



Distribuzione secondaria
in Media Tensione

Paolo Pinceti

Dipartimento Ingegneria Elettrica

Università di Genova

pinceti@die.unige.it

Roberto Zanarotti

E_PD DMV

Via Vipiteno,4 20128 Milano

roberto.zanarotti@siemens.com

1 – Sicurezza dei quadri MT

- Per le Persone (folgorazione, arco elettrico)
- Per l'Ambiente (impronta ambientale, campo EM)
- Per l'Impianto (rischio incendio e manutenibilità)

2 – Compatibilità elettromagnetica

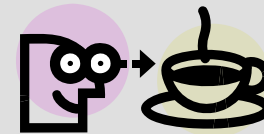
- Modi di interazione
- Leggi e Norme Tecniche (marchio CE)
- Componenti e impianti
- Tecniche di mitigazione

3 – Armoniche e filtraggio

- Analisi di Fourier
- Sorgenti di disturbi armonici in MT
- Norme di riferimento
- Dimensionamento dei filtri

4 – Campi EM in ambiente

- Legislazione europea e nazionale
- Esposizione della popolazione e dei lavoratori
- Metodi di calcolo



5 – Campi EM e Quadri MT

- Misure e modelli in MT
- Documentazione e manuali di prodotto
- Accorgimenti pratici di mitigazione
- CEI 0-15 e manutenzione

6 – Impianto di terra

- Sviluppo del progetto
- Limiti di sicurezza
- Impianti tipici in AT e MT

7 – Coordinamento degli isolamenti

- Norme tecniche di riferimento
- Origini delle sovratensioni
- Studio di coordinamento in MT
- Protezione dai fulmini

8 – Esempi di impianti fotovoltaici

D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81**TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO**

Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

(Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008 - Suppl. Ordinario n.108)

CAPO III – GESTIONE DELLA PREVENZIONE NEI LUOGHI DI LAVORO**SEZIONE I – MISURE DI TUTELA E OBBLIGHI****Articolo 15 - Misure generali di tutela**

1. Le misure generali di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro sono:

- c) l'eliminazione dei rischi e, ove ciò non sia possibile, la loro riduzione al minimo in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico;
- f) la sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è, o è meno pericoloso;
- z) la regolare manutenzione di ambienti, attrezzature, impianti, con particolare riguardo ai dispositivi di sicurezza in conformità alla indicazione dei fabbricanti.

D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81

TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO

ALLEGATO IX

NORME DI BUONA TECNICA

Ai fini del presente Capo, si considerano norme di buona tecnica le specifiche tecniche emanate dai seguenti organismi nazionali e internazionali:

- UNI (Ente Nazionale di Unificazione);
- CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano);
- CEN (Comitato Europeo di normalizzazione);
- CENELEC (Comitato Europeo per la standardizzazione Elettrotecnica);
- IEC (Commissione Internazionale Elettrotecnica);
- ISO (Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione).





Informazione



Formazione continua

Per escludere:
negligenza, imprudenza,
imperizia ovvero
l'inosservanza
di regole o norme di
condotta.



Nuove tecnologie, leggi, regole, norme



PERSONE



FOLGORAZIONE



ARCO ELETTRICO

AMBIENTE



IMPRONTA AMBIENTALE



CAMPI E-M

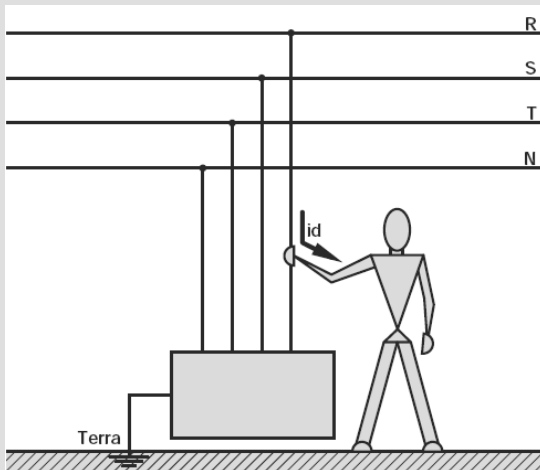
IMPIANTO



INCENDIO



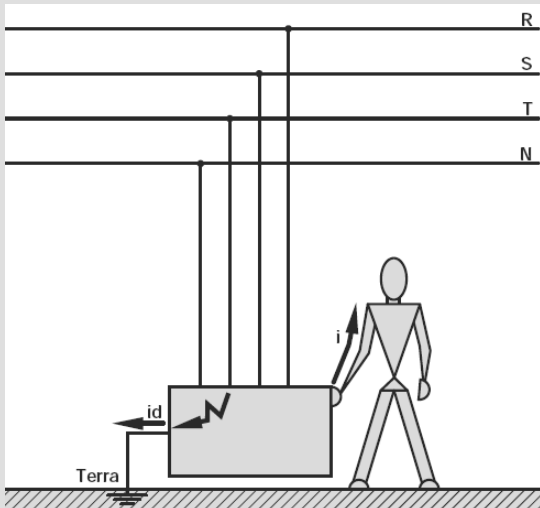
MANUTENIBILITA'



Contatto Diretto



Grado di Protezione **>IP2X**



Contatto Indiretto



Messa a Terra +
Protezioni

SIEMENS



Analisi Rischi per Quadri MT

Internal arc tested design IAC AFLR
IEC 62271-200



Peace of Mind
at every Stage of Product Life

La tenuta all'arco interno è fornibile dai molti costruttori che hanno eseguito i test secondo CEI EN 62271-200.

Pretendere tutti i criteri d'accettazione.



Fonte ABB

<http://www.abb.com/product/db0003db004279/c125739900636470c1256a690029a3e2.aspx>

Page 8



E_PD DMV



Gas-insulated switchgear 8DH10

Roberto Zanarotti

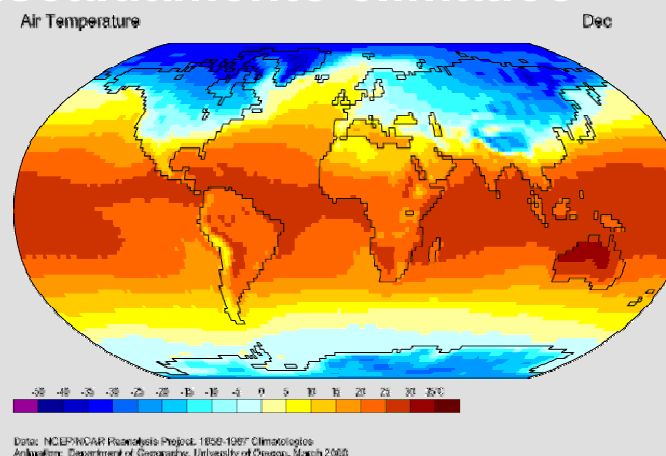
SIEMENS

Energia Primaria



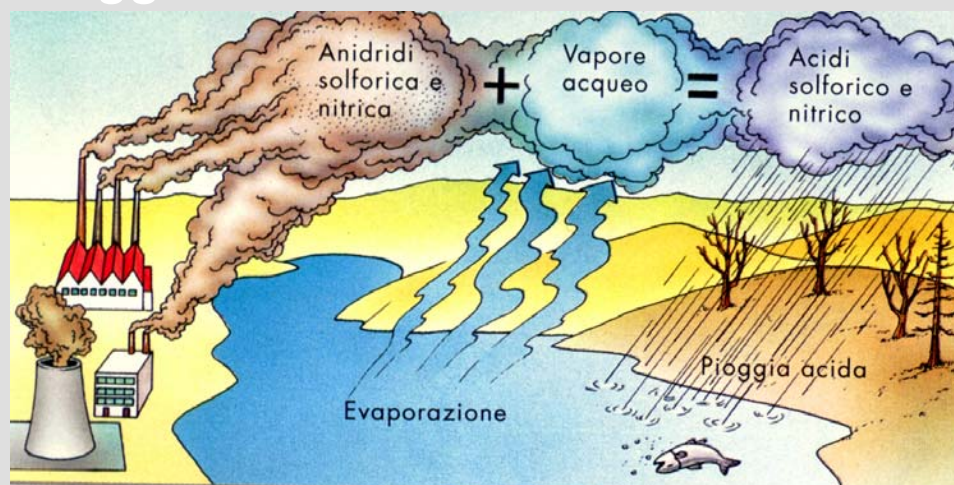
Analisi Rischi per Quadri MT

Surriscaldamento climatico



Ecological criteria

Piogge acide



Nitrificazione



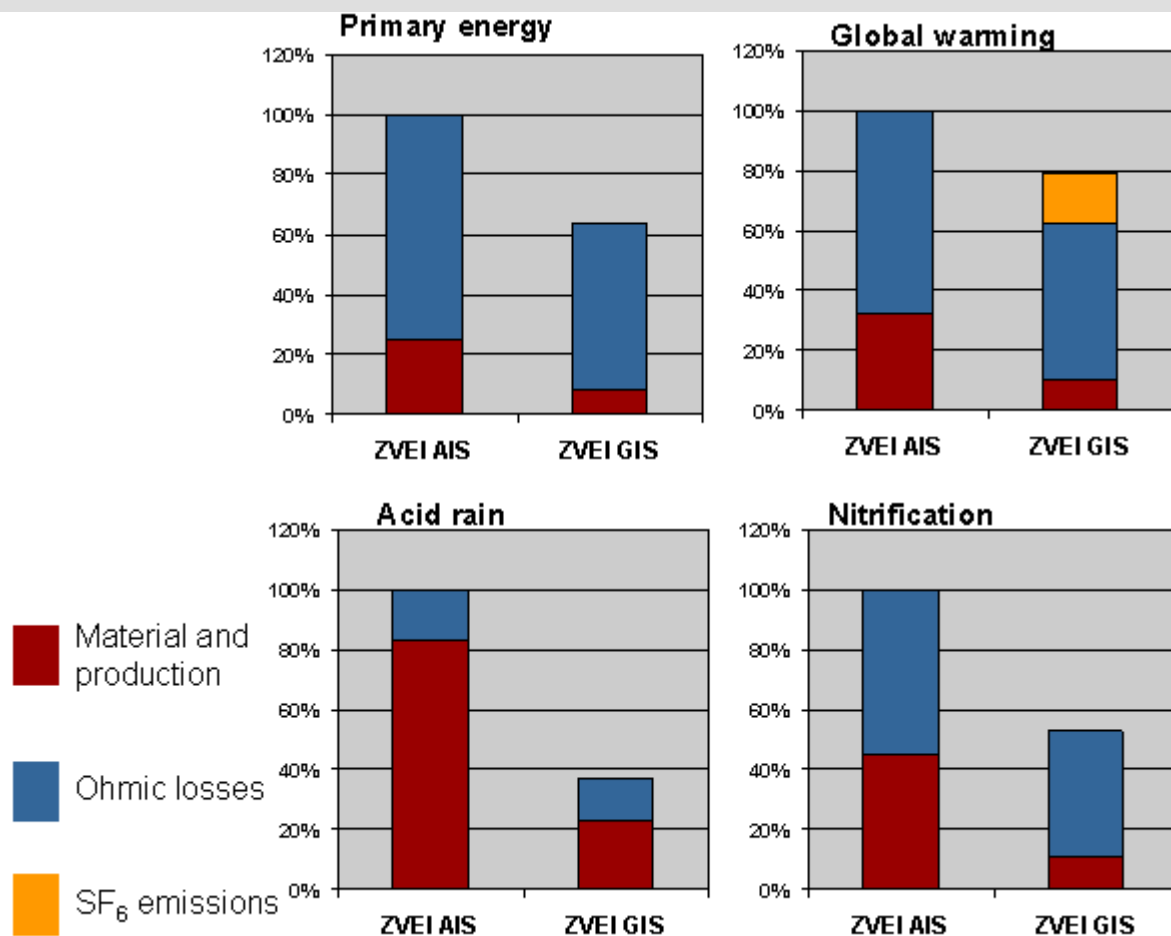


SF₆ Ecological criteria

GIS



AIS

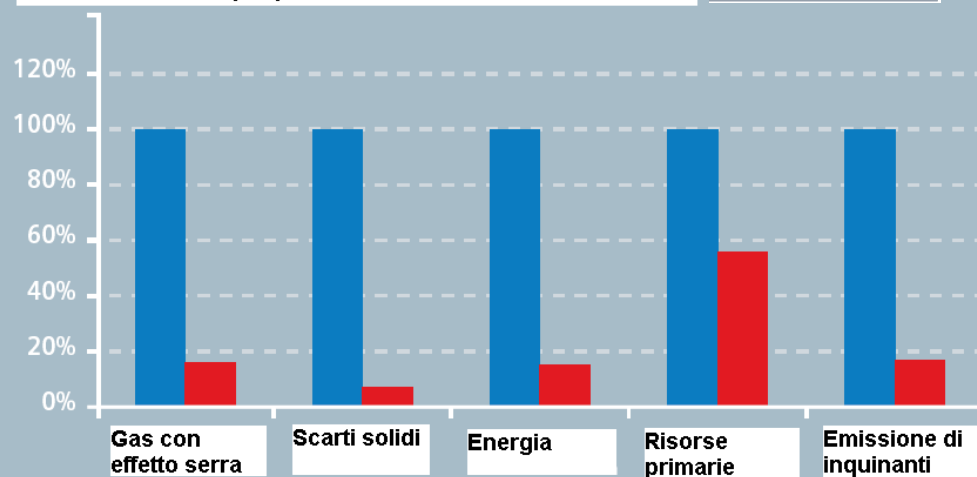




Ecological criteria

Progresso tecnico
=
Riduzione impronta
ambientale

Risorse consumate per produrre un int. 12kV 1.250A 25kA

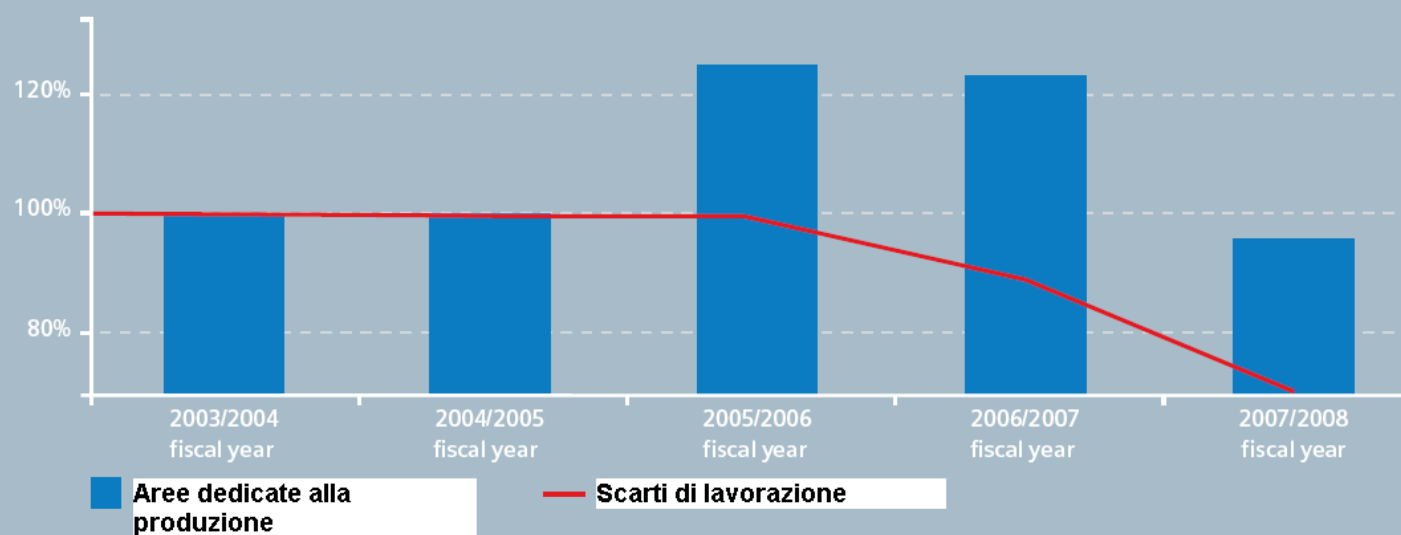


3AC

3AE

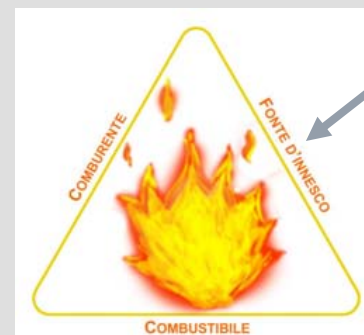
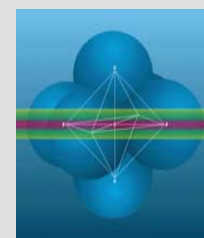
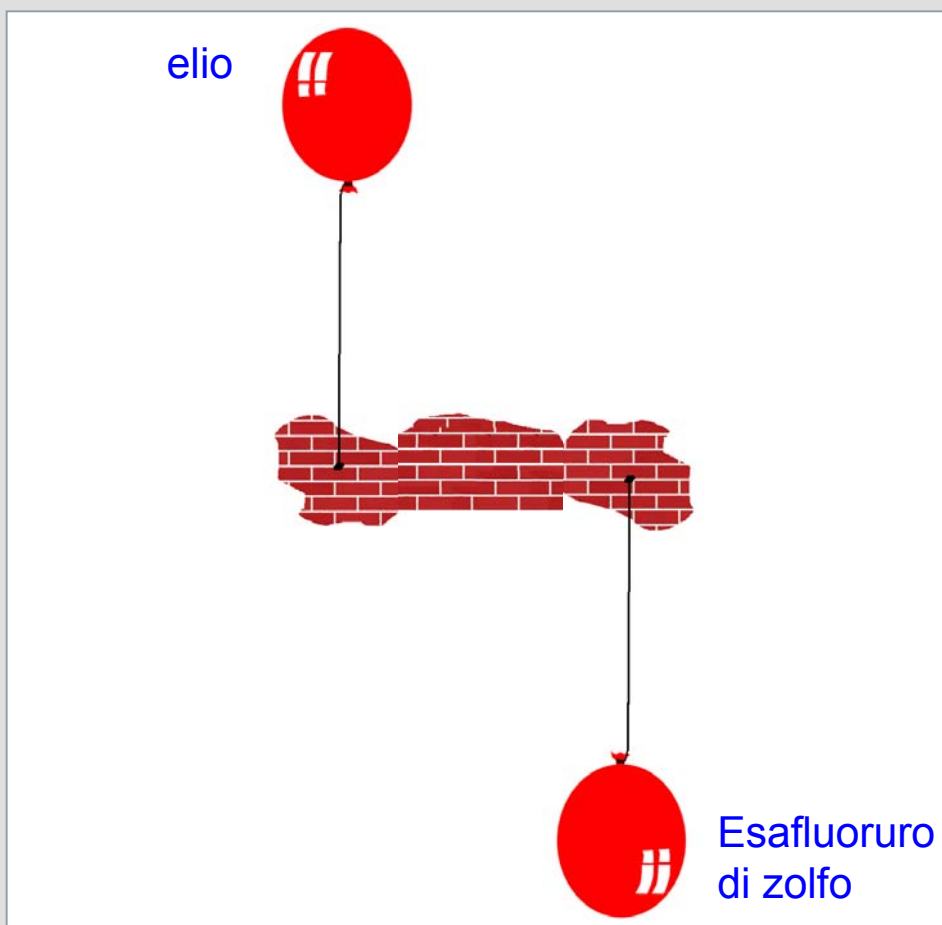
Impegno dei costruttori

Riduzione dello spreco di materie prime in produzione



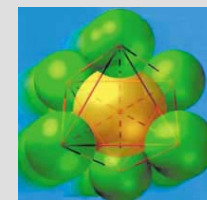


REGOLAMENTO (CE) n. 842/2006 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 17 maggio 2006 su **taluni gas fluorurati ad effetto serra**.

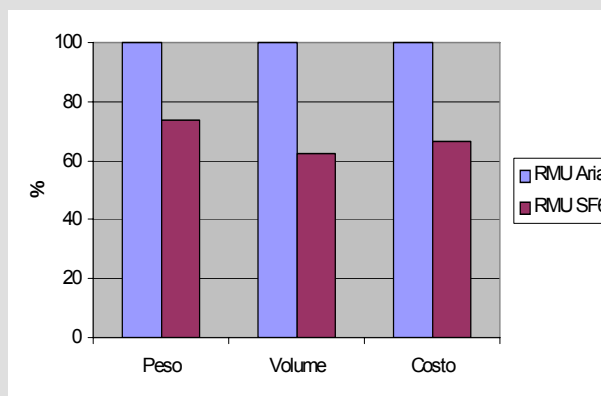
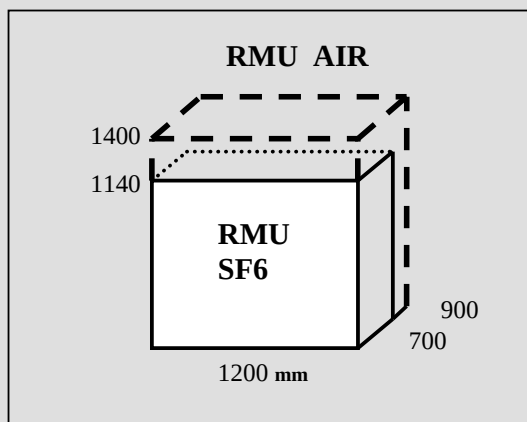




Alternative



Studio: sostituzione dell'esafluoruro di zolfo con aria secca per RMU da 24 kV
la soluzione con aria secca comporta un incremento di peso, volume e costi : **forte impatto ambientale**



Fonte: Federazione ANIE Ass. Energia



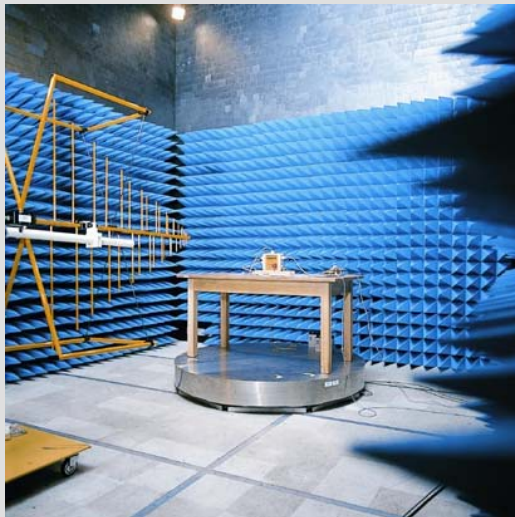
EMF
(salute)



Bassa
Frequenza



~~Alta
Frequenza~~



EMC
(apparati)



Riduzione Innesco

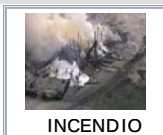


Tenuta Arco Interno (IAC)

Riduzione Combustibile



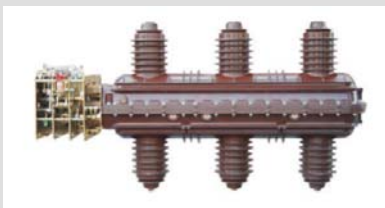
Ridotta quantità di resina



Riduzione Combustibile

→ **Ridotta quantità di resina** →

Classe dei diaframmi
Apparecchi



PI

PM



Fonte: ELKO Elektrik Tic. ve San. A.Ş. TURKEY

SIEMENS: SIMOSEC



Riduzione Combustibile

Ridotta quantità di resina



NXPLUS C

Classe diaframmi PM



INCENDIO

Analisi Rischi per Quadri MT

Inox	88	kg
Lamiera zincata	336	kg
Ferro	60	kg
Rame	52	kg
Alluminio	5,5	kg
Resina	19	kg
Trogamit (plastica)	0,8	kg
Silicone	6,5	kg
GFK	5	kg
PVC	2	kg
Duroplaste (polimero)	10	kg
Sf6	2,3	kg
Ceramica	3,5	kg
Grasso	0,4	kg
Cablaggio	2	kg
	593	kg

91,32%	Acciaio ferro rame	541,5	kg
5,03%	Plastiche ceramiche cablaggio	29,8	kg
0,07%	Liquidi	0,4	kg
3,20%	Resina	19	kg
0,39%	Sf6	2,3	kg
		593	kg

**Trascurabile utilizzo di resina: ARIA in classe PM
GAS con int. in vuoto**

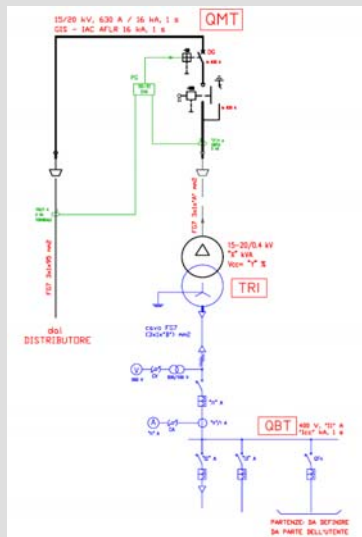
SIEMENS

Progettista impianti Elettrici

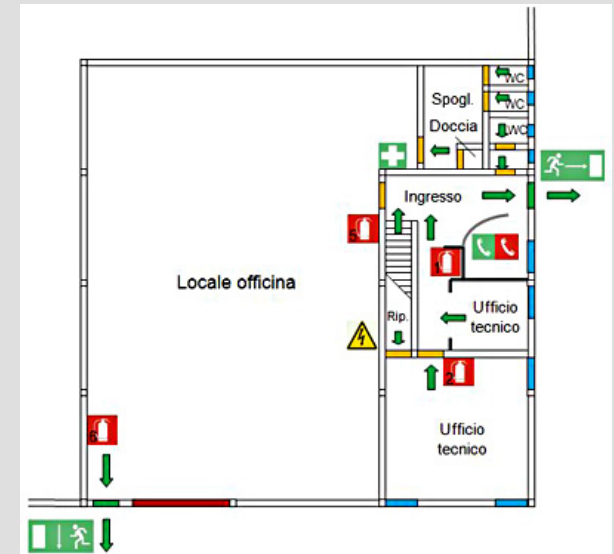
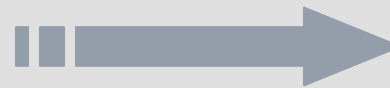


INCENDIO

Esperto della Sicurezza Antincendio



Rischio elettrico



Riduzione del rischio

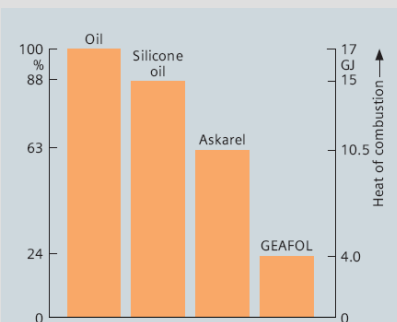


Figure 2: Combustion heat of the insulating materials of comparable 630-kVA transformers with different insulating materials



PM



Nuova classificazione



Solidi di natura organica



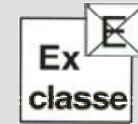
Liquidi



Gas



Metalli: sodio, alluminio, fosforo, potassio, magnesio.



Apparecchiature sotto tensione



Oli e grassi vegetali o animali

Estintori a CO2 in quanto l'anidride carbonica non è conduttrice di elettricità

Oppure altri estintori

Occorre stabilire se l'estintore può essere utilizzato per apparecchiature sotto tensione mediante la prova dielettrica.

prova non superata:

▪ "non utilizzare su apparecchiature elettriche sotto tensione"

prova superata:

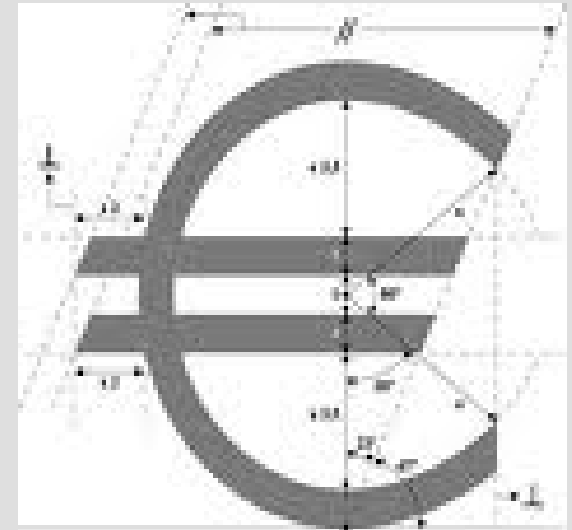
▪ "adatto all'uso su apparecchiature elettriche sotto tensione fino a 1000 V ad una distanza di 1 metro"



Aspetti



Etico



Economico

DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008 , n. 81
Sezione I - MISURE DI TUTELA E OBBLIGHI
Art. 15. Misure generali di tutela
“ la regolare manutenzione di ambienti,
attrezzature, impianti,

Legislativo

SIEMENS



Analisi Rischi per Quadri MT



Manutenzione ad evento



Manutenzione preventiva



Istruzioni



Manutenzione predittiva



Soluzione mista



SIEMENS

Dal Quadro MT al Sistema di Distribuzione

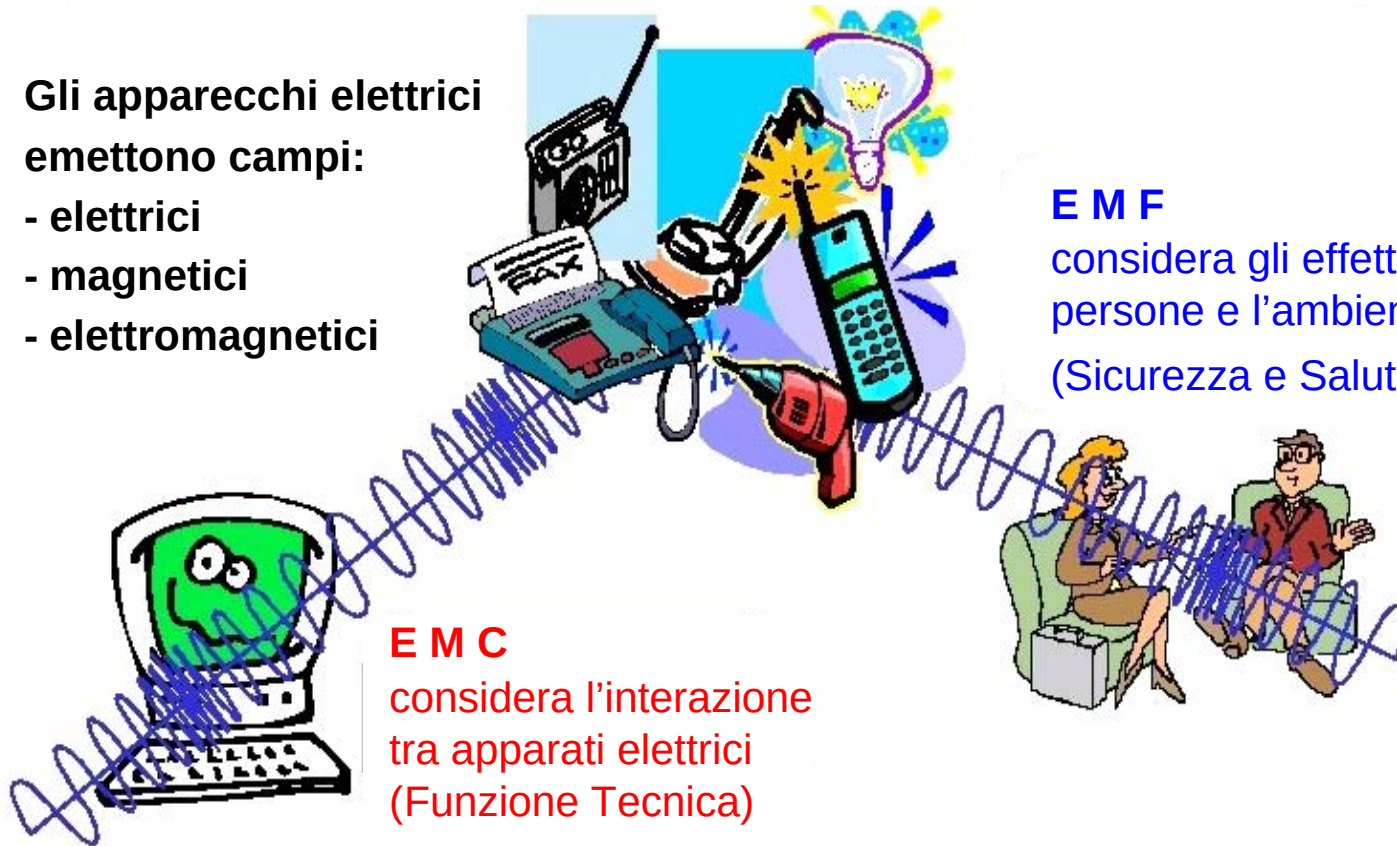


EMC

Compatibilità elettromagnetica (EMC) e campi elettromagnetici (EMF)

Gli apparecchi elettrici emettono campi:

- elettrici
- magnetici
- elettromagnetici



EMC
considera l'interazione
tra apparati elettrici
(Funzione Tecnica)

EMF
considera gli effetti sulle
persone e l'ambiente
(Sicurezza e Salute)

1. Requisiti in materia di protezione

Le apparecchiature sono progettate e fabbricate, secondo le tecniche più recenti, in modo tale che:

- a) le perturbazioni elettromagnetiche prodotte non raggiungano un'intensità tale da impedire il normale funzionamento delle apparecchiature radio e di telecomunicazione;
- b) presentino un livello d'immunità alle perturbazioni elettromagnetiche prevedibili nelle condizioni d'uso cui sono destinate tale da preservarne il normale funzionamento da un deterioramento inaccettabile.

2. Requisiti specifici per gli impianti fissi

Installazione e utilizzo previsto di componenti:

Gli impianti fissi sono installati secondo le regole dell'ingegneria industriale e le indicazioni sull'uso cui i loro componenti sono destinati, al fine di soddisfare i requisiti in materia di protezione di cui al punto 1. Dette regole di ingegneria industriale sono documentate e la(le) persona(e) responsabile(i) le tengono a disposizione delle competenti autorità nazionali a fini ispettivi fintantoché gli impianti fissi sono in funzione.

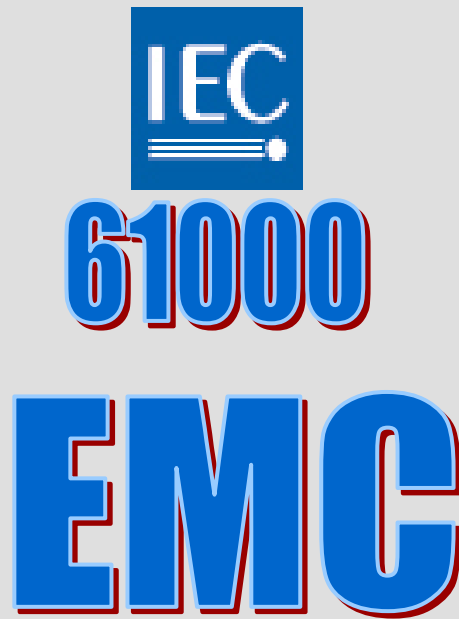
c) «impianto fisso»: una combinazione particolare di apparecchi di vario tipo ed eventualmente di altri dispositivi, che sono assemblati, installati e destinati ad essere utilizzati in modo permanente in un luogo prestabilito;



Per le loro caratteristiche specifiche, non è necessario che gli impianti fissi siano soggetti all'obbligo della marcatura «CE» o della dichiarazione di conformità.

Le norme armonizzate rispecchiano lo stato dell'arte generalmente riconosciuto per quanto attiene alla compatibilità elettromagnetica nell'Unione europea. Pertanto l'esistenza di norme armonizzate a livello comunitario relative alla compatibilità elettromagnetica delle apparecchiature è nell'interesse del funzionamento del mercato interno. La conformità ad una norma armonizzata i cui riferimenti sono stati pubblicati nella Gazzetta ufficiale dell'Unione europea conferisce presunzione di conformità ai requisiti essenziali corrispondenti, conformità che dovrebbe tuttavia poter essere dimostrata anche in altri modi. La conformità ad una norma armonizzata significa la conformità alle sue disposizioni e la dimostrazione di tale conformità secondo i metodi che descrive o ai quali fa riferimento la norma armonizzata.

