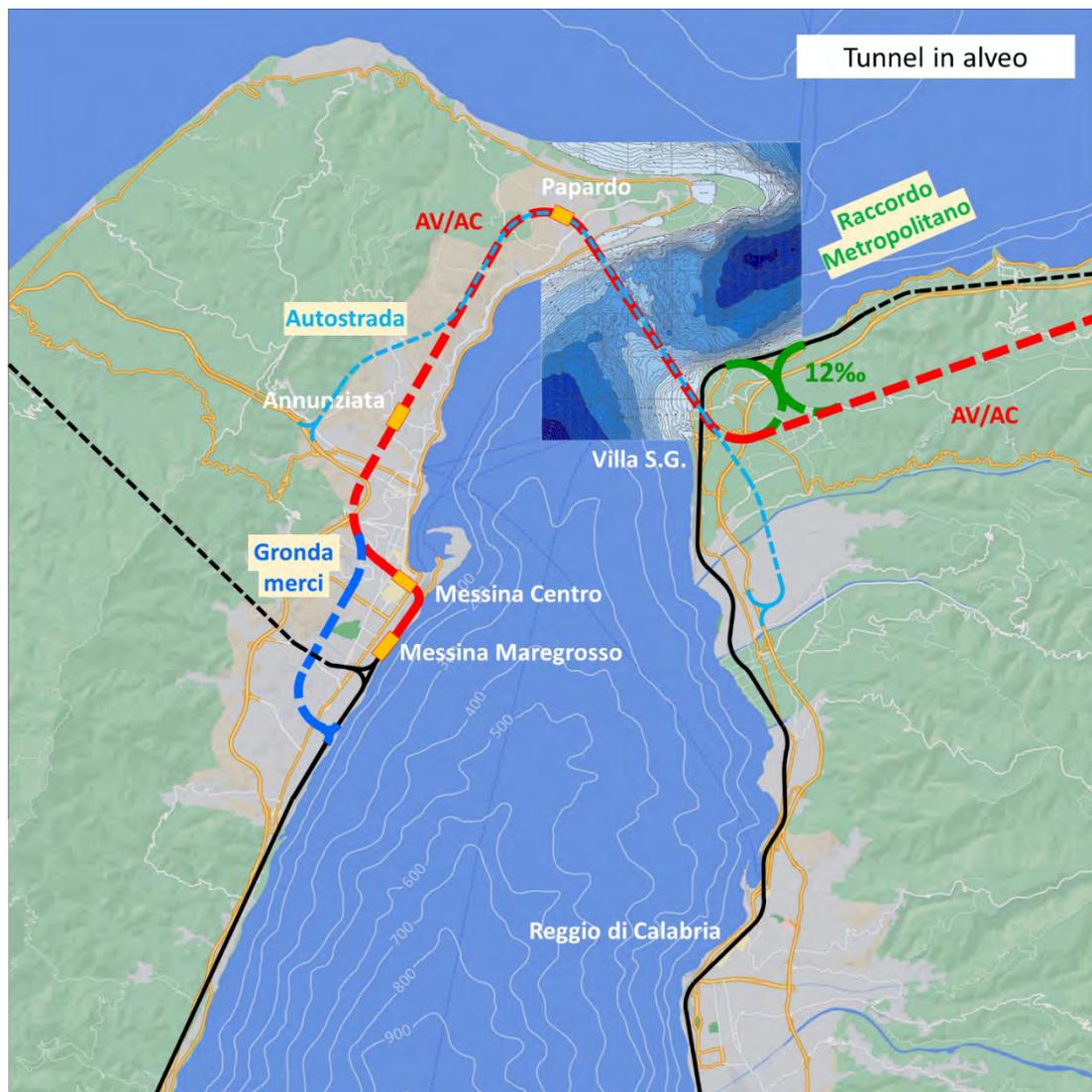


Figura 7-59 Tunnel alveo tra Ganzirri e Villa S.G.- Tracciato ferroviario – Planimetria

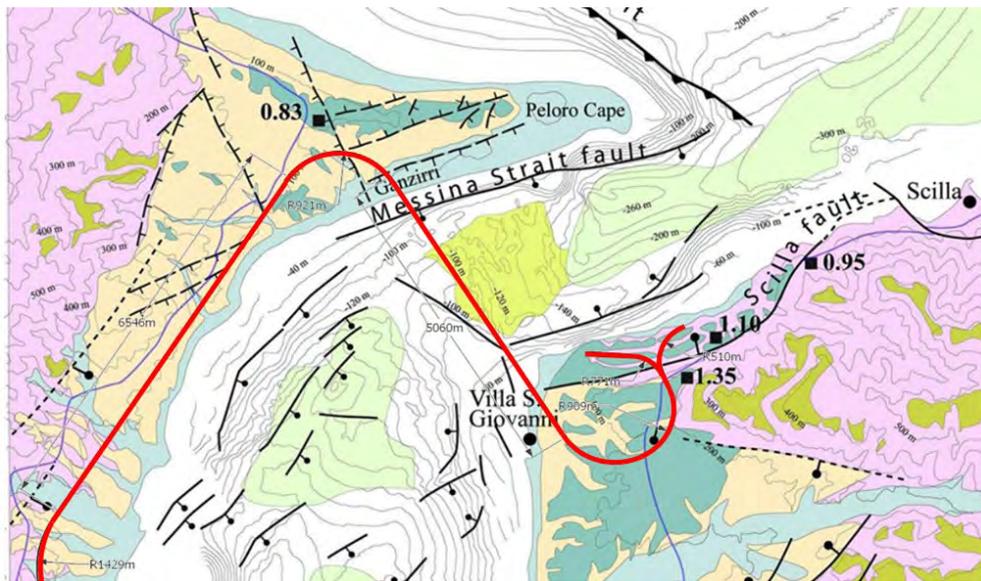


Figura 7-60 Mappa geologica dell'area dello Stretto con sovrapposto il tracciato di massima del tunnel alveo su colonne

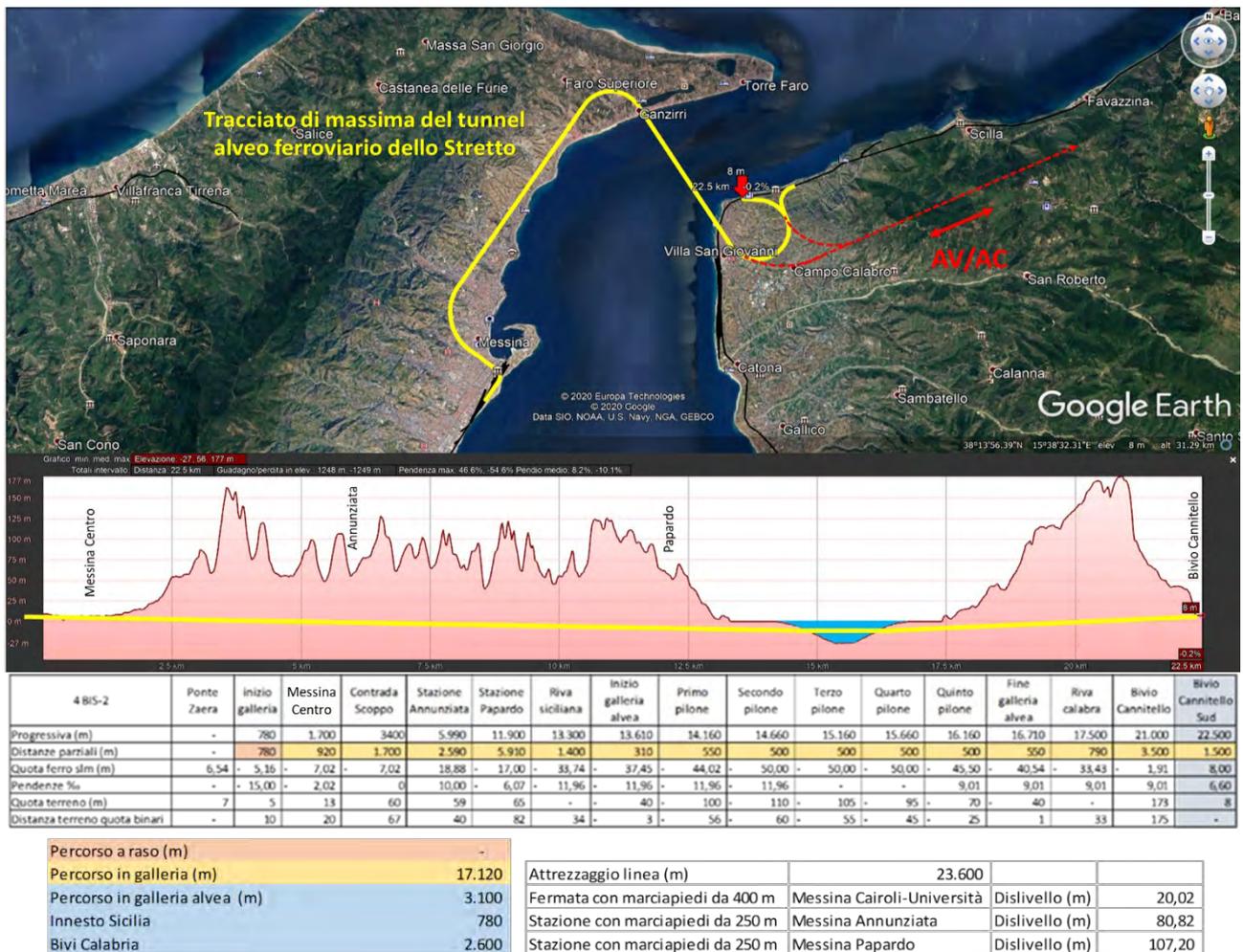


Figura 7-61 Tunnel alveo tra Ganzirri e Villa S.G.– Tracciato ferroviario ramo Cannitello Sud – Caratteristiche plano-altimetriche e dati d'insieme



Per il collegamento ferroviario sarebbe possibile la realizzazione della fermata Messina Centro nelle stesse posizioni e alle stesse quote della soluzione ponte a 3 campate, mentre le stazioni Annunziata e Papardo dovrebbero essere realizzate in sotterranea con un dislivello rispettivamente di 45 m e 82 metri circa rispetto alla superficie. Anche in questo caso, come per le stazioni del tunnel sottomarino, si potrebbero installare sia ascensori su piano inclinato, mantenendo in tal modo l'accesso in superficie delle stazioni nella stessa posizione già prevista dal progetto del ponte a campata unica, sia ascensori verticali corredati di tratti orizzontali con tappeti mobili.

Analogamente a Villa San Giovanni, a circa -45 m rispetto alla superficie, si potrebbe realizzare una stazione sotterranea come nel caso del tunnel sottomarino.

Nella Figura 7-62 è rappresentato in modo schematico il tracciato ferroviario di massima con indicate le distanze parziali, i raggi di curvatura, le progressive chilometriche, dati che permettono una valutazione sommaria della velocità massima di tracciato e una stima dei tempi di percorrenza.

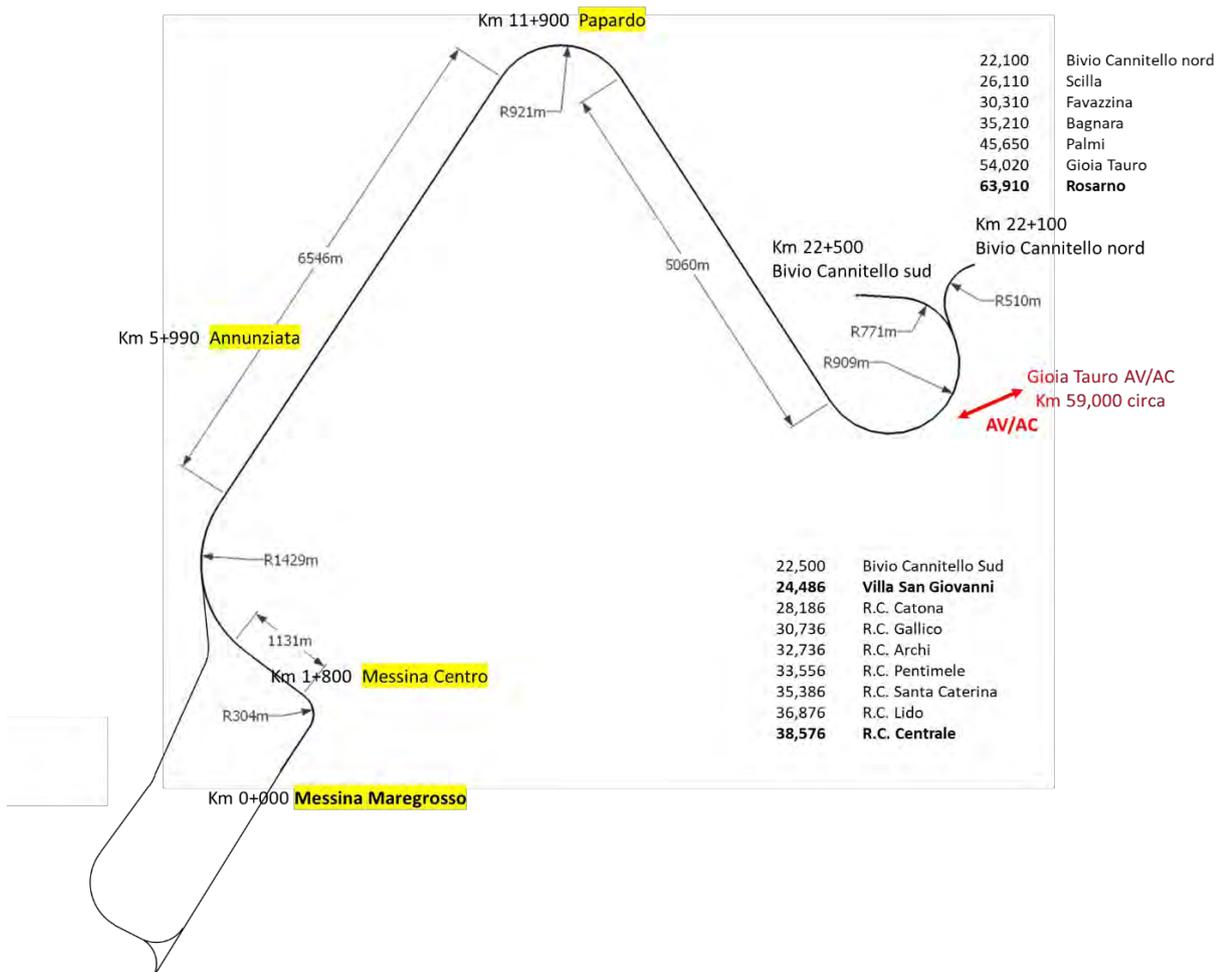


Figura 7-62 Ipotesi tracciato ferroviario del tunnel alveo sulla Sella



La mappa dei collegamenti ferroviari, relativa alla soluzione del tunnel alveo posto in corrispondenza della Sella è riportata in Figura 7-63. Con linea rossa è indicata la possibile nuova linea AV/AC prevista in Calabria e con la linea arancione è indicata la possibile gronda merci.

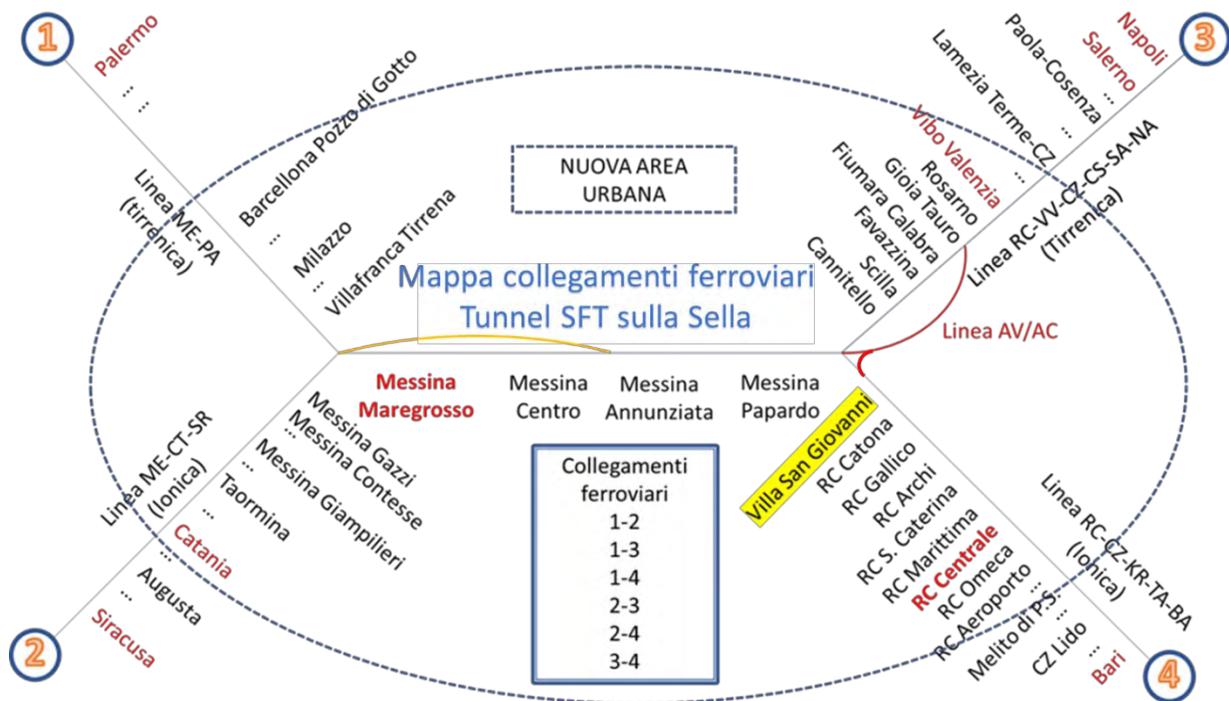


Figura 7-63 Mappa dei collegamenti ferroviari relativa alla realizzazione del tunnel alveo a mezz'acqua sulla Sella

I Servizi ferroviari dello Stretto, sia metropolitano che interregionale, con il tunnel alveo posto sulla Sella sarebbero gli stessi di quelli già indicati per il ponte a tre campate (Figura 7-31 e Figura 7-32).

Nella Tabella 7-17 sono riportate distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano del tunnel alveo sulla Sella e nella Tabella 7-18 i tempi di viaggio da Messina Marengrosso a Reggio Calabria Centrale.

Analogamente nella Tabella 7-19 e Tabella 7-20 sono indicate distanze, tempi di percorrenza e tempi di viaggio da Messina Marengrosso a Rosarno.

Le seguenti Tabella 7-21, Tabella 7-22, Tabella 7-23 e Tabella 7-24 riportano gli stessi dati relativamente al servizio ferroviario interregionale con il tunnel alveo.



Tunnel alveo sulla Sella Servizio Metropolitan Linee rossa e verde	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregross</b>	-	0	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Annunziata	5,990	4,190	63	00:04	00:01	00:07
Papardo	11,900	5,910	59	00:06	00:01	00:14
Villa S. Giovanni	24,486	12,586	58	00:13	00:01	00:28
Reggio Calabria Catona	28,186	3,700	74	00:03	00:01	00:32
Reggio Calabria Gallico	30,736	2,550	51	00:03	00:01	00:36
Reggio Calabria Archi	32,736	2,000	60	00:02	00:01	00:39
Reggio Calabria Pentimele	33,556	0,820	25	00:02	00:01	00:42
Reggio Calabria S. Caterina	35,386	1,830	37	00:03	00:01	00:46
Reggio Calabria Lido	36,876	1,490	45	00:02	00:01	00:49
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	<b>38,576</b>	<b>1,700</b>	<b>20</b>	<b>00:05</b>	<b>00:00</b>	<b>00:55</b>
Totale		38,576		00:45	00:10	

Tabella 7-17 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano da Messina Maregross a Reggio C. Centrale

Tunnel alveo sulla Sella Servizio Metropolitan Linee rossa e verde	Messina Maregross	Messina Centro	Annunziata	Papardo	Villa S.G.	Catona	Gallico	Archi	Pentimele	S. Caterina	Reggio C. Lido	Reggio C. Centrale
<b>Messina Maregross</b>		00:02	00:07	00:14	00:28	00:32	00:36	00:39	00:42	00:46	00:49	00:55
Messina Centro	00:02		00:05	00:12	00:26	00:30	00:34	00:37	00:40	00:44	00:47	00:53
Annunziata	00:07	00:05		00:07	00:21	00:25	00:29	00:32	00:35	00:39	00:42	00:48
Papardo	00:14	00:12	00:07		00:14	00:18	00:22	00:25	00:28	00:32	00:35	00:41
Villa S. Giovanni	00:28	00:26	00:21	00:14		00:04	00:08	00:11	00:14	00:18	00:21	00:27
Reggio Calabria Catona	00:32	00:30	00:25	00:18	00:04		00:04	00:07	00:10	00:14	00:17	00:23
Reggio Calabria Gallico	00:36	00:34	00:29	00:22	00:08	00:04		00:03	00:06	00:10	00:13	00:19
Reggio Calabria Archi	00:39	00:37	00:32	00:25	00:11	00:07	00:03		00:03	00:07	00:10	00:16
Reggio Calabria Pentimele	00:42	00:40	00:35	00:28	00:14	00:10	00:06	00:03		00:04	00:07	00:13
Reggio Calabria S. Caterina	00:46	00:44	00:39	00:32	00:18	00:14	00:10	00:07	00:04		00:03	00:09
Reggio Calabria Lido	00:49	00:47	00:42	00:35	00:21	00:17	00:13	00:10	00:07	00:03		00:06
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	<b>00:55</b>	<b>00:53</b>	<b>00:48</b>	<b>00:41</b>	<b>00:27</b>	<b>00:23</b>	<b>00:19</b>	<b>00:16</b>	<b>00:13</b>	<b>00:09</b>	<b>00:06</b>	

Tabella 7-18 Tempi di viaggio servizio metropolitano da Messina Maregross a Reggio Calabria Centrale



<b>Tunnel alveo sulla Sella Servizio Metropolitan Linee arancione e rosa</b>	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregresso</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Annunziata	5,990	4,190	63	00:04	00:01	00:07
Papardo	11,900	5,910	59	00:06	00:01	00:14
Scilla	26,110	14,210	61	00:14	00:01	00:29
Favazzina	30,310	4,200	63	00:04	00:01	00:34
Bagnara	35,210	4,900	74	00:04	00:01	00:39
Palmi	45,650	10,440	89	00:07	00:01	00:47
Gioia Tauro	54,020	8,370	84	00:06	00:01	00:54
<b>Rosarno</b>	<b>63,910</b>	<b>9,890</b>	<b>74</b>	<b>00:08</b>	<b>00:00</b>	<b>01:03</b>
Totale		63,910		00:55	00:08	

Tabella 7-19 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano da Messina Maregresso a Rosarno

<b>Tunnel alveo sulla Sella Servizio Metropolitan Linea arancione e rosa</b>	Messina Maregresso	Messina Centro	Annunziata	Papardo	Scilla	Favazzina	Bagnara	Palmi	Gioia Tauro	Rosarno
<b>Messina Maregresso</b>		00:02	00:07	00:14	00:29	00:34	00:39	00:47	00:54	01:03
Messina Centro	00:02		00:05	00:12	00:27	00:32	00:37	00:45	00:52	01:01
Annunziata	00:07	00:05		00:07	00:22	00:27	00:32	00:40	00:47	00:56
Papardo	00:14	00:12	00:07		00:15	00:20	00:25	00:33	00:40	00:49
Scilla	00:29	00:27	00:22	00:15		00:05	00:10	00:18	00:25	00:34
Favazzina	00:34	00:32	00:27	00:20	00:05		00:05	00:13	00:20	00:29
Bagnara	00:39	00:37	00:32	00:25	00:10	00:05		00:08	00:15	00:24
Palmi	00:47	00:45	00:40	00:33	00:18	00:13	00:08		00:07	00:16
Gioia Tauro	00:54	00:52	00:47	00:40	00:25	00:20	00:15	00:07		00:09
<b>Rosarno</b>	<b>01:03</b>	<b>01:01</b>	<b>00:56</b>	<b>00:49</b>	<b>00:34</b>	<b>00:29</b>	<b>00:24</b>	<b>00:16</b>	<b>00:09</b>	

Tabella 7-20 Tempi di viaggio del servizio metropolitano da Messina Maregresso a Rosarno

<b>Tunnel alveo sulla Sella Servizio interregionale Linea rossa e verde</b>	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregresso</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Villa S. Giovanni	24,486	22,686	68	00:20	00:01	00:23
Reggio Calabria Lido	36,876	12,390	68	00:11	00:01	00:35
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	<b>38,576</b>	<b>1,700</b>	<b>17</b>	<b>00:06</b>	<b>00:00</b>	<b>00:42</b>
Totale		38,576		00:39	00:03	

Tabella 7-21 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario interregionale da Messina Maregresso a Reggio C. Centrale



Tunnel alveo sulla Sella Servizio interregionale Linea rossa e verde	Messina Maregresso	Messina Centro	Villa S. Giovanni	Reggio Calabria Lido	Reggio Calabria Centrale
<b>Messina Maregresso</b>		00:02	00:23	00:35	00:42
Messina Centro	00:02		00:21	00:33	00:40
Villa S. Giovanni	00:23	00:21		00:12	00:19
Reggio Calabria Lido	00:35	00:33	00:12		00:07
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	00:42	00:40	00:19	00:07	

Tabella 7-22 Tempi di viaggio servizio interregionale da Messina Maregresso a Reggio Calabria Centrale

Tunnel alveo sulla Sella Servizio Interregionale Linee arancione e rosa	Progressive (km)	Distanze intermedie(km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Maregresso</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Messina Centro	1,800	1,800	54	00:02	00:01	00:02
Gioia Tauro	54,020	52,220	90	00:35	00:01	00:38
<b>Rosarno</b>	63,910	9,890	74	00:08	00:00	00:47
<b>Totale</b>		63,910		00:45	00:02	

Tabella 7-23 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario interregionale da Messina Maregresso a Rosarno

Tunnel alveo sulla Sella Servizio Interregionale Linee arancione e rosa	Messina Maregresso	Messina Centro	Gioia Tauro	Rosarno
<b>Messina Maregresso</b>		00:02	00:38	00:47
Messina Centro	00:02		00:36	00:45
Gioia Tauro	00:38	00:36		00:09
<b>Rosarno</b>	00:47	00:45	00:09	

Tabella 7-24 Tempi di viaggio del servizio interregionale da Messina Maregresso a Rosarno

### Ipotesi direttrice Zona Falcata-Villa San Giovanni

Il tracciato ferroviario del tunnel in alveo, ipotizzato lungo la direttrice Zona Falcata-Villa San Giovanni, e dei collegamenti in prosecuzione a terra alle linee esistenti sono rappresentati nella Figura 7-64 e Figura 7-65.

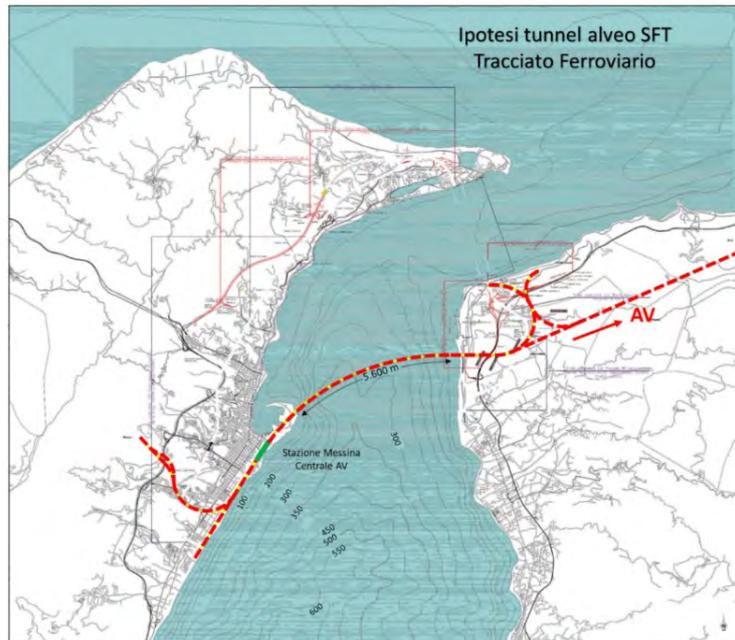
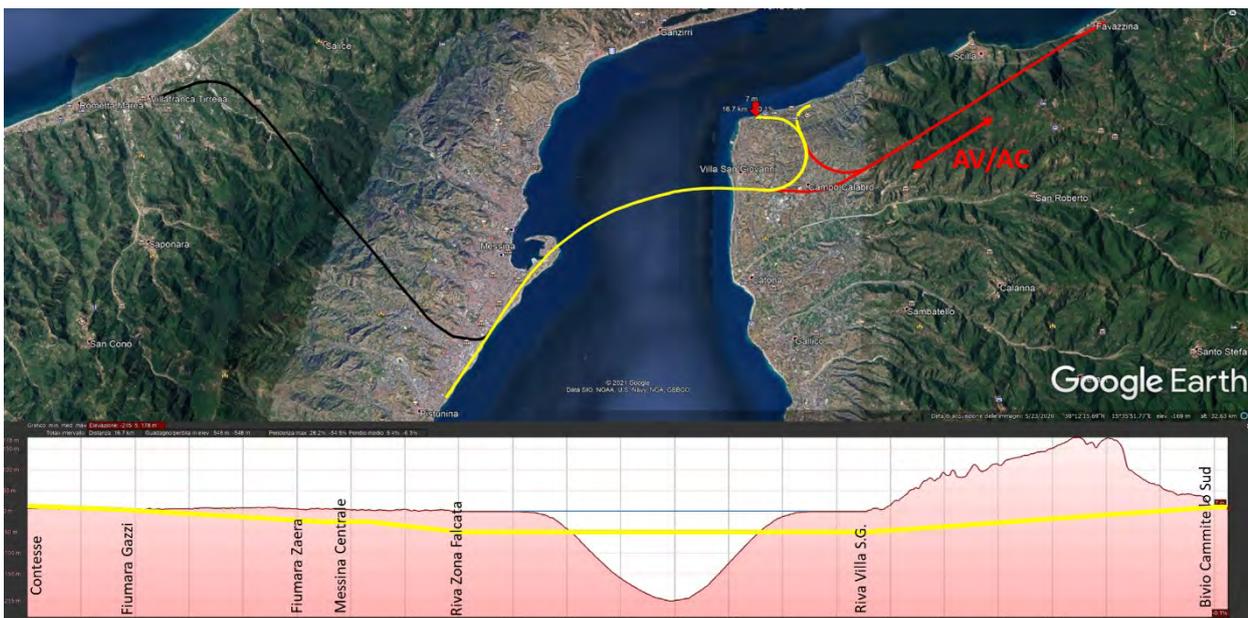


Figura 7-64 Possibile tracciato ferroviario dell'attraversamento dello Stretto tramite SFTB tra Zona Falcata e Villa S. G.



Interramento ferrovia Messina-Catania	Stazione Contesse	Fiumara Gazzi	Nuovo bivio galleria Peloritani	Fiumara Zaera	Inizio stazione Messina Centrale	Fine stazione Messina Centrale	Riva Zona Falcata	Riva Villa S. G.	Bivio Cannitello Sud
Progressiva (m)	-	1230	2.480	3.380	4.180	4.580	5.970	11700	16700
Distanze parziali (m)	-	1.230	1.250	900	800	400	1.390	5.730	5.000
Piano del ferro slm (m)	7,00	0,64	- 20,83	- 28,36	- 35,04	- 35,04	- 50,00	- 50,00	7,00
Pendenze ‰	-	- 5,17	- 11,22	- 8,36	- 8,36	-	- 10,76	-	11,40
Quota terreno (m)	7,00	5,00	7,00	6,00	4,00	2,00	0	0	7
Distanza terreno-piano del ferro	-	4,36	27,83	34,36	39,04	37,04	50,00	50,00	-

Figura 7-65 Tunnel alveo tra Zona Falcata e Villa S.G. – Tracciato ferroviario – Caratteristiche plano-altimetriche



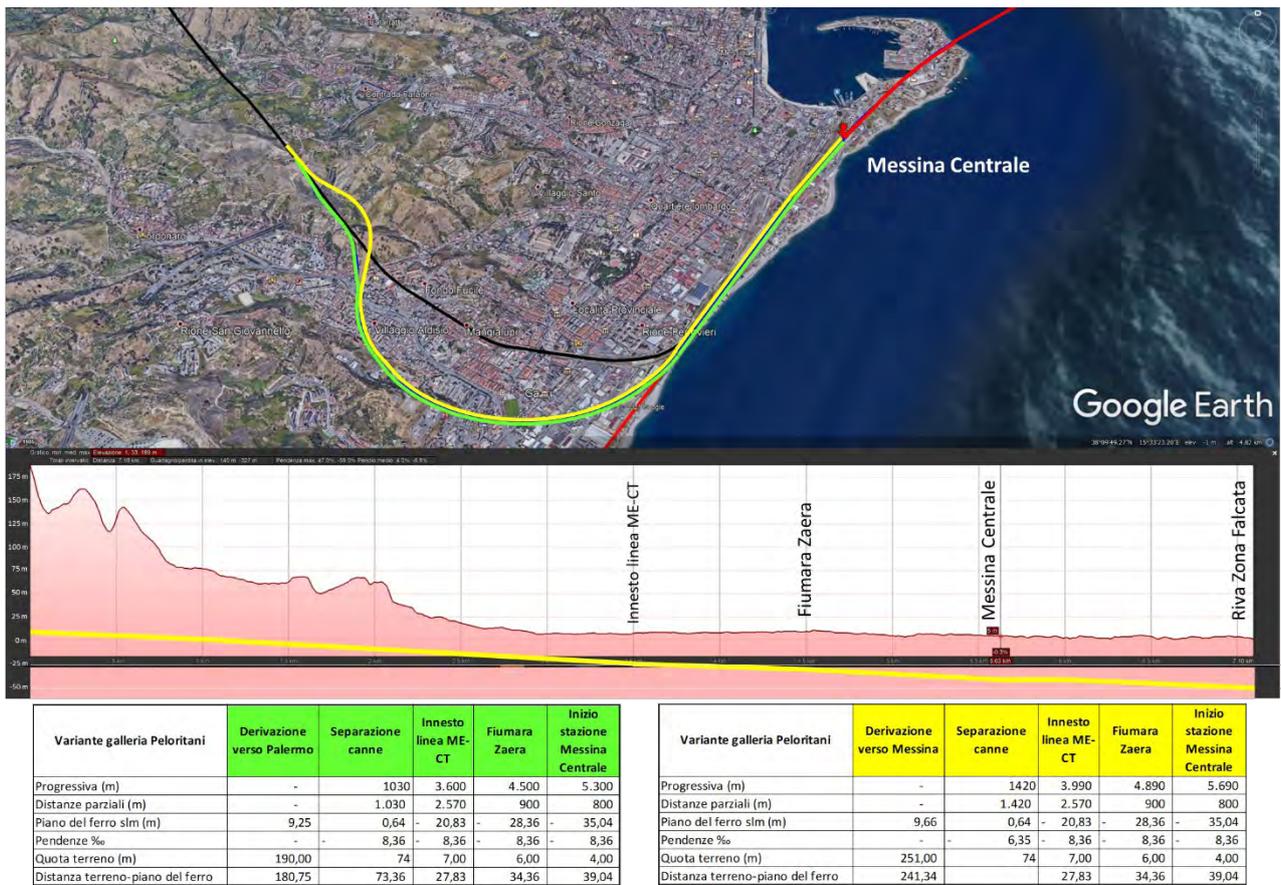


Figura 7-67 Ipotesi di variante della galleria ferroviaria dei Peloritani: binario verde dispari e binario giallo pari



Figura 7-68 Ipotesi di sezione della nuova stazione di Messina Centrale



La nuova stazione di Messina Centrale (Figura 7-68), mutuabile da quella di Bologna AV, risulterebbe in sotterranea con il piano stradale presumibilmente a -10,74m e quello ferroviario a -35,04m. La linea ferroviaria per il traffico passeggeri prevederebbe due binari per ogni senso di marcia (2 per la linea Messina-Catania e 2 per la linea Messina-Palermo). I treni merci viaggerebbero su binari laterali insonorizzati rispetto ai binari dotati di marciapiedi ad uso dei viaggiatori.

In Calabria un raccordo in galleria naturale di 5km circa consentirebbe l'innesto nella linea tirrenica lato Calabria in località Cannitello; verso nord la prima stazione è Scilla mentre verso sud Villa San Giovanni.

Nella Figura 7-69 è rappresentato in modo schematico il tracciato ferroviario di massima con indicate le distanze parziali, i raggi di curvatura, le progressive chilometriche, dati che permettono una valutazione sommaria della velocità massima di tracciato e una stima dei tempi di percorrenza.

La mappa dei collegamenti ferroviari, relativa alla soluzione del tunnel alveo posto tra la Zona Falcata e Concessa è riportata in Figura 7-70. Con linea rossa è indicata la possibile nuova linea AV/AC prevista in Calabria.

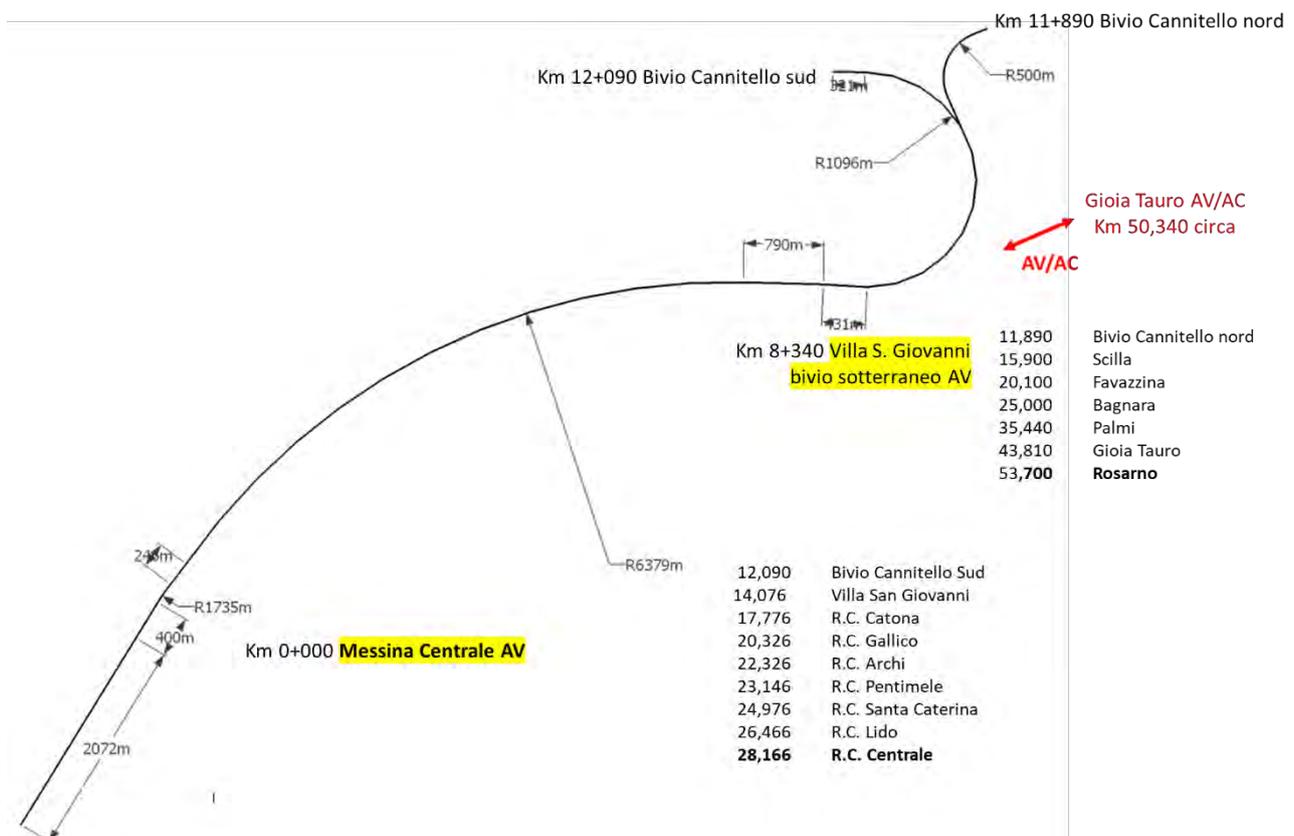


Figura 7-69 Ipotesi tracciato ferroviario del tunnel alveo tra Zona Falcata e Concessa

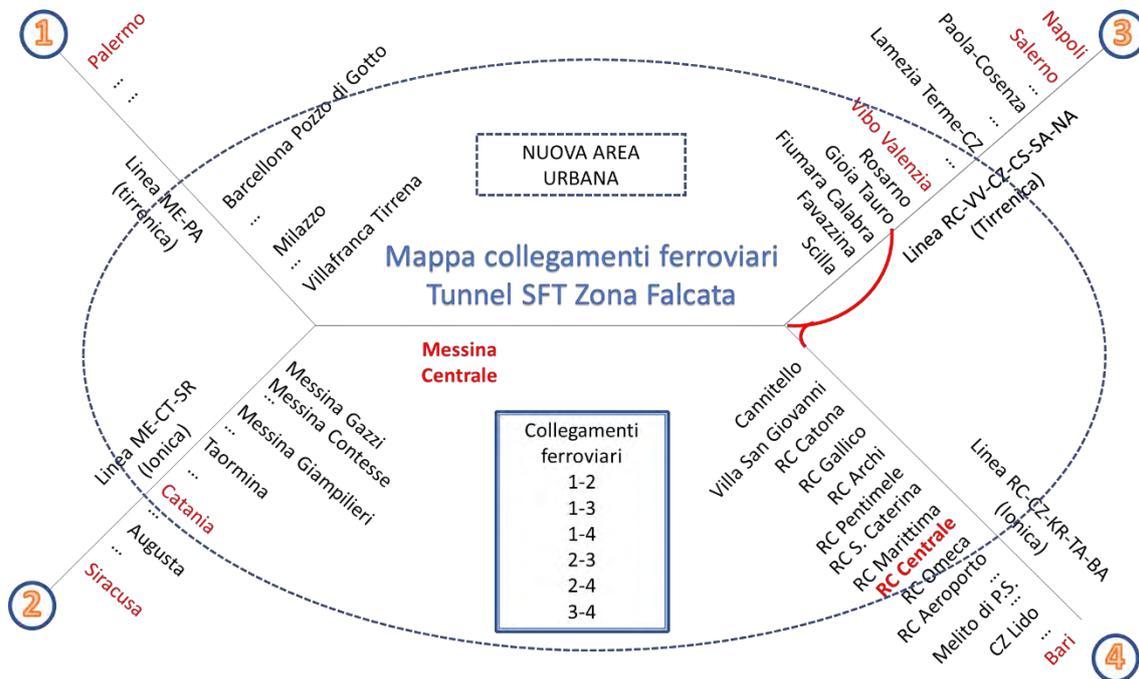


Figura 7-70 Mappa dei collegamenti ferroviari relativa alla realizzazione del tunnel alveo tra la Zona Falcata e Concessa

Con la realizzazione del tunnel alveo tra la Zona Falcata e Concessa i servizi ferroviari locali nell'area dello Stretto sarebbero potenziati secondo gli schemi riportati di seguito. Nella Figura 7-71 è indicato il servizio ferroviario metropolitano e nella Figura 7-72 il servizio ferroviario interregionale.

