



Azienda Sanitaria di Firenze
Dipartimento della Prevenzione

RELAZIONE TECNICA

MISURE DI CAMPI MAGNETICI SU LOCOMOTIVA E464 – TRENITALIA SPA

Dott. Ing. Vincenzo Calafiore
U.F. Verifiche Impianti e Macchine

Dott. Fabio Capacci
U.F. Prevenzione, Igiene e Sicurezza
nei Luoghi di Lavoro – Zona di Firenze

Dott. Ing. Daniele Novelli
U.F. Verifiche Impianti e Macchine

Firenze, 19/11/2004

Firenze, 19/11/04	Misure di campi magnetici su locomotiva E464 - Trenitalia	Pag. 2 di 8
-------------------	--	-------------

RELAZIONE TECNICA

MISURE DI ESPOSIZIONE A CAMPI MAGNETICI SU LOCOMOTIVA E464 – TRENITALIA S.P.A.

1. Introduzione

La presente relazione si riferisce a misure di campi magnetici a bassa frequenza (ELF) effettuate sui locali della locomotiva E464, utilizzati da Trenitalia S.p.A. dal 2001.

A seguito dell'esposto fatto dai Rappresentanti dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS) di Trenitalia SpA sig. Filippo Curari e Sig. Riccardo Panieri a tutti i Dipartimenti della Prevenzione delle Aziende UU.SS.LL. della Toscana, con nota del 29 settembre 2003, si è provveduto da parte dell'U.F. Prevenzione, Igiene e Sicurezza nei Luoghi di Lavoro dell'Azienda Sanitaria 10 di Firenze (PISLL ASL 10), Presidio di S.Salvi, a contattare il Servizio di Prevenzione e Protezione (SEPP) di Trenitalia, per l'effettuazione di misure in campo.

Le misure di campi magnetici sono state effettuate in data 08/10/2004 sulla locomotiva E464.125 nella tratta Firenze – Pisa - Livorno e ritorno. Le misure sono iniziate a treno fermo alla stazione di S. Maria Novella (14.15) prima dell'ora di partenza da Firenze fino a Livorno e sono proseguite nella tratta di ritorno da Livorno fino a Firenze.

Le misure sono state effettuate dall'ing. Daniele Novelli e dall'ing. Vincenzo Calafiore dell'U.F. Verifiche Impianti e Macchine del Dipartimento della Prevenzione dell'Azienda Sanitaria di Firenze. Ha preso inoltre parte alla campagna di misura il dott. Fabio Capacci dell'U.F. PISLL ASL 10.

Sono stati presenti durante l'effettuazione delle misure:

- ing. Gabriele Lanna, DTR
- ing. Paolo Betti, UMTR
- sig. Filippo Cufari, RLS

2. Caratteristiche della locomotiva E464

I dati tecnici della locomotiva E464 sono stati forniti con nota del 18/6/2004 di Trenitalia SpA – Divisione Trasporto Regionale – Direzione Regionale Toscana – Servizio Prevenzione e Protezione.

La locomotiva E464 è alimentata da linea a tensione nominale di 3000V a corrente continua ed è in grado di funzionare per tensioni di alimentazione comprese tra 2200 V e 4000V a corrente continua; è inoltre in grado di funzionare a prestazioni ridotte fino a 1500 V a corrente continua, con identica configurazione di locomotiva, senza quindi necessità di commutazioni nell'azionamento. La frenatura elettrica può funzionare a recupero, su reostato o mista.

I motori di trazione sono alimentati, a frequenza e tensione variabile, da un unico sistema di conversione costituito da un filtro di ingresso e dal convertitore di trazione; il chopper di frenatura fa parte dello stesso sistema di conversione. Tenuto conto delle caratteristiche del sistema, ai fini dell'emissione di radiazioni elettromagnetiche, nonché dei risultati di precedenti campagne di misure svolte dall'Azienda Sanitaria di Firenze e dall'ARPAT¹ e da Trenitalia, si è ritenuto opportuno effettuare misure di campi magnetici in bassa frequenza (ELF e IF).

¹ Cfr. A. Poggi, F. Capacci, P. Legittimo, S. Grazzini, C. Militi, P. Mannucc, *Valutazione dell'esposizione a campi magnetici dei macchinisti delle Ferrovie dello Stato*, Atti del Convegno dBA 98 Dal rumore ai rischi fisici – Modena – Settembre 1998.

Cfr. P. Vecchia, G. A. Antonacci, A. Apostolo, S. Battisti, E. Munafò, A. Polichetti, G. Pulitani, *Survey of ELF magnetic fields in locomotives of the Italian railways*

Cfr. F. Capacci, F. Carnevale, *Tumori mammari maschili in macchinisti delle ferrovie: indagine su cinque casi*, Ann. Ist. Super. Sanità, vol. 36, n. 3 (2000), pp. 375-379

Firenze, 19/11/04	Misure di campi magnetici su locomotiva E464 - Trenitalia	Pag. 3 di 8
-------------------	--	-------------

3. Normativa tecnica di riferimento

Guida CEI 211-6, *Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz-10 kHz, con riferimento all'esposizione umana*, 1° edizione, fasc. 5908.

4. Metodologia di misura

Per ottenere un quadro completo dell'esposizione a campi magnetici in tutti gli ambienti interni della locomotiva E464, sono state effettuate misure in diversi punti, con spaziatura di 1 m in pianta, alle quote di 0,1 m dal piano di calpestio (quota delle caviglie), di 0,9 m (quota dell'addome) e di 1,5 m (quota del torace). Le misure sono state effettuate in diverse condizioni:

- in condizione statica, ovvero locomotiva ferma, ma con circuiti di trazione attivi e con tutte le altre apparecchiature della locomotiva attive;
- in condizione dinamica (all'avviamento, in accelerazione, a velocità costante, per diverse velocità, in decelerazione, anche con frenatura elettrica, a treno fermo).

Per le misure è stato utilizzato lo strumento misuratore di campi elettrici e magnetici PMM 8053, n. serie 0220J10437, corredato dall'analizzatore di campi elettrici e magnetici EHP-50A, n. serie 1311L10220 (data ultima taratura: 14/07/2003), collegato al suddetto strumento attraverso cavi in fibra ottica, allo scopo di non alterare la distribuzione spaziale del campo magnetico nell'intorno della sonda. Per lo stesso fine, la sonda è stata montata su cavalletto in materiale amagnetico (in legno).

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche della strumentazione impiegata, con riferimento ai parametri utili alla valutazione delle misure effettuate:

Analizzatore EHP50A, dotato di tre spire per misure X,Y,Z:

- campo di frequenza: 5Hz-100kHz
- portata: 10nT-10mT
- dinamica: >120dB
- risoluzione: 1nT
- sensibilità: 10nT
- errore assoluto: +/-0,8 dB
- piattezza in banda (40 Hz-10kHz): +/-0,5 dB
- isotropicità dell'antenna: +/- 1 dB
- errore in temperatura: 0,05 dB/°C

Lo strumento è stato impostato come di seguito:

- RMS-30s
- Wideband 100kHz
- 1 s Fix

In sostanza i dati misurati si riferiscono al valore quadratico medio calcolato su finestre temporali della durata di 30 s mobili ad ogni secondo, con un overlap parziale di 1 secondo su tutta la banda di frequenze utili.

5. Risultati ottenuti

In tab. 1 sono riportati i valori di induzione magnetica B misurati alla stazione di Firenze a treno fermo con tutte le apparecchiature elettriche del locomotore alimentate. La posizione è riportata sulla planimetria e sezione n. 1.

N. progr.	Posizione	Descrizione	Quota (cm)	B _{MAX} μT	B _{MIN} μT	B _{RMS} μT
1	A	Tra i sedili	90	0,610	0,054	0,560
2	B	Tra i sedili, in posizione posteriore	90	0,720	0,057	0,610
3	C	Corridoio	90	0,210	0,085	0,105
4	D	Corridoio	90	0,566	0,085	0,350
5	E	Corridoio	90	0,512	0,255	0,416
6	F	Corridoio	90	0,447	0,247	0,313
7	G	Corridoio	90	0,861	0,247	0,650
8	H	Corridoio	90	0,869	0,247	0,690
9	I	Corridoio	90	1,275	0,247	0,962
10	J	Corridoio	90	0,662	0,217	0,514
11	K	Corridoio	90	0,404	0,255	0,323

Tab. 1 – Dati di misura con treno fermo e apparecchiature elettriche alimentate

In tab. 2 sono riportati i valori di induzione magnetica B misurati lungo il percorso, nelle diverse condizioni di marcia. La posizione è riportata sulla planimetria e sezione n. 2.

N. progr.	Posizione	Descrizione	Quota (cm)	B _{MAX} μT	B _{MIN} μT	B _{RMS} μT
1	A	Posto di guida, v = 130 km/h	90	0,057	0,052	0,054
2	B	Retro posto di guida, v = 90 km/h	90	0,061	0,053	0,054
3	B	Retro posto di guida, v = 30 km/h	90	0,064	0,054	0,051
4	C	Tra sedili posto di guida, v = 100 km/h	90	0,054	0,051	0,052
5	D	Tra sedili posizione retrostante	90	0,074	0,053	0,061
6	E	Retro sedile dx, v=90 km/h	90	0,066	0,054	0,054
7	E	Retro sedile dx, v = 130 km/h	90	0,060	0,052	0,056
8	F	Cabina, prossimità corridoio	90	0,142	0,058	0,108
9	G	Corridoio	90	1,233	0,299	0,733
9	H	Corridoio	90	0,940	0,295	0,645
10	I	Corridoio	90	0,681	0,201	0,419
11	J	Corridoio	90	0,787	0,322	0,576
12	J	Corridoio, in frenatura	90	25,613	0,386	7,683
13	K	Corridoio	90	1,661	0,610	0,910
14	M	Corridoio	90	1,769	0,697	1,320
15	N	Corridoio, v=140 km/h	90	1,401	0,666	1,018
16	O	Corridoio	90	1,603	0,819	1,326
17	P	Corridoio	90	0,851	0,407	0,749
18	Q	Scomparto posteriore, posizione centrale	90	0,074	0,054	0,064
19	P	Scomparto posteriore, posizione centrale	90	0,060	0,050	0,054
20	R	Scomparto posteriore, lato destro	90	0,059	0,042	0,054
21	S	Scomparto posteriore, lato sinistro	90	0,057	0,049	0,053

Tab. 2 – Dati di misura con treno in movimento

Firenze, 19/11/04	Misure di campi magnetici su locomotiva E464 - Trenitalia	Pag. 5 di 8
-------------------	--	-------------

In tab. 3 sono riportati i valori di induzione magnetica B misurati lungo il percorso, nelle diverse condizioni di marcia, in corrispondenza del punto più critico, ovvero nel corridoio in prossimità dei reostati (in particolare in a quota 10 cm dal piano di calpestio). La posizione è riportata sulla planimetria e sezione n. 3.

N. progr.	Posizione	Descrizione	Quota (cm)	B _{MAX} μT	B _{MIN} μT	B _{RMS} μT
1	A	Corridoio, fronte reostati, in frenata	150	5,997	0,232	2,964
2	A	Corridoio, fronte reostati, in accelerazione	150	0,736	0,388	0,572
3	A	Corridoio, fronte reostati, in frenata	150	10,392	0,510	4,770
4	B	Corridoio, fronte reostati, in accelerazione	10	7,189	1,566	4,266
5	B	Corridoio, fronte reostati, treno fermo	10	1,948	1,190	1,55
6	B	Corridoio, fronte reostati, in frenata	10	134,0	0,004	0,022
7	B	Corridoio, fronte reostati, in marcia	10	6,730	3,189	4,777
8	C	Corridoio, prossimità reostati, in frenata	10	12,105	0,182	6,607
9	C	Corridoio, prossimità reostati, in frenata – tratta di ritorno	10	224,0	0,5	124,0
10	D	Corridoio, in marcia bassa velocità	10	6,318	2,350	4,732
11	E	Corridoio	10	9,326	3,360	6,482
12	F	Corridoio	10	12,022	4,297	8,840
13	G	Corridoio	10	4,431	1,153	3,150

Tab. 3 – Dati di misura con treno in movimento

Sono state effettuate anche delle misure all'esterno della locomotiva, in corrispondenza del carica batterie ad una quota di 150 cm dal piano di calpestio rilevando valori di 0,062 uT.

Oltre al campionamento spaziale dell'induzione magnetica B sono state effettuate rilevazioni in continuo dell'induzione magnetica in 8 punti fissati, ad una frequenza di campionamento di 1 campione/sec.

L'andamento nel tempo dell'induzione magnetica è riportata nei grafici allegati 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Sequenza 1: misure fatte a treno fermo ad altezza 1 m davanti ai reostati di frenatura

Sequenza 2: misure fatte ad andatura normale ad altezza 1 m davanti ai reostati di frenatura

Sequenza 3: misure fatte ad andatura normale ad altezza 1 m davanti ai reostati di frenatura

Sequenza 4: misure fatte con tratti in frenatura con reostati, valori in mT ad altezza 1 m davanti ai reostati di frenatura

Sequenza 5: misure fatte sul sedile del posto di guida (sx)

Sequenza 6: misure fatte in corrispondenza del sedile del posto di guida (sx) all quota di 10 cm dal piano di calpestio

Sequenza 7: misure fatte in corrispondenza del sedile del posto dx alla quota di 10 cm dal piano di calpestio.

