



**Project Automation**  
Ingegneria dei sistemi



## Telediagnostica di impianti tramviari: primi risultati e prospettive del test pilota presso GTT

Ing.G.Dasso - GTT - Dirigente responsabile tranvie

Ing.T.Barbarino - GTT - Responsabile manutenzione tranvie

Ing.R Moro -Project Automation Marketing

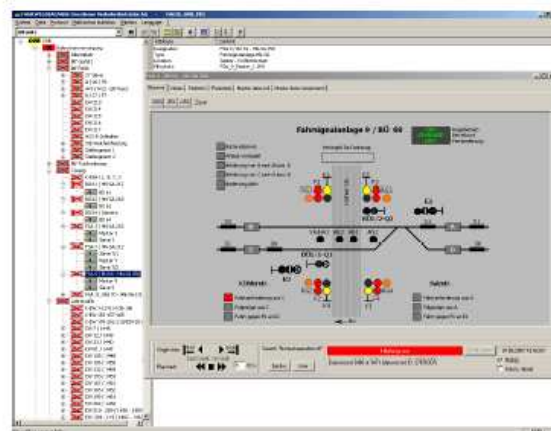


# Sistema di diagnostica di linea FADIS ®

## Operating manual

FADIS

Route diagnosis system



Version 1.1

Date of compilation: 05.02.2008



## Il trend nella gestione degli impianti di trasporto pubblico

Informatizzazione dei processi di produzione e manutenzione

tecniche innovative di manutenzione

Necessità di “condensare” la valutazione di risultato

Strumenti SW di analisi

Modelli on condition

Modelli predittivi

Modelli “Reliability Centered Maintenance” (RCM)

Key Performance Indicator



## Obiettivi principali di un sistema di diagnostica

Garantire **SICUREZZA** a livello di “processo produttivo” oltre che a livello di tecnologie d’impianto

Garantire l’**ECONOMIA** di gestione ed il miglior utilizzo delle risorse tecniche ed umane



## Requisiti di prodotto

1. supporto di assistenza e formazione tecnica post-vendita

2. Possibilità di operare on-line, accesso anche da postazione di lavoro mobile

3. Adattabilità all'organizzazione ed ai metodi di manutenzione in atto



## In Prospettiva

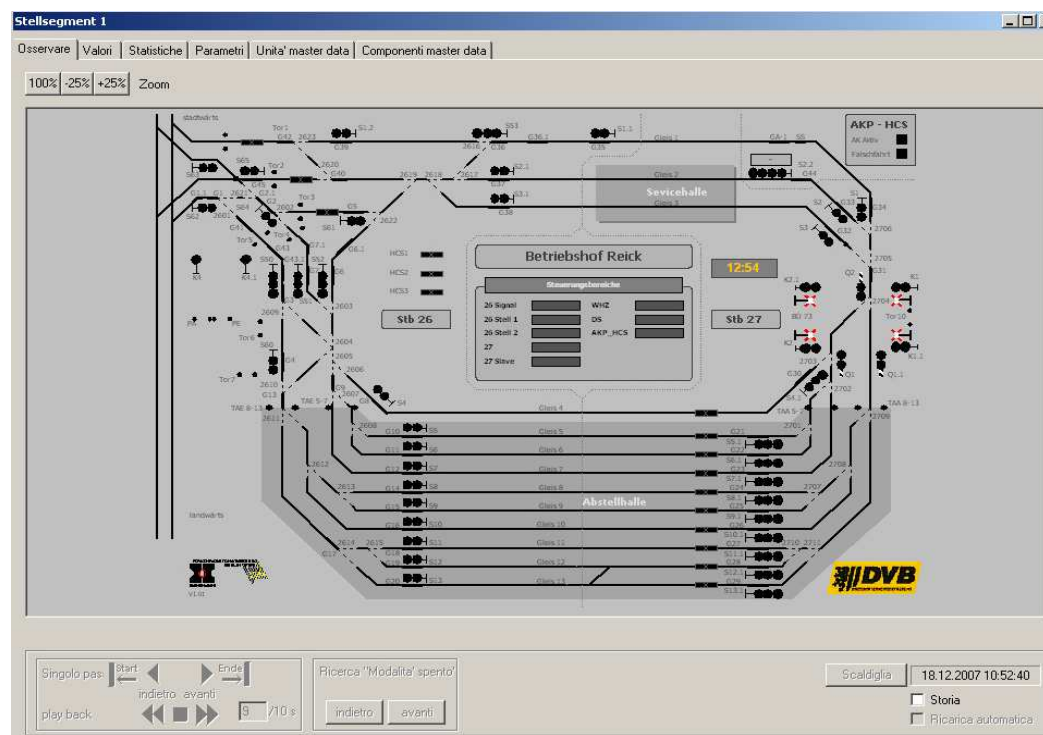
Nuove funzioni di Asset management dell'infrastruttura tramviaria

Nuove funzioni di gestione della base dati dell'infrastruttura, tracciabilità e storia dei guasti e delle riparazioni

Nuove funzioni di analisi tecnica, pianificazione, progettazione, collaudo



# Monitoraggio continuo delle funzionalità





# Monitoraggio funzionale

EW 165 / 1452

Osservare | Valori | Statistiche | Parametri | Unita' master data | Componenti master data

△ Punto di dati	Valore	Unita' di misura	Oggetto	Stato	Tipo
Auffahrvorgaenge	0		EW_165.COUNTER_AUFFAHRT.auffahrvorgaenge	0	7017
dynamische Kraft links	---	kN	EW_165.FORCE_SENSOR.dynamische_kraft_links	0	7003
dynamische Kraft rechts	---	kN	EW_165.FORCE_SENSOR.dynamische_kraft_rechts	0	7003
Endlage links	---	mm	EW_165.DISTANCE_SENSOR.endlage_links	0	7004
Endlage rechts	---	mm	EW_165.DISTANCE_SENSOR.endlage_rechts	0	7004
statische Kraft links	---	kN	EW_165.FORCE_SENSOR.statische_kraft_links	0	7003
statische Kraft rechts	---	kN	EW_165.FORCE_SENSOR.statische_kraft_rechts	0	7003
Stellvorgaenge	0		EW_165.COUNTER_STELLVORGANG.stellvorgaenge	0	7016
Umstellzeit	0	ms	EW_165.SWITCHINGOVER_DURATION.umstellzeit	0	7013