Nella *Tabella 7-25* sono riportate distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano del tunnel alveo e nella *Tabella 7-26* i tempi di viaggio da Messina Centrale a Reggio Calabria Centrale.

Analogamente nelle *Tabella 7-27* e *Tabella 7-28* distanze, tempi di percorrenza e tempi di viaggio da Messina Centrale a Rosarno.

Le successive *Tabella 7-29*, *Tabella 7-30*, *Tabella 7-31*, *Tabella 7-32* riportano gli stessi dati relativamente al servizio ferroviario interregionale con il tunnel alveo.

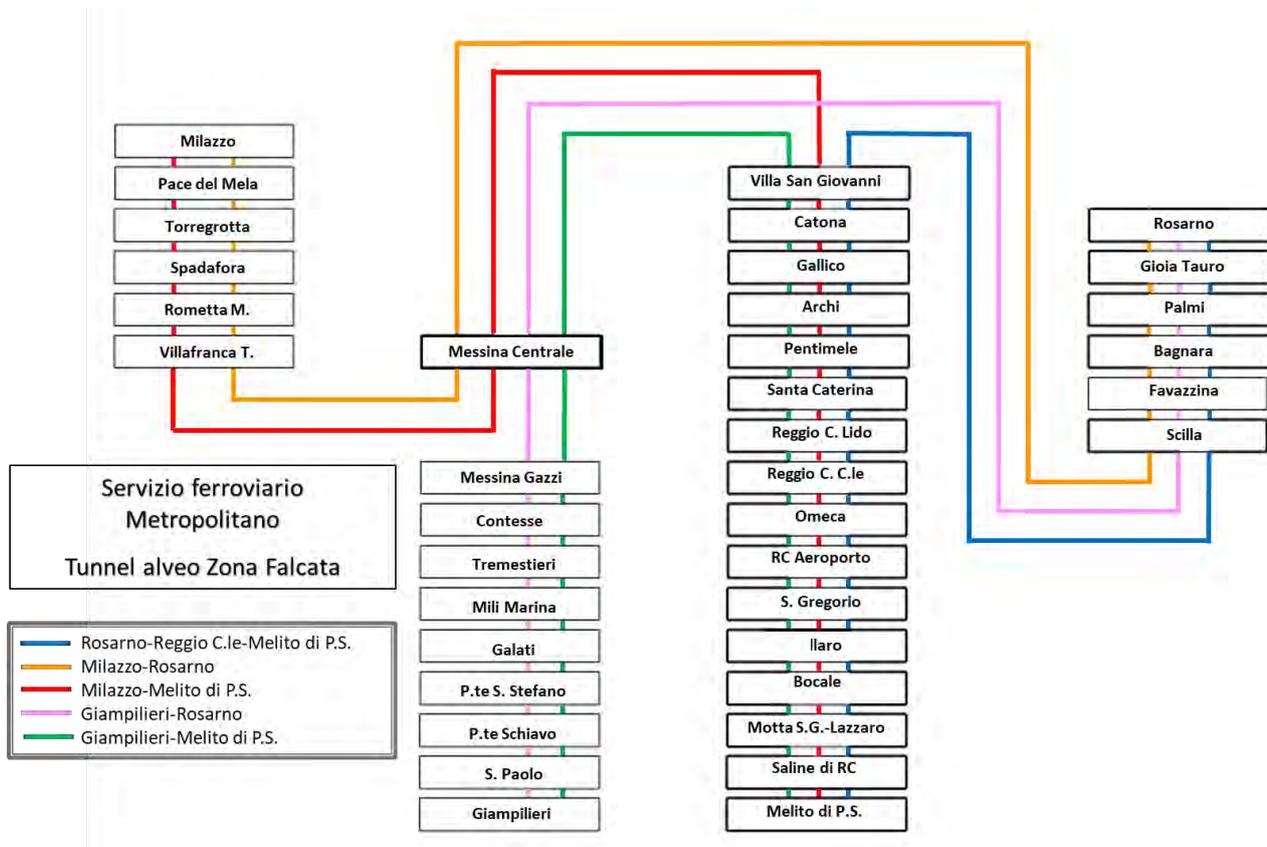


Figura 7-71 Ipotesi di Servizio ferroviario metropolitano dello Stretto con il tunnel alveo tra la Zona Falcata e Concessa

Tunnel alveo Zona Falcata Servizio Metropolitano Linee rossa e verde	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Centrale</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Villa S. Giovanni	14,076	14,076	60	00:14	00:01	00:14
Reggio Calabria Catona	17,776	3,700	74	00:03	00:01	00:18
Reggio Calabria Gallico	20,326	2,550	51	00:03	00:01	00:22
Reggio Calabria Archi	22,326	2,000	60	00:02	00:01	00:25
Reggio Calabria Pentimele	23,146	0,820	25	00:02	00:01	00:28
Reggio Calabria S. Caterina	24,976	1,830	37	00:03	00:01	00:32
Reggio Calabria Lido	26,466	1,490	45	00:02	00:01	00:35
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	28,166	1,700	20	00:05	00:00	00:41
Totale		28,166		00:34	00:07	

Tabella 7-25 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano da Messina Centrale a Reggio C. Centrale



<b>Tunnel alveo Zona Falcata Servizio Metropolitan Linee rossa e verde</b>	Messina Centrale	Villa S.G.	Catona	Gallico	Archi	Pentimele	S. Caterina	R.C. Lido	Reggio C. Centrale
<b>Messina Centrale</b>		00:14	00:18	00:22	00:25	00:28	00:32	00:35	00:41
Villa S. Giovanni	00:14		00:04	00:08	00:11	00:14	00:18	00:21	00:27
Reggio Di Calabria Catona	00:18	00:04		00:04	00:07	00:10	00:14	00:17	00:23
Reggio Di Calabria Gallico	00:22	00:08	00:04		00:03	00:06	00:10	00:13	00:19
Reggio Di Calabria Archi	00:25	00:11	00:07	00:03		00:03	00:07	00:10	00:16
Reggio Di Calabria Pentimele	00:28	00:14	00:10	00:06	00:03		00:04	00:07	00:13
Reggio Di Calabria S. Caterina	00:32	00:18	00:14	00:10	00:07	00:04		00:03	00:09
Reggio Di Calabria Lido	00:35	00:21	00:17	00:13	00:10	00:07	00:03		00:06
<b>Reggio Di Calabria Centrale</b>	00:41	00:27	00:23	00:19	00:16	00:13	00:09	00:06	

Tabella 7-26 Tempi di viaggio servizio metropolitano da Messina Centrale a Reggio Calabria Centrale

<b>Tunnel alveo Zona Falcata Servizio Metropolitan Linee arancione e rosa</b>	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Centrale</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Scilla	15,900	15,900	68	00:16	00:01	00:16
Favazzina	20,100	4,200	63	00:04	00:01	00:21
Bagnara	25,000	4,900	74	00:04	00:01	00:26
Palmi	35,440	10,440	89	00:07	00:01	00:34
Gioia Tauro	43,810	8,370	84	00:06	00:01	00:41
<b>Rosarno</b>	53,700	9,890	74	00:08	00:00	00:50
Totale		53,700		00:45	00:05	

Tabella 7-27 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario metropolitano da Messina Centrale a Rosarno

<b>Tunnel alveo Zona Falcata Servizio Metropolitan Linea arancione e rosa</b>	Messina Centrale	Scilla	Favazzina	Bagnara	Palmi	Gioia Tauro	Rosarno
<b>Messina Centrale</b>		00:16	00:21	00:26	00:34	00:41	00:50
Scilla	00:16		00:05	00:10	00:18	00:25	00:34
Favazzina	00:21	00:05		00:05	00:13	00:20	00:29
Bagnara	00:26	00:10	00:05		00:08	00:15	00:24
Palmi	00:34	00:18	00:13	00:08		00:07	00:16
Gioia Tauro	00:41	00:25	00:20	00:15	00:07		00:09
<b>Rosarno</b>	00:50	00:34	00:29	00:24	00:16	00:09	

Tabella 7-28 Tempi di viaggio del servizio metropolitano da Messina Centrale a Rosarno

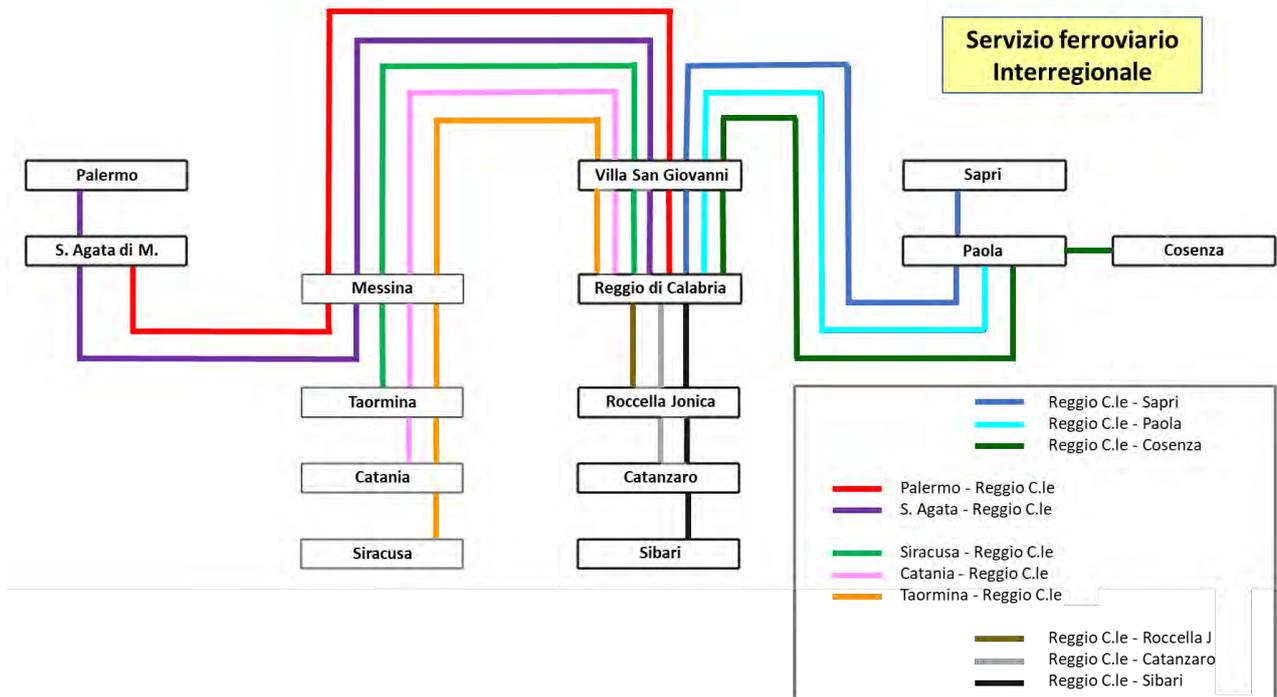


Figura 7-72 Ipotesi di Servizio ferroviario interregionale dello Stretto con il tunnel alveo tra la Zona Falcata e Concessa

Tunnel alveo Zona Falcata Servizio interregionale Linea rossa e verde	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Centrale</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Villa S. Giovanni	14,076	14,076	60	00:14	00:01	00:14
Reggio Calabria Lido	26,466	12,390	68	00:11	00:01	00:26
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	28,166	1,700	17	00:06	00:00	00:33
Totale		28,166		00:31	00:02	

Tabella 7-29 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario interregionale da Messina Centrale a Reggio C. Centrale

Tunnel alveo Zona Falcata Servizio interregionale Linea rossa e verde	Messina Centrale	Villa S. G.	Reggio C. Lido	Reggio C. Centrale
<b>Messina Centrale</b>		00:14	00:26	00:33
Villa S. Giovanni	00:14		00:12	00:19
Reggio Calabria Lido	00:26	00:12		00:07
<b>Reggio Calabria Centrale</b>	00:33	00:19	00:07	

Tabella 7-30 Tempi di viaggio del servizio interregionale da Messina Centrale a Reggio C. Centrale



Tunnel alveo Zona Falcata Servizio Interregionale Linee arancione e rosa	Progressive (km)	Distanze intermedie (km)	V media (km/h)	Tempi intermedi (min)	Sosta (min)	Tempi (min)
<b>Messina Centrale</b>	-	-	0	00:00	00:00	00:00
Gioia Tauro	43,810	43,810	88	00:30	00:01	00:30
<b>Rosarno</b>	53,700	9,890	74	00:08	00:00	00:39
Totale		53,700		00:38	00:01	

Tabella 7-31 Distanze e tempi di percorrenza del tracciato ferroviario interregionale da Messina Centrale a Rosarno

Tunnel alveo Zona Falcata Servizio Interregionale Linee arancione e rosa	Messina Centrale	Gioia Tauro	Rosarno
<b>Messina Centrale</b>		00:30	00:39
Gioia Tauro	00:30		00:09
<b>Rosarno</b>	00:39	00:09	

Tabella 7-32 Tempi di viaggio del servizio interregionale da Messina Centrale a Rosarno

### 7.4.3 Allacci stradali del tunnel sommerso flottante a mezz'acqua

#### Ipotesi direttrice Ganzirri-Villa San Giovanni

Il tracciato del tunnel alveo e dei collegamenti autostradali è riportato nella Figura 7-73.

Lato Sicilia il tunnel sarebbe collegato come le altre alternative da una nuova infrastruttura con caratteristiche autostradali alla esistente A20 Messina-Palermo, con innesto in corrispondenza dello svincolo di Giostra: il tracciato autostradale coinciderebbe planimetricamente con quello del ponte a 3 campate precedentemente descritto (essendo analogo l'orientamento dell'opera di attraversamento (a ovest del lago Ganzirri). Analogamente sono previsti lo svincolo Curcuraci (spostato in località Pace come per il tunnel sottomarino), lo svincolo Annunziata, nonché il completamento dello svincolo Giostra parzialmente esistente sull'autostrada A20 Messina-Palermo.

Lato Calabria il tunnel prevede un innesto nell'autostrada A3 attraverso un nuovo collegamento con caratteristiche autostradali e un nuovo svincolo, in corrispondenza di Catona così come già descritto per il tunnel sottomarino e per il tunnel alveo.

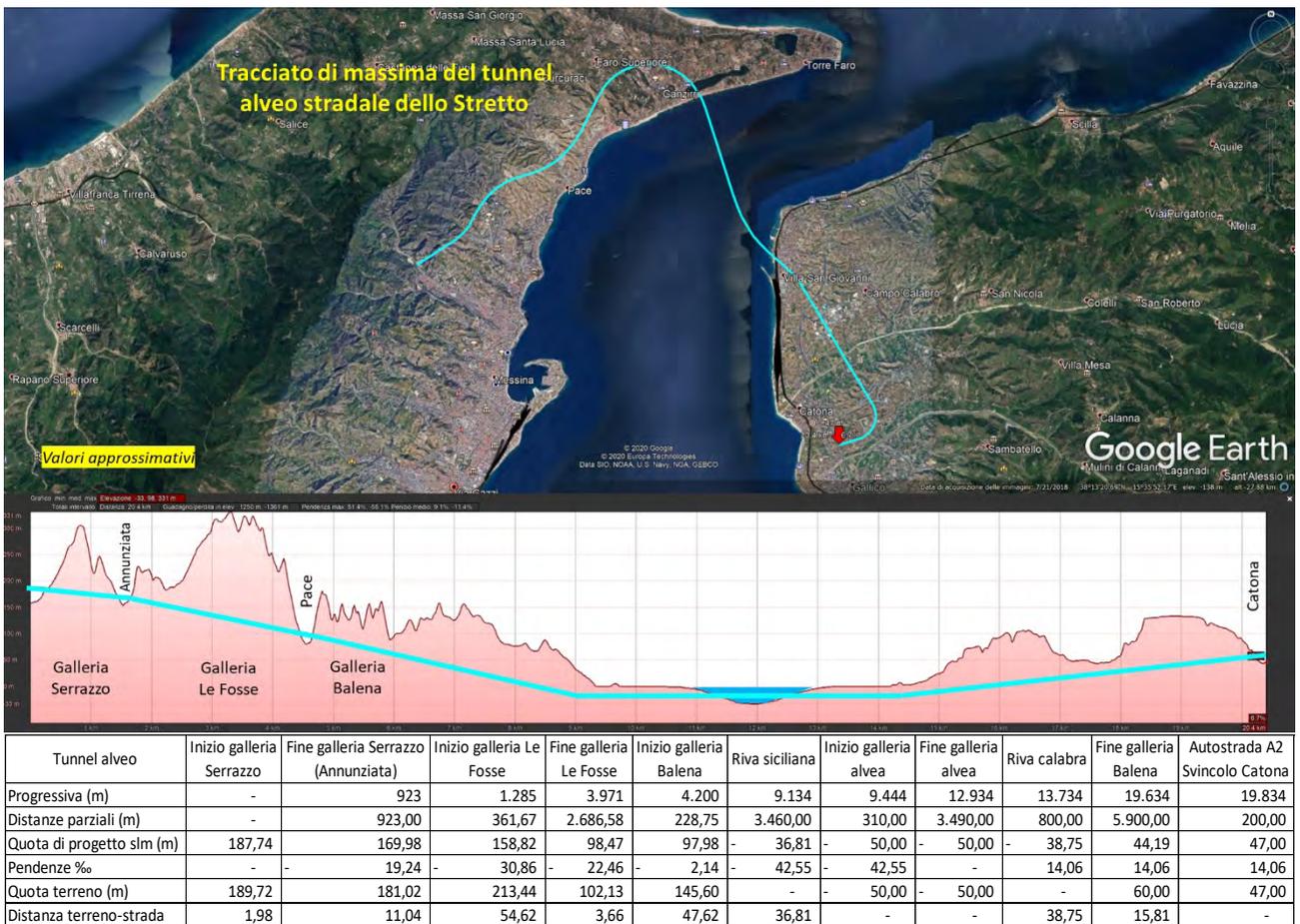


Figura 7-73 Tunnel alveo – tracciato autostradale – Caratteristiche plano-altimetriche

### Ipotesi direttrice Zona Falcata-Villa San Giovanni

Il tracciato del tunnel in alveo e dei collegamenti autostradali è riportato nella Figura 7-74 e Figura 7-75.

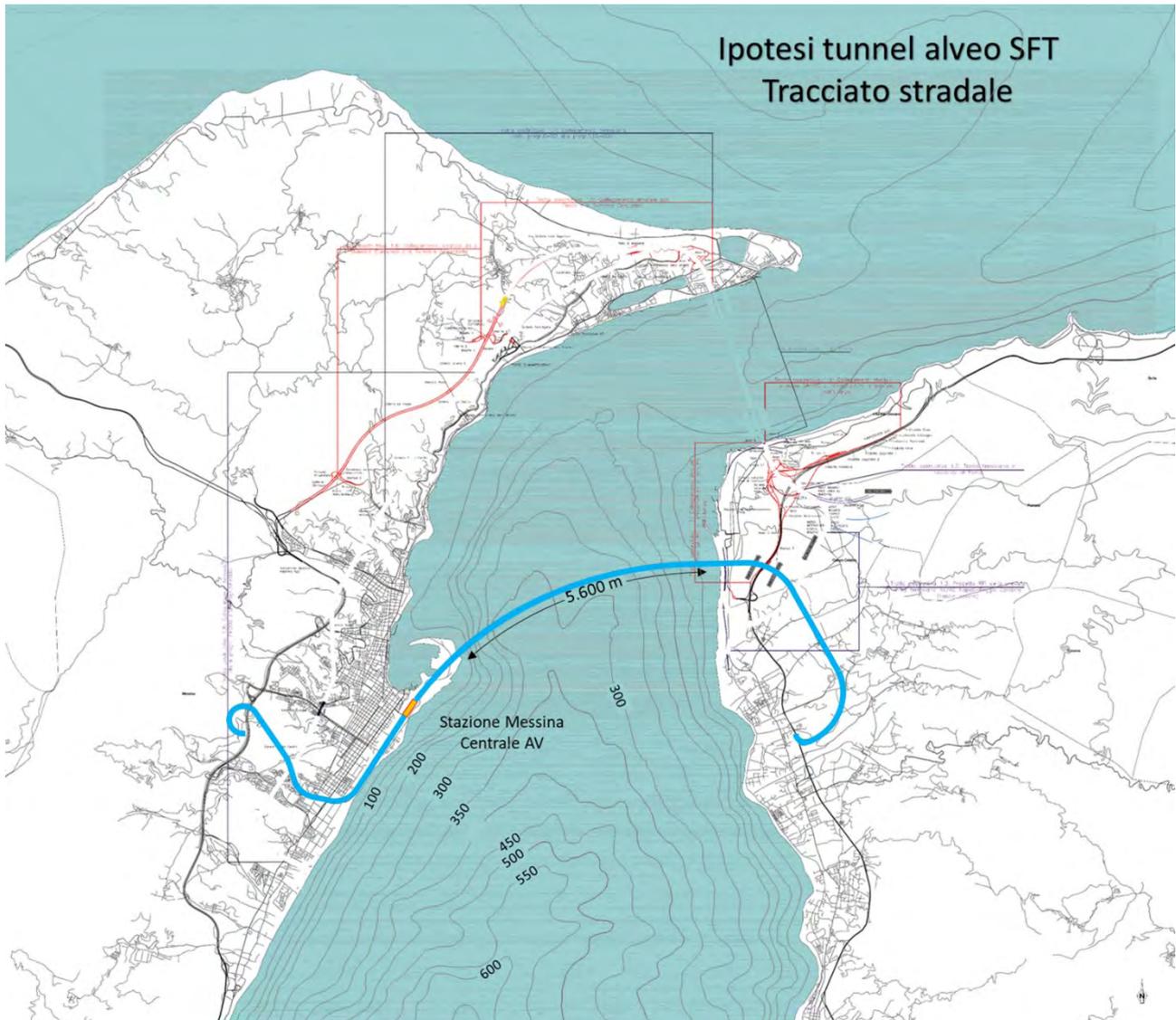


Figura 7-74 Possibile tracciato stradale del tunnel in alveo tra Zona Falcata e Villa S. Giovanni



Autostrada ponte ME-RC alveo	Svincolo A20	Inizio galleria Santo	Fine galleria Santo	Viadotto sotto autostrada	Inizio galleria Sivirga	Fine galleria Sivirga	viadotto del Santo	Inizio galleria Angelo	Fine galleria Angelo	Sopra ponte via Catania	Sopra ponte via La Farina e svincolo Gazzi	incrocio con via S. Cosimo	Incrocio con Viale Europa	Stazione Messina e svincolo porto	Riva Zona Falcata	Riva Villa S. G.	Svincolo A2
Progressiva (m)	-	183	474	724	758	2.680	2.700	2.770	3.160	3.780	4.030	4.680	5.590	6.740	8220	14.100	19.200
Distanze parziali (m)	-	183	291	250	34	1.922	20	70	390	620	250	650	910	1.150	1.480	5.880	5.100
Quota strada slm (m)	141,00	139,24	136,44	134,03	134,03	66,79	66,09	63,64	50,00	38,38	33,70	14,33	- 8,00	- 10,74	- 40,00	- 40,00	45,00
Pendenze %	-	- 9,62	- 9,62	- 9,62	0,00	- 34,98	- 34,98	- 34,98	- 34,98	- 18,74	- 18,74	- 26,73	- 26,73	- 12,17	- 12,17	-	16,67
Quota terreno (m)	107,00	139,24	136,44	132,00	134,03	66,79	57,00	63,64	43,00	25,00	17,00	7,00	8,00	3,00	-	-	45,00
Distanza terreno-strada	34,00	-	-	2,03	-	0,00	9,09	0,00	7,00	13,38	16,70	7,33	- 16,00	- 13,74	- 40,00	- 40,00	-

Figura 7-75 Tunnel alveo tra Zona Falcata e Villa S.G. – Tracciato stradale – Caratteristiche plano-altimetriche

A Messina il tunnel sommerso potrebbe essere collegato direttamente alla rete autostradale tramite un nuovo svincolo dedicato lungo l’A18, intermedio tra gli svincoli di “Messina Gazzi” e “Messina Centro”, e una nuova bretella autostradale, prevalentemente in galleria naturale e in parte in viadotto, di sviluppo adeguato a superare il dislivello di 150-200m esistente tra autostrada e tunnel<sup>329</sup>. In tal modo il traffico di transito non avrebbe alcun impatto sul traffico urbano. Tra l’altro sarebbe possibile realizzare facilmente un collegamento stradale con il porto di Messina in corrispondenza di Messina Marittima e un collegamento urbano a Gazzi in corrispondenza dell’attuale ponte in ferro di via La Farina dell’ex linea ferroviaria Messina-Palermo. Tale ipotesi, indipendentemente dall’attraversamento stabile SFT, potrebbe costituire la soluzione finale già perseguita dalla “Via del Mare” di collegare il porto con l’autostrada senza interessare il traffico urbano (Figura 7-76).

Nella parte finale della bretella di approccio al tunnel sommerso, le due carreggiate stradali sarebbero interrate sotto l’attuale piano binari e sovrapposte ai binari per ciascuna direzione per l’imbocco dell’opera di attraversamento, prevalentemente in area di proprietà RFI.

<sup>329</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=q8ING6UKUUK&list=UU8U8GZs3SV877\\_kJ9Y4Nk3Q&index=46&t=752s](https://www.youtube.com/watch?v=q8ING6UKUUK&list=UU8U8GZs3SV877_kJ9Y4Nk3Q&index=46&t=752s)



<b>Ipotesi di Via del Mare da Gazzi alla zona Falcata (Messina)</b>	Inizio Via del Mare a Gazzi in via La Farina	Viadotto all'incrocio con via S. Cosimo	Fine viadotto e inizio trincea	Trincea sino all'incrocio con Viale Europa	Galleria da Viale Europa all'incrocio con cavalcavia San Raineri	Trincea in Stazione Messina Centrale e svincolo porto
Progressiva (m)	-	650,00	1.234,00	1.560,00	2.222,00	2.710,00
Distanze parziali (m)	-	650,00	584,00	326,00	662,00	488,00
Quota strada slm (m)	17,00	14,33	7,00	-8,00	-10,74	3,00
Pendenze ‰	-	-4,11	-24,53	-24,53	-4,14	28,16
Quota terreno (m)	17,00	7,00	7,00	8,00	3,00	3,00
Distanza terreno-strada	-	7,33	-	-16,00	-13,74	-

Figura 7-76 Ipotesi tracciato Via del Mare (da Gazzi -via La Farina a Messina Marittima-Zona Falcata)

Da notare che parte dello svincolo autostradale è stato previsto, per circa 1,4 km (dall'imbocco della nuova galleria dei Peloritani all'imbocco della vecchia galleria dell'Angelo), sovrapposto al vecchio tracciato ferroviario a semplice binario Messina-Palermo via Camaro-Gesso, che a sua volta è sovrapposto alla nuova galleria ferroviaria dei Peloritani a doppio binario. Per evitare di danneggiare la nuova galleria lungo tale tratta, sarà necessario realizzare un viadotto a doppio piano su piloni con fondazioni su pali trivellati per tutta l'estensione della sovrapposizione. Al primo piano potrà essere mantenuto l'ex tracciato ferroviario per realizzare ad esempio una nuova linea tranviaria urbana e al secondo piano l'autostrada.

In Calabria per l'innesto nell'autostrada A3 sarebbe realizzato un nuovo svincolo collegato all'imbocco del tunnel sommerso, a sud di quello di Villa San Giovanni in località Catona, così come già previsto per il tunnel stradale sottomarino.



## **8 VALUTAZIONI COMPARATIVE DELLE ALTERNATIVE DI ATTRAVERSAMENTO STABILE DELLO STRETTO**

Nel seguito vengono sinteticamente ripresi ed evidenziati gli aspetti significativi che caratterizzano e differenziano il progetto del ponte a campata unica (descritto nel cap. 6) rispetto alle soluzioni alternative di attraversamento stabile (descritte nel cap. 7).

Gli aspetti significativi considerati riguardano sia l'opera di attraversamento vera e propria, che i collegamenti ferroviari e stradali ad essa afferenti relativamente ai tracciati, alla loro lunghezza, ai tempi di viaggio, nonché alle diverse localizzazioni delle stazioni e fermate ferroviarie nell'ottica dell'interscambio con i servizi esistenti di trasporto pubblico e dell'accessibilità per i viaggiatori, volta a massimizzare l'uso delle nuove infrastrutture e dei nuovi servizi connessi.

### **8.1 Opera di attraversamento**

#### **8.1.1 Ponte a campata unica**

Il progetto del ponte a campata unica rappresenta come noto una grande sfida oltre i limiti rappresentati dalle caratteristiche delle opere simili esistenti nel mondo, per le dimensioni dell'opera e i volumi di materiali da costruzione (acciaio, calcestruzzo) necessari, in combinazione con l'ambiente marino e la ventosità dell'area dello Stretto, nonché gli aspetti geologici e geotecnici del sottosuolo ai due lati dello Stretto.

Strutturalmente si caratterizza per l'impalcato a livello unico, rispetto alla maggioranza dei ponti misti stradali e ferroviari che hanno impalcati a due piani, normalmente con la linea ferroviaria sottostante e le carreggiate stradali soprastanti, nonché per la larghezza (60m) e il profilo dello stesso impalcato articolato in tre sezioni distinte (una centrale ferroviaria e due laterali stradali), e per l'altezza da primato delle torri di sostegno dei cavi di sospensione (circa 400m).

La sua ubicazione e il suo orientamento sono volti a minimizzare la lunghezza dell'attraversamento (campata unica di 3300m in corrispondenza della minor distanza fra le due linee costiere), risultandone comunque una snellezza anch'essa da primato, e intercetta lato Sicilia la Riserva naturale Orientata di Capo Peloro, essendo l'asse intermedio tra i laghi Ganzirri (Pantano Grande) e Faro (Pantano Piccolo).

#### **8.1.2 Soluzioni alternative**

La prima alternativa – ponte a tre campate – riprende in parte i progetti già presentati al concorso internazionale di idee del 1969, e quello dell'ing. Remo Calzona del 2008, e si caratterizza in particolare per:



- l'orientamento lungo la cosiddetta "Sella" dello Stretto, rilievo del fondo marino in corrispondenza della quale i fondali sono di minore profondità. Inoltre, con tale orientamento non viene interessata l'area di grande valore paesaggistico dei laghi di Ganzirri e la riserva di Capo Peloro;
- l'avvicinamento per gli aspetti dimensionali e strutturali alle esperienze maturate in Giappone con il ponte Akashi Kaikyo, in Cina con numerosi ponti attraverso lo Yangtze River, in Turchia con il ponte 1915 Canakkale e con il ponte Yavuz Sultan Selim, e a Hong Kong con il ponte Tsing Ma (capitolo 5)

Il ponte stradale e ferroviario a tre campate sarebbe quindi realizzabile con tecnologie già sperimentate, per quanto riguarda sia le soluzioni strutturali di impalcato a uno o due livelli, che il contesto di regime anemometrico e rischio sismico dell'area.

La seconda alternativa – tunnel sottomarino o meglio tunnel separati stradali e ferroviari – si basa su una tecnologia ampiamente consolidata, basti pensare al tunnel sotto la Manica, in esercizio dal 1994, e lungo 53 km, e alle altre opere simili in esercizio nel mondo (capitolo 5), e nel caso specifico si avvale della presenza della Sella che consente di prevedere un tracciato non eccessivamente profondo.

Questa soluzione non ha alcun impatto in superficie e non determina espropri significativi. Essa presenta un minor impatto ambientale non solo in fase di costruzione (con opportuna gestione e reimpiego del materiale di smarino), ma anche di esercizio (con adeguate misure di sicurezza nella parte sottomarina e non solo, in analogia con i trafori alpini di recente realizzazione o in fase di realizzazione). La disponibilità del collegamento stradale e ferroviario è garantita 365 gg/anno in quanto non dipende dalle condizioni atmosferiche.

La terza alternativa – tunnel sommerso a mezz'acqua ancorato o vincolato al fondo – è stata avanzata per lo stretto di Messina già con il concorso internazionale di idee del 1969, quindi progettata su incarico di ENI e presentata al Parlamento nei primi anni '90. In anni recenti tale tipo di struttura è stata sviluppata progettualmente in particolare in Norvegia, per l'attraversamento stradale di fiordi costieri, salvo preferire soluzioni con ponte o tunnel sottomarino per motivi di costo. Da parte della stessa Norvegia e altre nazioni quali Corea e Cina sono in corso sia la sperimentazione con modelli fisici che la redazione di normative ad hoc, avendo già individuato casi applicativi specifici (capitolo 5).

Il vantaggio di tale struttura (collocata a 30m sotto il livello del mare) consiste nella minima sensibilità al moto ondoso, mentre la resistenza alle sollecitazioni delle correnti marine e l'ancoraggio / l'appoggio al fondo marino sarebbero realizzati con tecniche mutate dall'industria petrolifera. Non è applicabile invece al caso dello Stretto di Messina – dato il fondale elevato – la soluzione del tunnel immerso, appoggiato o meglio incassato sul fondo del mare, adottata ad esempio fra Danimarca e Svezia (tunnel Oresund e Fehrman).



## 8.2 Collegamenti ferroviari – Funzionalità e accessibilità delle stazioni e fermate

### 8.2.1 Ponte a campata unica

Il tracciato ferroviario di servizio all'attraversamento stabile inizia a Messina Contesse (periferia sud della città), e prevede una nuova stazione principale a Messina Gazzi, situata in corrispondenza dell'attuale omonima fermata della linea Messina-Catania, che dispone di spazio limitato sia per l'erosione della spiaggia per effetto del moto ondoso, sia per la presenza di attività produttive attive e dismesse in aree da espropriare per la realizzazione del fabbricato viaggiatori e del piazzale esterno, nonché – essendo la stazione di testa per i treni regionali – dei binari di stazionamento, deposito e manutenzione dei treni.

La collocazione della stazione principale a Messina Gazzi – peraltro non compresa nel progetto definitivo del General Contractor Eurolink e a carico progettualmente e costruttivamente di RFI – inoltre penalizza l'accessibilità a tutta la parte centrale della città attualmente servita da una linea tranviaria (ZIR-Museo) che non risulterebbe interconnessa con la stessa stazione oltre che con le rimanenti stazione Europa e fermate Annunziata e Papardo, raggiungibili solo a mezzo bus e taxi (Figura 8-1).

Sulla costa calabra, il tracciato, che si sarebbe inserito in località Concessa, tra Villa San Giovanni e Reggio avrebbe consentito di servire tutti gli insediamenti posti lungo le rive dello Stretto con lo stesso collegamento da Messina a Reggio, ad eccezione di Villa San Giovanni che sarebbe stata servita solo dai treni stradati lungo la linea costiera in direzione nord.

Il progetto definitivo del Ponte a campata unica prevede l'interconnessione con le autostrade siciliane (A20 e A18) allo svincolo esistente di Giostra a Messina e con l'autostrada calabrese (A2) al nuovo svincolo di Piale in prossimità di Villa San Giovanni.

Con il progetto del ponte a campata unica i treni merci da e per la linea Messina-Catania non sarebbero transitati per la nuova stazione Gazzi, mentre sarebbero transitati per la nuova stazione i treni da e per la linea Messina-Palermo stradati oltre la stazione attraverso la galleria dei Peloritani.



Figura 8-1 Tracciato ferroviario urbano del ponte a campata unica

## 8.2.2 Soluzioni alternative

Le soluzioni alternative proposte incrementano la funzionalità di collegamento di tipo metropolitano degli insediamenti della “Città dello Stretto”, favorendo il suo sviluppo economico e sociale.

In Sicilia il collegamento ferroviario con Messina dell’opera di attraversamento, il cui orientamento segue quello della Sella dello Stretto, ha uno sviluppo più breve del corrispondente previsto nel progetto del ponte a campata unica, essendo il punto di arrivo di quest’ultimo situato più a nord-est (più lontano dal centro urbano), e in quanto per la stazione viaggiatori “Messina Ponte” di attestamento della nuova linea si ritiene preferibile una posizione più centrale rispetto all’abitato.

Lato Sicilia la nuova stazione principale verrebbe collocata a Messina Maregrossa, circa 1,6 km più a nord rispetto alla stazione di Messina Gazzi, prevista dal progetto definitivo del Ponte su richiesta del Comune di Messina.

L’ubicazione a Maregrossa è preferibile per diversi motivi:

- la stazione è passante per tutti i treni da e per la Calabria e pertanto non richiede di attestare treni aventi origine o destinazione a Messina; esistono comunque gli spazi per poter attestare eventuali treni viaggiatori.
- può essere realizzata su terreno di proprietà di RFI, in parte non è utilizzato;

- la stazione è più vicina al centro della città e meglio si interconnette ai mezzi di trasporto pubblico (tram, bus, taxi) e alle arterie principali;
- la stazione potrebbe essere realizzata sia in superficie che sotterranea.

I tracciati prevedono oltre alla stazione principale Messina Maregrossso anche le fermate Messina Centro, Annunziata e Papardo, quindi si differenziano dal tracciato del collegamento ferroviario del progetto del ponte a campata unica per la nuova fermata Messina Centro in luogo della nuova fermata Messina Europa.

Messina Centro, servita dalla linea tranviaria oltre che da servizi bus, si trova in posizione baricentrica rispetto alla città, a circa a 250 m dall'area del porto dove ormeggiano le navi da crociera, a differenza di Messina Europa, a circa 1800 m dalla stessa riva, e non servita dalla linea tranviaria (Figura 8-2).



Figura 8-2 Confronto tra la localizzazione delle stazioni e fermate ferroviarie previste nel progetto del Ponte a campata unica (a sinistra) con quelle ipotizzate per le soluzioni alternative (a destra)

Con la nuova stazione Messina Maregrossso e la nuova fermata Messina Centro le soluzioni alternative proposte garantiscono una assai migliore accessibilità all'area urbana centrale di Messina, e tramite i servizi di trasporto principali – linea tranviaria e linea costiera “Shuttle” – e a quelli automobilistici ad essi interconnessi anche al resto dell'area urbana e agli insediamenti periferici.

Quanto alle stazioni Annunziata e Papardo, sotterranee in tutte le soluzioni di attraversamento, nelle soluzioni di attraversamento con tunnel sottomarino e con tunnel sommerso a mezz'acqua risulterebbero a profondità più elevata, tale da richiedere l'installazione di ascensori, eventualmente inclinati in funzione dell'andamento locale del pendio verso mare e del livello stradale dove sarebbe ubicato l'accesso della stazione, o verticali intervallati da tratti orizzontali corredati di tappeti mobili (capitolo 7).