Sequenza 8: misure fatte a centro corridoio davanti ai reostati alla quota di 100 cm dal piano di calpestio.

6. Limiti di riferimento e normativa vigente

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 – Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici – G.U. 7 marzo 2001, n. 55
- DPCM 8 luglio 2003 – Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti – G.U. 29 agosto 2003, n. 200

In particolare, all'art. 1 comma 3, si prevede che: "a tutela delle esposizioni a campi a frequenze comprese tra 0 Hz e 100 kHz, generati da sorgenti non riconducibili agli elettrodotti, si applica l'insieme

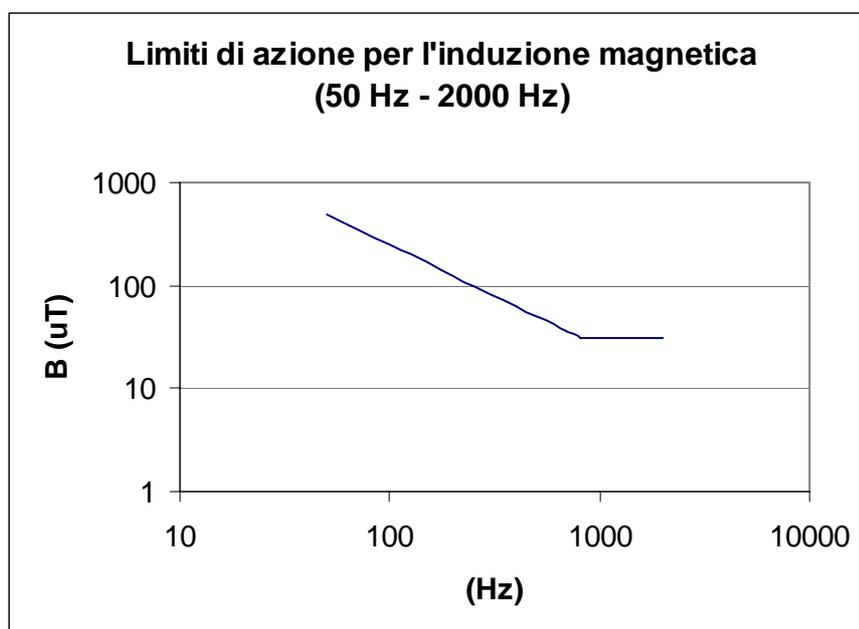
completo delle restrizioni stabilite nelle raccomandazioni del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. 199 del 30 luglio 1999”.

- Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (1999/519/CE) – GUCE 30 luglio 1999, n. 1999)
- Direttiva 2004/40/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'art. 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) – GUCE 24 maggio 2004, n. L 184

I limiti indicati nelle suddette normative sono generalmente riferiti ai singoli contributi spettrali, secondo la seguente tabella (valori di azione secondo le linee guida ICNIRP 7/99).

Gamma di frequenza	Intensità di campo elettrico (V/m)	Intensità di campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica B (uT)
0 – 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5
1 – 8 Hz	20.000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$
8 - 25 Hz	20.000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$
0,025 – 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f
0,82 – 2,5 kHz	610	24,4	30,7
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7
65 - 100 kHz	610	1600/f	2000/f

Tenuto conto della composizione spettrale dell'induzione magnetica, formata prevalentemente dalla frequenza di 50Hz e delle relative armoniche fino ad alcuni kHz, si ottengono dei limiti di 500 uT a 50 Hz, 250 uT a 100 Hz, 166 uT a 150 Hz, 125 uT a 200 Hz, 100 uT a 250 Hz, e così via fino al limite di 30,7 uT per frequenze superiori a 820 Hz fino a 65 kHz (per frequenze superiori a 1-2 kHz, il contributo armonico è pressoché trascurabile).



Firenze, 19/11/04	Misure di campi magnetici su locomotiva E464 - Trenitalia	Pag. 7 di 8
-------------------	--	-------------

7. Conclusioni

I valori misurati alle postazioni di lavoro in cabina di guida non sono risultati superiori ai limiti di esposizione indicati dalla vigente normativa a tutela della popolazione. E' altresì importante che le misure abbiano rilevato valori di esposizione a CEM nelle postazioni di guida che non eccedono i limiti più restrittivi di esposizione continuativa presenti in letteratura al fine di garantire la protezione dal rischio di eventuali effetti sanitari "a lungo termine", valutati pari a 0,5 – 0,6 μ T e consigliati come obiettivi di qualità da proporre "*per le aree destinate all'infanzia, alle strutture sanitarie e nelle aree residenziali a seguito della costruzione di nuovi elettrodotti*"²,

Nel corridoio, invece, ed in particolare in corrispondenza dei reostati di frenatura, sono stati registrati valori che eccedono in diversa misura i valori sopra richiamati ma anche, in alcune occasioni, i valori di azione previsti dalle tabelle ICNIRP 7/99. L'interpretazione sanitaria di tali valori deve prendere in considerazione i tempi di permanenza dei lavoratori in tale postazione e le modalità dell'esposizione. Un primo elemento da rilevare è che i valori più elevati si registrano a 10 cm dal pavimento per ridursi sensibilmente nelle misure eseguite a 90 ed a 150 cm dal pavimento. Il secondo elemento è che tale condizione si verifica esclusivamente in occasione delle frenate. Il terzo elemento è la presenza solo occasionale e per brevi istanti del personale all'interno del corridoio di accesso alla cabina guida. L'essere limitata a poche decine di cm dal pavimento, l'occasionalità dell'esposizione e la sua brevità sono tutti elementi che permettono di affermare che, in tali condizioni, non sono prevedibili effetti sanitari.

² Documento congiunto sulla problematica della protezione dei lavoratori e della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici e a campi elettromagnetici a frequenze comprese tra 0Hz e 300 GHz dell'ISPESL e dell'ISS allegato a Fogli d'informazione ISPESL numero 4/97

ALLEGATI:

Fig. 1.1 – Viste della locomotiva E464 (Fonte: Trenitalia SpA)

Fig. 1.28 _ Layout delle principali apparecchiature di bordo (Fonte: Trenitalia SpA)

Fig. 1.31 _ Induttanza filtro rete (Fonte: Trenitalia SpA)

Fig. 1.32 _ Reostato di frenatura (Fonte: Trenitalia SpA)

Serie di misura n. 1

Serie di misura n. 2

Serie di misura n. 3

Serie di misura n. 4

Serie di misura n. 5

Serie di misura n. 6

Serie di misura n. 7

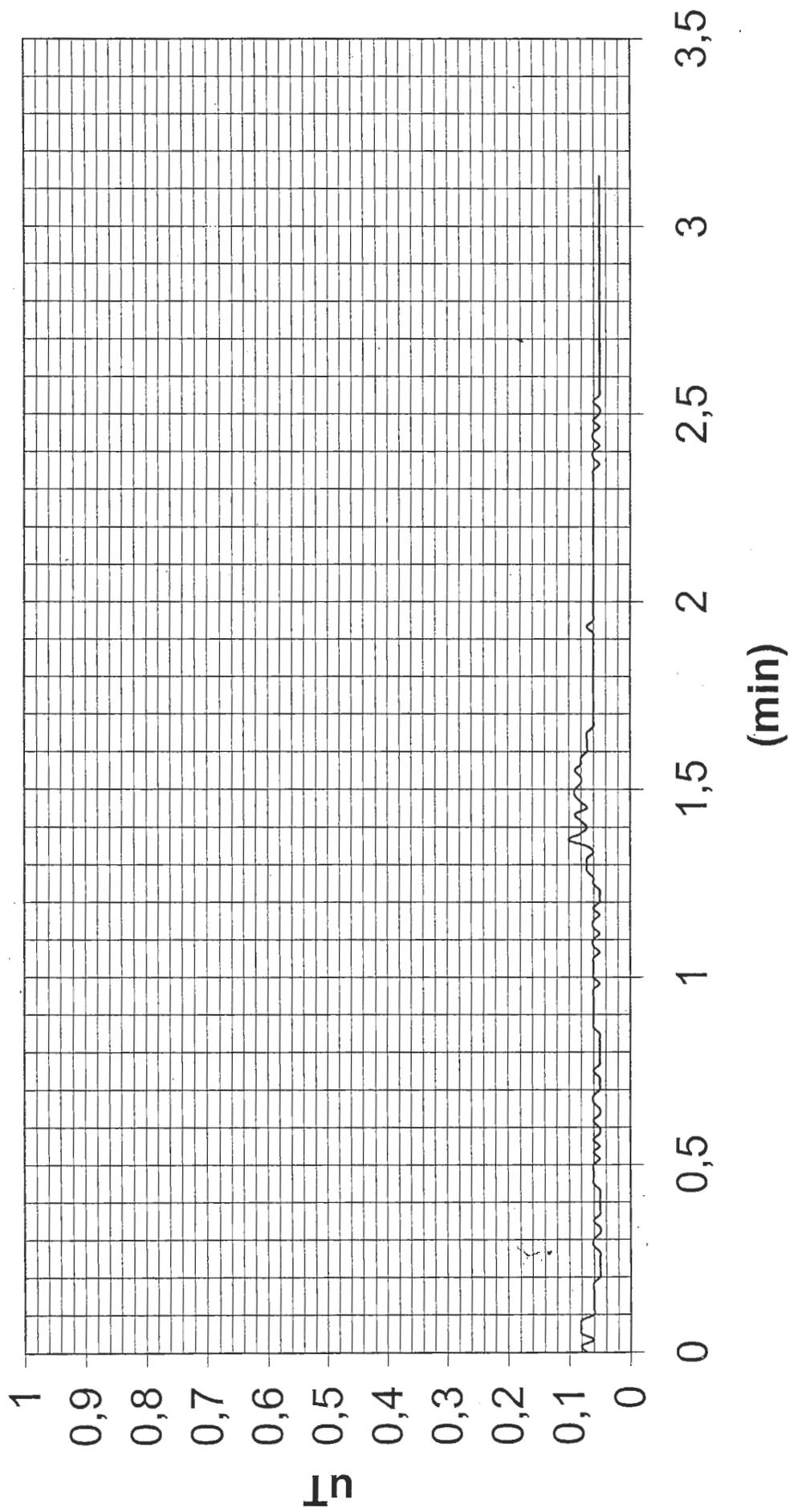
Serie di misura n. 8

Planimetria e sezione della locomotiva – Tab. 1

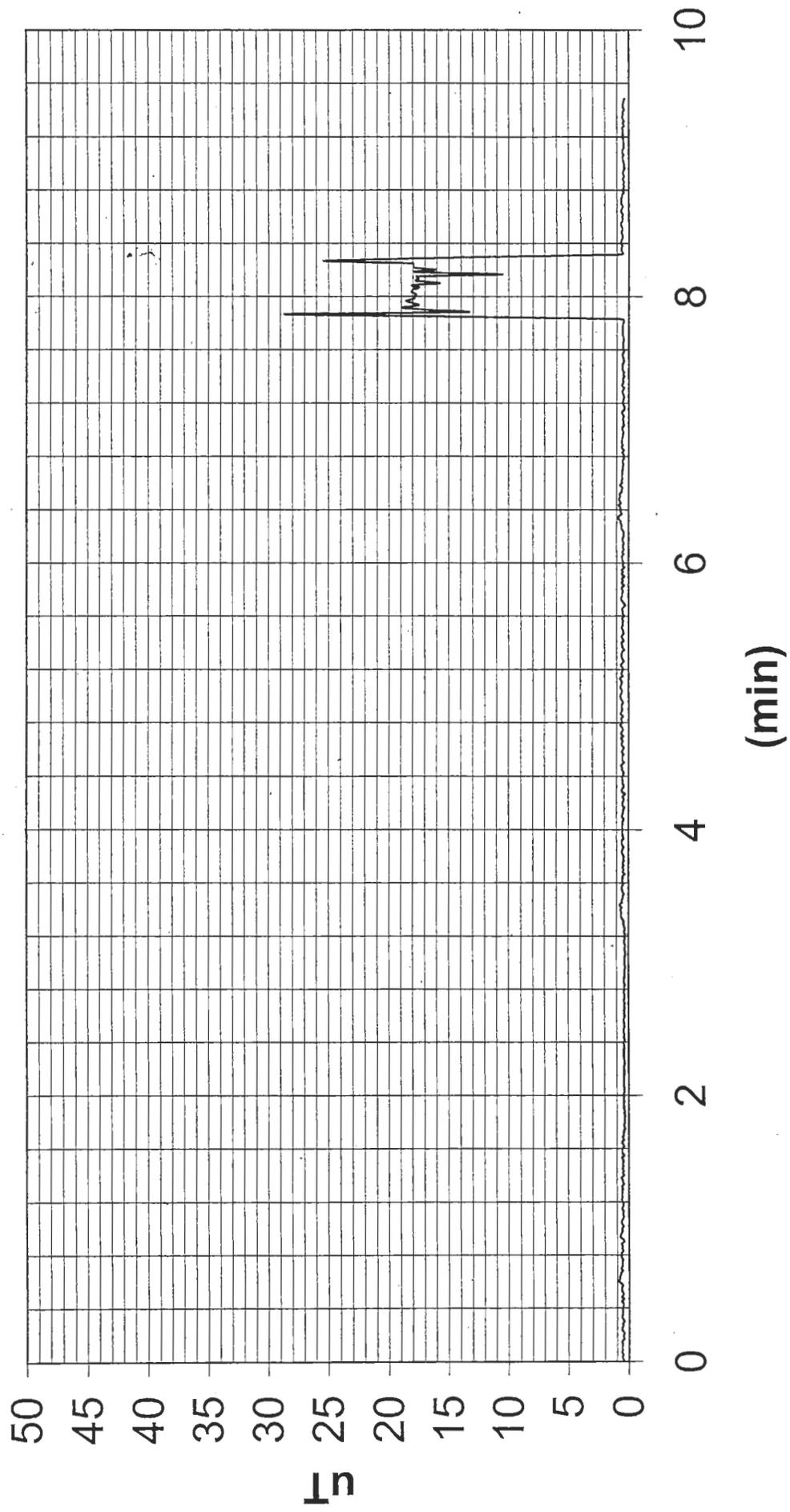
Planimetria e sezione della locomotiva – Tab. 2