**Funzione Play back**

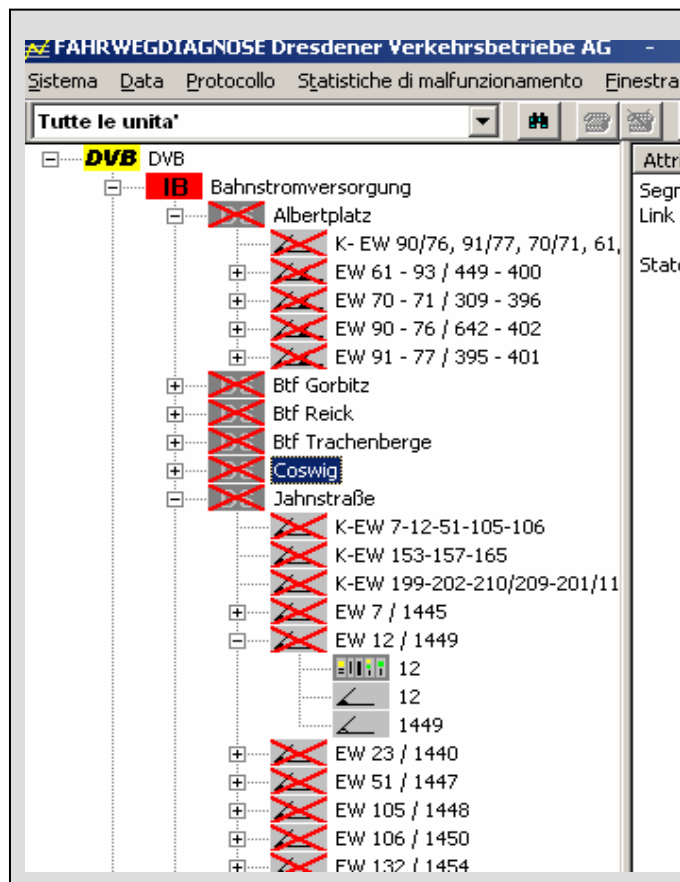
Singolo pas: | Start | Ende |  
                  |<|>|  
                  indietro avanti  
play back   <<|>> | 9 / 10 s

Storia  
 Ricarica automatica





## Rappresentazione strutturata degli impianti



Rappresentazione ad albero:

Area

Nodo

impianto

componente



## Programmazione delle soglie di attenzione ed allarme

EW 7 / 1445

Osservare | Valori | Statistiche | Parametri | Unita' master data | Componenti master data

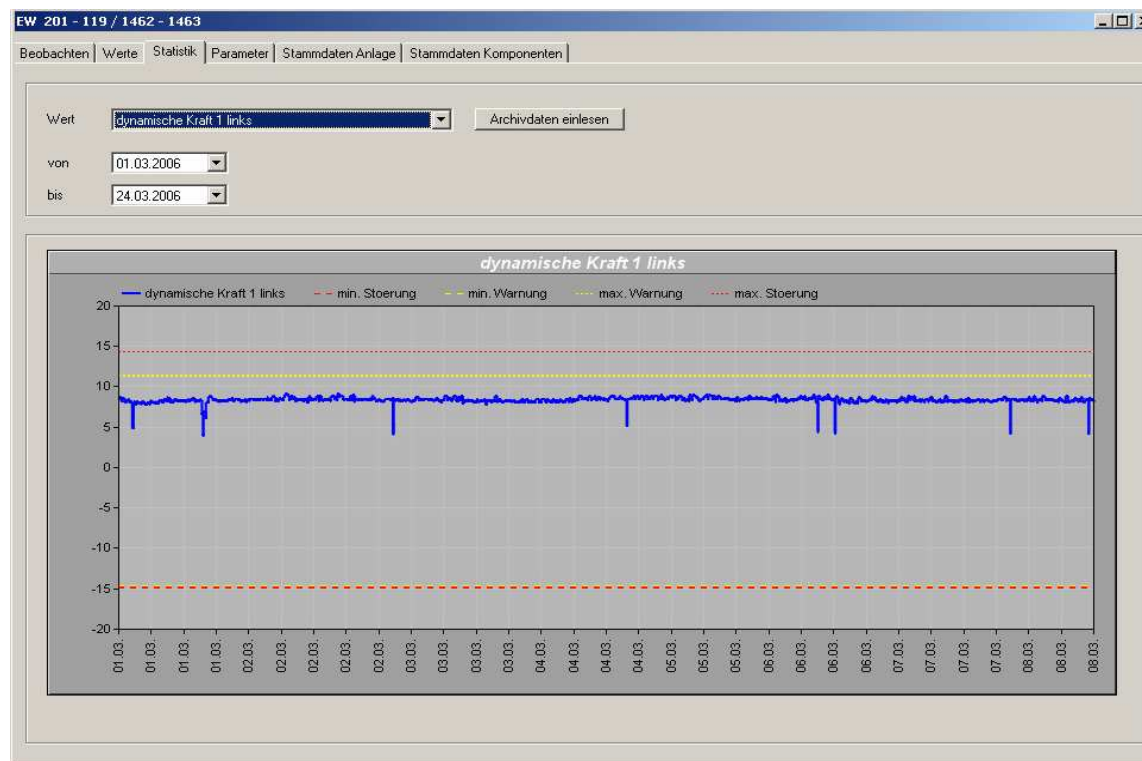
Parametri	Malfunzion...	malfunzionament...	Warning min.	Warning min. - nu...	Warning max.	Warning ...	Malfunzion..	malfunzio...	Unita' di ...	Oggetto
Auffahrvorgaenge					0		0			EW_7.C...
dynamische Kraft links	0.0		0.0		0.0		0.0		kN	EW_7.F...
dynamische Kraft rechts	0.0		0.0		0.0		0.0		kN	EW_7.F...
Endlage links	0.0		0.0		0.0		0.0		mm	EW_7.DI...
Endlage rechts	0.0		0.0		0.0		0.0		mm	EW_7.DI...
statische Kraft links	0.0		0.0		0.0		0.0		kN	EW_7.F...
statische Kraft rechts	0.0		0.0		0.0		0.0		kN	EW_7.F...
Stellvorgaenge					0		0			EW_7.C...
Umstellzeit					0		0			EW_7.S...