Norme Tecniche



Parte 1: Generalità

Considerazioni generali (introduzione, principi fondamentali)
Definizioni, terminologia

Parte 2: Ambiente

Descrizione dell'ambiente
Classificazione dell'ambiente
Livelli di compatibilità

Parte 3: Limiti

Limiti di emissione
Limiti di immunità

Parte 4: Tecniche di prova e misura

Tecniche di misura
Tecniche di prova

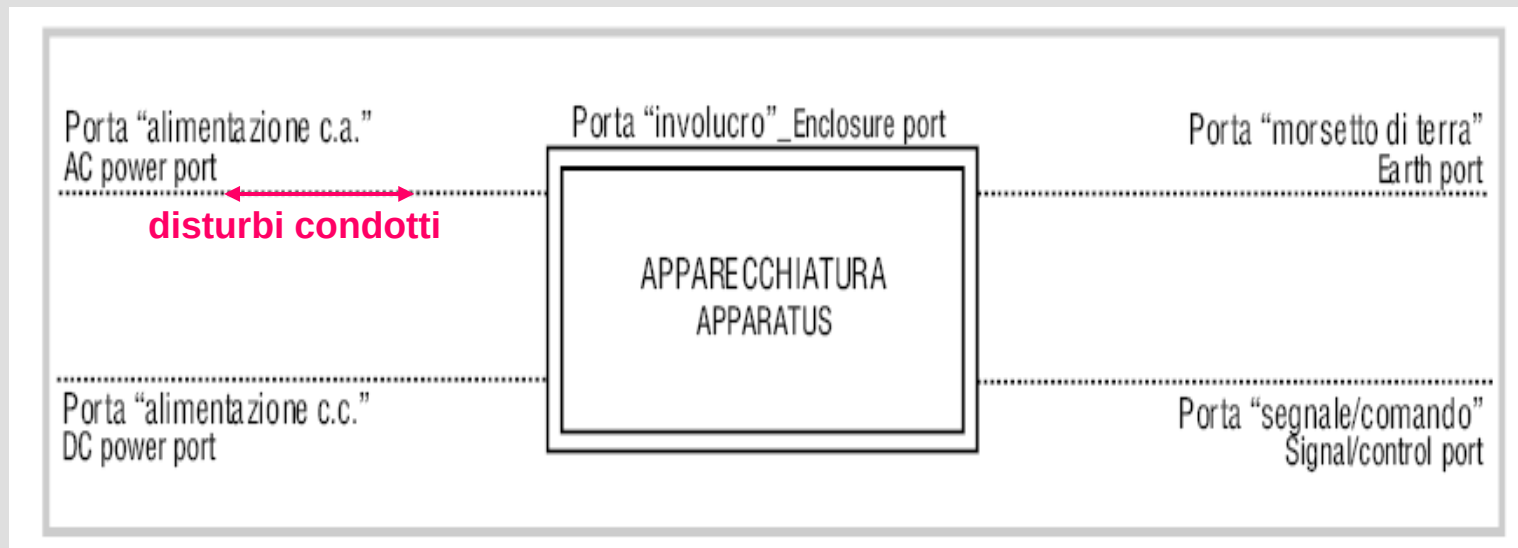
Parte 5: Linee guida per l'installazione e per la mitigazione

Linee guida per l'installazione
Metodi e dispositivi per la mitigazione

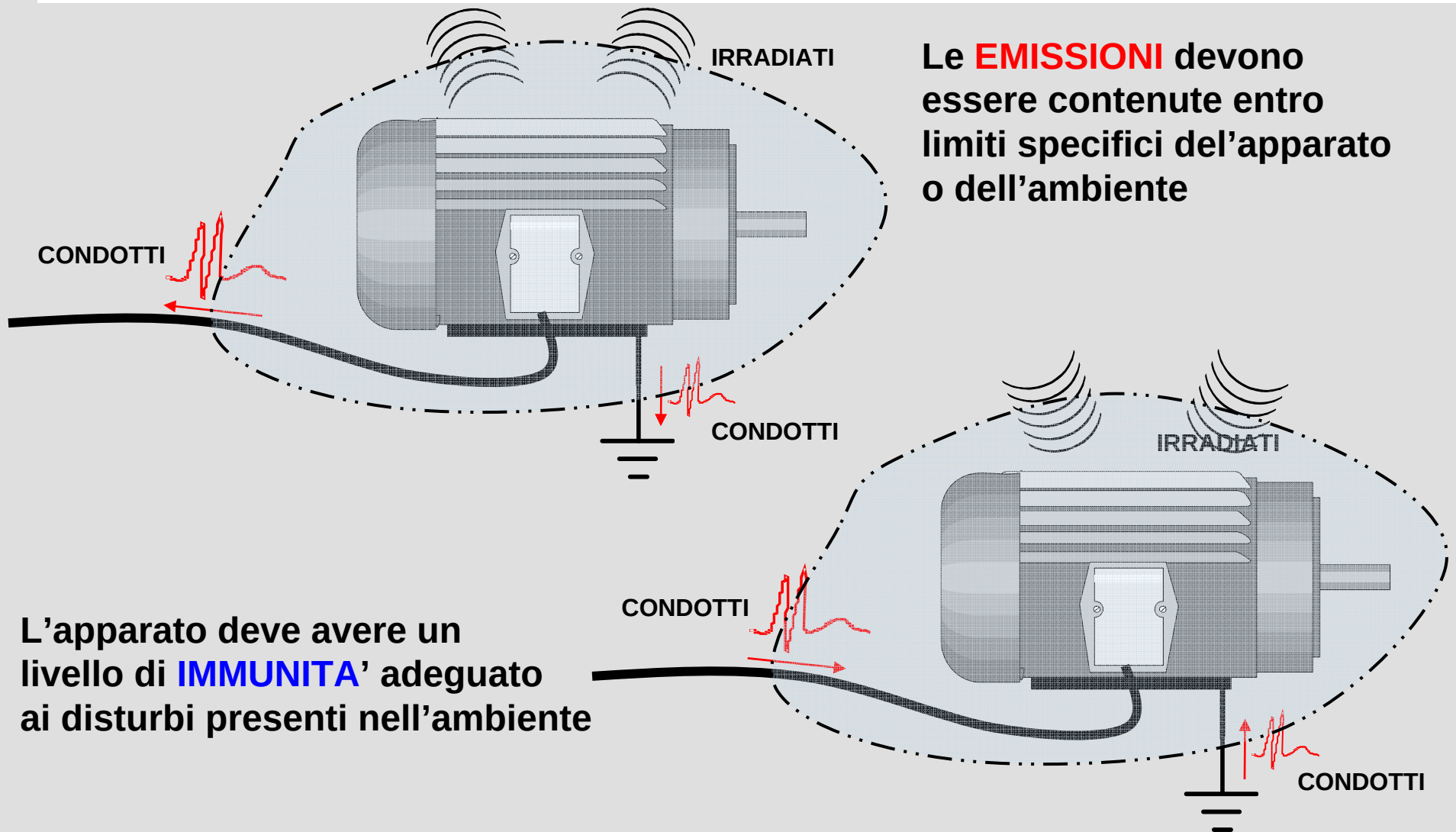
Parte 6: Norme generiche

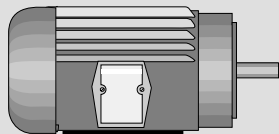
Parte 9: Miscellanea

Meccanismi di Interazione tra Apparatı Elettrici



il concetto di "porta"





Se le norme di prodotto esistono e contengono prescrizioni specifiche sulla EMC

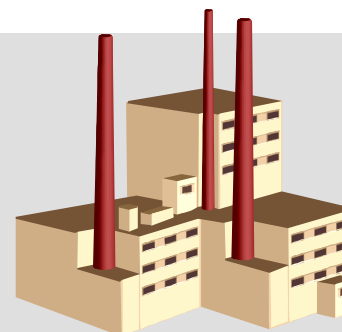


Si applicano le norme di prodotto



NORME GENERICHE DI AMBIENTE

AMBIENTE	LIMITI DI:	IMMUNITA'	EMISSIONE
INDUSTRIALE		61000-6-2 (CEI 210-54)	61000-4 (CEI 210-66)
RESIDENZIALE o INDUSTRIA LEGGERA		61000-6-1 (CEI 210-64)	61000-3 (CEI 210-65)



IEC 61000-6-4: Limiti di emissione

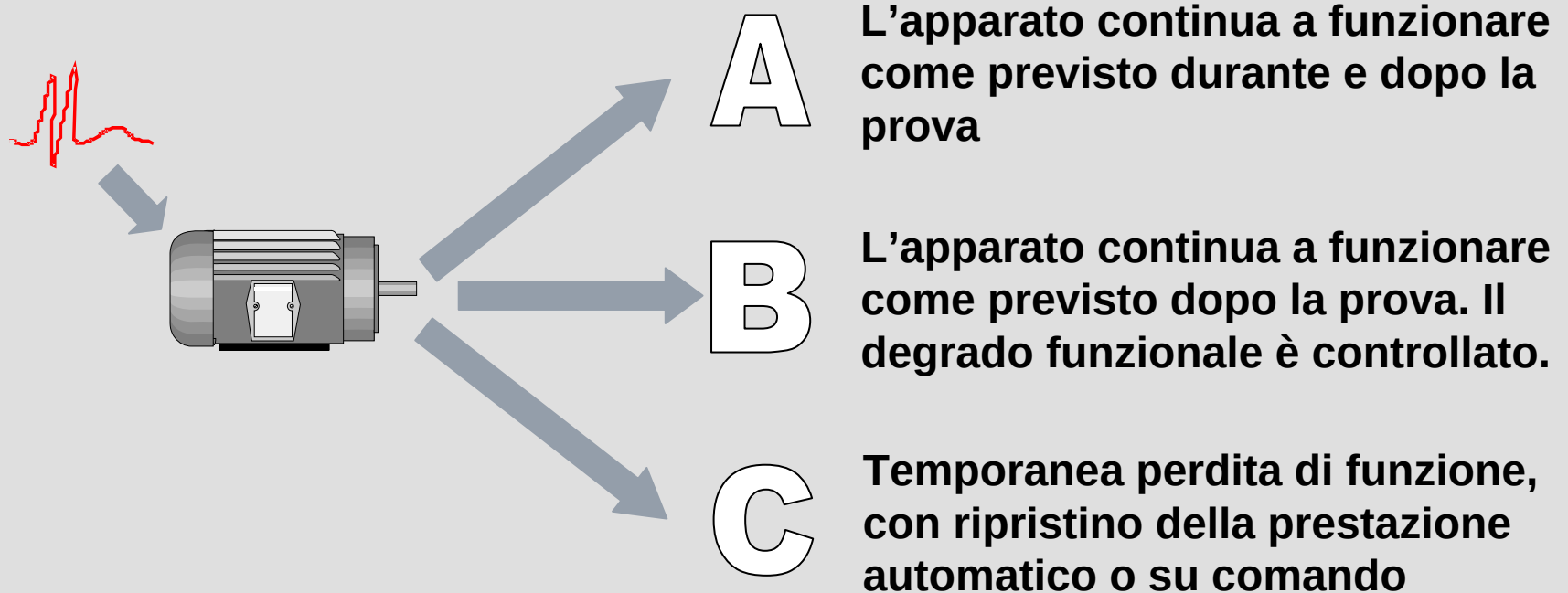
Porta	Gamma di frequenza	Limiti	Norma di base
1) Porta involucro – Sito di misura all'aperto o camera semianecoica	30 MHz – 230 MHz 230 MHz – 1 000 MHz	40 dB(μ V/m) Quasi-picco a 10 m 47 dB(μ V/m) Quasi-picco a 10 m	CISPR 16-2-3
2) Porta della rete in c.a. a bassa tensione	0,15 MHz – 0,5 MHz	79 dB(μ V) Quasi-picco 66 dB(μ V) valore medio	CISPR 16-2-1, 7.4.1 CISPR 16-1-2, 4.3
	0,5 MHz – 30 MHz	73 dB(μ V) Quasi-picco 60 dB(μ V) valore medio	
3) Porta di telecomunicazioni/rete	0,15 MHz – 0,5 MHz	97 dB(μ V) – 87 dB(μ V) Quasi-picco 84 dB(μ V) – 74 dB(μ V) valore medio 53 dB(μ A) – 43 dB(μ A) Quasi-picco 40 dB(μ A) – 30 dB(μ A) valore medio	CISPR 22
	0,5 MHz – 30 MHz	87 dB(μ V) Quasi-picco 74 dB(μ V) valore medio 43 dB(μ A) Quasi-picco 30 dB(μ A) valore medio	

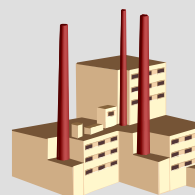
IEC 61000-6-3: Limiti di emissione



Porta	Gamma di frequenza	Limiti	Norma di base
1) Porta involucro – sito di misura all'aperto o camera semianecoica	30 MHz – 230 MHz 230 MHz – 1 000 MHz	30 dB(μ V/m) Quasi-picco a 10 m 37 dB(μ V/m) Quasi-picco a 10 m	CISPR 16-2-3
2) Porta della rete in c.a. a bassa tensione	0 kHz – 2 kHz		IEC 61000-3-2 IEC 61000-3-3 IEC 61000-3-11 IEC 61000-3-12
	0,15 MHz – 0,5 MHz	66 dB(μ V) – 56 dB(μ V) quasi-picco 56 dB(μ V) – 46 dB(μ V) valore medio	CISPR 16-2-1, 7.4.1 CISPR 16-1-2, 4.3
	0,5 MHz – 5 MHz	56 dB(μ V) quasi-picco 46 dB(μ V) valore medio	
	5 MHz – 30 MHz	60 dB(μ V) quasi-picco 50 dB(μ V) valore medio	
	0,15 MHz – 30 MHz	Vedere norma base, Art: Disturbo intermittente.	CISPR 14-1

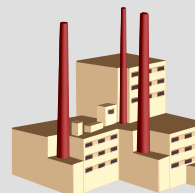
PROVE DI IMMUNITA': CRITERIO DI PRESTAZIONE





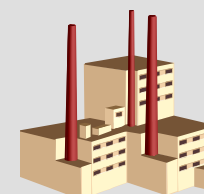
IEC 61000-6-2: Immunità porta INVOLUCRO

	Fenomeni ambientali		Specifiche di prova	Unità	Norme di base	Osservazioni	Criterio di prestazione
1.1	Campo magnetico a frequenza di rete		50, 60 30	Hz A/m	IEC 61000-4-8	(a) La prova deve essere eseguita alle frequenze appropriate alla frequenza di alimentazione. Le apparecchiature previste per essere utilizzate in aree alimentate solo a una di tali frequenze devono essere provate solo a tale frequenza	A (b)
1.2	Campo elettromagnetico a radiofrequenza a modulazione di ampiezza		80 to 1 000 10 80	MHz V/m % AM (1 kHz)	IEC 61000-4-3 (d)	(c) Il livello di prova specificato è il valore efficace della portante non modulata	A
1.3	Campo elettromagnetico a radiofrequenza a modulazione di ampiezza		da 1,4 a 2,0 3 80	GHz V/m % AM (1 kHz)	IEC 61000-4-3 (d)	(e) Il livello di prova specificato è il valore efficace della portante non modulata	A
1.4	Campo elettromagnetico a radiofrequenza a modulazione di ampiezza		da 2,0 a 2,7 1 80	GHz V/m % AM (1 kHz)	IEC 61000-4-3(d)	(e) Il livello di prova specificato è il valore efficace della portante non modulata	A
1.5	Scarica elettrostatica	Scarica a contatto	±4 (tensione di carica)	kV	IEC 61000-4-2	Vedere la Norma di base per l'applicabilità della prova di contatto e/ o di scarica in aria	B
		Scarica in aria	±8 (tensione di carica)	kV			B



IEC 61000-6-2: Immunità porta di SEGNALE

	Fenomeni ambientali	Specifiche di prova	Unità	Norme di base	Osservazioni	Criterio di prestazione
2.1	Disturbi a radiofrequenza modo comune	da 0,15 a 80 10 80	MHz V % AM (1 kHz)	IEC 61000-4-6	(a, b, c) Il livello di prova specificato è il valore efficace della portante non modulata	A
2.2	Transitori veloci	±1 5/50 5	kV (tensione di prova a circuito aperto) Tr/Th ns Frequenza di ripetizione kHz	IEC 61000-4-4	(c) Si usa la pinza capacitiva	B
2.3	Impulsi linea-terra	1,2/50 (8/20) ±1	Tr/Th μs kV (tensione di prova a circuito aperto)	IEC 61000-4-5	(d, e)	B



IEC 61000-6-2: Immunità porta ALIMENTAZIONE AC

	Fenomeni ambientali	Specifiche di prova		Unità	Norme di base	Osservazioni	Criterio di prestazione
4.1	Radiofrequenza modo comune	da 0,15 a 80 10 80		MHz V % AM (1 kHz)	IEC 61000-4-6	(a, b) Il livello di prova specificato è il valore efficace della portante non modulata	A
4.2	Buchi di tensione	0 1		% tensione residua Ciclo	IEC 61000-4-11	(c) Variazione di tensione al passaggio a zero	B (d)
		40 10/12 a 50/60Hz	70 25/30 a 50/60Hz	% tensione residua Ciclo			C (d)
4.3	Interruzioni di tensione	0 250/300 a 50/60Hz		% tensione residua Ciclo	IEC 61000-4-11	(c) Variazione di tensione al passaggio a zero	C (d)
4.4	Impulsi linea - terra linea - linea	1,2/50 (8/20) ±2 ±1		Tr/Th µs kV (tensione di prova in circuito aperto) kV (tensione di prova in circuito aperto)	IEC 61000-4-5	Vedere Art. 5, paragrafo 3	B
4.5	Transitori veloci	±2 5/50 5		kV (tensione di prova in circuito aperto) Tr/Th ns Frequenza di ripetizione kHz	IEC 61000-4-4		B

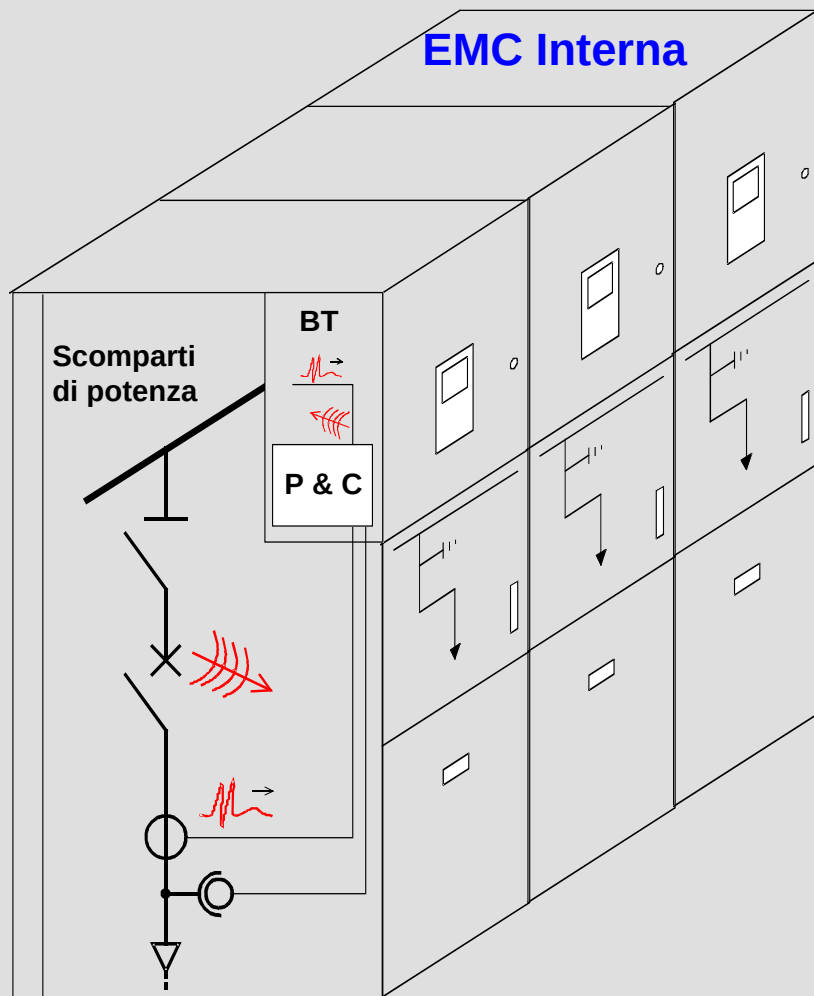


Sorgenti di emissione:

- Manovra di interruttori e sezionatori
- Circuiti ausiliari
- Eventi esterni:
 - fulminazioni
 - guasti a terra
 - cortocircuiti, ...

Apparati sensibili:

- Sistemi di protezione e controllo
- Circuiti ausiliari
- Ambiente esterno



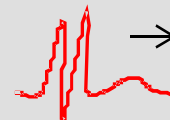
EMC Esterna



Trasmissione e Distribuzione
In Alta e Media Tensione



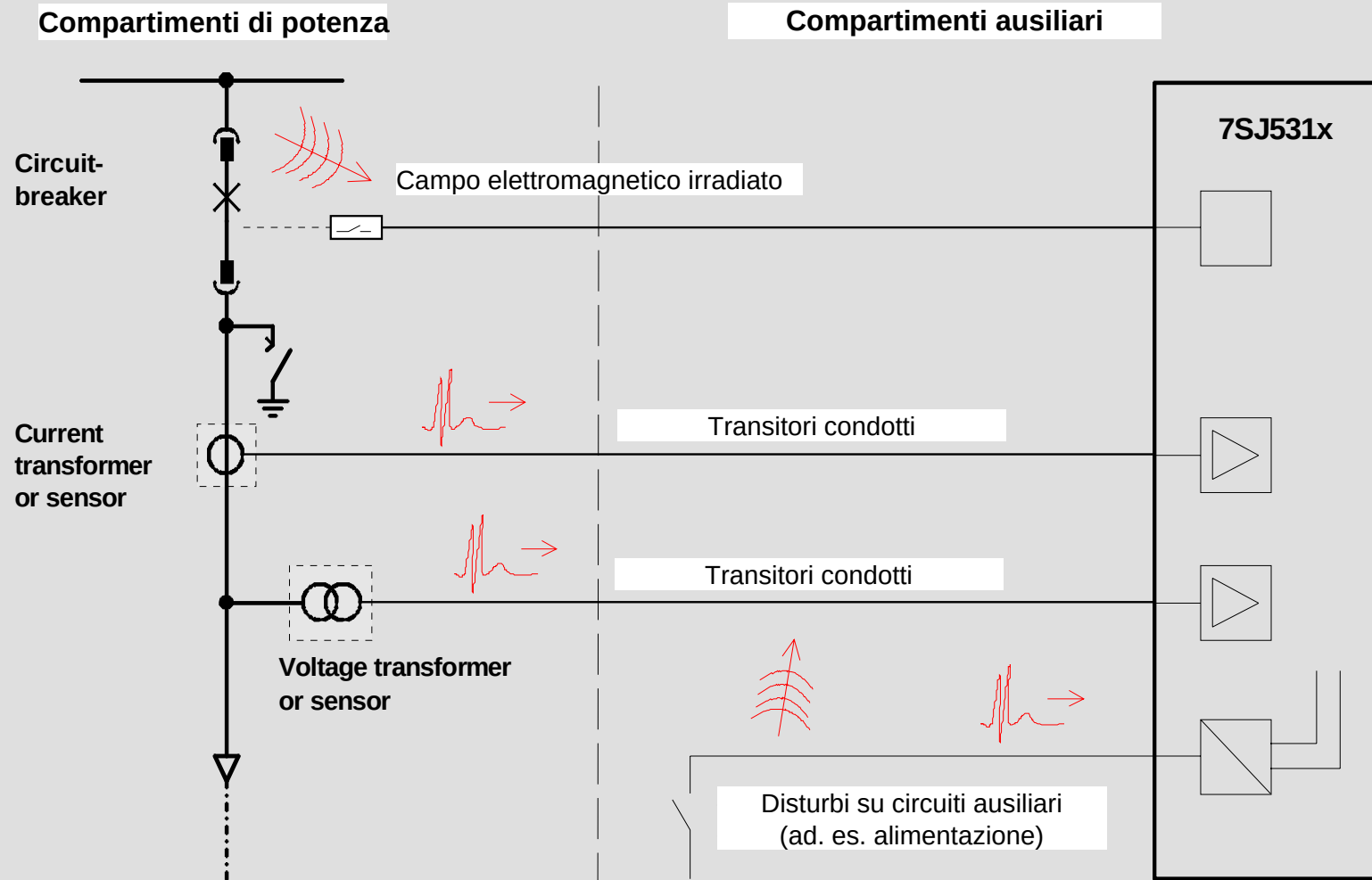
Alimentazione sistemi ausiliari
Rete dati



Disturbi condotti



Disturbi irradiati



Requisiti per gli apparati elettronici ausiliari

EMC	Apparato elettronico ausiliario	
	<u>con</u> accoppiamento a parti MT	<u>senza</u> accoppiamento a parti MT
Emissione	IEC/EN 60255-26 Tavole 1 e 2	IEC/EN 61000-6-4 Tavola 1
		IEC-CISPR 11 Gruppo 1, Classe A
Immunità	IEC/EN 60255-26 Tavole da 3 a 7	IEC/EN 61000-6-2 Tavole da 1 a 4
		IEC/EN 61000-4-12 100 kHz, Tavola 1, Livello 3
		IEC/EN 61000-4-18 100 kHz e 1 MHz, Tavola 1, Livello 3 con Nota „a“

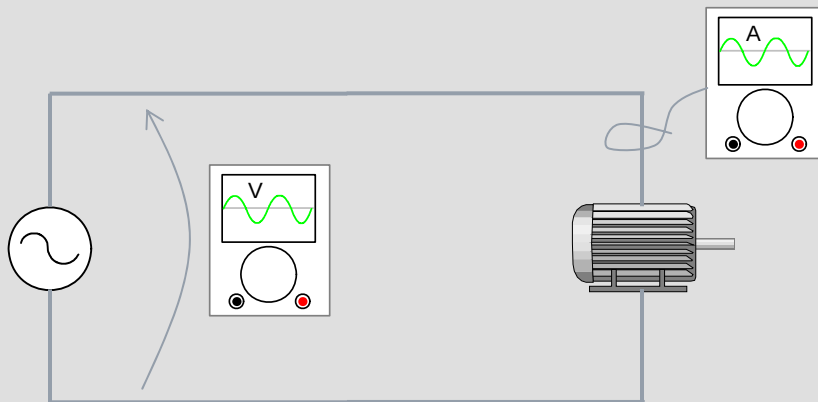
SIEMENS

Dal Quadro MT al
Sistema di Distribuzione

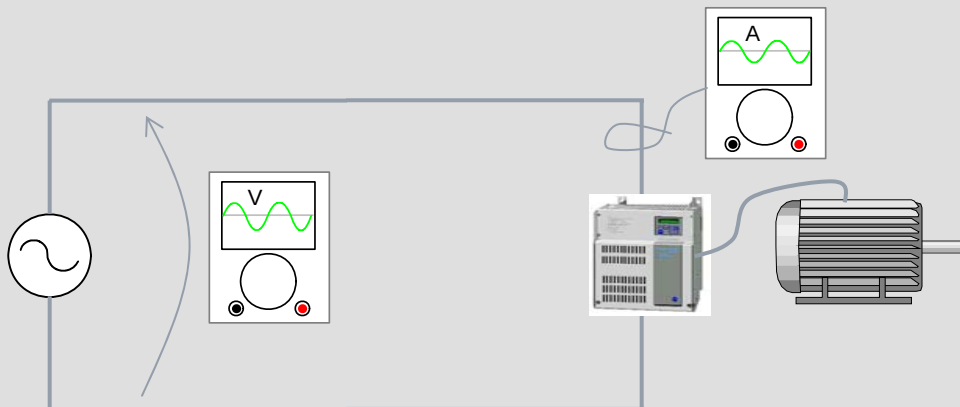


**Armoniche e
filtraggio**

Sinusoidi e distorsione

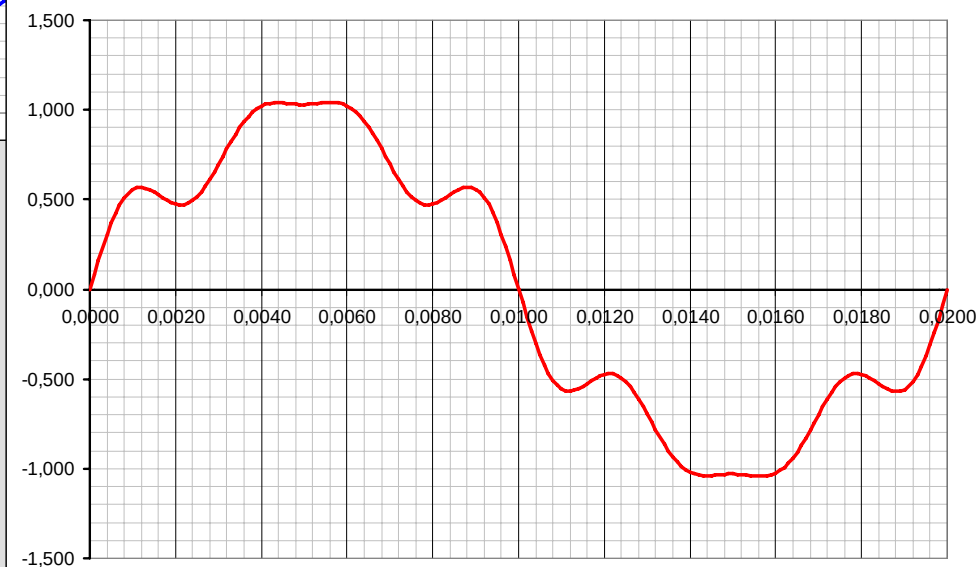
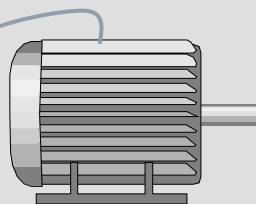
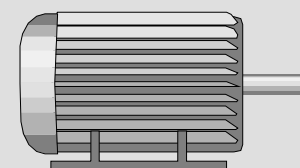
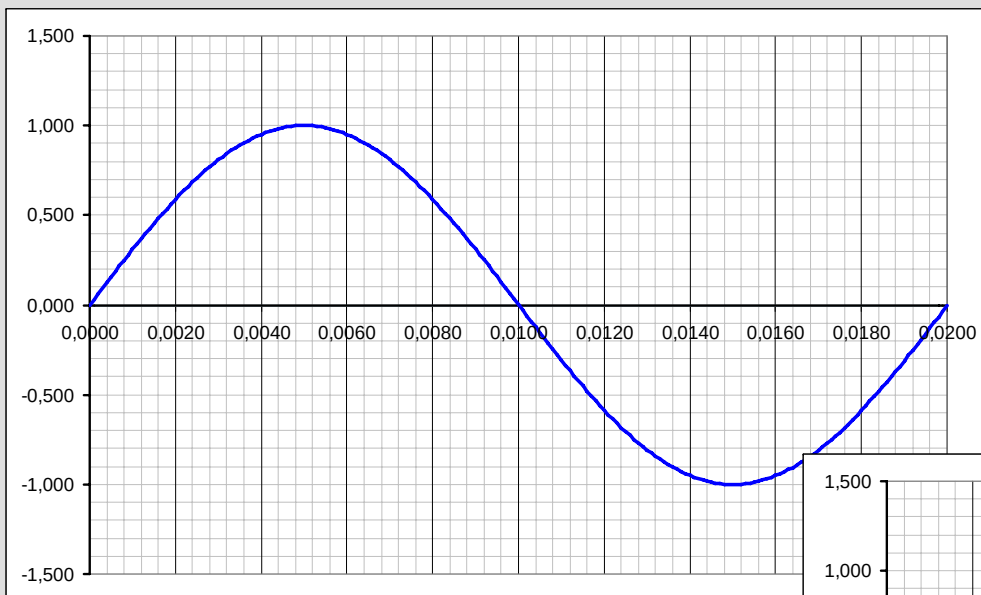


**TENSIONE SINUSOIDALE +
CARICO LINEARE =
CORRENTE SINUSOIDALE**

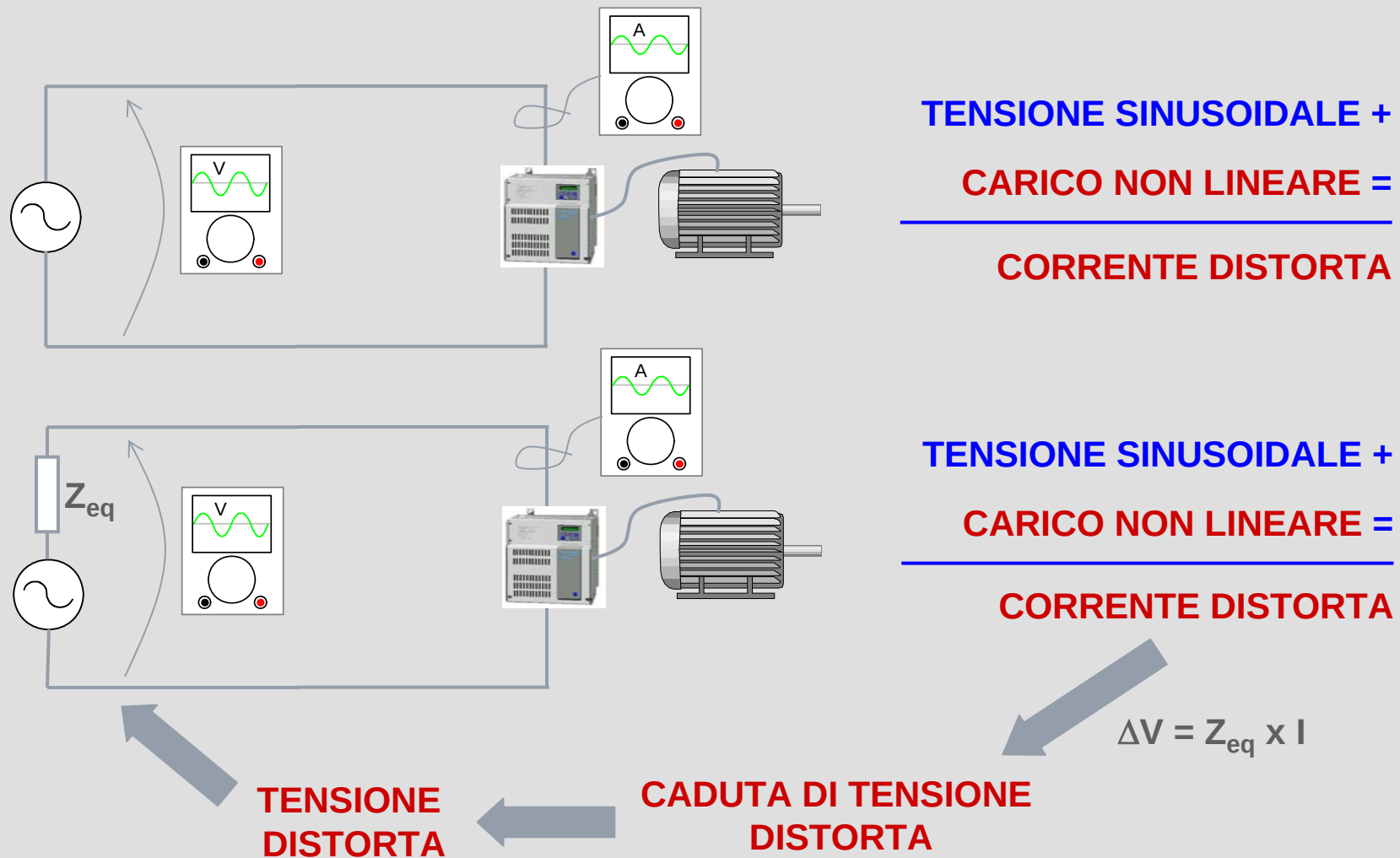


**TENSIONE SINUSOIDALE +
CARICO NON LINEARE =
CORRENTE DISTORTA**

Sinusoidi e distorsione

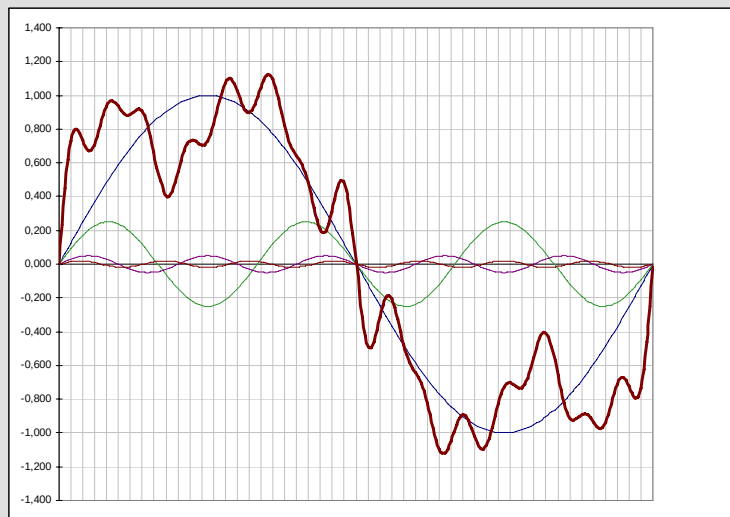


Sinusoidi e distorsione



La serie di Fourier

Una funzione periodica $f(x)$ con periodo 2π può essere rappresentata mediante una somma di funzioni periodiche armoniche di 2π .

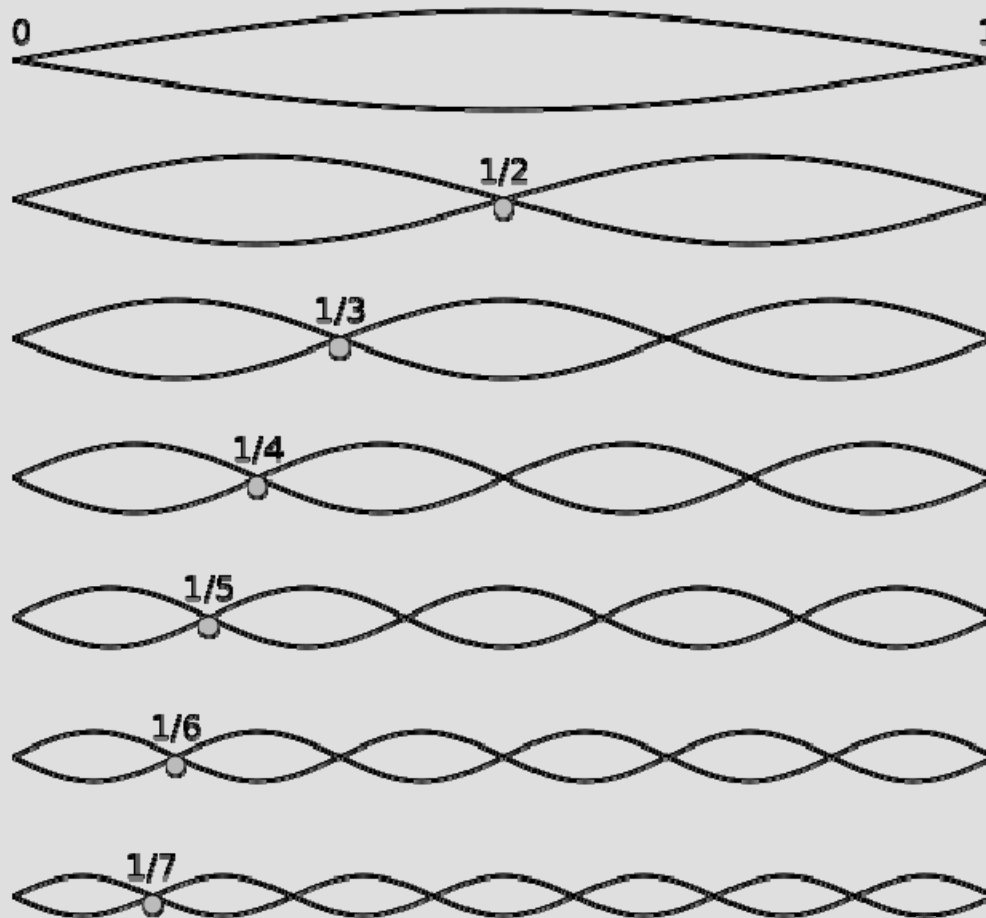


Jean Baptiste Joseph Fourier
(1768 – 1830)

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)]$$

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx, \quad a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx \quad \text{e} \quad b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx$$

Le armoniche e la musica



007 Zona pericolo (1987)

$$I(x) = \sum_1^n \frac{1}{n} \text{sen}(n x)$$

per “n” dispari e non multiplo di 3

$I = I_1 + I_5 + I_7 + I_{11} + I_{13} + I_{17} + \dots$ dove:

$$I_1 = 1 \text{ sen}(\omega t)$$

$$I_5 = (1/5) \text{ sen}(5\omega t)$$

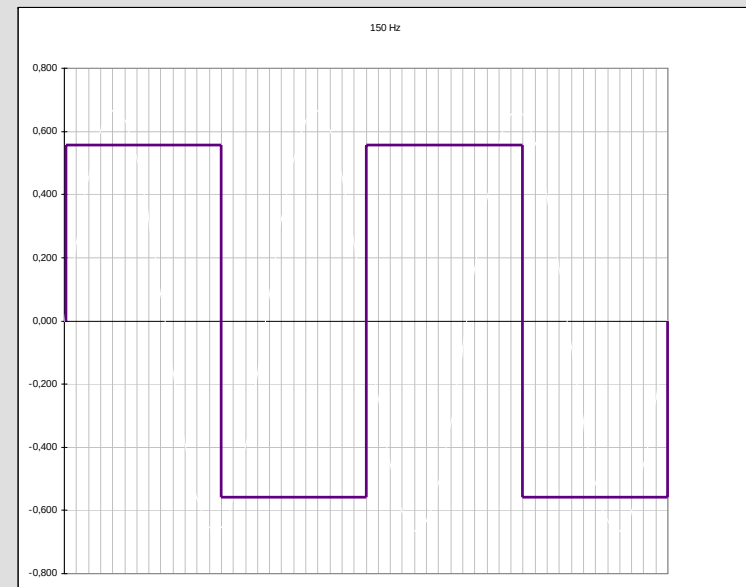
$$I_7 = (1/7) \text{ sen}(7\omega t)$$

$$I_{11} = (1/11) \text{ sen}(11\omega t)$$

$$I_{13} = (1/13) \text{ sen}(13\omega t)$$

$$I_{17} = (1/17) \text{ sen}(17\omega t)$$

Onda Quadra



$$I(x) = \sum_1^n (-1)^{n+1} \frac{2}{n} \text{sen}(n x)$$

$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + \dots$ dove:

$$I_1 = (2/1) \text{sen}(\omega t)$$

$$I_2 = - (2/2) \text{sen}(2\omega t)$$

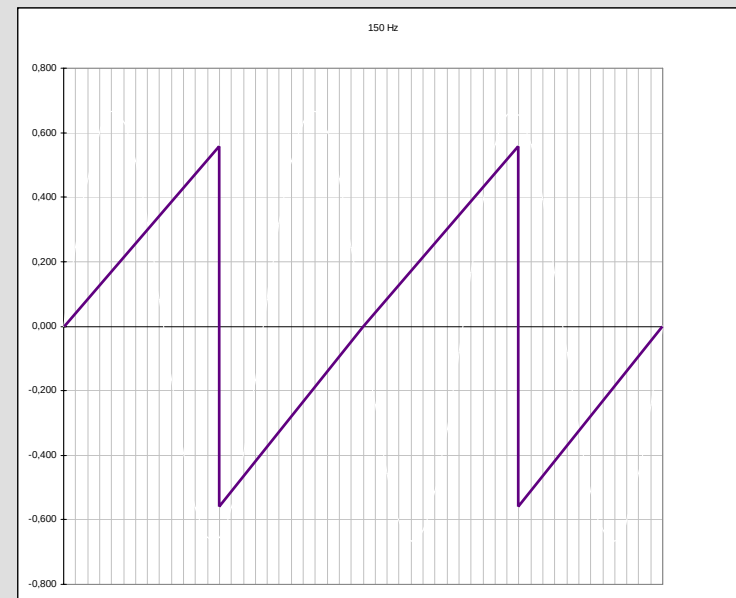
$$I_3 = (2/3) \text{sen}(3\omega t)$$

$$I_4 = - (2/4) \text{sen}(4\omega t)$$

$$I_5 = (2/5) \text{sen}(5\omega t)$$

$$I_6 = - (2/6) \text{sen}(6\omega t)$$

Dente di Sega



A BREVE TERMINE

- errori di misura delle energie
- disturbi delle comunicazioni
- vibrazioni
- rumore