Nel caso di attraversamento con tunnel sottomarino, data la lunghezza delle gallerie da realizzare sia in Calabria che in Sicilia (> 20 km) sarà comunque necessario per motivi di sicurezza l'inserimento di almeno una stazione sotterranea e/o di un accesso di emergenza lato Calabria analogamente alle stazioni di emergenza realizzate nelle nuove gallerie alpine (Brennero, Gottardo, ecc.).



Le varie soluzioni alternative di attraversamento prevedono la realizzazione di una “gronda merci”, raccordo fra la linea di collegamento tra Messina e l’opera di attraversamento e la linea costiera Messina-Catania, che evita il transito dei treni merci attraverso la nuova stazione Maregrossa.

Per tutte le soluzioni sarà comunque necessario mantenere un certo numero di binari di collegamento con il porto, per garantire i servizi essenziali.

La soluzione alternativa di attraversamento con tunnel sommerso flottante tra la Zona Falcata di Messina e Concessa/Villa S.G in Calabria, avrebbe il vantaggio di collegare in modo più diretto e rapido i centri delle due città, ma risulterebbero carenti i collegamenti periferici dell’area nord di Messina. La stazione di Messina sarebbe sotterranea, in corrispondenza dell’attuale stazione di Messina Centrale, e sarebbe passante per tutti i collegamenti ferroviari. Le tratte terminali delle linee Messina-Palermo e Messina-Catania, afferenti alla nuova stazione sotterranea dovrebbero essere progressivamente abbassate fino alla quota della nuova stazione sotterranea.

In Calabria l’accesso alla linea storica a nord di Villa San Giovanni consentirebbe a tale località di essere servita in modo passante da tutti i treni da e per Reggio Calabria, diversamente da quanto previsto con il progetto del ponte a campata unica.

Sempre in Calabria, la soluzione alternativa dell’attraversamento in tunnel sottomarino collegherebbe direttamente e più rapidamente in galleria Messina a Reggio Calabria, favorendo particolarmente le relazioni metropolitane fra i due capoluoghi provinciali utili alla costruzione della “Città dello Stretto”.

## **8.3 Distanze e tempi di percorrenza**

### **8.3.1 Collegamenti ferroviari**

Nella Tabella 8-1 vengono riportate le distanze da Messina rispettivamente a Reggio Calabria, a Villa San Giovanni e a Rosarno, località assunta come riferimento dei percorsi verso nord lungo la costa tirrenica in quanto snodo ferroviario ed autostradale di primaria importanza per l’intera provincia.

Il tunnel sottomarino mostra il percorso minore tra Messina e Reggio, mentre il tunnel sommerso lungo la Sella presenta il percorso più breve nei confronti di Villa San Giovanni. Il ponte a tre campate minimizza la distanza da Messina a Rosarno, che risulta la stessa anche con il tunnel sommerso lungo la Sella. Il tunnel sommerso tra la Zona Falcata e Concessa ridurrebbe ulteriormente la distanza tra Messina e Reggio allungando però le distanze da e per la zona nord di Messina.



Distanze da Messina Maregresso (km)			
Attraversamento stabile	Reggio Calabria	Villa S. Giovanni	Rosarno
Ponte a campata unica	39,388	28,950	75,370
Ponte a più campate	40,776	26,686	63,420
Tunnel sottomarino	41,476	27,386	64,320
Tunnel sottomarino AV/AC	35,700		
Tunne Archimede sulla Sella	38,576	24,486	63,910
Tunnel Archimede Zona Falcata	28,166	14,076	53,700

Tabella 8-1 Distanze da Messina Maregresso (collegamento ferroviario)

Per quanto riguarda i tempi di percorrenza, riportati nella Tabella 8-2, il collegamento diretto tra Messina e Reggio Calabria tramite il tunnel sottomarino garantisce i tempi di percorrenza migliori (28 minuti da Messina Maregresso a Reggio Calabria Centrale e 21 minuti da Messina Centro a Reggio Calabria Università del Mediterraneo).

I tempi di viaggio dei treni metropolitani, cioè i treni che si muoveranno all'interno dell'area metropolitana dello Stretto, differiscono di poco tra le varie soluzioni. Fa eccezione il collegamento diretto in tunnel d'Archimede in Zona Falcata, che garantisce collegamenti più veloci tra le due coste (da 10 a 15 minuti in meno per andare da Messina a Reggio), ma limita la fruibilità del servizio agli abitanti della zona nord di Messina in quanto non transita per Annunziata e Papardo.

Si è ipotizzato che nessun treno interregionale, cioè un treno che colleghi Sicilia e Calabria in ambito non metropolitano, si fermi nella stazione sotterranea di Villa San Giovanni, che comunque sarebbe servita in superficie dai treni metropolitani.

Tempi treni da Messina Maregresso (min)						
Attraversamento stabile	Reggio Calabria		Villa San Giovanni		Rosarno	
	Metropolitano	Interregionale	Metropolitano	Interregionale	Metropolitano	Interregionale
Ponte a più campate	55	44	28	25	61	47
Tunnel sottomarino	56	28	29		62	47
Tunnel Archimede sulla Sella	55	42	28	23	63	47
Tunnel Archimede Zona Falcata	41	33	14	14	50	39

Tabella 8-2 – Tempi di viaggio dei treni dopo la realizzazione dell'attraversamento stabile dello Stretto

Per quanto riguarda i treni a lunga percorrenza (Frecce e IC) nella soluzione ponte a una o a più campate il collegamento ferroviario lato Calabria sarà sopraelevato in corrispondenza di Villa San Giovanni, per cui i treni a lunga percorrenza da e per la Sicilia non saranno accessibili da Villa San Giovanni. Solo con la soluzione tunnel sottomarino o sommerso (sia in corrispondenza della Sella, che della Zona Falcata) sarebbe possibile la fermata nella stazione sotterranea a Villa San Giovanni.



Con la realizzazione dell'attraversamento stabile, percorrendo la linea costiera tirrenica, il tempo di viaggio da Messina a Gioia Tauro avrebbe una riduzione di circa 80 minuti rispetto ai tempi di un treno IC riportati sul sito di Trenitalia.

I tempi impiegati dai servizi ferroviari metropolitani stimati con le varie ipotesi di attraversamento stabile ipotizzati, sarebbero tra Messina e Villa San Giovanni di circa 28 minuti. In questo caso però la linea ferroviaria metropolitana raggiungerebbe tutti i centri delle due sponde dello Stretto con un servizio ad accessibilità totalitaria utilizzabile da una platea molto più ampia di persone con un risparmio consistente nel tempo totale di viaggio essendo stata quasi del tutto eliminata la necessità di interscambio.

I tempi stimati per i servizi ferroviari metropolitani tra Messina e Reggio Calabria sarebbero di circa 55 minuti; vale comunque quanto appena detto circa il servizio ad accessibilità totalitaria che si potrebbe avere solo con la realizzazione dell'attraversamento stabile.

Oggi il tempo impiegato dal servizio ferroviario tra Messina Centrale e Villa S. Giovanni è di 1 ora e 10 minuti, comprensivo dei tempi di imbarco, attraversamento e sbarco.

### **8.3.2 Collegamenti stradali**

Nel caso dell'attraversamento con ponte a campata unica e nella soluzione alternativa di attraversamento con ponte a tre campate, il collegamento tra le autostrade siciliane e quelle calabresi avrebbe sostanzialmente gli stessi innesti nelle autostrade A18 /A20 da un lato e A2 dall'altro, nonché gli stessi svincoli intermedi (Annunziata e Curcuraci), anche se il collegamento previsto per il ponte a campata unica sarebbe più lungo di circa 2 km per il diverso orientamento dell'opera di attraversamento. La distanza tra lo svincolo Giostra e Reggio Calabria sarebbe di circa 28 km anziché di circa 30 km.

Nel caso dell'attraversamento con tunnel sottomarino, in Sicilia lo svincolo Curcuraci verrebbe sostituito da altro svincolo in località Pace, e in Calabria lo svincolo di innesto nell'autostrada A2 verrebbe realizzato in località Catona anziché Piale, mentre la distanza fra lo svincolo Giostra e Reggio Calabria sarebbe di circa 29 km.

Nel caso di attraversamento con tunnel sommerso in corrispondenza della sella dello Stretto, gli innesti di estremità e gli svincoli intermedi sarebbero gli stessi della soluzione di attraversamento con tunnel sottomarino, mentre nell'ipotesi di attraversamento con tunnel sommerso tra la Zona Falcata di Messina e Concessa/Villa San Giovanni il collegamento fra Messina e Reggio Calabria sarebbe diretto, con innesto nell'autostrada esistente lato Sicilia tra gli svincoli esistenti di Messina Centro e Messina Gazzi, e lato Calabria in corrispondenza di Catona, e viceversa indiretto per la zona nord di Messina in quanto non verrebbero più realizzati gli svincoli autostradali Annunziata e Curcuraci.



Partendo da Messina via La Farina in corrispondenza del ponte in ferro della ferrovia dismessa Messina-Palermo, il percorso per giungere a Reggio di Calabria avrebbe una lunghezza di circa 24,5 km.

Nella Tabella 8-3 sono messe a confronto le distanze relative alle varie soluzioni di attraversamento prendendo come riferimento di partenza comune lo svincolo Giostra a Messina.

Distanze da Messina Svincolo Giostra (km)			
Attraversamento stabile	Reggio Calabria	Villa S. Giovanni	Rosarno
Ponte a campata unica	29,9	20,1	63,6
Ponte a più campate	27,9	18,1	61,6
Tunnel sottomarino	29,0	25,8	74,5
Tunnel Archimede sulla Sella	28,5	25,3	74,0
Tunnel Archimede Zona Falcata	33,2	30,0	78,7

Tabella 8-3 Distanze da Messina svincolo Giostra (collegamento stradale)

Per quanto riguarda i tempi di percorrenza, oggi i collegamenti marittimi stradali tra Messina e Villa S. Giovanni sono gestiti dalla Caronte & Tourist con partenza dalla Rada San Francesco con tempi di viaggio di 20 minuti<sup>330</sup>, e da Blufferries fra il porto di Tremestieri esistente e Villa San Giovanni con tempi di viaggio di 50 minuti<sup>331</sup>.

Con l'attivazione del nuovo porto di Tremestieri in fase di realizzazione poco più a sud dell'esistente, l'approdo delle navi traghetto stradali dovrebbe essere interamente trasferito a tale nuovo porto, restituendo alla città la Rada San Francesco e il suo waterfront.

A differenza delle soluzioni proposte, l'attraversamento dello Stretto con il ponte a campata unica prevede un casello per il pedaggio autostradale e quindi un allungamento dei tempi di percorrenza.

<sup>330</sup> <https://carontetourist.it/it/caronte/orari-stretto-di-messina-passeggeri>

<sup>331</sup> <http://www.blufferries.it/orariautoveicoli.html>



## 9 ELEMENTI DI COSTO DELL'OPERA

### 9.1 Premessa

Nell'affrontare il tema dell'attraversamento dello Stretto, ci si è trovati di fronte al problema della valutazione dei costi dell'opera.

La sensazione di fondo da cui si è partiti era che in passato l'opera o quanto meno alcune sue parti fosse stata "preventivata" con una certa larghezza, in particolare avvalendosi di margini eccessivamente cautelativi nei lavori e nelle tecnologie più delicati della realizzazione dell'opera. Considerazione peraltro motivata anche dal sensibile incremento del preventivo di costo dell'opera derivante dalle opere aggiuntive (richieste da enti locali e/o rese necessarie per adeguamenti normativi ecc,) introdotte con il progetto definitivo rispetto al progetto preliminare, e parallelamente anche dell'investimento complessivo, stante anche la difficoltà di ripercorrere a ritroso i passaggi della "preventivazione" in carenza di documenti non pubblici quali il computo estimativo e il piano economico finanziario di progetto definitivo. Occorre sottolineare come la moltiplicazione dei costi costituisca uno dei principali fattori frenanti nella realizzazione di nuove opere infrastrutturali.

Nel campo delle infrastrutture non solo la specificità dell'opera ma anche vari altri fattori influiscono sul costo:

- **Criteri di progettazione**  
Negli anni recenti si è assistito ad un forte inasprimento dei criteri di progettazione connessi alla sicurezza, ai temi dell'antincendio e più in generale degli eventi catastrofici, all'impatto ambientale ed alle compensazioni al territorio.

Così le gallerie ferroviarie, storicamente progettate a singola canna, da qualche anno devono essere realizzate a due canne separate e intercomunicanti, quando non ne sia richiesta anche una terza. Ugualmente si è assistito ad una forte limitazione delle pendenze ferroviarie accettabili, cosa che implica, come nel caso in esame, significative e talvolta ingiustificate maggiorazioni della lunghezza dei tunnel.

- **Ottimizzazione del progetto**  
Si assiste spesso a forme di ottimizzazione che corrispondono in realtà al recepimento di istanze locali che tendono a soddisfare – in parallelo con la realizzazione dell'opera principale e dirottandone parte dei finanziamenti o inducendo finanziamenti aggiuntivi – esigenze localistiche del tutto avulse dal contesto dell'opera principale, spesso usando in modo improprio – negativo e non costruttivo – il ruolo che compete agli enti locali nel processo consultivo e autorizzativo durante la progettazione e la realizzazione dell'opera, non favorito né dal quadro normativo né dalla inadeguata competenza a fronte di opere così importanti.

Se un comune interessato approfitta dell'evento per imporre modifiche urbanistiche tanto discutibili quanto costose e non sempre necessarie, ecco che si rischia, nella necessità di raggiungere il "consenso politico", di far esplodere i costi e i tempi.



- **Cronogramma di realizzazione del progetto**

Il tempo non è una variabile indipendente nel costo di un'opera: preventivare costi con anticipo di anni, lustri e persino decenni, è impresa non facile. Un progetto dovrebbe essere vincolato al rispetto del cronoprogramma, evidenziando anche i costi relativi al periodo di realizzazione dell'opera, in cui debbano essere mantenute, se non ancora sviluppate, soluzioni legati al contesto precedente.

Nel caso dell'attraversamento dello Stretto, ad esempio, il sistema dei traghetti costituisce un elemento di costo destinato a perdurare per tutta la durata della realizzazione ed oltre.

Non avendo da un lato il presente studio le caratteristiche di un progetto, da cui ricavare quantità alle quali applicare prezzi unitari tratti da prezari di comune impiego, e richiedendo dall'altro le caratteristiche dell'opera di attraversamento valutazioni di costo specifiche, queste non possono che essere largamente orientative, volte a stimarne l'ordine di grandezza e a comparare le varie soluzioni secondo criteri per quanto possibile omogenei.

Essendo le infrastrutture costituenti l'opera sostanzialmente di tipo lineare, l'approccio scelto è quello di una valutazione dei costi su base parametrica in funzione dello sviluppo lineare di ciascuna parte d'opera, sia per l'opera di attraversamento vera e propria, costituita dalla parte d'opera compresa fra le linee costiere lato Sicilia e lato Calabria, sia per la parte d'opera a terra, costituita dai collegamenti ferroviari e stradali in territorio siciliano e calabrese, completata dalla valutazione a corpo dei costi delle infrastrutture puntuali (svincoli / stazioni e fermate ferroviarie, ecc.).

È stata ricostruita per quanto possibile nella stessa forma parametrica anche la struttura dei costi del progetto del ponte a campata unica.

Lo sviluppo lineare delle varie tipologie di opere si ricava dagli elaborati di progetto del ponte a campata unica, nonché dai tracciati schematici su foto aerea e dai relativi profili longitudinali riportati nelle figure dei capitoli precedenti

## **9.2 Stima di progetto ponte a campata unica 3.300m**

Nel riquadro che segue sono sinteticamente ricostruiti in base alle fonti disponibili i costi dell'opera di attraversamento ponte a campata unica 3.300m.

*L'opera di attraversamento costituita dal ponte a campata unica del progetto SdM-Eurolink ha le seguenti caratteristiche principali:*

- *lunghezza complessiva 3.666m, lunghezza campata centrale 3.300m*
- *larghezza impalcato 60,4m (doppio binario ferroviario e doppia carreggiata stradale 2 corsie di marcia / 1 corsia di emergenza / 1 corsia di servizio per direzione)*
- *altezza torri di sostegno 399m*



- *impalcato sospeso mediante 2 coppie di cavi Ø 1,26m*
- *altezza canale navigabile 70/65m*

*Per tale opera il progetto preliminare (2003) stimava il costo dei lavori, risultando i seguenti importi:*

- *sovrastutture (torri / cavi di sospensione / impalcato / strutture terminali): 2.096 milioni di €*
- *sottostrutture (fondazioni torri e strutture terminali / blocchi di ancoraggio): 394 milioni di €*
- *opere preliminari e provvisionali / impianti / manutenzione / monitoraggio / antisabotaggio: 159 milioni di €*

*per un totale di 2,65 miliardi di € (lavori).*

*Il quadro economico dello stesso progetto preliminare indicava poi l'incremento per cantierizzazione (4%), oneri sicurezza (2,5%), opere compensative (2,5%), nonché le cosiddette "somme a disposizione" per imprevisti (3%), progettazione definitiva, esecutiva, coordinamento, validazione, direzione lavori e coordinamento della sicurezza, collaudi, rilievi e indagini, prove di laboratorio, (in totale 6,5% per l'opera di attraversamento), risultando in tal modo un totale di 3,14 miliardi di € con i suddetti incrementi.*

*Rispetto a tale importo:*

- *va detratto il ribasso d'asta, noto nella misura (12,24%) ma non nelle voci a cui è stato applicato,*
- *vanno sommati costi aggiuntivi per tenere conto dei maggiori costi generati dal blocco delle attività nel periodo tra aprile 2006 e ottobre 2009 tali per cui l'importo totale del contratto di appalto lievita a 5,0 miliardi di €, in prima approssimazione ai fini del presente studio attribuibile (quota parte proporzionale all'importo dei lavori) all'opera di attraversamento nella misura di 3,4 miliardi di €,*
- *vanno aggiunti importi per opere aggiuntive quantificati in sede di progetto definitivo redatto dal General Contractor Eurolink non attribuiti specificamente all'opera di attraversamento ma ragionevolmente attribuibili (per adeguamenti resi necessari da nuove norme e disposizioni in materia di sicurezza nella progettazione delle costruzioni di opere d'arte e geotecniche, e per l'ottimizzazione del progetto (sovrastuttura Ponte e wrapping)), e stimati in prima approssimazione ai fini del presente documento dell'ordine di 0,2 miliardi di €,*

*ottenendo quindi l'importo dell'opera di attraversamento pari a 3,6 miliardi di € (circa 1,1 miliardi di €/km / 18.000 €/mq di impalcato misto stradale e ferroviario a campata unica 3.300m e larghezza totale 60m).*

*L'investimento necessario, quantificato ai fini del Piano Economico Finanziario<sup>332</sup>, risulta pari al suddetto costo incrementato del 30% circa, in base alle informazioni fornite nella citata audizione parlamentare dell'Amministratore Delegato di Stretto di Messina SpA del 6/11/2012. Questo incremento, che ai fini del presente studio viene evidenziato ma tenuto separato, andrebbe tenuto in conto nel confronto con altre opere analoghe.*

<sup>332</sup> Il Piano Economico Finanziario (non disponibile ai redattori del presente documento) è approvato dal CIPE ed è comprensivo anche dei costi per Project Management Consultant, Monitoraggio Ambientale, ulteriori somme a disposizione, costi di struttura, rivalutazione prezzi, oneri finanziari, costi di manutenzione (durante la costruzione). Esso ha quantificato l'investimento complessivo per la realizzazione dell'opera (attraversamento e collegamenti) in 6,1 miliardi di € a valle dell'assegnazione del contratto al General Contractor Eurolink, importo successivamente aggiornato a 6,3 miliardi di € e ancora a 8,5 miliardi di € a valle della redazione del progetto definitivo da parte del General Contractor Eurolink stesso.



### 9.3 Soluzione ponte strallato o sospeso misto ferroviario e stradale a 3 campate

#### 9.3.1 Opere di riferimento e relativi costi di realizzazione

La generalizzazione del parametro del costo unitario per unità di superficie nel caso dei ponti misti stradali e ferroviari a grande luce richiede estrema cautela, in quanto poco rappresentativa sia della lunghezza delle campate, sia dell'altezza delle fondazioni, sia della tipologia di impalcato, che può essere a seconda dei casi a uno o due piani (strada e linea ferroviaria allo stesso livello o su due livelli sovrapposti), sia della tipologia di struttura (strallata o sospesa con cavi).

Per la stima del costo di un ponte a più campate, in particolare a 3 campate (2 strutture di fondazione e ancoraggio dei cavi di sospensione o di strallo intermedie fondate nelle acque dello Stretto), avente impalcato di sezione più contenuta, è interessante considerare i costi consuntivi noti di opere simili, quali quelle precedentemente menzionate (Capitolo 5) , con l'approccio cautelativo del caso per tener conto degli aspetti specifici del contesto marino dello Stretto.

La Tabella 9-1 riporta alcune grandezze significative dei ponti in questione (inclusi 2 solo stradali ma predisposti per la posa di una coppia di binari ferroviari, ed esclusi ponti recenti in Cina i cui i costi non sono noti), nonché i relativi costi consuntivi di costruzione espressi in forma parametrica rispetto alla lunghezza del ponte e alla superficie dell'impalcato, pur non consentendo la disomogeneità delle caratteristiche delle opere (a 1 o 2 livelli) di privilegiare l'uno piuttosto che l'altro dei due parametri.

Ponte	lunghezza totale (m)	lunghezza campata principale (m)	larghezza (m)	livelli	costo (milioni \$)	costo/km (milioni \$)	costo/mq (migliaia \$)
Yavuz Sultan Selim (3o ponte Bosforo, Turchia, 2016)	2.164	1.408	59	1	3.000	1386	23,497
Tsing Ma (Hong Kong, 1997)	2.160	1.377	41	2	1.000	463	11,292
Seto (Giappone, 1988) (13,1km tot)	1.723 (max)	1.100 (max)	27	2	7.000	534	19,791
25 Aprile (Lisbona Portogallo) (*)	2.777	1.013	22	2	800	288	13,095
Akashi Kaikyo (Giappone, 1998)	3.911	1.991	36	2	3.600	920	25,569
2015 Canakkale (Turchia, 2023)	3.563	2.023	45	1	3.000	842	18,711
(*) costruito 1966, completato 1999							

Tabella 9-1 Costi parametrici di ponti



### 9.3.2 Stima orientativa ponte strallato / sospeso a 3 campate

Per l'alternativa di ponte a 3 campate (alternativa A), in asse alla Sella dello Stretto, lunghezza 4.000m circa, campata maggiore 1.400-1.500m, sezione trasversale ipotizzata dell'ordine di 42-50m, si stima un costo dell'opera di attraversamento cautelativamente dell'ordine di 4,0 miliardi di €, corrispondente a 1,0 miliardo di €/ km, nonché a 25.000 €/mq di impalcato, sostanzialmente in linea con i costi parametrici del ponte sospeso Akashi Kaikyo in Giappone (con anche una equivalenza valutaria semplificativa €/ \$), che peraltro presenta significative analogie del contesto ambientale, sia per la profondità dei fondali di posa delle basi delle torri di ancoraggio (80m), che per la sismicità e la complessità geologico-geotecnica (presenza di faglie) del sottosuolo marino.

Viene considerato a parte l'ulteriore incremento per determinare l'investimento necessario.

## 9.4 Soluzione tunnel sottomarini ferroviario e stradale

### 9.4.1 Opere di riferimento e relativi costi di realizzazione

Per l'attraversamento con tunnel sottomarino la stima dei costi dipende in primis dalla sezione trasversale (diametro nel caso di sezione circolare scavata con TBM) ma anche dal tipo di terreno / roccia attraversato, dalla presenza di acqua di falda / superficiale / marina, dalla necessità di affrontare locali situazioni particolari quali la presenza di faglie attive.

Si considerano, come detto nel capitolo 7, tunnel ferroviari e stradali indipendenti, per le diverse pendenze dei tracciati dei due diversi sistemi di trasporto e per le diverse caratteristiche e localizzazione dei raccordi alle reti ferroviarie e stradali esistenti. Inoltre, le norme di sicurezza per le lunghe gallerie stradali e ferroviarie impongono la separazione delle opposte direzioni in tunnel separati e intercomunicanti, in particolare:

- tunnel ferroviario: due canne separate a semplice binario con by-pass eventualmente integrate eventualmente da terzo tunnel di servizio di diametro inferiore nel tratto di attraversamento vero e proprio,
- tunnel stradale: due canne separate ciascuna per singola carreggiata monodirezionale, con by-pass carrabili di servizio e sicurezza.

Per una stima – necessariamente orientativa – del costo di un tunnel ferroviario o stradale si possono assumere come riferimento i costi consuntivi di opere simili già realizzate.



## Tunnel sottomarini ferroviari

Nel campo ferroviario i maggiori tunnel sottomarini esistenti sono i citati (capitolo 5):

- Seikan (54km, Giappone, tunnel a singola canna a doppio binario, 100m sotto il fondo marino / 240m sotto il livello mare, 7 miliardi di dollari, aperto nel 1988),
- Channel Tunnel (50km, fra Francia e Gran Bretagna, tunnel a 2 canne a singolo binario + tunnel di servizio stradale, da 50m a 75m sotto il livello del mare, 11,5 miliardi di euro, aperto nel 1994), importo gravato dall'incidenza delle infrastrutture di carico/scarico dei veicoli stradali su carro ferroviario di Coquelles e Folkestone.

Importante rilevare che nelle opere sottomarine citate non si ha evidenza di discontinuità strutturale dell'opera nel tratto sottomarino rispetto ai tratti sotterranei adiacenti, né quindi di costi unitari differenziati.

Non si dispone invece del costo consuntivo separato del tunnel ferroviario (*East Tunnel*, 8km a doppia canna diametro 7,7m con by-pass diametro 4,5m intervallati di 250m, massima profondità 75m sotto il livello del mare, in servizio dal 1997), facente parte del *Great Belt Fixed Link*, che comprende anche un ponte stradale parallelo (*East Bridge*, 6,8km con campata principale 1.624m), nonché un ponte ferroviario e stradale (*West Bridge*, 6,6km), e il cui costo complessivo (attraversamento ferroviario e stradale) è riportato pari a 3,7 miliardi \$ (circa 260 milioni \$/km).

Considerando i tunnel sottomarini ferroviari in progetto, si sono avuti recenti aggiornamenti delle stime di costo nei casi seguenti (citati nel capitolo 5):

- il progetto di tunnel ferroviario sotto lo stretto di Gibilterra, o meglio del tracciato di attraversamento più recentemente individuato, che si sviluppa per circa 39km, di cui circa 28km corrispondenti al tratto subacqueo, con una profondità massima di 475 metri e una pendenza del 3%, ha un costo stimato dell'ordine di 8 miliardi di euro (205 milioni di €/km);
- il progetto di tunnel sottomarino Tallin-Helsinki (lunghezza 100km), a seguito di un recente accordo di finanziamento con un fondo di stato cinese, ha un costo stimato fra 13 e 20 miliardi di euro (130-200 milioni di €/km).

## Tunnel sottomarini stradali

I tunnel stradali sottomarini esistenti sono presenti prevalentemente dove vi sono coste frastagliate e isole. In particolare, in Europa del Nord (Norvegia soprattutto) in Turchia (area del Bosforo), in Estremo Oriente (Giappone, Cina).

Alcuni dei maggiori e più recenti tunnel sono parte di sistemi più complessi che comprendono o successioni di tunnel intervallate da brevi tratti in superficie o parte di itinerari che comprendono sia tratte in viadotto che in tunnel (casi Tokyo Bay Aqua Line e Hong Kong-Zhuhai-Macau), risultando a consuntivo non distinguibile il costo del solo tunnel dal resto dell'opera.



Le massime profondità si hanno in Norvegia, con 5 tunnel che raggiungono quote fra 200m e 300m sotto il livello del mare. Tutti gli altri tunnel, con l'eccezione dell'Eysturoy tunnel nelle Faroe Islands (190m), hanno profondità fino a circa 100m.

I costi, almeno per le opere più recenti, sono piuttosto diversi.

In particolare, il citato (capitolo 5) Eurasia tunnel sotto il Bosforo a Istanbul, lungo 5.4km, profondità 106m, parte immerso parte scavato, costo 1,25 miliardi di dollari, aperto nel 2016, risulta particolarmente costoso (230 milioni di dollari / km).

Assai inferiore è il costo consuntivo dell'opera *Shanghai Yangtze River Tunnel and Bridge* comprendente il tunnel misto - stradale e per linea metropolitana - citato (capitolo 5), lungo 8,9km, a doppia canna e 2 livelli sovrapposti. Per l'intera opera, avente una lunghezza di 25,5km, è riportato un costo di 1,84 miliardi di \$<sup>333</sup> (72 milioni di €/km).

Sempre nel continente asiatico, il citato (capitolo 5) Boryeong Tunnel (Corea), lungo 6.9km, a doppia canna scavato con metodi tradizionali con sagoma semi-circolare, ad una profondità fino a 80m sotto il livello del mare, con copertura minima di circa 25 m, in area geologicamente complessa (presenza di faglie), risulta avere un costo di circa 500 milioni di euro<sup>334</sup> (75 milioni di €/km).

Estremamente bassi risultano i costi di costruzione dei tunnel in Norvegia, opere a sagoma semicircolare, scavate con mezzi tradizionali (Figura 9-1). Il Ryfast <sup>335336</sup> project, comprendente il citato (capitolo 5) Ryfylke tunnel, lungo 14,3km, e in totale 23,5km di tunnel con l'adiacente Hundvåg tunnel (5,5km) e il laterale Eiganes tunnel (3,7km), nell'area di Stavanger, a 2 canne con 2 corsie ciascuna, profondità massima 293m, completato nel 2020, risulta avere un costo complessivo di circa 1 miliardo di € (45 milioni di € / km).

Infine, per l'Eysturoy tunnel nelle Faroe Islands, lungo 11,3km, in realtà un complesso di 3 tunnel convergenti in una rotonda sottomarina, a singola canna bidirezionale, profondità 189m, apertura prevista nel 2021, è riportato un costo stimato complessivo dello stesso tunnel e del tunnel Sandoy (lunghezza 10,8km, profondità massima 155m) di 250 milioni di euro, (11 milioni € / km).

<sup>333</sup> [https://it.qaz.wiki/wiki/Shanghai\\_Yangtze\\_River\\_Tunnel\\_and\\_Bridge](https://it.qaz.wiki/wiki/Shanghai_Yangtze_River_Tunnel_and_Bridge)

<sup>334</sup> [https://www.donga.com/en/article/all/20190610/1756422/1/Korea-has-longest-Boryeong-Undersea-Tunnel#:~:text=km\)%20in%20Norway,-The%20Boryeong%2DTaan%20road%20building%20project%20aims%20to%20connect%20Sinheuk,77%2C%20costing%20687.9%20billion%20own.](https://www.donga.com/en/article/all/20190610/1756422/1/Korea-has-longest-Boryeong-Undersea-Tunnel#:~:text=km)%20in%20Norway,-The%20Boryeong%2DTaan%20road%20building%20project%20aims%20to%20connect%20Sinheuk,77%2C%20costing%20687.9%20billion%20own.)

<sup>335</sup> <https://www.tunneltalk.com/Norway-Nov17-Ryfylke-Ryfast-road-tunnel.php>

<sup>336</sup> [https://www.nib.int/who\\_we\\_are/news\\_and\\_media/articles/1485/ryfast\\_tunnel\\_a\\_challenging\\_undersea\\_record](https://www.nib.int/who_we_are/news_and_media/articles/1485/ryfast_tunnel_a_challenging_undersea_record)

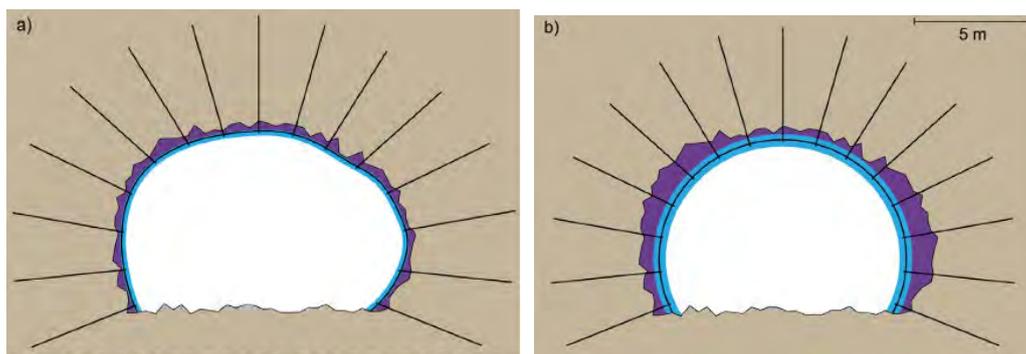


Figura 9-1 Schema fasi tradizionali di realizzazione galleria – Scavo / rinforzo / rivestimento / consolidamento

## 9.4.2 Stima orientativa tunnel sottomarino

Per l'alternativa del tunnel sottomarino (alternativa B) si considerano cautelativamente costi unitari superiori per la parte di attraversamento dello stretto vera e propria rispetto alle parti di collegamento a terra, come segue:

- attraversamento ferroviario (doppia canna con tunnel intermedio di servizio): si assume un costo unitario parametrico di 170 milioni di €/km, dell'ordine di grandezza del costo delle grandi opere analoghe realizzate quali Seikan e Channel,
- attraversamento stradale (doppia canna con by pass intermedi): si assume un costo unitario parametrico di 220 milioni di €/km, dell'ordine di grandezza di quello del tunnel Eurasia di Istanbul.

Analogamente viene considerato a parte l'ulteriore incremento per determinare l'investimento necessario.

## 9.5 Soluzione tunnel sommersi flottanti

### 9.5.1 Opere di riferimento e relative stime di progetto

Il costo di questa tipologia di opera di attraversamento (*Submerged Floating Tunnel – SFT*) è quantificabile a partire dalle stime dei progetti citati nel capitolo 5, non essendovi opere compiute realizzate di riferimento.

Nel caso citato (capitolo 5) del progetto del Consorzio ENI (1993), articolato in 3 tunnel sommersi di cui 2 stradali monodirezionali e 1 ferroviario bidirezionale, il costo complessivo previsto per i 3 tunnel era stimato pari a 9.500 miliardi di lire del 1990 (4,75 miliardi di euro), di cui 3.500 miliardi di lire (1,75 miliardi di euro) per il tunnel ferroviario (da costruire per primo), e 3.000 miliardi di lire (1,50 miliardi di euro) ciascuno per i 2 tunnel stradali. Con tali



stime, considerando separatamente la parte ferroviaria e la parte stradale dell'opera, esse avrebbero un costo medio unitario inclusi terminali di allaccio alle gallerie a terra rispettivamente di 340 milioni di €/km (attraversamento ferroviario) e di 500 milioni di €/km (attraversamento stradale).

Non si dispone della stima di costo del citato (capitolo 5) progetto dell'attraversamento in tunnel flottante sommerso<sup>337</sup> del Bjornafjord (Norvegia, 2016, attraversamento solo stradale, lunghezza 5.495m), successivamente superato a favore di una struttura anch'essa innovativa quale un viadotto con pile di sostegno "galleggianti" su pontoni, escluso un breve tratto di ponte strallato sopraelevato per permettere il transito delle navi, soluzione ritenuta di minor costo. Il costo della soluzione alternativa prescelta è pari a 1,3 miliardi di \$, equivalente a circa 240 milioni di \$/km.

Il costo del tunnel Bjornafjord è sommariamente trattato nello studio di fattibilità dell'università di Delft (*Multidisciplinary Project – Feasibility Study of a Submerged Floating Crossing – Delft University of Technology, 2018*), incentrato sugli aspetti progettuali e costruttivi, nel quale si riporta:

- a) la stima che il progetto del tunnel Bjornafjord rappresenti una quota parte di 20 miliardi di corone norvegesi rispetto al costo complessivo di 52 miliardi di corone norvegesi dell'intero progetto Akksdal-Os dell'itinerario E39. Al cambio medio dell'anno 2016 cui risale il progetto il costo del tunnel sarebbe pari a circa 2,35 miliardi di dollari e il costo medio unitario a circa 430 milioni di \$/km
- b) la considerazione che il costo dei tunnel sommersi sia anche dello stesso ordine di grandezza del costo dei tunnel immersi (posati sul fondo marino o fluviale). Rispetto ai secondi, i primi non comportano lavori di drenaggio e riempimento dello scavo sul fondo marino, compensati peraltro dalle opere di ancoraggio, mentre i pesi in gioco sono dello stesso ordine di grandezza, pur essendo la sezione generalmente scatolare nei primi e circolare nei secondi. Un quadro dei costi di progetti di tunnel immersi, in esercizio e progettati (attualizzati ed espressi in US\$), è riportato nella tabella seguente (*Appendix E* dello studio). Si tratta sia di tunnel misti stradali e ferroviari (Oresund e Fehmarn in Danimarca) sia di tunnel solo stradali (i rimanenti), che coprono una gamma abbastanza ampia di tipologie -attraversamenti marini e fluviali / 2 setti a 3 corsie per senso di marcia / 2 setti a 2 corsie per senso di marcia. Il costo medio di tali opere – 42km di tunnel aventi un costo totale di circa 22,4 miliardi di dollari – risulta pari a circa 530 milioni di \$/km.

---

<sup>337</sup> Progetto sviluppato oltre che con tiranti di ancoraggio anche con pontoni galleggianti di sospensione (lunghezza 5.350m)

**Appendix E. Construction Cost Data (Source : Faber Maunsell Aecom (2007), Henning et al. (2007), Ovstedal & Melby (1992))**

Name of tunnels	Country	Type	Year of cost published	Original cost currency	Original cost	Converted cost	Depth (deepest)	Length	Segment length	Maximum Grade	Const. cost per unit length
						[USD]	[m]	[m]	[m]	[%]	[USD/m]
Western harbour crossing	HK china	IM	1996	USD	5.70E+09	7.91E+09		1250			6.33E+06
Silvertown river tunnel (Expected)	UK	IM	2014	GBP	4.14E+08	6.84E+08	30	1400			4.88E+05
Fehmarn Belt	DK	IM	2014	Euro	6.60E+09	9.31E+09		19000			4.90E+05
Geoje-Busan link	KOR	IM	2010	KRW	5.90E+11	5.73E+08	48	3700	180		1.55E+05
Izmir (Expected)	Turkey	IM	2008	USD	2.00E+09	2.32E+09	25	7600			3.05E+05
Caland tunnel	NL	IM	2004	EURO	1.60E+08	2.45E+08		1500			1.63E+05
Thomassen Tunnel	NL	IM	2004	DFL	3.50E+08	1.57E+08		1000			1.57E+05
Wamow Tunndel	DE	IM	2003	EURO	2.24E+08	3.17E+08		790			4.01E+05
Jack Lynch tunnel	IR	IM	1999	IEP	7.00E+07	1.09E+08		1900	120		5.73E+04
Oresund Crossing	DK	IM	1998	DNK	3.80E+09	6.33E+08		3500	120		1.81E+05
Medway Tunnel	UK	IM	1996	GBP	8.00E+07	1.60E+08		585	126		2.74E+05

**9.5.2 Stima orientativa tunnel sommerso flottante – SFT**

Per l'alternativa del tunnel sommerso flottante (alternativa C) si fa riferimento a una tipologia di opera a doppia canna monodirezionale, con una carreggiata stradale nella parte superiore e un binario ferroviario nella parte inferiore per ciascuna canna. Il diametro risultante sarebbe dell'ordine del diametro della canna tipo del tunnel ENI precedentemente descritto. Il relativo costo unitario è assunto cautelativamente pari a 750 milioni di €/km, incrementato rispetto al costo stimato della doppia canna stradale sia del progetto dello stesso tunnel ENI sia del progetto del tunnel Bjornafjord in Norvegia.

Anche in questo caso viene considerato a parte l'ulteriore incremento per determinare l'investimento necessario.