Trasmettere la configurazione

Annulla



## Presentazione delle registrazioni



esempio di registrazione: "forza dinamica di azionamento"



## Messaggi di errore

Segnalata Data / ora	(da) Nome risp. DC - online	Unita'	Warning/malfunzionamento	Compone...	Nome Trasmissione	Trasmissione Data/ora	Risposta Nome	Risposta Data/ora	Caratteri...	o.k.	Protocollo
07.01.2008 ...	Btf Gorbitz	A / 24 / F4	Modalita' normale spenta	Steuerun...							
10.01.2008 ...	Btf Trachenbe...	21 / F1	Modalita' normale spenta	Steuerun...							
10.01.2008 ...	Btf Trachenbe...	21 / F1		Verbindu...						1...	
10.01.2008 ...	Btf Trachenbe...	21 / F1		Verbindu...						1...	
10.01.2008 ...	Btf Trachenbe...	21 / F1		Verbindu...						1...	
10.01.2008 ...	Btf Trachenbe...	21 / F1		Verbindu...						1...	
10.01.2008 ...	Btf Trachenbe...	21 / F1		Verbindu...						1...	
10.01.2008 ...	Btf Trachenbe...	21 / F1		Verbindu...						1...	
10.01.2008 ...	Btf Trachenbe...	21 / F1		Verbindu...						1...	
07.01.2008 ...	Btf Gorbitz	A / 24 / F4		Projektra...							
10.01.2008 ...	Btf Trachenbe...	21 / F1		Verbindu...						1...	

Nuovo  solo rapporti correnti Cancellla Protocollo



# Protocollo di archiviazione cause di guasto

**Protocollo nei rapporti degli errori**

Protocollo di malfunzionamento

Btf - Steuerung A / 24 / F4 07.01.2008 14:45:59

Numero di protocollo: 2008 - 00123

<b>Außenanlage</b>	<input type="checkbox"/> Kommunikationsfehler
<input type="checkbox"/> Besonderes	<input checked="" type="checkbox"/> Netzgerät
<input type="checkbox"/> Fehlbedienung	<input type="checkbox"/> Output-Stufe
<input type="checkbox"/> Fehlmeldung	<input type="checkbox"/> Reset (Neustart)
<input type="checkbox"/> HCS.....nicht aktiviert	<input type="checkbox"/> Schaltschütz
<input type="checkbox"/> HFK.....nicht aktiviert	<input type="checkbox"/> Si (Autom.-Fein-,Mastsich.)
<input type="checkbox"/> HFP.....nicht aktiviert	<input type="checkbox"/> Software/Betriebssystem/Datensammler
<input type="checkbox"/> Kabelfehler	<input type="checkbox"/> STÜ
<input type="checkbox"/> Schadwagen	<input type="checkbox"/> SVS
<input type="checkbox"/> Signal	<input type="checkbox"/> USV
<input type="checkbox"/> Ziehschächte	
<input type="checkbox"/> Zungenbettverunreinigung	<b>Stellvorrichtung</b>
	<input type="checkbox"/> Anschlusskasten
<b>Steuerung</b>	<input type="checkbox"/> Dämpfung
<input type="checkbox"/> Ablauffehler / reset	<input type="checkbox"/> Endlagenüberwachung
<input type="checkbox"/> Achskurzschlußprüfgerät	<input type="checkbox"/> Erdkasten
<input type="checkbox"/> Akku-Stufe	<input type="checkbox"/> Gestänge
<input type="checkbox"/> Anschlüsse	<input type="checkbox"/> HW 60
<input type="checkbox"/> AW - Anwahlstation	<input type="checkbox"/> Kernzugmagnet
<input type="checkbox"/> CPU (Fehlermeldung _ _ _ _)	<input type="checkbox"/> Mechanik
<input type="checkbox"/> FADIS (Modem, Spleisbox, Olm)	<input type="checkbox"/> Näherungsschalter, Zungenprüfer
<input type="checkbox"/> Fehlschaltung	<input type="checkbox"/> Stellhebel, Stelltaschenschalter
<input type="checkbox"/> HCS- Prüfgerät	
<input type="checkbox"/> HCS/Vetag-System	<b>Weichenheizung</b>
<input type="checkbox"/> HFK-Geber/Empfänger	<input type="checkbox"/> Heizstab.....
<input type="checkbox"/> HFP-Geber/Empfänger	<input type="checkbox"/> Schaltschütze
<input type="checkbox"/> HGW	<input type="checkbox"/> Stromanzeiger
<input type="checkbox"/> HN-P / Bus Störung	<input type="checkbox"/> Stromversorgung/Si
<input type="checkbox"/> IFC-Stufe	<input type="checkbox"/> Temperaturfühler
<input type="checkbox"/> Input-Stufe	

OK    Stampa    Annulla



## Statistica sulle cause di guasto

Report Statistiche di malfunzionamento

Seitenansicht

Ursache	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
Fehlmeldung										1		1	2
Zungenbetverunreinigung											1		1
Ablauffehler / reset									1	1			2
CPU (Fehlermeldung _ _ _ _)									1				1
Kommunikationsfehler											1	2	3
WS autom. Freigabe									1		1	8	10
dyn./stat. Kraft												2	2
<b>Summe</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>21</b>