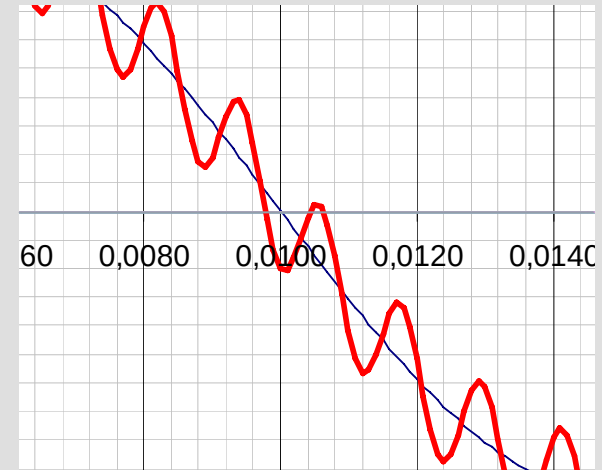
passaggi per lo zero multipli



- malfunzionamenti elettronica di potenza

A LUNGO TERMINE

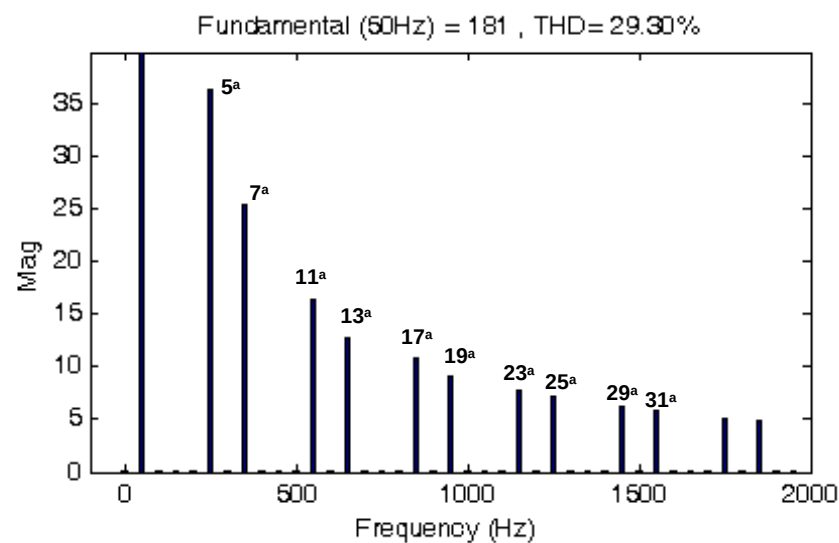
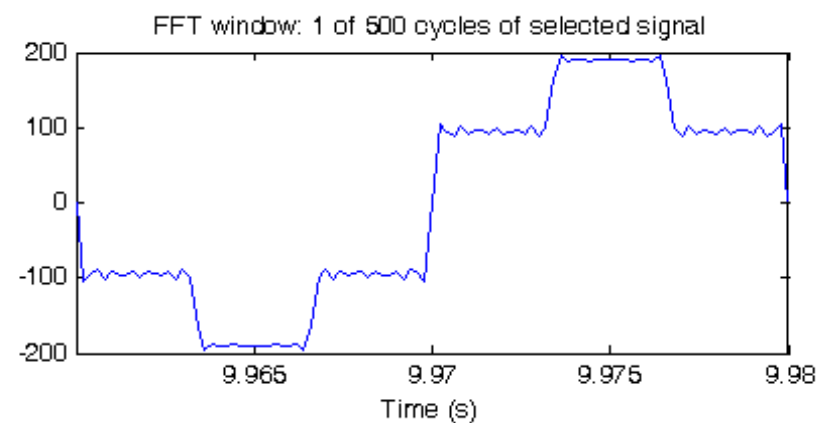
- maggiori perdite → **Surriscaldamento!!**



Carichi distortenti



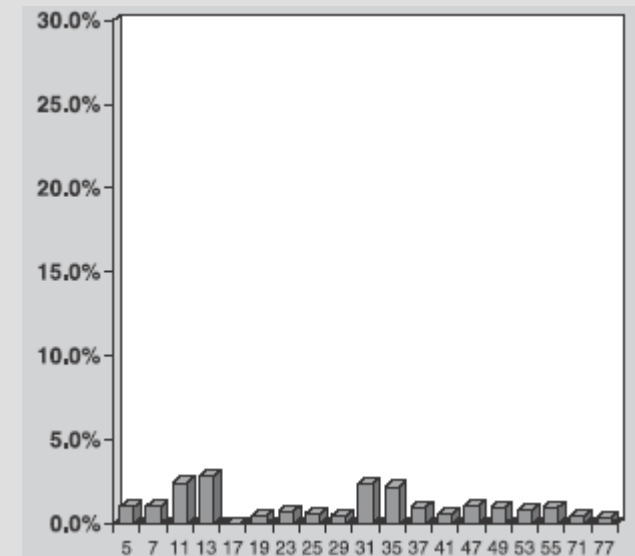
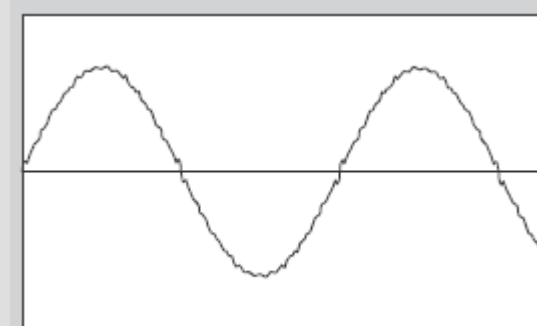
INVERTER CONVENZIONALI





INVERTER A IGBT

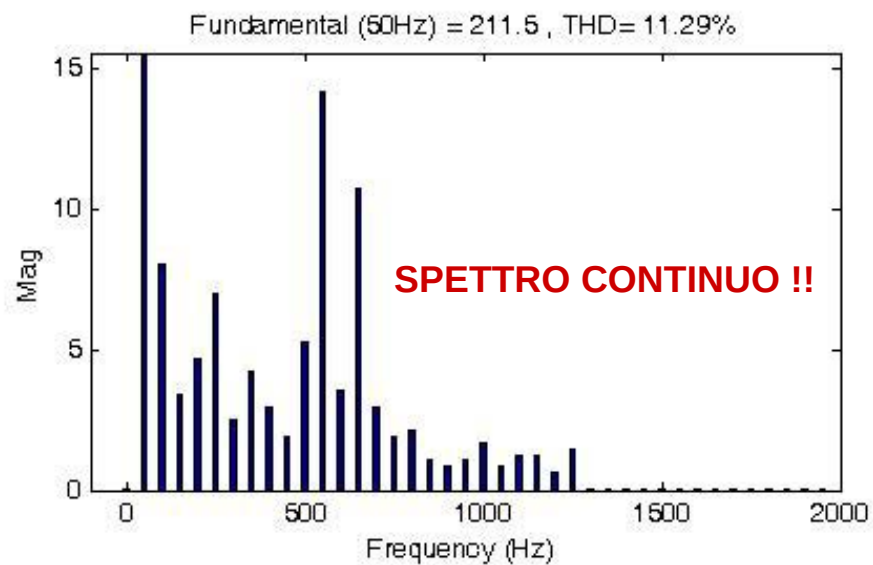
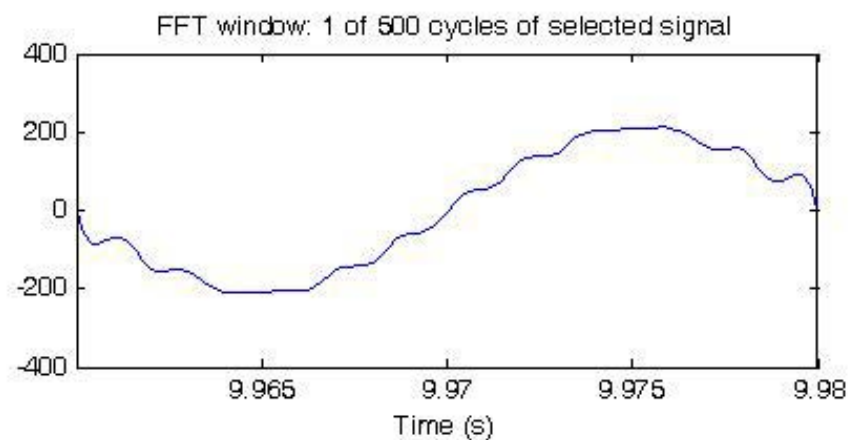
- Corrente quasi sinusoidale
- Fattore di potenza unitario
- Armoniche a frequenze elevate
- Disturbi a radiofrequenza



Carichi distortenti



FORNI AD ARCO



Distorsione Armonica Totale (THD)

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} Q_h^2}}{Q_{1N}}$$

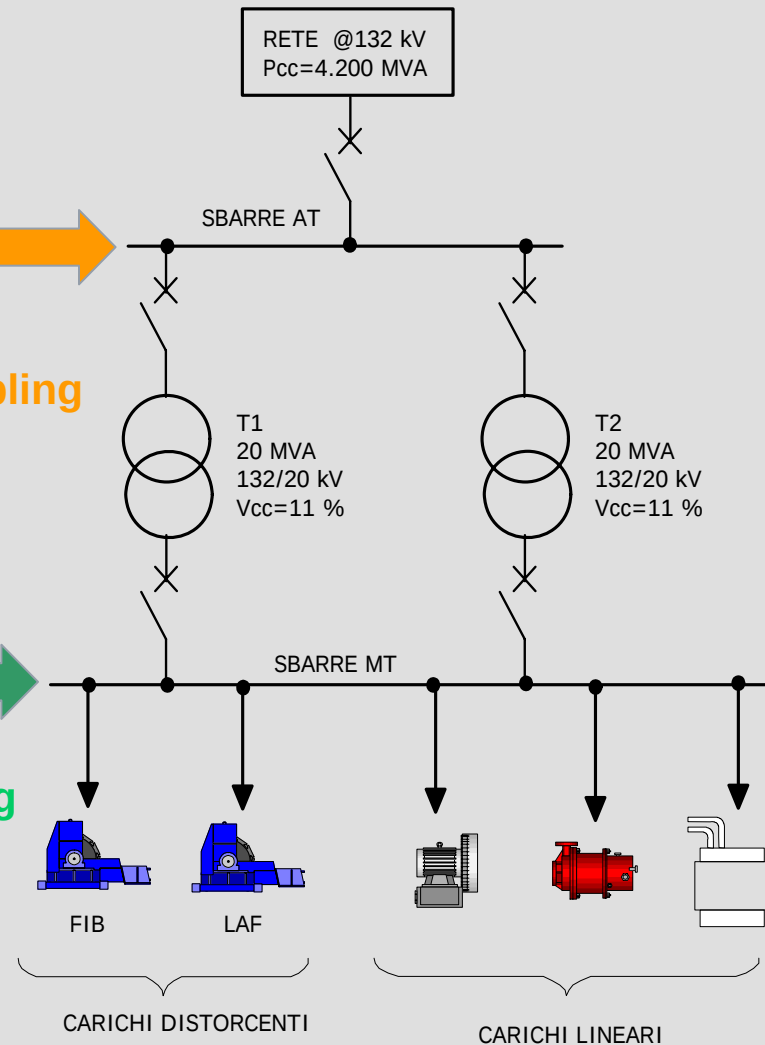
THD_V Tensione
THD_I Corrente

PCC →
Point of Common Coupling

IEC 61000-3-6

IPC →
Internal Point of Coupling

IEC 61000-2-4

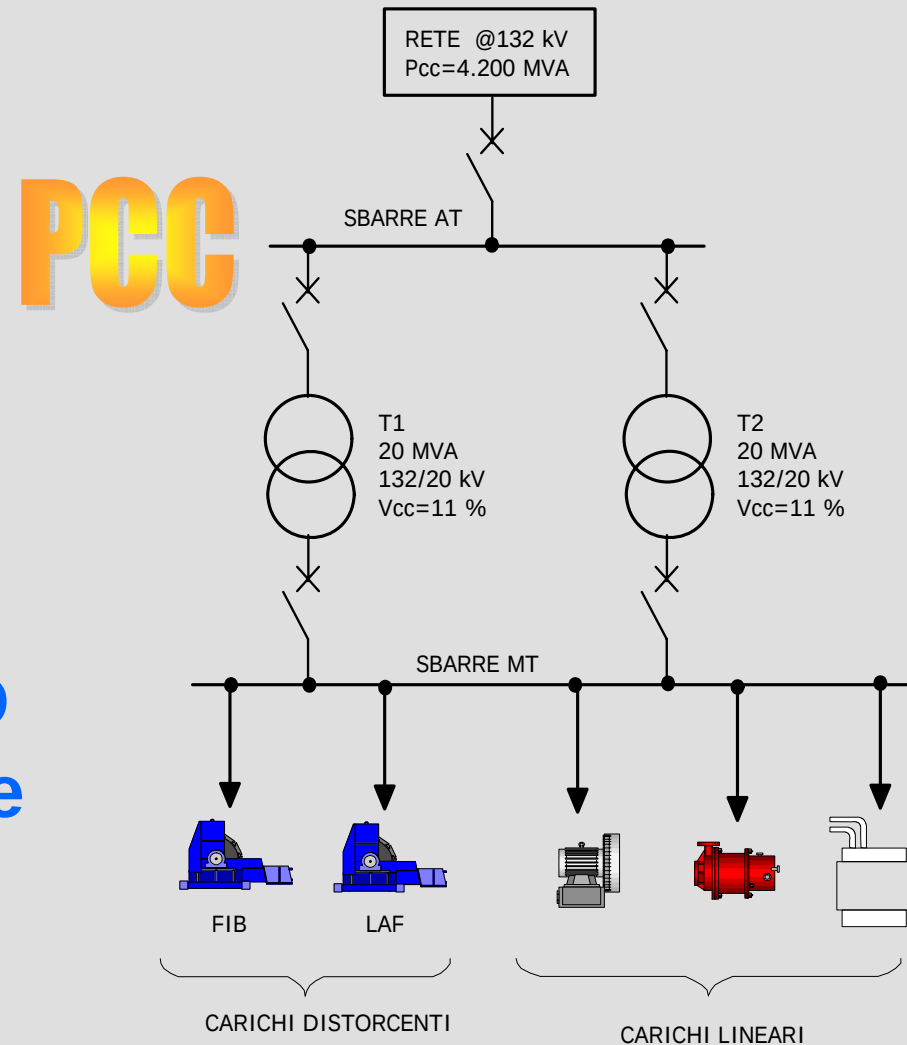


armonica	U_h %
3	2
5	2
7	2
9	1
11	1,5
13	1,5
15	0,3
17	2
21	0,2
23	0,7
>25	$0,2+0,5 \cdot (25/h)$
THD	3

Limiti da IEC 61000-3-6

In Alta Tensione il THD di tensione deve essere

< 3%



Armonica	U_h %	U_h %	U_h %
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
$17 < h \leq 49$	$2,27 \cdot (17/h) - 0,27$	$2,27 \cdot (17/h) - 0,27$	$4,5 \cdot (17/h) - 0,5$
THD	5	8	10

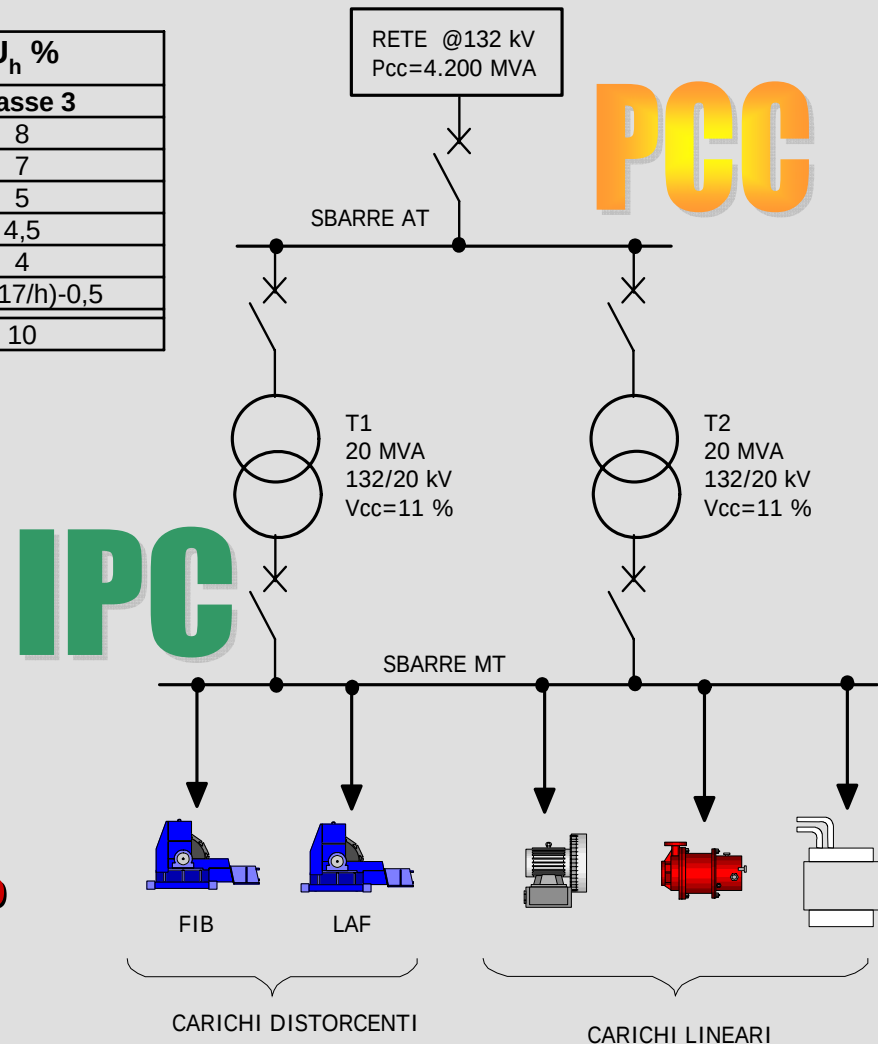
Limiti da IEC 61000-2-4

In Media Tensione (<35 kV) sono definite tre classi di IPC/PCC:

Classe 1: apparati sensibili: **< 3 %**

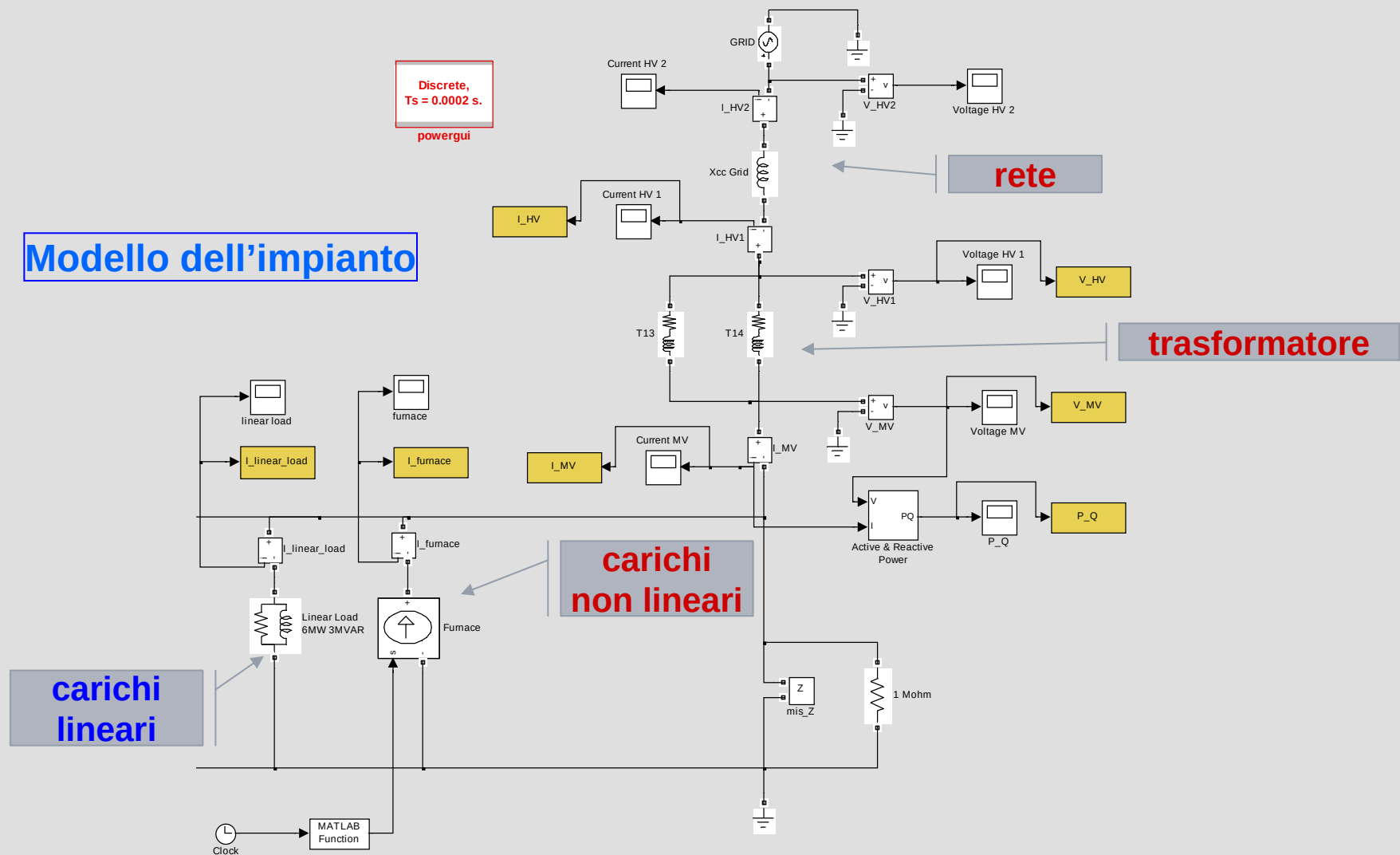
Classe 2: rete pubblica: **< 8 %**

Classe 3: industria pesante: **< 10 %**

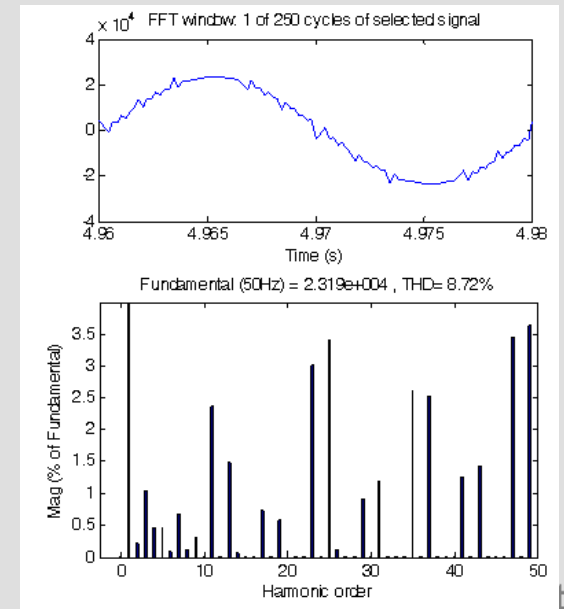
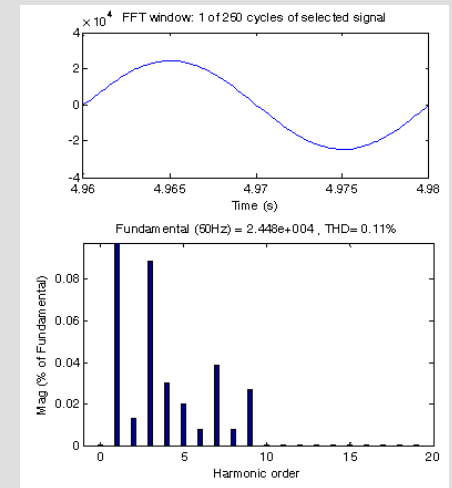
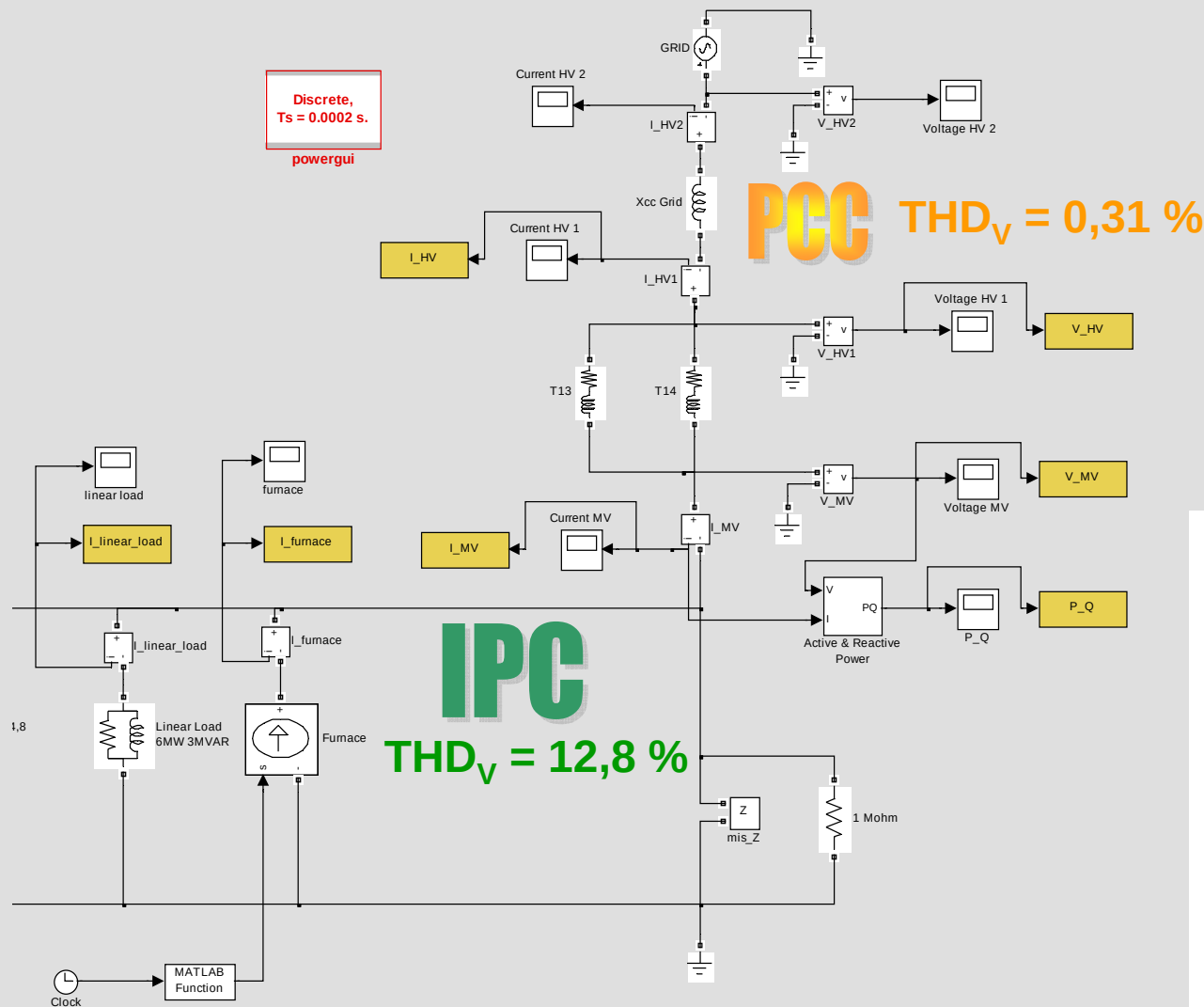


Il load-flow armonico

Modello dell'impianto

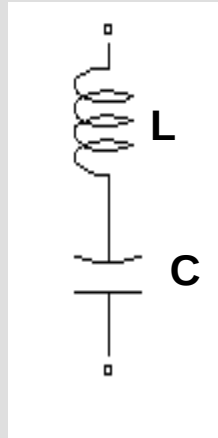


II load-flow armonico

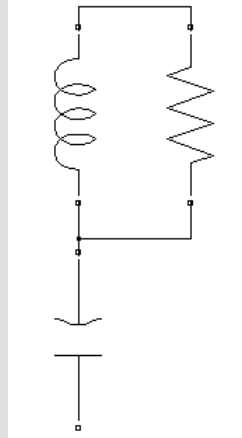


Filtraggio armonico

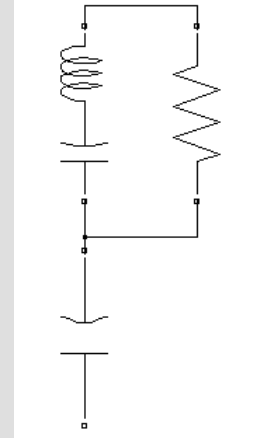
IEEE 1531



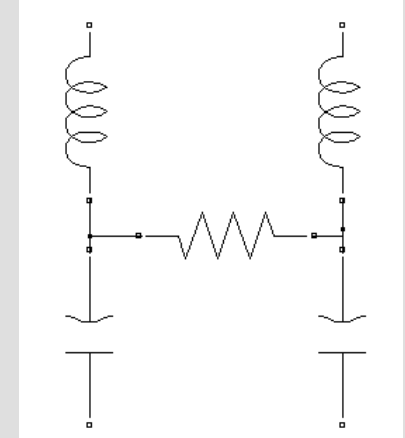
ACCORDATO



PASSA ALTO



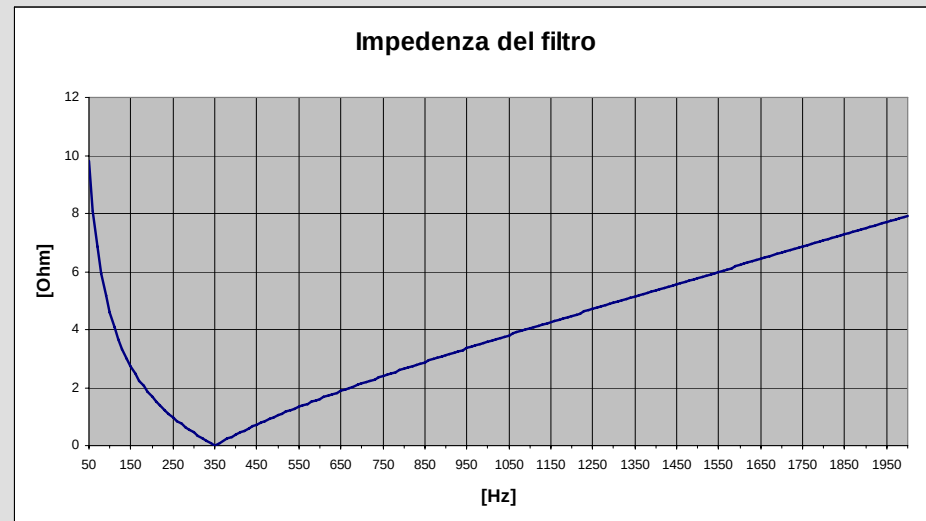
TIPO "C"



TIPO A PONTE

$$Z = Z_L + Z_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

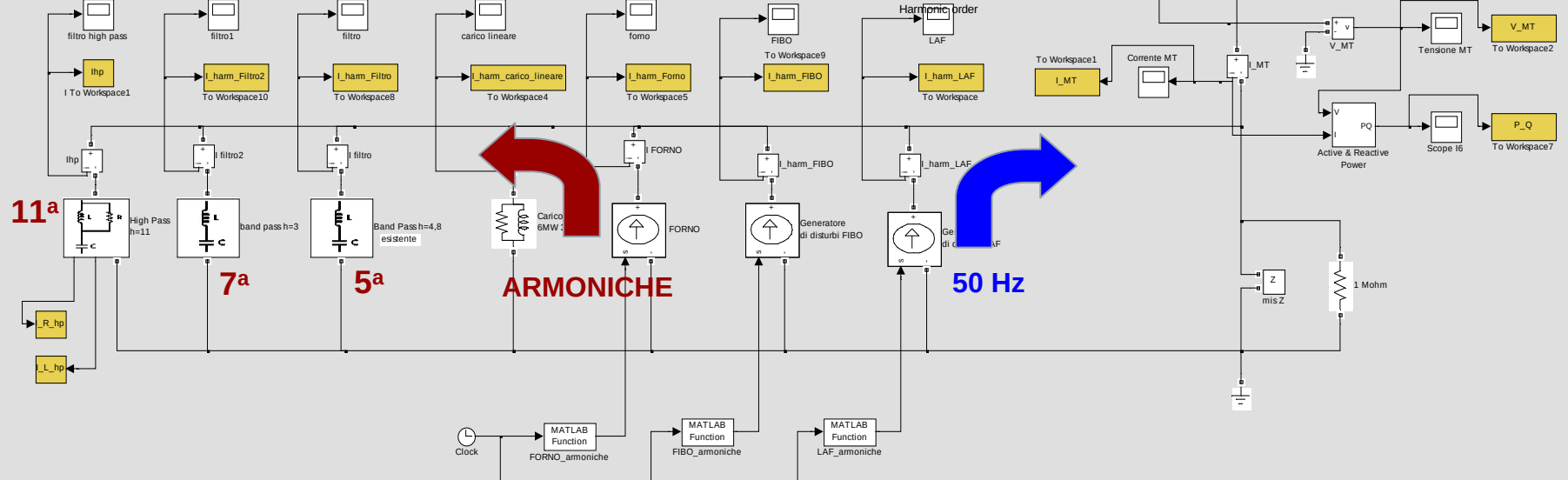
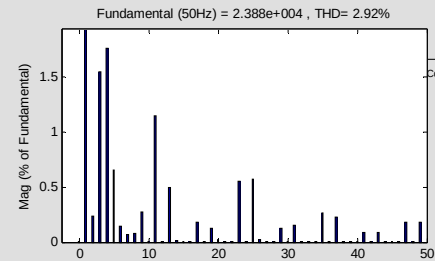
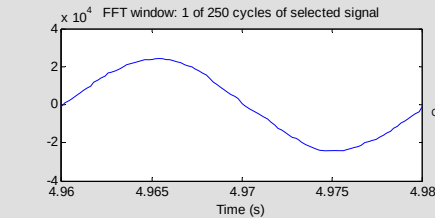
$$f_t = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Filtraggio armonico

IPC
 $THD_v = 2,9 \%$

FILTRI



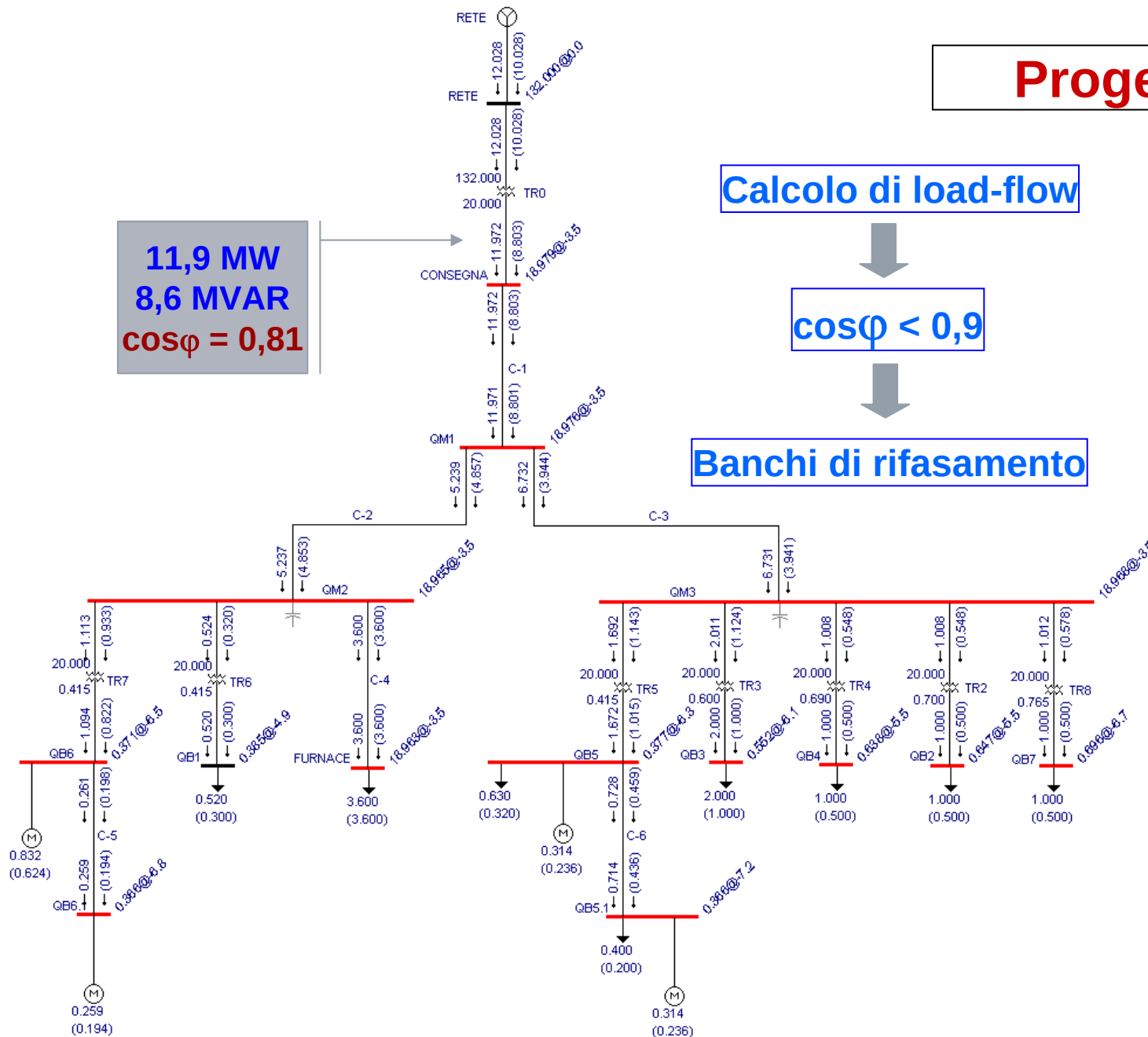
Progetto filtri

Calcolo di load-flow

$\cos\varphi < 0,9$

Banchi di rifasamento

11,9 MW
8,6 MVAR
 $\cos\varphi = 0,81$



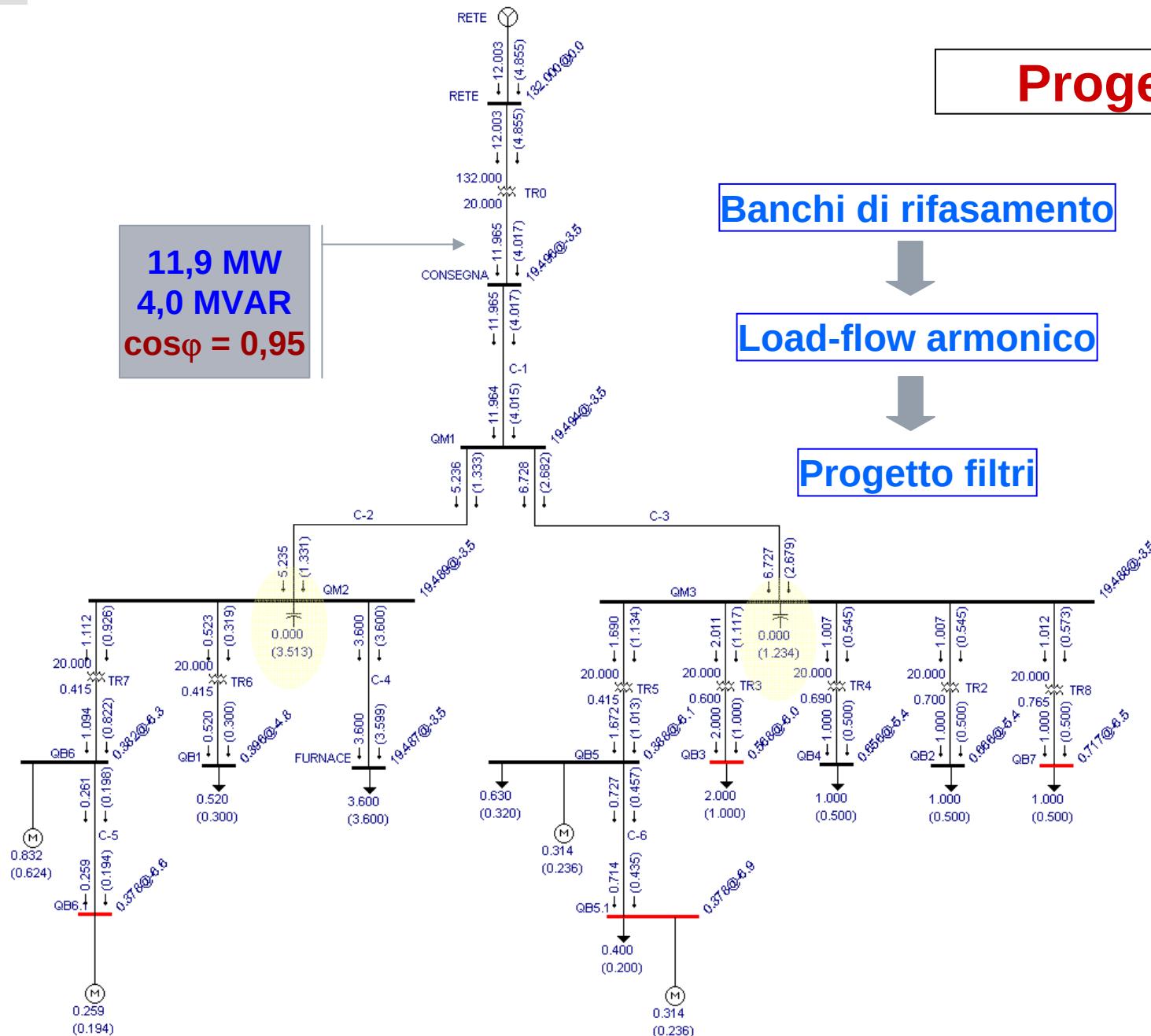
Progetto filtri

11,9 MW
4,0 MVAR
 $\cos\varphi = 0,95$

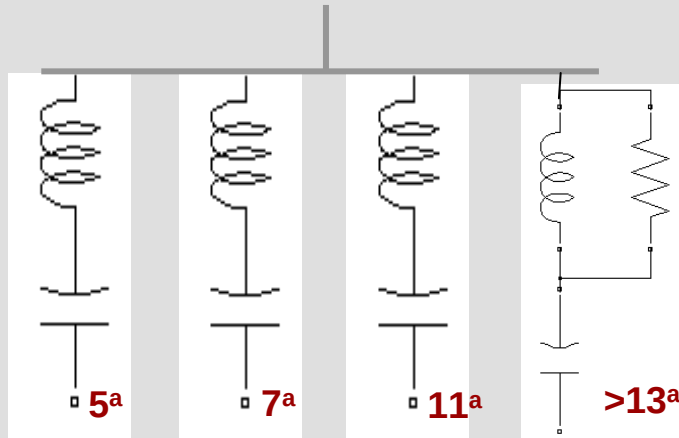
Banchi di rifasamento

Load-flow armonico

Progetto filtri



Risonanze parallele

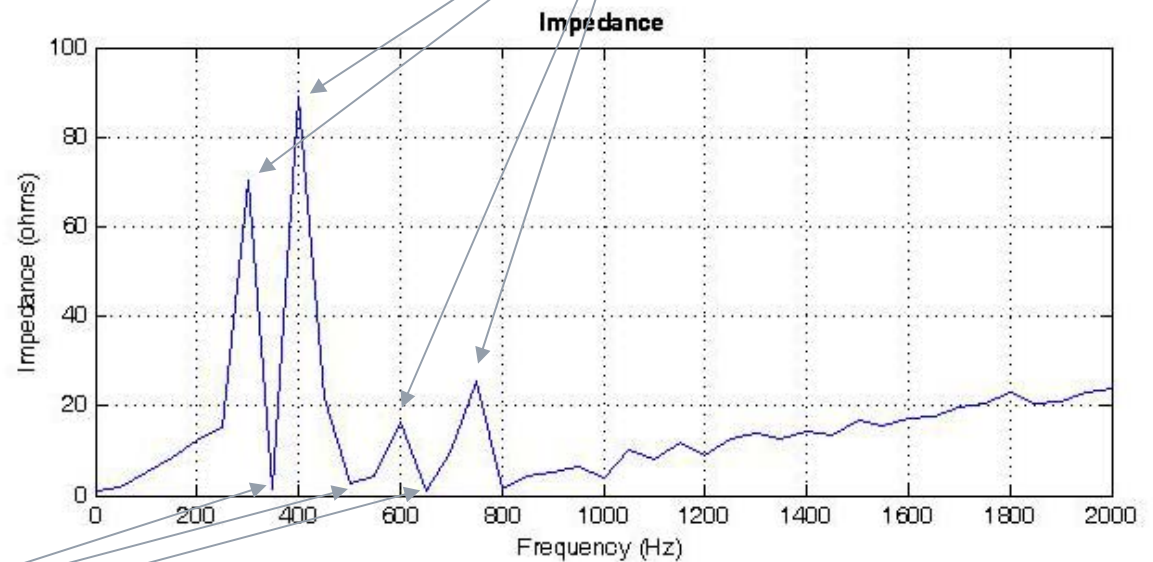


BANCO FILTRI ACCORDATI

Le risonanza parallele possono amplificare alcune frequenze emesse dai carichi.