Planimetria e sezione della locomotiva – Tab. 3

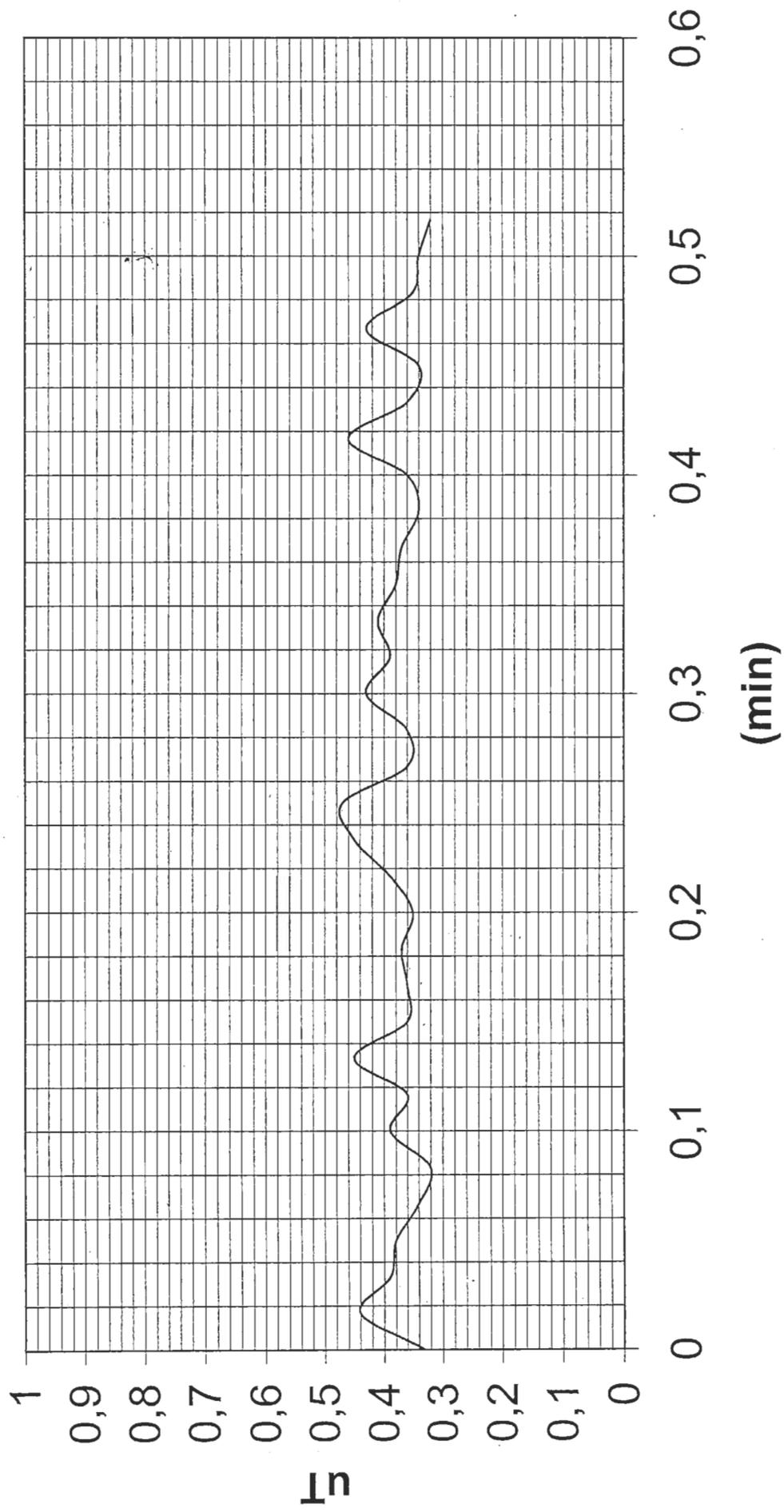
Serie di misura n. 1



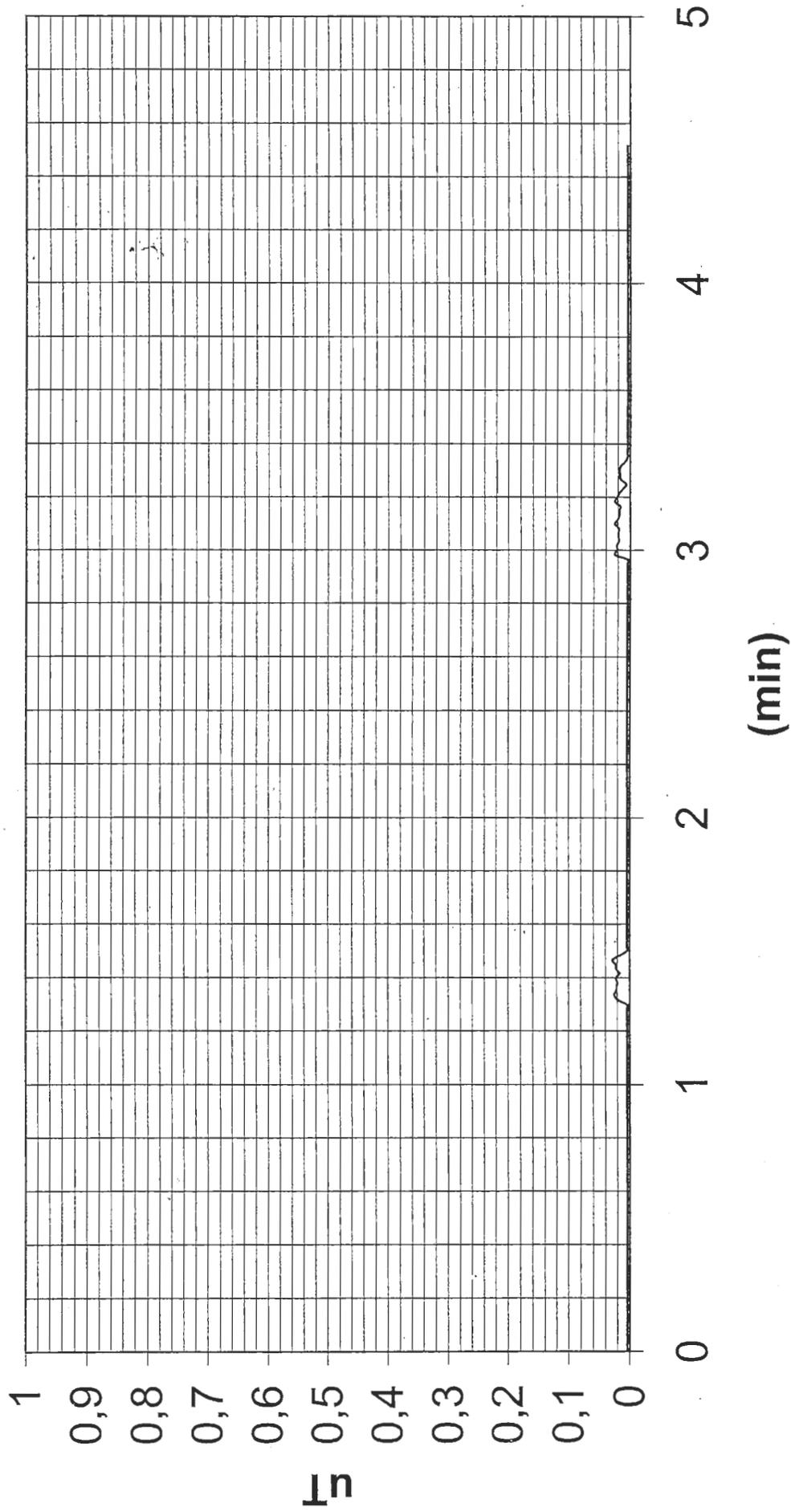
Serie di misura n. 2



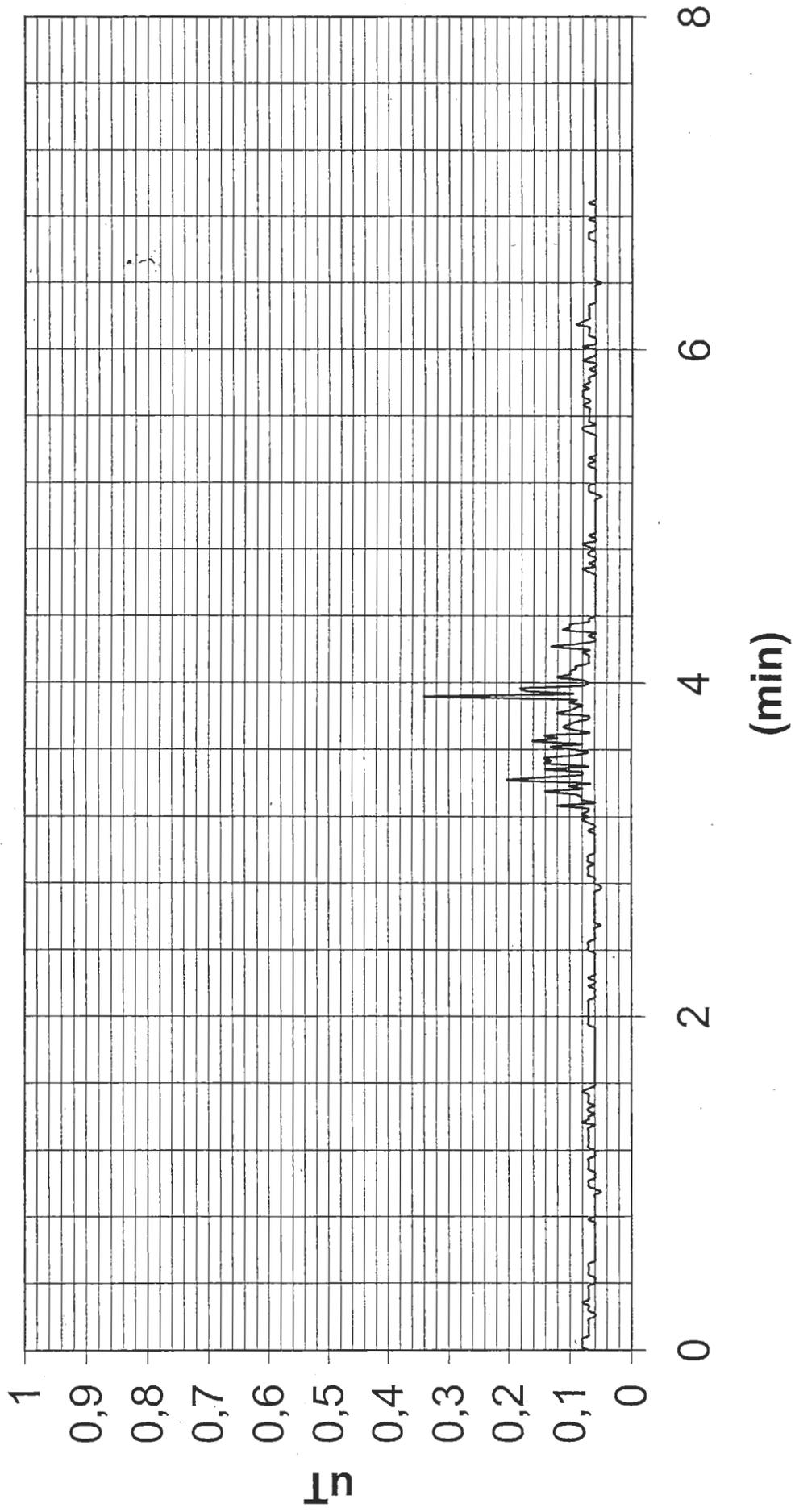
Serie di misura n. 3



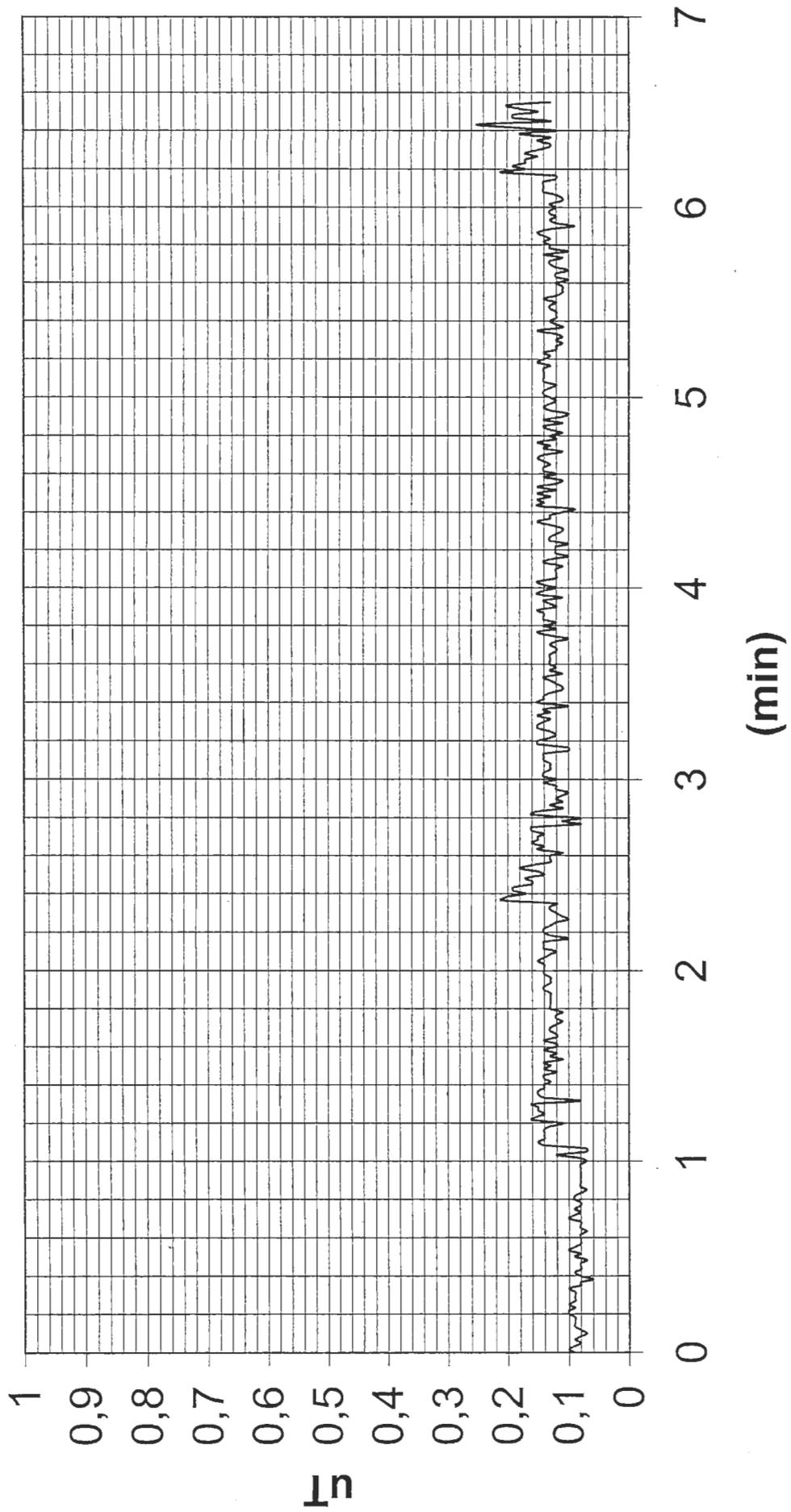