Selezionare la stampante    Stampa della pagina corrente    Chiudi

Report tipo 1: cause di guasto in impianto



## Statistica annuale

Selenansicht

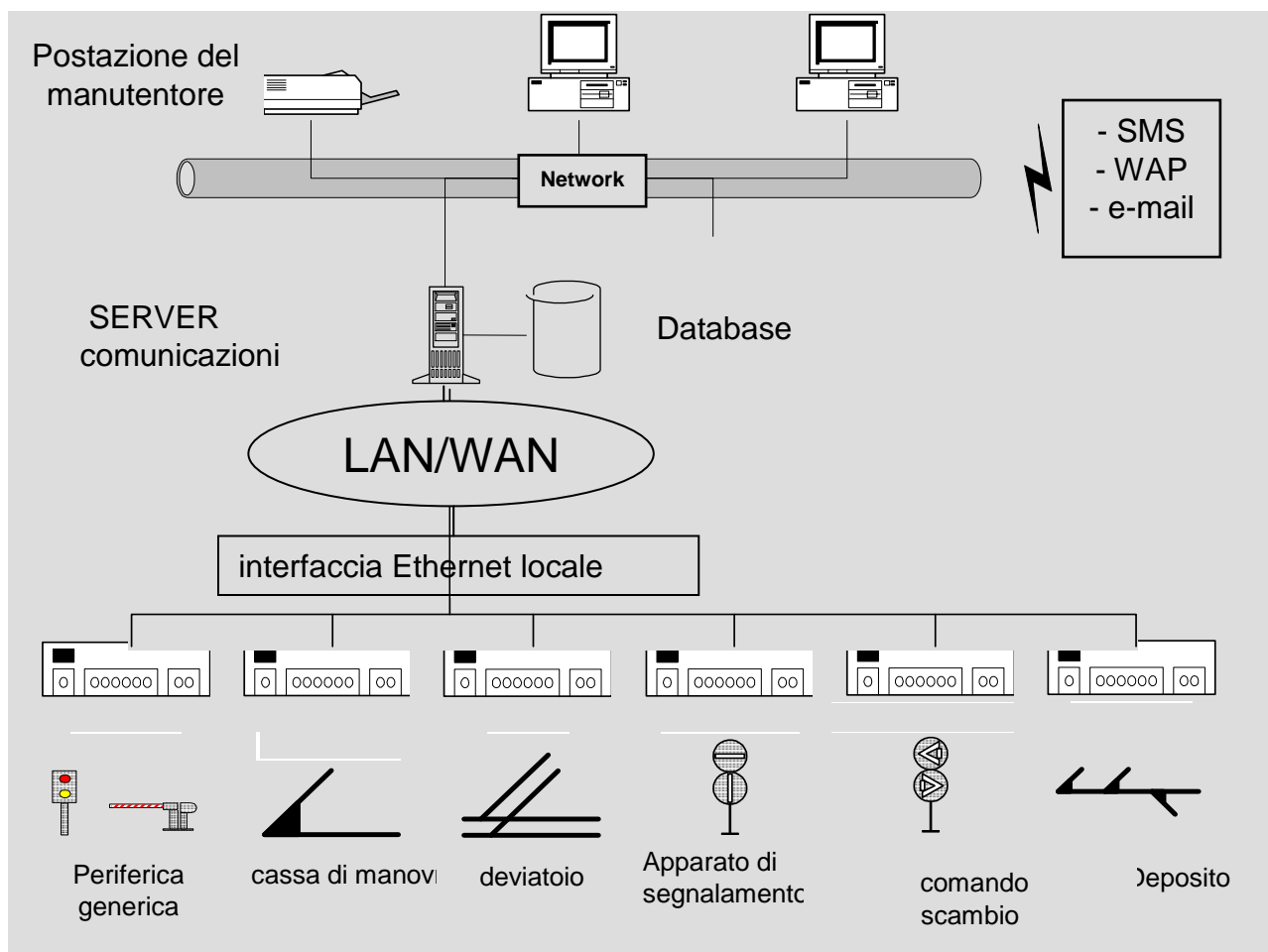
Antage	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
21 / F1	3		5	1	1	4	3		2	1	1		21
27 Slave										2			2
A / 24 / F4	3	3			5	10	4	6		1			32
A / 26 / F6									4	5	1		10
B / 25 / F5	1		2		4		2						9
B / 27 / F7									1	5			6
BÜ 61 / HN-SA 217		1	1		1	4	3		3	1			14
BÜ 62 / HN-SA 218		1	1		2	2	2		3	1			12
BÜ 64 / Siemens	1				3	2							6
BÜ 66 Huber		1	2				2	1					6
BÜ 67 Huber							1						1
BÜ 74 Siemens	1												1
C / 23 / F3	5	2		1	4	2	2	1		5	1		23
EW 1 / 1343										2			2
EW 2 - 3 / 1503	2		1	2		5			1	2			13
EW 4 - 60 / 1499 - 1500	2				1			2			1		6
EW 6 / 1846					1	1		1					3
EW 7 / 1445	19	21	6	5	10	10	7	24	11	5			118
EW 8 / 443 - 1049	2												2
EW 9 / 1111	8	8	9	6	2		1		1	4			39
EW 10 / 1447	5	1	6	3			1			1			17
EW 11 / 453	1		1							2			4
EW 12 / 1449	19	18	13	10	17	19	10	27	12	8			153
EW 13 / 1113	6	4	2	2	1				1	1			17
EW 14 / 1191				2	1	2	1		4				10
EW 15 / 735	1	1						1					3

Scelezionare la stampante   Stampa della pagina corrente   Chiudi

Report tipo 2: riepilogo generale nr.guasti  
sull'intera rete



## Rete di Telediagnostica







## La sperimentazione GTT



- Realizzare uno schema completo di **tele-diagnostica** tramite connessione su rete aziendale GTT di un impianto prototipo di radiocomando scambi.
- Connessione remota via VPN (virtual private network) a una postazione esterna fissa o mobile di **tele-assistenza**.



## Programma di verifiche e validazioni

- Valutazione e validazione dei segnali osservati per tipo e completezza ai fini diagnostici

- ❖ Forze, corse e misura di battuta nella **CASSA DI MANOVRA**, allarme livello olio nel circuito di azionamento allarme infiltrazione acqua

- ❖ numero e tempi di azionamenti nel **CONTROLLORE**, eventi segnalati dalla logica di sicurezza dell'apparato di comando scambi

- Test funzionale e validazione dello schema di intervento, dell'organizzazione strutturata dei dati, di alcuni metodi di analisi applicabili