RISONANZA

ANTI-RISONANZA

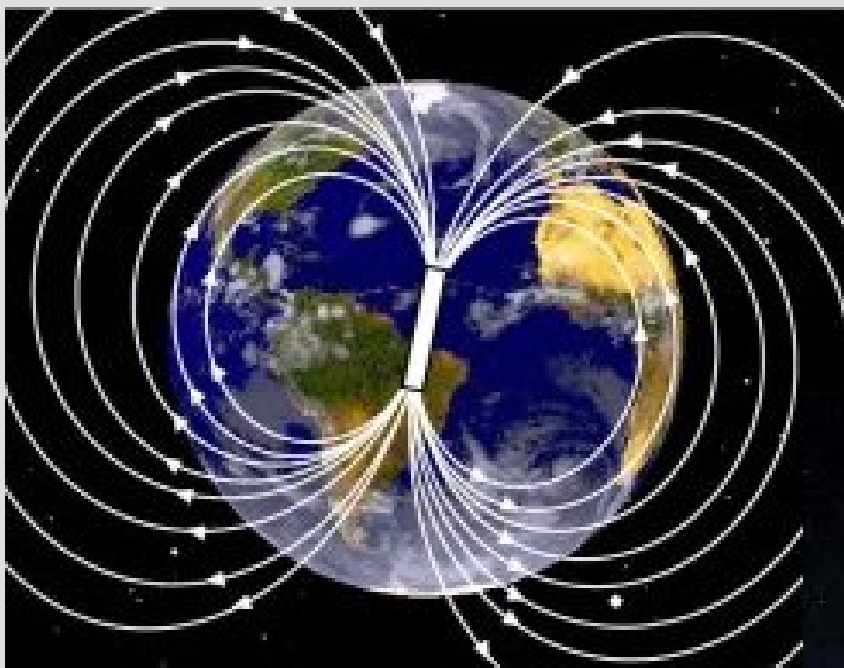


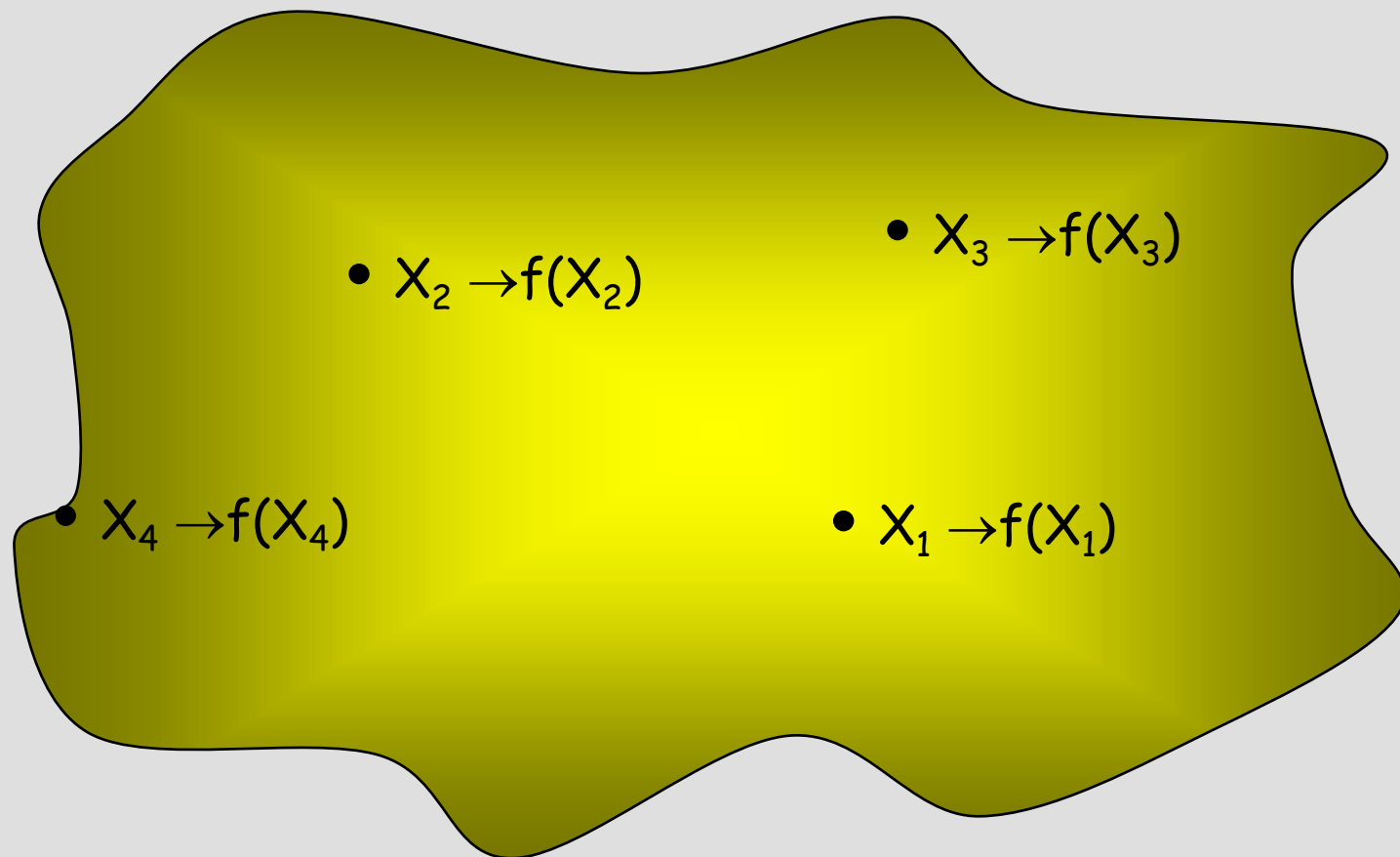
SIEMENS

Dal Quadro MT al
Sistema di Distribuzione



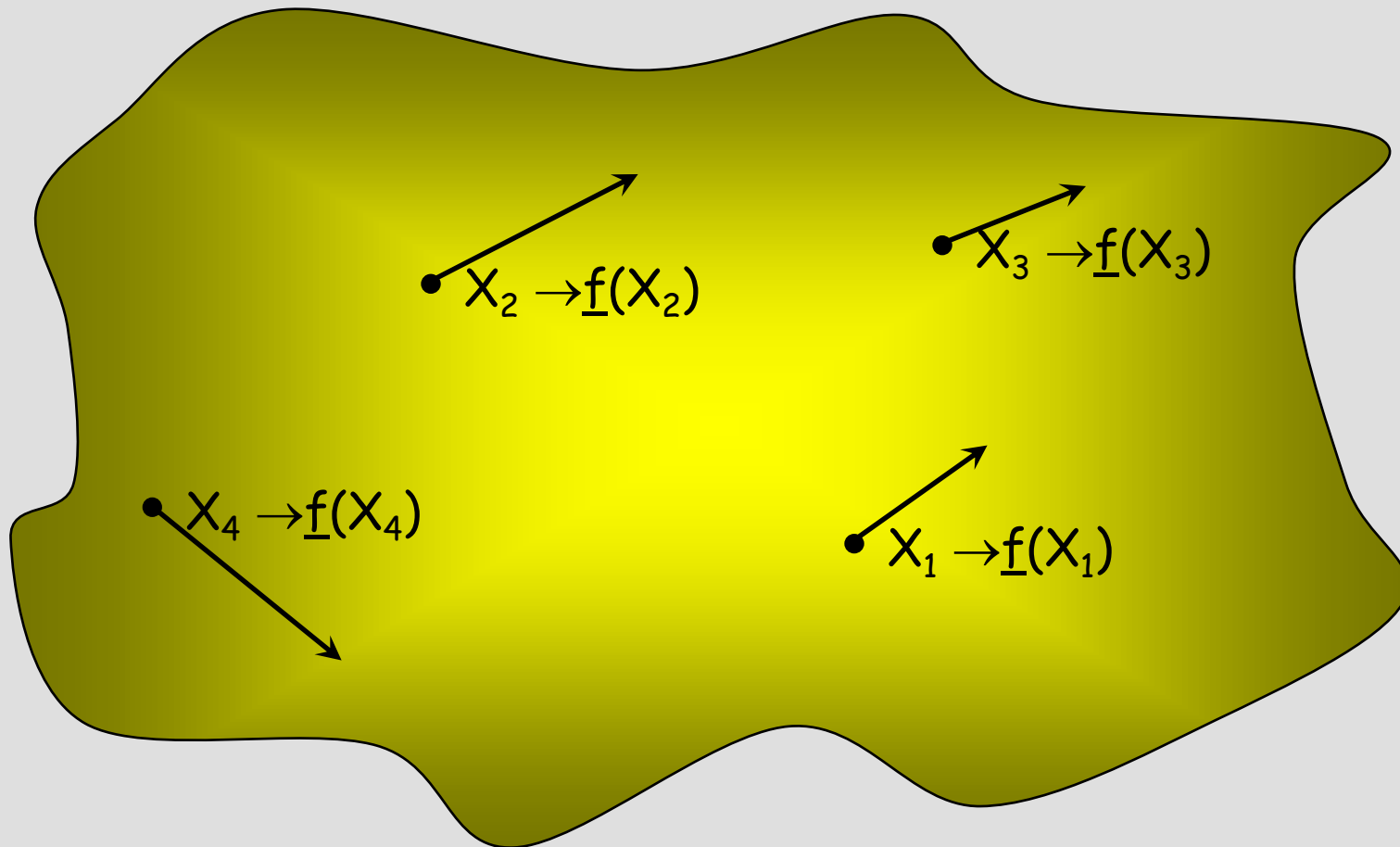
**Campi EM e
Ambiente**



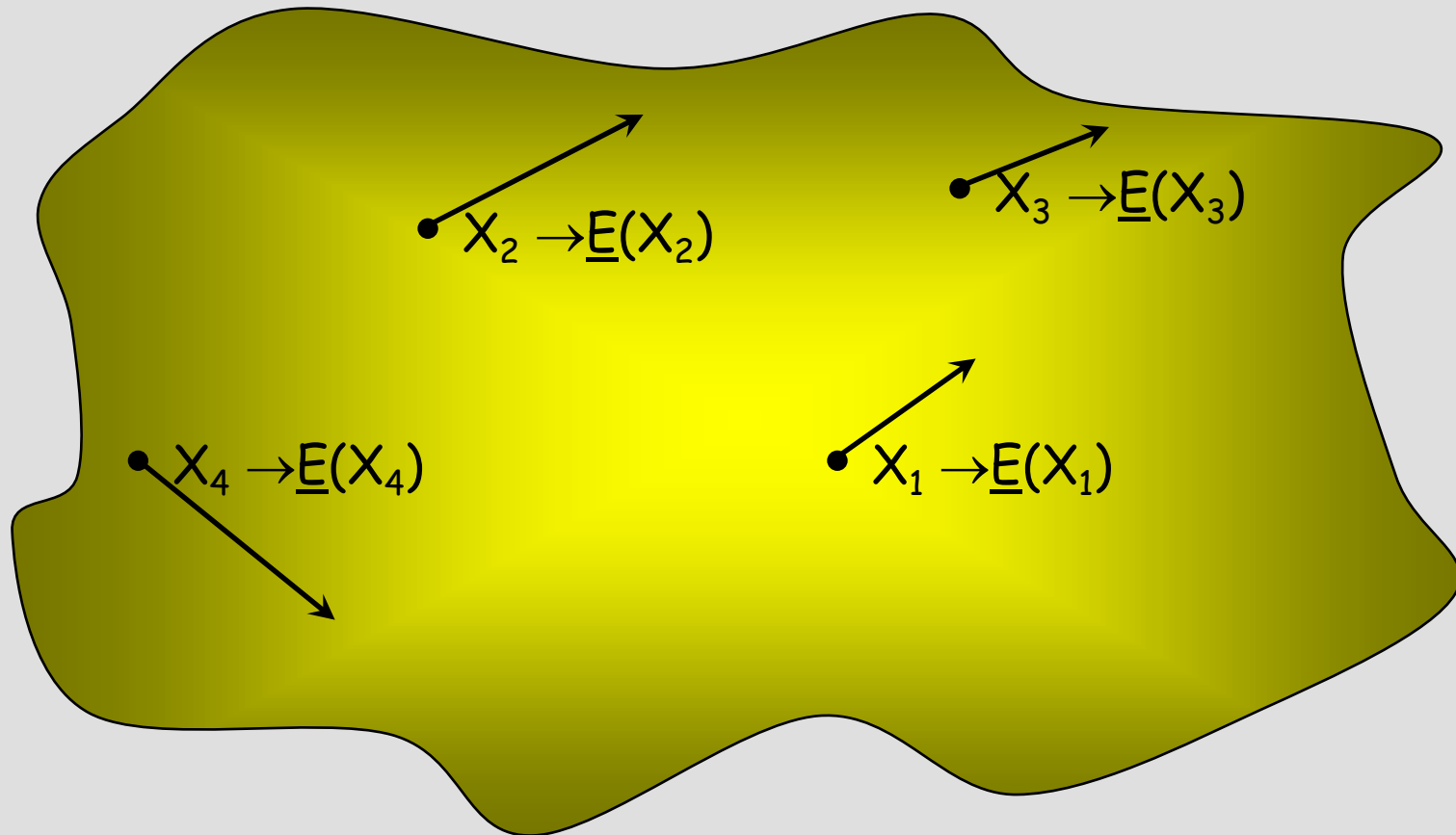


In una regione dello spazio diciamo che è presente un campo se in tale regione è definita una grandezza fisica funzione della posizione.

Esempio: **Campo di Temperature**

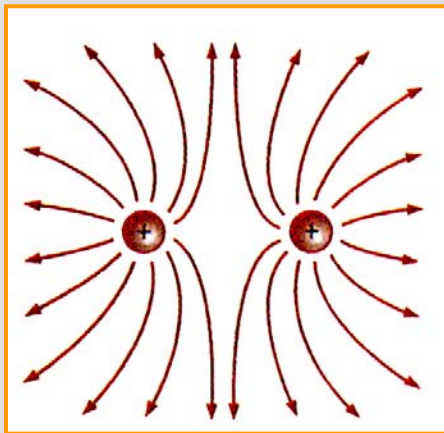


Se la grandezza fisica che definisce il campo è vettoriale, il campo è detto vettoriale. Esempio: **Campo di Velocità**

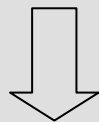


Se la grandezza fisica che definisce il campo è una forza, il campo è detto Campo di Forze. Esempio: **Campo Elettrico**

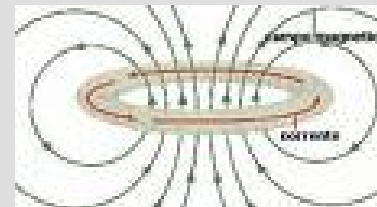
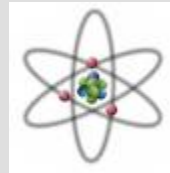
cariche elettriche



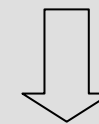
ferme



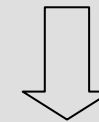
campo elettrico



in movimento



corrente



campo magnetico

DIFFERENTIAL FORM

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \quad \text{Gauss's law}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{Faraday's law}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad \text{Ampere's law with Maxwell's correction}$$

rotore

divergenza



James Clerk Maxwell
(1831-1879)

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

INTEGRAL FORM

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{a} = Q_{f_{enc}}$$

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{a} = 0$$

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{a}$$

$$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{f_{enc}} + \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{a}$$

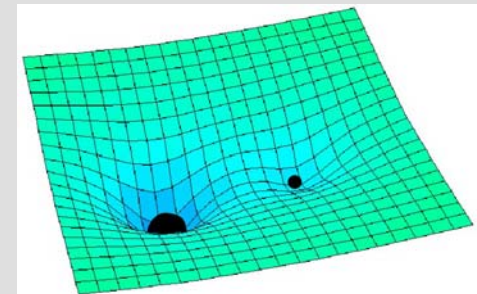
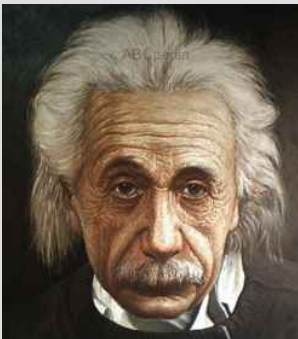
over any closed surface S

for any surface S bounded
by the closed loop L

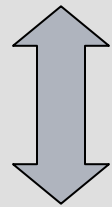
Formulazione relativistica:

$$\Delta^2 A^\mu = -\frac{4\pi}{c} J^\mu$$

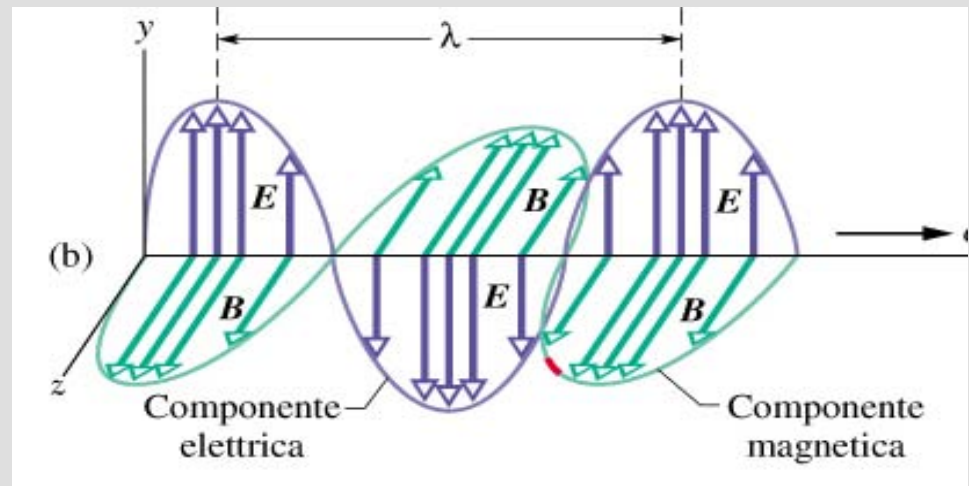
operatore di
D'Alembert



campo elettrico
variabile



campo magnetico
variabile



Campo e Onde



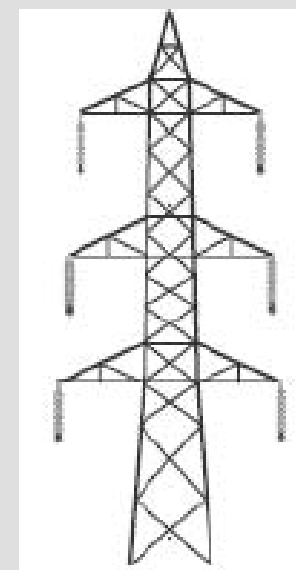
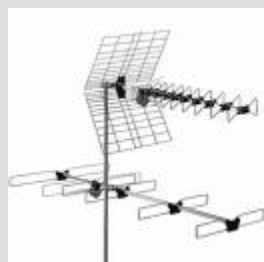
proprietà locali



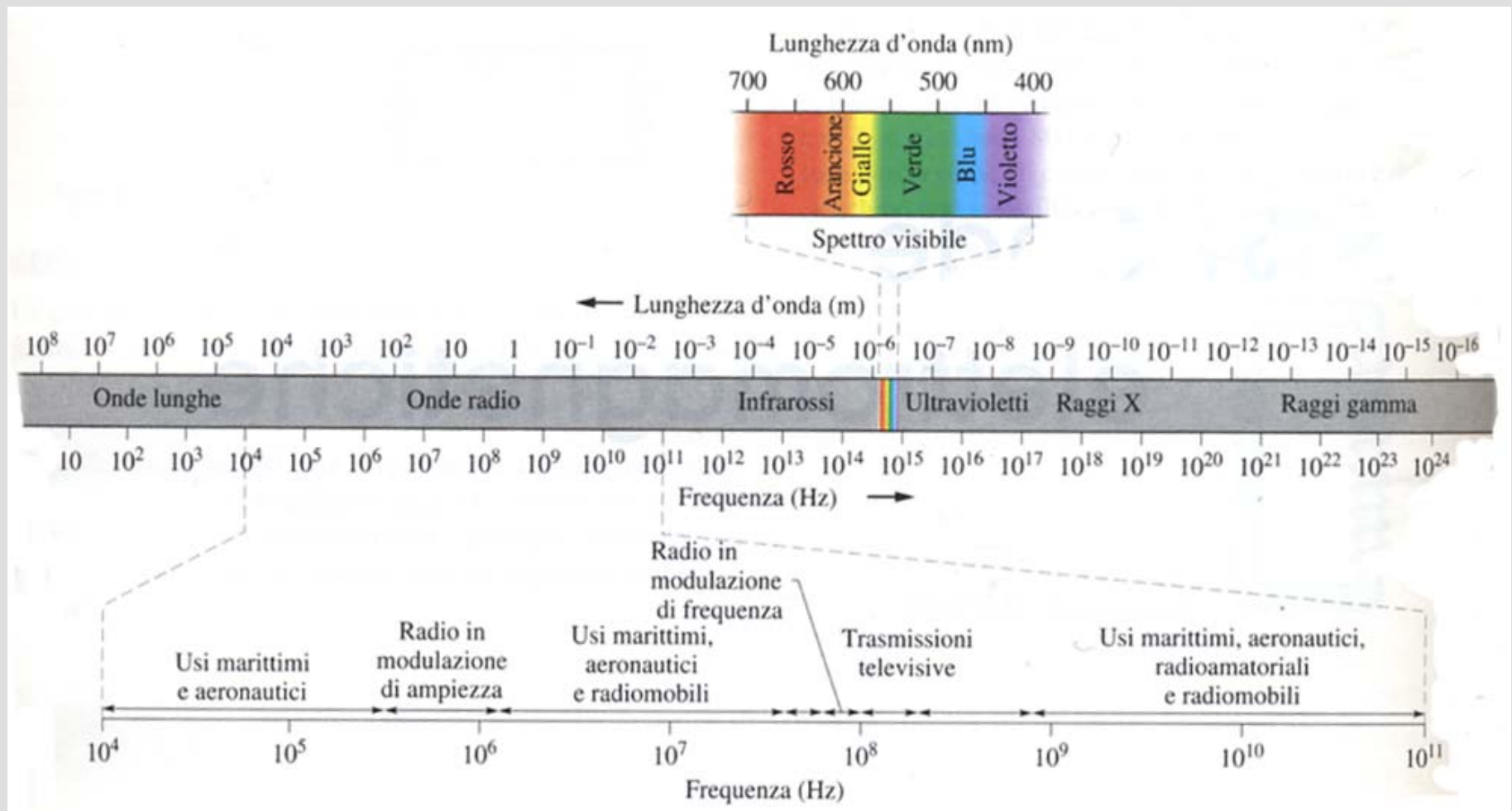
PROPAGAZIONE



proprietà generali



Spettro Elettro-Magnetico



Legge 22 febbraio 2001 n. 36 - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

Articolo 1. *(Finalità della legge)*

1. La presente legge ha lo scopo di dettare i principi fondamentali diretti a:
a) assicurare la tutela della salute dei **lavoratori**, delle **lavoratrici** e della **popolazione** dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ai sensi e nel rispetto dell'articolo 32 della Costituzione;

Articolo 2. *(Ambito di applicazione)*

1. La presente legge ha per oggetto gli impianti, i sistemi e le apparecchiature per usi civili, militari e delle forze di polizia, che possano comportare l'esposizione dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenze comprese **tra 0 Hz e 300 GHz**. In particolare, la presente legge si applica agli elettrodotti ed agli impianti radioelettrici, compresi gli impianti per telefonia mobile, i radar e gli impianti fissi per radiodiffusione.

Articolo 4. *(Funzioni dello Stato)*

1. Lo Stato esercita le funzioni relative:

- a) alla **determinazione dei limiti di esposizione**, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità ... in considerazione del preminente interesse nazionale alla definizione di **criteri unitari** e di **normative omogenee** in relazione alle finalità di cui all'articolo 1;
- e) all'individuazione delle **tecniche di misurazione** e di rilevamento dell'inquinamento elettromagnetico
- g) alla definizione dei **tracciati degli elettrodotti** con tensione superiore a **150 kV**;
- h) alla determinazione dei parametri per la previsione di **fasce di rispetto** per gli elettrodotti; all'interno di tali fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

5. Le **regioni adeguano la propria legislazione** ai limiti di esposizione, ai valori di attenzione ... dell'articolo 3 della presente legge e agli obiettivi di qualità previsti dai decreti di cui al comma 2 del presente articolo.

b) limite di esposizione: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori

c) valore di attenzione: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate ... Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei termini e nei modi previsti dalla legge;

d) obiettivo di qualità sono:...

... i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato ... ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi;

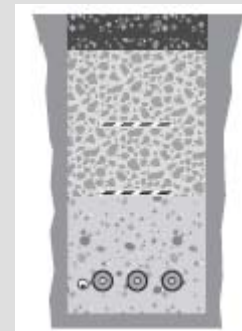
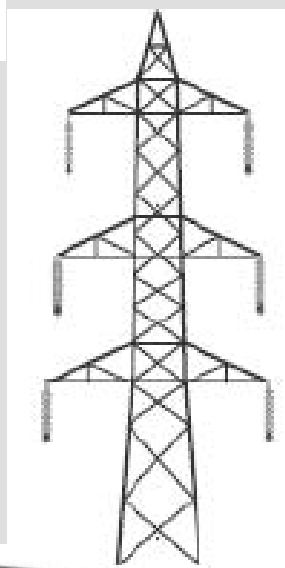
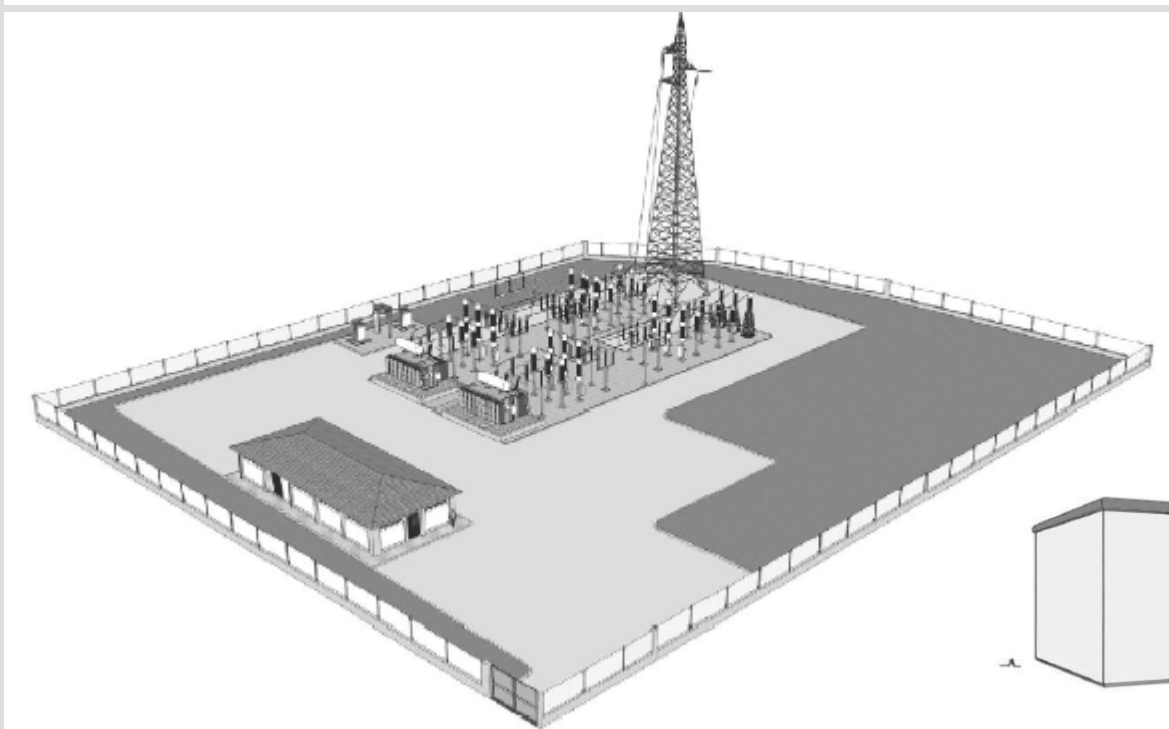


I limiti per la popolazione

DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 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. (GU n. 200 del 29-8-2003)

Elettrodotto: e' l'insieme delle linee elettriche delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.





I limiti per la popolazione

Limiti di esposizione e valori di attenzione

1. Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

2. A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μT , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.



Art. 4.

Obiettivi di qualità

1. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.



I limiti per la popolazione

DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2003

Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra **100 kHz e 300 GHz**. (GU n. 199 del 28-8-2003)

Tabella 2	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Valori di attenzione			
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz-300 GHz)

Tabella 3	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Obiettivi di qualità			
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz-300 GHz)



I limiti per i lavoratori

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (μT)	Densità di potenza di onda piana equivalente S_{eq} (W/m^2)	Corrente di contatto I_c (mA)	Corrente indotta attraverso gli arti I_L (mA)
0 - 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-	1,0	-
1 - 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-	1,0	-
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$	-	1,0	-
0,025 - 0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-	1,0	-
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0	-
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-	$0,4 f$	-
65 - 100 kHz	610	$1600/f$	$2000/f$	-	$0,4 f$	-
0,1 - 1 MHz	610	$1,6/f$	$2/f$	-	40	-
1 - 10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	$2/f$	-	40	-
10 - 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
400 - 2000 MHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	$f/40$	-	-
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-

DECRETO LEGISLATIVO 19 novembre 2007, n. 257

“Attuazione della direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)”



Per i LAVORATORI a 50 Hz:

- campo elettrico $< 10 \text{ kV/m}$**
- campo magnetico $< 500 \mu\text{T}$**

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare
Decreto 29 maggio 2008

Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti

Fascia di rispetto: è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'*obiettivo di qualità*. Come prescritto dall'articolo 4, comma 1 lettera h della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore.

Distanza di prima approssimazione (Dpa): per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di Dpa si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

3 μ T

Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08

Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche



5.2.1 Cabine elettriche

1. Cabine Primarie, generalmente la DPA rientra nel perimetro dell'impianto (§ 5.2.2) in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro.
2. Cabine Secondarie, nel caso di cabine di tipo box (con dimensioni mediantemente di 4 m x 2.4 m, altezze di 2.4 m e 2.7 m ed unico trasformatore) o similari, la DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della CS, va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (x) (§ 5.2.1) applicando la seguente relazione:

$$Dpa = 0.40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I} \approx 0,4 \sqrt{x \cdot I}$$

Nel caso di più cavi per ciascuna fase in uscita dal trasformatore va considerato il cavo unipolare di diametro maggiore.

<3 μ T

Tipologia sostegno	Formazione	Armamento	Corrente (A)	DPA (m)	Rif.to
Cabina secondaria di tipo box o simili, alimentata in cavo sotterraneo <u>Scheda B10</u>	Dimensioni mediamente di (4,0 x 2,4) m – altezze di 2,4 e 2,7 m ed unico trasformatore		Trasformatore 250 KVA	1,5	B10a
			Trasformatore 400 KVA	1,5	B10b
			Trasformatore 630 KVA	2	B10c

Nei QMT con **segregazioni metalliche** messe a terra le parti in tensione si trovano in una gabbia di Faraday.