Serie di misura n. 4



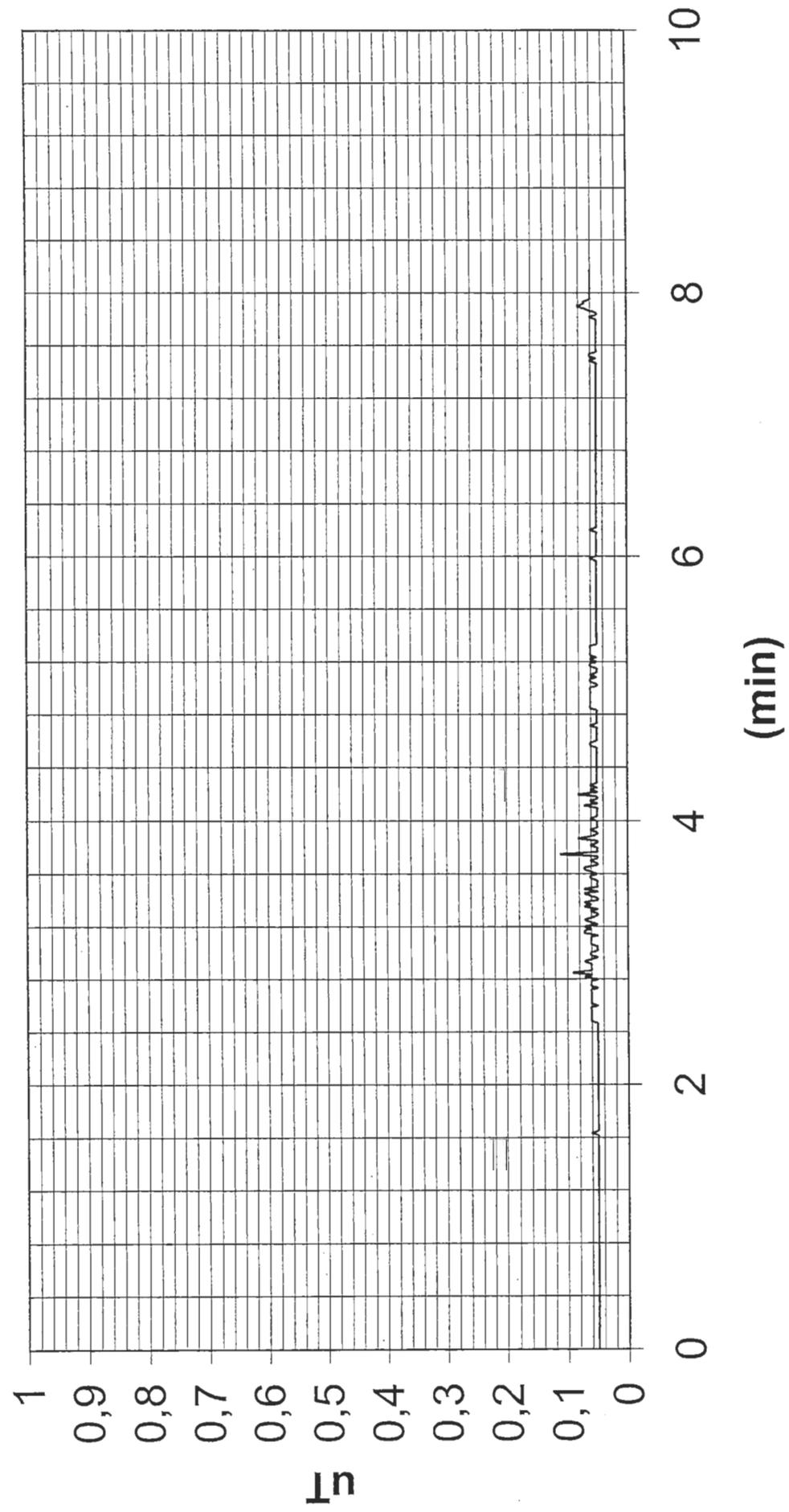
Serie di misura n. 5



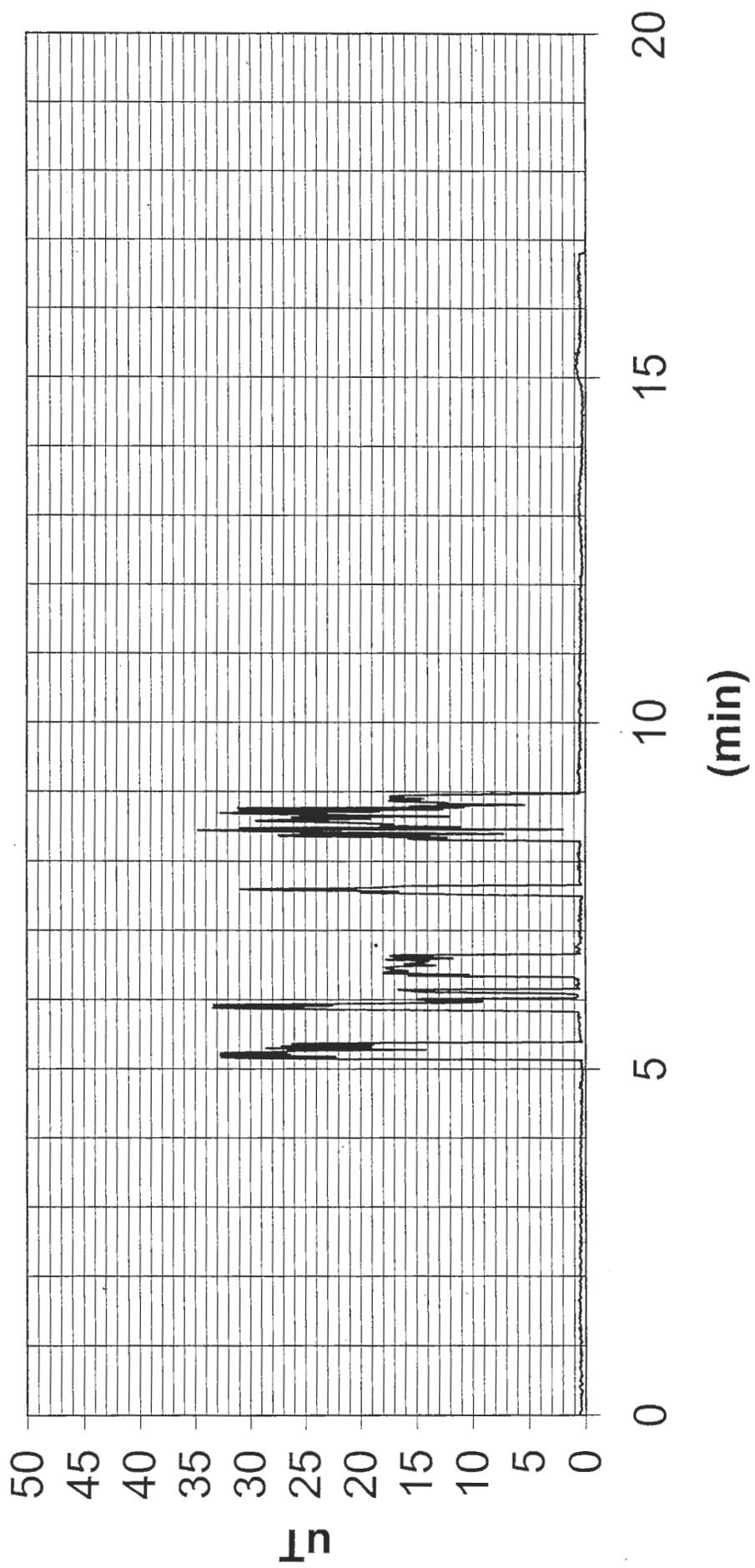
Serie di misura n. 6



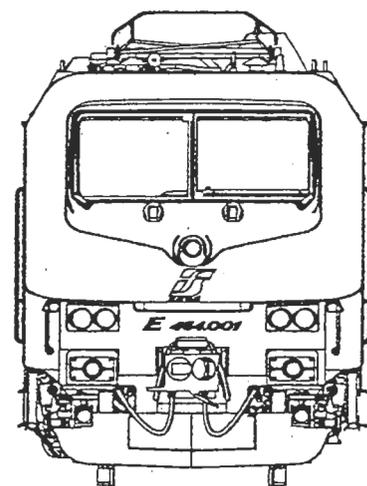
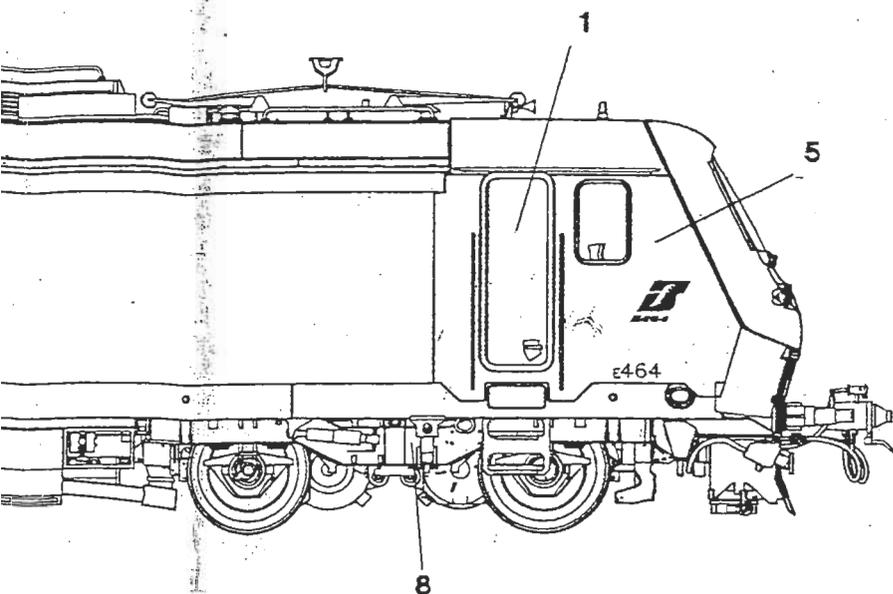
Serie di misura n. 7