- Definizione di indicatori di prestazione

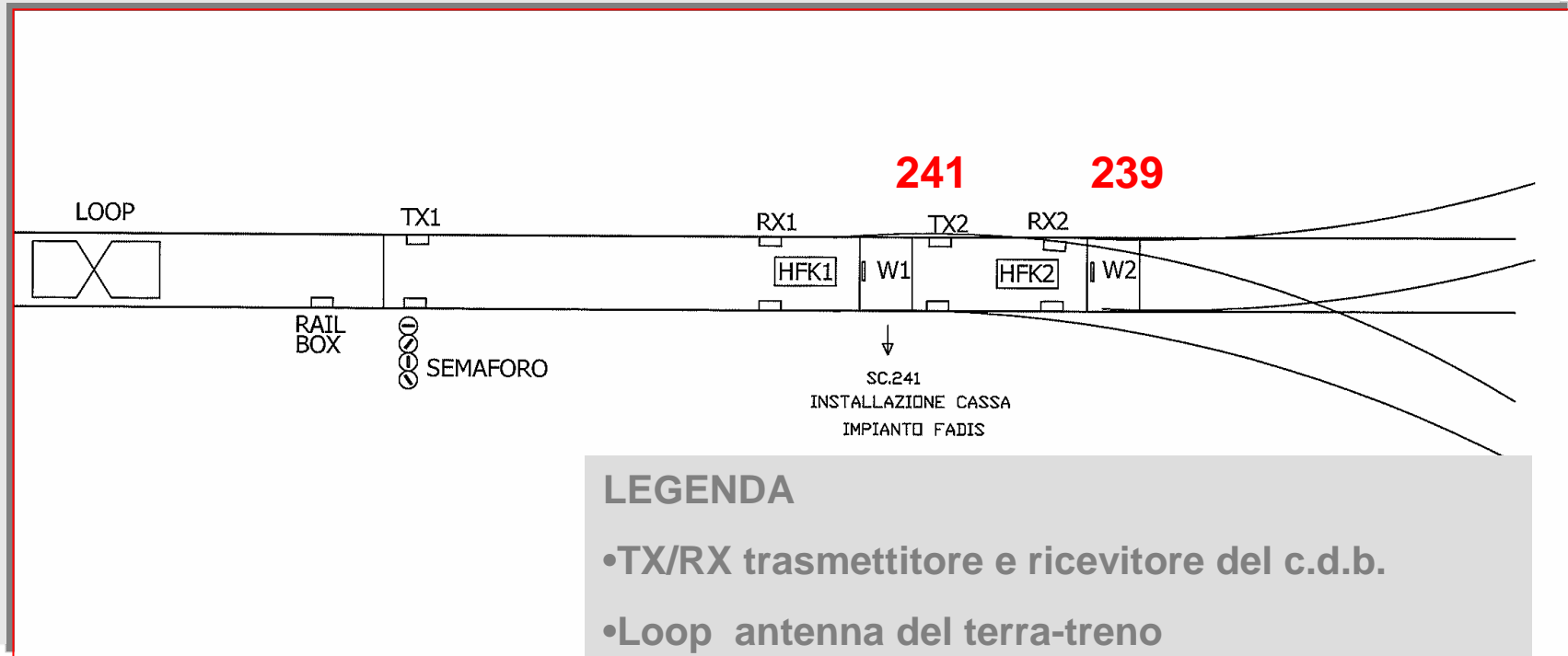


## Impianto di prova



**Piazza della Repubblica -  
mercato di Porta Palazzo**

**Scambio n. 241: 3 linee  
tranviarie; 250 attuazioni/giorno  
in media**



## LEGENDA

- TX/RX trasmettitore e ricevitore del c.d.b.
- Loop antenna del terra-treno
- HFK mass detector induttivo
- W cassa di manovra
- RAIL BOX punto di attestazione della massa di impianto



## Allestimento della cassa HWE60



Sensori di corsa aghi

La misura analogica della corsa indica quanta distanza separi l'ago in battuta dal controago.

Una variazione rapida della misura può indicare

- Ostruzione della sede dell'ago (pietre, sporcizia ecc.)

Una deriva lenta invece :

- Deformazione progressiva dell'ago



## Allestimento della cassa HWE60



**Sensore di forza dinamica e statica**

Ognuno dei sensori può effettuare la misura in compressione ed in estensione. Si rilevano così la spinta dinamica di azionamento e la pressione statica di tenuta dell'ago a contatto. I dati esprimono quindi

- Grado di funzionalità dell'azionamento idraulico
- Funzionalità e taratura del gruppo molle



## Allestimento della cassa HWE60

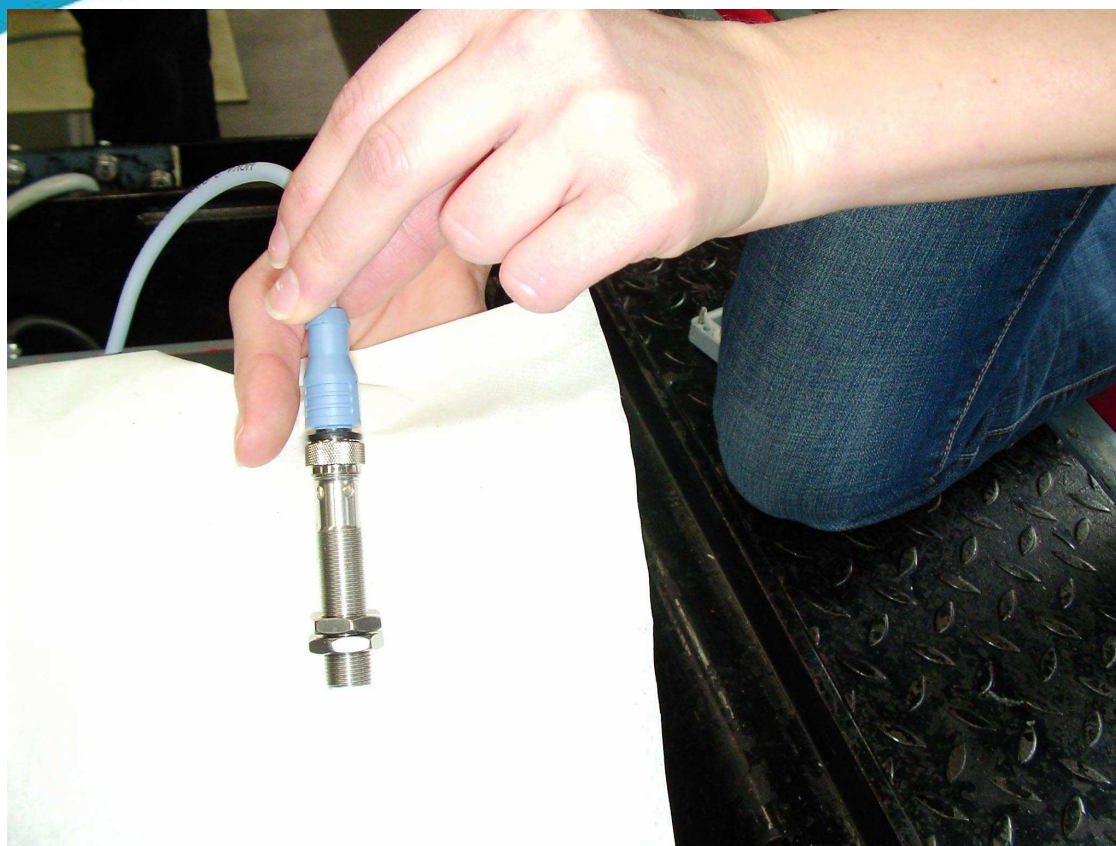


Informa del rischio di perdita di funzionalità dello scambio a causa di perdite del circuito idraulico di comando