## 9.6 Collegamenti a terra ferroviari e stradali

### 9.6.1 Stima di progetto collegamenti ponte a campata unica 3.300m

*I collegamenti a terra del ponte a campata unica del progetto SdM-Eurolink hanno le seguenti caratteristiche principali (da progetto preliminare SdM):*

- *collegamenti ferroviari (totale 18,2km, essendo lo sviluppo misurato in termini di doppio binario, incluso posto di manutenzione lato Sicilia): 16,6km (91%) in galleria prevalentemente naturale 2 canne monodirezionali a singolo binario con by-pass ogni 250m, 1.1km in rilevato/trincea (6%), 0.4km nel viadotto Pantano (2%). Non sono inclusi nel progetto preliminare i raccordi terminali di innesto (bivi) nella linea ferroviaria costiera tirrenica a sud di Villa San Giovanni (località Concessa, in corrispondenza dello scalo ferroviario merci di Villa San Giovanni), né la stazione terminale di Messina in località Maregrossa, opere a carico di RFI), né le fermate lato Sicilia (Messina Europa / Annunziata / Papardo, aggiunte successivamente)*
- *collegamenti stradali (totale 15,5km a doppia carreggiata): 9.6km (62%) in galleria prevalentemente naturale 2 canne singola carreggiata con by-pass carrabili, 3,7km in rilevato/trincea (24%), 2,1km in viadotto incluso viadotto Pantano (14%), cui si aggiungono 4,4 km di rampe monodirezionali da 6,50m e 9,00m. Resta a carico del Comune di Messina il raddoppio della galleria di collegamento fra lo svincolo Giostra dell'autostrada A20 e località Annunziata, stimato 70 milioni di €.*

*Per tali opere il progetto preliminare (2003) stimava il costo dei lavori, risultando i seguenti importi:*

- *collegamenti ferroviari: 440 milioni di €*
  - *collegamenti stradali: 752 milioni di €, inclusa area direzionale lato Calabria (27 milioni di €)*
- per un totale di 1,19 miliardi di € (lavori).*

*Il quadro economico dello stesso progetto preliminare indicava poi l'incremento per cantierizzazione (4%), oneri sicurezza (2,5%), opere compensative (2,5%), nonché le cosiddette "somme a disposizione" per imprevisti (3%), progettazione definitiva, esecutiva, coordinamento, validazione, direzione lavori e coordinamento della sicurezza, collaudi, rilievi e indagini, prove di laboratorio, (in totale 7,3% per i collegamenti lato terra), acquisizione aree, immobili, ecc. (a misura), spostamento sottoservizi (a misura), risultando i seguenti importi:*

- *collegamenti ferroviari: 552 milioni di €, pari a circa 30 milioni di €/km*
  - *collegamenti stradali: 943 milioni di €, pari a circa 50 milioni di €/km*
- per un totale di 1,50 miliardi di € con i suddetti incrementi.*

*Rispetto a tale importo:*

- *va detratto il ribasso d'asta, noto nella misura (12,24%) ma non nelle voci a cui è stato applicato,*
- *vanno sommati costi aggiuntivi per tenere conto dei maggiori costi generati dal blocco delle attività nel periodo tra aprile 2006 e ottobre 2009 tali per cui l'importo totale del contratto di appalto lievita a 5,0 miliardi di €, in prima approssimazione ai fini del presente studio attribuibile (quota parte proporzionale all'importo dei lavori) alle opere di collegamento ferroviarie nella misura di 0,6 miliardi di €, e alle opere di collegamento stradali nella misura di 1,0 miliardi di €*
- *vanno aggiunti importi per opere aggiuntive quantificati in sede di progetto definitivo redatto dal General Contractor Eurolink come segue:*



- (i) per la parte ferroviaria la variante di Cannitello sulla linea costiera tirrenica a nord di Villa San Giovanni, ulteriori 3km per l'attestazione alla nuova stazione di Messina Gazzi (precedentemente era prevista l'attestazione a Messina Maregrossa), e le fermate di Papardo (in prossimità dell'attraversamento lato Sicilia), Annunziata ed Europa (Messina), attribuiti in prima approssimazione ai fini del presente documento per 0,7 miliardi di € (rimangono quindi esclusi sia la nuova stazione di Messina Gazzi che i bivi di innesto nelle linee costiere in Siciliane in Calabria);
- (ii) per la parte stradale alcune varianti (raccordo Panoramica-Litoranea / minisvincolo Ganzirri / spostamento a monte in galleria in corrispondenza della Cittadella Universitaria Annunziata / stazione Gazzi, restando sempre escluso il raddoppio in galleria Giostra-Annunziata), nonché ulteriori opere per la nuova Area Direzionale lato Calabria, adeguamenti resi necessari da nuove norme e disposizioni in materia di sicurezza nella progettazione delle opere in sotterraneo / di intersezioni stradali, e per l'ottimizzazione del progetto (Viadotto Pantano, Centro Direzionale), attribuiti in prima approssimazione ai fini del presente documento per 0,8 miliardi di €,

ottenendo quindi l'importo delle opere di collegamento pari a 3,1 miliardi di €, così ripartito:

- collegamenti ferroviari: 1,3 miliardi di €
- collegamenti stradali: 1,8 miliardi di €

Tali importi non sono parametrizzabili rispetto allo sviluppo delle infrastrutture di cui sopra, essendo gli incrementi in parte di natura finanziaria e in parte determinati da nuove di estensione e importo non noto.

L'investimento necessario, quantificato ai fini del Piano Economico Finanziario, risulta pari ai suddetti costi incrementati del 30% circa, in base alle informazioni fornite nella citata audizione parlamentare dell'Amministratore Delegato di Stretto di Messina SpA del 6/11/2012.

Questo incremento, che ai fini del presente studio viene evidenziato ma tenuto separato, andrebbe tenuto in conto nel confronto con altre opere analoghe.

## 9.6.2 Opere di riferimento e relativi costi di realizzazione

È stata approfondita la valutazione dei costi delle infrastrutture in galleria, preponderanti per sviluppo e per costo nell'ambito dei collegamenti di accesso all'opera di attraversamento.

L'orografia montuosa dell'Italia e delle sue aree alpine di confine con il resto d'Europa ha favorito la formazione in ambito nazionale di una consolidata esperienza nella realizzazione di tunnel stradali e ferroviari anche di grande sezione.

Pertanto, essendo numerose le gallerie inserite in progetti articolati che prevedono anche tratte significative in superficie (in viadotto e a raso trincea), non risulta agevole l'individuazione dei costi delle tratte in galleria separati dai costi complessivi.

### Tunnel scavato ferroviario

Per una stima del costo di un tunnel ferroviario si possono assumere come riferimento i costi consuntivi di opere simili già realizzate, nonché i costi stimati da RFI in sede di



programmazione di tali opere e dei relativi investimenti, riportati nei documenti di programmazione pluriennale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Nel campo ferroviario, il tunnel terrestre più lungo del mondo è la galleria di base del San Gottardo (57km, Svizzera, tunnel a 2 canne a singolo binario + by-pass e 2 stazioni di movimento intermedie, 2.450m di profondità massima).

In fase di realizzazione si trova la nuova galleria di base del Brennero (55km di galleria, fra Italia e Austria, tunnel a 2 canne a singolo binario + by-pass e tunnel di servizio).

Analogamente in fase di realizzazione si trova la nuova galleria di base del Frejus (lunghezza 57km di cui 45km in Francia e 12km in Italia, 2 canne a singolo binario + by-pass e tunnel di servizio).

In Italia, un'opera di recente realizzazione è la "Direttissima" AV Bologna-Firenze (Bologna San Ruffillo-Firenze Castello, 78,5km di cui 73,9km in galleria, tunnel a singola canna a doppio binario).

Fra le linee AV/AC si può citare la nuova linea di valico dei Giovi "3° valico" (53km, tra Genova e Tortona, di cui 37km in galleria, e 14 km di linee di interconnessione con la rete esistente, tunnel a doppia canna a singolo binario+ by-pass).

In fase di appalto si trova il progetto della variante Giampilieri-Fiumefreddo (42 km, di cui l'85% in galleria, tunnel a doppia canna a singolo binario + by-pass).

La Tabella 9-2 riporta costi complessivi e parametrici per le opere citate.

Tunnel terrestre ferroviario	lunghezza totale (km)	lunghezza galleria (km)		tipo (numero canne)	costo (milioni €)	costo/km tot. (milioni €)	costo/km gall. (milioni €)
<b>San Gottardo base (2016)</b>	57,0	57,0		2	10.980	<b>193</b>	<b>193</b>
<b>Brennero base (2028)</b>	64,0	55,0		2+serv.	8.800	<b>138</b>	<b>160</b>
<b>Lötschberg (2007)(*)</b>	34,6	30,0		2	4.440	<b>128</b>	<b>148</b>
<b>Frejus base (TAV) tratta italiana (2028)-progetto 2010</b>	35,3	31,4		2+serv.	4.563	<b>129</b>	<b>145</b>
<b>Frejus base (TAV) tratta italiana (2028)-progetto 2016</b>	18,0	15,4		2+serv.	2.600	<b>144</b>	<b>169</b>
<b>"Direttissima" AV Bologna-Firenze (2009)</b>	78,5	73,9		1 bidirez.	5.500	<b>70</b>	<b>74</b>
<b>3° Valico (2023)</b>	53,0	37,0		2	6.200	<b>117</b>	<b>168</b>
<b>Variante Giampilieri-Fiumefreddo</b>	42,0	36,0		2	2.300	<b>55</b>	<b>64</b>

(\*) costruito tunnel est e 25km circa tunnel ovest

Tabella 9-2 Costi parametrici di tunnel terrestri ferroviari

Le linee in galleria di base attraverso le Alpi e gli Appennini hanno costi superiori,

Fra le grandi opere ferroviarie in territorio nazionale si cita anche la linea AV Salerno-Reggio Calabria, oggetto per la tratta Battipaglia-Reggio Calabria di studio di fattibilità nel 2005,



aggiornato nel 2016 con l'aggiunta della tratta Salerno-Battipaglia<sup>338</sup>, e attualizzato durante la redazione del presente studio<sup>339</sup>, comprendente anche la tratta in variante Gioia Tauro-Villa San Giovanni-Reggio Calabria, interconnessa al progetto dell'opera di attraversamento stabile. Per tale opera i costi parametrici attualizzati applicati da RFI (ricavati da opere ferroviarie di ultima realizzazione / progettazione) sono i seguenti:

- **Tratti in galleria 80 M€/km** (galleria a doppia canna singolo binario+ by-pass ogni 500m. Per le gallerie di lunghezza superiore a 20km è prevista la galleria di soccorso e antincendio posta tra le due canne, collegata con by-pass ai due marciapiedi)
- **Tratti allo scoperto 25 M€/km**

### Tunnel scavato stradale

Per una stima del costo di un tunnel stradale si possono assumere come riferimento i costi consuntivi di opere simili già realizzate, nonché i costi stimati da ANAS in sede di programmazione di tali opere e dei relativi investimenti, riportati nei documenti di programmazione pluriennale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Non recentissime ma di lunghezza ragguardevole sono la galleria del San Gottardo (16,9 km, Svizzera, una canna bidirezionale con tunnel laterale di servizio) e la galleria del Seelisberg (9,3 km, Svizzera, due canne monodirezionali).

La galleria del Gran Sasso sull'autostrada A42 Roma-Teramo, utilizzata anche come via di accesso ai laboratori sotterranei dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, è il più lungo traforo stradale realizzato interamente su territorio italiano (10,2 km), nonché la più lunga galleria stradale a due canne d'Europa, superata solo nel 2021 dal traforo stradale del Frejus, con il completamento della seconda canna (12,9 km).

Opera estremamente complessa è la "Variante di valico" o "Direttissima" nel tratto Bologna-Firenze dell'A1, in particolare tra Sasso Marconi e Barberino del Mugello, comprendente sia l'ampliamento di tratte esistenti che la realizzazione di un nuovo e parallelo percorso

---

<sup>338</sup> Alta Velocità del sud: Salerno Reggio Calabria / Battipaglia Potenza/Taranto, ottobre 2020

Nella prima fase (2005) dallo studio di varie alternative di itinerario tra Battipaglia e Reggio Calabria è risultato che il percorso più breve sarebbe dell'ordine di 340km (linea tirrenica), mentre quello con minore sviluppo di gallerie sarebbe quello "autostradale" (lungo la direttrice per Cosenza, circa 240km). Il maggior risparmio di tempo si avrebbe sia con il percorso costiero tirrenico che con quello "autostradale" (circa 65' fino a Villa San Giovanni e 80' fino a Reggio Calabria), mentre la maggiore domanda servita sarebbe lungo il percorso "autostradale".

Nella seconda fase (2016) sono posti a confronto una nuova linea AV da Salerno a Reggio Calabria lungo l'itinerario tirrenico (circa 100' di minor tempo di viaggio) con 3 alternative di velocizzazione della linea tirrenica (circa 90' / 75' / 70' di minor tempo di viaggio)

Nella fase più recente (2020) viene ripresa oltre all'ipotesi della velocizzazione della linea esistente anche quella della linea AV lungo l'itinerario "autostradale", che in base a nuovi costi parametrici attualizzati risulta più economica dell'alternativa tirrenica.

<sup>339</sup> RFI – Italferr - Nuova linea AV Salerno-Reggio Calabria – Documento di fattibilità delle alternative progettuali – Relazione generale, marzo 2021

Viene contestualmente approfondito rispetto alle fasi precedenti lo studio della tratta Salerno-Battipaglia e presentato l'intero tracciato Salerno-Reggio Calabria articolato in lotti costruttivi.



autostradale in variante fra La Quercia e Aglio, a 2 corsie più corsia di emergenza per senso di marcia, lunga circa 32,5 km, quasi totalmente in galleria, in cui l'opera più importante è la galleria di base, lunga 8.703 m.

Si segnala anche la più lunga galleria in territorio francese, la Rouel Malmaison-Velizy (10km, a canna unica a due livelli sovrapposti per le due carreggiate monodirezionali, modello a cui si è arrivati per ridurre l'impatto ambientale).

La Tabella 9-3 riporta costi complessivi e parametrici per le opere citate.

Un caso particolare di opera "solo galleria" è la galleria stradale "Caltanissetta" lungo la SS 640 Agrigento-Caltanissetta, lunga 4km, per la quale è stimato un costo di 200 milioni di euro (50 milioni di €/km).

Altre gallerie in progetto o in corso di realizzazione sono presenti in particolare lungo alcuni lotti dell'Itinerario E78 Trasversale Appenninico Grosseto-Fano, lungo la SS 106 Ionica, lungo altri lotti della citata SS 640, lungo l'autostrada Catania-Siracusa. I costi medi di realizzazione di queste opere sono dell'ordine di 30-40 milioni di euro /km, per singola canna monodirezionale essendo le due canne costruite in tempi diversi.

Tunnel terrestre stradale	lunghezza totale (km)	lunghezza galleria (km)	tipo (numero canne)	costo (milioni €)	costo/km tot. (milioni €)	costo/km gall. (milioni €)
<b>San Gottardo (1980)</b>	16,9	16,9	1+serv.	617	<b>36</b>	<b>36</b>
<b>Gran Sasso (1984 1a canna -1993 2a canna)</b>	10,2	10,2	2	887	<b>87</b>	<b>87</b>
<b>Frejus "galleria sicurezza" (2a canna) (2022)</b>	12,9	12,9	1	581	<b>45</b>	<b>45</b>
<b>Seelisberg CH (1980)</b>	9,3	9,3	2	550	<b>59</b>	<b>59</b>
<b>Variante valico Rioveggio-Aglio (2006-2017) (*)</b>	60,0	30,0	2	4.100	<b>68</b>	<b>137</b>
<b>"Duplex" A86 Rouel Malmaison-Velizy (2009-2011) (**)</b>	10,0	10,0	1	2.400	<b>240</b>	<b>240</b>
(*) Importo lavori comprendente tratte Casalecchio-Quercia e Aglio-Barberino						
(**) Tunnel a 1 canna 2 livelli sovrapposti monodirezionali						

Tabella 9-3 Costi parametrici di tunnel terrestri stradali

### Viadotti e tratte in rilevato / trincea ("all'aperto") ferroviarie e stradali

Si tratta di tipologie che hanno incidenza modesta in termini di sviluppo, sostanzialmente solo nel caso dell'attraversamento con ponte a 3 campate, risultando pressoché assenti nel caso dell'attraversamento con tunnel sottomarino e con tunnel sommerso flottante.

Per i relativi costi si riportano a titolo di riferimento quelli delle opere del progetto preliminare redatto da Stretto di Messina (lavori incrementati delle spese accessorie, e delle voci di piano economico finanziario, ma esclusi gli incrementi da progetto preliminare a progetto definitivo causati sostanzialmente da oneri finanziari / opere aggiuntive):



- viadotto ferroviario a singolo binario: assente
- viadotto ferroviario Pantano (opera speciale 2 binari): 40 milioni di €/km
- viadotto stradale a doppia carreggiata: 15 milioni di €/km
- viadotto stradale Pantano (opera speciale 2 carreggiate 4 corsie): 155 milioni di €/km
- linea ferroviaria a doppio binario “all’aperto”: 16 milioni di €/km
- autostrada “all’aperto” a doppia carreggiata: 8 milioni di €/km

Si segnala per il costo elevato il viadotto Pantano, lungo circa 440m: complessivamente la parte stradale e quella ferroviaria assommano a circa 86 milioni di €, pari a circa 195 milioni di €/km.

### Opere puntuali ferroviarie e stradali

A parte sono stimate con prezzo a corpo alcune tipologie di infrastrutture stradali e ferroviarie puntuali, in particolare:

- stazione / fermata ferroviaria in superficie e sotterranea a varie profondità (costi distinti per tener conto della diversa incidenza delle opere civili di stazione e di accesso)
- svincolo autostradale (svincolo completo dotato delle rampe di raccordo necessarie a consentire l’interscambio fra la nuova infrastruttura di collegamento a doppia carreggiata e l’infrastruttura esistente).

### **9.6.3 Stima orientativa collegamenti ferroviari e stradali delle soluzioni alternative**

I costi delle infrastrutture ferroviarie in galleria del progetto del ponte a campata unica e i costi delle grandi opere in galleria assunte a riferimento sono piuttosto disomogenei, infatti:

- a) costo parametrico ricavato dal progetto del ponte a campata unica:
  - linea ferroviaria in galleria a doppio binario: < 30 milioni di €/km,
  - strada con caratteristiche autostradali a doppia carreggiata in galleria: < 55 milioni di €/km,
- b) costi parametrici di grandi opere progettate / realizzate / in corso:
  - tratte in galleria della nuova linea AV Salerno-Reggio Calabria (RFI): 80 milioni di €/km,
  - tunnel ferroviari alpini: mediamente superiori a 120 milioni di €/km,
  - tunnel stradali alpini: mediamente inferiori a 60 milioni di €/km

Una possibile giustificazione di tale divario in campo ferroviario potrebbe essere quella che venga normalmente sottovalutato il costo delle opere di servizio e accesso di emergenza (terzo tunnel ecc.) imposte dalle norme di sicurezza nelle lunghe gallerie ferroviarie con



copertura elevata, pur essendo il diametro delle gallerie ferroviarie inferiore a quello delle gallerie stradali.

Pertanto, si ritiene opportuno incrementare cautelativamente i costi dei tunnel ferroviari stimati nel progetto del ponte a campata unica, assumendo i costi unitari seguenti:

- linea ferroviaria doppio binario in galleria doppia canna 70 milioni di €/km
- autostrada a doppia carreggiata 4 corsie in galleria doppia canna 60 milioni di €/km.

Viene considerato a parte l'ulteriore incremento per determinare l'investimento necessario.

Nell'ipotesi di attraversamento con ponte ferroviario e stradale a 3 campate (alternativa A), le opere di collegamento a terra stradali e ferroviarie praticamente non differiscono da quelle del progetto di ponte a campata unica di SdM-Eurolink, descritti in precedenza con la relativa stima dei costi.

Vi sono modeste differenze di lunghezza dei percorsi dovute al diverso allineamento dell'opera di attraversamento – che segue l'orientamento della “Sella” dello Stretto – e conseguente diversa posizione dei punti di incrocio con la linea di costa. Inoltre, lato Calabria il collegamento alla linea ferroviaria costiera è previsto a nord di Villa San Giovanni, in località Cannitello, anziché a sud della città, in località Concessa.

Nell'ipotesi di attraversamento con tunnel sottomarino (2 canne monodirezionali ferroviarie binario singolo + galleria intermedia di servizio / 2 canne monodirezionali singola carreggiata) (alternativa B), la lunghezza dei collegamenti si incrementa sensibilmente per il maggior dislivello tra la quota di attraversamento dello Stretto e le quote di innesto nelle reti esistenti ferroviaria (linea costiera tirrenica) e stradale (nuovo svincolo di Catona – a metà circa fra Villa San Giovanni e Reggio Calabria – di innesto nell'autostrada A2 Salerno-Reggio Calabria). In particolare, per il collegamento ferroviario sono previsti lato Calabria sia un innesto in località Cannitello – a nord di Villa San Giovanni – sia un innesto diretto a Reggio Calabria. Per questa alternativa è prevista una fermata ferroviaria aggiuntiva a Reggio Calabria Università.

Si considera anche una ulteriore ipotesi di attraversamento con tunnel sottomarino ferroviario e ponte stradale a 3 campate (alternativa A-B). In questo caso il costo dell'opera di attraversamento è la somma del costo di un ponte di sezione di larghezza 2/3 circa di quella del ponte misto ferroviario + stradale, e di un tunnel a 2 canne monodirezionali ferroviario.

Nell'ipotesi di attraversamento con tunnel sommerso flottante (SFT) (2 canne monodirezionali ferroviarie singolo binario e stradali singola carreggiata, alternativa C), lo sviluppo dei collegamenti è inferiore rispetto a quello dell'ipotesi di attraversamento con ponte, essendo minore il dislivello fra la quota di attraversamento e la quota di innesto nelle reti esistenti (in ascesa l'uno in discesa l'altro). Anche in questo caso il collegamento



ferroviario alla linea ferroviaria costiera è previsto a nord di Villa San Giovanni, in località Cannitello, ed è prevista la fermata ferroviaria aggiuntive di Reggio Calabria Università.

## 9.7 Costi di esercizio e manutenzione

I costi di esercizio e manutenzione rappresentano una voce significativa di cui tenere conto nella pianificazione di un'opera dell'importanza dell'attraversamento stabile dello Stretto, nello stesso tempo prevedendo anche la forma e i soggetti incaricati dei lavori di manutenzione e dell'esercizio: se le infrastrutture ferroviarie e stradali potranno essere convenientemente gestite da RFI e ANAS, cioè gli stessi soggetti che gestiscono le reti esistenti, viceversa per l'opera di attraversamento sarà probabilmente necessario un nuovo soggetto specificamente preposto alla gestione dell'opera, ancora da individuare.

### 9.7.1 Costi di manutenzione ed esercizio stimati per il ponte a campata unica 3.300m

*I costi di manutenzione ed esercizio sono oggetto di apposito studio in sede di progetto definitivo<sup>340</sup>, da sviluppare con maggior dettaglio in sede di progetto esecutivo.*

*Lo studio LCC (Life Cycle Cost – Costo del ciclo di vita) si riferisce a un periodo complessivo di 60 anni e al costo totale di esercizio e manutenzione della sola opera ponte sospeso, quindi non includono le opere autostradali e ferroviarie, e relativi gallerie, ponti e impianti tecnologici.*

*L'esperienza internazionale indica che il costo medio annuo di esercizio e manutenzione è generalmente dell'1,0% - 1,5% del costo di costruzione, nella vita utile di un ponte.*

*La fig. ... , che rappresenta l'incidenza dei costi annui di esercizio e manutenzione in base all'esperienza di alcuni ponti scandinavi, mostra tuttavia come l'integrazione di caratteristiche di facile manutenzione nella progettazione del ponte abbia un effetto diretto sul costo di esercizio e manutenzione, a partire dal ponte sospeso Little Belt (DK, 40 anni, primo ponte a cassone dotato di protezione contro la corrosione per deumidificazione), e successivamente con i ponti Faroe (DK), il ponte Great Belt East (DK), il collegamento Øresund (S-DK), passando da 0,7% annuo a 0,2% annuo, incidenza che viene assunta anche per il progetto del ponte a campata unica anch'esso indicato nella figura.*

<sup>340</sup> Elaborato PG0027\_F0 - STUDIO DI COSTO COMPLESSIVO NEL CICLO DI VITA LCC (LIFE CYCLE COST)

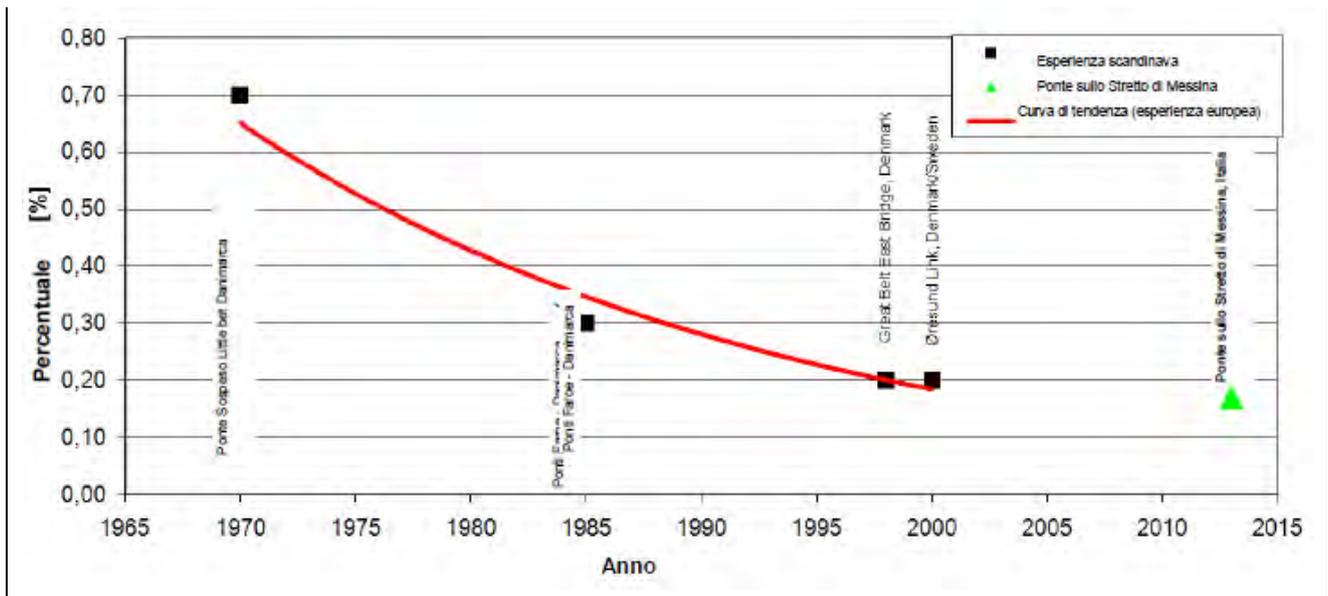


Figura 9-2 Costi annui di esercizio e manutenzione - Ponti scandinavi e stima Ponte Stretto di Messina

Sono citati anche i costi annuali di esercizio e manutenzione dell'esperienza giapponese dei percorsi: Kobe-Naruto (1998, 89 km inclusi 2 ponti sospesi e 2 ponti a traliccio), Kojima-Sakaide (1988, 37,3 km inclusi 3 ponti sospesi, 2 ponti strallati e 3 ponti a traliccio) e Onomichi-Imabari (1999, 46.6 km inclusi 5 ponti sospesi, 3 ponte strallati, 1 ponte a travate e 1 ponte a traliccio), quindi di opere comprendenti (oltre ai ponti) anche tunnel, strade, stazione di pedaggio e ufficio di controllo. L'incidenza dei costi di esercizio e manutenzione annuale nei tre casi è compresa fra 0,30% e 0,44% dei costi di costruzione.

I risultati dello studio LCC sono espressi in due modi diversi:

- nel primo, i costi sono espressi complessivamente attraverso il tasso 4%, che rappresenta l'investimento al fine di coprire futuri costi di esercizio e di manutenzione, da aggiungere al costo di costruzione per formare il Costo del Ciclo di vita totale (LCC)
- nel secondo, i costi medi annui sono calcolati (attualizzati) ai prezzi del 2005, così da essere correlati (in %) al costo di costruzione, anch'esso calcolato ai prezzi del 2005 2.600 milioni di € stimato nel Progetto di Gara. Il costo annuale di esercizio e manutenzione stimato in relazione al costo di costruzione del ponte è pari a circa lo 0,1% per i primi 30 anni e a circa lo 0,2% per i successivi 30 anni (prezzi del 2005), risultando complessivamente pari al 9% nel periodo di 60 anni considerato.

I costi di manutenzione bassi sono così motivati:

- I cavi principali sono protetti contro la corrosione tramite rivestimento e deumidificazione.
- Le superfici esterne dei cassoni del ponte, dei trasversi e delle torri sono verniciate con un sistema di protezione che non necessita frequentemente di una nuova mano di finitura e in modo tale da eliminare quasi totalmente le riparazioni puntuali.
- La pavimentazione stradale di 12 mm è prevista in resina polimerica a bassi costi di manutenzione.
- I giunti di espansione sono restaurati ogni 20 anni, prolungandone la durata.
- Gli spartitraffico e i frangivento non sono verniciati.



### 9.7.2 Costi di manutenzione ed esercizio per le soluzioni alternative

Non avendo il presente studio carattere progettuale, e quindi non essendo possibile una stima analitica dei costi di esercizio e di manutenzione (quest'ultima in base alle caratteristiche e alla durata presunta dei materiali e delle opere), la stima non potrebbe che essere espressa in forma parametrica in valore % del costo di costruzione.

In prima approssimazione, si ritengono piuttosto ottimistiche le valutazioni basate sull'esperienza scandinava e giapponese citate nello studio del progetto definitivo Eurolink, e più realistico considerare cautelativamente valori dell'ordine di 0,3%-0,5% annuo (dell'ordine di 30-50 milioni di € annui).

### 9.8 Sintesi delle stime

Con i dati caratteristici (lunghezza dell'opera di attraversamento e dei collegamenti ferroviari e stradali lato terra) del progetto del ponte a campata unica 3.300m e delle 3 ipotesi di soluzioni alternative di attraversamento, associati ai rispettivi costi unitari, si è ottenuta una stima orientativa del costo totale di ciascuna opera.

Le opere puntuali sono stimate a corpo, assumendo in prima approssimazione costi differenziati solo dove la tipologia comporta chiare differenze costruttive, come nel caso della profondità delle stazioni / fermate ferroviarie. Si considerano:

- svincoli stradali Annunziata, Curcuraci, Pace (lato Sicilia), Catona, Piale (lato Calabria)
- stazioni e fermate ferroviarie Messina Gazzi / Messina Maregrossa / Messina Centro / Messina Annunziata (a 2 livelli di profondità) / Messina Papardo (a 3 livelli di profondità) / Reggio Calabria Università.

Ai costi dei lavori e relative prestazioni accessorie si aggiunge per tutte le soluzioni alternative l'importo per le voci precedentemente menzionate dei costi Project Management Consultant / Monitoraggio Ambientale / Stazione Appaltante / Manutenzione nel periodo di costruzione / Variazione Prezzi / Oneri Finanziari durante la costruzione, in misura pari a quanto definito in sede di Conferenza di Servizi a fine 2011 per il progetto del ponte a campata unica.

Con le ipotesi assunte le stime orientative risultano le seguenti in miliardi di €:



	Ponte campata unica 3.300m	Ponte 3 campate (A)	Tunnel sottomarini ferroviari e stradali (B)	Tunnel sottomarino ferroviario e ponte stradale (A-B)	Tunnel in mare (C)
Attraversamento	3,7	4,0	1,8	4,2	2,6
Collegamenti	3,2	2,6	4,3	3,8	3,1
TOTALE COSTO	6,9	6,6	6,1	8,0	5,7
Somme a disposizione	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
TOTALE INVESTIMENTO	8,7	8,4	7,9	9,8	7,5

Il costo dell'opera complessiva (attraversamento e collegamenti) risulta minore nei casi (B) e (C) e maggiore nei casi (A) e (A)+(B), a causa dell'incidenza meno elevata dei costi dell'opera di attraversamento.



## 10 ADEGUAMENTO DEL SERVIZIO DI TRAGHETTAMENTO

### 10.1 Introduzione

Il servizio di traghettamento merita un approfondimento finalizzato a garantirne un servizio ottimale anche durante il periodo di progettazione e realizzazione delle opere di attraversamento stabile. In particolare, si ritiene opportuno dedicare attenzione al traghettamento ferroviario, anello di congiunzione delle reti ferroviarie della Sicilia e della Calabria, nell'ottica della integrazione sia con il programmato prolungamento verso sud fino allo Stretto della rete nazionale ad alta velocità in Calabria che con il potenziamento delle direttrici principali Messina. Catania e Messina-Palermo in Sicilia.

I traghetti ferroviari – indicati con il termine *train ferry*, distinto dal termine *ro-pax* (trasporto solo mezzi stradali misto passeggeri e merci), e dal termine più generale *ro-ro* (*roll on - roll off*) (trasporto solo mezzi stradali merci) – effettuano quindi il trasporto sia di carrozze o di interi treni viaggiatori che di carri merci, senza escludere il trasporto di mezzi stradali in spazi dedicati o nell'area dei binari ferroviari ove inutilizzati.

A differenza del traghettamento di veicoli stradali quello ferroviario è notevolmente più complesso e impegnativo. Occorre infatti stabilire tra i binari a terra e i binari di bordo una continuità sicura ed efficiente. A tale scopo le attrezzature consistono essenzialmente di una invasatura a forma di imbuto, di dimensioni adatte a contenere le navi in uso, assicurate stabilmente alle banchine laterali. A seconda della forma delle invasature, le operazioni di carico e scarico si fanno solo da una parte della nave: ad esempio di prua nei terminali dello Stretto (avveniva di poppa nei terminali della rotta sarda attualmente dismessa).

La prua della nave viene aperta quando la nave si trova in prossimità dell'invasatura e – dopo che la nave è stata ormeggiata ed assicurata alla banchina – strettamente connessa ad un ponte mobile munito di binario, manovrato mediante dispositivi di sollevamento e abbassamento, montato su un'apposita incastellatura e motorizzato, che realizza il congiungimento del binario di terra con quello di bordo.

I treni in imbarco/sbarco sono spinti o tirati da una locomotiva di manovra, divisi in sezioni e caricati sui binari di bordo in modo da evitare lo sbilanciamento del carico della nave e una sua anomala inclinazione, quindi frenati a fondo e, in caso di mare molto agitato, assicurati con appositi tiranti.

### 10.2 Cenni sullo stato attuale e la storia

Le navi attualmente impiegate attraverso lo Stretto per traghettamento ferroviario sono riportate nella seguente tabella (fonte Wikipedia) (Figura 10-1):



Nome	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Pescaggio (m)	Stazza lorda (tsl)	N° binari	Velocità in nodi	Capacità massima passeggeri	Capacità massima di carico	Cantiere	Inizio	Disarmo	Note
<i>Scilla</i>	145	18,80	5,85	5.619	4	20,6	1.500	150 auto, 43 carri o 16 carrozze ferroviarie	Fincantieri, Castellammare di Stabia	1985	-	Nave gemella <i>Villa</i>
<i>Villa</i>	145	18,80	5,85	5.619	4	20,6	1.500	150 auto, 43 carri o 16 carrozze ferroviarie (o 445 m.l. per semirimorchi)	Fincantieri, Palermo	1985	-	Nave gemella <i>Scilla</i>
<i>Riace</i>	102	18,82	4,50	2.377	3	15,2	500	79 auto, 24 carri o 12 carrozze ferroviarie	Fincantieri, Castellammare di Stabia	1983	-	Nave gemella <i>Fata Morgana</i> . Ceduta a Blufferies nel 2013.
<i>Fata Morgana</i>	102	18,82	4,50	2.377	3	15,2	500	79 auto, 24 carri o 12 carrozze ferroviarie	Fincantieri, Livorno	1988	-	Nave gemella <i>Riace</i> . Ceduta a Blufferies nel 2013.
<i>Logudoro</i>	145	18,82	5,25	6.505	4	20	998	210 auto 378 m.l. carri ferroviari (o 445 m.l. per semirimorchi)	Fincantieri, Palermo	1988	-	In servizio sullo stretto di Messina dal 2012. Nave gemella <i>Villa, Scilla</i>
<i>Messina</i>	147	18,70		5.448	4	18,7	900	138 auto o 27 carri ferroviari o 15 carrozze ferroviarie	Nuovi Cantieri Apuania, Marina di Carrara	2013	-	

Il pescaggio della nave “Messina” di più recente costruzione è pari a 5,50 m (fonte Marinettraffic).



Figura 10-1 Traghetti ferroviari: Messina (2013) e Riace (1983)

È in corso di finitura (entrata in servizio prevista nel 2021) la costruzione della nuova nave “Iginia”, gemella dell’esistente “Messina”. Il costo stimato a inizio costruzione era di 48 milioni di euro.



La flotta comprende due tipologie di navi, rispettivamente monodirezionali e bidirezionali: le prime con prua mobile e rampa di poppa, le seconde (“Riace” e “Fata Morgana”, più piccole) con rampe ad entrambe le estremità.

La portata massima – capacità di carico – delle navi di cui sopra è quella della “Messina”, pari a 2.500 tonnellate. Analogamente la lunghezza di binario utile massima è quella della stessa “Messina” pari a 378m.

L’evoluzione delle dimensioni del naviglio è stata continua dall’inizio del servizio negli anni a cavallo del 1900 fino agli anni ’80.

Il primo servizio di traghettamento ferroviario di carrozze viaggiatori e carri merci si effettua nel 1899 tra Messina e Reggio Calabria, mediante 2 navi traghetto con propulsione a ruote aventi lunghezza 50m e attrezzate con un solo binario della capacità di 5 carri da 10 metri ciascuno (“Scilla” e “Cariddi”). Nel 1901 viene avviato il servizio di traghettamento di vetture viaggiatori tra Messina e Villa San Giovanni. Nel 1905 entrano in servizio 2 nuove navi traghetto anch’esse a ruote, lunghe 53m e dotate di un solo binario della capacità di 4 vetture o 6 carri ferroviari (“Calabria” e “Sicilia”), e viene avviato il traghettamento di carri da Messina a Villa San Giovanni e l’inoltro diretto degli stessi sulla nuova linea Tirrenica. Nel 1910, dopo il terremoto del 1908, entrano in servizio due nuove navi traghetto, aventi propulsione ad elica, lunghezza 78m e 1 binario per una capacità di 8 carri (“Villa” e “Reggio”).

Negli anni ’20 entrano in servizio 3 nuove navi a 3 binari con propulsione ad elica, motori diesel-elettrici, della capacità fino a 14 carrozze o 25 carri (“Messina”, “Scilla” e “Cariddi”, i nomi vengono ripresi dalle precedenti navi nel frattempo dismesse dal servizio).

Negli anni del secondo dopoguerra vengono aumentati i treni trahettati per intero, e soprattutto istituiti i treni senza alcun trasbordo tra le stazioni del nord, Milano, Torino e Venezia, e quelle siciliane di Palermo e Siracusa. Nel 1948 vengono varate 2 navi dotate di 3 binari con una capacità di trasporto di 20 carri ferroviari (“Mongibello” e “Aspromonte”).

Negli anni ’60 viene modificata la sagoma delle navi traghetto, allargate per consentire l’inserimento di 4 binari: nel 1960 e nel 1964 entrano in servizio 2 navi di 128,5 m di lunghezza aventi una capacità totale di 13 carrozze viaggiatori o 34 carri (“Reggio” e “San Francesco di Paola”), e nel 1965 si iniziano a trahettare anche le elettromotrici ALe 601 del Treno Rapido Peloritano da Catania e Palermo per Roma Termini.

Tra il 1969 e il 1972 entrano in servizio 3 navi della lunghezza di 141,5 m e a 4 binari di carico sul ponte ferroviario, che aumentano la capacità di carico a 16 carrozze viaggiatori o 43 carri merci, 210 automobili o 55 autocarri e fino a 2000 passeggeri (“Iginia”, “Sibari” e “Rosalia”).

Nel 1979 venne abbandonato il servizio di trahettamento dei rotabili ferroviari sulla rotta Messina-Reggio Calabria, e con esso l’unico collegamento diretto tra Sicilia e Puglia, il treno Diretto 2572 Messina-Taranto. Negli anni ’80 entrano in servizio le navi tuttora esistenti di



cui alla tabella sopra riportata, bidirezionali di 102 m di lunghezza e monodirezionali di 145 m di lunghezza, che sono le ultime costruite prima della “Messina” (2013). In sostanza l’evoluzione dimensionale e di capacità del naviglio si è fermata per un quarto di secolo, dal 1988 (entrata in servizio della “Logudoro” al 2013 (entrata in servizio della “Messina”).