Serie di misura n. 8

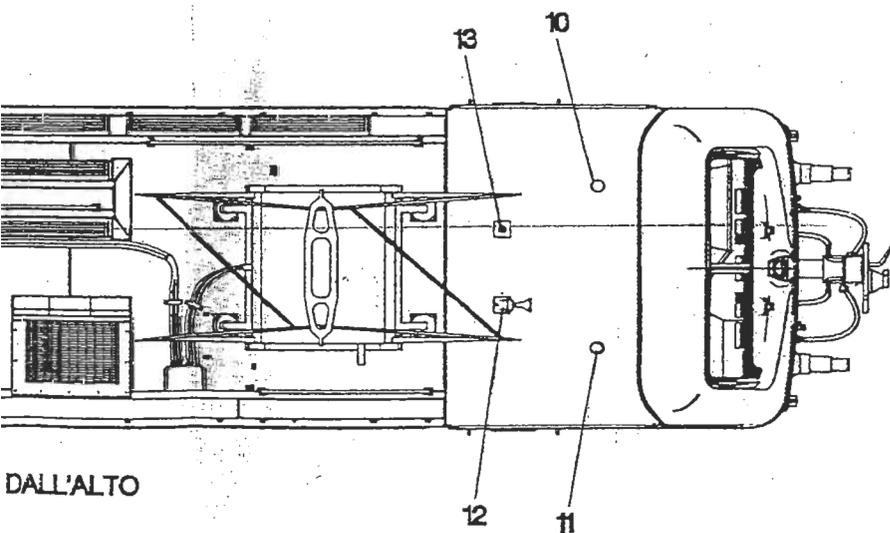


LATERALE

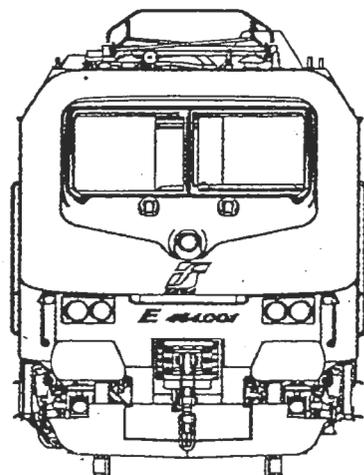


VISTA ANTERIORE

(versione con accoppiatore automatico ed assorbitori di energia)



DALL'ALTO



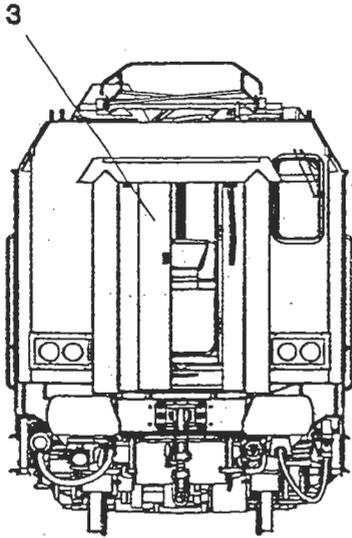
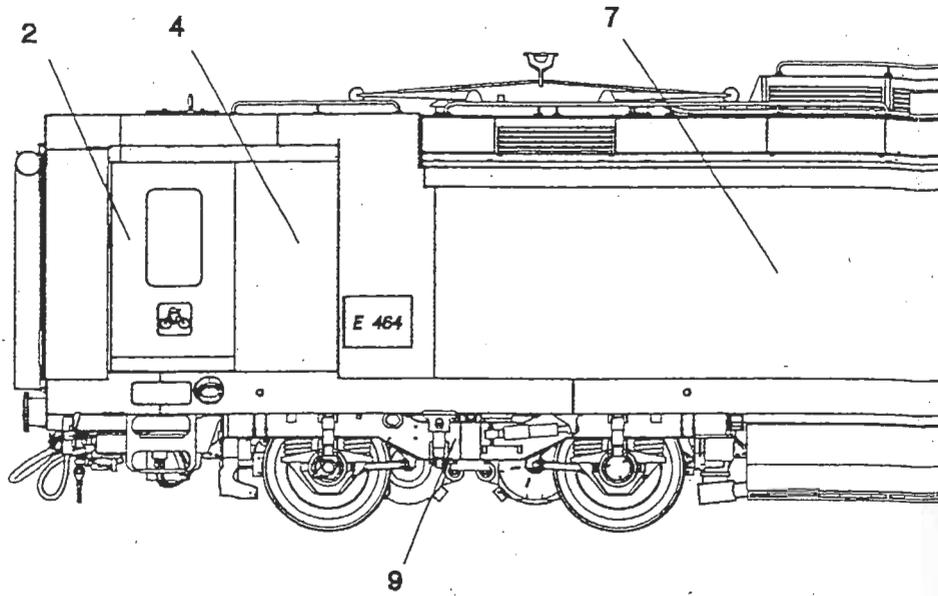
VISTA ANTERIORE

(versione con gruppo di trazione repulsione tradizionale)

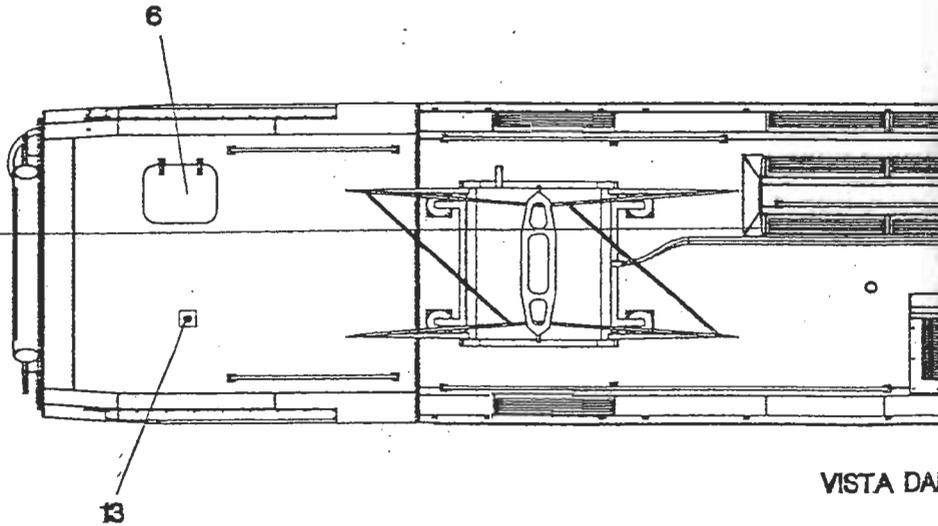
- 7. Comparto AT
- 8. Carrello avanti
- 9. Carrello indietro
- 10. Antenna 450 MHz per il telefono terra-treno
- 11. Antenna 900 MHz per il telefono terra-treno
- 12. Tromba
- 13. Fischio

Fig. 1-1 Viste della locomotiva E464

VISTA LAT



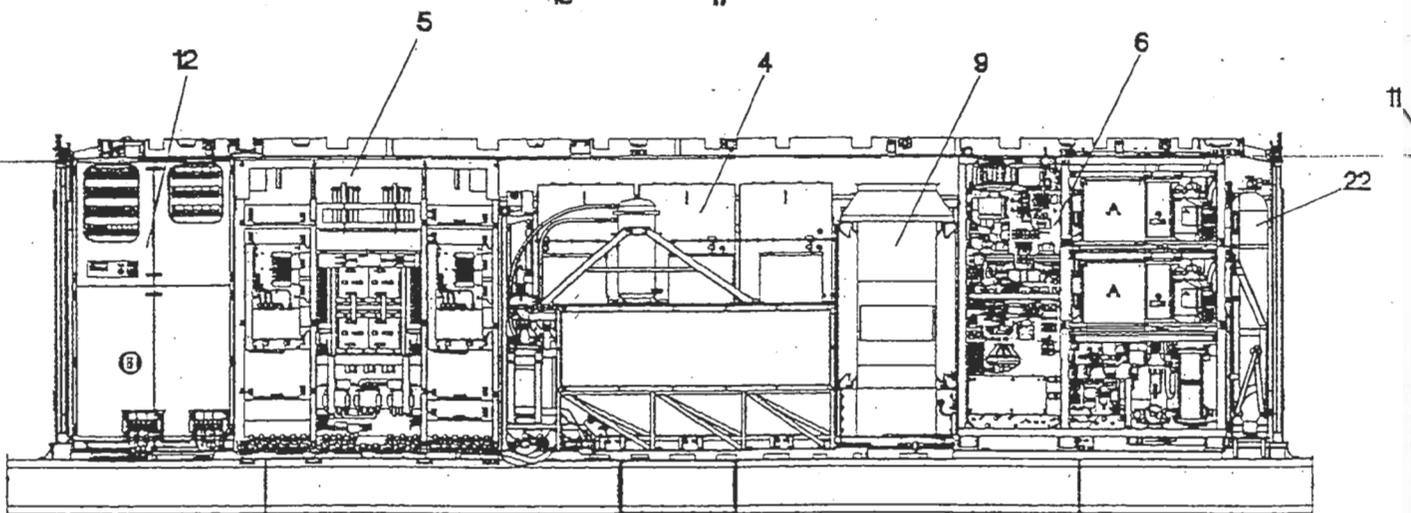
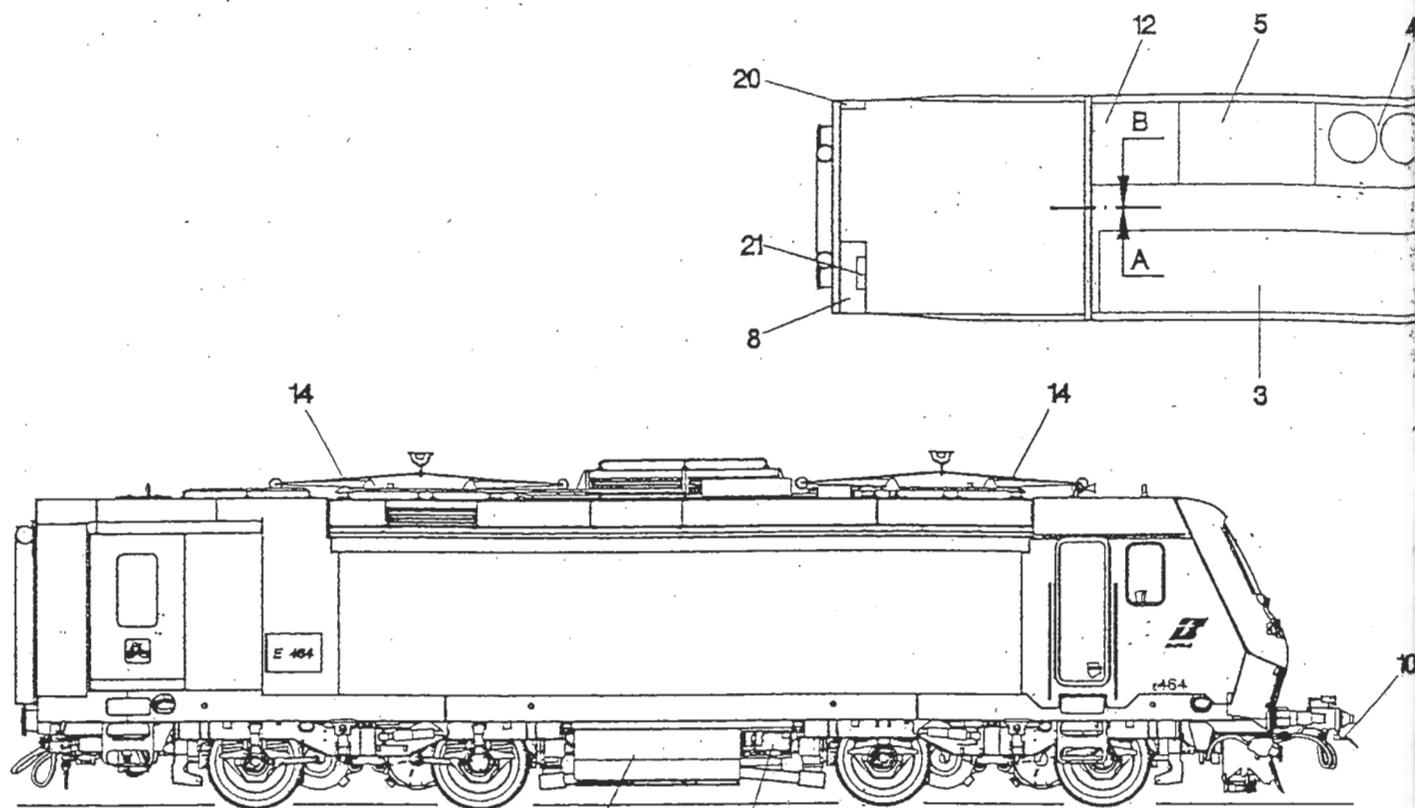
VISTA POSTERIORE