**Sensore allarme livello olio idraulico**



## Allestimento della cassa HWE60



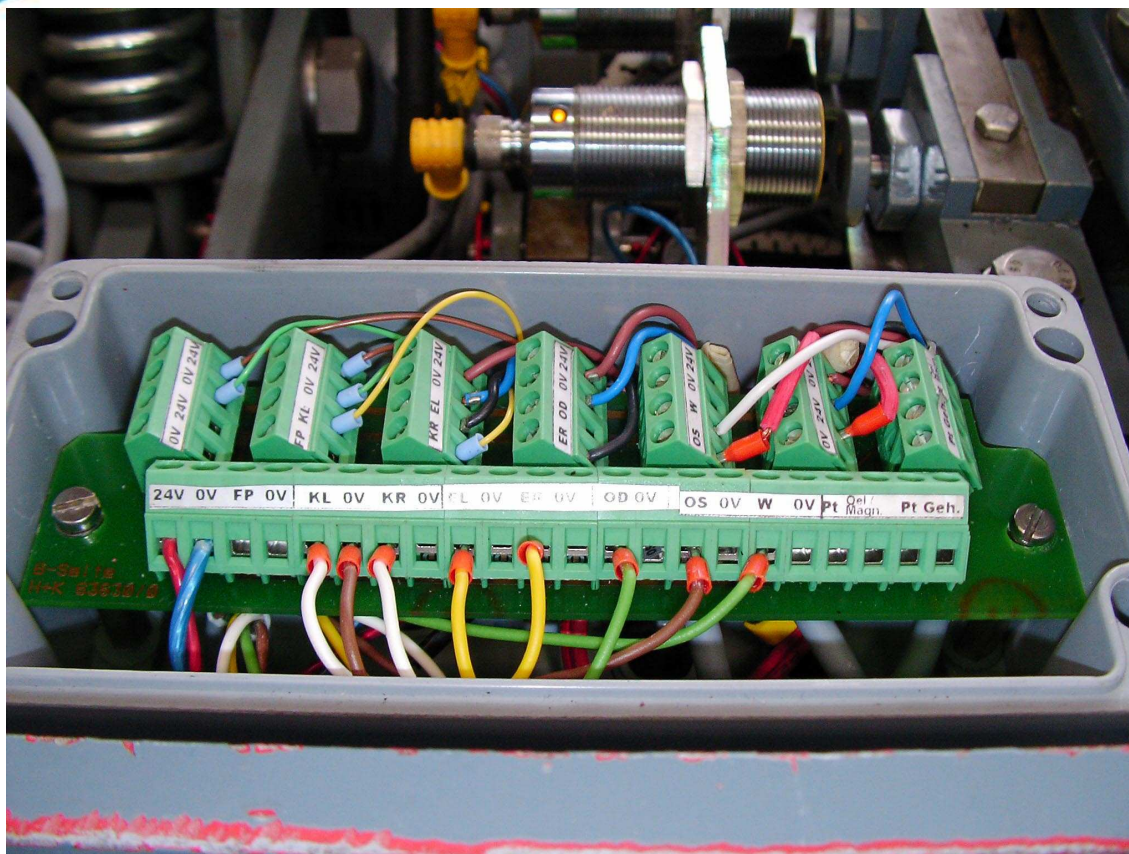
Indicano infiltrazione d'acqua nel dispositivo con il conseguente rischio di danno elettrico e disservizio