- all'esterno del QMT in classe **PM** il campo elettrico è 0,02 kV/m, sotto il valore limite di 5kV/m (50Hz) per la popolazione e 10kV/m (50Hz) per i lavoratori



SIMOSEC

8DH10

LSC2B

Nessuna perdita
di continuità
d'esercizio

PM

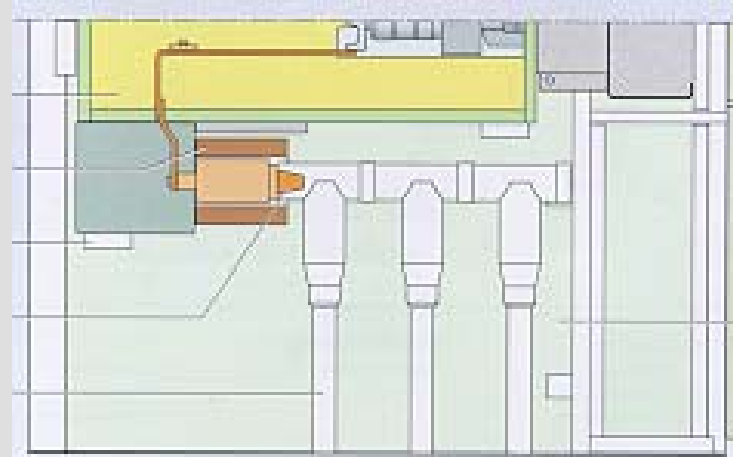
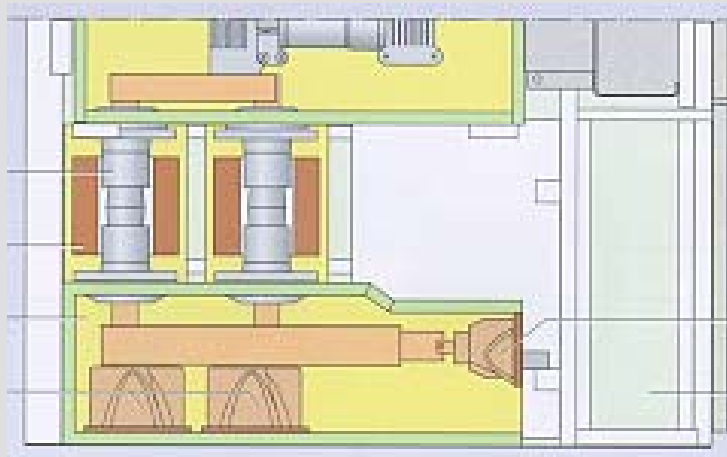
PM



Se scegliamo QMT in classe **PM** ci occupiamo solo del campo magnetico

Le forme costruttive dei QMT sono disparate
Esistono molti tipici: scomparto interruttore, sezionatore, ...
I tipici presentano varianti

La distribuzione del campo (flusso) magnetico
è variabile

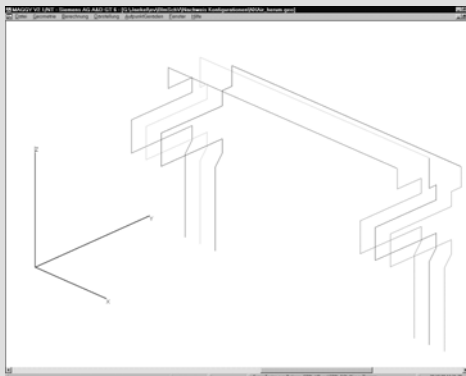


La distribuzione del flusso magnetico nello spazio dipende da:

- Forma costruttiva del QMT
- Tipico
- Ordine dei tipici
- Servizio

Il caso “peggiore” viene descritto nella documentazione di prodotto e determinato attraverso:

- Misure in sala prove
- Misure in servizio
- Calcolo di un modello
- Validazione del modello in impianti reali

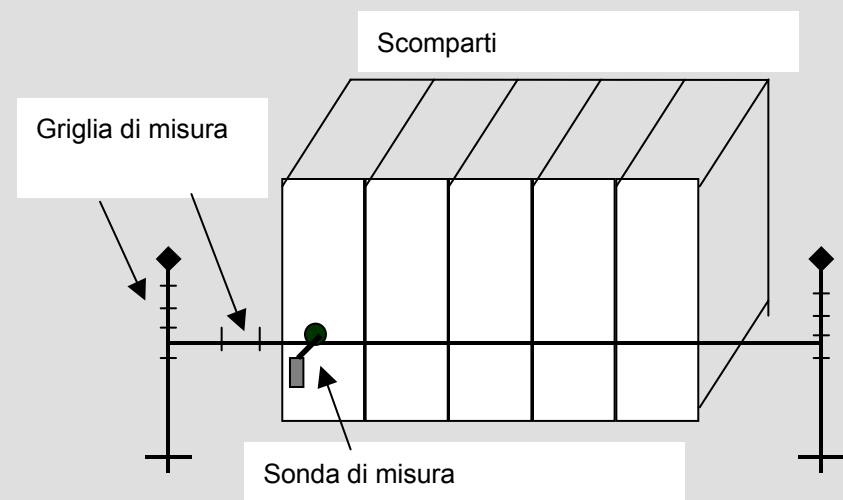


• Software di simulazione

-MAGGY

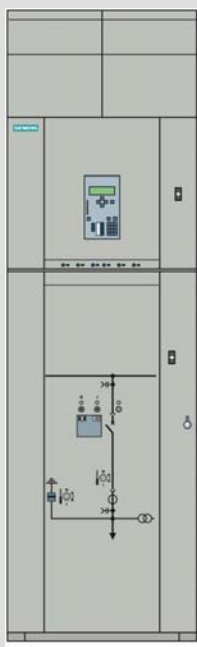
-CONCEPT

Page 3

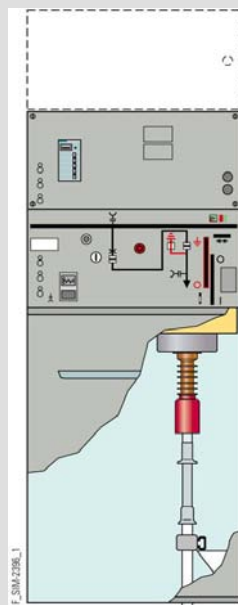
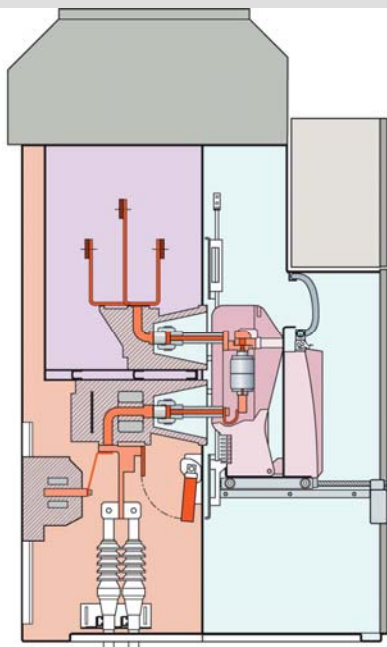


SIEMENS

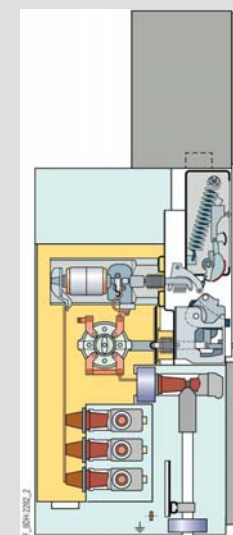
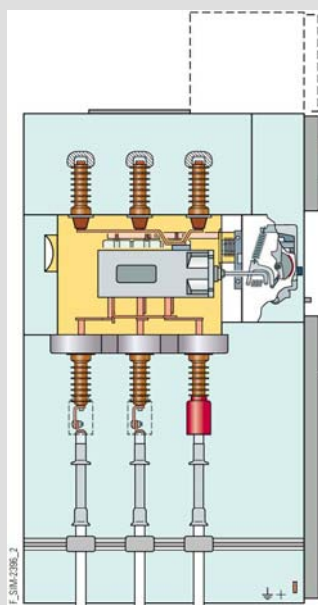
Emissione: Aria – Misto - Gas



800(1000)x1554mm
ARIA



750x1080mm
MISTO

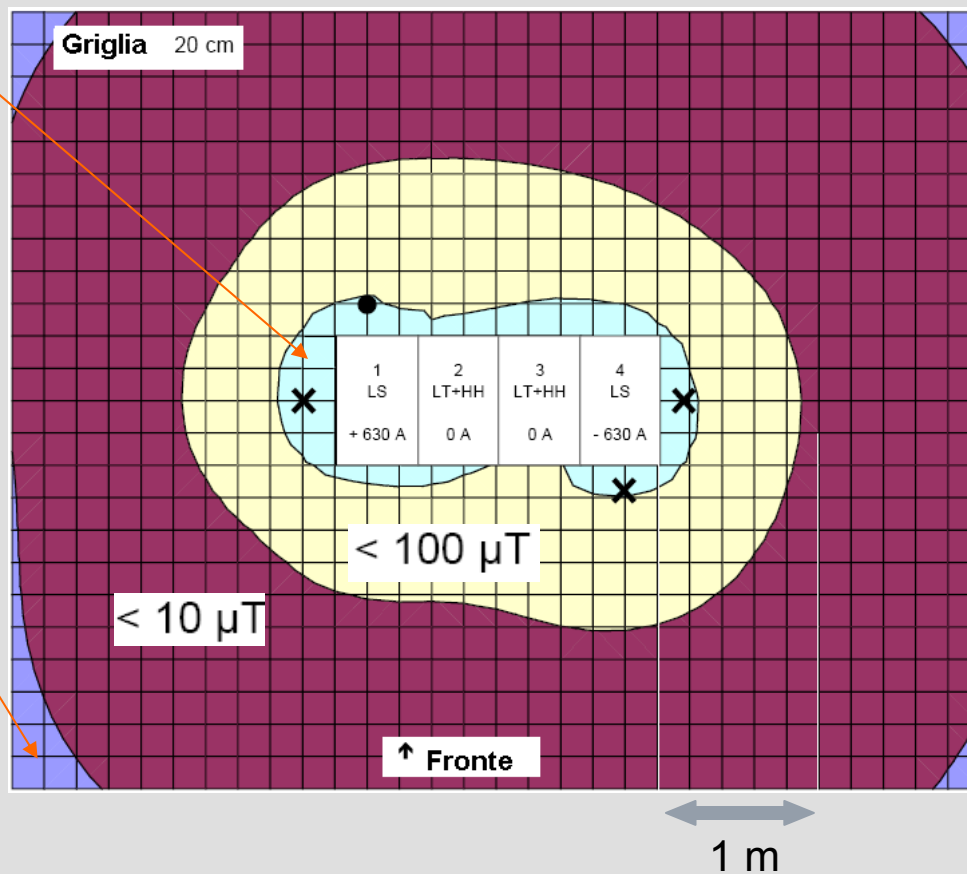


500x800mm
GAS

Misure EM, modelli

> 100 μT

< 1 μT



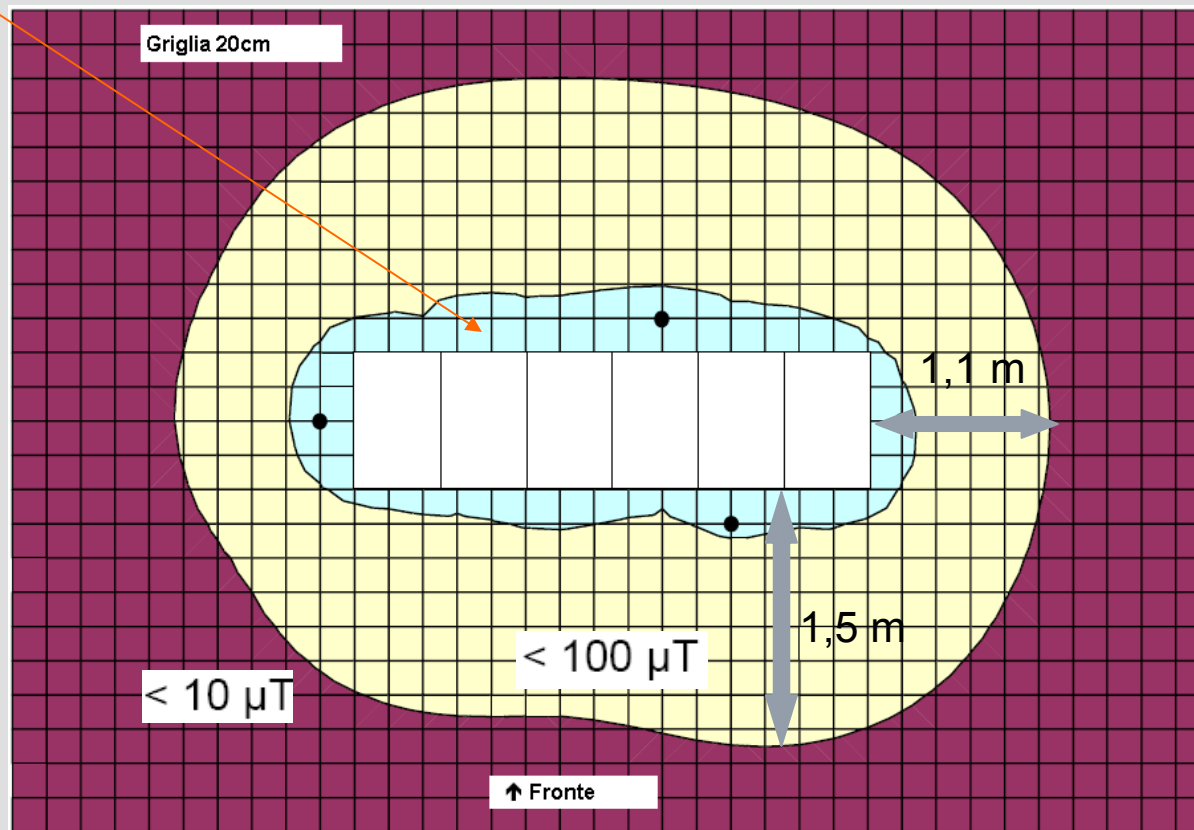
**8DH10
630A**

Campo elettrico
<20V/m

Flusso magnetico
nei punti indicati

125 μT	Retro
97 μT	Fronte
129 μT	Destra
241 μT	Sinistra

> 100 μ T

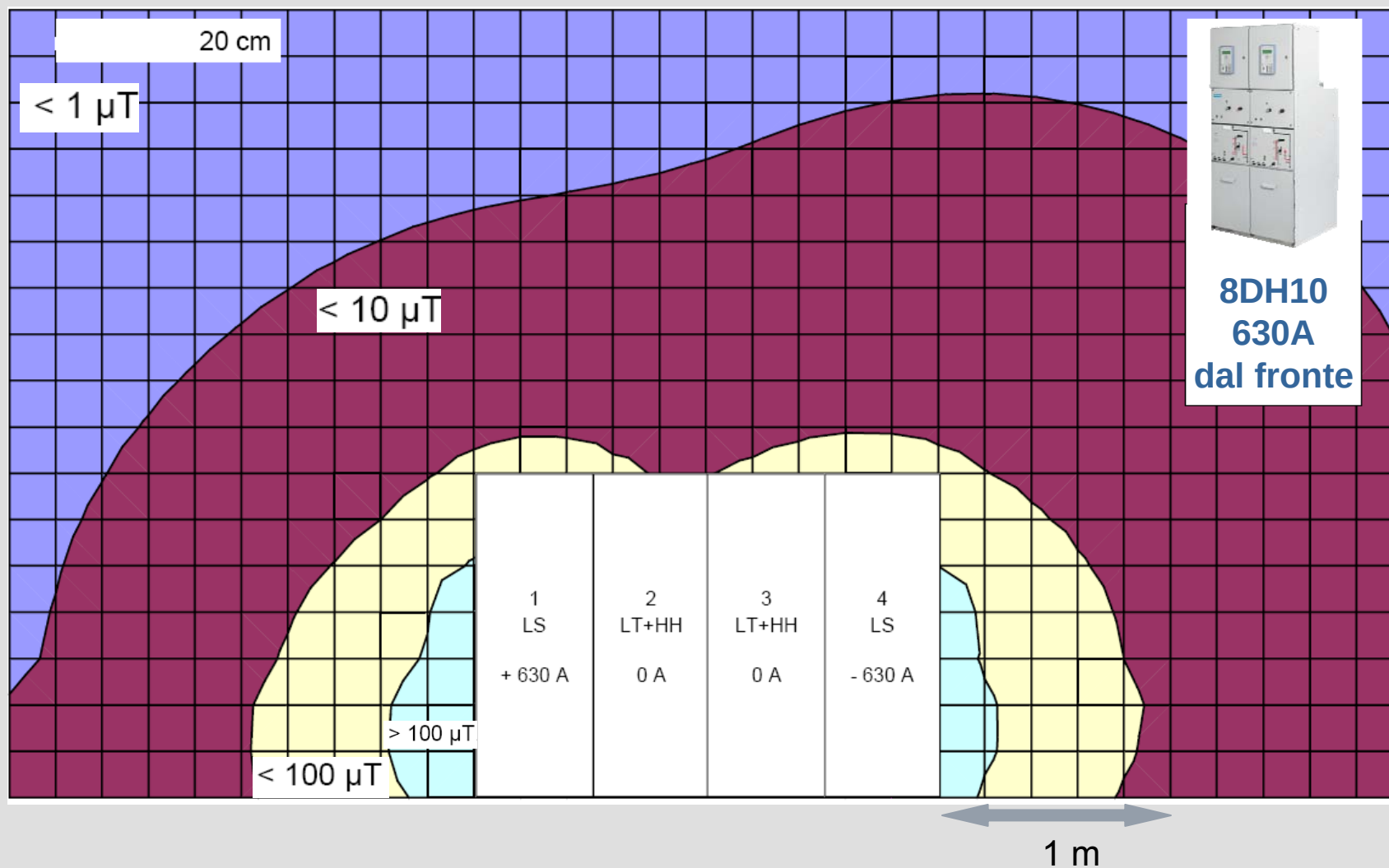


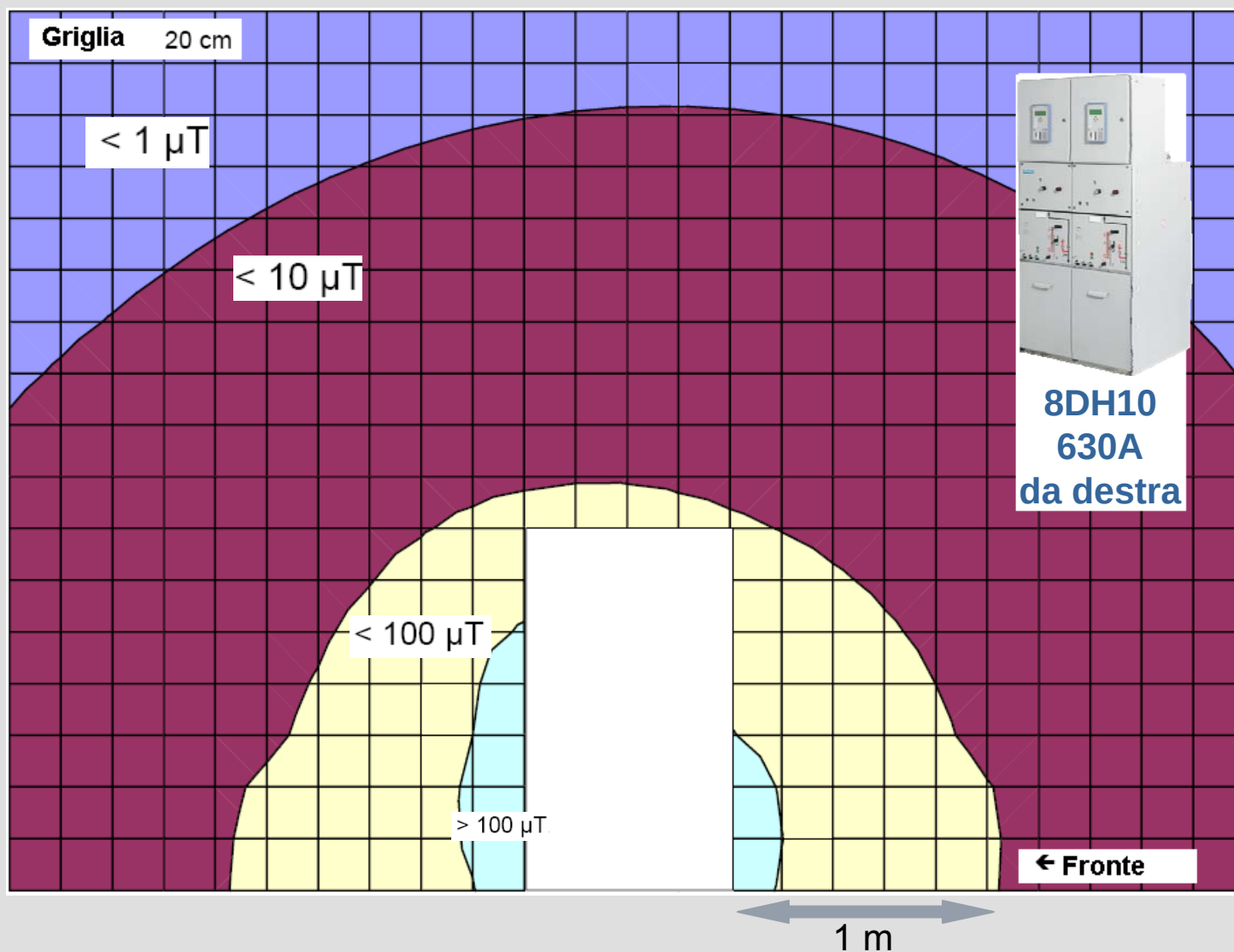
8DH10
1250A
(2x625A)

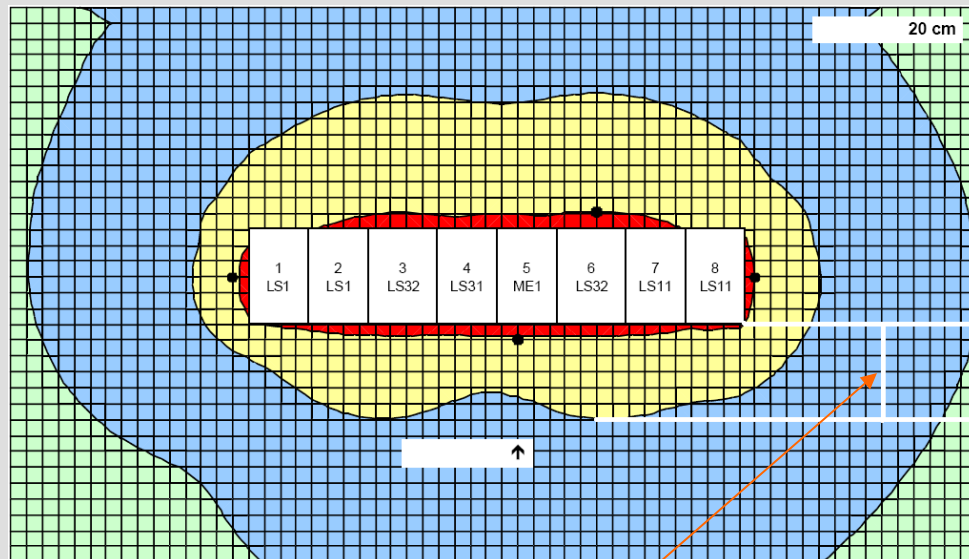
Campo elettrico
<20V/m

Flusso magnetico
nei punti indicati

192 μ T	Retro
129 μ T	Fronte
145 μ T	Destra
262 μ T	Sinistra





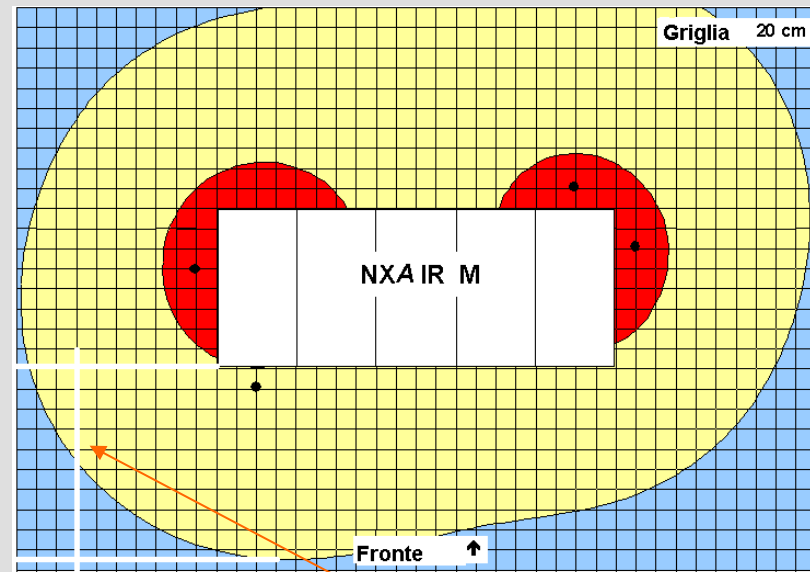


1250A

SIMOSEC

1,2 m

$< 100 \mu T$



Griglia 20 cm

Fronte ↑

1250A

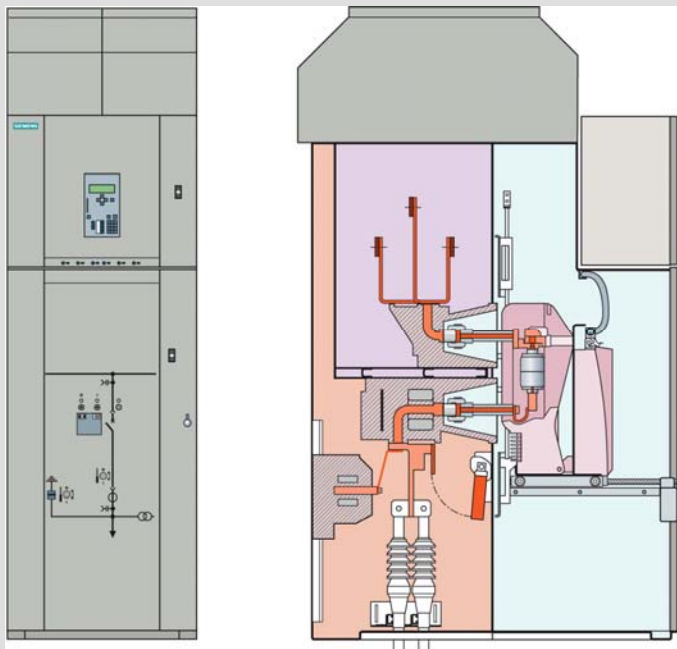
2,10 m

NX AIR M

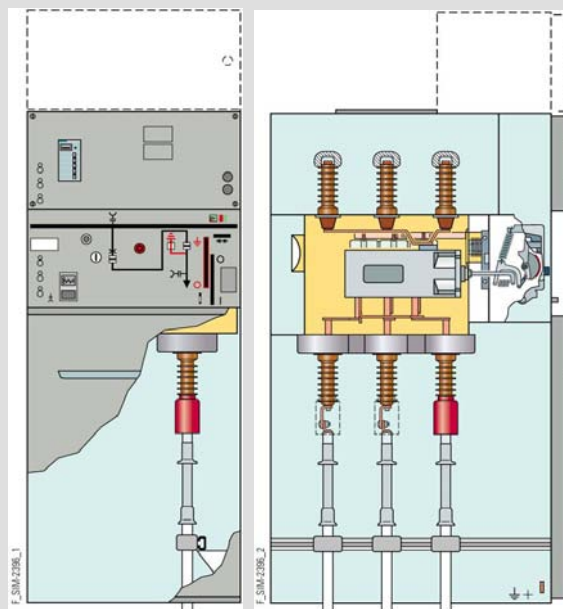


SIEMENS

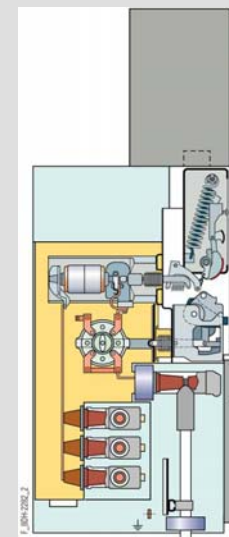
Emissione: Aria – Misto - Gas



ARIA



MISTO



GAS





Lato BT in corto con cavi (4m)

1000 kVA GEA FOL Transformer

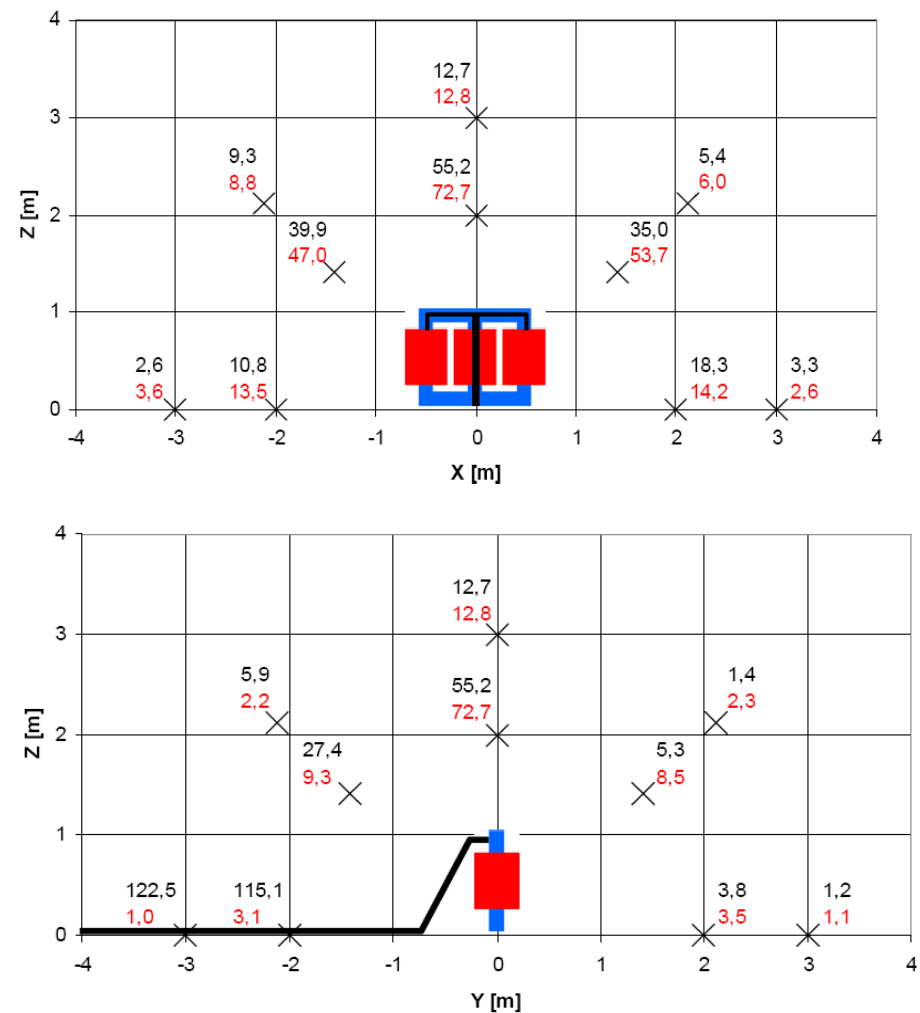
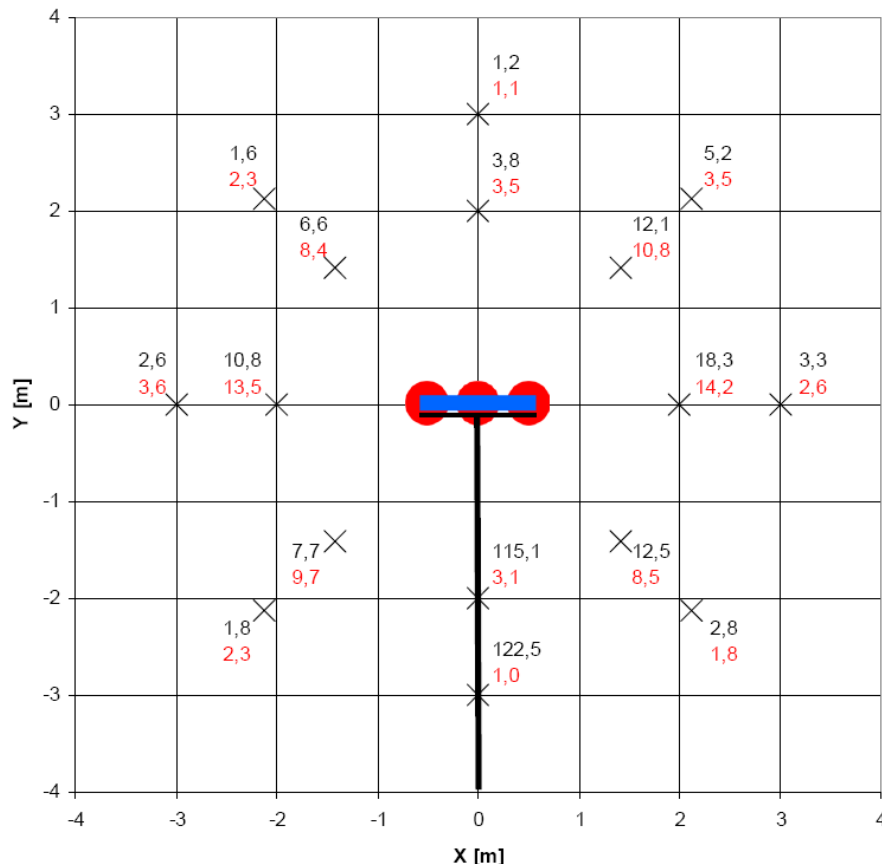
1000 kVA
20 kV
0,4 kV
Dyn5
6 %
28,9 A
1443 A



Lato BT in corto sulle sbarre

$$B(a) = 5 \mu T \frac{u_k}{6 \%} \sqrt{\frac{S_n}{630 \text{ kVA}}} \left(\frac{3 \text{ m}}{a} \right)^x$$

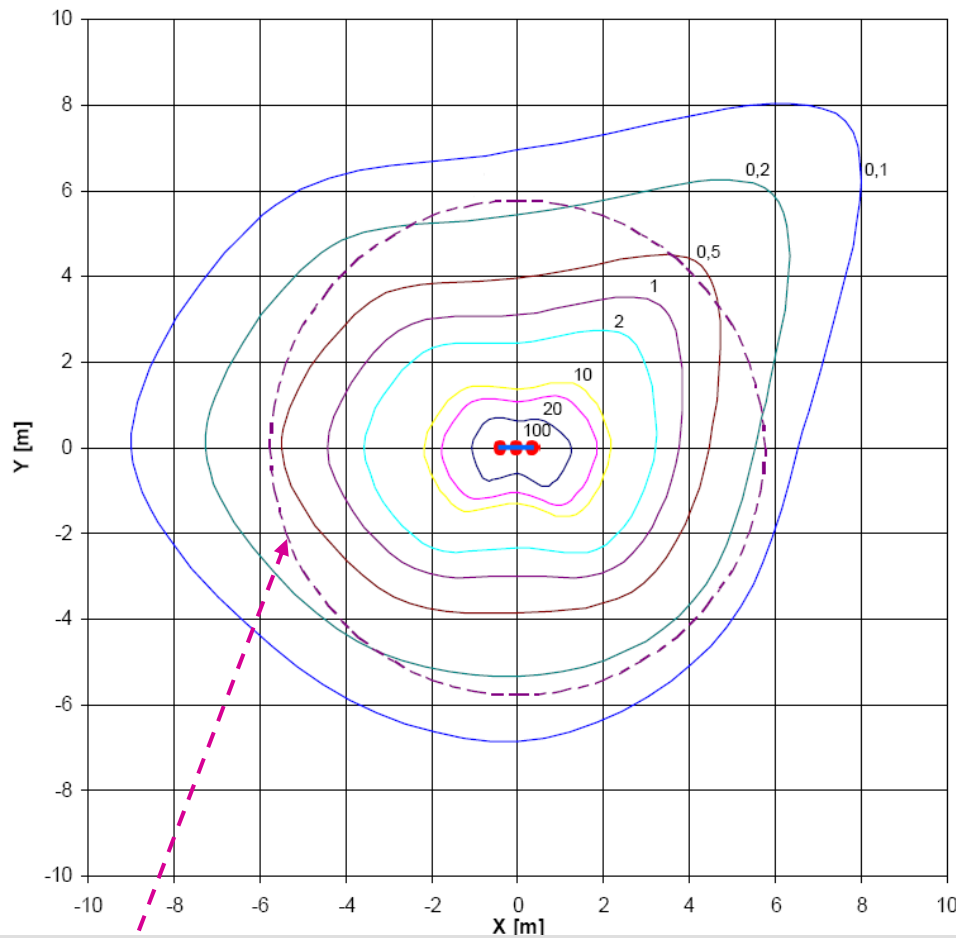
$x \cong 2,8$



Valori in microTesla

In rosso le misure con BT in corto sulle sbarre

In nero le misure con BT in corto con cavi

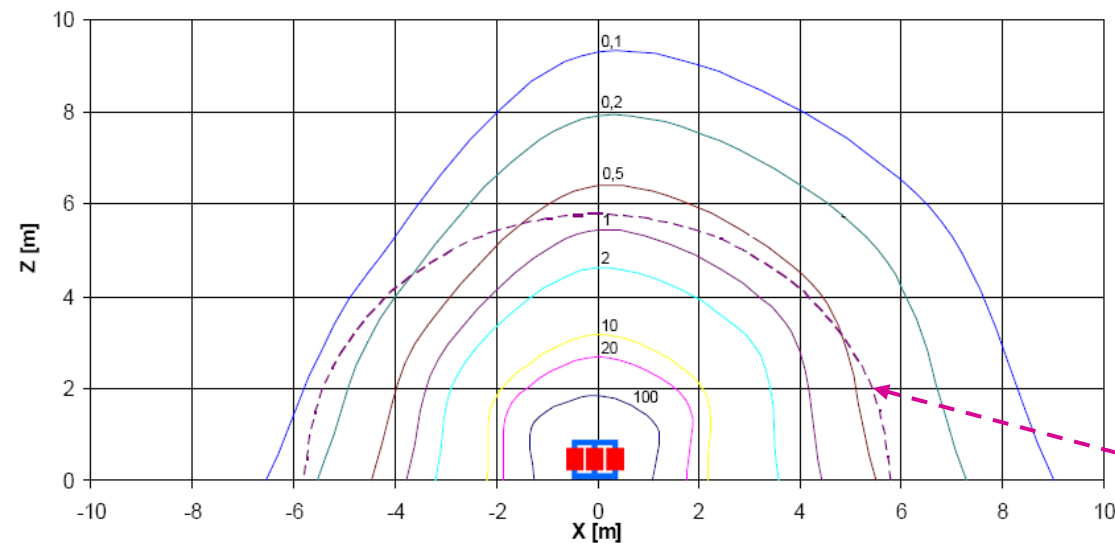


1 μT, calcolato

in corto sulle sbarre

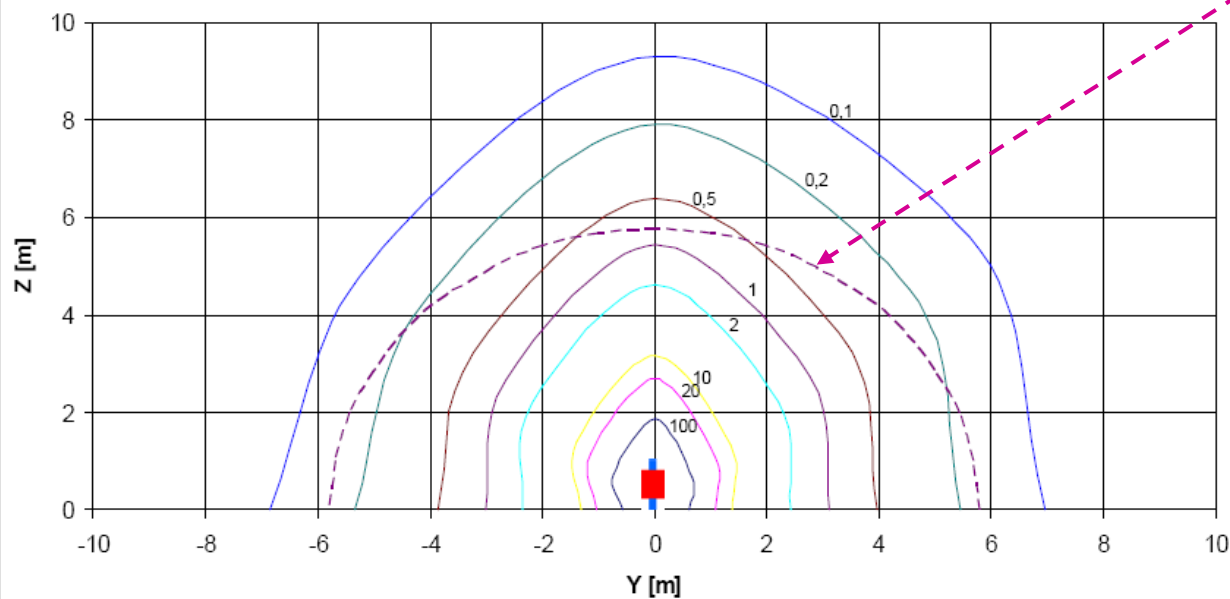
$$B(a) = 5 \mu T \frac{u_k}{6 \%} \sqrt{\frac{S_n}{630 \text{ kVA}}} \left(\frac{3 \text{ m}}{a} \right)^x$$

$x \cong 2,8$



in corto sulle sbarre

1μT,calcolato



Direttiva 108/2004/EC :Per i QMT assemblati in EU* è obbligatoria la documentazione EMC

Documentazione EMC per i QMT :

- Istruzioni di montaggio
- Istruzioni di servizio dei quadri e delle apparecchiature (inclusa la manutenzione)
- Per le apparecchiature rilevanti di bassa tensione : documentazione EMC

Il gestore dell'impianto è responsabile della documentazione tecnica, deve conservare ed aggiornare la documentazione fornita dai costruttori e renderla disponibile per i controlli (D.lgs 81 del 9 aprile 2008 Allegato. XVI “ documentazione di supporto”)

* Unione Europea



<http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/electrical/documents/emc/legislation/>

Pag. 2 e 3 distribuzione del flusso

SIEMENS

Typnachweis gemäß 26. BImSchV
PTD M TI/524.23/Me
Erlangen, 08.11.2002

Typnachweis über elektromagnetische Felder gemäß 26. BImSchV¹

Schaltanlagenart **NXAIR M**

Höchst betrieblicher Anlagenstrom² **1250 A**

Grenzwerte gemäß 26. BImSchV

Elektrische Feldstärke **5 kV/m**

Magnetische Flussdichte **100 µT**

Ergebnis

Elektrische Feldstärke **< 20 V/m**

Magnetische Flussdichte (berechnete Maxima) in 20 cm Abstand

207 µT

71 µT

277 µT

277 µT

Minimaler Abstand³ **55 cm**

Folienreihen: 2 bis 4

Seite 2, 3: grafische Darstellung der magnetischen Flussverteilung

Seite 4: Erläuterungen

¹ Sachverständige Vernetzung zur Durchführung des Bundes-Verordnungs über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV vom 20.07.2002

² Bemessungs-Betriebsstrom der Sammelschiene

³ Für größere Abstände als den angegebenen werden die Grenzwerte unterschritten

NXAIR M 1250 A 50 Hz Stand 08.11.2002

1 / 4

SIEMENS

Typnachweis gemäß 26. BImSchV

Frontansicht (Bodenseite)

Rastermaß 20 cm

3 / 4

SIEMENS

Typnachweis gemäß 26. BImSchV

Erklärungen

- Berechnete Schaltanlagenkonfiguration**
Dieser Typnachweis wurde für die ungünstigste („Worst-case“) Schaltanlagenkonfiguration erstellt. Das bedeutet: aus den verschiedenen Schaltendaustauschungen (Abzweigfeld, Kuppelfeld usw.) wurde die Aufstellungsvariante ermittelt, die hinsichtlich der Erzeugung von Magnetfeldern den ungünstigsten Fall darstellt. Der Nachweis erfolgte wiederum gemäß § 26. BImSchV. Die „Worst-case“-Konfiguration lässt sich durch folgende Merkmale beschreiben:
 - Die in die Schaltanlage hineinleitende, bzw. herausleitende Leitung ist jeweils auf nur ein Schaltfeld konzentriert.
 - Eingangs- und Abgangsfeld sind über mehrere Schaltfelder mittels einer Sammelschiene verbunden; daraus resultiert gewissermaßen eine Art „Schleife“ für den Betriebsstrom.
 - Eingangs- und Abgangsfeld schließen sich an den beiden jeweiligen räumlichen „Enden“ der Schaltanlage.
- Worst-case Konfiguration** bedeutet nicht, dass an jedem räumlichen Punkt im Bereich der Schaltanlage das Magnetfeld mit der größten Amplitude herrscht, sondern dass diese Konfiguration absolut das größte Magnetfeld erzeugt, allerdings nur an bestimmten räumlichen Punkten. Ziel der Worst-case Konfiguration ist es letztlich, die Mindestabstände des für die 26. BImSchV relevanten Bereichs zur Schaltanlage zu bestimmen.
- Grafische Darstellung**
Frontansicht: sie liefert die Verteilung um die Schaltanlage herum, wie sie ein Beobachter theoretisch sehen würde, der von oberhalb der Anlage auf die „Magnetfeldverteilung“ blickt.
Vordrucksicht (Bodenseite): sie dient der Information, welche magnetischen Flussdichten um die Anlage herum zu erwarten sind, wie sie ein Beobachter sehen würde, der von vorne auf die Verteilung der magnetischen Flussdichte um die Schaltanlage blickt. Diese Ansicht dient in erster Linie dazu, die magnetischen Flussdichten oberhalb der Schaltanlage zu zeigen.
Seitenansicht: Diese Ansicht dient der Information, welche magnetischen Flussdichten um die Anlage herum zu erwarten sind, wie sie ein Beobachter sehen würde, der von der Seite auf die Verteilung der magnetischen Flussdichte um die Schaltanlage blickt.
- Höchste Anlagenauslastung – lineare Umrechnung auf andere Betriebsströme**
Die in der 26. BImSchV vorgegebenen Grenzwerte sind auch bei höchster betrieblicher Auslastung einzuhalten. Deshalb entsprechen die grafischen Darstellungen dem Bemessungs-Betriebsstrom der Sammelschiene.
Beim Betrieb von Schaltanlagen ist für die von ihnen erzeugten Magnetfelder allerdings der tatsächlich fließende Strom maßgebend. Dieser wird in der Regel niedriger sein als der Bemessungs-Betriebsstrom der Anlage. Da die magnetischen Flussdichte linear vom Strom abhängt, lassen sich die Flussdichten für andere Betriebsströme linear interpolieren. Bei zum Beispiel der Hälfte des Bemessungs-Betriebsstroms liegt eine Verteilung vor, bei der die magnetischen Flussdichten nur halb so groß sind wie in den dargestellten Verteilungen.