VISTA DA

1. Porta laterale di accesso cabina
2. Porta laterale di accesso bagagliaio
3. Porta intercomunicante di servizio
4. Bagagliaio
5. Cabina di guida
6. Botola di accesso all'imperiale

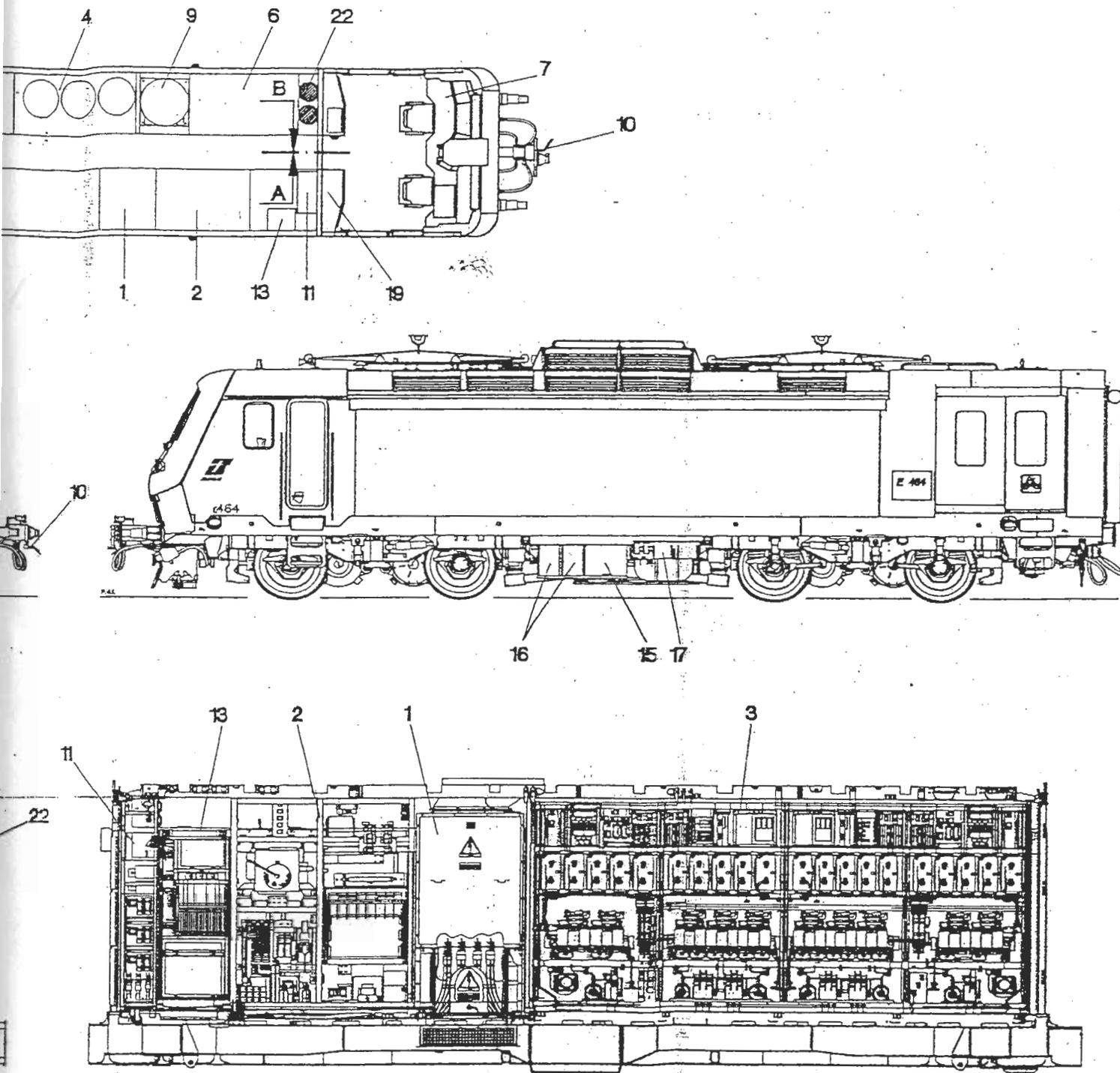
E464	MR1	04	A	00
------	-----	----	---	----



SEZIONE A-A

- 1. Reostato di frenatura
- 2. Telaio AT
- 3. Convertitore principale
- 4. Gruppo di raffreddamento convertitore
- 5. BUR 1/2
- 6. Package pneumatica
- 7. Banco di manovra

- 8. Banchetto ausiliario
- 9. Induttanza filtro rete
- 10. Accoppiatore auto
- 11. Quadro QE
- 12. Quadro QC
- 13. Quadro QERS
- 14. Pantografo

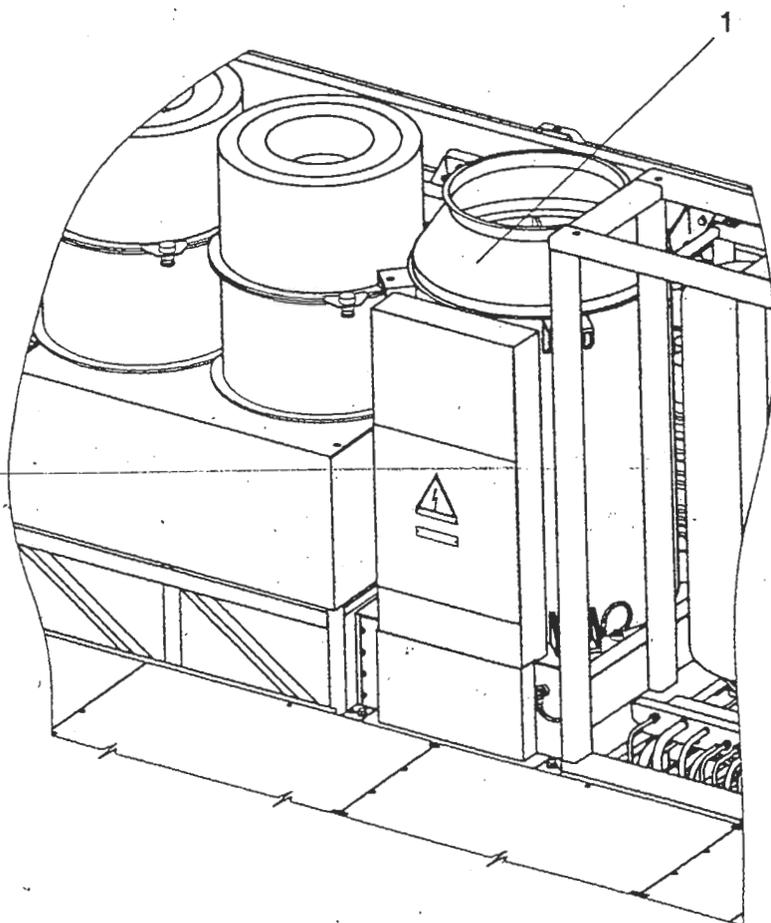
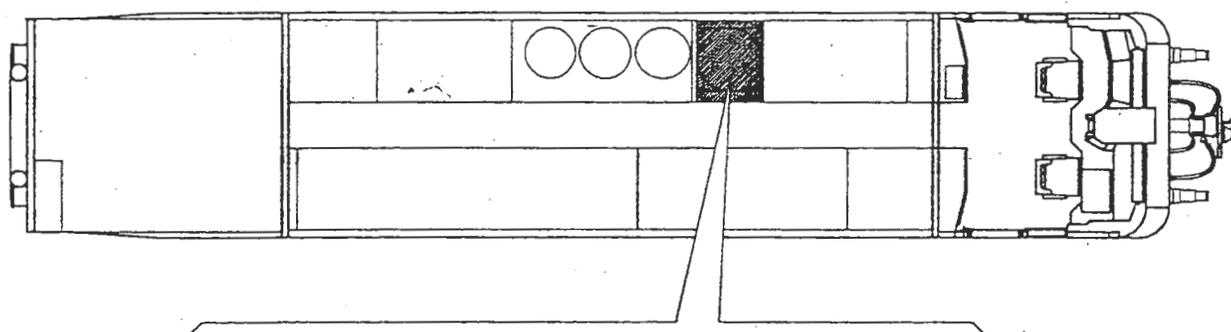


SEZIONE B-B

ausiliario
 filtro rete LFR
 motore automatico
 E
 C
 ERS
 o

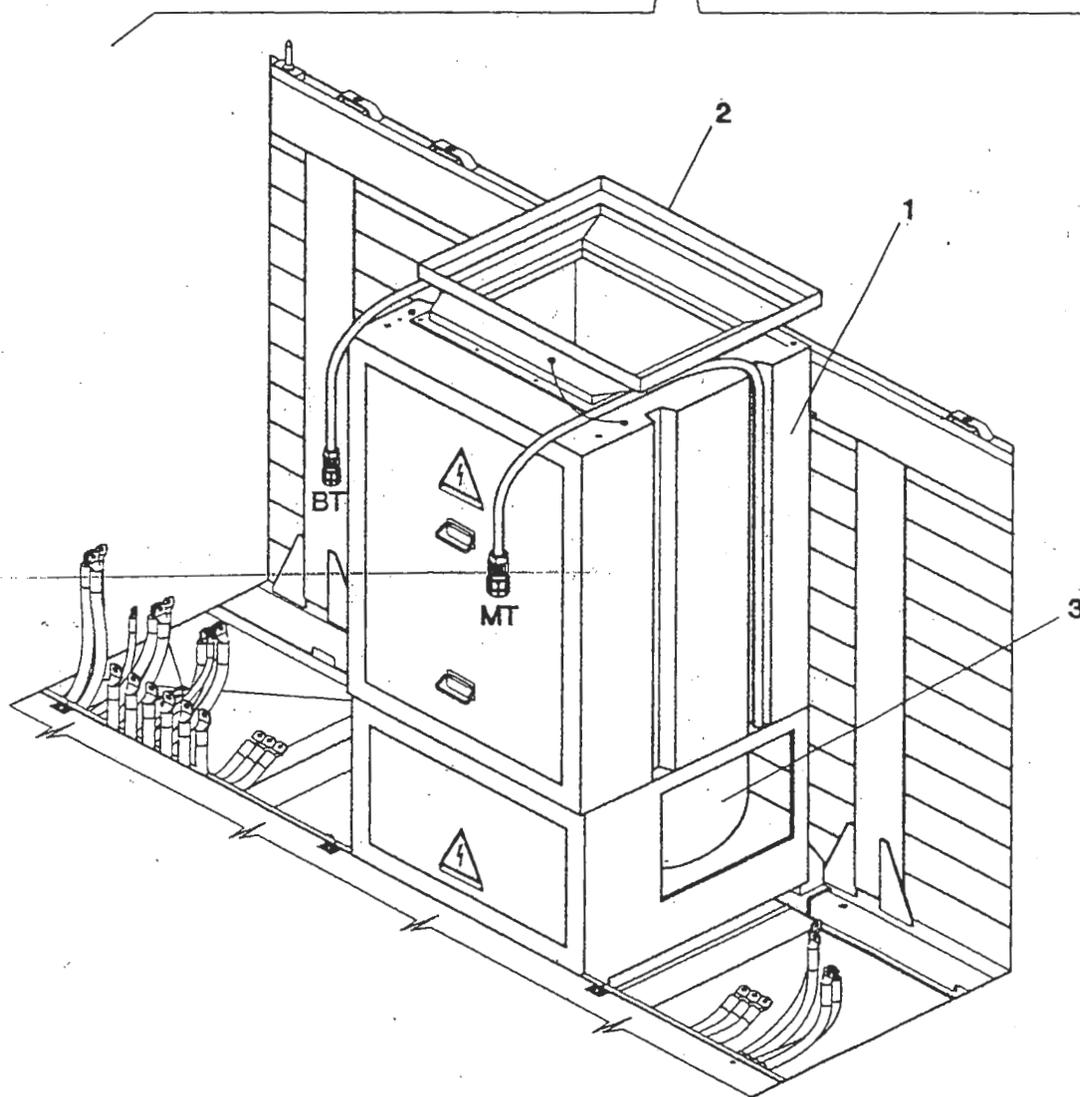
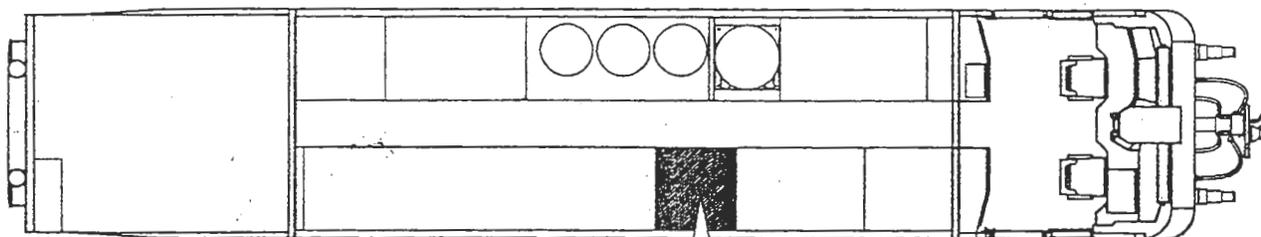
- 15. Cassa batterie
- 16. Caricabatterie
- 17. Cassa pneumatica
- 18. Cassone componenti magnetici
- 19. Quadro QB
- 20. Quadro QRB
- 21. Quadro QCB
- 22. Bombole antincendio