**Sensore di infiltrazione acqua**





## Allestimento della cassa HWE60



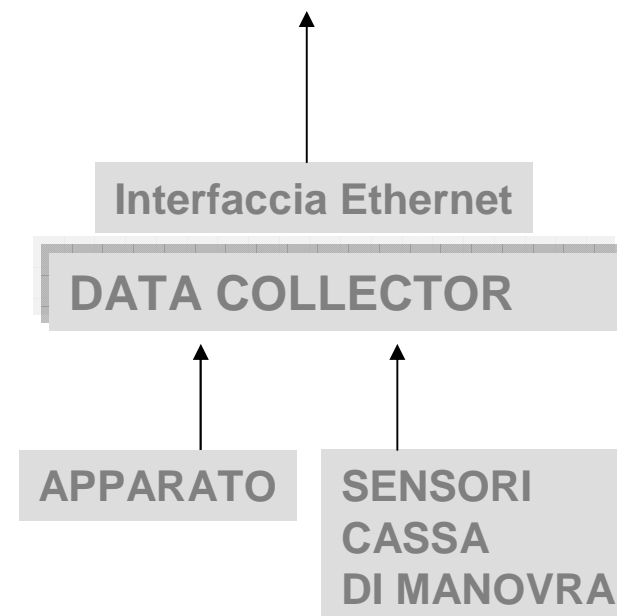
Attestazione dei sensori



## Allestimento dell'apparato di comando

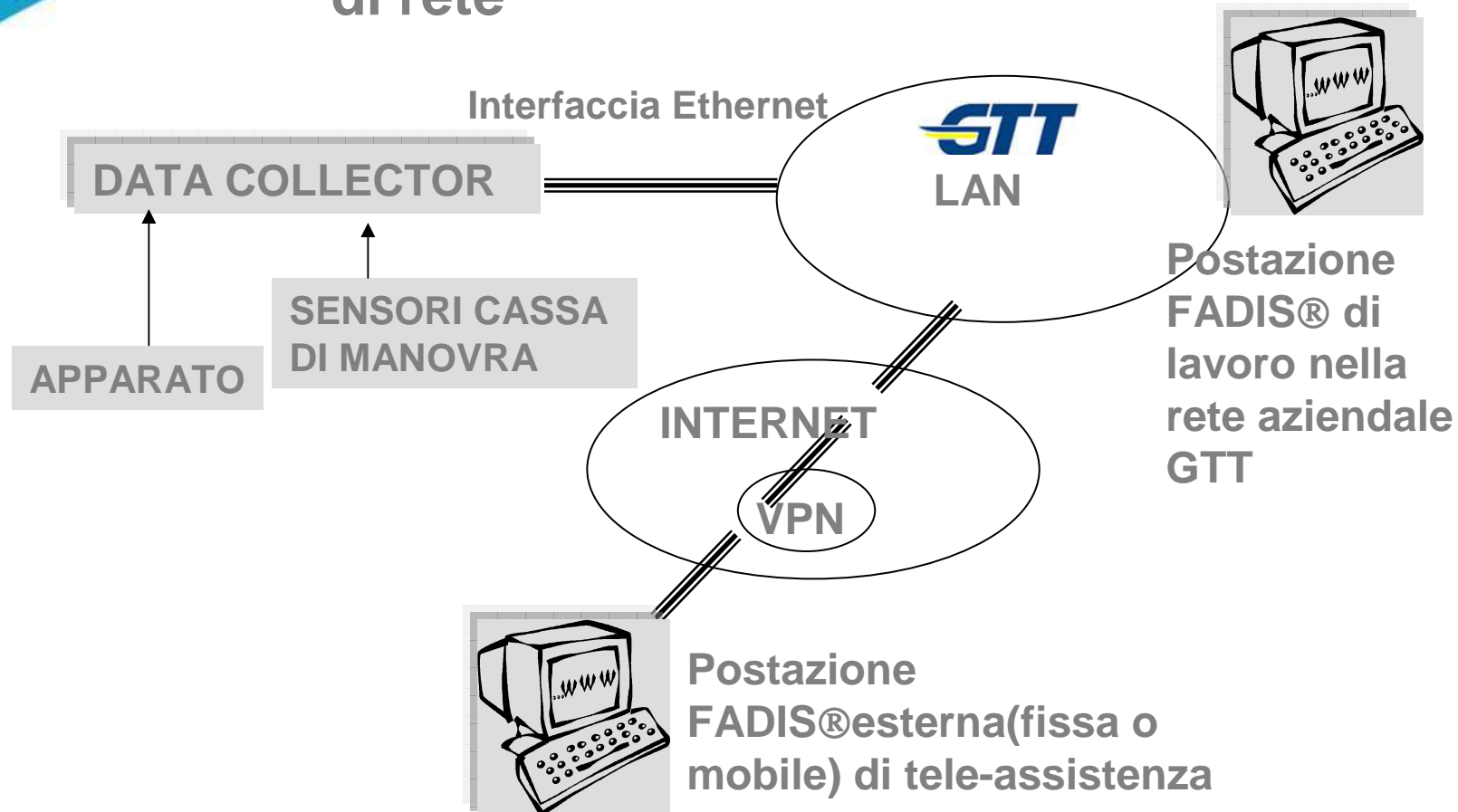


Data collector e Interfaccia Ethernet





## Allestimento delle connessioni di rete





### Esempio di elaborazione: il “ $\beta$ ” di crescita di affidabilità

Ipotizzata l'applicazione di una regolare attività di manutenzione & riparazione si cercherà di ricavare dai dati di guasto raccolti in FADIS® un indice –che chiameremo  $\beta$ - di “variazione tendenziale” dell'affidabilità d'impianto nel tempo. Questo permetterà di valutare in corso d'opera l'effetto di eventuali modifiche del piano manutentivo o delle tecnologie impiegate in termini di crescita di affidabilità.

I sistemi riparabili, di cui l'impianto è un esempio, sono soggetti all'alea del guasto e della successiva riparazione nelle diverse età di esercizio. Si possono assumere “modelli statistici” che esprimono condizioni di ripristino god-as-new” (rinnovo totale) ovvero “bad-as-old” (riparazione minima).



## Descrizione del processo di guasto

Il “processo” di guasto si manifesta come “serie” temporale di eventi  $N_F(T)$ , occorsi a diversa età  $T$  di lavoro

La serie cumulata dei guasti  $\Sigma N_F(T)$  descrive la condizione progressivamente totalizzata dal sistema

Per ragioni di studio si vuole modellare la serie cumulata con una funzione  $M$  del tempo, la cui derivata  $m$  rappresenta la “velocità” di occorrenza dei guasti. Si ha allora

$M(t)$  :serie cumulata  
dei guasti  
 $m(t)$  : tasso di  
riparazione



## Possibili Modelli di processo

### modello a tasso $m=\text{costante}$

È la classica assunzione che si fa nel lancio della moneta, cioè di indipendenza statistica dei singoli eventi ossia di sistema che non ha memoria dei precedenti guasti. La “velocità” di guasto  $m$  è il numero di guasti atteso nell’unità di tempo. Sarà allora  $M(T)=mT$

### modelli a tasso $m(t)$ variabile

Si assume che la “velocità” di guasto  $m$  possa crescere o diminuire nel tempo. Si assume di conseguenza che la serie dei guasti possa seguire una “legge di potenza”. I singoli eventi non sono più indipendenti, il processo ha una memoria. Si assume

$$M(T)=A T^b$$

$$m(T)=AbT^{b-1}$$



## Stima di parametri con Duane plot

Avendo rappresentato il processo con

$$M(t) = At^b \quad [\text{f.cumulata del guasto}]$$

$$m(t) = Ab t^{b-1} \quad [\text{tasso di guasto}]$$

Se ne vogliono stimare i parametri **A** e **b** per verificare la tendenza del sistema nel tempo

Verrà utilizzato un metodo grafico detto “Duane plot”



## Stima dei parametri

Si parte dalle registrazioni disponibili nei report FADIS® usando un foglio EXCEL