NXAIR M 1250 A 50 Hz Stand 08.11.2002

4 / 4

Pag. 1 - Descrizione QMT - Valori limite - Valori emessi

Pag. 4 Spiegazione

QMT	Relè di protezione e apparecchiature BT nei QMT (imp. Fissi)
Rispondenza ai requisiti essenziali di emissione limitata ed immunità adeguata	Rispondenza ai requisiti essenziali non obbligatoria *
Nessuna conformità richiesta	Nessun accertamento di conformità richiesto
<u>No marchio CE</u>	No marchio CE *
<u>Documentazione EMC</u>	Manuale del prodotto per l'utilizzo EMC

- per i costruttori di QMT è opportuno utilizzare apparecchiature BT marcate CE

Accorgimenti pratici di mitigazione



Gli accorgimenti di mitigazione si devono adottare:

- In fabbrica
- In cantiere durante l'installazione

CEI 106-12

Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT



Foto AREVA T&D

Effetti

Bassa impedenza



Accorgimenti

Filetto mordente, 7Nm

Trattamento
superficiale
anti corrosione

Test di “terra efficace”
in camera climatica

Schermatura:
gabbia di Faraday



Rondelle con punte
mordenti

Effetti

Terra equipotenziale
Evitare accoppiamenti
di disturbi

Parti mobili**Accorgimenti**

6 mm²

(dipende dai requisiti delle
apparecchiature BT)

Sbarra di terra

Bassa impedenza



Punti di collegamento
alla sbarra di terra ben
identificati

Effetti

Impedire la somma dei disturbi

Separazione MT-BT

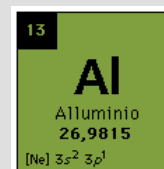
Punti di allaccio definiti



Accorgimenti

Cavi MT

Ingresso cavi in materiale
amagnetico



Cavi BT

Ingresso cavi dal cunicolo

Effetti

Certezza del
Collegamento

Bassa impedenza
di contatto

Collegamento schermi



Accorgimenti

Punti di collegamento
Schermi ben identificati

Minuteria di collegamento
idonea



Morsettiere per cavi si segnale
schermati in ingresso al
cassonetto BT

Effetti

Impedire l'invasione di aree "pericolose"



Impedire l'invasione di aree "pericolose"



Accorgimenti

Punti d'ingresso e uscita degli ausiliari
Indicati nei manuali

Percorsi esterni in canaline metalliche

Effetti**Accorgimenti**

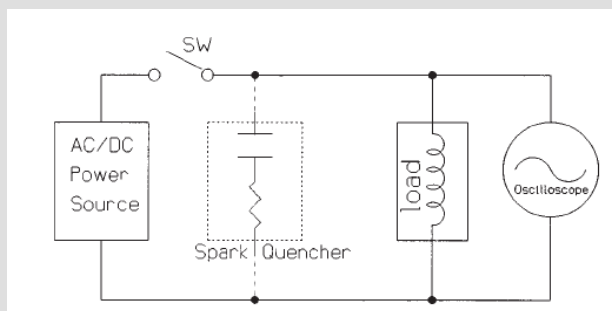
Impedire disturbi



Consigliato l'utilizzo di
Apparecchiature ausiliarie
con marchio CE

Impedire disturbi

Motori e bobine degli
interblocchi sono
accoppiati a varistori



Spark quenching

Terra dello schermo



SI



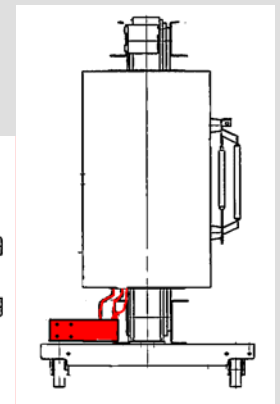
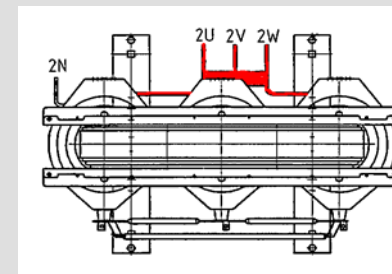
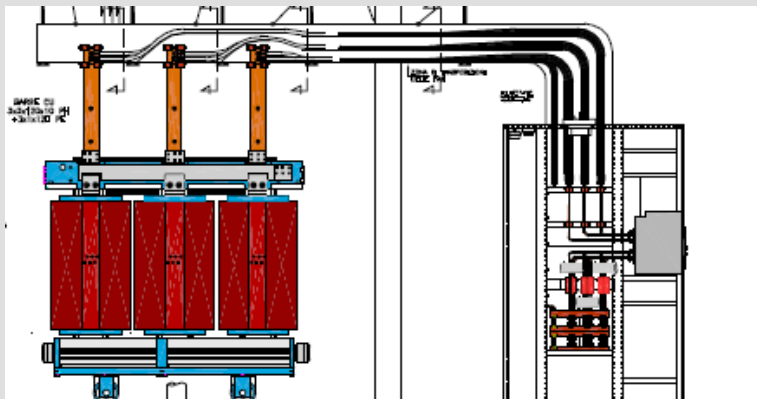
Meglio evitare





Accorgimenti pratici di mitigazione

- Carpenteria di protezione: fattore di riduzione 2-3
- Ridurre Uk% : attenzione alla corrente di corto !
il trafo non è più standard !
- Esecuzione degli attacchi BT avvicinati

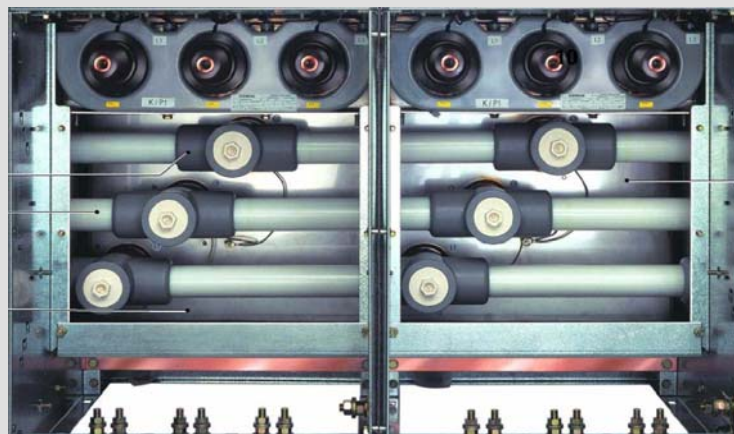
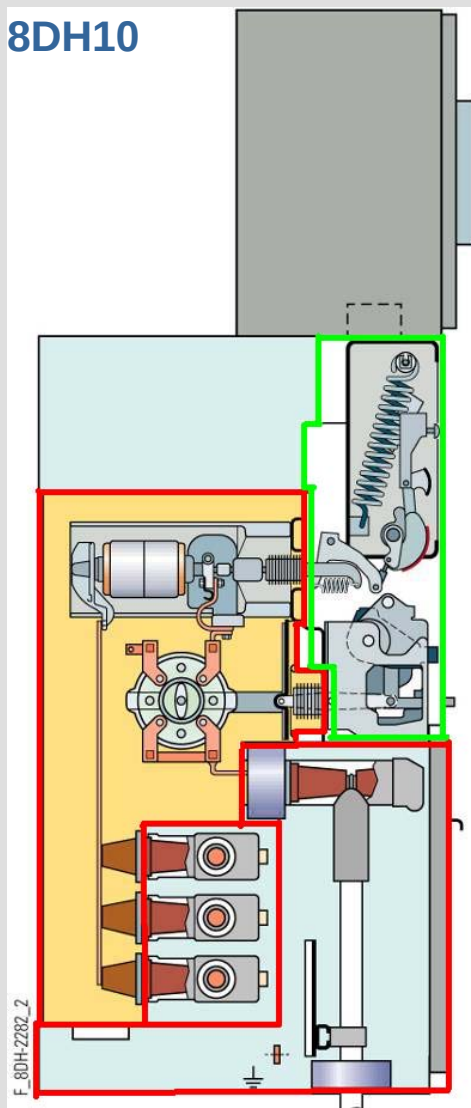


Gli accorgimenti pratici di mitigazione devono essere adottati anche durante l'installazione



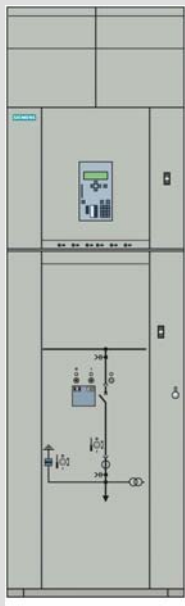
Gli accorgimenti pratici di mitigazione devono essere adottati anche durante l'installazione

8DH10

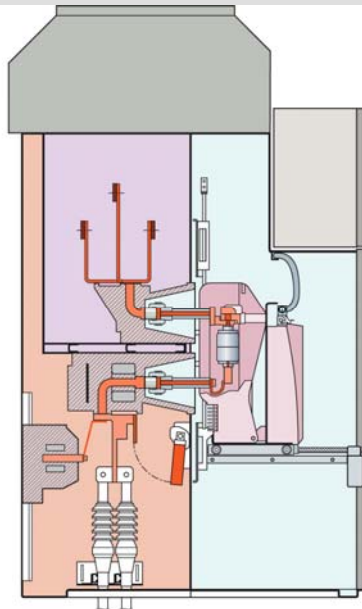


SIEMENS

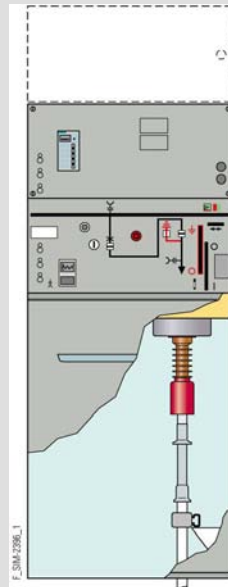
Vantaggi derivanti dall'installazione di QMT isolati in gas



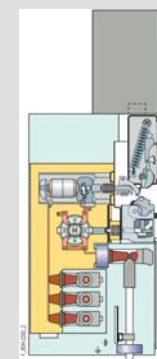
ARIA



MISTO -SIMOSEC



GAS-8DH10



Meno tempo, meno lavoro, meno errori = maggior tranquillità



CEI 0-15**Manutenzione delle cabine elettriche MT/BT dei clienti/utenti finali****Allegato A
Schede di manutenzione cabine MT/BT**

“Le schede riportate nel presente Allegato A possono essere utilizzate in assenza di manuali di manutenzione dei costruttori delle apparecchiature individuate”

- opere civili;
- apparecchiature MT;
- apparecchiature di trasformazione;
- apparecchiature di BT;
- cavi MT e BT;
- accessori di cabina;
- altre fonti di energia ed apparati funzionali alle cabine MT/BT.

ANNO _____ - N° cabina MT/BT _____ - N° PROGRESSIVO _____ Scheda ISV: esame dell'interruttore sotto vuoto					
NB: Consultare le schede dei costruttori, se esistenti o reperibili - Gli interventi si eseguono a seguito di esame visivo e/o strumentale		Massima periodicità	Data esecuzione	Firma dell'addetto	Provvedimenti assunti o suggeriti
1	ISV - Verifiche/interventi: controllo generale e installazione	1 anno			
2	ISV - Verifiche/interventi: controllo integrità parti isolanti	1 anno			
3	ISV - Verifiche/interventi: pulizia parti isolanti	1 anno			
4	ISV - Verifiche/interventi: pulizia e lubrificazione meccanismi di comando	1 anno			
5	ISV - Verifiche/interventi: regolazione del comando	1 anno			
6	ISV - Verifiche/interventi: verifica tempi di apertura e chiusura, ad esempio con oscilloscopio	1 anno			
7	ISV - Verifiche/interventi: verifica funzionamento elettrico	5 anni			
8	ISV - Verifiche/interventi: verifica tensioni ausiliarie	1 anno			
9	ISV - Verifiche/interventi: verifica funzionalità relé diretto da TA integrati, impostazione regolazioni	1 anno			
10	ISV - Verifiche/interventi: verifica funzionalità relé indiretto, impostazione regolazioni	1 anno			
11					
12					
13					
14					
NOTE:					Firma del manutentore

in assenza di manuali

Interruttore in vuoto 3AE
7,2-17,5 kV, 12,5-31,5 kA
7,2-17,5 kV, 40 kA
24 kV, 16-25 kA



NO MANUTENZIONE

L'interruttore in vuoto non richiede manutenzione fino a 10000 manovre. Si raccomanda ugualmente un controllo a vista regolare.

Per un isolamento ottimale le parti isolanti devono essere pulite:

spegnere l'alimentazione di bassa tensione prima di iniziare lavori di manutenzione!

In presenza di sporcizia, pulire tutte le altre parti con un panno senza peli.

9 Manutenzione/smaltimento

Manutenzione/Smaltimento In condizioni normali, il quadro di media tensione 8DH10 è esente da manutenzione.

NO MANUTENZIONE

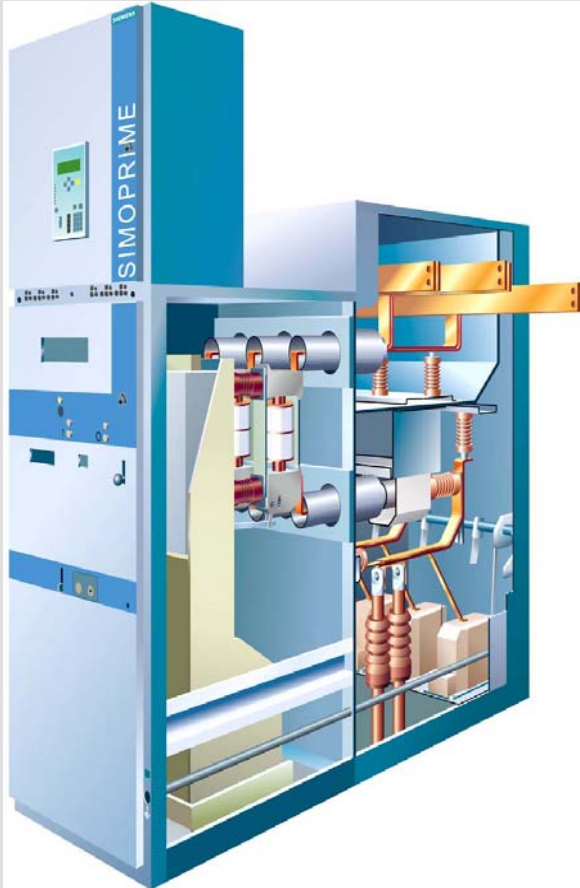
Interruttore in vuoto isolamento in gas

- Se utilizzato al coperto, il quadro SIMOSEC richiede un basso livello di manutenzione.
- Le condizioni climatiche e ambientali determinano l'entità della pulizia richiesta.
- Si raccomanda un'ispezione visiva annuale. Se occorre, regolare gli intervalli in base alle condizioni climatiche e ambientali.

- ⇒ Rimuovere le particelle e la polvere.
- ⇒ Pulire gli isolatori passanti.
- ⇒ Pulire le sbarre, i cavi e le connessioni ad alta tensione.

Interruttore in vuoto isolamento misto





Manutenzione annuale

- Eseguire controlli generali per rilevare, strati di polvere, umidità nei quadri, e depositi dovuti a scariche parziali.
- Controllare che gli accessori siano completi ed in buono stato

Manutenzione dopo cinque anni

- Azionare i sezionatori di terra per prova.
- Pulire i quadri.
- Controllare il funzionamento dei quadri e rimettere in funzione l'apparecchiatura.
- Controllare i collegamenti primari dei trasformatori di corrente e di tensione.
- Controllare i giunti imbullonati

Interruttore in vuoto isolamento in aria

SIEMENS

Dal Quadro MT al
Sistema di Distribuzione



Impianto di Terra

1) REALIZZARE UN PERCORSO PER PORTARE LA CORRENTE NEL TERRENO
DURANTE CONDIZIONI NORMALI O DI GUASTO

2) GARANTIRE LA SICUREZZA DELLE PERSONE E DEGLI IMPIANTI



IEEE Std 80-2000
(Revision of
IEEE Std 80-1986)

**IEEE Guide for Safety
in AC Substation Grounding**



N O R M A I T A L I A N A C E I

Norma Italiana

CEI 11-1

Data Pubblicazione

1999-01

Edizione

Nona

Classificazione

11-1

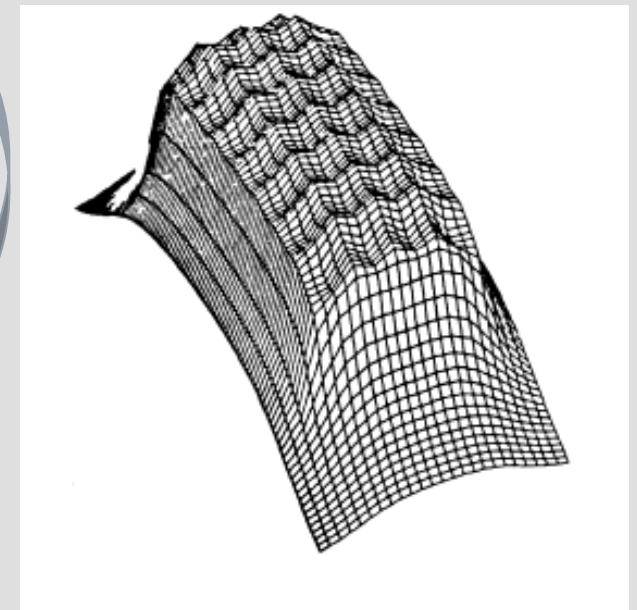
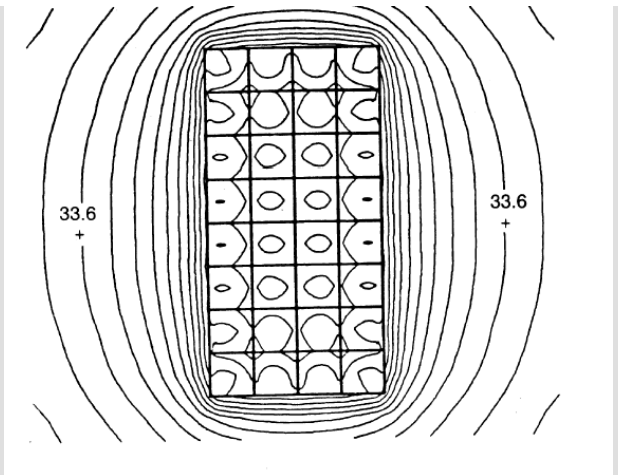
Fascicolo

5025

Titolo

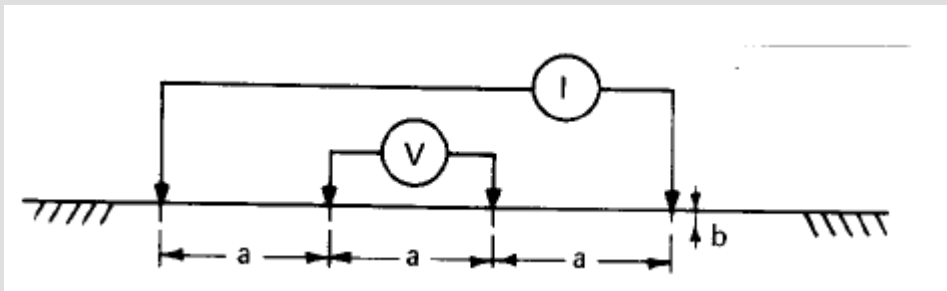
Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata

- 1) Misurare la **RESISTIVITA'** del terreno
- 2) Calcolare le tensioni massime ammissibili di contatto (V_{touch}) e di passo (V_{step})
- 3) Determinare la corrente da disperdere
- 4) Dimensionare il dispersore
- 5) Definire la struttura del dispersore
- 6) Calcolare la RESISTENZA DI TERRA
- 7) Calcolare la **TENSIONE TOTALE DI TERRA (GPR)**
- 8) Se $GPR > V_{touch}$ oppure $GPR > V_{step}$ calcolare la tensione di maglia (V_{mesh})
- 9) Se $V_{mesh} > V_{touch}$ oppure $V_{mesh} > V_{step}$



ANSI/IEEE Std 81-1983
(Revision of IEEE Std 81-1962)

IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System



$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Metodo di Wenner

Se, come sempre accade, la profondità di infissione dei picchetti (b) è molto minore della loro distanza (a), la formula si semplifica in:

$$\rho = 2\pi aR$$

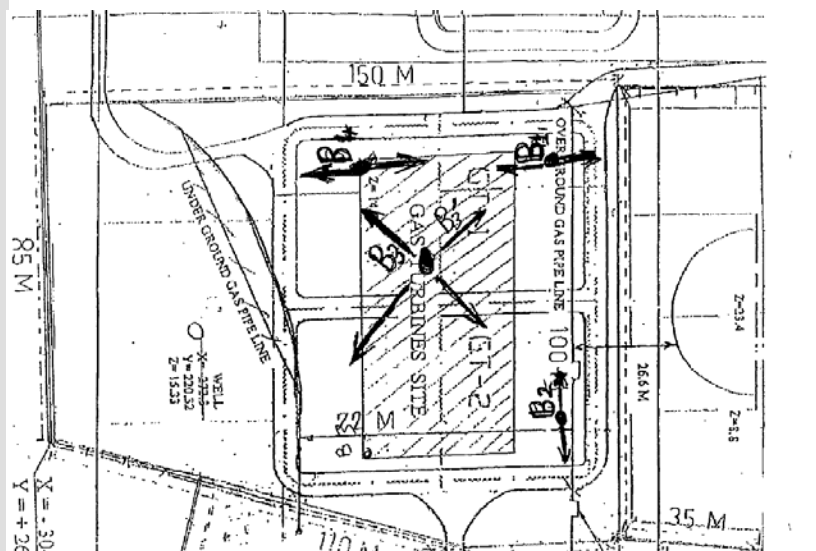
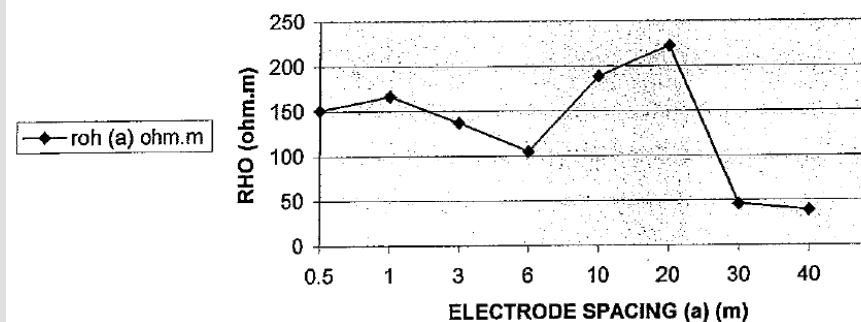


DIAGRAM OF MEASURED VALUE (B1)EW

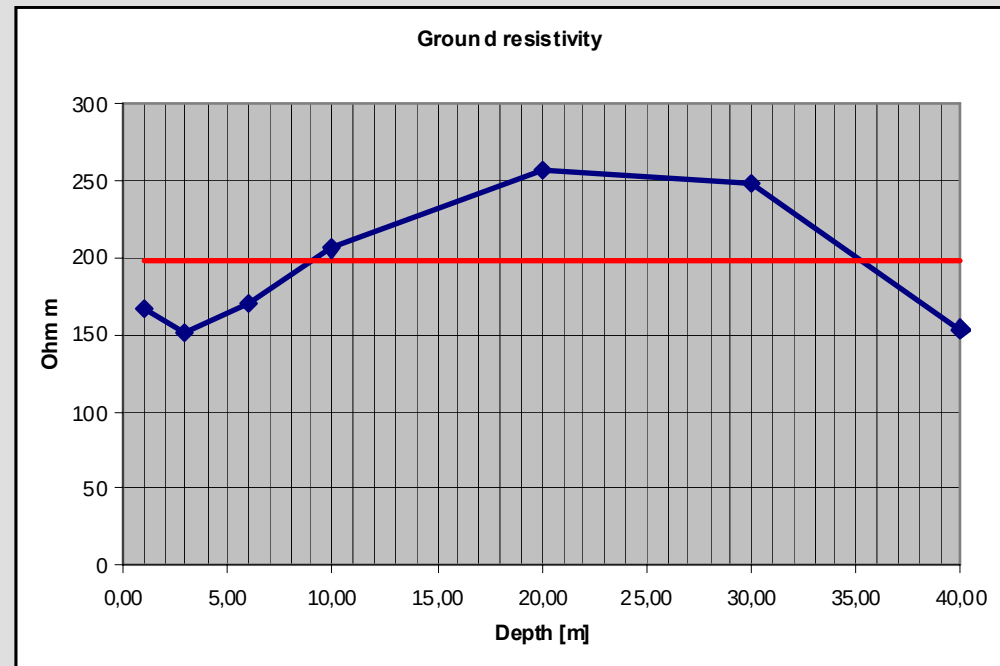


B(1)E-W	
a(m)	roh (a) ohm.m
0.5	15
1	166.2
3	137
6	105
10	188.4
20	222
30	46
40	39

Depth [m]	Measured resistivity [Ohm·m]					
	B1-EW	B2-NS	B3-NE/SW	B3-SE/NW	B4-EW	B5
1	166,00	136,00	157,00	121,00	270,00	154,00
3	137,00	180,00	130,00	181,00	131,00	149,00
6	105,00	258,00	183,00	218,00	96,00	159,00
10	188,00	300,00	217,00	276,00	100,00	151,00
20	222,00	336,00	288,00	307,00	191,00	195,00
30	46,00	296,00	339,00	337,00	205,00	264,00
40	39,00	230,00	314,00	--	199,00	138,00
AVERAGE	129,00	248,00	232,57	240,00	170,29	172,86
198,79						

A volte, se si eseguono calcoli con il calcolatore, si definisce un modello del terreno “a due strati”. Ad es.:

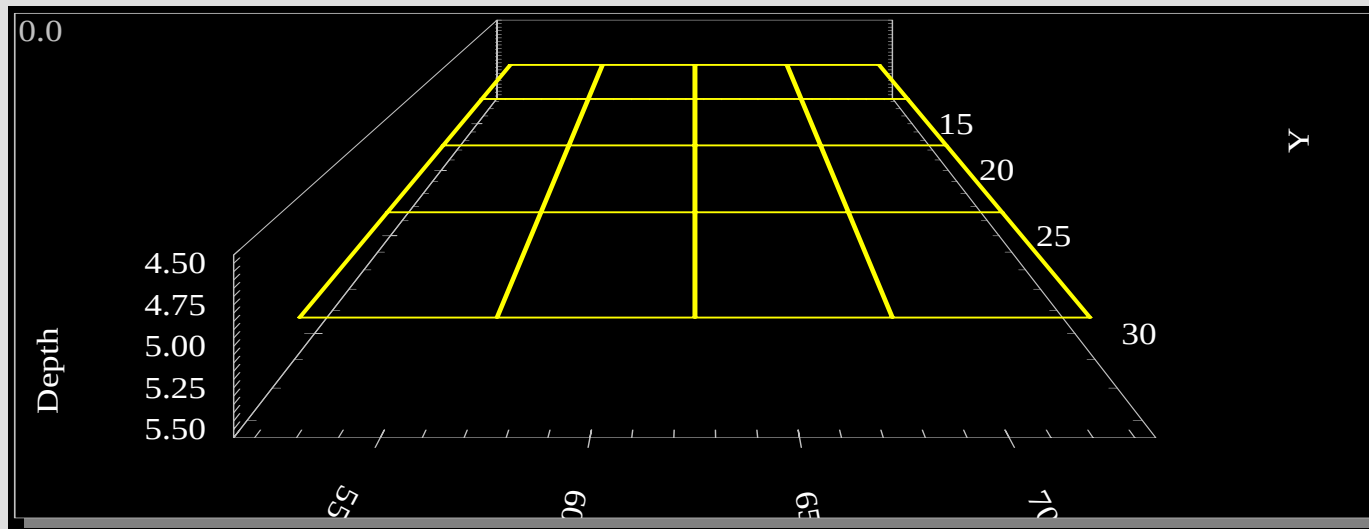
- fino a 3 m 180 Ohm·m
- oltre 3 m 75 Ohm·m



Tipo di terreno	Resistività del terreno ρ_E [Ωm]
Terreno paludoso	da 5 a 40
Terriccio, argilla, humus	da 20 a 200
Sabbia	da 200 a 2500
Ghiaietto	da 2000 a 3000
Pietriccio	generalmente inferiore a 1000
Arenaria	da 2000 a 3000
Granito	fino a 50000
Morena	fino a 30000

Tensione Totale di Terra = Ground Potential Rise (GPR)