Fig. 1-28. Layout delle principali apparecchiature di bordo



1. Induttanza

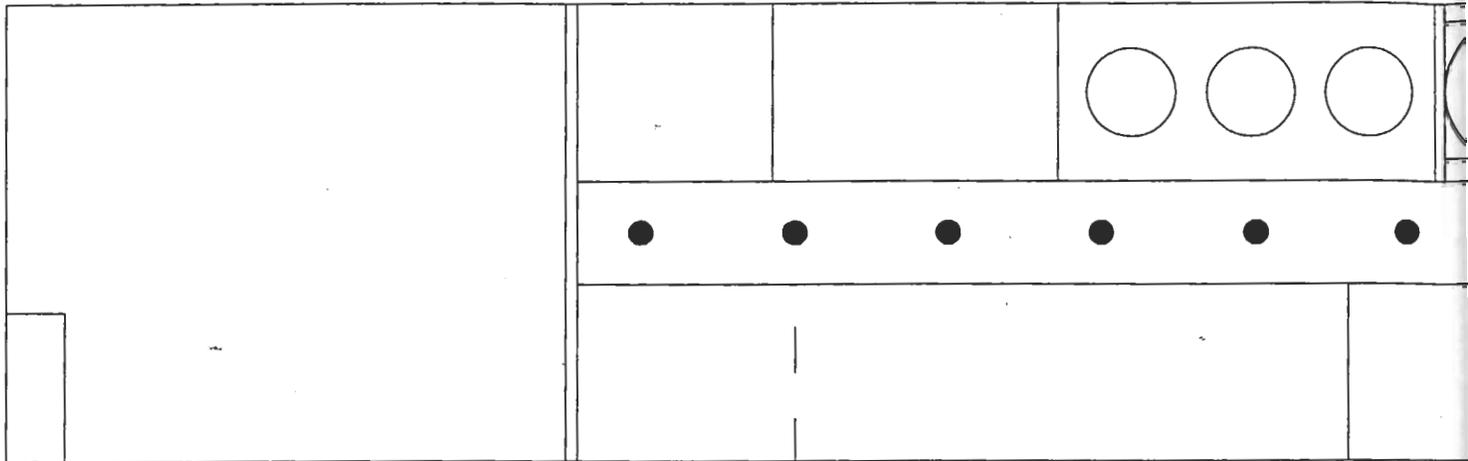
Fig. 1-31 Induttanza filtro rete



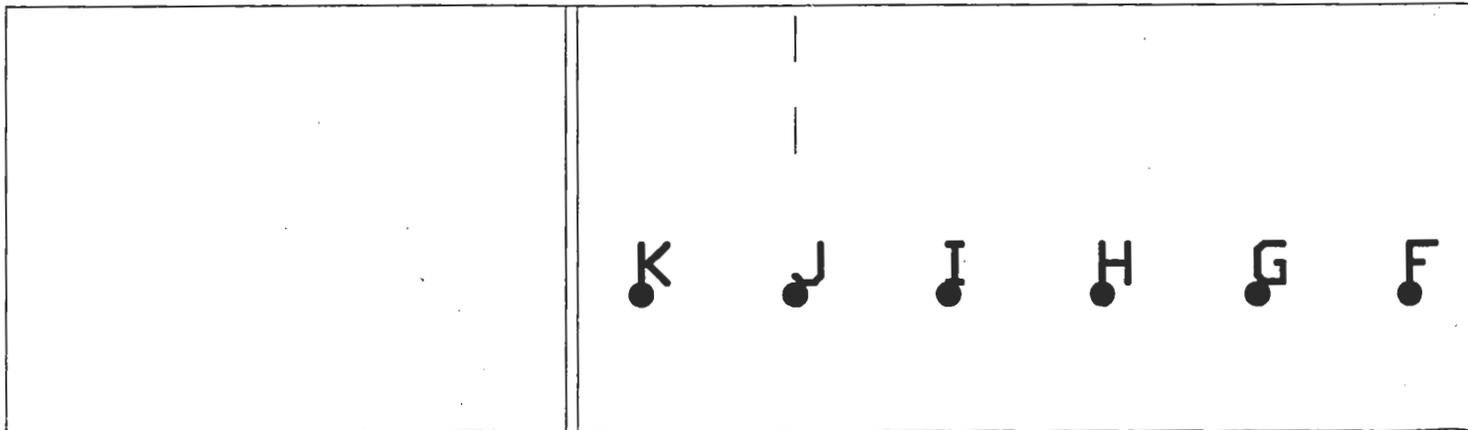
- 1. Reostato
- 2. Convogliatori di tetto
- 3. Motoventilatore

Fig. 1-32 Reostato di frenatura

● PUNTI DI MISURA

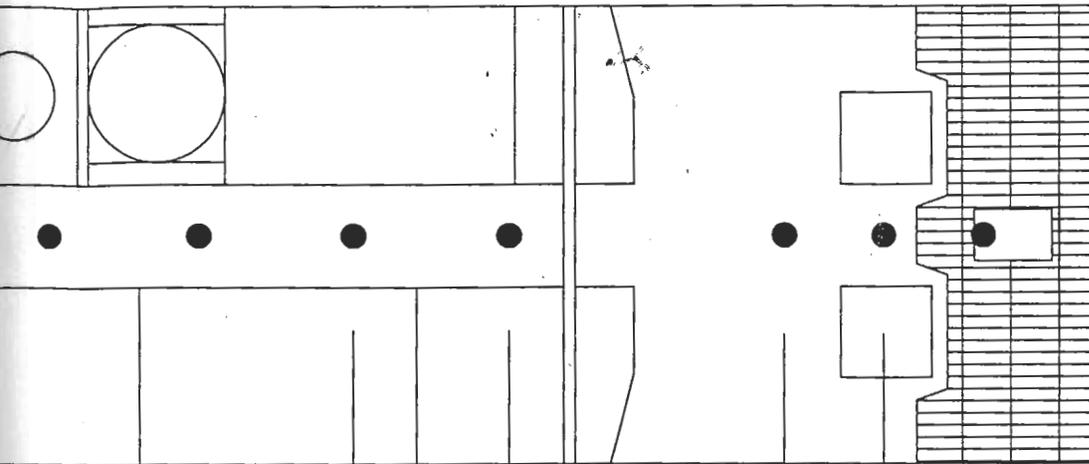


VISTA DALL'ALTE



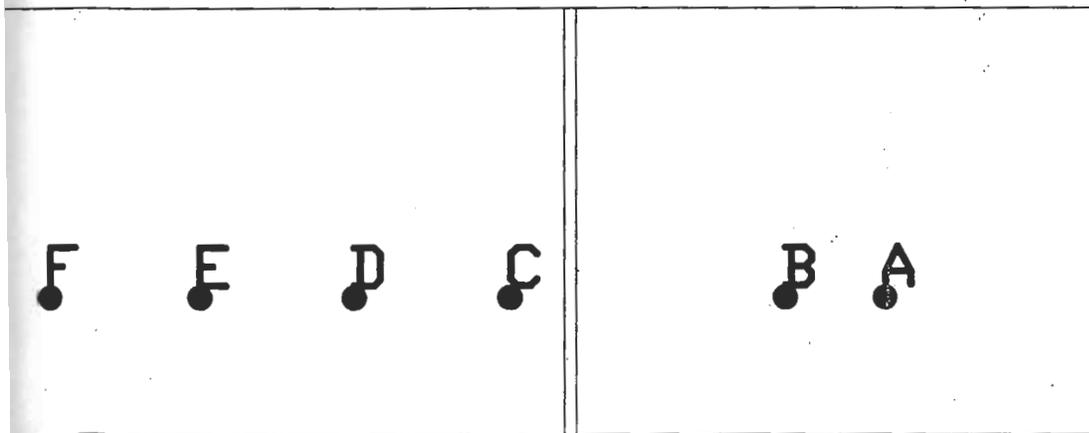
VISTA LATERALE

SCALA 1:50



1m 0,65m

ALTO

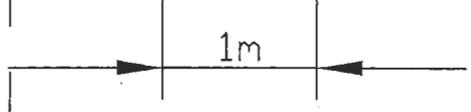
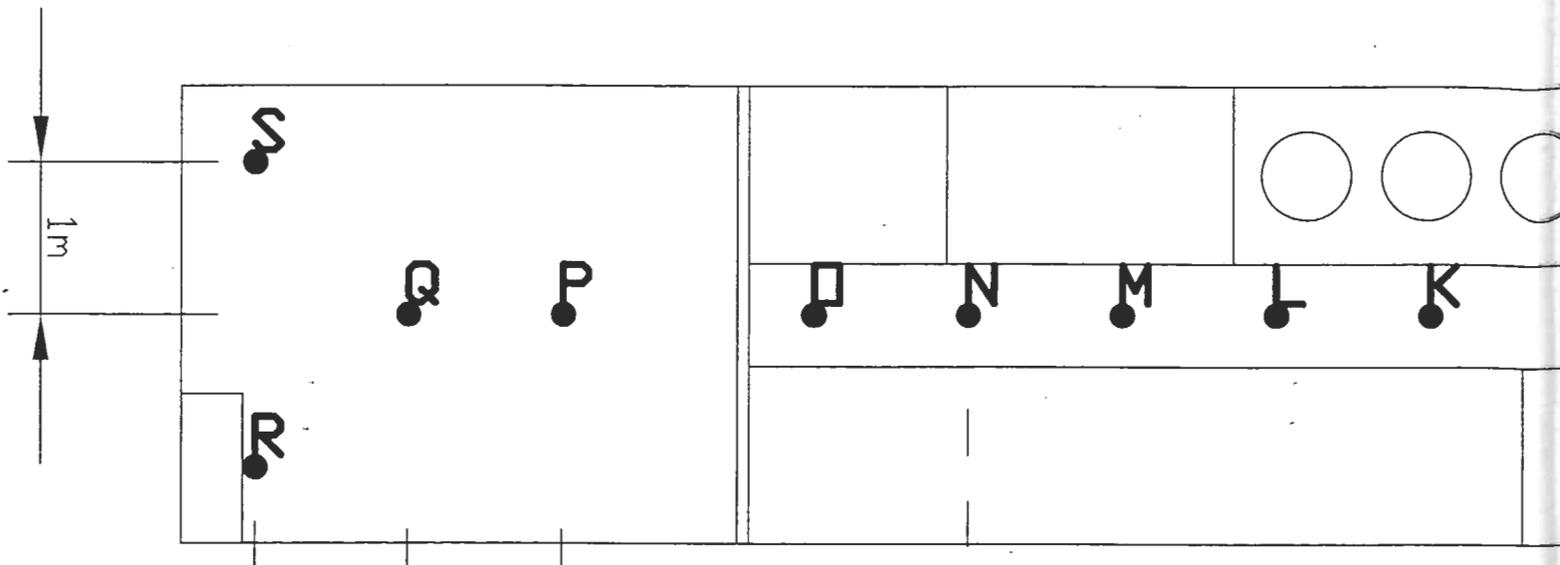