Da segnalare l’entrata in servizio nel 1982 del traghetto ferroviario “Garibaldi” sulla rotta Civitavecchia - Golfo Aranci e viceversa, esclusivamente per il traffico merci, avente le seguenti caratteristiche:

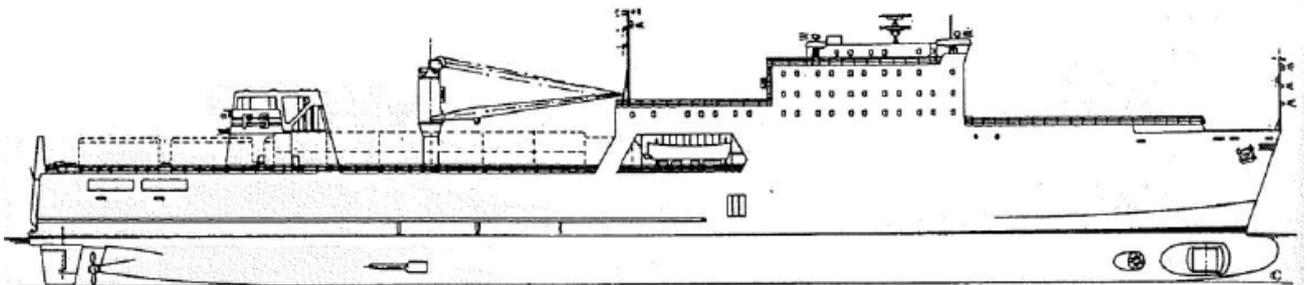
- lunghezza 146 metri;
- larghezza 19,2 metri;
- pescaggio 5,7 metri;
- velocità 19,5 nodi (36 km/h)
- 3 ponti / sviluppo totale binari 883m
- capacità 80 carri ferroviari da 11 m

Con un sistema di piattaforme scorrevoli e due elevatori interni monocarro, i carri venivano sia traslati lateralmente che caricati dal ponte principale al ponte superiore o a quello inferiore, poi mediante “muletti” spostati in senso longitudinale, con l’ausilio di un sistema computerizzato per ottimizzare la posizione dei carri in funzione della stabilità della nave.

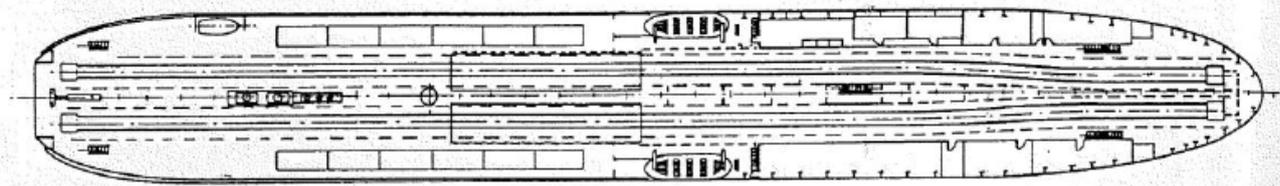
Si volle quindi costruire una nave che potesse utilizzare i terminali esistenti e che avesse la più elevata capacità di carico possibile, optando per la soluzione assolutamente innovativa dei binari su 3 ponti. (

Figura 10-2)

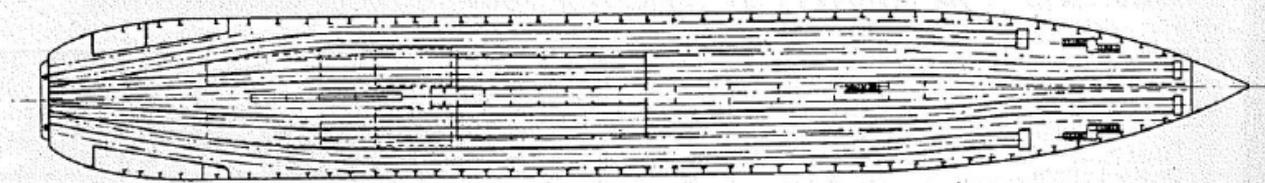
Rimasta unico traghetto ferroviario in servizio da e per la Sardegna negli ultimi anni di esercizio della linea, la nave termina il servizio nel 2009.



Vista esterna



Ponte binari superiore



Ponte coperta



Ponte binari inferiore

Figura 10-2 Nave traghetto ferroviario merci Garibaldi

Quanto alle invasature per i traghetti ferroviari, la loro realizzazione è avvenuta progressivamente come segue: (Figura 10-3)

- la prima invasatura nel 1899 a Messina, nel 1901 a Reggio Calabria, nel 1905 a Villa San Giovanni,
- le rimanenti seconda, terza e quarta invasatura di Messina e la seconda invasatura di Villa San Giovanni negli anni fino al 1935, e, negli stessi anni, una ristrutturazione delle invasature sia in ampiezza per la maggiore larghezza delle navi dotate di 3 binari, che nell'adattabilità alla diversa altezza del piano dei binari, mediante ponti mobili sovrastati da una struttura metallica a portale con una cabina di manovra,
- la terza invasatura di Villa San Giovanni nel 1961, e una ulteriore ristrutturazione delle invasature sia in ampiezza per la maggiore larghezza delle navi dotate di 4 binari, che nella dotazione di rampe di accesso dei veicoli stradali al ponte superiore dei traghetti, per non interferire con le operazioni di carico e scarico dei convogli ferroviari, negli anni '60,
- opere di adattamento, fra cui la resezione delle invasature orientali con l'eliminazione dello spigolo del molo Norimberga per facilitare l'attracco alla prima invasatura / la trasformazione di un'invasatura per navi bidirezionali precedentemente costruita in invasatura per navi monodirezionali a Messina (5a invasatura), e la realizzazione di una nuova invasatura per traghetti bidirezionali sempre a Messina, nel 1982.

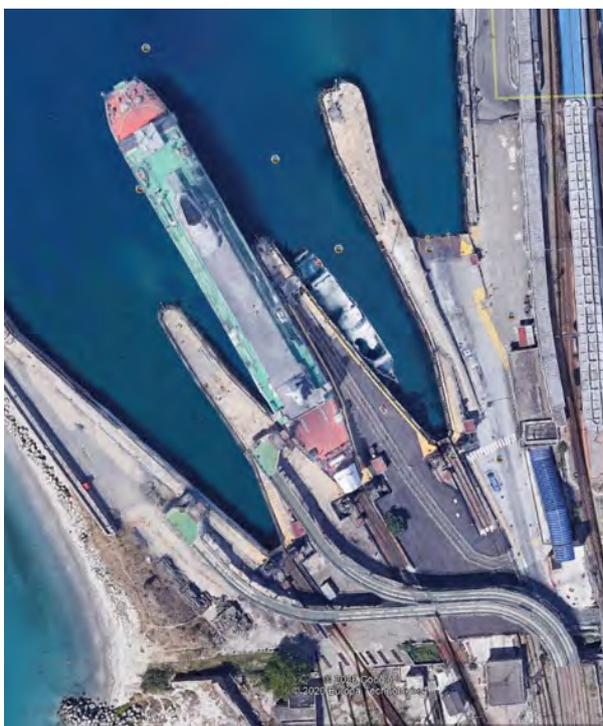
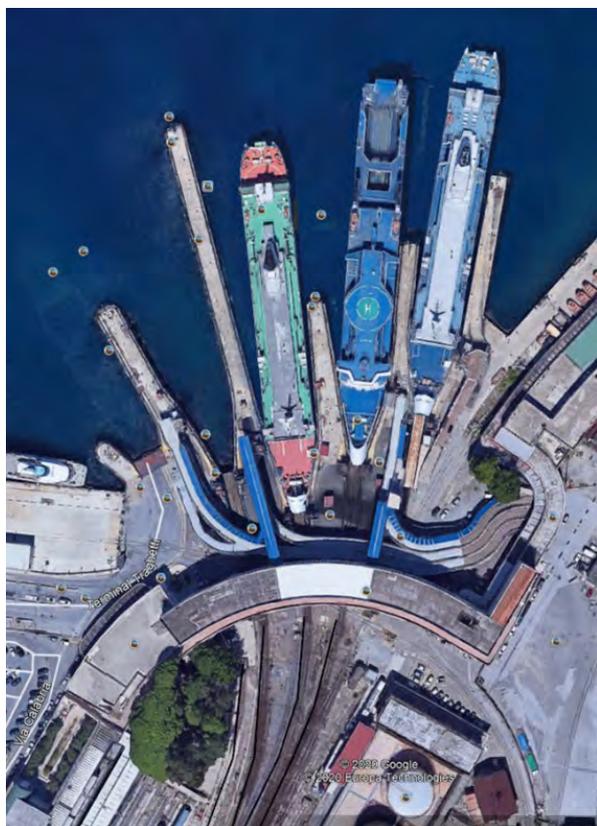


Figura 10-3 Invasature di Messina e Villa San Giovanni



### 10.3 Tendenze del traghettamento ferroviario in atto

Da quanto precede risulta evidente l'arresto dello sviluppo del sistema di traghettamento ferroviario dello Stretto avvenuto negli anni '80, con un costante ridimensionamento dei servizi, oltre che del numero di navi utilizzate, fino a paventarne la soppressione, originato dal decremento della domanda iniziato negli anni '70 con l'avvento della motorizzazione stradale di massa e proseguito nei decenni più recenti con lo sviluppo dei servizi marittimi ro-ro (con le "autostrade del mare" e relativi incentivi tariffari) per le merci, e di quelli aerei (con le "tariffe di continuità territoriale") per i viaggiatori dalla Sicilia all'Italia Centro-Meridionale e viceversa.

Il traghettamento ferroviario marino e fluviale – sia misto di viaggiatori e merci sia di sole merci – vive in tutta Europa una fase di assoluto ridimensionamento anzi di quasi scomparsa (a differenza dei servizi ro-ro di traghettamento di soli veicoli stradali). Dei circa 50 servizi nazionali e internazionali (fonte Wikipedia) nati in Europa (principalmente in Danimarca, Germania, Svezia, e secondariamente in Regno Unito, Finlandia, Francia, oltre all'Italia, e includendo anche l'area del Bosforo in Turchia) lungo l'arco di tempo compreso tra gli ultimi decenni del diciannovesimo e la fine del ventesimo secolo, il servizio attraverso lo stretto di Messina sembra essere l'ultimo rimasto, oltre ad alcuni di recente istituzione in Turchia.

I seguenti servizi sono quelli dismessi nel decennio 2010-2020:

- Turku (Finlandia) – Stoccolma (Svezia), servizio solo merci dismesso nel 2012,
- Saßnitz (Germania) – Klaipėda (Lituania), servizio solo merci dismesso nel 2013,
- Rostock (Germania) – Trelleborg (Svezia), servizio solo merci dismesso nel 2014,
- Frederikshavn (Danimarca) – Gothenburg (Svezia) servizio solo merci dismesso nel 2015,
- Saßnitz (Germania)– Ust-Luga, Russia, servizio solo merci dismesso nel 2016,
- Rødby (Danimarca) – Puttgarden (Germania), servizio merci e passeggeri dismesso nel 2019,
- Saßnitz (Germania) – Trelleborg (Svezia), servizio merci e passeggeri dismesso nel 2020.

Di essi, tutti nell'area del Mar Baltico, si rileva la recentissima soppressione dei servizi:

- Rødby (Danimarca) – Puttgarden (Germania) attraverso lo stretto di Fehmarn - 18km con ferry bidirezionali Scandlines, lunghezza 142m, larghezza 25,4m, pescaggio 5,8m, utilizzato da treni viaggiatori ICE (AV tedesca) e danesi Eurocity tra Amburgo e Copenaghen (3 coppie giornaliere),
- Trelleborg (Svezia) – Saßnitz (Germania) nel Baltico Occidentale – 101 km con ferry monodirezionali Stena Line, lunghezza 171m, larghezza 24m, pescaggio 6m, utilizzato da treni IC (intercity) da Berlino a Malmö e Stoccolma.

di cui alle foto seguenti (Figura 10-4 e Figura 10-5):



Figura 10-4 Terminal traghetti ferroviari Puttgarden



Figura 10-5 Terminal traghetti ferroviari Puttgarden e Rodby



In proposito il traffico su traghetto ferroviario tra Germania e Svezia operato dalla compagnia di navigazione Stena Line, la maggiore compagnia europea nel settore, è sceso da 200.000 carri a 20.000 carri (anno 2019) nell'arco di 25 anni. Tra le cause vengono indicate le sovvenzioni al trasporto terrestre in particolare per le ferrovie attraverso la Danimarca, e la mancanza di un approccio comune delle compagnie ferroviarie in Svezia e Germania al tema del trasporto ferroviario attraverso la via marittima più diretta, che rimane un settore strategicamente importante dell'approvvigionamento e del commercio della Svezia. A ciò si è aggiunta la pandemia covid-19, che ha drasticamente ridimensionato il traffico passeggeri tra Sassnitz e Trelleborg, attestato negli anni precedenti intorno a circa 300.000 passeggeri annui prevalentemente turisti, traffico dal quale dipendeva in gran parte la sostenibilità economica del servizio.

In generale si assiste inoltre a partire dall'ultima decade del secolo scorso – sia in Europa del Nord (Danimarca, Norvegia), che nell'area dell'Asia Minore (Turchia) e in Estremo Oriente (Giappone, Corea, Cina) – ad una tendenza sempre più spinta a sostituire i sistemi di traghettamento con opere di attraversamento stabile, siano esse aeree / sottomarine / subalvee fluviali, ecc..

Lo sviluppo dei modelli di calcolo strutturale, l'affinamento delle proprietà dei materiali, le tecniche di costruzione sempre più ardite, rapide e sicure, consentono di concepire e realizzare grandi opere che in passato non erano ritenute fattibili e/o giustificate economicamente. Inoltre, i volumi di traffico sono cresciuti in misura tale da essere sempre meno conciliabili con la capacità dei servizi di traghettamento (Turchia, Singapore, Cina).

Si attribuisce ai risparmi nei tempi di spostamento un valore sempre crescente e si ritengono sempre meno accettabili i perditempi di imbarco / sbarco, la velocità / la frequenza dei collegamenti marittimi, il rischio della loro sospensione per condizioni meteomarine.

Fa eccezione alla tendenza negativa generale lo sviluppo dei traghetti ferroviari in Turchia, anche se in aree ai confini dell'Europa, con i seguenti servizi:

- Mar Nero – Mar di Marmara (attraverso il Bosforo): Chornomorsk (Odessa, Ucraina) – Derince (Izmit, Turchia), in servizio dal 2004
- Mar Nero:- Samsun (Turchia) – Kavkaz, Russia, in servizio dal 2010
- Mar di Marmara (Turchia): Tekirdağ – Derince (Izmit), in servizio dal 2013, tra costa europea e costa asiatica
- Mar di Marmara (Turchia): Tekirdağ – Bandırma, in costruzione, tra costa europea e costa asiatica

#### **10.4 Ipotesi di sviluppo del traghettamento ferroviario dello Stretto**

Fino a quando non sarà realizzato l'attraversamento stabile, il servizio traghetto non solo dovrà essere mantenuto ma anche, se possibile, potenziato.



Il traghettamento ferroviario è un sistema relativamente complesso dovendo integrare le caratteristiche peculiari del trasporto ferroviario e del trasporto marittimo, sotto l'aspetto sia dei mezzi di trasporto che delle infrastrutture e della organizzazione operativa, ad esempio per quanto riguarda il rispetto degli orari di marcia sulle linee afferenti all'attraversamento, che le operazioni di traghettamento devono garantire.

Alla data del presente documento è programmata una integrazione di orario e tariffaria tra Trenitalia e Blu Jet a Villa San Giovanni avente per oggetto i treni veloci Frecciarossa (ETR 500, dal 2020, collegamenti Torino/Milano-Reggio Calabria), Frecciargento (collegamenti Venezia/Bologna-Reggio Calabria con ETR 600 e Roma-Reggio Calabria con ETR 470 / ETR 485), e Intercity da/verso Roma e il nord Italia (complessivamente 17 coppie di treni giornalieri) con le Navi Veloci (imbarcazioni monocarena per il trasporto di soli passeggeri aventi lunghezza 50 m circa, velocità 30 nodi circa, capacità 300-400 passeggeri, 15 coppie di corse giornaliere), di interesse per i viaggiatori facenti capo a Messina e località limitrofe. Analogamente Italo offre gli stessi collegamenti (treni AGV 575 e AGV 675 (EVO))

I sopra citati treni veloci impiegati sui collegamenti da e per Reggio Calabria, con fermata a Villa San Giovanni, per i quali non è attualmente previsto il traghettamento dello Stretto, hanno le seguenti composizioni bloccate tipo:

- Trenitalia ETR 500 11 unità
- Trenitalia ETR 600 7 unità
- Trenitalia ETR 485 9 unità
- Italo AGV 575 11 unità
- Italo AGV 675 (EVO) 7 unità

Ad essi si aggiunge potenzialmente il treno veloce Frecciarossa 1000 (V 300, collegamenti Torino/Milano-Roma), avente la composizione bloccata tipo di 8 unità.

Viceversa, vengono trahettati tra Villa San Giovanni e Messina attraverso lo Stretto i treni viaggiatori a lunga percorrenza Intercity che collegano le città del Centro-Nord d'Italia con Palermo e Siracusa via Catania, dell'ordine di 6 coppie giornaliere (4 Intercity Notte e 2 Intercity), di cui 3 coppie Roma-Siracusa, 2 coppie Milano-Siracusa, 1 coppia Roma-Palermo.

La tipica composizione di un treno Intercity comprende oltre alla locomotiva (che non viene trahettata) 10-11 carrozze (lunghezza complessiva 265,5-292,0 m esclusa locomotiva).

Per tali treni è stimato un intervallo di tempo fra arrivo a Villa San Giovanni e partenza da Messina Centrale dell'ordine di 120 minuti, considerando le operazioni di scomposizione, imbarco, trahettamento vero e proprio, sbarco e ricomposizione (in orario è riportato un tempo di viaggio da Villa San Giovanni a Messina Centrale compreso a seconda dei treni fra un minimo di 1 ora e 5 minuti e un massimo di 1 ora e 40 minuti).



Le navi traghetto del Gruppo Ferrovie dello Stato in grado di traghettare treni sono quattro (Scilla, Villa, Logudoro e Messina) (Figura 10-6). Entro il 2021 è prevista l'entrata in servizio della Iginia, gemella della Messina.

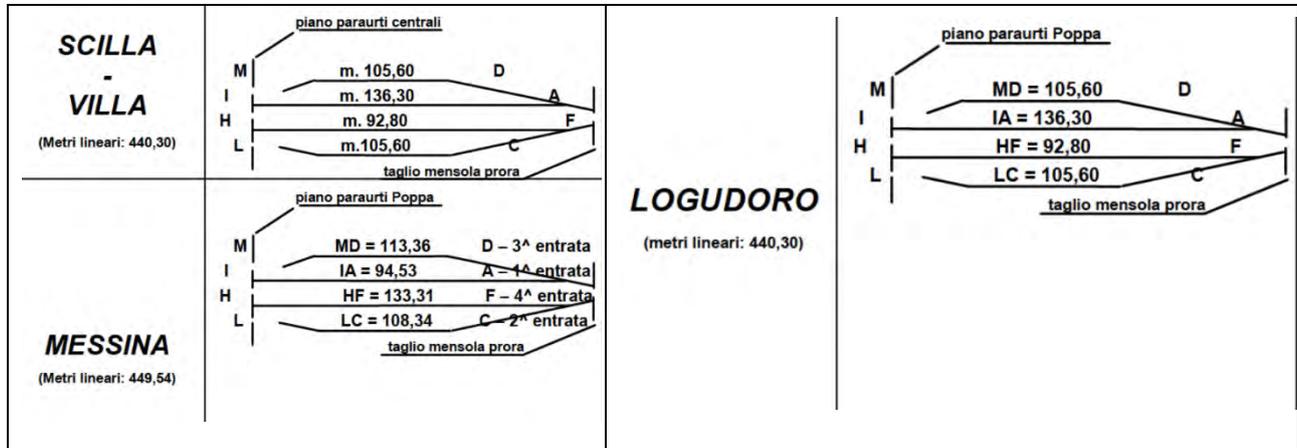


Figura 10-6 Lunghezza dei binari interni ai traghetti del Gruppo FS in servizio nello stretto di Messina (Fonte RFI)

I binari di bordo più lunghi sono quindi di 133m (navi Scilla, Villa, Logudoro) e 136m (navi Messina e prossimamente Iginia), e secondariamente di 105m (navi Scilla, Villa, Logudoro) e 113m (navi Messina e prossimamente Iginia).

Un'ipotesi che consentirebbe di migliorare il servizio in termini di minor tempo di traghettamento eliminando la scomposizione e ricomposizione dei treni è quella del trasporto di treni interi, in particolare di treni AV quali quelli di Trenitalia e Italo sopra citati, la cui composizione è tuttavia incompatibile con la lunghezza dei binari di bordo delle navi, che possono ricevere composizioni bloccate di non più di 4 unità (binari da 105m e 113m) o 5 unità (binari da 133m e 136m).

Trenitalia e Italo<sup>341</sup> dovrebbero quindi inserire nella propria flotta e impiegare treni dello stesso tipo di quelli attuali ma in composizione ridotta in grado di circolare in linea e stazionare in composizione invariata a bordo delle navi traghetto (4 o al massimo 5 unità in modo da avere una lunghezza rispettivamente di 101 m (Figura 10-7) e 126 m), In tal modo si potrebbe risparmiare circa un'ora tra l'arrivo a Villa San Giovanni e la partenza da Messina (attualmente i treni IC impiegano circa 2h).

I nuovi treni AV, in sostituzione degli IC giorno, potrebbero viaggiare in composizione multipla (2 treni – composizione totale 8 o 9 unità) – fino a Villa San Giovanni, in modo da poter effettuare contemporaneamente da Messina i servizi per Palermo e per Siracusa. Inoltre, si potrebbe anche ipotizzare di attrezzare uno dei moduli dei nuovi Frecciarossa 1000 o Italo con scomparti dedicati al traffico merci veloce per piccole partite<sup>342</sup>.

<sup>341</sup> <https://www.alstom.com/our-solutions/rolling-stock/avelia-pendolino-high-speed-favourite>

<sup>342</sup> <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=ooldezaZgU0>

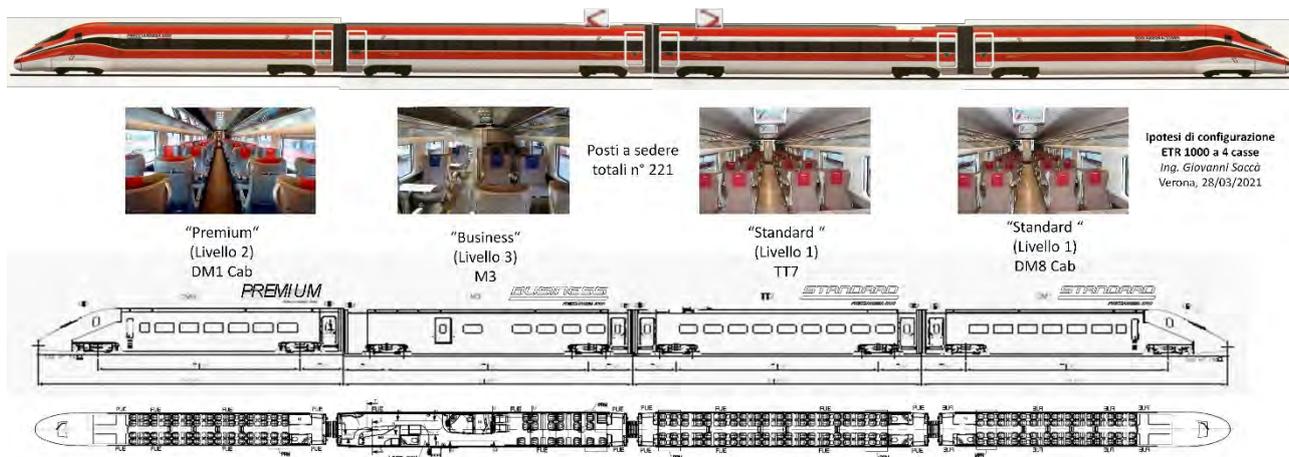


Figura 10-7 Ipotesi di Frecciarossa 1000 riprogettato a 4 casse in grado di viaggiare in composizione multipla<sup>343</sup>

Gli stessi treni, qualora fossero dotati di un adeguato parco batterie e appositi convertitori elettronici in grado di alimentare i motori di trazione di almeno un carrello, potrebbero superare autonomamente a bassa velocità il breve tragitto tra la stazione di arrivo e la nave traghetto e viceversa, evitando l'uso di locomotive di manovra. Analogamente le locomotive degli IC notte potrebbero essere dotate di batterie in modo da eliminare la necessità di utilizzare locomotive di manovra con un risparmio, anche in questo caso, di circa un'ora.

Viceversa, l'adattamento delle navi traghetto a treni di maggior lunghezza, allo scopo di evitare le manovre di scomposizione e composizione a mezzo locomotive dedicate, comporterebbe significative modifiche dell'intero sistema, per quanto riguarda la nave traghetto e/o per quanto riguarda l'infrastruttura portuale, come descritto nel seguito.

#### 10.4.1 Ipotesi di incremento delle dimensioni dei traghetti

L'evoluzione nel tempo delle caratteristiche del naviglio impiegato nello Stretto precedentemente ripercorsa evidenzia come esso abbia sostanzialmente raggiunto i limiti di compatibilità fisica con la dimensione delle infrastrutture esistenti, in particolare la larghezza degli invasi.

Le navi a 4 binari in servizio aventi lunghezza massima dell'ordine di 150m e larghezza dell'ordine di 19m rappresentano infatti probabilmente un primato di snellezza nell'ambito delle flotte di traghetti ferroviari, come indicato anche dalla larghezza – più o meno a parità



di lunghezza – delle navi sopracitate operanti nei servizi recentemente dismessi nel Mar Baltico (nave della Scandlines larga 25,4m, nave della Stena Line larga 24m).

Il traghettamento di treni in composizione completa, quali ad esempio Frecciarossa 1000 a 8 unità da 202m di lunghezza, comporterebbe l'impiego di una nave traghetto di almeno 210m di lunghezza, la cui larghezza non sarebbe inferiore a 25-30m. La larghezza conferisce stabilità trasversale, necessaria avendo i ferry chiglia piatta e poco pescaggio per poter attraccare in porti con basso fondale quali sono quelli ubicati nei centri urbani costieri e nelle isole tipici del Mediterraneo.

Le navi stesse che effettuano il traghettamento stradale nello Stretto non raggiungono tale dimensione. La maggiore di esse la “Epsilon” della Caronte & Tourist, è una nave monodirezionale lunga 186m e larga 26m.

Il più grande traghetto ferroviario mai costruito è la nave Skåne sulla rotta Trelleborg-Rostock, di proprietà della Stena Line e operata dalla Scandlines, costruita nel 1998, lungo 200m, largo 29m, pescaggio 6,2m, con 6 binari più 2 su un ascensore per il ponte inferiore, capacità di carico 2.630 tonnellate (3.295m lineari) per mezzi stradali e 3.300 tonnellate (1.110 m di binario) per carri ferroviari, nonché 600 passeggeri (Figura 10-8).



Figura 10-8 Traghetto ferroviario Skane



La dimensione necessaria per il traghettamento di un treno intero della lunghezza di 202m risulta quindi non usuale, e si conferma tale anche alla luce delle dimensioni dei più grandi traghetti stradali in esercizio, riportati nella tabella che segue limitatamente alle unità costruite dal 2000 in poi (fino al 2010).

<b>Nave</b>	<b>Lunghezza (m)</b>	<b>Larghezza (m)</b>	<b>Passeggeri</b>	<b>Capacità merci (m lineari)</b>	<b>Velocità (nodi)</b>
<i>Color Magic</i>	223,7	41,3	2750	1265	22
<i>Color Fantasy</i>	223,7	41,3	2750	1280	22
<i>Cruise Roma</i>	254	30,4	3343	3700	27,5
<i>Cruise Barcelona</i>	254	30,4	3343	3700	27,5
<i>Stena Hollandica</i>	240	32	1200	5500	22
<i>Stena Britannica</i>	240	32	1200	5500	22
<i>Pride of Rotterdam</i>	215,4	31,9	1360	3300	22
<i>Pride of Hull</i>	215,4	31,9	1360	3400	22
<i>Stena Scandinavica</i>	241	29,9	1040	4220	22,5
<i>Cruise Europa</i>	225	30,4	2143	3060	27,5
<i>Cruise Olympia</i>	225	30,4	2300	3050	27,5
<i>Ulysses</i>	209	31,8	1875	4101	22
<i>La Superba</i>	211,5	30,4	3000	2800	28
<i>La Suprema</i>	211	30,4	2800	2800	28
<i>Baltic Princess</i>	212	29	2800	1130	24,5
<i>Baltic Queen</i>	212	29	2800	1130	24,5
<i>Galaxy</i>	212	29	2700	1130	22
<i>Stena Adventurer</i>	211,5	29,9	1500	3517	22,5
<i>Danielle Casanova</i>	175	30,4	2600	1000	24
<i>Victoria 1</i>	193	35	2500	1000	22
<i>Romantika</i>	193	35	2500	1000	22

La lunghezza minima risulta pari a 175m, la massima 254m (navi Cruise Roma e Cruise Barcelona, di tipo Ro Pax per merci su mezzi stradali e passeggeri, della Grimaldi Lines), la media pari a 219m.

Analogamente la larghezza varia da 29m a 35m, con un massimo eccezionale di 41,3m (navi Color Magic e Color Fantasy, della Color Line, Norvegia), ed è mediamente pari a 32m (31m senza le 2 navi citate).



Navi di tali dimensioni presentano alcuni aspetti problematici, quali: (i) la dimensione eccessiva rispetto agli invasi esistenti; (ii) i rischi delle manovre negli spazi ristretti e nelle non facili condizioni dello Stretto, anche perché si tratterebbe di navi monodirezionali che quindi sono obbligate a fare una inversione di direzione (rotazione di 180°) ad ogni arrivo/partenza; (iii) un minor grado di sicurezza poiché la presenza del treno lungo quasi quanto l'intera nave limita la compartimentazione della stessa contro l'eventuale imbarco accidentale di acqua; (iv) la necessità di progettare ex-novo una nave atta al caso specifico, il cui costo sarebbe certo piuttosto elevato e, considerando una decina di anni per realizzare l'attraversamento stabile, assai difficilmente ammortizzabile; (v) la difficoltà di raggiungere un adeguato coefficiente di carico complessivo (rapporto carico/capacità) coperto solo limitatamente dal treno intero imbarcato, e quindi il rischio di antieconomicità a fronte di costi di gestione e manutenzione anch'essi elevati.

Mentre le navi per il traghettamento dei mezzi stradali attraverso lo Stretto sono prevalentemente bidirezionali (tutte ad eccezione della citata "Epsilon"), raggiungendo la maggiore di esse (traghetto "Elio", primo traghetto con motori alimentati a GNL del Mediterraneo, costruito nel 2018<sup>344</sup>) la lunghezza di 134m e la larghezza di 21,5m, per il traghettamento ferroviario i traghetti bidirezionali sono assai meno diffusi e soprattutto raggiungono al massimo 160m di lunghezza (con larghezza 28m circa). La nuova nave sarebbe quindi necessariamente monodirezionale, con l'estremità anteriore affusolata (la prua ruota di 90° per l'imbarco/sbarco) e quella posteriore squadrata (la rampa di sbarco/imbarco ruota e si pone verticalmente).

#### 10.4.2 Ipotesi di incremento delle dimensioni delle invasature

La concezione delle attuali invasature risente ancora delle caratteristiche costruttive delle navi traghetto che si sono succedute fino a circa gli anni '60, che avevano come unico organo di governo il timone che esercita la propria azione solo con nave fortemente abbrivata e fino al limite inferiore di circa 5÷6 nodi, rendendo necessario prevedere gli

<sup>344</sup> [https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/notizie/CLE/lg\\_deaspfinale.pdf](https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/notizie/CLE/lg_deaspfinale.pdf)

Il documento "Linee Guida per la redazione dei Documenti di Pianificazione Energetico Ambientale dei Sistemi Portuali – DEASP" menziona Il D.lgs. 257/2016 affida all'uso del GNL grande importanza per la riduzione delle emissioni delle navi. L'art. 6 ai commi 1, 2 e 3 recita:

*"1. Entro il 31 dicembre 2025, nei porti marittimi è realizzato un numero adeguato di punti di rifornimento per il GNL per consentire la navigazione di navi adibite alla navigazione interna o navi adibite alla navigazione marittima alimentate a GNL nella rete centrale della TEN-T. Possono essere previste forme di cooperazione con gli Stati membri confinanti per assicurare l'adeguata copertura della rete centrale della TEN-T.*

...

*3. Nell'ambito della sezione c) del Quadro Strategico Nazionale sono indicati i porti marittimi ... che garantiscono, con sviluppo graduale, l'accesso ai punti di rifornimento per il GNL di cui ai commi 1 e 2, tenendo conto anche delle reali necessità del mercato e avuto riguardo alla domanda attuale e al suo sviluppo a breve termine."*

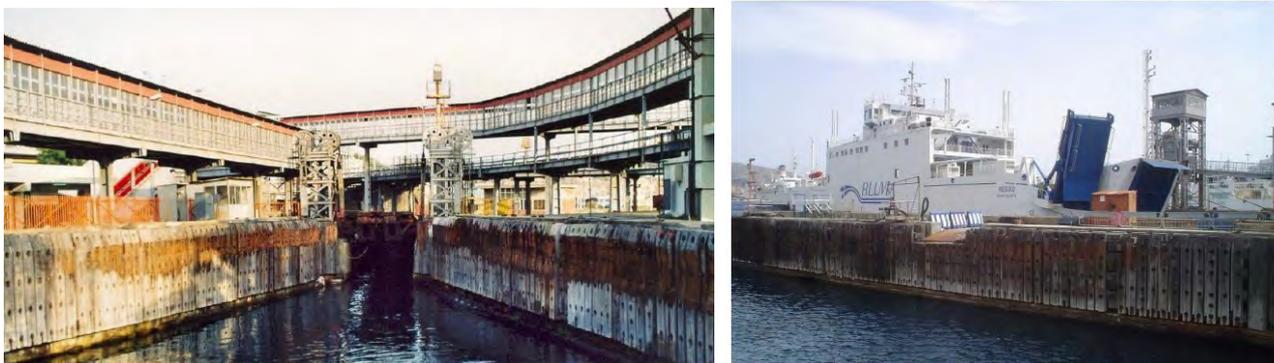


approdi a terra configurati a cuneo avente asse coincidente con la traiettoria della nave ed in cui la nave andasse ad adattarsi con la prora.

I terminali hanno inoltre larghezza complessiva rigidamente proporzionale alla larghezza delle navi contemporaneamente in sosta, con nessuna possibilità di poter aumentare il numero delle invasature se non si hanno spazi laterali.

Poiché gli apparati propulsivi di cui oggi possono disporre le navi, orientabili per 360° ed in grado di essere utilizzati anche per la propulsione in navigazione normale, consentono un controllo molto superiore della nave fino a bassissima velocità, sarebbe possibile rimodulare gli approdi incrementandone le dimensioni e allo stesso tempo riducendone il numero, ma questo dovrebbe avvenire sostanzialmente all'interno degli stessi terminali esistenti, in parte da demolire per fare spazio ad 1 o 2 nuovi per porto, essendo difficile reperire nuovi spazi, con significative interferenze tra nuove opere in costruzione e opere esistenti da demolire.

Le attuali invasature sono costituite da una serie di moli in muratura della lunghezza variabile tra i 70 e i 100 metri formanti tra di loro dei cunei atti a contenere le navi ed a posizionarle per il corretto adattamento del ponte mobile, rivestite lateralmente senza soluzione di continuità lungo tutto il perimetro da pannelli elastici; ciascuno di essi assorbe l'energia cinetica, anche grazie al contributo dei due pannelli limitrofi, posseduta dalla nave al momento dell'urto. (Figura 10-9)



*Figura 10-9 Dettagli degli invasi e dei rivestimenti protettivi interni*

Quindi anche nel caso degli invasi sarebbe necessario riprogettare l'intero layout dei terminali ferroviari di Messina e Villa San Giovanni, realizzando almeno un accosto per la nuova nave e preservando almeno due accosti per le navi esistenti. Questo adattamento – più precisamente ridisegno e rifacimento delle banchine – comporta la verifica del layout dei binari ferroviari e delle infrastrutture di sbarco / imbarco dei veicoli stradali, ed appare sicuramente più critico a Villa San Giovanni dove vi sono solo 3 invasi.

In particolare, dovrà essere rifatto il sistema di collegamento nave-banchina, mediante il ponte mobile costituito da due travi parallele, lunghe 30 metri, incernierato alla banchina



all'estremità lato terra avente una parte sporgente che va ad appoggiarsi all'estremità opposta sul ponte della nave attraccata. (Figura 10-10)

Le due travi garantiscono il parallelismo e quindi lo scartamento tra le due rotaie che su di esse vengono fissate.

Il sistema è in grado di compensare le variazioni dell'assetto della nave durante le operazioni di carico e scarico, tanto per effetto della variazione tra nave carica e scarica del suo pescaggio, quanto per effetto delle maree, nonché le inclinazioni trasversali man mano che vengono caricati i binari laterali.

Si rende necessario realizzare ponti di questa lunghezza soprattutto per la compensazione delle maree e per il diverso pescaggio delle navi.



*Figura 10-10 Ponte mobile di sbarco / imbarco*

In conclusione, l'ipotesi di una ristrutturazione del sistema di traghettamento ferroviario appare piuttosto complicata.

Né da questo punto di vista offre migliori prospettive la soluzione alternativa basata sull'impiego – usuale in altri paesi quali Danimarca, Germania, Russia e Stati Uniti – di una nave traghetto dotata di 2 binari di sbarco/imbarco, operazioni che potrebbero essere in tal modo effettuata mediante 2 locomotive di manovra contemporaneamente, riducendone i tempi.

In tal caso non vi sarebbe la necessità di progettare una nuova nave di dimensioni oltre i limiti dell'esistente, in quanto sussisterebbe la composizione e ricomposizione dei treni (anche se con tempi ridotti), ma potrebbe essere impiegata una nave già esistente sul mercato. Sarebbe tuttavia invariata la necessità di rivedere il layout dei terminali in funzione della maggiore larghezza dei traghetti.

Peraltro, il Piano Regolatore del porto di Messina (2007), in previsione della realizzazione dell'opera di attraversamento non fornisce indicazioni sullo sviluppo futuro del terminal traghetti ferroviari.

## 10.5 Riduzione delle emissioni climalteranti dei servizi con navi traghetto

### 10.5.1 Navi traghetto ibride-elettriche: E-ferry

Nell'ambito del programma di ricerca e innovazione EU Horizon 2020 dell'Unione europea,<sup>345</sup> è stato finanziato il progetto E-ferry<sup>346</sup>, finalizzato a ridurre le emissioni europee di CO<sub>2</sub> e l'inquinamento atmosferico causato dal trasporto marittimo.

Il progetto ha dimostrato la fattibilità e la convenienza di un traghetto alimentato al 100% elettricamente e quindi privo di emissioni, impiegato su rotte di distanza media, alimentato nei porti di approdo con un sistema di ricarica automatizzato ad alta potenza.

Il prototipo di E-ferry ELLEN<sup>347 348</sup>, per passeggeri / automobili / camion (lunghezza 59m, larghezza 13m, 2 motori da 700kW, capacità batterie 4,3 MWh) è stato progettato, costruito e approvato dalle autorità competenti durante il periodo da giugno 2015 a giugno 2019, quindi consegnato all'operatore AEROE-ferries, che ha messo in servizio ordinario l'E-ferry (Figura 10-11) nella parte meridionale della Danimarca, il 15 agosto 2019<sup>349</sup>. Durante il periodo di prova di 10 mesi il traghetto ha effettuato circa 1000 viaggi di andata-ritorno, ciascuno di 22 miglia nautiche (circa 40km), tra Søby e Fynshav.



Figura 10-11 E-ferry Ellen e stazione di ricarica batterie<sup>350</sup>

<sup>345</sup> <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/programmes/h2020>

<sup>346</sup> <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-transport/waterborne/e-ferry>

<sup>347</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=HwDBpWoZ68o>

<sup>348</sup> <http://e-ferryproject.eu/>

<sup>349</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=Q0Gt-R\\_JW\\_E](https://www.youtube.com/watch?v=Q0Gt-R_JW_E)

<sup>350</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=i8LutE2oVzs>

Nella relazione conclusiva del progetto<sup>351</sup> viene evidenziato il vantaggio anche economico del ferry alimentato elettricamente rispetto a ferry analoghi alimentati con diesel, nuovi ed esistenti (Figura 10-12). In particolare, considerando il costo della nave e delle attrezzature a terra per la ricarica delle batterie, nonché i costi operativi annui, il punto di pareggio dei costi complessivi (*break even point*) viene raggiunto tra 4 e 10 anni a seconda che si considerino ferry diesel esistenti o nuovi.