$$V_{TT} = R_G \times I_G \quad [V]$$



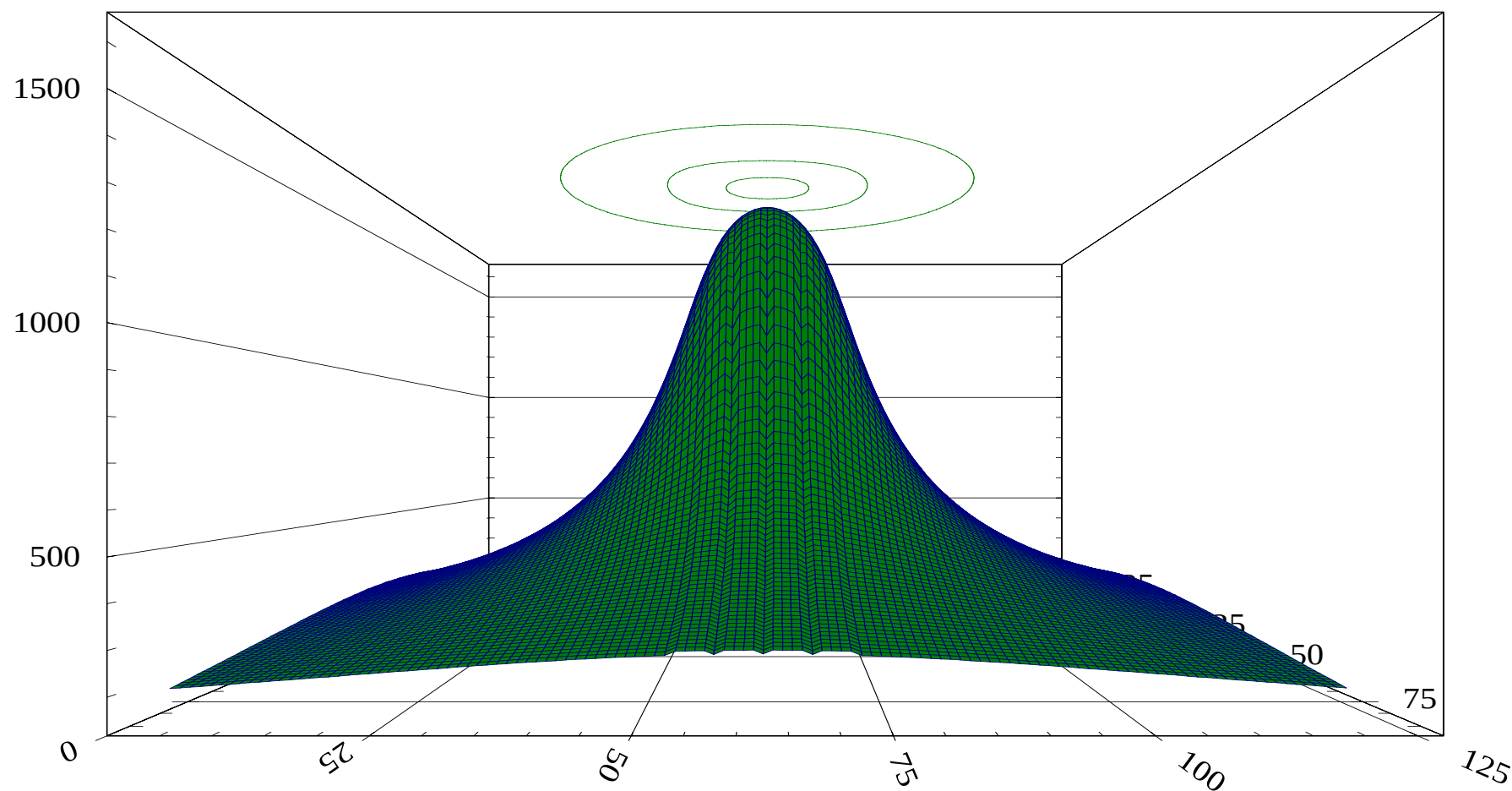
Resistività terreno 100 Ohm·m

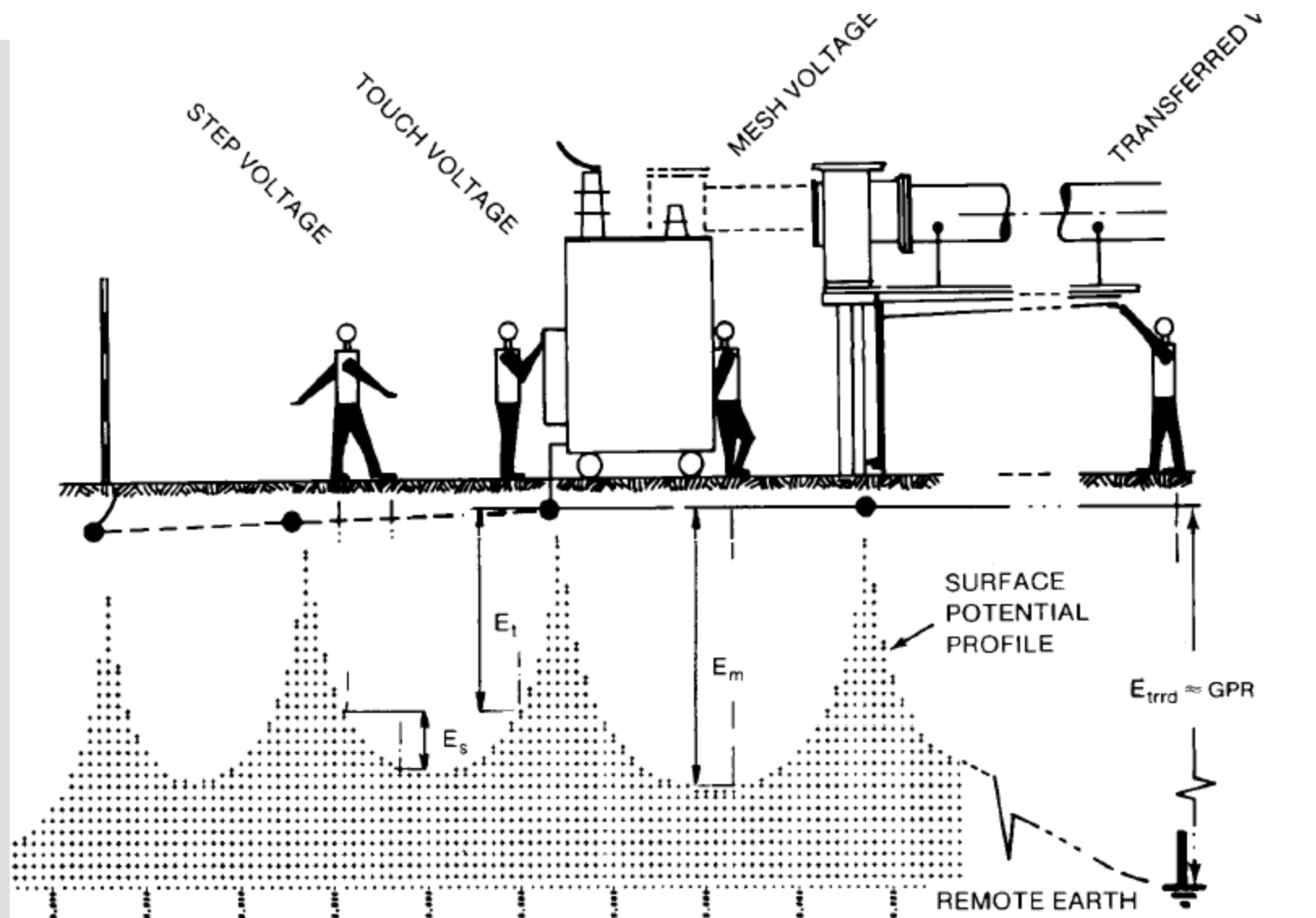
Corrente di guasto 1.000 A

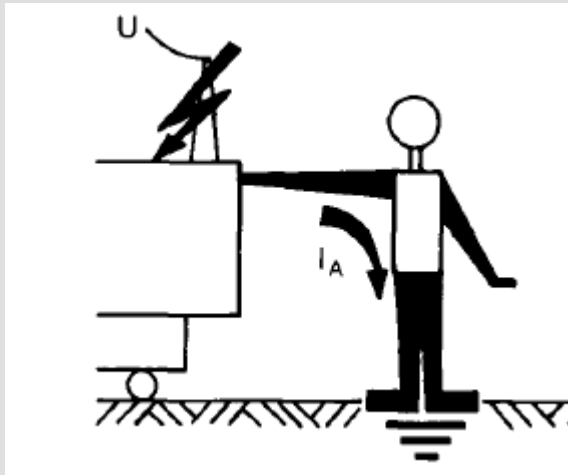
Maglia 5x5 m



$$R_G = 1,9 \quad [\Omega]$$
$$V_{TT} = 1.900 \quad [V]$$



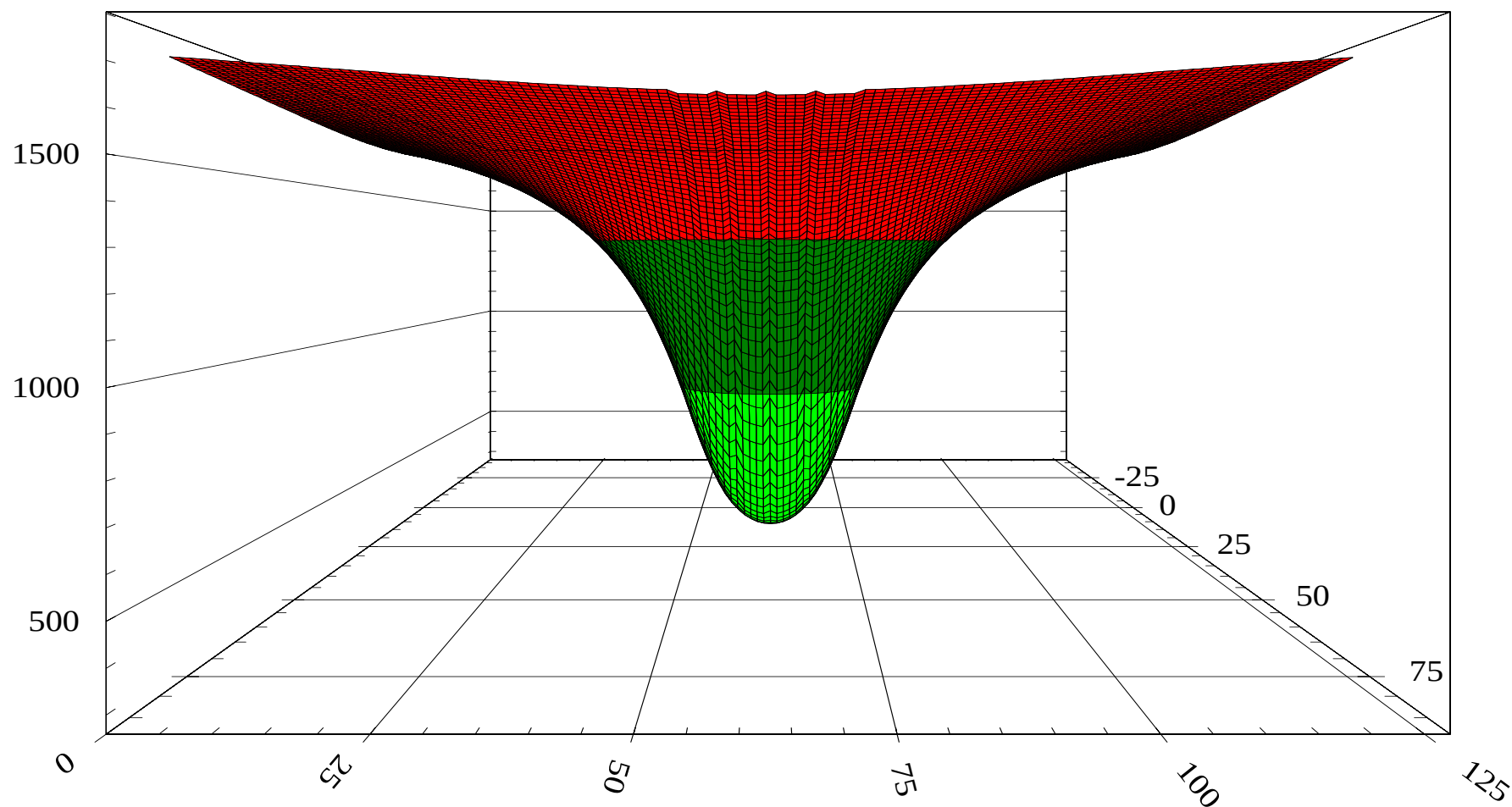


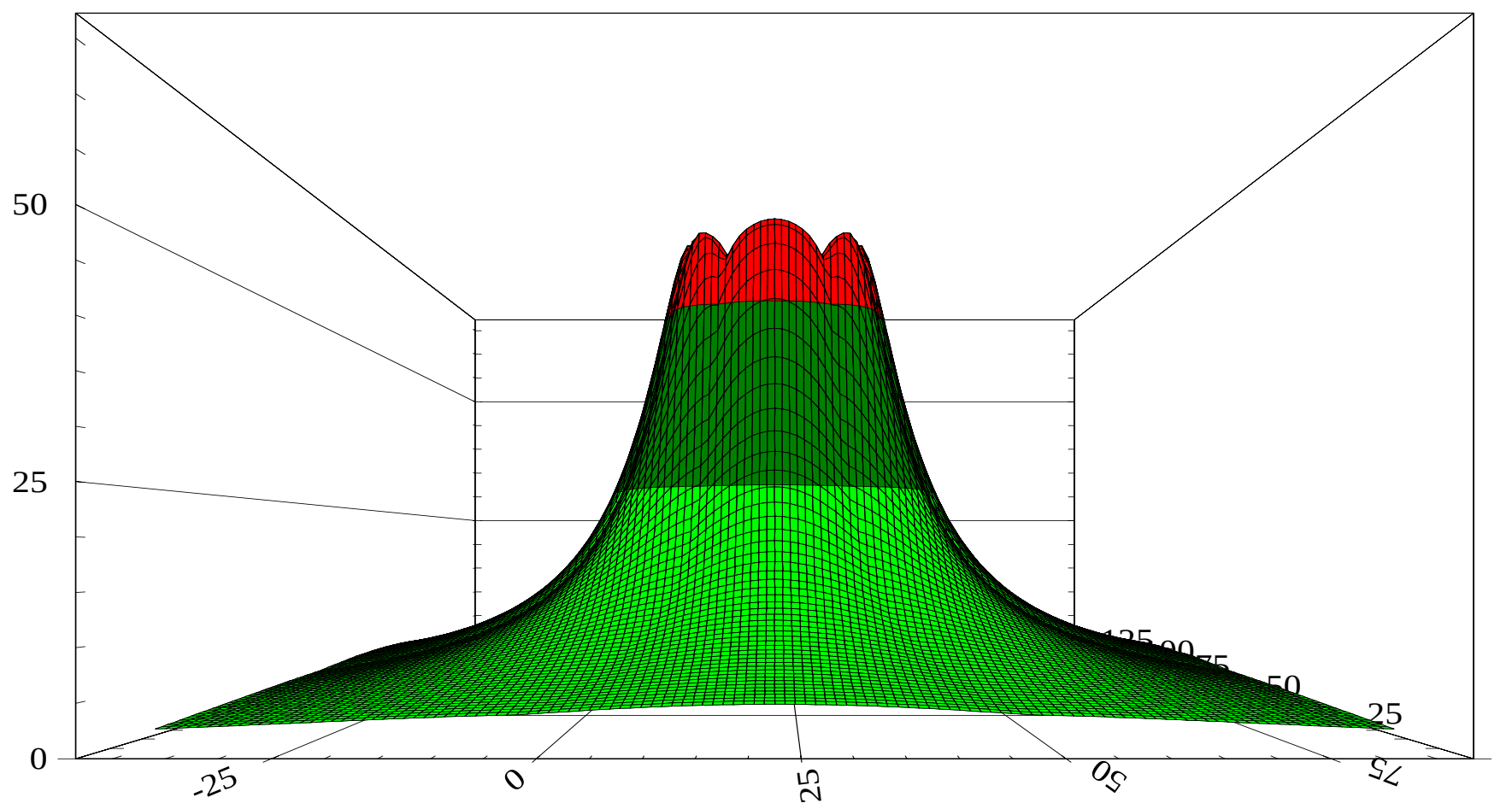


Tensione
di Contatto



Tensione
di Passo





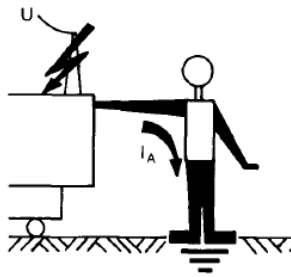
$$E_{step50} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{step70} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$



IEEE Std 80-2000
(Revision of
IEEE Std 80-1986)

**IEEE Guide for Safety
in AC Substation Grounding**



$$E_{touch50} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

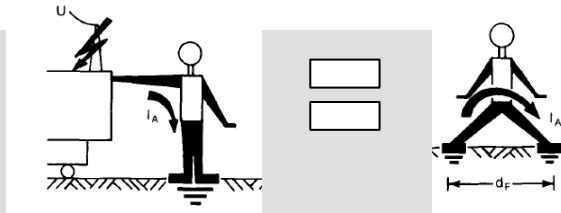
Durata del guasto a terra

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09}$$

*Resistività di uno strato di terreno resistivo:
asfalto o ghiaia (4-5 kOhm)*

Spessore dello strato ad alta resistività

Tensioni massime ammissibili



NORMA ITALIANA CEI

Norma Italiana
CEI 11-1

Data Pubblicazione

Edizione

1999-01

Nona

Classificazione

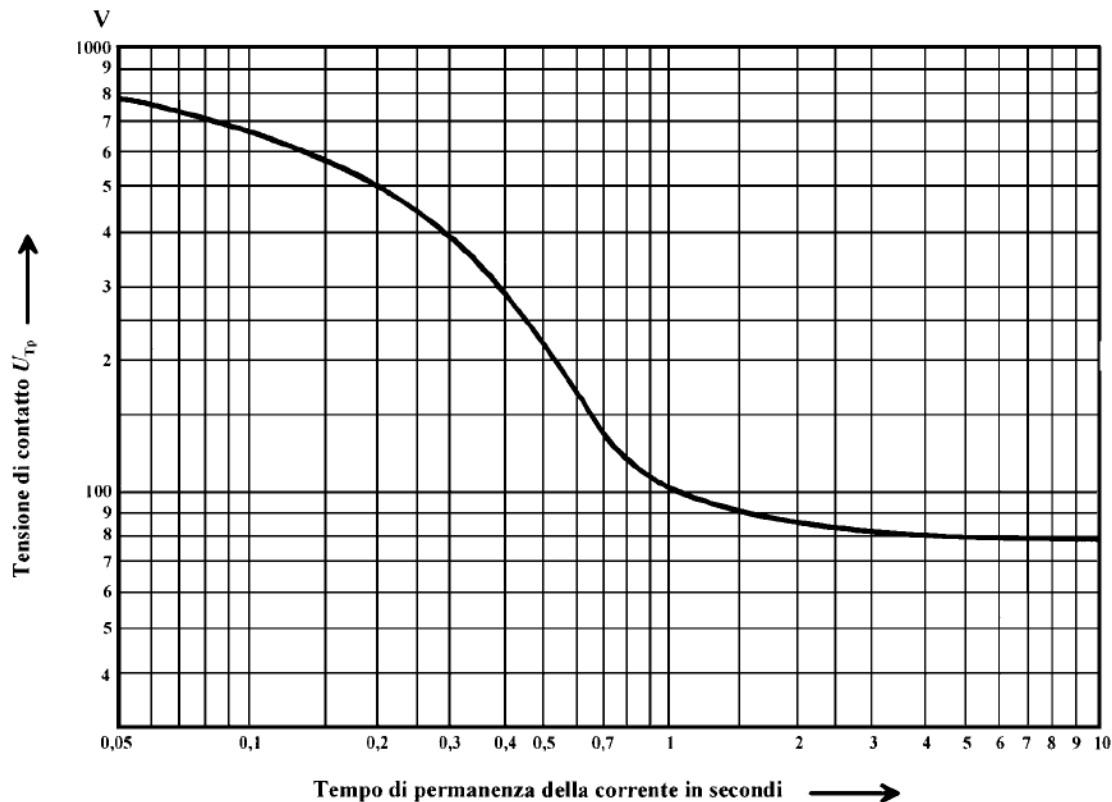
Fascicolo

11-1

5025

Titolo

Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata



In condizioni normali
(rimozione guasto in 0,5 s)
le tensioni massime
ammissibili sono
circa **200 V**.

TERRENO NUDO

Tensioni massime ammissibili

NORMA ITALIANA CEI

Norma Italiana

CEI 11-1

Data Pubblicazione

1999-01

Classificazione

11-1

Edizione

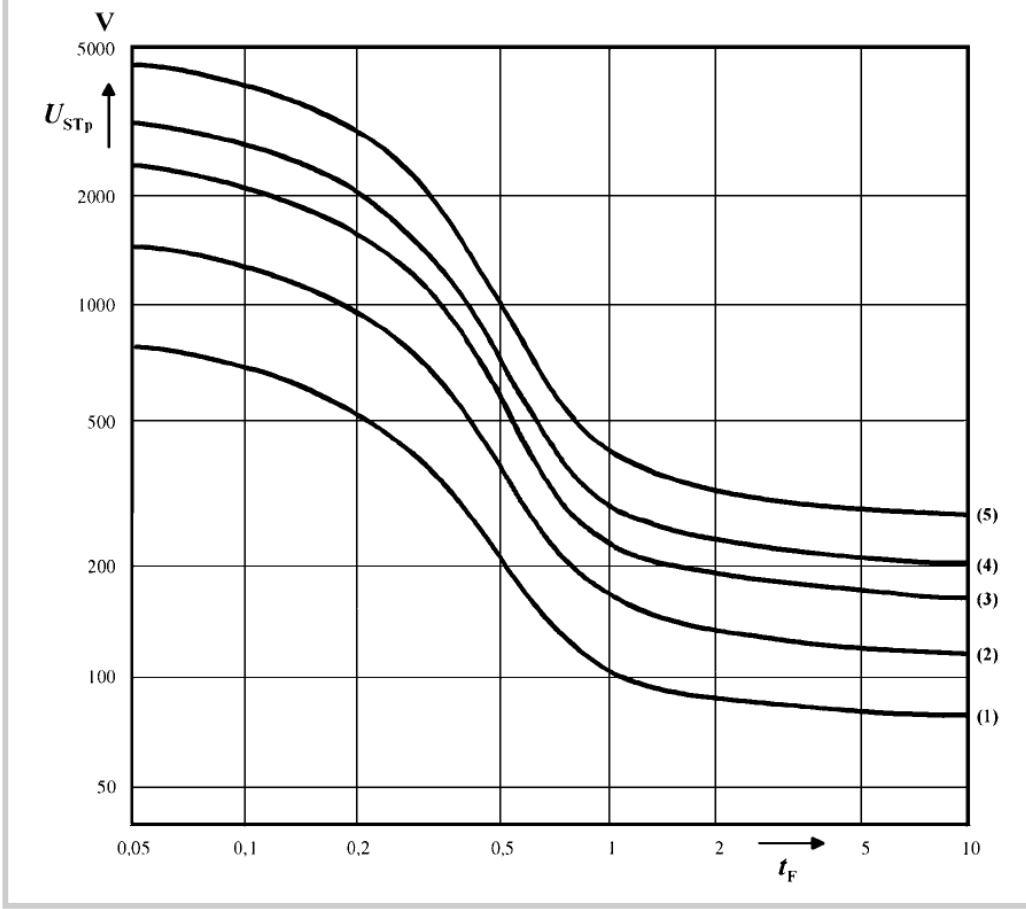
Nona

Fascicolo

5025

Titolo

Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata



(1): senza resistenze aggiuntive (vedi Fig. 9-1)

(2): $R_a = 750 \Omega$ ($R_{a1} = 0 \Omega$, $\rho_s = 500 \Omega m$)

(3): $R_a = 1750 \Omega$ ($R_{a1} = 1000 \Omega$, $\rho_s = 500 \Omega m$)

(4): $R_a = 2500 \Omega$ ($R_{a1} = 1000 \Omega$, $\rho_s = 1000 \Omega m$)

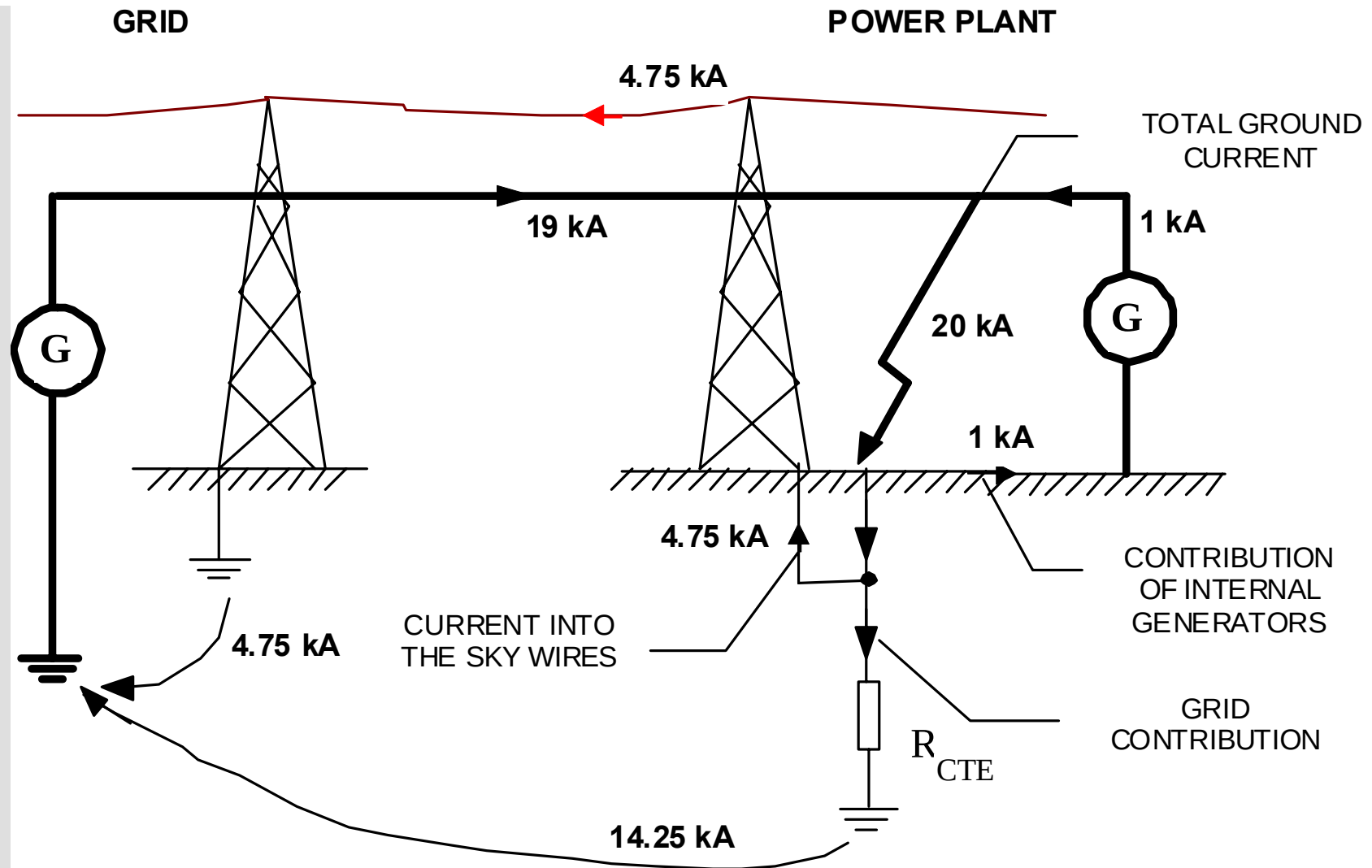
(5): $R_a = 4000 \Omega$ ($R_{a1} = 1000 \Omega$, $\rho_s = 2000 \Omega m$)

$R_{a1} = 1000 \Omega$ rappresenta un valore medio per scarpe vecchie e bagnate.

Resistenza calzature

Resistività superficiale

**Considerando le resistenze
addizionali si arriva ad una
tensione massima ammissibile
intorno a **1.000 V**.**



Funi di guardia di linee aeree (110 kV)

Acciaio 50...70 mm²

$$r = 0,98$$

ACSR 44/32 mm²

$$r = 0,77$$

ACSR 300/50 mm²

$$r = 0,61$$

Cavi isolati in carta (10 e 20 kV)

Cu 95 mm²/guaina in piombo 1,2 mm

$$r = 0,20 - 0,60$$

Al 95 mm²/guaina in alluminio 1,2 mm

$$r = 0,20 - 0,30$$

Cavi unipolari XLPE (10 e 20 kV)

Cu 95 mm²/schermo di rame 16 mm²

$$r = 0,50 - 0,60$$

Cavi unipolari in olio

Cu 300 mm²/guaina in alluminio 2,2 mm

$$r = 0,37$$

Cavi in gas a pressione in tubazioni di acciaio (110 kV)

Cu 300 mm²/acciaio 1,7 mm

$$r = 0,01 - 0,03$$

Cavi unipolari XLPE (110 kV)

Cu 300 mm²/schermo di rame 35 mm²

$$r = 0,32$$

Cavi unipolari isolati in olio (400 kV)

Cu 1200 mm²/guaina in alluminio 1200 mm²

$$r = 0,01$$

Corrente da disperdere (CEI 11-1)

Modo di messa a terra del neutro del sistema di alta tensione			Con riferimento alle sollecitazioni termiche ⁽¹⁾		Con riferimento alla tensione totale di terra ed alle tensioni di contatto
			Dispersore	Conduttore di terra	
Sistemi con neutro isolato			— ⁽⁶⁾	I''_{kEE} ⁽⁹⁾	$I_E = r I_C$ ⁽¹⁾
Impianti con messa a terra risonante	Stazioni elettriche con bobine di soppressione d'arco		— ⁽⁶⁾	I''_{kEE} ^{(3) (9)}	$I_E = r \sqrt{I_L^2 + I_{Res}^2}$ ⁽²⁾
	Stazioni elettriche senza bobine di soppressione d'arco				$I_E = r I_{Res}$
Impianti con messa a terra del neutro con bassa impedenza			I''_{k1} ⁽⁴⁾	I''_{k1}	I_E ⁽⁵⁾
Impianti con messa a terra risonante e messa a terra temporanea del neutro con bassa impedenza	In stazioni elettriche nelle quali il neutro è messo a terra temporaneamente		I''_{k1} ⁽⁴⁾	I''_{k1} ⁽⁸⁾	I_E ⁽⁵⁾
	In tutte le altre stazioni elettriche	con bobine di soppressione d'arco	— ⁽⁶⁾	I''_{kEE} ⁽³⁾	$I_E = r \sqrt{I_L^2 + I_{Res}^2}$ ⁽²⁾
		senza bobine di soppressione d'arco			$I_E = r I_{Res}$

I_C Corrente capacitiva del guasto verso terra calcolata o misurata

I_{Res} Corrente residua del guasto verso terra (vedere la Fig. 2-3b). Se il valore esatto non è disponibile, si può assumere che sia il 10% di I_C .

I_L Somma delle correnti nominali delle bobine di estinzione d'arco in parallelo nella relativa stazione elettrica.

I''_{kEE} Corrente di doppio guasto verso terra calcolata in accordo con la Norma CEI 11-25 (HD 533) (per I''_{kEE} può essere usato, come valore massimo, l'85% della corrente iniziale simmetrica di cortocircuito trifase).

I''_{k1} Corrente iniziale simmetrica di cortocircuito per un cortocircuito linea-terra, calcolata in accordo con la Norma CEI 11-25 (HD 533).

I_E Corrente verso terra (vedere Fig. 2.2).

r Fattore di riduzione (vedere Allegato J).

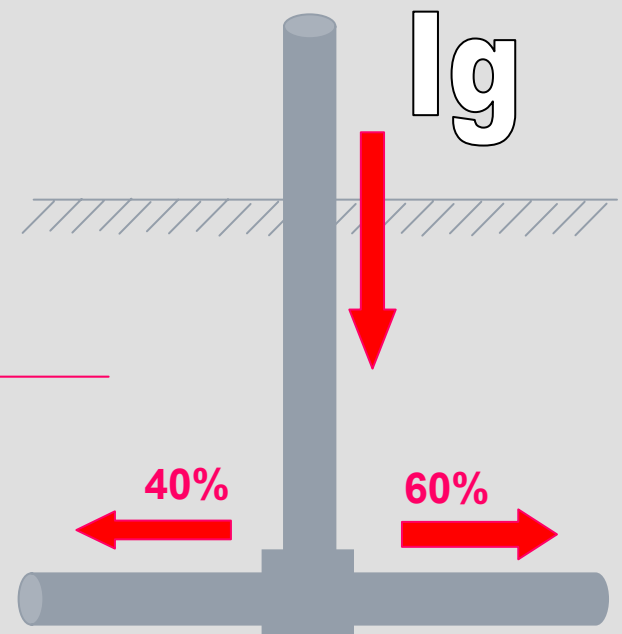
Sizing of the ground conductors

I	35 kA	fault current
t _c	0,5 s	fault duration
α _r	0,00381 1/°C	copper
ρ _r	1,78 microOhm/cm	steel = 0,00378
t _{cap}	3,42 J/(cm ³ °C)	
T _m	400 °C	maximum temperature
T _a	20 °C	ground temperature
K _o	242 °C	
FR	70 %	split factor

S = **81,5 mm²**

$$A_{mm^2} = I \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}} \quad K = 304$$

Sizing per IEEE 80-2000, pos. 11.3.1.1



$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}} \quad (B-1)$$

Dove

A è la sezione in millimetri quadrati

I è la corrente del conduttore in ampere (valore efficace)

t è la durata in secondi della corrente di guasto

K è una costante che dipende dal materiale del componente percorso dalla corrente; la Tab. B-1 indica i valori per i materiali più comuni assumendo una temperatura iniziale di 20 °C

β è il reciproco del coefficiente di temperatura della resistenza del componente percorso dalla corrente a 0 °C (vedere la Tab. B-1)

Θ_i è la temperatura iniziale in gradi Celsius. I valori possono essere rilevati dall'Appendice A della IEC 60287. Se nelle tabelle Nazionali non è indicato alcun valore, si dovrebbe adottare, come temperatura del terreno alla profondità di 1 m, quello di 20 °C

Θ_f è la temperatura finale in gradi Celsius

[mm²] [kA] [s]

$$A \approx 6 I \sqrt{t}$$

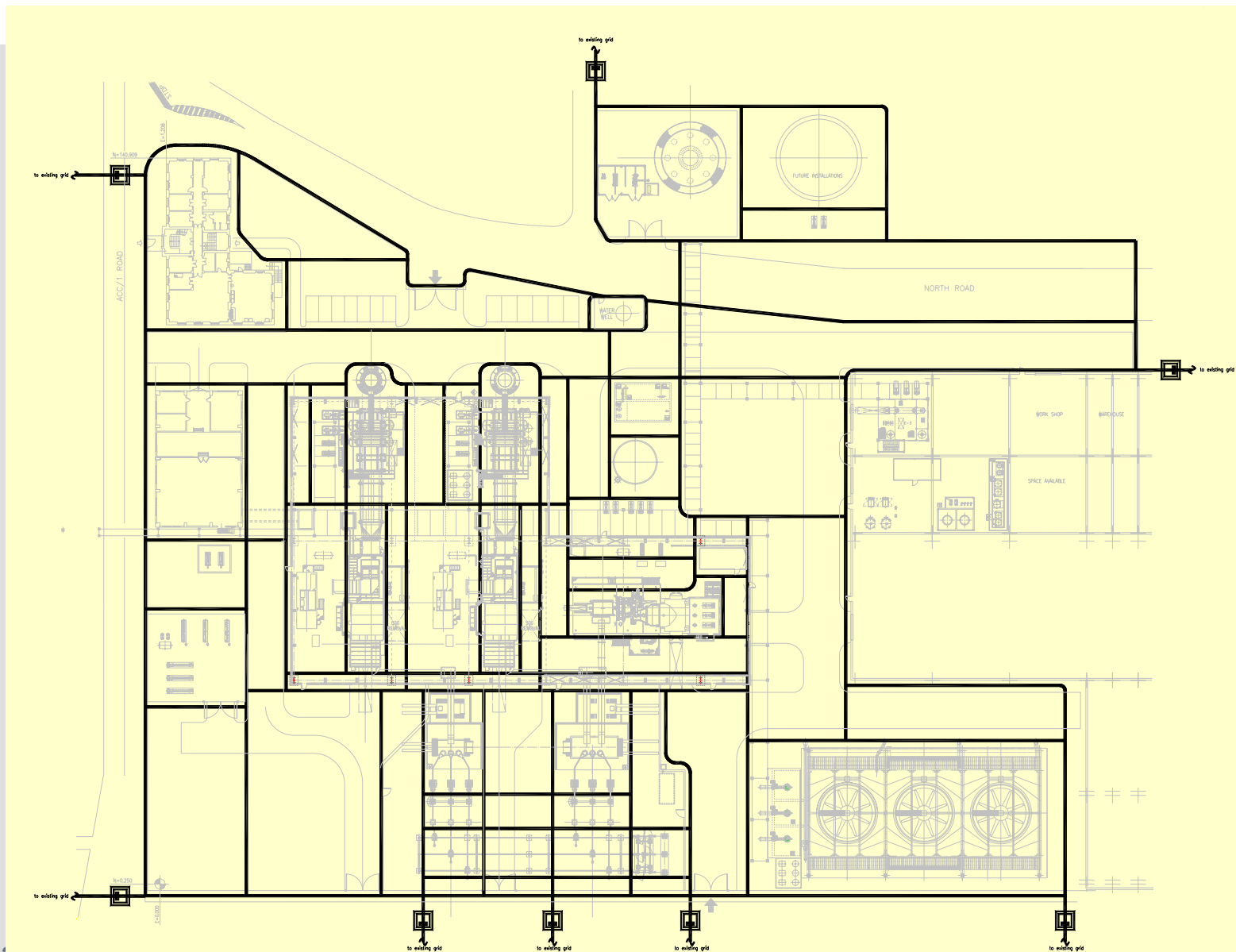
rame

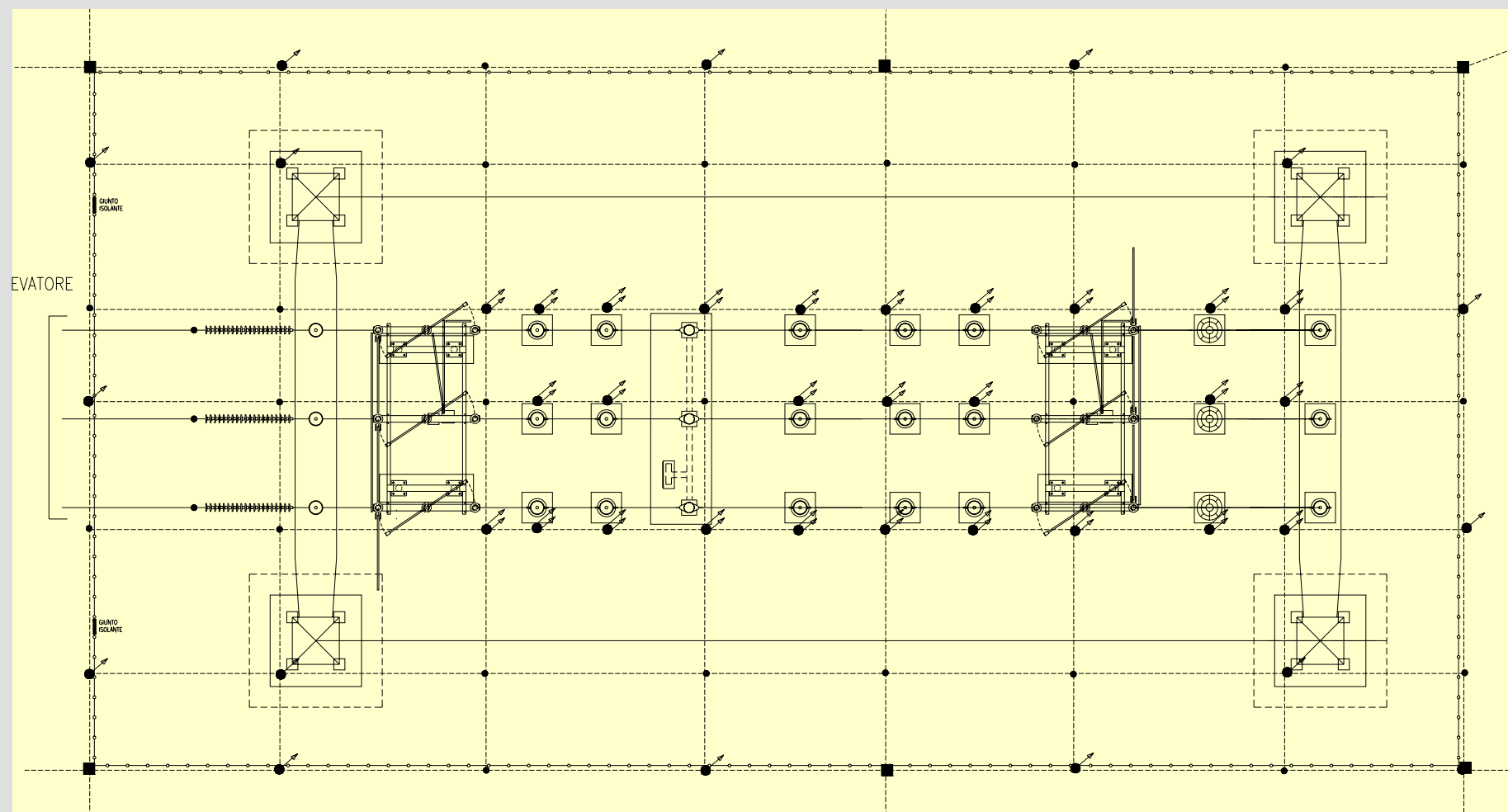
$$A \approx 15 I \sqrt{t}$$

acciaio

Materiale	β [°C]	K [A mm ⁻² s ^{1/2}]
Rame	234,5	226
Alluminio	228	148
Acciaio	202	78

Materiale		Tipo di dispersore	Dimensione minima				
			Corpo			Rivestimento/guaina	
			Diametro [mm]	Sezione trasversale [mm ²]	Spessore [mm]	Valori singoli [μm]	Valori medi [μm]
Acciaio	zincato a caldo	Plattina ⁽²⁾		90	3	63	70
		Profilato (inclusi i piatti)		90 (250)	3 (5)	63	70
		Tubo	25		2	47	55
		Barra tonda per picchetto	16 (20)			63	70
		Tondo per dispersore orizzontale	10				50
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Tondo per dispersore orizzontale	8			1000	
	con guaina di rame estrusa	Barra tonda per picchetto	15			2000 (500)	
	con guaina di rame elettrolitico	Barra tonda per picchetto	14.2 (15)			90	100
Rame	nudo	Plattina		50	2		
		Tondo per dispersore orizzontale		25 ⁽³⁾			
		Corda	1,8 ⁽⁴⁾	25			
		Tubo	20		2		
	stagnato	Corda	1,8 ⁽⁴⁾	25		1	5
	zincato	Plattina		50	2	20	40
	con guaina di piombo ⁽¹⁾	Corda	1,8 ⁽⁴⁾	25		1000	
		Filo tondo		25		1000	





- eq. 50

$$R_g = \frac{\rho}{4\sqrt{A}}$$

- eq. 51

$$R_g = \frac{\rho}{4\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L_T}$$

- eq. 52

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

Equazione di
Schwarz

where: ρ = ground resistivity = 200 [Ωm]
 A = grid surface = 5.100 [m^2]
 L_T = total length of the grid conductors = 2.000 [m]
 h = depth of the grid = 0,8 [m]

$$R_G = 1.4 \Omega$$

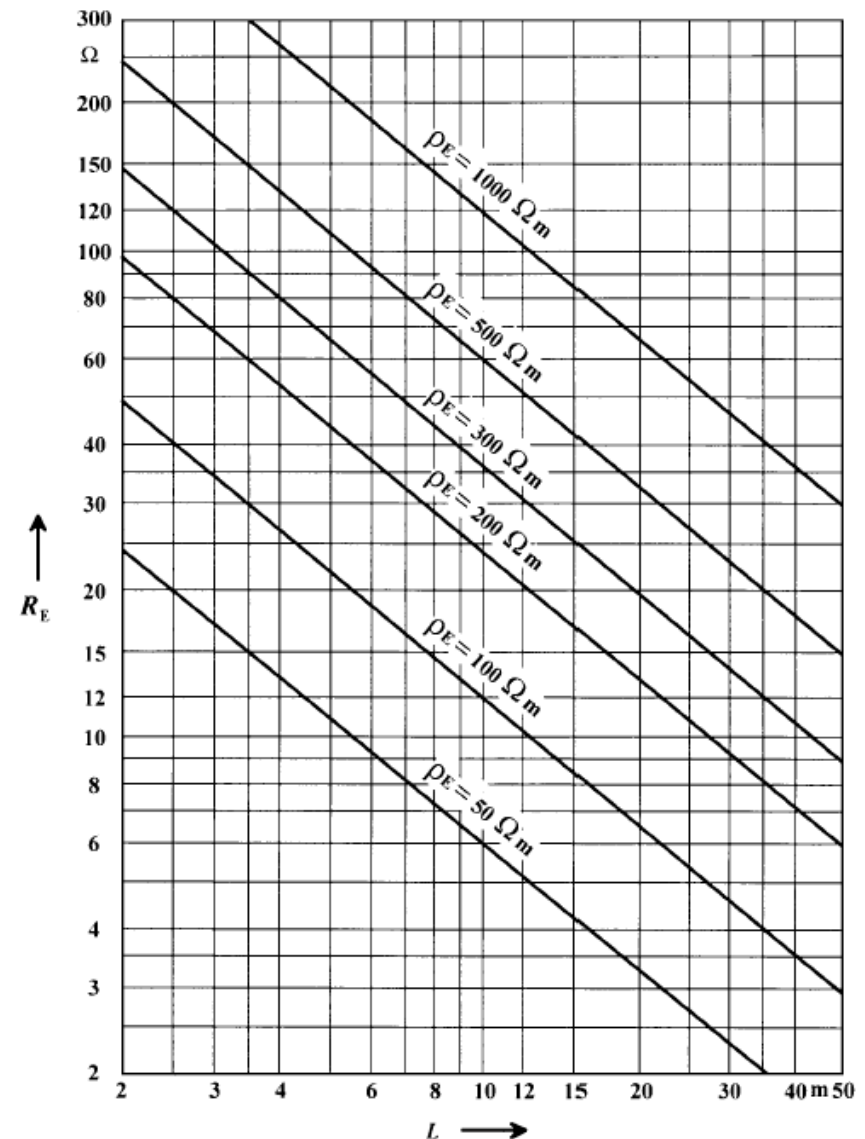
L lunghezza del picchetto

ρ_E resistività del terreno

d diametro del picchetto

$$R_{EB} = \frac{\rho_E}{2\pi L} \times \ln \frac{4L}{d}$$

Resistenza di un picchetto



In tabella $d = 2$ cm

Tensione Totale di Terra = Ground Potential Rise (GPR)

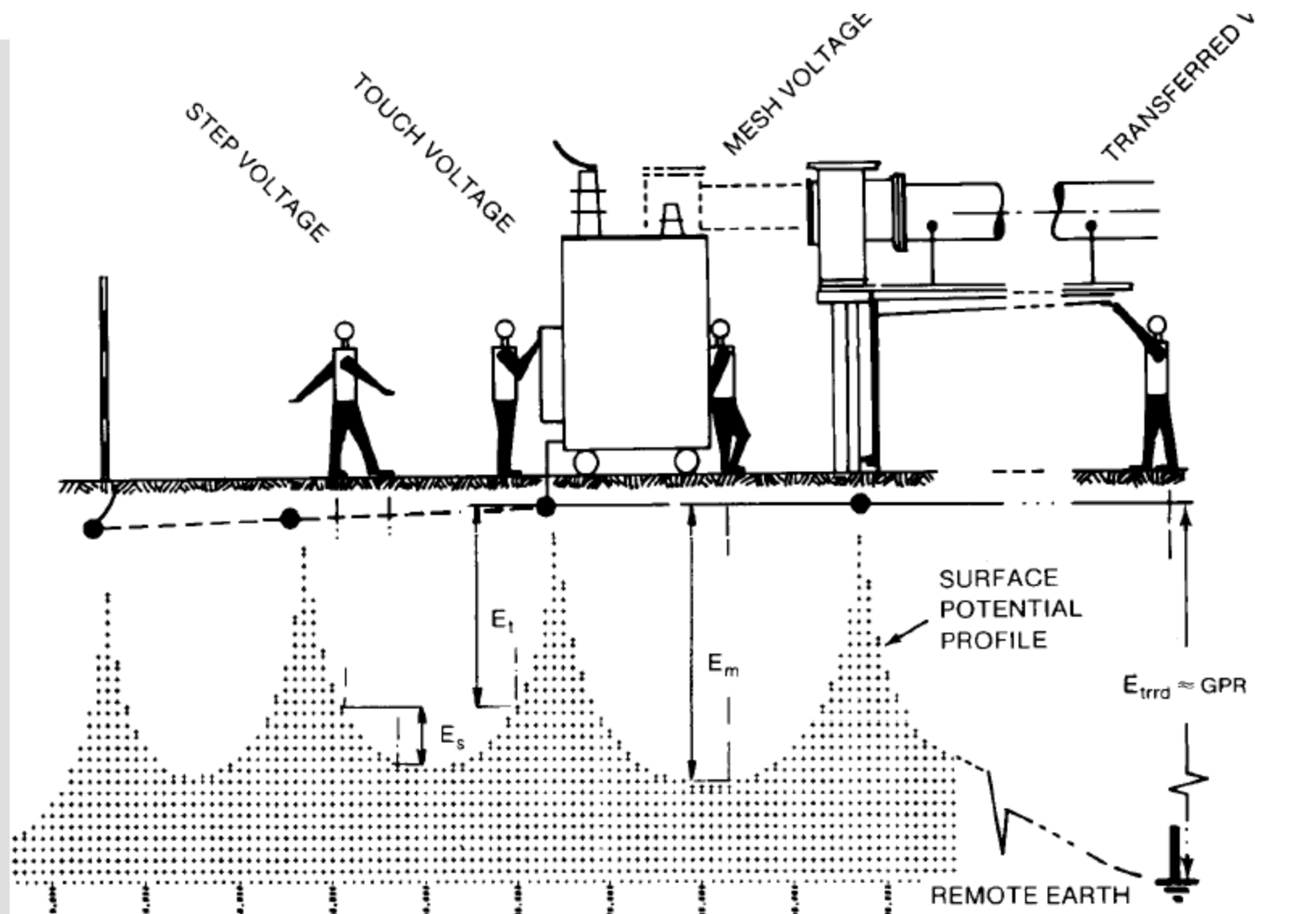
$$V_{TT} = R_G \times I_G \quad [V]$$

se $V_{TT} < 1,5 \times V_{\text{ammissibile}}$ → l'impianto è sicuro

se $V_{TT} > 1,5 \times V_{\text{ammissibile}}$



Occorre calcolare le tensioni di contatto e passo



Calcolo della Tensione di Maglia (Mesh Voltage)