PIANO DI CALPESTIO

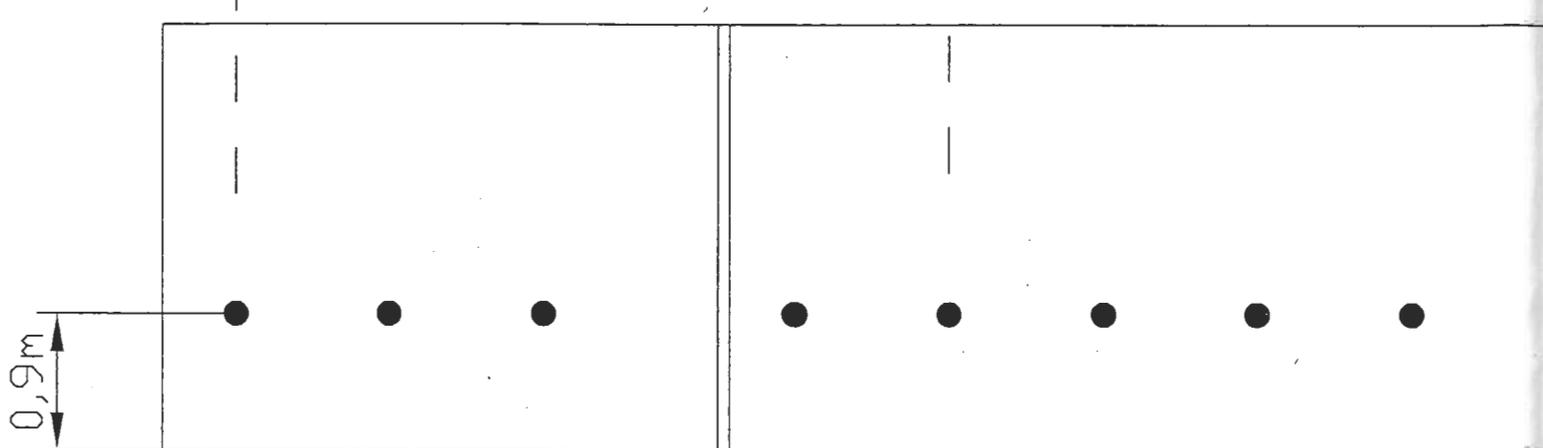
PUNTI DI MISURA
- TAB. 1

ALE

● PUNTI DI MISURA

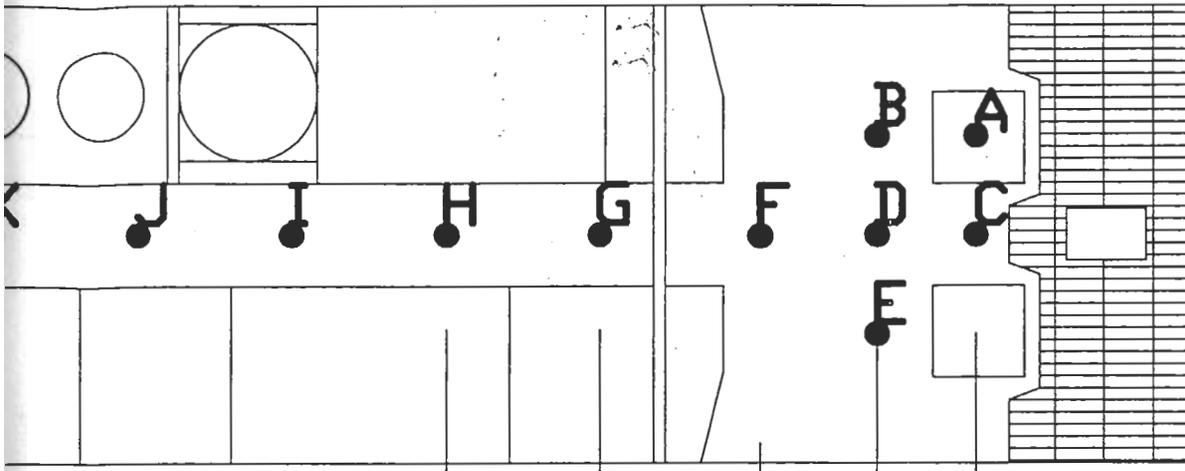


VISTA DALL'AL

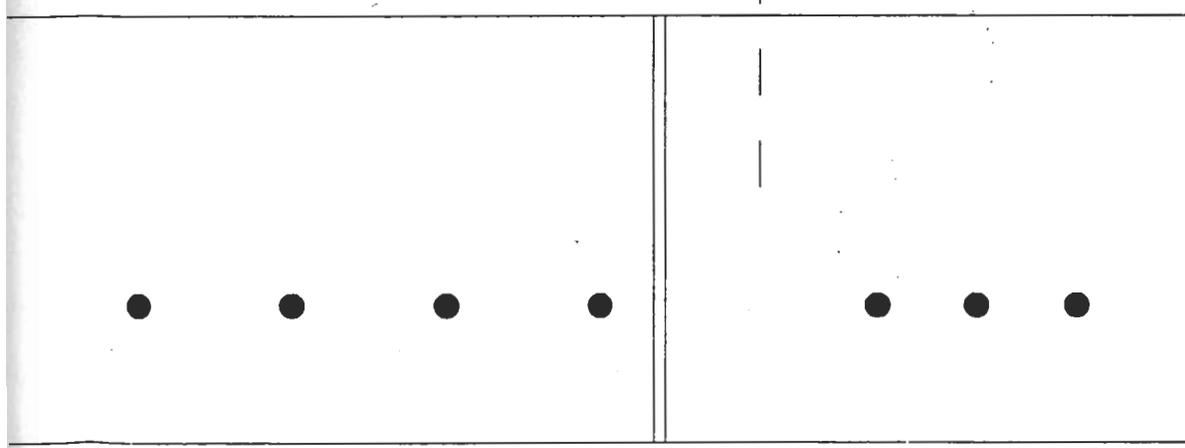


VISTA LATERA

SCALA 1:50



L'ALTO

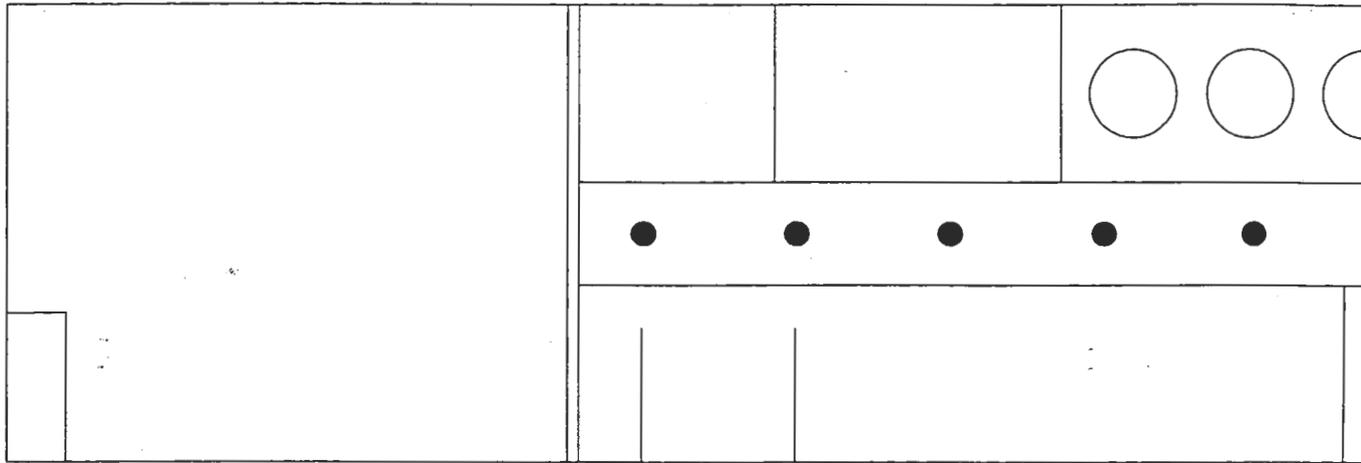


PIANO DI CALPESTIO

PUNTI DI MISURA
- TAB. 2

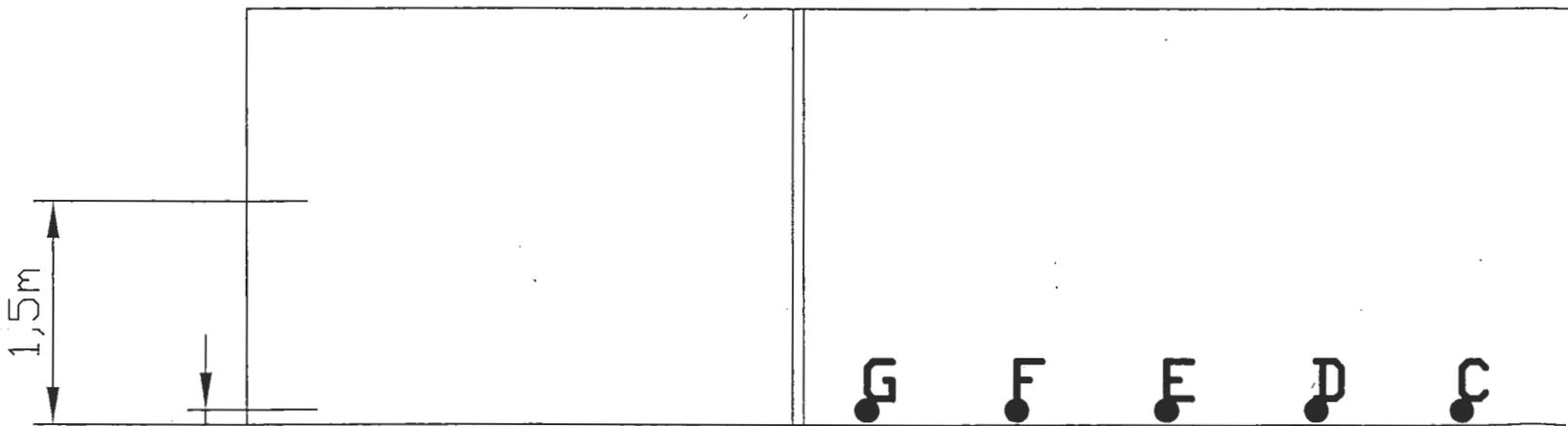
ERALE

● PUNTI DI MISURA



1m

VISTA DALL'A

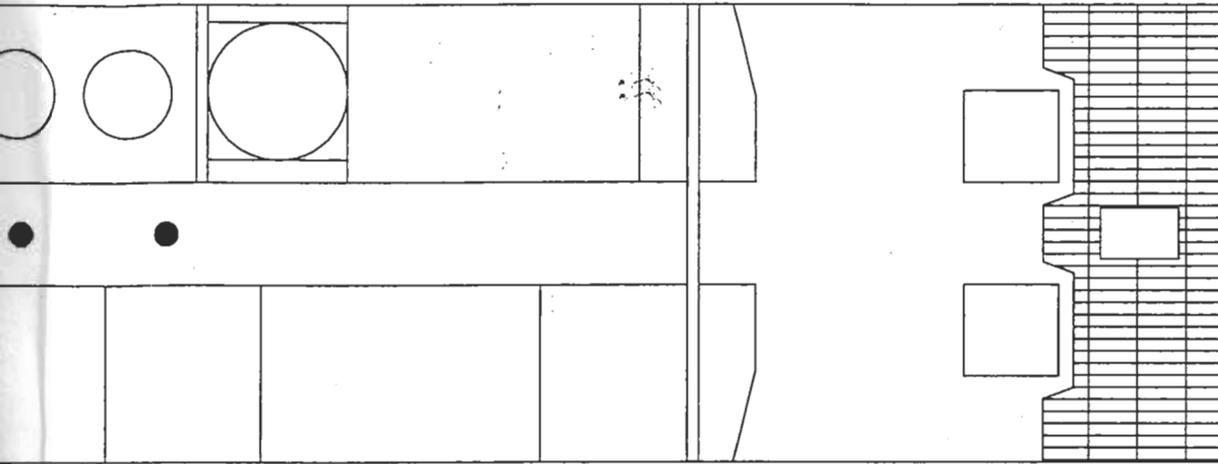


1,5m

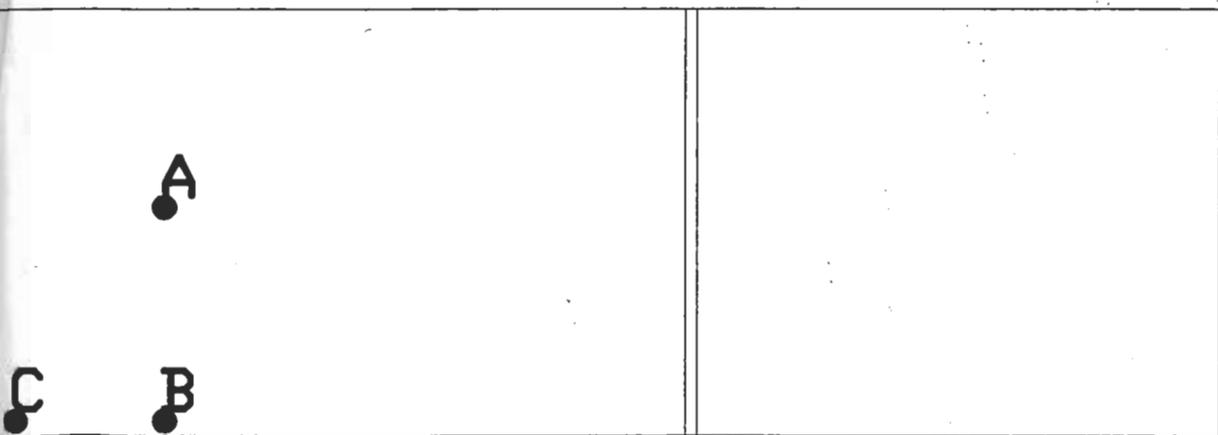
0,1m

VISTA LATERA

SCALA 1:50



L'ALTO



PIANO DI CALPESTIO

TERALE

PUNTI DI MISURA
- TAB. 3