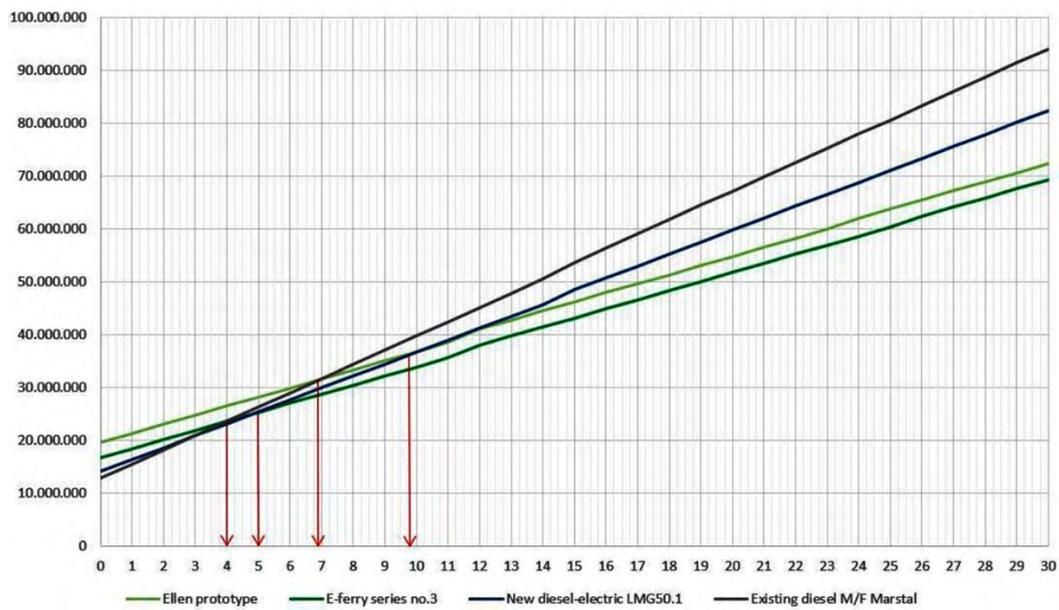


Figura 10-12 Costo complessivo cumulato (€) investimento (inclusa infrastruttura) e operativo annuo E-ferry e ferry diesel

Contemporaneamente, nel 2016 il Gruppo HH Ferries ha commissionato<sup>352</sup> la trasformazione in ibrida-elettrica<sup>353</sup> della nave traghetto M/S *Aurora af Helsingborg*<sup>354</sup> (Figura 10-13) e della gemella M/F *Tycho Brahe*<sup>355</sup>, bidirezionali aventi lunghezza 111m e larghezza 28m (originariamente anche dotate di 260m di binari ferroviari, dismessi dopo la realizzazione del tunnel immerso stradale e ferroviario Oresund), che operano sulla rotta Helsingør (Danimarca)-Helsingborg (Svezia)<sup>356</sup> (inferiore a 3 miglia nautiche ovvero 5,5km), una delle rotte internazionali di traghetti per auto più trafficate del mondo, con circa 70 coppie di corse giornaliere. Ogni nave ha una batteria da 4 MWh, del peso di 57 tonnellate, situata nella parte superiore del traghetto tra i camini. Le batterie vengono ricaricate da terra per mezzo di un braccio robotico quando sono ancorate, a 10,5 MW (10,5 kV, 600 A) per 6 minuti in Danimarca e 9 minuti in Svezia. Ogni viaggio utilizza circa 1.175 kWh. Il viaggio dura 20 minuti, così come avveniva quando veniva utilizzata la propulsione diesel. Due dei

<sup>351</sup> [http://www.conf.eferry.eu/InfoPackage/eFerry\\_Information\\_Package.pdf](http://www.conf.eferry.eu/InfoPackage/eFerry_Information_Package.pdf)

<sup>352</sup> <https://electrek.co/2017/08/24/all-electric-ferries-abb/> e [https://new.abb.com/docs/librariesprovider91/presentations-\(ext\)/hh-ferries/abb-offering-for-hh-ferries-zero-emission-ferries.pdf?sfvrsn=4](https://new.abb.com/docs/librariesprovider91/presentations-(ext)/hh-ferries/abb-offering-for-hh-ferries-zero-emission-ferries.pdf?sfvrsn=4) <https://new.abb.com/news/detail/51560/abb-to-power-worlds-largest-emission-free-electric-ferries-and-deliver-first-automated-shore-side-charging-station>

<sup>353</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=rE\\_M1n-CIOA&t=1s](https://www.youtube.com/watch?v=rE_M1n-CIOA&t=1s)

<sup>354</sup> [https://sv.wikipedia.org/wiki/M/S\\_Aurora\\_af\\_Helsingborg](https://sv.wikipedia.org/wiki/M/S_Aurora_af_Helsingborg)

<sup>355</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/MF\\_Tycho\\_Brahe](https://en.wikipedia.org/wiki/MF_Tycho_Brahe)

<sup>356</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Helsing%C3%B8r%E2%80%93Helsingborg\\_ferry\\_route](https://en.wikipedia.org/wiki/Helsing%C3%B8r%E2%80%93Helsingborg_ferry_route)



quattro motori diesel originari sono stati rimossi, mentre gli altri due sono rimasti come sistema di backup, da utilizzare in caso di emergenza<sup>357</sup>.



Figura 10-13 Ferry Aurora of Helsingborg

L'alimentazione elettrica delle navi potrà quindi rappresentare una valida alternativa al GNL (gas naturale liquefatto), che garantisce notevoli riduzioni delle emissioni inquinanti - SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM), in conformità con i nuovi requisiti per il carburante a basse emissioni elaborati dall'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) entrati in vigore nel 2020.

A inizio settembre 2020 la "Teneré" (portata 15.000 TEU), prima *Very Large Containership* al mondo alimentata da GNL è stata posta in esercizio dalla compagnia francese CMA CGM<sup>358</sup>. Secondo alcune previsioni, la flotta globale di navi alimentate a GNL sarebbe destinata a raddoppiare nei prossimi dieci anni, e l'alimentazione delle navi si sta già indirizzando ad esempio nel Mar Baltico verso l'uso del GNL, attraverso sia terminali costieri<sup>359</sup> che flotte di navi cisterna<sup>360</sup> per il rifornimento da nave a nave.

<sup>357</sup> <https://electrek.co/2017/08/24/all-electric-ferries-abb/>

<sup>358</sup> <https://energiaoltre.it/ecco-perche-il-futuro-dei-trasporti-marittimi-sara-con-il-gnl/>

<sup>359</sup> <https://www.onthemosway.eu/Ing-bunkering-infrastructure-will-be-developed-in-ports-along-the-german-baltic-sea-coast-as-part-of-a-new-partnership/?cn-reloaded=1>

<sup>360</sup> [https://safety4sea.com/ship-to-ship-Ing-bunkering-to-take-place-in-baltic-sea/?\\_cf\\_chl\\_jschl\\_tk\\_=ad1785966893587dd78a0645fe3b070af26860f3-1618934711-0-AVgDDItJqzsHA8zzHT2j\\_Be5E7x74lgD0Hkmlg-pXjaH-W6aDN\\_5RzJdxgl117QMOqg-CcY5jZNRk\\_hju0z9tjX8FidpkDzkOR7SGdy7GtJRptRhmBdYDhpl\\_Ga6VK9pOy499wQyUazNvygfhepifdj1VdrwSLWa1f9AC\\_hNVEhY\\_iaooiBl3jVjwbugtTaU6Li7CmluukETgU9Qq-PLLC8W0wg5jH8g3UifcpWPXVu0o3LMHnDS-jJM\\_V68L5Gjs2DsaHIMWDMqMcgfCdLqH5Gkup5hBRXdsq3SYgrRwMtHB913JZeS5L2-N2lubgQKexWCTwZQ4O4jO8Dp\\_-5EufB7KNCILXmSk-eE0Elpztsqc4nZ3Xu2x9oUTdl40prUbZnlXxuj5pvCj8c1ajZeLksWL-y8Nv8H-7\\_Q5ee4IV5yE93XlaBw87dEnvW65BCS0Q](https://safety4sea.com/ship-to-ship-Ing-bunkering-to-take-place-in-baltic-sea/?_cf_chl_jschl_tk_=ad1785966893587dd78a0645fe3b070af26860f3-1618934711-0-AVgDDItJqzsHA8zzHT2j_Be5E7x74lgD0Hkmlg-pXjaH-W6aDN_5RzJdxgl117QMOqg-CcY5jZNRk_hju0z9tjX8FidpkDzkOR7SGdy7GtJRptRhmBdYDhpl_Ga6VK9pOy499wQyUazNvygfhepifdj1VdrwSLWa1f9AC_hNVEhY_iaooiBl3jVjwbugtTaU6Li7CmluukETgU9Qq-PLLC8W0wg5jH8g3UifcpWPXVu0o3LMHnDS-jJM_V68L5Gjs2DsaHIMWDMqMcgfCdLqH5Gkup5hBRXdsq3SYgrRwMtHB913JZeS5L2-N2lubgQKexWCTwZQ4O4jO8Dp_-5EufB7KNCILXmSk-eE0Elpztsqc4nZ3Xu2x9oUTdl40prUbZnlXxuj5pvCj8c1ajZeLksWL-y8Nv8H-7_Q5ee4IV5yE93XlaBw87dEnvW65BCS0Q)

Peraltro, l'uso del GNL non è privo di problematiche di sicurezza in ambito portuale, sia delle operazioni di trasferimento da deposito a nave e viceversa che dello stoccaggio a terra, e presenta aspetti di criticità riguardo alle emissioni climalteranti, sia nella fase dello stoccaggio che in navigazione, avendo alcune ricerche evidenziato da parte dei motori a GNL l'emissione di piccole percentuali incombuste di metano<sup>361</sup>, gas a effetto serra molto più potente dell'anidride carbonica, anche se si disperde molto più rapidamente una volta rilasciato nell'atmosfera.

### 10.5.2 Elettrificazione dei porti (*Cold Ironing*)

Le navi sono energeticamente autosufficienti anche durante lo stazionamento all'ormeggio; è però proprio questa combustione a generare i maggiori impatti ambientali sulle aree limitrofe alla banchina, con ricadute sia sull'ambiente portuale che sulle aree urbane circostanti.

Quando le navi si trovano in porto, la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> può essere ottenuta attraverso l'infrastrutturazione elettrica delle banchine portuali e l'utilizzo dell'energia elettrica per l'alimentazione delle navi in sosta (Figura 10-14): alimentare elettricamente i motori delle navi è una pratica che prende il nome di "*Cold Ironing*" (o "*Onshore Power Supply*").

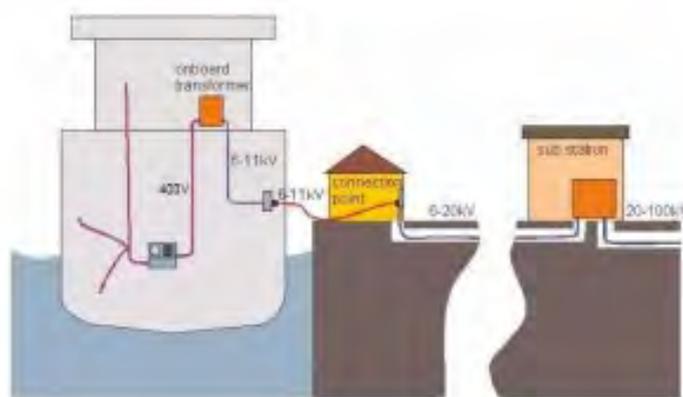


Figura 10-14 Schema di funzionamento della banchina elettrificata<sup>362</sup>, da <http://www.ops.wpci.nl/>

Le potenze richieste per l'alimentazione delle navi sono significative. L'energia da fornire alle navi alimentate da terra può essere prodotta in loco oppure può essere prodotta altrove e fornita dalla rete adeguatamente dimensionata.

Le sperimentazioni in numerosi porti europei (Germania, Svezia, Finlandia, Paesi Bassi) e degli Stati Uniti (Figura 10-15), di Taiwan o in Canada hanno indicato che, connettendo le

<sup>361</sup> <https://insideclimatenews.org/news/01022020/shipping-lines-liquefied-natural-gas-methane-leaks/#:~:text=The%20most%20commonly%20used%20liquefied,International%20Council%20on%20Clean%20Transportation%20>

<sup>362</sup> [https://res.mdpi.com/d\\_attachment/energies/energies-13-06506/article\\_deploy/energies-13-06506-v3.pdf](https://res.mdpi.com/d_attachment/energies/energies-13-06506/article_deploy/energies-13-06506-v3.pdf)

banchine con un sistema da terra e spegnendo i motori ausiliari di bordo, è possibile abbattere le emissioni di CO<sub>2</sub> di almeno il 30%, ottenendo inoltre altri positivi risultati: abbattimento di oltre il 95% dell'ossido di azoto e delle polveri sottili, oltre alla drastica riduzione dell'inquinamento acustico (90-120 dB).



Figura 10-15 Porti nordamericani in cui sono o saranno disponibili banchine elettrificate (ISPRA, 2016)

In Italia, il D.lgs. 257/2016 sui carburanti alternativi evidenzia l'opportunità della realizzazione di sistemi di *cold ironing*, prioritariamente nei porti della rete TEN-T, considerato che l'uso del *cold ironing*, oltre alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, persegue anche una riduzione degli inquinanti atmosferici e dell'inquinamento acustico.

Anche le Linee guida per la redazione dei Piani Regolatori di Sistema Portuale<sup>363</sup> del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2017) menzionano il "*cold ironing*" come segue:

*“Tra gli indirizzi strategici da perseguire per la sostenibilità energetica ed ambientale, si possono considerare gli interventi nel settore energetico dei porti ...*

*a. Quelli che riguardano i consumi energetici dei natanti, dalle grandi navi ai piccoli natanti di servizio; a questa categoria appartengono, oltre alla elettrificazione delle banchine trattata in seguito, anche la possibile alimentazione delle grandi navi a GNL, prevedendo sia le infrastrutture necessarie per i rifornimenti, sia misure di incentivazione per gli armatori che intendano adeguare le navi stesse.*

...

*Per garantire la sostenibilità energetica del sistema portuale, vanno perseguiti i seguenti obiettivi specifici:*

*...: conversione dei consumi verso il vettore elettrico, se validata da analisi costi benefici, ed in particolare la elettrificazione delle banchine per consentire alle imbarcazioni attraccate lo spegnimento dei motori; questa conversione è molto efficace, e vale sia per le grandi navi che per i piccoli natanti.”*

<sup>363</sup> <https://www.mit.gov.it/node/5632>



I progetti *cold ironing* o *onshore power supply* mirano a fornire energia elettrica da banchina alle navi ormeggiate, prima di tutto alle navi da crociera, come si sta studiando al **porto di Livorno**, nell'ambito del Piano Regolatore del Porto <sup>364</sup>.

Nel **porto di Trieste** l'Autorità di Sistema Portuale ha previsto l'elettrificazione delle banchine di cui il Piano Regolatore prevede l'ampliamento alla radice del molo VI, attraverso nuovi cavidotti incassati lungo il perimetro dell'impalcato della banchina, per cavi sia in BT che in MT (normalmente 6.6÷11kV)<sup>365</sup>.

Nel **porto di Vado Ligure** è presente un impianto di *cold ironing*, che permette lo spegnimento dei motori dei traghetti in sosta con conseguente abbattimento delle emissioni di inquinanti gassosi in atmosfera. Il sistema, avviato nel 2008 come impianto di piccole dimensioni per l'elettrificazione delle banchine destinate ai traghetti, è stato successivamente ampliato grazie ad un investimento di 80.000 € della compagnia Sardinia Ferries. Attualmente l'impianto è in grado di erogare 1,5 MW di potenza e consente di alimentare contemporaneamente tre traghetti ormeggiati in banchina.

Nel **porto di Genova** l'Autorità di Sistema Portuale ha portato a compimento (2017) il progetto di elettrificazione dell'intera area delle riparazioni navali. Tutte le 12 banchine delle riparazioni navali sono state dotate di un cavo flessibile montato su una struttura mobile, alimentata da due centraline elettriche, e collegato ad un apposito quadro a bordo delle navi, in grado di erogare una potenza sino a 15 MW. In tal modo, si può ottenere una riduzione del 30% delle emissioni di CO<sub>2</sub> e del 95% degli ossidi di azoto e del particolato, oltre all'azzeramento dell'inquinamento acustico.

Il progetto, avviato nel 2015, prevede un costo di circa 9,7 milioni di euro, in parte provenienti dal Ministero dell'Ambiente e in parte da fondi europei (POR FESR). È previsto, inoltre, un ulteriore investimento di 15 milioni di euro di cui 12 saranno destinati all'elettrificazione del terminal PSA di Voltri-Prà mentre altri 3 milioni di euro andranno alla Stazione Marittima.

Nel **porto di Messina**, l'Autorità Portuale di Sistema dello Stretto ha emesso nel 2021 un avviso indagine di mercato per affidamento dei servizi di ingegneria e architettura finalizzati alla predisposizione di uno studio di fattibilità tecnico ed economica per l'elettrificazione delle banchine dei porti dell'AdSP dello Stretto<sup>366</sup>.

<sup>364</sup> [https://geoporto.portialtotirreno.it/sites/default/files/prp/all2\\_energianurv.pdf](https://geoporto.portialtotirreno.it/sites/default/files/prp/all2_energianurv.pdf)

<sup>365</sup> [https://www.consiglio.regione.fvg.it/export/sites/consiglio/hp/eventi/eventi\\_allegati/PORTO-TS-TS-CR-09.03.2018.pdf](https://www.consiglio.regione.fvg.it/export/sites/consiglio/hp/eventi/eventi_allegati/PORTO-TS-TS-CR-09.03.2018.pdf)

<sup>366</sup> <http://www.porto.messina.it/news/avvisi/2021/03/01/avviso-indagine-di-mercato-per-affidamento-dei-servizi-di-ingegneria-ed-architettura-finalizzati-alla-predisposizione-di-uno-studio-di-fattibilita-tecnico-ed-economica-per-l-elettrificazione-delle-banchine-dei-porti-dell-adsp-dello-stretto--446/>  
<http://www.porto.messina.it/files/upload/PortaleNews/allegati/cold%20ironing%20avviso%20per%20pubblicazione%201mar.pdf>

## 11 OPERE FERROVIARIE E STRADALI IPOTIZZATE NELLE AREE AL CONTORNO DELL'ATTRAVERSAMENTO STABILE

### 11.1 Corridoio europeo TEN-T Scandinavo-Mediterraneo

Le reti trans-europee di trasporto (TEN-T) sono un insieme di infrastrutture lineari (ferroviarie, stradali e fluviali) e puntuali (nodi urbani, porti, interporti e aeroporti) considerate rilevanti a livello comunitario e la *Core Network* è costituita dai nodi urbani a maggiore densità abitativa, dai nodi intermodali di maggiore rilevanza e dalle relative connessioni. La priorità a livello europeo è quella di assicurare la continuità dei Corridoi, realizzando i collegamenti mancanti, assicurando collegamenti tra le differenti modalità di trasporto, eliminando i colli di bottiglia esistenti.<sup>367</sup>

All'interno delle reti TEN-T (Figura 11-1), il completamento della *Core Network* (rete centrale) è programmato per il 2030, e per sostenerne la realizzazione coordinata tra i diversi Stati la UE ha identificato nove "Corridoi".



Figura 11-1 Reti Trans-europee (TEN-T)

In particolare, tocca l'Italia Meridionale il Corridoio Scandinavo-Mediterraneo, che parte dal valico del Brennero e collega Trento, Verona, Bologna, Firenze, Livorno e Roma con i principali centri urbani del sud come Napoli, Bari, Catanzaro, Messina e Palermo.

<sup>367</sup> <https://www.mit.gov.it/node/5335>



L'opera di attraversamento stabile dello Stretto di Messina non è compresa nelle opere finanziate (più precisamente co-finanziate) nell'ambito della realizzazione del Corridoio Scandinavo Mediterraneo.

L'attuazione del Corridoio è prevista attraverso Il Programma Operativo Nazionale (PON) Infrastrutture e Reti 2014-2020<sup>368 369</sup>, approvato dalla Commissione Europea il 29 luglio 2015, per complessivi 1,84 miliardi di €, finanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR - 1.38miliardi di €) e dal Fondo di rotazione nazionale (Euro 0,46 miliardi di €), interviene nelle regioni Basilicata, Calabria, Campania, Puglia e Sicilia e prevede investimenti in tre settori: le infrastrutture ferroviarie, le infrastrutture portuali e i sistemi di trasporto intelligenti. Il PON Infrastrutture e Reti 2014-2020 *“persegue le priorità dell'Unione Europea nell'ambito delle infrastrutture di trasporto, contribuendo al miglioramento delle condizioni di mobilità delle persone e delle merci, ed è finalizzato a garantire uno sviluppo competitivo dei territori delle regioni meno sviluppate del Mezzogiorno e a rafforzare la coesione economica, sociale e territoriale”*.

Gli interventi del PON Infrastrutture e Reti 2014-2020 riguardanti la Calabria e la Sicilia (interventi selezionati luglio 2019) sono i seguenti<sup>370</sup> (

Figura 11-2):

#### Asse I – Trasporto Ferroviario

- Adeguamento linea tirrenica Battipaglia-Reggio Calabria: Costruzione della nuova SSE a Vibo Pizzo e potenziamento SSE Sambiasi e Gallico / Ricostruzione del ponte Petrace, modifica PRG della stazione di Gioia Tauro e inserimento nel CTC / Realizzazione a Reggio Calabria del DCO / ACS e PRG Stazione di Lamezia Terme
- Asse Ferroviario Palermo-Catania-Messina. Raddoppio della tratta Bicocca-Catenanuova
- Velocizzazione linea Catania-Siracusa - Tratta Bicocca-Targia
- Nodo di Palermo: tratta La Malfa/EMS-Carini
- Raddoppio linea Palermo-Messina - Tratta Fiumetorto-Ogliastrillo
- Linea Metaponto - Sibari - Paola (Bivio S. Antonello): Fase prioritaria
- SCC Messina-Siracusa
- SCC Nodo di Palermo

#### Asse II – Sistema Portuale

- Porto di Augusta - Potenziamento del Porto commerciale / Lavori di rifinimento e ripristino statico delle testate e delle zone limitrofe della bocca centrale della diga foranea / Innalzamento livello servizio SS 193

<sup>368</sup> <http://www.ponir.mit.gov.it/documentazione/programmaattuazione>

<sup>369</sup> <https://www.mit.gov.it/progetti/pon-2014-2020>

<sup>370</sup> <https://www.google.com/maps/d/viewer?ll=39.06491226901004%2C15.584814499999998&z=7&mid=10Nguy5vCAh9xmZswqN3djcKOOhYVtw6>

- Porto di Gioia Tauro: Adeguamento del tratto di banchina nord esistente ai nuovi tratti di banchina nord in fase di esecuzione e relativo approfondimento dei fondali / Completamento viabilità comparto nord / Gateway ferroviario
- Porto di Termini Imerese - Lavori di dragaggio del porto a quota -10,00 s.l.m.m. / Lavori di completamento del molo foraneo sopraflutto (secondo stralcio di completamento)
- Porto di Palermo - Lavori di escavo dei fondali del Bacino Crispi n. 3 e connesso rifiorimento della mantellata foranea del molo industriale.
- Porto di Messina – Piattaforma logistica Tremestieri con annesso scalo portuale / Lavori su Via don Blasco

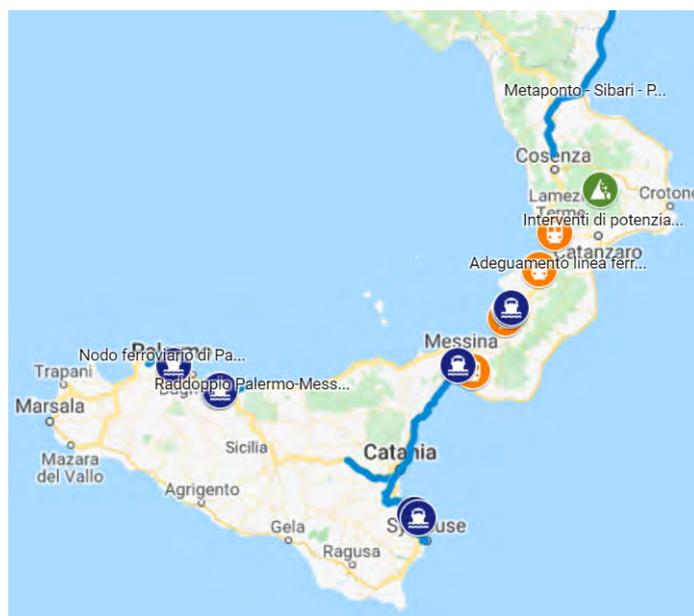


Figura 11-2 Interventi PON Infrastrutture e Reti 2014-2020

## 11.2 Contratto di Programma 2017-2021

Il Contratto di Programma 2017-2021, tra Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti (MIT) e RFI, delinea un piano degli investimenti in corso e programmatici articolate in 4 sezioni, delle quali la prima è composta dalle opere da realizzare dotate di integrale copertura finanziaria e le altre hanno carattere programmatico, rappresentando la pianificazione tecnico-economica di massima per un periodo temporale almeno decennale dei fabbisogni finanziari<sup>371</sup><sup>372</sup><sup>373</sup>, in particolare con l'Appendice 5 - Investimenti<sup>374</sup>.

Gli interventi del Contratto di Programma in Sicilia e Calabria sono elencati in Tabella 11-1.

<sup>371</sup> [http://trasparenza.mit.gov.it/archivio53\\_atti-di-programmazione\\_0\\_167\\_781\\_1.html](http://trasparenza.mit.gov.it/archivio53_atti-di-programmazione_0_167_781_1.html)

<sup>372</sup> <https://www.senato.it/service/PDF/PDFServer/BGT/01143484.pdf>

<sup>373</sup> [http://trasparenza.mit.gov.it/archivio53\\_atti-di-programmazione\\_0\\_167\\_781\\_1.html](http://trasparenza.mit.gov.it/archivio53_atti-di-programmazione_0_167_781_1.html)

<sup>374</sup> [https://trasparenza.mit.gov.it/moduli/downloadFile.php?file=oggetto\\_allegati/1913610360000\\_OAppendice-5.pdf](https://trasparenza.mit.gov.it/moduli/downloadFile.php?file=oggetto_allegati/1913610360000_OAppendice-5.pdf)



<b>Sicilia</b>
<i>0271A Velocizzazione Catania-Siracusa 1a fase</i>
<i>0271B Velocizzazione Catania-Siracusa completamente</i>
<i>0315 Siracusa-Ragusa-Gela</i>
<i>0242 Velocizzazione Palermo - Agrigento</i>
<i>1162 Ripristino linea Palermo-Trapani via Milo</i>
<i>0314 Palermo-Trapani</i>
<i>1049 Raddoppio Palermo-Messina: tratta Castelbuono-Patti</i>
<i>P074 Ammodernamento e velocizzazione itinerari Palermo-Catania-Messina, Messina- Palermo e Messina-Siracusa</i>
<i>P213 Upgrading infrastrutturale e tecnologico nodo di Messina</i>
<i>0115 Raddoppio Messina - Siracusa 1a fase</i>
<i>0270 Sistemazione nodo di Catania</i>
<i>P196 Upgrading infrastrutturale e tecnologico nodo di Catania</i>
<i>0036 Nodo di Palermo</i>
<i>0336 Raddoppio Palermo-Messina tratta Fiumetorto-Castelbuono</i>
<i>P135 Upgrading infrastrutturale e tecnologico nodo di Palermo</i>
<i>1139 Collegamento ferroviario aeroporto di Catania Fontanarossa</i>
<i>0249 Linea Messina-Catania: raddoppio Giampileri-Fiumefreddo</i>
<i>0275A Nuovo collegamento Palermo-Catania fasi prioritarie</i>
<i>0275B Nuovo collegamento Palermo-Catania completamente</i>
<b>Calabria</b>
<i>P111 Variante di Cannitello – opere di mitigazione</i>
<i>1669 Asse Salerno-Reggio Calabria: stazione di Reggio Calabria - abbassamento piano binari ed intubamento tratto urbano</i>
<i>0311A Metaponto-Sibari-Bivio S.Antonello opere prioritarie</i>
<i>0311B Metaponto-Sibari-Bivio S.Antonello</i>
<i>1106 Raddoppio Paola-Cosenza tratta bivio S.Antonello - bivio S.Lucido</i>
<i>1659 Potenziamento collegamento Lamezia Terme - Catanzaro Lido 1a fase</i>
<i>1153 Adeguamento e velocizzazione linea ferroviaria jonica - tratta Sibari-Melito Porto Salvo</i>
<i>P194 Upgrading infrastrutturale e tecnologico nodo di Reggio Calabria</i>
<i>0263 Adeguamento tecnologico e infrastrutturale linea Battipaglia-Reggio Calabria</i>
<i>P140 Upgrading tecnologico e prestazionale Tirrenica sud 2a fase</i>
<i>1107A Alta Velocità ferroviaria Salerno-Reggio Calabria e Sistema Integrato stazione Ferroviaria - Aerostazione di Lamezia Terme fasi prioritarie</i>
<i>1107B Alta Velocità ferroviaria Salerno-Reggio Calabria e Sistema Integrato stazione Ferroviaria - Aerostazione di Lamezia Terme completamente</i>
<i>P073 Upgrading e potenziamento tecnologico itinerario Salerno-Reggio Calabria e linee afferenti</i>

Tabella 11-1 Interventi del Contratto di Programma 2017-2021 RFI-MIT in Sicilia e Calabria

Gli interventi del Programma mirano a un esteso e consistente ammodernamento e potenziamento delle reti ferroviarie sia in Calabria che in Sicilia: spiccano per importanza e peso economico l'Alta Velocità lungo la direttrice Salerno-Reggio Calabria e i raddoppi in variante delle linee Messina-Siracusa e Messina-Palermo, interventi che hanno come anello di congiunzione l'attraversamento stabile dello Stretto.

### Linea AV/AC Salerno-Reggio Calabria

Il 3 febbraio 2021 è stato presentato alle Commissioni Ambiente e Trasporti alla Camera dei Deputati, lo "Schema di DPCM recante l'individuazione degli interventi infrastrutturali ai



sensi dell'art.4, comma 1, del D.L. 18/4/2019 c.d. «Sblocca cantieri»», avente come oggetto – fra gli altri – il “Nuovo collegamento AV/AC Salerno-Reggio Calabria”<sup>375</sup>, per il quale – fra gli altri – è in corso la redazione del progetto di fattibilità tecnico-economica (PFTE) di una nuova linea a standard AV realizzabile per fasi funzionali. Il PFTE in corso prevede l'attualizzazione del progetto preliminare sviluppato nel 2003 in iter ex legge obiettivo, oggetto di prescrizioni nella parte centrale del tracciato recepite nel 2005. In particolare, è in corso lo studio delle alternative che presentano una fattibilità tecnica, da approfondire a seguito del confronto con gli EELL locali e centrali, per individuarne le priorità realizzative.

Il 6 aprile 2021 è stato trasmesso alla Camera dei Deputati il Documento di fattibilità delle alternative progettuali Nuova linea AV Salerno – Reggio Calabria<sup>376</sup>: esso ha per oggetto lo studio infrastrutturale, ambientale e impiantistico delle alternative, distinte per tratta (tratta Salerno-Battipaglia, lotto 0, e tratta Battipaglia-Reggio Calabria, lotti 1, 2, 3, 4, 5, 6), nonché il cronoprogramma e una stima parametrica dei costi di realizzazione. Le specifiche di base degli itinerari oggetto di studio sono elencate nella Tabella 11-2 mentre l'alternativa di itinerario “autostradale” è rappresentata nella Figura 11-3.

<b>CONFIGURAZIONE</b>	<b>Doppio binario</b>	
<b>VELOCITA' MASSIMA DELLA LINEA</b>	250/300 km/h	
<b>PENDENZA MASSIMA</b>	12 ‰	
<b>ALIMENTAZIONE</b>	25 kV c.a. / 3 kV c.c.	
<b>PROFILO LIMITE DI CARICO</b>	PC 80	
<b>MODULO DELLA LINEA</b>	750 m	
<b>MASSA ASSIALE</b>	D4	
<b>SISTEMA DI DISTANZIAMENTO</b>	ERTMS L2	
<b>SISTEMA DI ESERCIZIO</b>	DCO/SCCM	
<b>INFORMAZIONE AL PUBBLICO</b>	IAP	
<b>PASSO POSTI DI COMUNICAZIONE</b>	25 km	
<b>PASSO POSTI DI MOVIMENTO con PRESIDIO MANUTENZIONE</b>	50 km	
<b>MODULO BINARI STAZIONE</b>	750 m / 400 m	
<b>VELOCITA' DI DEVIATA</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 60 km/h ambito stazione con servizio viaggiatori</li><li>• 60 km/h Posti di Comunicazione</li><li>• 100 km/h rami di interconnessione</li></ul>	
<b>Note</b>		
<b>Pendenza massima</b>	12 ‰	Possibilità di realizzare tratti al 18 ‰ in corrispondenza di territori con orografia complicata (tratto Basilicata - Alto Calabro)

<sup>375</sup> [https://www.camera.it/leg18/1132?shadow\\_primapagina=11794](https://www.camera.it/leg18/1132?shadow_primapagina=11794)

<sup>376</sup> Progetto di fattibilità AV Salerno-Reggio C. - protocollato arrivo.pdf

[https://www.camera.it/application/xmanager/projects/leg18/attachments/upload\\_file\\_doc\\_acquisiti/pdfs/000/004/843/Presentazione\\_Commissari\\_RFI.pdf](https://www.camera.it/application/xmanager/projects/leg18/attachments/upload_file_doc_acquisiti/pdfs/000/004/843/Presentazione_Commissari_RFI.pdf)



<b>Elettrificazione</b>	25 kV c.a. / 3 kV c.c.	Data l'orografia sarebbe preferibile il 25 kV c.a. Potrebbero essere previsti alcuni tratti in 3 kV c.c.
-------------------------	------------------------	---

Tabella 11-2 Integrato alla nuova linea AV è l'intervento del raddoppio della linea esistente Paola – Cosenza (Galleria Santomarco), finalizzato a potenziare il collegamento della linea Tirrenica non solo con Cosenza ma anche con la costa ionica attraverso la linea esistente per Sibari.

Il documento contiene anche valutazioni indicative dei benefici di ciascuna alternativa per ciascun lotto misurati con: (i) la riduzione del tempo di percorrenza prioritariamente sull'itinerario Roma – Reggio Calabria; (ii) l'incremento dell'accessibilità alla rete AV sia diretta che indiretta tramite nuove interconnessioni e fermate; (iii) il miglioramento della rete merci in termini di completamento di corridoi merci e offerta di percorsi alternativi alle linee attualmente caratterizzate da limitazioni di sagoma e pendenza.

La realizzazione dell'intero itinerario da Salerno a Villa San Giovanni/Reggio Calabria (sviluppo complessivo compreso tra 450 km e 520 km a seconda delle configurazioni infrastrutturali), consente una riduzione delle percorrenze di 1h 20min. Il lotto 1 Battipaglia-Praia è quello che consente il recupero maggiore (30min), seguito dal lotto 0 Salerno-Battipaglia (10-15min) e dal lotto 6 Gioia Tauro-Villa San Giovanni/Reggio Calabria (15min). Considerando l'itinerario per Cosenza e verso lo Ionio, il lotto 2 Praia-Tarsia e il lotto 3 Tarsia-Montalto consentono recuperi di oltre 1h ciascuno.

Il completamento del progetto di fattibilità è previsto entro il 2021.

CONFIGURAZIONE	Doppio binario
VELOCITA' MASSIMA DELLA LINEA	250/300 km/h
PENDENZA MASSIMA	12 ‰
ALIMENTAZIONE	25 kV c.a. / 3 kV c.c.
PROFILO LIMITE DI CARICO	PC 80
MODULO DELLA LINEA	750 m
MASSA ASSIALE	D4
SISTEMA DI DISTANZIAMENTO	ERTMS L2
SISTEMA DI ESERCIZIO	DCO/SCCM
INFORMAZIONE AL PUBBLICO	IAP
PASSO POSTI DI COMUNICAZIONE	25 km
PASSO POSTI DI MOVIMENTO con PRESIDIO MANUTENZIONE	50 km
MODULO BINARI STAZIONE	750 m / 400 m
VELOCITA' DI DEVIATA	<ul style="list-style-type: none"><li>• 60 km/h ambito stazione con servizio viaggiatori</li><li>• 60 km/h Posti di Comunicazione</li><li>• 100 km/h rami di interconnessione</li></ul>
<b>Note</b>	



<b>Pendenza massima</b>	12 ‰	Possibilità di realizzare tratti al 18 ‰ in corrispondenza di territori con orografia complicata (tratto Basilicata - Alto Calabro)
<b>Elettrificazione</b>	25 kV c.a. / 3 kV c.c.	Data l'orografia sarebbe preferibile il 25 kV c.a. Potrebbero essere previsti alcuni tratti in 3 kV c.c.

Tabella 11-2 Specifiche di base del progetto di fattibilità della nuova linea AV Salerno-Reggio Calabria



(1) tratti con  $p_{max} = 18 ‰$

(2) velocità = 160 km/h

Figura 11-3 Itinerario AV Salerno-Reggio Calabria - alternativa "autostradale"

Il tracciato del lotto 6 Gioia Tauro-Villa S. Giovanni, totalmente in variante rispetto alla linea costiera esistente, lungo circa 45 km di cui 32 km in galleria, ha l'andamento planimetrico e altimetrico rappresentato nella Figura 11-4, è progettato per velocità 300 km/h, termina con un duplice raccordo, alla linea costiera esistente a sud di Villa San Giovanni in località Concessa e all'attraversamento stabile dello Stretto.

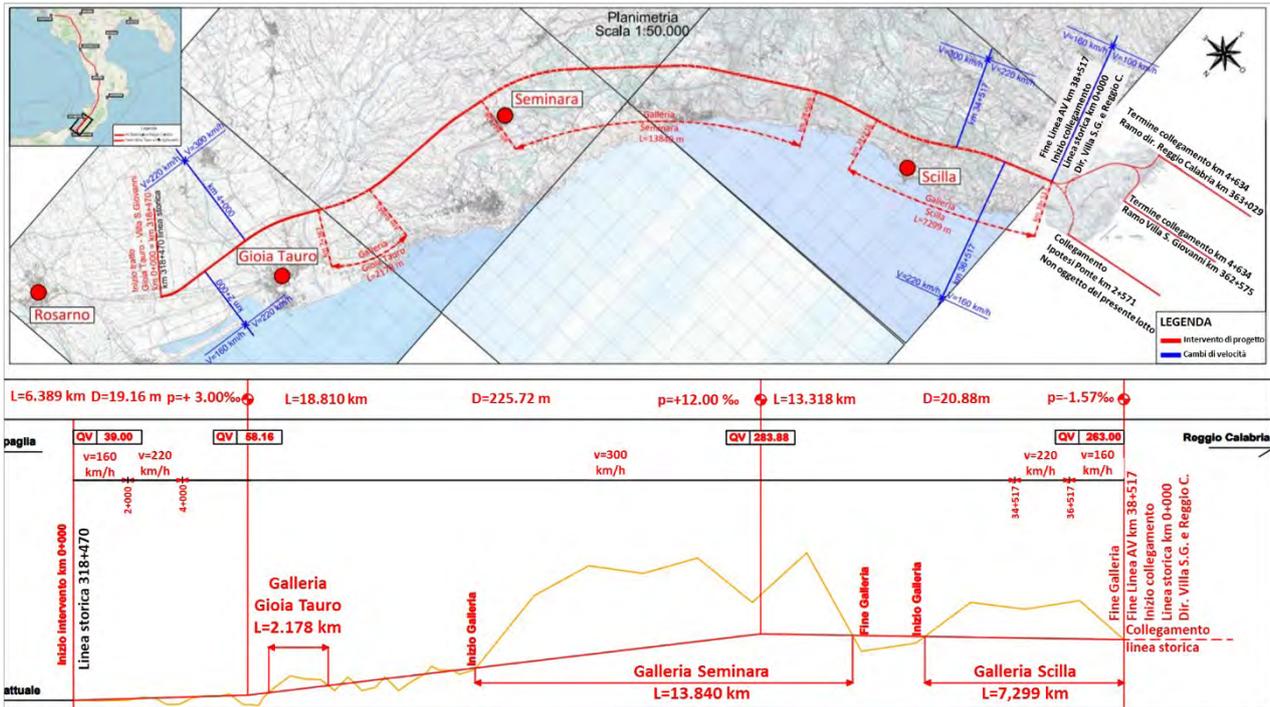


Figura 11-4 Lotto 6 Gioia Tauro-Villa S. Giovanni della nuova linea AV/AC Salerno-Reggio Calabria

**Stazione di Reggio Calabria - abbassamento piano binari ed intubamento tratto urbano**

Si segnala il progetto – anch’esso menzionato nel Contratto di Programma 2017-2021 – Stazione di Reggio Calabria - abbassamento piano binari ed intubamento tratto urbano (Figura 11-5).

Il progetto mira alla razionalizzazione e riqualificazione della linea ferroviaria esistente per un migliore inserimento nel tessuto urbano della città di Reggio Calabria. Gli interventi, in fase di definizione, consistono nell’intubamento della Stazione di Reggio Calabria Centrale e nello spostamento a monte degli asset ferroviari presenti nell’area di pertinenza della stazione compresa tra il Lungomare “I. Falcomatà” e la fiumara S. Agata (sottopassante l’estremità nord della pista principale dell’aeroporto di Reggio Calabria).