**CUMFAIL** è la SERIE dei guasti  $N_F(T)$  CUMULATA alle successive età  $T=720,1440,..ore$

**CUM MTBF**  $=T/CUMFAIL(T)$  è il tempo atteso tra guasti calcolato alle varie età  $T =720,1440,.. ore$

età	0	720	1440	2160	2880	3600	4320	5040	5760	6480
NF	0	79	61	49	32	53	61	39	63	43
<b>CUM FAIL</b>	<b>0</b>	<b>79</b>	<b>140</b>	<b>189</b>	<b>221</b>	<b>274</b>	<b>335</b>	<b>374</b>	<b>437</b>	<b>480</b>
<b>CUM MTBF</b>		9,113	10,28	11,42	13,03	13,13	12,89	13,47	13,18	13,5





## Duane plot

Applichiamo il metodo :

Si riportano i valori CUMFAIL(T), CUM MTBF(T) e T in un grafico log-log. Quanto più l'ipotesi di legge di potenza è valida tanto più i valori si allineeranno tutti lungo una retta di tendenza –**vedi box**– i cui coefficienti di pendenza e valore dell'intercetta con l'asse y forniscono A,b ovvero  $\beta = 1-b$  che è noto come fattore di “crescita dell'affidabilità”

1. Nella CUM  
 $MTBF(T) = T / CUMFAIL(T)$  si  
sostituisce a CUMFAIL la sua  
approssimazione secondo legge  
di potenza  $M(T) = AT^b$

2.  $MTBF(T) = T / AT^b = T^{1-b} / A$

Passando ai logaritmi si ha

3.  $\text{Log } MTBF = (1-b)\text{log } T - \text{log } A$

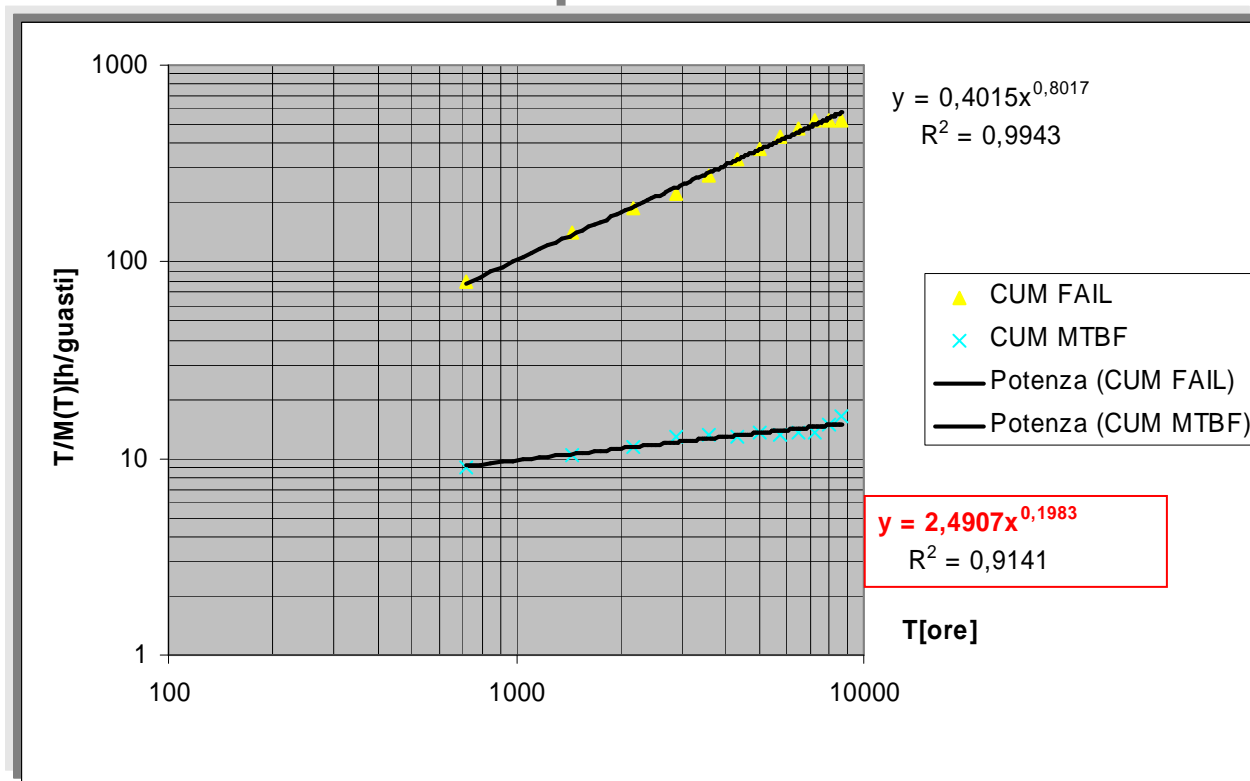
Che graficata in scala log-log è  
l'equazione di una retta di cui si  
ricavano graficamente:

$$A = 10^{-\text{intercetta}}$$

$$\text{Pendenza } \beta = 1-b$$



## Duane plot





Nell'esempio precedente abbiamo usato le funzioni di interpolazione del foglio EXCEL richiedendo una funzione "legge di potenza". I fattori  $R^2$  (valore max 1) pesano la bontà della stima.

Lavorando sulla serie CUM MTBF risulta (vedi grafico) un indice di crescita dell'affidabilità

$$\beta = 0,1983$$

Ricordando che il tasso di guasto in una legge di potenza è:  $m(T) = A(1-\beta)T^{-\beta}$

Si vede che per

$\beta < 0$  il tasso cresce

$\beta = 0$  è costante (=A)

$0 < \beta < 1$  diminuisce ( $m \rightarrow 0$ )

con  $\beta \cong 0,2$  abbiamo quindi un leggero miglioramento di affidabilità



## Effetti attesi

**Azione preventiva** sulla sicurezza d'impianto[es. monitoraggio dell'accosto delle lingue]

**Diagnosi anticipativa** sulle potenziali cause di guasto[es. meccanismi di azionamento, forze di spinta e ritenuta]

Segnalazioni collegate a possibili **guasti occulti**, che sfuggono alle normali ispezioni[es. infiltrazione di acqua nella cassa di manovra per rottura di una guaina protettiva]

**Indici e statistiche** sui trend di guasto[es. indice  $\beta$  nel Duane plot], economicità, costi, programma sostituzioni



## Estensioni della sperimentazione

Sensori apertura porte apparato locale

Identificazione associata eventi in impianto-identità del tram in transito-codice di direzione emesso dal tram

Telecontrollo delle scaldiglie



## Risultati e prospettive