Figura 11-5 Reggio Calabria – Abbassamento piano binari ed intubamento tratto urbano

Lo studio completato da RFI a luglio 2013 (attività prevista nel CIS per il completamento della direttrice “Salerno-Reggio Calabria” sottoscritto in data 18.12.2012), a valle di valutazione del rischio “*tsunami*”, seleziona e sviluppa tre possibili soluzioni progettuali di tracciato sotterraneo, con differenti proposte di razionalizzazione della linea ferroviaria, della stazione esistente e del tessuto urbano, per servire direttamente con il treno i punti strategici della città, compresa l’aerostazione dell’aeroporto dello Stretto (Figura 11-6).

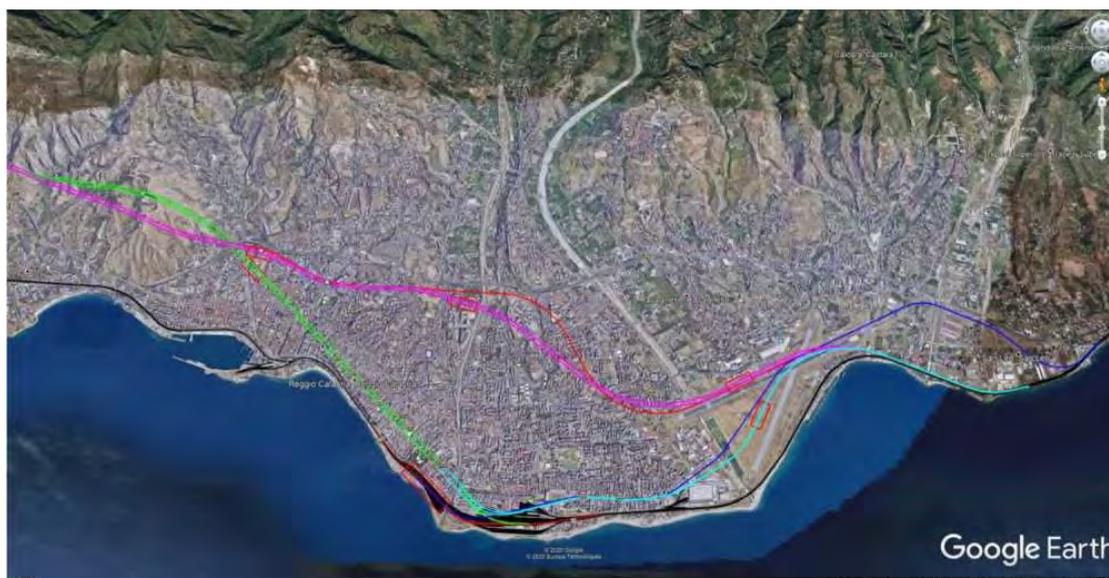


Figura 11-6 Tracciati ferroviari spostamento a monte tratto urbano linea costiera a Reggio Calabria



Va comunque precisato che nella classificazione degli investimenti per lotti costruttivi tale intervento è inquadrato fra le opere da avviare oltre l'orizzonte di piano, cioè oltre il 2026.

### Itinerario AV/AC Palermo-Catania-Messina

La Scheda n°212 del Sistema Informativo Legge Opere Strategiche (SILOS) dichiara<sup>377</sup>:

*“L'itinerario AV/AC Palermo-Catania-Messina, relativo alla omonima Direttrice ferroviaria, compreso nel Corridoio Scandinavia-Mediterraneo della rete Trans European Network (TEN-T), è volto a garantire l'interconnessione e l'interoperabilità nell'ambito dei Corridoi Transeuropei TEN-T e a consentire il collegamento tra i centri urbani a maggiore densità abitativa e le aree interne e costiere della Sicilia e i relativi servizi. ... Sono previsti interventi di raddoppio e di variante all'attuale tracciato, per aumentare la capacità di traffico della linea e la velocità dei collegamenti, nelle seguenti tratte: Bicocca-Catenanuova; Catenanuova-Raddusa; Raddusa-Fiumetorto; Giampilieri-Fiumefreddo; Nodo di Catania (interramento stazione centrale e completamento raddoppio Catania centrale-Catania Acquicella)”.*

Al 31 ottobre 2019, risulta il seguente stato di avanzamento:

- Nuovo collegamento Palermo-Catania 1a fase:
  - Lotto 6 "Catenanuova-Bicocca": lavori avviati il 20 dicembre 2018 e ultimazione lavori programmata per marzo 2023;
  - Lotti da 1 a 5: progettazione definitiva in corso;
- Nuovo collegamento Palermo-Catania 2a fase: progettazione in corso;
- Nodo di Catania - Sistemazione nodo di Catania (Interramento stazione centrale e completamento del doppio binario tra Catania Centrale e Catania Acquicella; Interramento tratta Acquicella-Bicocca per eliminazione interferenze con aeroporto): progettazione definitiva in corso;
- Raddoppio Giampilieri-Fiumefreddo: progettazione definitiva approvata, in corso gara d'appalto.

Al citato progetto in fase di gara d'appalto della linea ferroviaria Messina-Catania: raddoppio Giampilieri-Fiumefreddo<sup>378</sup> (Figura 11-7) in variante per un'estesa di circa 42 km, si aggiunge la richiesta formulata dal Comune di Messina (citata deliberazione del 25/01/2010), a titolo di opera propedeutica al progetto dell'attraversamento stabile con il ponte a campata unica, del raddoppio in variante anche della tratta in prosecuzione Giampilieri-Contesse della stessa linea ferroviaria Messina-Catania, raccordata al collegamento ferroviario fra Contesse e l'opera di attraversamento, previsto nel progetto definitivo di quest'ultima redatto dal General Contractor Eurolink.

<sup>378</sup> <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/6875/9614>

<sup>378</sup> <https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/6875/9614>

Si sta valutando la revisione del progetto Giampileri per innalzare la velocità lungo tutta la linea a 200km/h nel rispetto delle specifiche di Alta Velocità di Rete (AVR).



Figura 11-7 Raddoppio in variante della ferrovia tra Giampileri e Fiumefreddo

### Autostrada A20

Analogamente, da parte del Comune di Messina è stata formulata la richiesta (citata deliberazione 5/C del 25/01/2010), come opera da realizzare successivamente all'attraversamento stabile, una nuova tratta autostradale a monte della A20 tra l'esistente casello di Tremestieri e lo svincolo di Giostra.

### **11.3 Altre opere da realizzare congiuntamente all'attraversamento stabile dello Stretto**

Il corridoio n.1 Berlino-Palermo, del quale faceva parte il progetto del Ponte sullo Stretto di Messina, in occasione dell'aggiornamento dei corridoi TEN-T del 2013 è confluito nel corridoio n. 5 Scandinavo-Mediterraneo, ma contemporaneamente tale progetto è stato eliminato dall'elenco delle opere da realizzare (come già riferito nel 6.4).



È importante che nella prossima revisione dei corridoi europei venga inserito l'attraversamento stabile dello Stretto di Messina (ponte o tunnel).

Contemporaneamente è necessario superare la legge n.1158/1971 con una nuova legge che preveda la realizzazione non solo dell'attraversamento dello Stretto, ma anche di tutte le opere connesse da realizzare nell'area dello Stretto, delle quali diamo di seguito un elenco, certamente non esaustivo:

- Progettare e realizzare i raccordi stradali e ferroviari a servizio dell'opera di attraversamento.
- Progettare e realizzare le nuove stazioni e le fermate e relativi fabbricati viaggiatori e ausiliari, gli spazi esterni e viabilità connessa.
- Adeguare le stazioni e fermate esistenti ai nuovi standard.
- Progettare un nuovo centro intermodale a Contesse e la nuova stazione merci di Pistunina-Tremestieri ad esso connessa (vedi paragrafo 7.2.4).
- Ricollocare gli impianti ferroviari in funzione della nuova configurazione di esercizio (scali, depositi locomotive e materiali rotabili viaggiatori e merci, officine di manutenzione, uffici, sale operative, ecc.).
- Pianificare la valorizzazione delle aree che si libereranno dopo la conclusione dei lavori relativi all'attraversamento stabile;
- Riquilibrare il water front di Messina, Reggio Calabria e Villa San Giovanni;
- Programmare l'impiego del personale in servizio a vario titolo nelle operazioni di traghettamento sia alle dipendenze dello Stato che di Società private ricollocandolo in nuove attività produttive e di servizio;
- Ridurre i problemi di congestione del traffico urbano e aumentare la percentuale dell'uso dei mezzi pubblici in linea con la media delle città metropolitane europee incentivandone l'uso semplificando il sistema di bigliettazione ovvero introducendo, dopo la realizzazione dell'attraversamento stabile, il biglietto unico integrato dell'Area dello Stretto valido su tutti i mezzi delle due sponde e su tutta la nuova area metropolitana.

Contemporaneamente dovrebbero essere attuati interventi in ambito regionale siciliano e calabrese:

- potenziare i porti Core e Comprehensive siciliani e calabresi e i relativi interporti e ZES
- realizzare centri intermodali in grado di spostare quantità significative di merci sulle nuove infrastrutture ferroviarie del corridoio TEN-T Scandinavo Mediterraneo e della direttrice Adriatico-Jonica.

La nuova linea ferroviaria che attraverserà lo stretto di Messina avrà una capacità, al pari di tutte le altre linee appartenenti al corridoio Scan-Med, di fare circolare più di 200 treni al giorno e, se opportunamente attrezzata nel rispetto dei migliori standard europei, anche più di 300 treni al giorno ampiamente superiori alle stime dei flussi di traffico viaggiatori e merci previsti dalla Società Stretto di Messina.

#### 11.4 Il traffico merci dopo la realizzazione del collegamento stabile

Autorevoli studi sulle potenzialità del porto di Gioia Tauro come Gateway Continentale Centro Mediterraneo si sono succeduti a partire da quelli del professor Theo Notteboom, docente di economia e management presso l'Università di Anversa ("The time factor in liner shipping Services"<sup>379</sup> -2006 - Maritime economics & logistics, 8:1, p. 19-39) (Figura 11-8).

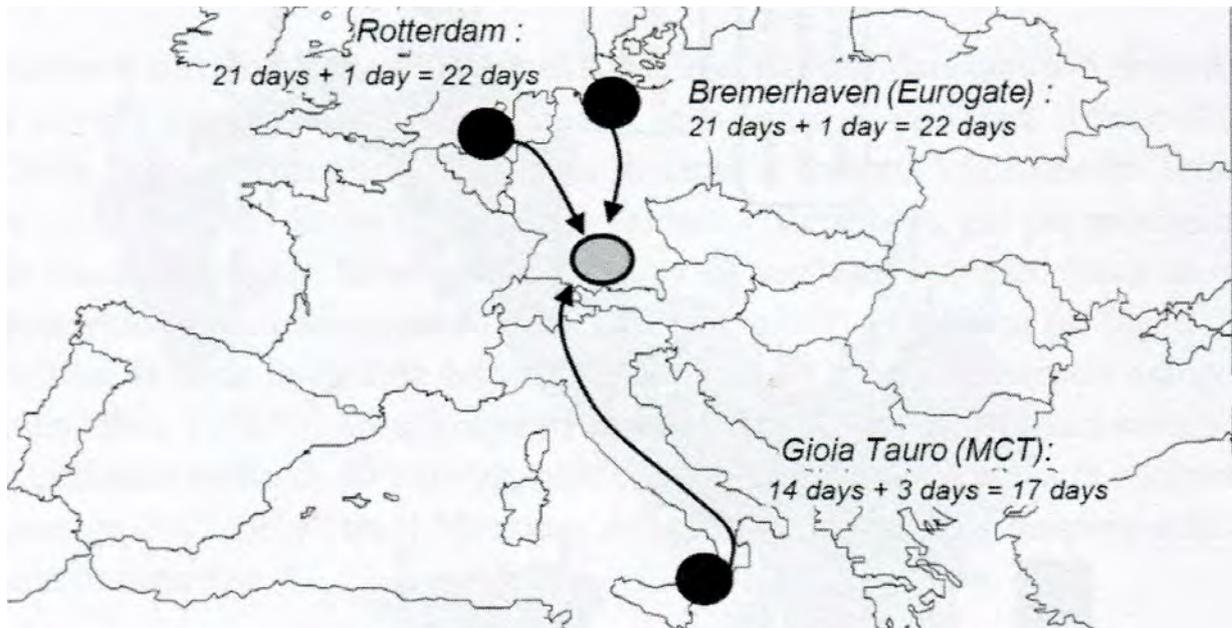


Figura 11-8 Total transit times (Asian port offloading to European inland destination)  
Fonte: Theo Notteboom "The time factor in liner shipping Services"

Nel 2008 il Centro di ricerca sulla Logistica C-Log dell'Università di Castellanza ha predisposto uno studio "Analisi delle opportunità logistiche dell'area retroportuale di Gioia Tauro"<sup>380</sup> preso poi a riferimento nell'ambito degli studi di approfondimento del Piano Nazionale della Logistica 2011-2020<sup>381</sup>, che comprendevano anche l'"Analisi dei processi di filiera e morfologia dei flussi logistici internazionali 'Feelings & Insight' del sistema logistico italiano"<sup>382</sup>, realizzato nel 2011 dalla società di ingegneria D'Appolonia S.p.A. di Genova.

Nel 2012 è stato approvato lo studio di fattibilità di un nuovo Terminal Container Intermodale da realizzare a Gioia Tauro<sup>383</sup>, nell'ambito del quale è stata predisposta "l'Environmental Cost Benefit Analysis-ECBA<sup>384</sup> ", pubblicata sulla rivista Nuova Energia 4/2012, che evidenzia gli elevati impatti ambientali generati dalla logistica europea nell'attuale situazione di mancanza di un terminal ferroviario efficiente nel porto di Gioia Tauro e, più in generale,

<sup>379</sup> [https://econpapers.repec.org/article/palmarecl/v\\_3a8\\_3ay\\_3a2006\\_3ai\\_3a1\\_3ap\\_3a19-39.htm](https://econpapers.repec.org/article/palmarecl/v_3a8_3ay_3a2006_3ai_3a1_3ap_3a19-39.htm)

<sup>380</sup> <http://www.biblio.liuc.it/liucpapersita.asp?codice=225> e <http://www.biblio.liuc.it/liucpap/pdf/213.pdf>

<sup>381</sup> [https://mit.gov.it/mit/mop\\_all.php?p\\_id=12956](https://mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=12956)

<sup>382</sup> [https://mit.gov.it/mit/mop\\_all.php?p\\_id=12967](https://mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=12967)

<sup>383</sup> <http://www.portodigioiatauro.it/files/bandi/6%20Studio%20di%20fattibilit%C3%A0%20terminal%20parte%20I.pdf>

<sup>384</sup> <https://www.slideshare.net/ecbaproject/terminal-intermodale-ferroviario-di-gioia-tauro>



di scarsa competitività del sistema portuale nazionale rispetto a quello del Nord Europa, che incentiva l'effettuazione di percorsi, da parte delle merci, ben più lunghi di quelli minimi "naturali".

Negli anni successivi è stato realizzato il Terminal di Gioia Tauro, i lavori di collegamento ferroviari si sono conclusi il 16/12/2020 con la partenza del primo treno. Rimangono ancora da eseguire i lavori di potenziamento del collegamento ferroviario esistente tra le stazioni di San Ferdinando e di Rosarno.

Il gateway ferroviario si estende all'interno dell'area doganale nella zona già destinata ad interporto che occupa una superficie di 325mila metri quadrati nei quali esistono sei fasci di binari di 3825m dei quali 2761m nell'area del terminal contenitori e 1064m nel terminal intermodale.

In base allo studio di fattibilità, la stima della domanda futura del terminal container ferroviario dovrebbe crescere quasi linearmente e a regime (dopo 30 anni) dovrebbe attestarsi tra 10 e 20 coppie di treni al giorno (cap. 4 e 5) pari ad un traffico massimo compreso tra 200.000 e 400.000 TEU/anno. Tali stime dovrebbero essere riviste in modo significativo tenendo in considerazione gli sviluppi esponenziali registrati negli ultimi anni dai traffici marittimi, le dimensioni delle navi, le quantità delle merci in transito nel Mediterraneo, nonché la capacità di trasporto del corridoio europeo Scan-Med e del Corridoio merci Adriatico-Jonico, dopo il completamento dei lavori previsti anche con i fondi Next Generation EU. In tal caso sarebbe indispensabile potenziare il Terminal Container Intermodale di Gioia Tauro per metterlo in condizione di sfruttare le nuove opportunità.

La Sicilia dispone di due porti inseriti nella rete centrale Core network (Palermo e Augusta) e 6 inseriti nella rete globale Comprehensive network (Gela, Messina, Milazzo, Siracusa, Trapani e Catania) che potrebbero iniziare a dispiegare le loro potenzialità gateway dopo la realizzazione del collegamento stabile.

Il porto di Augusta ha caratteristiche geografiche e morfologiche che lo rendono ideale sia come hub di transhipment, sia come porto gateway. Dopo il completamento dell'attraversamento stabile dello Stretto, si potrebbero stimare per il porto di Augusta valori di traffico ferroviario merci comparabili con quelli di Gioia Tauro.

Nella "Relazione Generale degli studi di flussi di traffico previsti in relazione alla messa in esercizio del Ponte" redatta dalla Stretto di Messina SpA<sup>385</sup>, per quanto riguarda il traffico dei treni merci aventi origine/destinazione nel porto di Augusta si stimano a regime 5 coppie/giorno di treni blocco (pari a circa 175.000 TEUs/anno) che attraverseranno lo stretto di Messina.

Per il centro intermodale di Contesse (ipotizzato nel cap.7), attrezzato per spostare dalla strada alla ferrovia un numero significativo di TIR diretti a nord della Calabria, così come per

---

<sup>385</sup> <https://va.minambiente.it/File/Documento/36443>



gli interporti di Catania e di Palermo/Termini Imerese<sup>386</sup>, dopo il loro adeguamento, si potrebbero prevedere circa 10 coppie di treni/giorno in analogia con Terminal Intermodali di pari dimensioni.

Considerando che in futuro, nel rispetto delle attuali normative europee, i treni merci saranno lunghi sino a 750m e ogni treno avrà la possibilità di trasportare circa 96 TEU, con la realizzazione dell'attraversamento stabile si potranno trasportare sino a 57.600 TEU/anno per ogni coppia di treni/gg per 300 gg/anno.

Va ricordato che i porti Gateway consentono di introitare l'IVA sulle merci sbarcate. Inoltre, la lavorazione dei container comporta impatti notevolmente superiori in termini di fatturato, di utile e di occupati rispetto al solo transito dei container, con ciò costituendo una grande opportunità per i potenziali effetti economici ed occupazionali (Tabella 11-3).

	Fatturato (€)	Utile (€)	Beneficio per lo Stato (€)	Occupati per 1000 TEUs
Container in transito	300	20	110	5
Container lavorato	2.300	200	1.000	42

Tabella 11-3 Differenziale in termini di valore aggiunto prodotto da un container in transito ed un container "logisticizzato"<sup>387</sup>

E' da notare che nel progetto definitivo, il Ponte a campata unica è stato dimensionato per fare circolare sino a 200 treni/gg della lunghezza massima di 600 m, mentre un tunnel sottomarino potrebbe essere attrezzato, al pari dei tunnel di base alpini, per fare circolare più di 300 treni/gg tra viaggiatori e merci di lunghezza pari a 750 m e oltre, come da normative europee in fase di predisposizione per i principali assi europei merci<sup>388</sup> per gli anni 2030-2050<sup>389</sup> (1000m, 1500m, 3000m), così come fortemente sostenuto da più di un decennio dall'Associazione FERRMED<sup>390</sup>, che propugna lo sviluppo del "Grande asse"<sup>391</sup>, che dovrebbe unire l'Asia, l'Europa e l'Africa tramite il futuro tunnel di Gibilterra e il "Grande Anello Ferroviario (Mediterranean Orbital Rail Network and multimodal links<sup>392</sup>), che in accordo con l'Unione del Mediterraneo dovrebbe collegare tutti i Paesi del Mediterraneo.

<sup>386</sup> <http://www.interporti.sicilia.it/>

<sup>387</sup> Fonte: Elaborazione su fonti varie (Confindustria, Confetra e Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2008)

<https://www.assoporti.it/media/1532/libro-logistica-2013.pdf> Tabella 2, pag36

<http://www.cafi2000.it/immagini/corridoi%20per%20web.pdf>

<https://iris.univr.it/retrieve/handle/11562/628151/6795/i-corridoi-europei-in-italia-a-servizio-del-trasporto-merci-containerizzato.pdf>

<sup>388</sup> [https://www.cer.be/sites/default/files/publication/160525\\_Longer%20Trains\\_Facts%20and%20Experiences%20in%20Europe\\_final\\_0.pdf](https://www.cer.be/sites/default/files/publication/160525_Longer%20Trains_Facts%20and%20Experiences%20in%20Europe_final_0.pdf)

<sup>389</sup> [http://www.capacity4rail.eu/IMG/pdf/c4r-d2.1.2\\_requirements\\_toward\\_the\\_freight\\_system\\_of\\_2030-2050\\_final\\_.pdf](http://www.capacity4rail.eu/IMG/pdf/c4r-d2.1.2_requirements_toward_the_freight_system_of_2030-2050_final_.pdf)

<sup>390</sup> <https://www.ferrmed.com/ACTIVITY/studies>

<sup>391</sup> <https://www.ferrmed.com/activity/studies/ferrmed-global-study>

<sup>392</sup> [https://www.researchgate.net/figure/Mediterranean-Orbital-Rail-Network-and-multimodal-links\\_fig11\\_277156661](https://www.researchgate.net/figure/Mediterranean-Orbital-Rail-Network-and-multimodal-links_fig11_277156661)



Quando si verificheranno tali scenari l'attraversamento stabile dello stretto di Messina, insieme al possibile tunnel sottomarino tra la Sicilia e la Tunisia<sup>393</sup>, avrebbe la possibilità di fare parte dell'asse centrale del Mediterraneo che collegherà l'Europa all'Africa<sup>394</sup>, continente che nei prossimi decenni dovrebbe avere uno sviluppo notevole così come previsto dall'ONU e dalle più importanti società di consulenza. Nella scelta tra le possibili soluzioni di attraversamento dello stretto di Messina non si dovrebbero ignorare tali possibilità, per non creare limitazioni tecniche inopportune ad una grande opera pubblica, che dovrebbe avere una durata di vita di almeno 200 anni.

---

<sup>393</sup> <https://www.collegioingegneripadova.it/images/pagine/rivista/231-galileo.pdf>

<sup>394</sup> <https://www.collegioingegneripadova.it/images/pagine/rivista/232-galileo.pdf>



## 12 CONCLUSIONI

### La storia

Ricordiamo in sintesi le tappe più recenti della storia del ponte a campata unica da 3300m.

Con il Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 15 aprile 2013 la Società Stretto di Messina è stata posta in liquidazione<sup>395</sup> ai sensi dell'articolo 34-decies del D.L. n. 179 del 2012 (convertito con modificazioni in legge n. 221/2012) e nel rispetto dell'art. 2484 e seguenti del Codice Civile in quanto compatibili. Il Prof. Vincenzo Fortunato con lo stesso DPCM è stato nominato commissario liquidatore della SdM. Notizie sullo stato di avanzamento della liquidazione sono pubblicate dalla Corte dei Conti<sup>396</sup> e dalla stessa Società Stretto di Messina<sup>397</sup>.

Indipendentemente dall'esito finale delle azioni legali intentate dal Contraente Generale e altre Società coinvolte dagli appalti stipulati dalla Società Stretto di Messina, il Governo italiano ha previsto nell'allegato infrastrutture dei DEF emessi annualmente la necessità di fare predisporre appositi progetti di fattibilità per l'attraversamento dello Stretto, così come riportato nella Scheda n°65 del Sistema Informativo Legge Opere Strategiche della Camera dei deputati<sup>398</sup>.

Coerentemente con le decisioni del Governo italiano, il 27/08/2020 il Ministero delle Infrastrutture ha nominato un Gruppo di lavoro costituito da esperti istituzionali in campo trasportistico, ferroviario, stradale, idraulico, sismico, geologico, ambientale, urbanistico e socioeconomico, incaricati di analizzare le possibili alternative legate all'attraversamento stabile dello Stretto di Messina e di effettuare studi propedeutici allo svolgimento di un dibattito pubblico sull'opera.

Il 3 febbraio 2021<sup>399</sup> è stato presentato alle Commissioni Ambiente e Trasporti alla Camera dei Deputati, il potenziamento tecnologico e gli interventi infrastrutturali della linea Salerno – Reggio Calabria<sup>400</sup>.

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova linea a standard AV realizzabile per fasi funzionali, che minimizzi gli impatti sul territorio e che sia coerente con gli investimenti in corso e programmati. Il lotto tra Gioia Tauro e Villa S. Giovanni, in gran parte in galleria, è stato progettato per essere percorso a 300 km/h.

<sup>395</sup> <http://www.strettodimessina.it/data/DPCM-15-aprile-2013-Liquidazione-Nomina-CL.pdf>

<sup>396</sup> <http://www.strettodimessina.it/data/SDM-CdC-E-Prot-0495-del-03-11-2017-Relazione.pdf>

<sup>397</sup> <http://www.strettodimessina.it/>

<sup>398</sup> <https://silos.infrastrutturestrategiche.it/Home/Scheda/1010>

<sup>399</sup> [https://www.camera.it/leg18/1132?shadow\\_primapagina=11794](https://www.camera.it/leg18/1132?shadow_primapagina=11794)

<sup>400</sup> <https://mobilita.org/2021/02/08/calabria-presentato-il-nuovo-progetto-dell-av-di-rete-della-salerno-reggio-calabria/>

<https://www.ferrovie.info/index.php/it/13-treni-reali/17310-ferrovie-ecco-il-progetto-della-av-ac-salerno-reggio-calabria>



Con il PNRR saranno finanziati i primi lotti funzionali.

A conclusione del nostro lavoro vale quindi la pena fare alcune considerazioni.

Nello stretto di Messina il tratto di mare da attraversare si trova in un'area che presenta oggettive problematiche da tenere in considerazione: l'elevata sismicità, la presenza di faglie, la variabilità di profondità dei fondali marini, le correnti vorticose e i forti venti.

Sicuramente l'attraversamento dello Stretto richiede soluzioni progettuali all'avanguardia alle quali si potrà giungere attraverso un oculato processo di crescita, guardando allo sviluppo passato per trarne gli opportuni insegnamenti e mirando al futuro, sfruttando al massimo tutte le potenzialità offerte dalla moderna tecnologia.

### **Il ponte a campata unica**

La soluzione del ponte a campata unica da 3300 metri, pur se affascinante nella sua originalità, desta tutt'oggi delle perplessità anche nel mondo accademico scientifico proprio dovute all'eccezionalità dell'opera.

Ricordiamo che il coronamento della grande sfida dell'uomo nel campo dei ponti a grande luce è rappresentato dall'Akashi-Kaikyo bridge (1998) in Giappone con luce di 1991 m, attualmente il ponte più lungo del mondo. Si tratta però di un ponte destinato inizialmente anche al traffico ferroviario ma poi divenuto, in fase di costruzione, solo stradale.

Anche lo Yavuz Sultan Selim Bridge (2016), con una campata principale lunga 1.408 m, funziona oggi solo per il traffico stradale, i due binari ferroviari previsti non sono stati ancora posati.

Il ponte misto stradale e ferroviario in servizio più grande del mondo è lo Tsing Ma Bridge (1997) di Hong Kong con una campata centrale di 1.377 m e con due binari ferroviari alloggiati al livello inferiore, dove normalmente circolano treni metropolitani che collegano la città con l'aeroporto.

Di recentissima costruzione (2020) sono i ponti cinesi, stradali e ferroviari, Hutong Yangtze River Bridge e Wufengshan Yangtze River Bridge, entrambi con campata principale di 1092m, realizzati appositamente per fare circolare treni ad alta velocità sino a 250 km/h.

Sempre in Cina il Chang-Tai Yangtze River Bridge, la cui costruzione sarà ultimata nel 2024, stabilirà il nuovo record di lunghezza della campata principale (1176 m) per i ponti misti stradali e ferroviari AV/AC.

Un salto dimensionale di ben 2124 metri per arrivare al ponte a campata unica di Messina, salto che non trova riscontro nella storia dell'uomo, né è giustificato da rivoluzioni tecnologiche o da scoperte innovative eclatanti. Normalmente nella progettazione di nuove opere infrastrutturali si fa riferimento a quelle già realizzate, traendone gli opportuni insegnamenti per poterne costruire di nuove che non si discostino troppo da quelle già testate e implementate, nel rispetto del principio di progressi continui e gradualità



(INNOVATIVE BRIDGE DESIGN HANDBOOK -Construction, Rehabilitation and Maintenance ed. Butterworth Heinemann 2015).

Tutte queste considerazioni ci hanno portati a concludere che il ponte a campata unica da 3300 m rappresenta un salto dimensionale eccessivo e mai visto prima nella storia della costruzione dei ponti, se non nel passaggio dai ponti in muratura a quelli in acciaio.

Sorgono anche dubbi sulla reale utilizzabilità del ponte per il traffico ferroviario dato che la stessa Commissione Europea, sul sito Mobility and Transport, pare aver limitato l'attraversamento stabile dello Stretto al solo traffico stradale ed aver previsto l'uso delle navi traghetto per il traffico ferroviario<sup>401</sup>.

Pur essendo dotato di un impalcato con profilo alare unico al mondo (il Messina type è stato preso a riferimento per la costruzione di numerosi ponti stradali nel mondo, ma con luce notevolmente più contenuta), la presenza nello Stretto in alcuni giorni dell'anno di forti raffiche di vento con velocità anche superiore ai 100km/h potrebbe condizionarne l'uso, se si tiene conto che su altri ponti a grande luce il traffico stradale viene sospeso quando le raffiche superano la velocità di 75 km/h.

## Le alternative

Dopo aver esaminato la storia delle proposte avanzate per l'attraversamento stabile dello stretto di Messina, in particolare le tipologie dei progetti premiati nel Concorso internazionale di idee del 1969, e aver preso in considerazione grandi ponti e tunnel realizzati o in via di realizzazione in tutto il mondo, abbiamo tentato di individuare soluzioni, che potrebbero essere realizzate nello Stretto in tempi ragionevolmente brevi, in quanto mutuati da esempi di recente realizzazione.

Abbiamo ipotizzato che l'attraversamento dello Stretto possa avvenire in corrispondenza della Sella, zona di minore profondità, con un ponte a più campate di lunghezza comparabile con quelle già esistenti e quindi commisurato al normale progresso delle conoscenze scientifiche, tecniche e realizzative.

L'evoluzione delle tecnologie costruttive permette di utilizzare fondazioni offshore ampiamente testate, mentre la loro collocazione sulla Sella non può prescindere da un'analisi approfondita del sottosuolo per avere una corretta informazione sulla posizione delle faglie.

Abbiamo ipotizzato un ponte ibrido (sospeso e strallato) simile allo Yavuz Sultan Selim Bridge collocando due piloni in mare e due a terra.

La presenza di forti venti in diversi periodi dell'anno è un problema di forte incidenza sulla percorribilità del ponte. In Cina la quasi totalità dei nuovi ponti a grande luce stradali e ferroviari realizzati è a due livelli, con la ferrovia posta al piano inferiore. Per questo abbiamo ipotizzato anche ponti con impalcato a due piani: il piano superiore dedicato al traffico stradale e quello inferiore al traffico ferroviario con possibilità di deviare il traffico stradale al

<sup>401</sup> <https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/map/maps.html?corridor=5>



piano inferiore in caso di eccessiva velocità del vento. Questo non risolve completamente il problema a meno che non si costruisca un impalcato aerodinamico chiuso che risulta leggermente più pesante ma è in grado di proteggere i mezzi circolanti al piano inferiore garantendone il regolare esercizio 365 gg/anno.

Sempre nella zona della Sella abbiamo ipotizzato l'attraversamento dello Stretto con tunnel sottomarini a doppia canna ferroviari e stradali.

In questo caso l'elevata pressione dovuta alla profondità, rispetto al livello del mare, e la presenza delle faglie che devono necessariamente essere attraversate, costituirebbero un problema che comunque la moderna tecnologia, sulla base dei recenti sviluppi e come confermato da primarie società di livello mondiale, potrebbero essere superate in sicurezza, anche se con tempi e costi non quantificabili preventivamente con sufficiente precisione. Una volta risolti i problemi delle faglie, i tunnel sottomarini risulterebbero disponibili 365 gg/anno indipendentemente da qualsiasi condizione atmosferica ed inoltre potrebbero essere dimensionati per essere percorsi da treni AV/AC senza limitazioni particolari.

La soluzione tunnel sottomarino venne scartata negli anni Ottanta perché si riteneva necessario dover raggiungere per l'attraversamento la profondità di 258m con conseguente realizzazione di lunghe gallerie di raccordo. Successivamente la stessa SdM nel libro "The Messina Strait Bridge" del 2010 affermò che sarebbero stati sufficienti 170m di profondità con una copertura di almeno 50m rispetto al fondo del mare per realizzare gallerie con le moderne TBM.

D'altra parte, già nel progetto definitivo quasi tutto il tracciato, dalla stazione di Messina Gazzi all'imbocco del ponte a Ganzirri, è progettato in galleria. Aggiungiamo che in Calabria il nuovo progetto AV/AC prevede 45km per raggiungere Gioia Tauro, dei quali circa 30km in galleria. Pertanto, anche nel caso del ponte dovranno essere realizzate gallerie di lunghezza confrontabile.

Da ultimo, ispirandoci a recenti progetti di importanti società e università, abbiamo preso in considerazione l'idea suggestiva di un tunnel alveo su colonne collocato sulla Sella ed un tunnel alveo con tiranti posto più a sud tra la Zona Falcata di Messina e Villa S.G. in Calabria.

Quest'ultima collocazione, se da un lato rappresenta il collegamento più diretto e veloce tra le due città dello Stretto, dall'altro non svolgerebbe un adeguato servizio per la città di Messina escludendone completamente la zona nord.

La tipologia di tunnel alveo non presenterebbe alcun problema legato al vento, però dovrebbe resistere alle azioni dinamiche delle forti correnti marine che attraversano lo Stretto e che a parità di velocità determinano una spinta circa mille volte superiore rispetto ai venti. È da sottolineare che non è mai stato realizzato un tunnel di questo tipo ad uso stradale e ferroviario ma unicamente per oleodotti e gasdotti. Gli studi sono ormai in fase avanzata e una tale soluzione potrebbe essere realizzata nei prossimi anni. Vale però la pena di notare che, come già detto per il ponte da 3300m, un'opera di questo tipo deve prima essere realizzata con successo in contesti più semplici, con dimensioni e sollecitazioni più contenute, e solo dopo averne testato e valutato il comportamento e la resistenza si potrà procedere alla progettazione per lo stretto di Messina.



Da tenere in considerazione che in base alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) attualmente in vigore<sup>402</sup> le “*Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica prevedono una vita nominale di almeno cento anni*”.

In linea con le richieste manifestate dal governo, abbiamo anche approfondito il tema del servizio di traghettamento che necessiterebbe di un potenziamento in attesa della realizzazione dell’attraversamento stabile. Per velocizzare le operazioni di imbarco e sbarco dei treni viaggiatori e merci e nell’ottica della sostenibilità ambientale, si è ipotizzato l’uso di navi traghetto ibride elettriche, nonché treni AV a composizione fissa di lunghezza ridotta e una possibile automatizzazione delle manovre di imbarco e sbarco dei treni merci.

Gli interventi migliorativi dei servizi di traghettamento dello Stretto possono rappresentare una soluzione idonea nel breve periodo, però la continuità territoriale tra Calabria e Sicilia è una condizione irrinunciabile per eliminare la barriera fisica ed economica che separa la Sicilia dal continente europeo.

### **Qualche ulteriore dettaglio**

Bisogna però fare anche un’altra riflessione. Confrontare il solo attraversamento risulterebbe molto riduttivo, esso va inserito in un contesto più ampio di collegamenti urbani, interurbani, interregionali, nazionali e internazionali.

Nelle città metropolitane di Messina e di Reggio Calabria è necessario intervenire per ridurre drasticamente la congestione del traffico stradale privato.

In base al rapporto *TomTom index*<sup>403</sup> le città di Messina e di Reggio Calabria si classificano sempre ai primi posti a livello nazionale, per la congestione del traffico stradale. Ciò dipende non solo dalle code dei mezzi in attesa di imbarcarsi da e verso il continente e dal traffico promiscuo tra residenti e non, ma soprattutto dalle carenze del sistema di trasporto pubblico locale e dalla necessità di muoversi tramite mezzi stradali utilizzando una viabilità non idonea a supportare efficacemente l’attuale traffico su gomma.

I DEF 2016 e successivi prevedono per le due città il potenziamento delle linee ferroviarie, metropolitane e tranviarie esistenti e l’estensione della rete di trasporto rapido di massa, per le quali devono essere predisposti appositi progetti di fattibilità, in linea con gli obiettivi europei e ONU 2030, in modo che il trasporto pubblico possa raggiungere la quota del 40%, media delle città metropolitane europee, partendo dall’attuale 8% di ambedue le città. Trasferendo una parte significativa del traffico da gomma a ferro si ridurrebbero le emissioni inquinanti e allo stesso tempo la congestione del traffico.

È quindi necessario coniugare gli interventi locali con il completamento del corridoio Scandinavo-Mediterraneo, previsto entro il 2030, per giungere alla realizzazione di un

<sup>402</sup> D.M. del 14 Gennaio 2008 e smi <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2008/02/04/08A00368/sg>

<sup>403</sup> Tomtom Traffic Index - Measuring Congestion Worldwide  
[https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/italy-country-traffic/](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/italy-country-traffic/)



sistema di trasporto pubblico locale interconnesso tra mobilità metropolitana sostenibile e collegamento stabile dello Stretto, in grado di integrare tra di loro le due città Metropolitane, creando nuove condizioni economiche e di vita, elevandone la qualità e aumentando le opportunità di sviluppo dell'intera area.

Gli spostamenti urbani della vasta area costituita in Sicilia dagli insediamenti costieri fino a Catania (sul lato ionico) e fino a Patti (sul lato tirrenico) e in Calabria da Melito di Porto Salvo, a Reggio fino a Rosarno verrebbero effettuati con un servizio ferroviario metropolitano veloce che, senza interruzione di carico, interesserebbe tutte le località più significative delle coste. La linea ferroviaria, sebbene con tempi di percorrenza confrontabili con gli attuali del servizio traghetto, servirebbero un'area molto più vasta dando accesso al servizio pubblico ad una platea molto più ampia di persone. I tempi complessivi di viaggio sarebbero nettamente inferiori a quelli attuali in quanto verrebbero azzerati i tempi di interscambio tra le varie modalità di trasporto (nave, bus, tram, treno) che hanno orari non sempre sincronizzati.

I tracciati, ipotizzati per ciascuna delle soluzioni proposte nel Quaderno, sono stati pensati con l'obiettivo di realizzare efficaci punti di interscambio il più possibile baricentrici rispetto agli agglomerati urbani, per minimizzare i tempi di viaggio utilizzando i servizi pubblici.

A partire dalla proposta di collocare la stazione di Messina a Maregrossa, come era tra l'altro stato previsto da SdM nel progetto preliminare del Ponte, e non a Messina Gazzi come invece appare nel progetto definitivo. Gazzi si trova nella periferia sud della città, in un'area soggetta a degrado, piuttosto lontana dal centro e dal porto.

La richiesta da parte del Comune di collocare la nuova stazione a Gazzi rientrava in un piano strategico più ampio che prevedeva il riassetto del waterfront della zona sud della città. Anche la realizzazione della stazione a Maregrossa implicherebbe la necessità di adeguate iniziative di riassetto urbano, favorite dalla presenza di ampi spazi utilizzabili e dalla più immediata possibilità di collegamento con i viali principali.

La collocazione della stazione a Maregrossa, più vicina al centro, la renderebbe più fruibile soprattutto per il movimento pendolare quotidiano.

Per quanto riguarda le altre fermate/stazioni previste dal progetto definitivo, Europa, Annunziata e Papardo, si è pensato di sostituire la fermata Europa, non adeguatamente collegata con le linee urbane principali, con quella di Messina Centro, posizione più adatta per realizzare un efficace collegamento intermodale con la linea tranviaria, con la futura linea metropolitana, con i bus, i taxi e con il vicinissimo porto, nel quale fanno scalo oltre alle navi veloci anche navi da crociera.

Tenuto conto che la città di Messina si affaccia sul porto con il suo centro storico, la scelta strategica di collocare la fermata a Messina Centro piuttosto che a Europa, potrebbe rappresentare un efficace biglietto da visita non solo per la città ma per la Sicilia intera.



In ottemperanza alle indicazioni riguardanti la separazione del traffico viaggiatori da quello merci in ambito urbano, si è ipotizzato di realizzare un percorso dedicato (gronda) in modo da escludere Messina Centro e Messina Maregrosso dal transito dei treni merci.

Il comune di Messina sta procedendo alla realizzazione della “Via del Mare”, asse di collegamento tra l’autostrada ed il Porto, attraverso la zona industriale costiera. Qualunque sia la scelta di attraversamento, sarà necessario realizzare una variante al percorso della Via del Mare perché questa non interferisca con l’ipotesi di tracciato ferroviario.

### **Confrontare prima di scegliere**

In conclusione, si può senz’altro dire che tutte le soluzioni presentano problematiche che necessitano di approfondimenti ulteriori alla luce degli enormi passi compiuti in ambito scientifico e tecnologico negli ultimi decenni.

Come già ampiamente sottolineato nella premessa al Quaderno, non è nostra intenzione scegliere una soluzione piuttosto che un’altra. Tutte presentano vantaggi notevoli ma anche problematiche evidenti, si tratta di ragionare su quale possa essere la soluzione che pur con i suoi limiti, dia la possibilità nel tempo di raccogliere i migliori risultati. Si tratta di coniugare le esigenze locali con quelle nazionali ed europee.

Il Quaderno è stato scritto con il solo scopo di stimolare il lettore ad un ragionamento trasparente e costruttivo basato su dati il più possibile oggettivi.

### **Procedere per tappe**

Sarebbe auspicabile procedere per tappe successive: innanzitutto studi preliminari di fattibilità per mettere a confronto le diverse opzioni. Dopo che la scelta sarà ricaduta su una delle soluzioni, sarà possibile bandire la gara per la progettazione e la costruzione dell’opera.

Da ricordare che, contrariamente a quanto stabilito dalla legge n. 1158/1971, con l’approvazione della legge 11/02/1994 n. 109 (Legge quadro in materia di lavori pubblici, “Legge Merloni”) e delle sue successive modifiche e integrazioni<sup>404</sup>, tra cui anche il Codice degli Appalti attualmente in vigore (D.Lgs. 19 Aprile 2016, n°50 e smi), è stata sancita la separazione tra la fase di progettazione e la fase di esecuzione e gestione delle opere. Pertanto, per realizzare l’attraversamento stabile dello Stretto e delle opere connesse, è necessaria l’emanazione di una nuova legge in sostituzione della 1158/1971.

---

<sup>404</sup> L. 02/06/1995 n. 216 (“Merloni bis”), L. 18/11/1998 n. 415 (“Merloni ter”), D.P.R. 21/12/1999 n. 554 (Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici), Guida al nuovo regolamento (Sintesi dell’Ufficio Studi e Legislazione del MLLPP), CODICE DEGLI APPALTI D.lgs 163/06 e il Regolamento Attuativo DPR 207/’10, D.Lgs. 19 Aprile 2016, n°50 ([https://www.unirc.it/documentazione/materiale\\_didattico/1464\\_2018\\_454\\_31694.pdf](https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/1464_2018_454_31694.pdf))



## Una prospettiva strategica

Da ultimo ricordiamo che l'Italia, per la sua posizione geografica al centro del Mediterraneo, ha un naturale e storico ruolo strategico per gli scambi commerciali tra l'Europa, i Paesi Orientali, il Nord Africa e l'America, ruolo che non può svolgere completamente per la mancanza di adeguate infrastrutture. Il vero nodo centrale della questione infrastrutturale e dello sviluppo economico correlato risiede nella capacità di mettere in condizione l'Italia di poter intercettare grandi flussi commerciali che l'area del Mediterraneo oggi offre in maniera esponenziale, in modo da poter svolgere il ruolo di grande piattaforma logistica mediterranea.

Dopo la realizzazione del collegamento stabile, i porti Core della Sicilia potranno utilizzare non solo le attuali autostrade del mare ma anche i corridoi TEN-T ferroviari e stradali che dovrebbero essere completati entro il 2030.

Il potenziamento dei porti Core e dei limitrofi interporti, collocati vicino ad apposite ZES (Zone Economiche Speciali) che nel caso dell'area dello Stretto si trovano a Gioia Tauro in Calabria e a Catania-Augusta in Sicilia, consentiranno il trasferimento di una maggiore quantità di merce via ferrovia. Inoltre, l'insediamento di nuove attività produttive per la lavorazione delle merci in transito consentirà la creazione di migliaia di posti di lavoro che non solo andranno a compensare quelli persi a seguito della quasi totale eliminazione delle navi traghetto, ma favorirebbero lo sviluppo economico dell'intera area.

Diventa imprescindibile la realizzazione di un efficace collegamento stabile stradale e ferroviario tra la costa calabrese e quella siciliana a completamento del corridoio europeo Scandinavo-Mediterraneo anche per favorire lo sviluppo di un sistema logistico in grado di intercettare i flussi, sui quali aggiungere lavorazioni e quindi valore. Un attraversamento che dovrà essere disponibile 365gg/anno per non contravvenire agli eventuali accordi commerciali di utilizzo delle nuove linee AV/AC realizzate in Italia.

Un investimento così rilevante, come quello previsto per la realizzazione del collegamento stabile, non può trovare giustificazione se non si traduce in nuove condizioni economiche e di vita, non solo nelle aree urbane coinvolte ma nella Sicilia intera eliminandone la condizione di insularità già evidenziata nel trattato di Maastricht sull'Unione europea<sup>405</sup> e successive modifiche e integrazioni.

Ricordiamo anche che il costo dell'insularità della Sicilia è stato stimato compreso in una forbice tra i 6,04 ed i 6,54 miliardi di euro/anno<sup>406</sup>.

<sup>405</sup> TITOLO XII, RETI TRANSEUROPEE, Articolo 129 B

<https://www.europarl.europa.eu/about-parliament/it/in-the-past/the-parliament-and-the-treaties/maastricht-treaty>  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:11992M/TXT>

<sup>406</sup> la Regione Siciliana il 15 maggio 2021, nel giorno della celebrazione del 75esimo anniversario della sua autonomia, ha pubblicato il rapporto definitivo sulla "Stima sui costi dell'insularità per la Sicilia", trasmesso al Ministero delle Regioni e le Autonomie ed alla Commissione paritetica  
<http://pti.regione.sicilia.it/portal/pls/portal/docs/152986797.PDF>



Infine, la realizzazione dell'attraversamento stabile dovrebbe contribuire in modo determinante allo sviluppo del Mezzogiorno ed avere di conseguenza una significativa ricaduta positiva sulla nazione, ribadendo la centralità della piattaforma Italia nel cuore del Mediterraneo.

Tutto questo lavoro ha evidenziato la necessità che il Governo italiano disponga, nel modo più giusto, dei più ampi e completi approfondimenti tecnici ingegneristici e logistici per valutare la sostenibilità a vita intera delle soluzioni (ponti e tunnel), nell'imprescindibile contesto delle opere strettamente connesse, mediante appositi studi di fattibilità indipendenti<sup>407</sup>.

---

<sup>407</sup> Non-profit organisation: IABSE (<https://iabse.org/>), ITA-AITES (<https://www.ita-aites.org>), FIB (<https://www.fib-international.org/>), ecc.



## BIBLIOGRAFIA

I contenuti e le immagini di questo Quaderno, riportati tal quale o modificati in parte, sono ricavati da una pluralità di fonti, fra cui principalmente quelle di seguito citate.

Accademia Nazionale dei Lincei. Atti dei Convegni Lincei 43, *L'attraversamento dello Stretto di Messina*, Roma, 4-6 luglio 1978

Aurelio Angelini, *Il mitico Ponte sullo Stretto di Messina. Da Lucio Cecilio Metello ai giorni nostri: la storia, la cultura, l'ambiente*, Franco Angeli Editore, 2011

G. Bertolaso, E. Boschi, E. Guidoboni e G. Valensise, *Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908: analisi sismologica, impatto, prospettive*, SGA Editore, 2008

Virginio Bettini, Marco Guerzoni, Alberto Ziparo, *Il ponte insostenibile. L'impatto ambientale del manufatto di attraversamento stabile dello Stretto di Messina*, Editore Alinea, 2006

Nuh Bilgin, Hanifi Copur, Cemal Balci, *TBM Excavation in Difficult Ground Conditions: Case Studies from Turkey*, Ernst & Sohn, 2016

Fabio Brancaleoni, Giorgio Diana, Ezio Faccioli, Giuseppe Fiammenghi, Ian P.T. Firth, Niels J. Gimsing, Michele Jamiolkowski, Peter Sluszk, Giovanni Solari, Gianluca Valensise, Enzo Vullo, *The Messina Strait Bridge. A challenge and a dream*, Stretto di Messina S.p.A., 2009

Remo Calzona, *La ricerca non ha fine. Il Ponte sullo Stretto di Messina*, DEI Editore, 2008

Edoardo Caminiti, *Il fronte a mare di Messina Sud. Tra piano e progetto*. Volume 1 e 2, Roma, Aracne Editrice, 2012

Diego Cilio, Domenico Marino, Giovanni Miceli, Giuseppe Minniti, *L'attraversamento dello Stretto di Messina. Problemi e prospettive*, Editore Aiello & Martino 1989

Carlo Mancosu, *Il Ponte sullo Stretto. Rischi, dubbi, danni e verità nascoste*, Mancosu Editore 2010

Carlo Alberto Navone, *Passaggio sottomarino attraverso allo Stretto di Messina per unire in comunicazione continua il sistema stradale ferroviario siciliano alla rete della penisola. Progetto di massima*, Torino, Tipografia Carlo Favale e Compagnia, 1870

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Messina, *L'attraversamento dello Stretto di Messina*, Atti della mostra-convegno, giugno 1971

Alessio Pipinato, *Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation and Maintenance*, Edizioni Butterworth Heinemann, 2015

M. Savino, *Waterfront d'Italia- Piani, Politiche, Progetti*, Milano, Editore Franco Angeli, 2010



Regione Siciliana, *Piano di studi sullo Stretto di Messina per il collegamento della Sicilia con la Calabria - 1. Ricerche geologiche*, I.R.E.S. Palermo 1961

Eugene P. Trani, Donald E. Davis, *A Bridge to Somewhere. The Tragedy of the Messina Strait Bridge Project*, Editors Eugene P. Trani and Donald E. Davis, 2014

Giulio Trevisan, *Un ponte per lo Stretto di Messina*, Quaderno 2.71, Technital

Nello Vincelli, *Il problema dei trasporti nell'area dello Stretto. Storia e prospettive*, Edizione Editer 1982

## SITOGRAFIA

ASSOPORTI Associazione dei Porti Italiani, <https://www.assoporti.it/>

Autorità di sistema portuale dello Stretto, <http://www.porto.messina.it>

Camera dei deputati, <https://www.camera.it>, <http://legislature.camera.it>

CAFI - Collegio Amministrativo Ferroviario Italiano, <https://www.af-cafi.it/>

CIFI - Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, <http://www.cifi.it>

Commissione Europea, <https://ec.europa.eu>

Comune di Messina, <http://oldsite.comune.messina.it>

Dipartimento per la programmazione e il coordinamento della politica economica, <http://www.programmazioneeconomica.gov.it>

École polytechnique fédérale de Lausanne - EPFL, <https://actu.epfl.ch>

EUR-Lex - Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, <https://eur-lex.europa.eu>

FEDERMANAGER, <https://www.federmanager.it/>,

FIB | The International Federation for Structural Concrete, <https://www.fib-international.org/>

Gazzetta Ufficiale, <https://www.gazzettaufficiale.it>

Governo italiano, <https://www.governo.it/>

International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), <https://iabse.org/> , <https://www.e-periodica.ch/digbib/volumes?UID=bse-re-003>

International Tunneling and Underground Space Association (ITA-AITES), <https://www.ita-aites.org>, <https://cases.ita-aites.org/>, <https://library.ita-aites.org/>

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, <https://www.isprambiente.gov.it/>



Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, <https://mit.gov.it>

Ministero della Transizione Ecologica- Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali, <https://va.minambiente.it/>

Parlamento italiano, <https://www.parlamento.it/home>, <https://webtv.camera.it/homepage>  
Quirinale, <https://www.quirinale.it/>

Senato della Repubblica, <https://www.senato.it/>

Sicilia in Treno - Associazione di cultura e attività ferroviaria, <http://www.siciliaintreno.org/>

SILOS - Sistema Informativo Legge Opere Strategiche, <http://silos.infrastrutturestrategiche.it/>

Società Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A. <https://www.fsitaliane.it>  
<https://www.fsitaliane.it/content/fsitaliane/it/il-gruppo-fs/societa-del-gruppo.html>

Società Stretto di Messina S.p.A. in liquidazione <http://www.strettodimessina.it/>

Statens vegvesen - La Pubblica Amministrazione norvegese delle strade, <https://www.vegvesen.no>

Stretto di Messina S.p.A, <http://www.strettodimessina.it>

Structurae - International Database and Gallery of Structures, <https://structurae.net>

Wikipedia, <https://www.wikipedia.org>

Youtube, <https://www.youtube.com>

### **giornali, riviste, articoli online**

<https://www.canalesicilia.it>

<https://www.repubblica.it>

<http://www.lavoripubblici.it>

<https://www.sciencedirect.com>

<https://www.academia.edu>

<https://tunnelbuilder.it>

Eventuali involontarie violazioni dei vincoli che ne impedissero la riproduzione, qualora fosse richiesto, saranno tempestivamente prese in considerazione e tolte dal Quaderno.

Inoltre, si precisa che valutazioni e considerazioni contenute nel quaderno non sono da ascrivere a posizioni ufficiali dell'Aldai.

Segnalazioni di refusi, errori e simili, vanno inoltrate a [VisesMilano@Aldai.it](mailto:VisesMilano@Aldai.it).

**INDICE DELLE FIGURE**

<i>Figura 2-1 Carta planimetrica del progetto dell'ing. Carlo Navone relativo all'attraversamento ferroviario dello stretto di Messina mediante un tunnel sottomarino</i> .....	19
<i>Figura 2-2 Profilo longitudinale del progetto dell'ing. Carlo Navone</i> .....	20
<i>Figura 2-3 Carta planimetrica del progetto dell'ing. Federico Gabelli relativo all'attraversamento ferroviario dello stretto di Messina mediante un tunnel sottomarino (1882)</i> .....	21
<i>Figura 2-4 Profilo altimetrico dell'attraversamento ferroviario dello stretto di Messina mediante un tunnel sottomarino proposto dall'ing. Federico Gabelli (1882)</i> .....	22
<i>Figura 2-5 Il progetto dell'ing. Emerico Vismara (1921)</i> .....	24
<i>Figura 2-6 Atti del convegno sul "Ponte di Messina" e modello del ponte Steinman (1953)</i> .....	25
<i>Figura 2-7 Esplorazioni dei fondali e del sottofondo dello stretto di Messina effettuate nel 1955</i> .....	27
<i>Figura 2-8 Soluzioni di ponti studiate dal Gruppo Ponte di Messina (GPM)</i> .....	30
<i>Figura 2-9 Localizzazione dei ponti sospesi a una e a due campate studiati dalla SdM negli anni '80</i> .....	33
<i>Figura 2-10 Planimetria dei tracciati stradali e ferroviari in tunnel sottomarino ipotizzati dalla SdM</i> .....	41
<i>Figura 2-11 Profilo altimetrico del tracciato ferroviario in tunnel sottomarino ipotizzato dalla SdM</i> .....	42
<i>Figura 2-12 Localizzazione dei tunnel a mezz'acqua presi in considerazione dalla SdM</i> .....	43
<i>Figura 2-13 Tunnel a mezz'acqua stradale e ferroviario preso in considerazione dalla SdM</i> .....	44
<i>Figura 3-1 Carta marittima per lo stretto di Messina</i> .....	49
<i>Figura 3-2 L'Arco Calabro Peloritano nell'evoluzione tettonica del Mediterraneo centrale</i> .....	50
<i>Figura 3-3 Distanze tra le coste e profondità massima del fondo</i> .....	51
<i>Figura 3-4 Posizionamento del ponte a campata unica da 3.300 m – Sezione geologica</i> .....	51
<i>Figura 3-5 Mappa morfo-strutturale dello Stretto di Messina</i> .....	52
<i>Figura 3-6 Inquadramento geologico dello stretto di Messina</i> .....	54
<i>Figura 3-7 Interpretazione tettonica dello stretto di Messina</i> .....	55
<i>Figura 3-8 Sorgenti sismiche del terremoto del 28 dicembre 1908</i> .....	57
<i>Figura 3-9 La faglia responsabile del terremoto del 1908 mappata lungo l'asse dello Stretto di Messina</i> .....	58
<i>Figura 3-10 Indicazione relativa alla variabilità dei valori delle correnti marine dello Stretto</i> .....	59
<i>Figura 3-11 Mappa geologica e strutturale sintetica dell'area dello Stretto</i> .....	63
<i>Figura 4-1 Rotte delle "autostrade del mare" italiane (Short Sea Shipping)</i> .....	65
<i>Figura 4-2 - Area dei trasporti Suburbani della futura Città dello Stretto</i> .....	66
<i>Figura 4-3 Popolazione Area Metropolitana e Area Integrata dello Stretto</i> .....	72
<i>Figura 4-4 Corse marittime attraverso lo Stretto</i> .....	73
<i>Figura 4-5 Flotta Blu Jet – Navi Tindari Jet e Selinunte Jet</i> .....	74
<i>Figura 4-6 Servizi ferroviari Nazionali nell'area dello Stretto</i> .....	75
<i>Figura 4-7 Servizi Ferroviari Locali nell'area dello Stretto</i> .....	76
<i>Figura 4-8 Linee di pubblico trasporto nell'area dello Stretto</i> .....	77
<i>Figura 4-9 Messina Marittima-Porto storico</i> .....	78
<i>Figura 4-10 Messina Rada San Francesco</i> .....	78
<i>Figura 4-11 Villa S. Giovanni</i> .....	79



Figura 4-12 Reggio Calabria Porto .....	79
Figura 4-13 Reggio Calabria Aeroporto .....	80
Figura 4-14 Sicilia – Mobilità passeggeri per via aerea 1995-2019.....	81
Figura 4-15 Sicilia – Mobilità passeggeri via mare 1995-2019 .....	82
Figura 4-16 Sicilia – Mobilità passeggeri per via marittima 1995-2019 .....	83
Figura 4-17 Porto di Messina – Movimento passeggeri 1995-2019.....	84
Figura 4-18 Stretto di Messina – Mobilità passeggeri per via marittima 2016-2019 .....	85
Figura 4-19 Stretto di Messina – Mobilità passeggeri per via marittima – Andamento mensile 2016-2019...86	
Figura 4-20 Ripartizione modale domanda di mobilità interna province Messina e Reggio Calabria .....	88
Figura 4-21 Sicilia – Mobilità merci via mare 1998-2019 .....	91
Figura 4-22 Porto di Messina – Traffico merci 2002-2019.....	92
Figura 5-1 Forth Bridge (1890).....	94
Figura 5-2 Progetto norvegese di adeguamento della E39.....	95
Figura 5-3 Tipologie delle soluzioni di attraversamento stabile prese in considerazione.....	97
Figura 5-4 Tipologie di ponte.....	98
Figura 5-5 Le tre principali disposizioni dei cavi dei ponti strallati.....	99
Figura 5-6 Flessione di un ponte sospeso sottoposto a carichi pesanti come un treno.....	100
Figura 5-7 Flessione di un ponte ibrido (H.R.S.B.) sottoposto ad un carico ferroviario.....	100
Figura 5-8 Deformazioni del ponte per carico in movimento su una campata.....	100
Figura 5-9 Rion-Antirion Bridge e Chang-Tai Yangtze River Bridge .....	101
Figura 5-10 Differenti tipologie di piloni per ponti con sospensione laterale.....	101
Figura 5-11 Akashi Kaikyo Bridge e tipologie di impalcato .....	102
Figura 5-12 Impalcato ellittico chiuso a uno e a tre cassoni proposto nel 1990 per il ponte di Gibilterra.....	104
Figura 5-13 Impalcato aerodinamico chiuso del ponte Tsing Ma di Hong Kong.....	104
Figura 5-14 Lunghezze a confronto.....	105
Figura 5-15 Terzo Ponte sul Bosforo: impalcato.....	107
Figura 5-16 Terzo Ponte sul Bosforo: soluzione ibrida “Ponte sospeso e strallato” - H.R.S.B.....	107
Figura 5-17 Tsing Ma Bridge visto dalla penisola Ma Wan.....	108
Figura 5-18 Sezione del ponte Tsing Ma Bridge di Hong Kong .....	109
Figura 5-19 Minami Bisan-Seto Bridge .....	110
Figura 5-20 Hutong Yangtze River Bridge .....	110
Figura 5-21 Sezione longitudinale e trasversale dello Hutong Yangtze River Bridge.....	111
Figura 5-22 Wufengshan Yangtze River Bridge.....	112
Figura 5-23 Elemento modulare di impalcato del Wufengshan Yangtze River Bridge.....	112
Figura 5-24 Chang-Tai Yangtze River Bridge .....	113
Figura 5-25 Dimensioni dell'impalcato del ponte Chang-Tai.....	113
Figura 5-26 Hutong Yantze River Bridge – Tipica fondazione a cassone aperto .....	114
Figura 5-27 Hutong Yangtze River Bridge- Sequenza costruttiva di una fondazione a cassone aperto.....	115
Figura 5-28 Sutong Yantze River Bridge – Tipica fondazione su pali .....	115



Figura 5-29 Esempio di sistema di protezione da collisioni navali: “2nd Incheon Bridge, Korea” .....	116
Figura 5-30 Esempio di sistema di protezione da collisioni navali ipotizzato per il ponte di Gibilterra .....	116
Figura 5-31 Akashi Kaikyo Bridge .....	118
Figura 5-32 Fasi di realizzazione delle fondazioni dell’Akashi-Kaikyo Bridge .....	119
Figura 5-33 Sulafjorden Bridge – Progetto ponte a due campate con fondazioni a gravità di tipo GBS.....	120
Figura 5-34 Progetto del ponte a due campate per l’attraversamento del Sulafjorden .....	121
Figura 5-35 «1915 Çanakkale Bridge» .....	122
Figura 5-36 «1915 Çanakkale Bridge» (sezione trasversale e vista impalcato) .....	122
Figura 5-37 Fondazioni del «1915 Çanakkale Bridge».....	122
Figura 5-38 Fasi di realizzazione delle fondazioni del «1915 Çanakkale Bridge» .....	123
Figura 5-39 Le due fasi del tunneling: spingere in avanti e installare il rivestimento del tunnel .....	124
Figura 5-40 Giunti sismici nell’Eurasia tunnel di Istanbul.....	125
Figura 5-41 Giunti sismici installati nella galleria di Bolu .....	126
Figura 5-42 Lake Mead Tunnel .....	127
Figura 5-43 Tecniche e limiti di immersione.....	128
Figura 5-44 Sezione trasversale del tunnel subalveo Yangtze di Shanghai.....	131
Figura 5-45 Grande Tunnel di Istanbul – Tracciato planimetrico e altimetrico.....	132
Figura 5-46 Grande Tunnel di Istanbul – sezione trasversale .....	132
Figura 5-47 Tunnel Seikan – Profilo longitudinale.....	133
Figura 5-48 Tunnel Seikan - Imbocco della galleria .....	134
Figura 5-49 Channel Tunnel – Imbocco gallerie lato Francia .....	135
Figura 5-50 Channel Tunnel - galleria scavata sotto il fondo del Canale della Manica.....	135
Figura 5-51 Great Belt Fixed Link – Planimetria d’insieme .....	136
Figura 5-52 Great Belt Fixed Link – Galleria ferroviaria e by-pass .....	136
Figura 5-53 Ubicazione e profilo longitudinale tunnel sottomarino ferroviario Helsinki-Tallin.....	137
Figura 5-54 Tunnel sottomarino ferroviario Helsinki-Tallinn – Sezione trasversale .....	137
Figura 5-55 Tracciato (in rosso) del tunnel sottomarino ferroviario di Gibilterra. ....	138
Figura 5-56 Profilo longitudinale del tunnel sottomarino ferroviario di Gibilterra.....	139
Figura 5-57 Direttrici ipotizzate per realizzare ponti e/o tunnel tra la Scozia e l’Irlanda del Nord .....	140
Figura 5-58 Tunnel sottomarino ferroviario dello stretto di Bohai.....	141
Figura 5-59 Tokyo Bay Aqua-Line .....	142
Figura 5-60 Eurasia Tunnel.....	143
Figura 5-61 Boryeong Tunnel – Sezione e fronte di scavo.....	143
Figura 5-62 Boryeong Tunnel – Sezione longitudinale.....	144
Figura 5-63 Laerdal Tunnel.....	144
Figura 5-64 Sezione longitudinale e mappa del Ryfylke Tunnel .....	145
Figura 5-65 Penang Undersea Tunnel.....	146
Figura 5-66 Rogfast Tunnel.....	147
Figura 5-67 Rogfast Tunnel – Svincolo Kvitsøy .....	148



Figura 5-68 Rogfast Tunnel – Sezione trasversale .....	148
Figura 5-69 Tipologie di ancoraggio dei tunnel sommersi a mezz'acqua (SFT).....	150
Figura 5-70 KAIST - SFT – Ipotesi di realizzazione di SFT nel mondo .....	150
Figura 5-71 Prospetto e planimetria del progetto del 1984-1988 Società Ponte di Archimede .....	152
Figura 5-72 Tunnel sommerso progetto ENI 1993 – Planimetria .....	153
Figura 5-73 Tunnel sommerso progetto ENI 1993 – Sezione tunnel ferroviario .....	154
Figura 5-74 Tunnel sommerso progetto Bjornafjord 2016 – Sezione tunnel stradale .....	156
Figura 5-75 Attraversamento del lago di Lemano .....	158
Figura 5-76 Particolari costruttivi del tunnel SFTB nel Lago Lemano .....	159
Figura 5-77 Procedura costruttiva per la realizzazione del tunnel SFTB nel Lago Lemano.....	159
Figura 6-1 Concorso di idee 1969 – Progetti Musmeci e Nervi.....	160
Figura 6-2 Sezione longitudinale .....	161
Figura 6-3 Sezione di impalcato del ponte – Progetto Preliminare 2002.....	163
Figura 6-4 Sezione di impalcato del ponte – Progetto Definitivo 2010.....	163
Figura 6-5 Strutture di emergenza sull'impalcato del ponte – Progetto Definitivo 2010.....	166
Figura 6-6 Collegamenti ferroviari e stradali del ponte a campata unica 3300 m.....	167
Figura 6-7 Rete dei collegamenti ferroviari con l'attraversamento stabile dello Stretto.....	168
Figura 6-8 Collegamento ferroviario lato Sicilia.....	170
Figura 6-9 Area della nuova stazione Ponte (o Gazzi) e mappa della galleria Peloritani.....	171
Figura 6-10 Sezioni tipo galleria ferroviaria linea doppia canna singolo binario lato Sicilia.....	171
Figura 6-11 Fermata Europa – ubicazione e pianta schematica.....	172
Figura 6-12 Stazioni Annunziata e Papardo – ubicazione e pianta schematica .....	172
Figura 6-13 Sezione trasversale in banchina fermata Europa .....	173
Figura 6-14 Sezione trasversale in banchina stazioni Annunziata e Papardo .....	173
Figura 6-15 Proposta Italferr per la stazione Ponte in località Maregrossa .....	174
Figura 6-16 Opere ferroviarie propedeutiche e compensative proposte dal Comune di Messina .....	175
Figura 6-17 Comune di Messina – Aree di interesse del PIAU.....	177
Figura 6-18 Comune di Messina - Masterplan del waterfront - Progetto MBM Acquitectes 2009 . .....	178
Figura 6-19 Collegamento ferroviario lato Calabria.....	180
Figura 6-20 Sezioni tipo galleria ferroviaria linea doppia canna singolo binario lato Calabria.....	181
Figura 6-21 Profilo altimetrico di massima del tracciato ferroviario del ponte a campata unica .....	181
Figura 6-22 Tracciato ferroviario di massima del ponte a campata unica .....	182
Figura 6-23 Schema dei collegamenti marittimi nello Stretto nello scenario di progetto .....	183
Figura 6-24 Servizi Ferroviari Locali dello Stretto (riferimento orario Trenitalia ottobre 2010) .....	184
Figura 6-25 Servizi ferroviari locali ipotizzati dopo il completamento dei lavori del Ponte.....	185
Figura 6-26 Servizi ferroviari a lunga percorrenza tramite navi traghetto attuali e dopo il completamento dei lavori del Ponte.....	185
Figura 6-27 Servizi ferroviari merci relativi al traffico combinato.....	186
Figura 6-28 Sezione tipo galleria stradale carreggiata monodirezionale standard .....	187



Figura 6-29 Sezione tipo galleria stradale carreggiata monodirezionale con piazzola di sosta.....	188
Figura 6-30 Tracciato del collegamento autostradale all'opera di attraversamento lato Sicilia .....	189
Figura 6-31 Opere stradali propedeutiche e compensative proposte dal Comune di Messina .....	191
Figura 6-32 Profilo altimetrico di massima del tracciato stradale del ponte a campata unica .....	192
Figura 6-33 Opere stradali propedeutiche e compensative proposte dal Comune di Messina .....	193
Figura 6-34 Il collegamento ferroviario (Railways) completato tramite il collegamento navale .....	197
Figura 6-35 Il collegamento stradale (Roads) da realizzare tramite il ponte a campata unica .....	197
Figura 7-1 Soluzioni Gruppo Ponte di Messina / Calini-Montuori-Pavlo / Lambertini.....	201
Figura 7-2- Schema di massima di un ponte H.R.S.B. in corrispondenza della Sella - Prospetto.....	203
Figura 7-3- Schema di massima di un ponte H.R.S.B. in corrispondenza della Sella – Dettaglio campata..	203
Figura 7-4 Ponte strallato a tre campate con evidenziate le curve batimetriche.....	204
Figura 7-5 Ponte strallato a tre campate – Particolare della campata laterale .....	204
Figura 7-6 Ponte a tre campate– Vista da Villa San Giovanni .....	205
Figura 7-7 Ponte strallato a tre campate – Vista da Messina .....	206
Figura 7-8 Ponte a tre campate – Vista estremità lato Sicilia .....	206
Figura 7-9 Ipotesi di ponte ibrido multicampata .....	208
Figura 7-10 Sezione dell'impalcato del ponte ibrido multicampata ad unico piano.....	208
Figura 7-11 Gruppo Ponte di Messina / Gruppo Calini-Montuori-Pavlo .....	209
Figura 7-12 Ponte Tsing Ma – Concio di impalcato.....	210
Figura 7-13 Ponte Tsing Ma – Vista e sezioni trasversali.....	210
Figura 7-14 Ponte sospeso multicampata.....	211
Figura 7-15 Ipotesi di ponte sospeso multicampata con impalcato a due piani.....	212
Figura 7-16 Ipotesi di fondazioni GBS mutate dal Rion Antirion Bridge e dall'Akashi-Kaikyo Bridge .....	213
Figura 7-17 Possibili tracciati ferroviari, tranviari e metropolitani da realizzare a Messina .....	215
Figura 7-18 Ipotesi di Terminal Intermodale Contesse e stazione merci Pistunina-Tremestieri.....	216
Figura 7-19 Porto di Tremestieri e ipotesi di Terminal Intermodale e stazione merci .....	217
Figura 7-20 Porto di Tremestieri.....	218
Figura 7-21 Servizi di trasporto urbano attivi della città metropolitana di Messina .....	219
Figura 7-22 Nuova Gronda merci, stazione Messina Maregrossso e fermata Messina Centro .....	220
Figura 7-23 Tracciato compreso tra la stazione di Messina Maregrossso e la fermata di Messina Centro....	221
Figura 7-24 Collegamento ferroviario del ponte a 3 campate – Stazioni Annunziata e Papardo.....	222
Figura 7-25 Ponte a più campate – Tracciati ferroviari- Planimetria .....	223
Figura 7-26 Mappa geologica dell'area dello Stretto con il tracciato di massima del ponte a più campate..	224
Figura 7-27 Ponte a più campate -Tracciato ferroviario ramo Cannitello Sud – .....	225
Figura 7-28 Ipotesi tracciato ferroviario del ponte a più campate .....	226
Figura 7-29 Ponte a più campate -Tracciato ferroviario da Messina a Gioia Tauro.....	227
Figura 7-30 Mappa dei collegamenti ferroviari relativa alla realizzazione del ponte a più campate .....	228
Figura 7-31 Ipotesi di Servizio ferroviario metropolitano dello Stretto con il ponte a più campate.....	229
Figura 7-32 Ipotesi di Servizio ferroviario interregionale dello Stretto tramite il ponte a più campate.....	231



<i>Figura 7-33 Collegamento fermata ferroviaria Aeroporto-Aerostazione aeroporto Minniti .....</i>	<i>233</i>
<i>Figura 7-34 Ipotesi di localizzazione di nuovi impianti ferroviari a Saline Joniche .....</i>	<i>234</i>
<i>Figura 7-35 Ponte a più campate - Tracciato autostradale – Caratteristiche plano-altimetriche .....</i>	<i>235</i>
<i>Figura 7-36 Svincolo autostradale Curcuraci .....</i>	<i>236</i>
<i>Figura 7-37 Area di valico possibile per gallerie sottomarine (Sella dello Stretto) .....</i>	<i>237</i>
<i>Figura 7-38 Esempi di tunnel sottomarini ferroviario e stradale .....</i>	<i>238</i>
<i>Figura 7-39 Tunnel sottomarino – Tracciato ferroviario – Planimetria e dati d'insieme .....</i>	<i>241</i>
<i>Figura 7-40 Mappa geologica dell'area dello Stretto con il tracciato di massima del tunnel sottomarino.....</i>	<i>242</i>
<i>Figura 7-41 Tunnel sottomarino tracciato ferroviario – Caratteristiche plano-altimetriche .....</i>	<i>242</i>
<i>Figura 7-42 Tunnel sottomarino – Tracciato ferroviario ramo Reggio Calabria .....</i>	<i>243</i>
<i>Figura 7-43 Ipotesi tracciato ferroviario del tunnel sottomarino .....</i>	<i>244</i>
<i>Figura 7-44 Tunnel sottomarino -Tracciato ferroviario da Messina a Gioia Tauro.....</i>	<i>245</i>
<i>Figura 7-45 Tunnel sottomarino: tracciato ferroviario in Sicilia .....</i>	<i>245</i>
<i>Figura 7-46 Linea ferroviaria Messina-Catania - Ascensori nuova fermata di Taormina .....</i>	<i>246</i>
<i>Figura 7-47 Tunnel sottomarino – tracciato ferroviario in Calabria .....</i>	<i>247</i>
<i>Figura 7-48 Mappa dei collegamenti ferroviari relativa alla realizzazione del tunnel sottomarino .....</i>	<i>248</i>
<i>Figura 7-49 Alcuni dati caratteristici del tracciato autostradale del tunnel sottomarino.....</i>	<i>252</i>
<i>Figura 7-50 Localizzazione dell'inizio del tunnel autostradale sottomarino in località Pace (ME) .....</i>	<i>253</i>
<i>Figura 7-51 Localizzazione dell'inizio del tunnel autostradale sottomarino in località Catona (RC) .....</i>	<i>253</i>
<i>Figura 7-52 Proposta Grant concorso di idee 1969.....</i>	<i>254</i>
<i>Figura 7-53 Ipotesi sezione SFT a due canne stradali e ferroviarie monodirezionali.....</i>	<i>256</i>
<i>Figura 7-54 Ipotesi di tunnel sommerso su colonne tra Ganzirri e Villa San Giovanni.....</i>	<i>257</i>
<i>Figura 7-55 Ipotesi di sezione in corrispondenza dei piloni, giunto antisismico e fondazioni .....</i>	<i>258</i>
<i>Figura 7-56 Ipotesi di localizzazione del tunnel alveo tra la Zona Falcata e Villa San Giovanni .....</i>	<i>259</i>
<i>Figura 7-57 SFTB progettati dalla Statens Vegvesen .....</i>	<i>260</i>
<i>Figura 7-58 SFT Zona Falcata-Villa San Giovanni- Ancoraggio mediante tiranti (tethers).....</i>	<i>260</i>
<i>Figura 7-59 Tunnel alveo tra Ganzirri e Villa S.G.- Tracciato ferroviario – Planimetria.....</i>	<i>261</i>
<i>Figura 7-60 Mappa geologica con il tracciato di massima del tunnel alveo su colonne .....</i>	<i>262</i>
<i>Figura 7-61 Tunnel alveo tra Ganzirri e Villa S.G.– Tracciato ferroviario ramo Cannitello Sud.....</i>	<i>262</i>
<i>Figura 7-62 Ipotesi tracciato ferroviario del tunnel alveo sulla Sella .....</i>	<i>263</i>
<i>Figura 7-63 Mappa dei collegamenti ferroviari relativa alla realizzazione del tunnel alveo sulla Sella .....</i>	<i>264</i>
<i>Figura 7-64 Possibile tracciato ferroviario dell'attraversamento tramite SFTB tra Z. Falcata e Villa S. G. ...</i>	<i>268</i>
<i>Figura 7-65 Tunnel alveo – Tracciato ferroviario – Caratteristiche plano-altimetriche .....</i>	<i>268</i>
<i>Figura 7-66 SFT Zona Falcata-Villa S.G. - Ipotesi di allaccio stradale e ferroviario in Sicilia.....</i>	<i>269</i>
<i>Figura 7-67 Ipotesi di variante della galleria ferroviaria dei Peloritani .....</i>	<i>270</i>
<i>Figura 7-68 Ipotesi di sezione della nuova stazione di Messina Centrale .....</i>	<i>270</i>
<i>Figura 7-69 Ipotesi tracciato ferroviario del tunnel alveo tra Zona Falcata e Concessa.....</i>	<i>271</i>
<i>Figura 7-70 Mappa dei collegamenti ferroviari relativa al tunnel alveo tra la Zona Falcata e Concessa .....</i>	<i>272</i>
<i>Figura 7-71 Ipotesi di Servizio ferroviario metropolitano con il tunnel alveo tra la Z. Falcata e Concessa ...</i>	<i>273</i>



Figura 7-72 Ipotesi di Servizio ferroviario interregionale con il tunnel alveo tra la Z. Falcata e Concessa ...	275
Figura 7-73 Tunnel alveo – tracciato autostradale – Caratteristiche plano-altimetriche.....	277
Figura 7-74 Possibile tracciato stradale del tunnel in alveo tra Zona Falcata e Villa S. Giovanni .....	278
Figura 7-75 Tunnel alveo - Tracciato stradale - Caratteristiche plano-altimetriche.....	279
Figura 7-76 Ipotesi tracciato Via del Mare (da Gazzi -via La Farina a Messina Marittima-Zona Falcata).....	280
Figura 8-1 Tracciato ferroviario urbano del ponte a campata unica.....	284
Figura 8-2 Confronto tra la localizzazione delle stazioni e fermate ferroviarie previste nel progetto del Ponte a campata unica con quelle ipotizzate per le soluzioni alternative .....	285
Figura 9-1 Schema fasi tradizionali di realizzazione galleria .....	297
Figura 9-2 Costi annui di esercizio e manutenzione - Ponti scandinavi e stima Ponte Stretto di Messina ...	308
Figura 10-1 Traghetti ferroviari: Messina (2013) e Riace (1983) .....	312
Figura 10-2 Nave traghetto ferroviario merci Garibaldi.....	315
Figura 10-3 Invasature di Messina e Villa San Giovanni .....	316
Figura 10-4 Terminal traghetti ferroviari Puttgarden.....	318
Figura 10-5 Terminal traghetti ferroviari Puttgarden e Rodby.....	318
Figura 10-6 Lunghezza dei binari interni ai traghetti del Gruppo FS in servizio nello stretto di Messina .....	321
Figura 10-7 Ipotesi di Frecciarossa 1000 riprogettato per viaggiare in composizione multipla .....	322
Figura 10-8 Traghetto ferroviario Skane .....	323
Figura 10-9 Dettagli degli invasi e dei rivestimenti protettivi interni.....	326
Figura 10-10 Ponte mobile di sbarco / imbarco.....	327
Figura 10-11 E-ferry Ellen e stazione di ricarica batterie .....	328
Figura 10-12 Costo complessivo cumulato (€) investimento (inclusa infrastruttura) e operativo annuo .....	329
Figura 10-13 Ferry Aurora af Helsingborg .....	330
Figura 10-14 Schema di funzionamento della banchina elettrificata .....	331
Figura 10-15 Porti nordamericani in cui sono o saranno disponibili banchine elettrificate .....	332
Figura 11-1 Reti Trans-europee (TEN-T).....	334
Figura 11-2 Interventi PON Infrastrutture e Reti 2014-2020 .....	336
Figura 11-3 Itinerario AV Salerno-Reggio Calabria - alternativa “autostradale”.....	340
Figura 11-4 Lotto 6 Gioia Tauro-Villa S. Giovanni della nuova linea AV/AC Salerno-Reggio Calabria .....	341
Figura 11-5 Reggio Calabria – Abbassamento piano binari ed intubamento tratto urbano.....	342
Figura 11-6 Tracciati ferroviari spostamento a monte tratto urbano linea costiera a Reggio Calabria .....	342
Figura 11-7 Raddoppio in variante della ferrovia tra Giampilieri e Fiumefreddo.....	344
Figura 11-8 Total transit times (Asian port ofloading to European inland destination).....	346