Mesh Voltage Calculation

Rods =	YES	Yes = peripheral and internal rods
		No = few or no rods
REG =	NO	Yes = square or rectangular grid
		No = non regular grid
D =	8 m	spacing between two conductors
d =	0,006 m	diameter of the grid conductor
LC =	2000 m	total length of grid conductors
LP =	300 m	peripheral length of the grid
LR =	56 m	total length of rods
Lx =	85 m	max. dimension of the grid in x direction
Ly =	60 m	max. dimension of the grid in y direction
Lr =	4 m	length of a single rod
DM =	100 m	max distance between two points of the grid

$$n = 13,13$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = 13,33$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_p}$$

$$n_b = 1,02$$

$$n_b = 1$$

if REG = YES

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

if REG = NO

$$n_c = 1,00$$

$$n_c = 1$$

if REG = YES

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{0,7 \cdot \frac{A}{L_x \cdot L_y}}$$

if REG = NO

$$n_d = 0,96$$

$$n_d = 1$$

if REG = YES

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

if REG = NO

$$K_{ii} = 1,00$$

$$K_{ii} = 1$$

Rods= YES

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^2}$$

Rods= NO

$$K_h = 1,34$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_o}} \quad h_o = 1 \text{ m (grid reference depth)}$$

$$K_m = 0,83$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right]$$

$$K_i = 2,59$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n$$

$$L_M = 2089,43$$

$$L_M = L_C + \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R$$

Rods= YES

$$L_M = L_C + L_R$$

Rods= NO

$$L_S = 1547,6$$

$$L_S = 0,75 \cdot L_C + 0,85 \cdot L_R$$

$$K_s = 0,28$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{L_M}$$

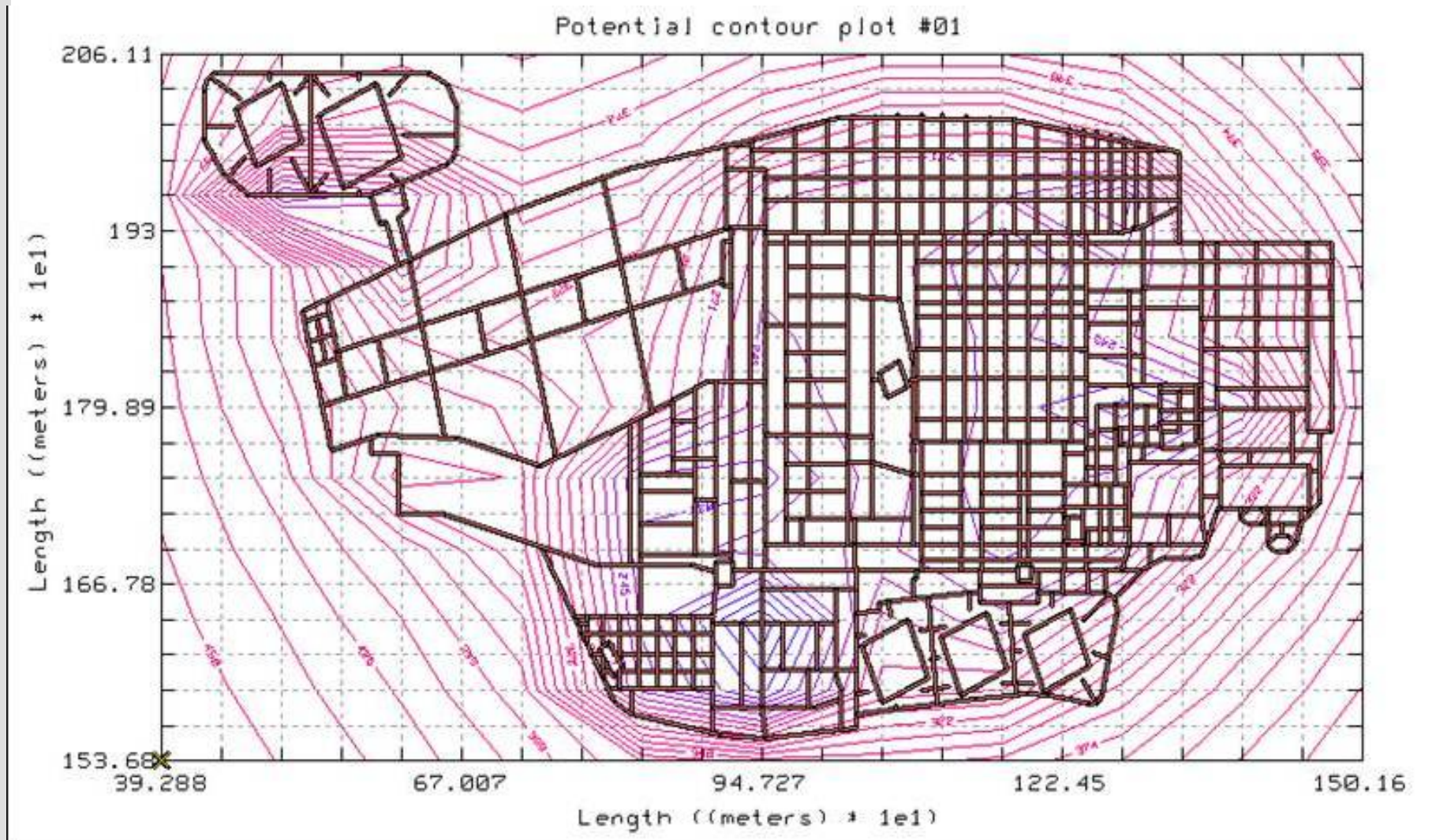
$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_G}{L_S}$$

$$E_m = 800 \text{ V}$$

$$E_s = 363 \text{ V}$$

IEEE Std 80-2000
(Revision of
IEEE Std 80-1986)

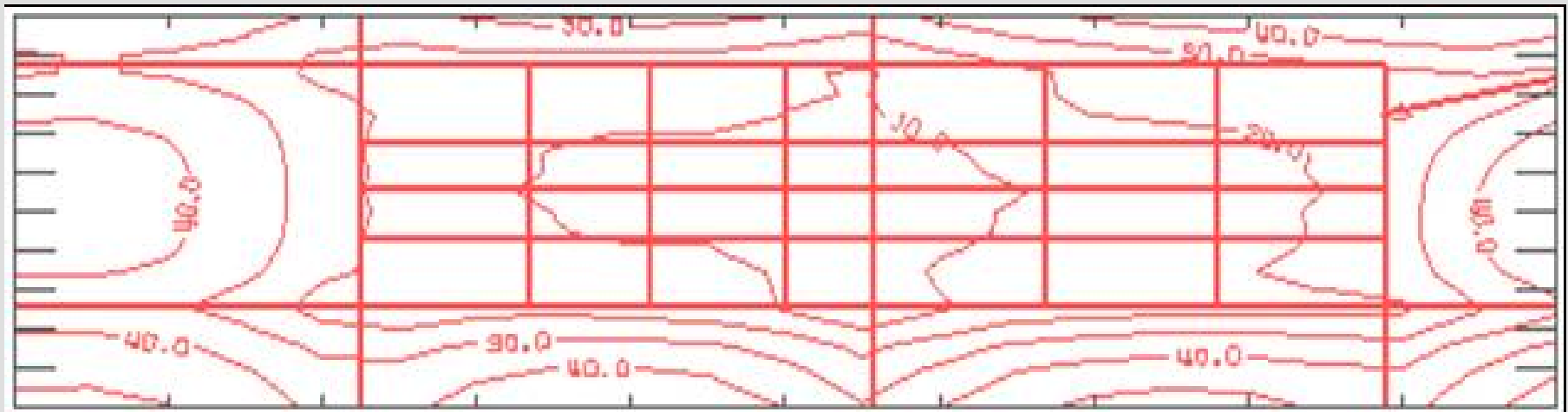
IEEE Guide for Safety
in AC Substation Grounding



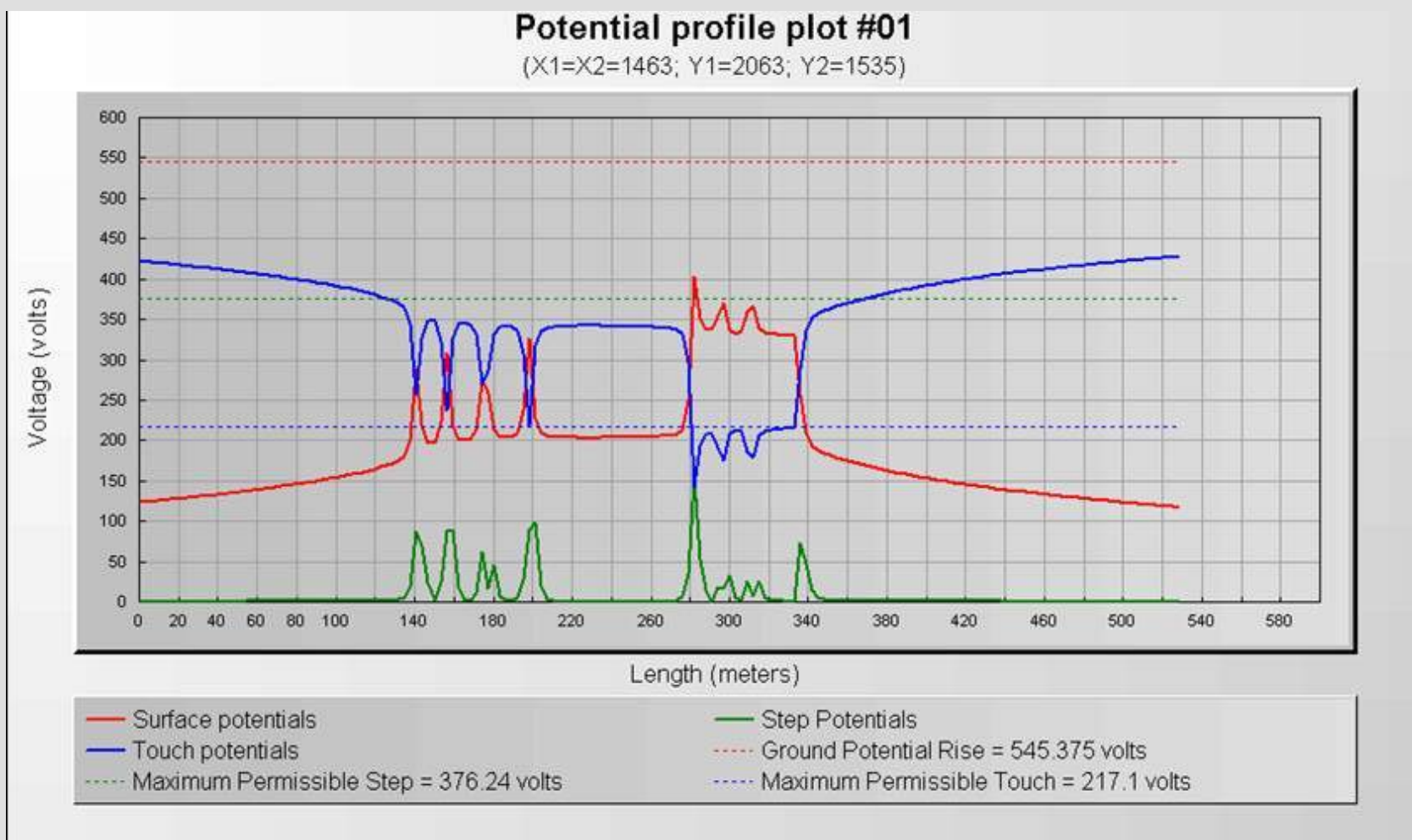
Modello del dispersore e potenziali del terreno

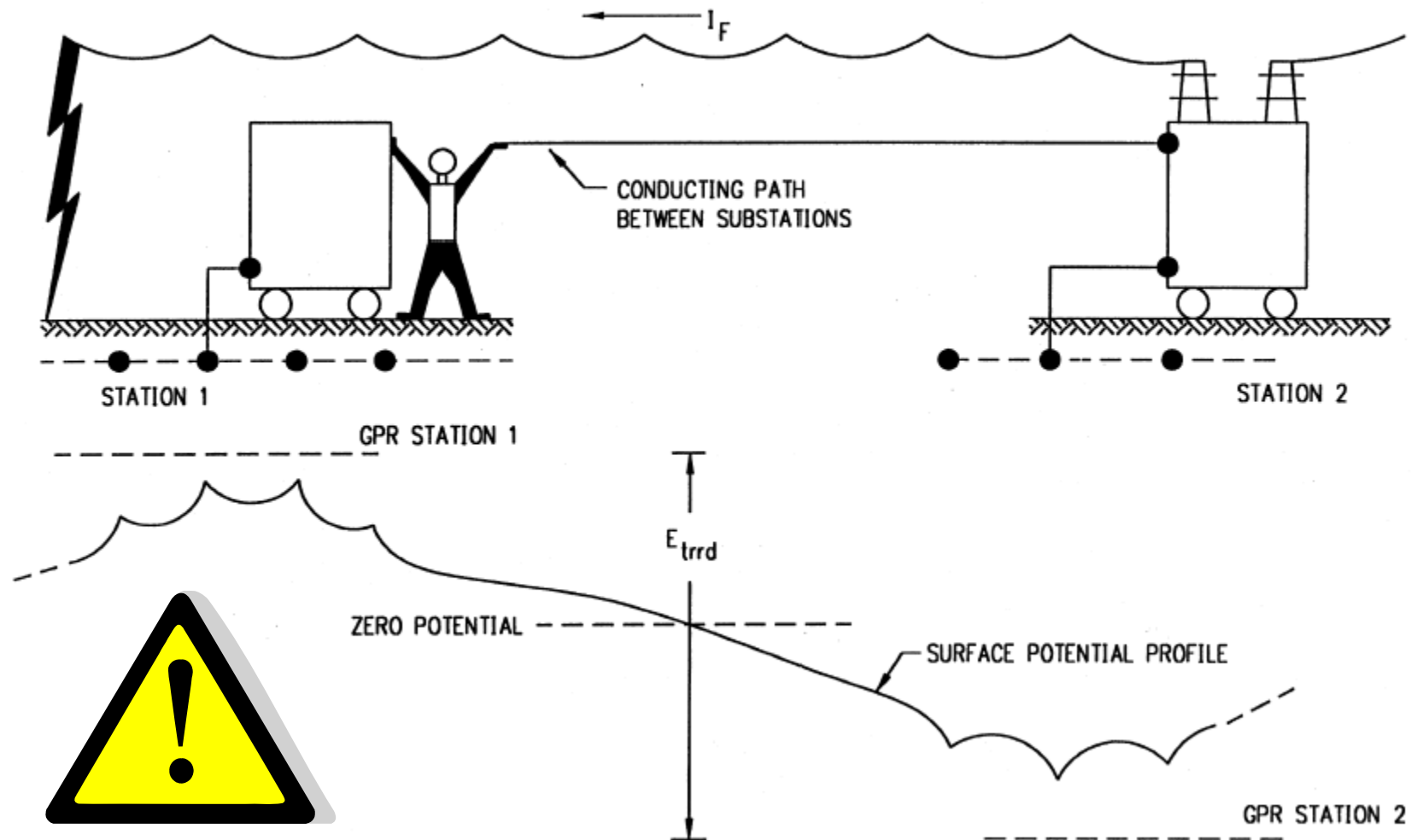
Calcolo della Tensione di Contatto

La tensione di contatto in un punto è pari alla Tensione Totale di Terra meno il potenziale del terreno in quel punto



La tensione di passo è pari alla differenza di tensione tra due punti distanti tra loro 1 metro.





Impianto di Terra Tipico per Cabina di Trasformazione

CORRENTE DIMENSIONALE:

Dimensionamento termico:

Corrente guasto fase-fase $\approx$

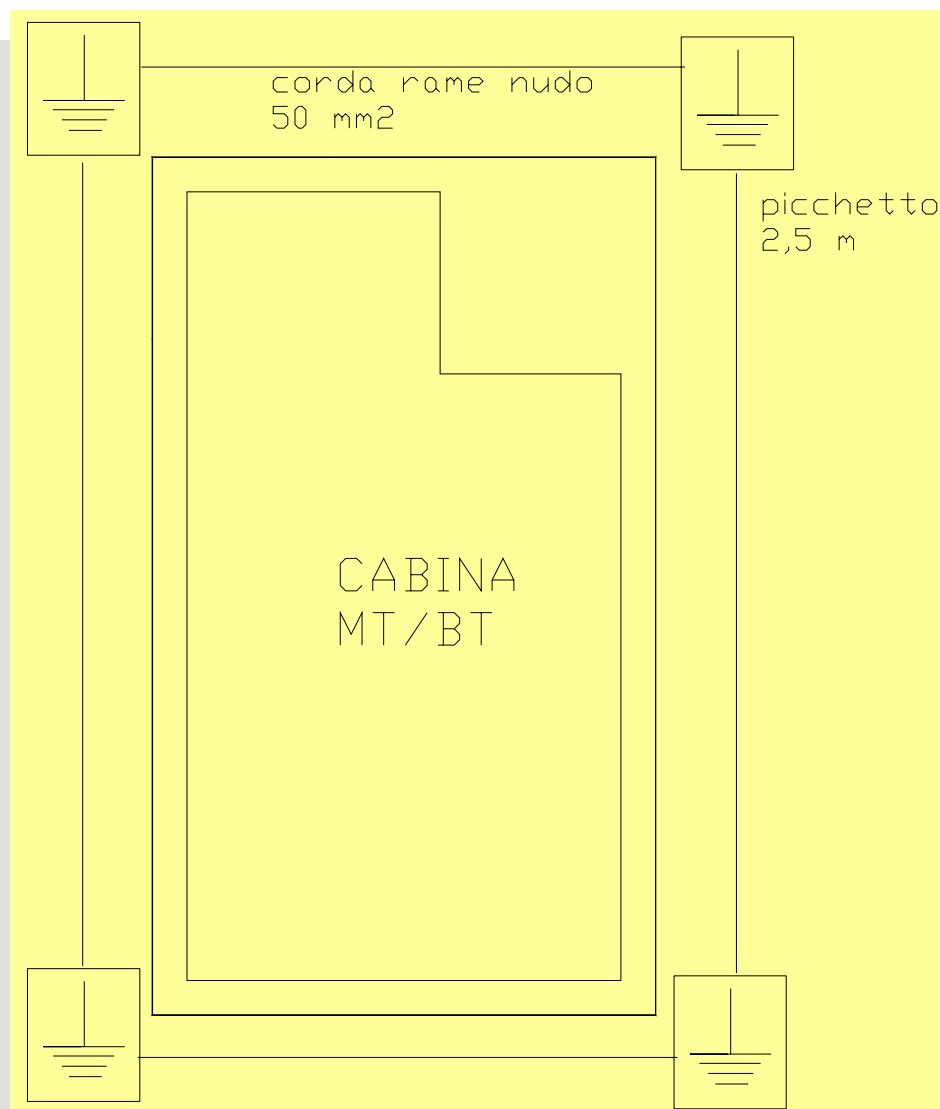
$85\% I_{cc}$ trifase ($12 \times 0,85 = 10,2 \text{ kA}$)

Tensioni di passo e contatto:

Corrente guasto a terra =

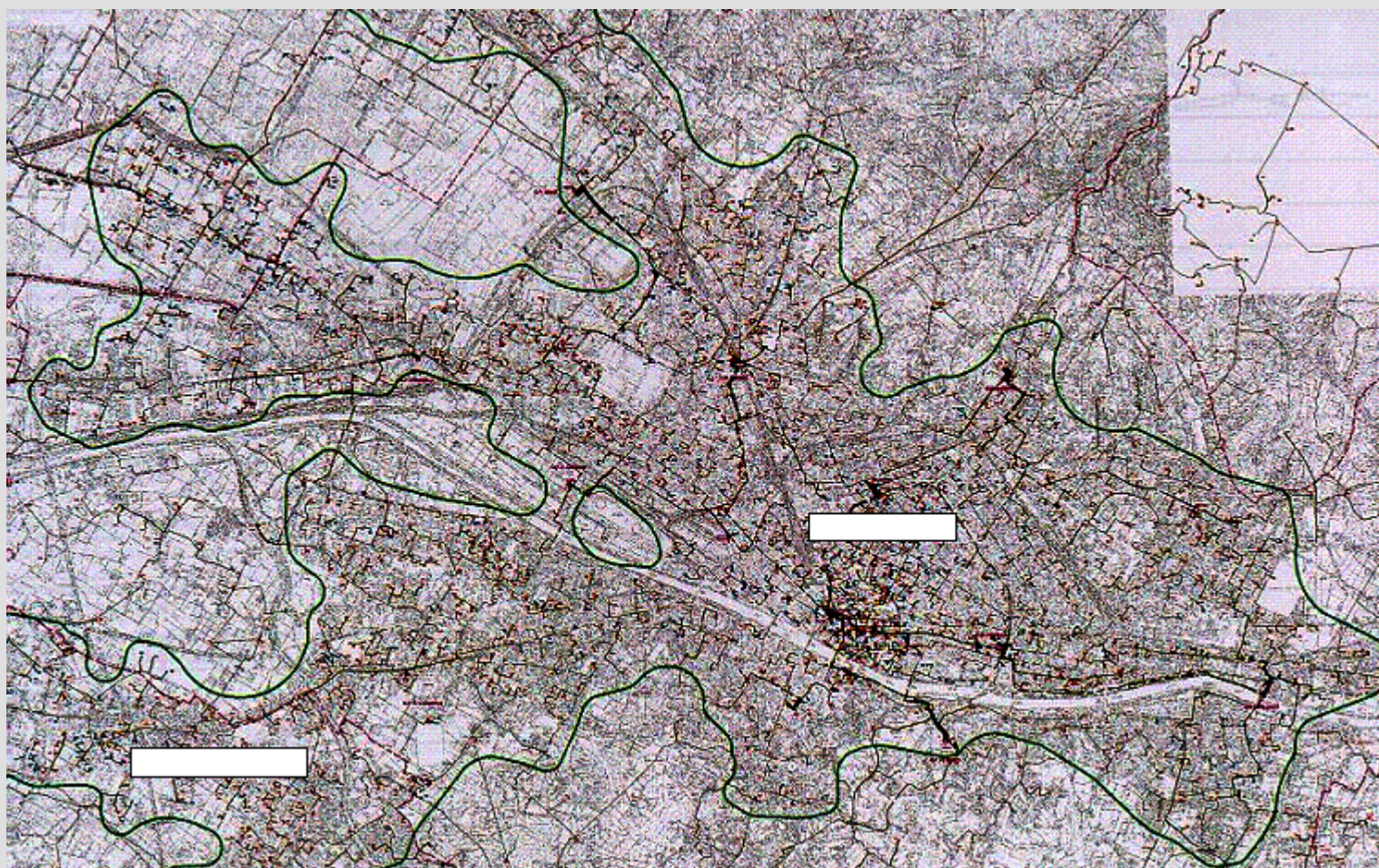
Neutro Isolato = I_{cap} ($\approx 200 \text{ A}$)

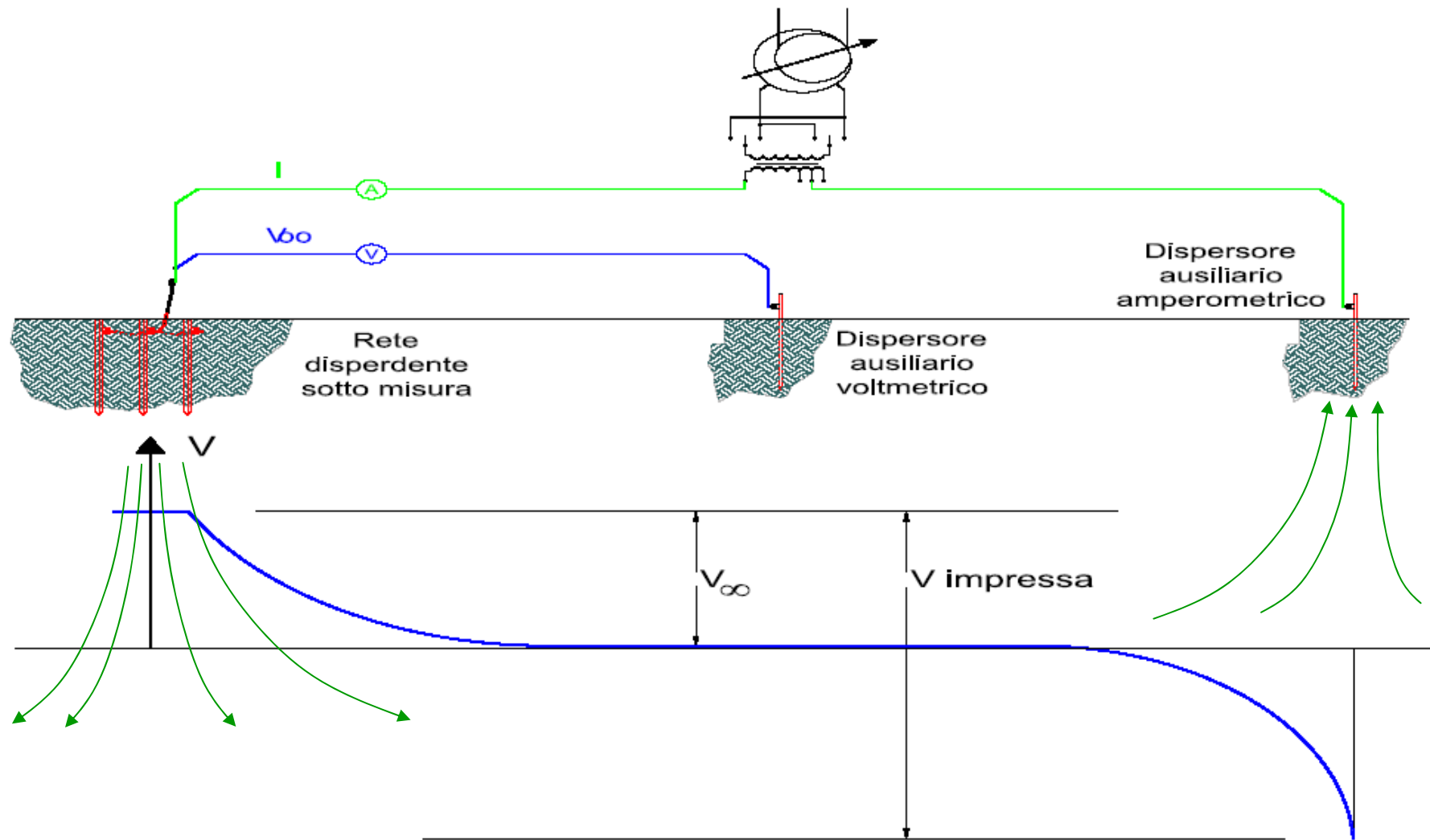
Con Petersen = $I_{res} \approx 0,10 I_{cap}$ ($\approx 20 \text{ A}$)



Impianto di Terra Globale

"Impianto di terra realizzato con l'interconnessione di più impianti di terra che assicura, data la vicinanza degli impianti stessi, l'assenza di tensioni di contatto pericolose. Tale impianto permette la ripartizione della corrente di terra in modo da ridurre l'aumento di potenziale di terra negli impianti di terra singoli. Si può dire che tale impianto forma una superficie quasi equipotenziale. Questa definizione è limitata alle reti di trasmissione e di distribuzione del Distributore pubblico, ad esempio nel caso di aree urbane concentrate ed agli impianti utilizzatori alimentati in AT o in MT collegati all'impianto di terra globale ed in esso inclusi".



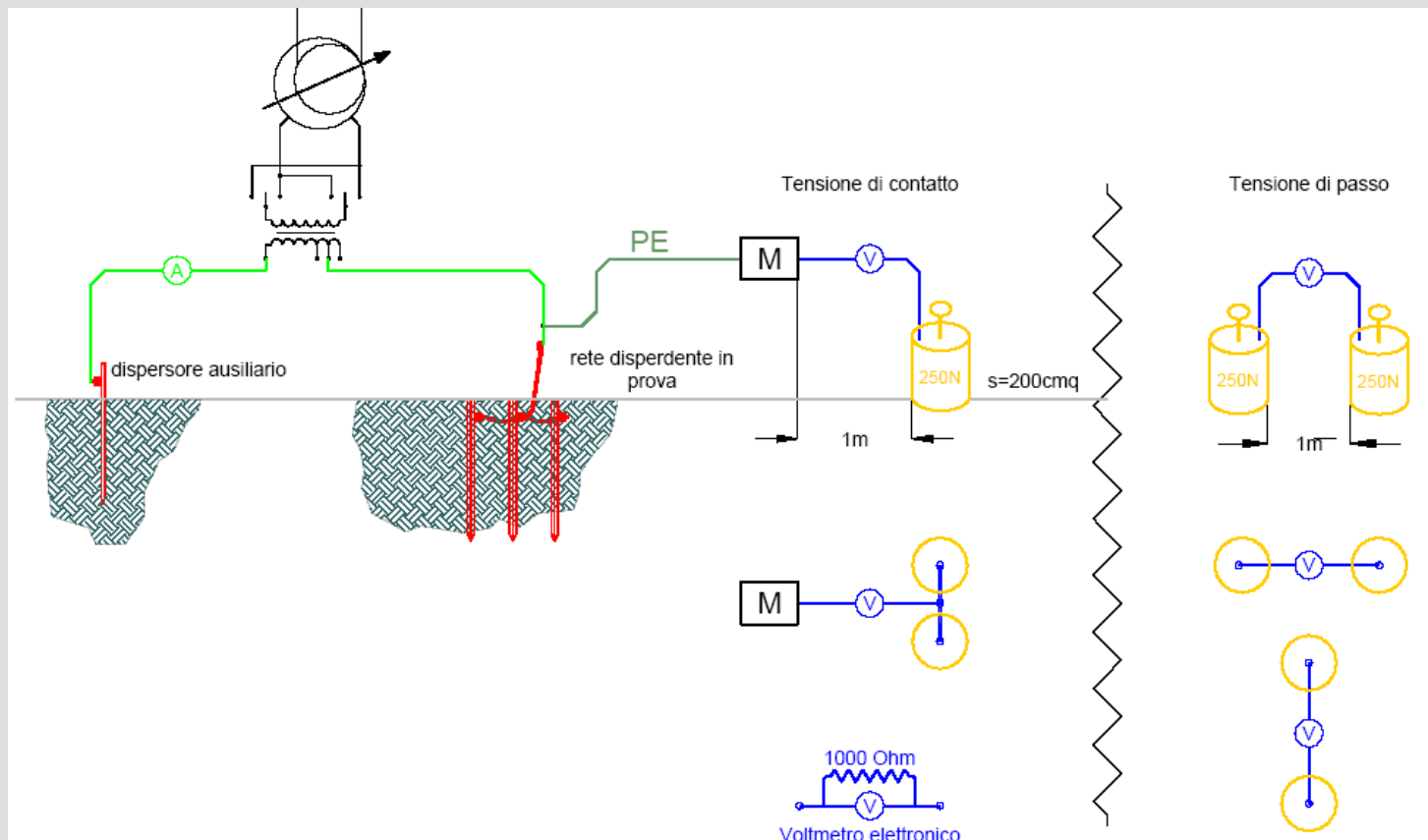


IEEE Std 80-2000
(Revision of
IEEE Std 80-1986)

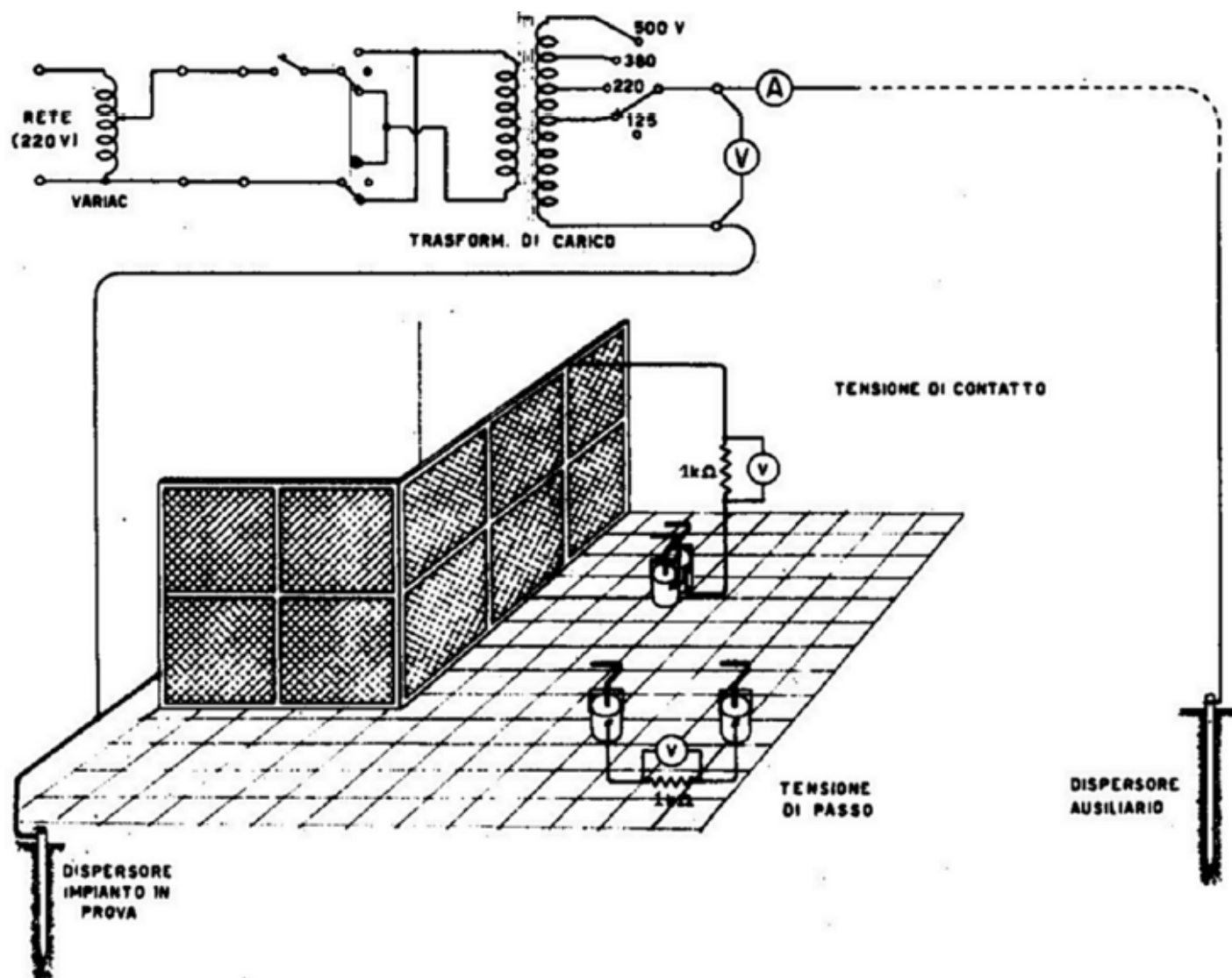
IEEE Guide for Safety
in AC Substation Grounding

$I_{prova} > 50 A$

(19.2) The best assurance that a substation is safe would come from actual field tests of step and touch voltages with a heavy current load on the ground mat.



Misura delle tensioni di passo e contatto



SIEMENS

Dal Quadro MT al
Sistema di Distribuzione



**Coordinamento
Isolamenti**



FULMINAZIONE DIRETTA

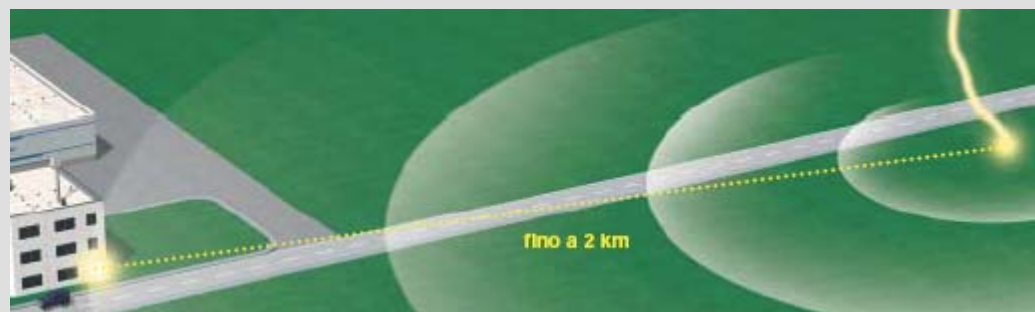


DI MANOVRA

TRANSITORIE



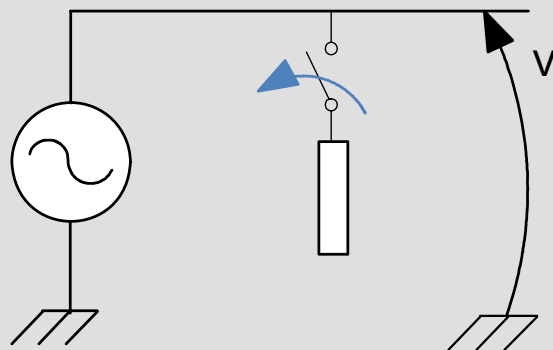
FULMINAZIONE SU LINEA



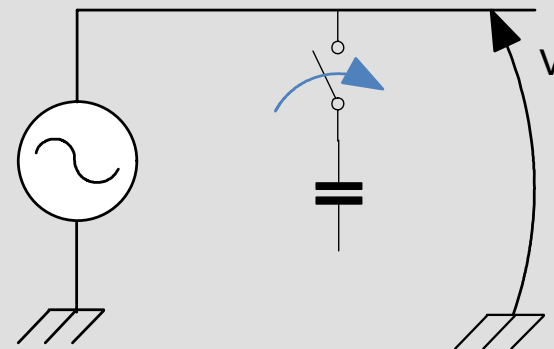
FULMINAZIONE A TERRA

A BASSA FREQUENZA

RILASCIO DI CARICO



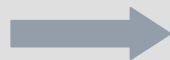
INSERIMENTO DI BANCHI DI RIFASAMENTO



Categoria	Bassa frequenza		Transitorio		
	Permanente	Temporanea	A fronte lento	A fronte rapido	A fronte molto rapido
Forme di tensione o di sovratensione					
Campo delle forme di tensione o di sovratensione	$f = 50 \text{ Hz o } 60 \text{ Hz}$ $T_t \geq 3 \text{ 600 s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t \leq 3 \text{ 600 s}$	$20 \text{ }\mu\text{s} < T_p \leq 5 \text{ 000 }\mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \text{ }\mu\text{s} < T_1 \leq 20 \text{ }\mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \text{ }\mu\text{s}$	$T_1 \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Forme normalizzate di tensione	 $f = 50 \text{ Hz o } 60 \text{ Hz}$ T_t^a	 $48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	 $T_p = 250 \text{ }\mu\text{s}$ $T_2 = 2 \text{ 500 }\mu\text{s}$	 $T_1 = 1,2 \text{ }\mu\text{s}$ $T_2 = 50 \text{ }\mu\text{s}$	a
Prova di tensione di tenuta normalizzata	a	Prova di breve durata a frequenza industriale	Prova agli impulsi di manovra	Prova agli impulsi di origine atmosferica	a

TERMICI

**Fusione di parti
Incendio
Esplosione**

MECCANICI

Forze elettro-magnetiche

ELETTRICI

**Rottura dell'isolamento
Flash
Interferenza e.m.**

CEI EN 60071-1

La seguente Norma è identica a: EN 60071-1:2006-05.

Data Pubblicazione

2008-06

Edizione

Seconda

Classificazione

28-5

Fascicolo

9375

Titolo

**Coordinamento dell'isolamento
Parte 1: Definizioni, principi e regole**

CEI EN 60071-2

Data Pubblicazione

1998-04

Edizione

Seconda

Classificazione

28-4

Fascicolo

4461

Titolo

**Coordinamento dell'isolamento
Parte 2: Guida di applicazione**

tensione > 1 kV

CEI 28-6

<i>Data Pubblicazione</i>	<i>Edizione</i>
---------------------------	-----------------

1997-11	Prima
----------------	--------------

<i>Classificazione</i>	<i>Fascicolo</i>
------------------------	------------------

28-6	4041
-------------	-------------

Titolo

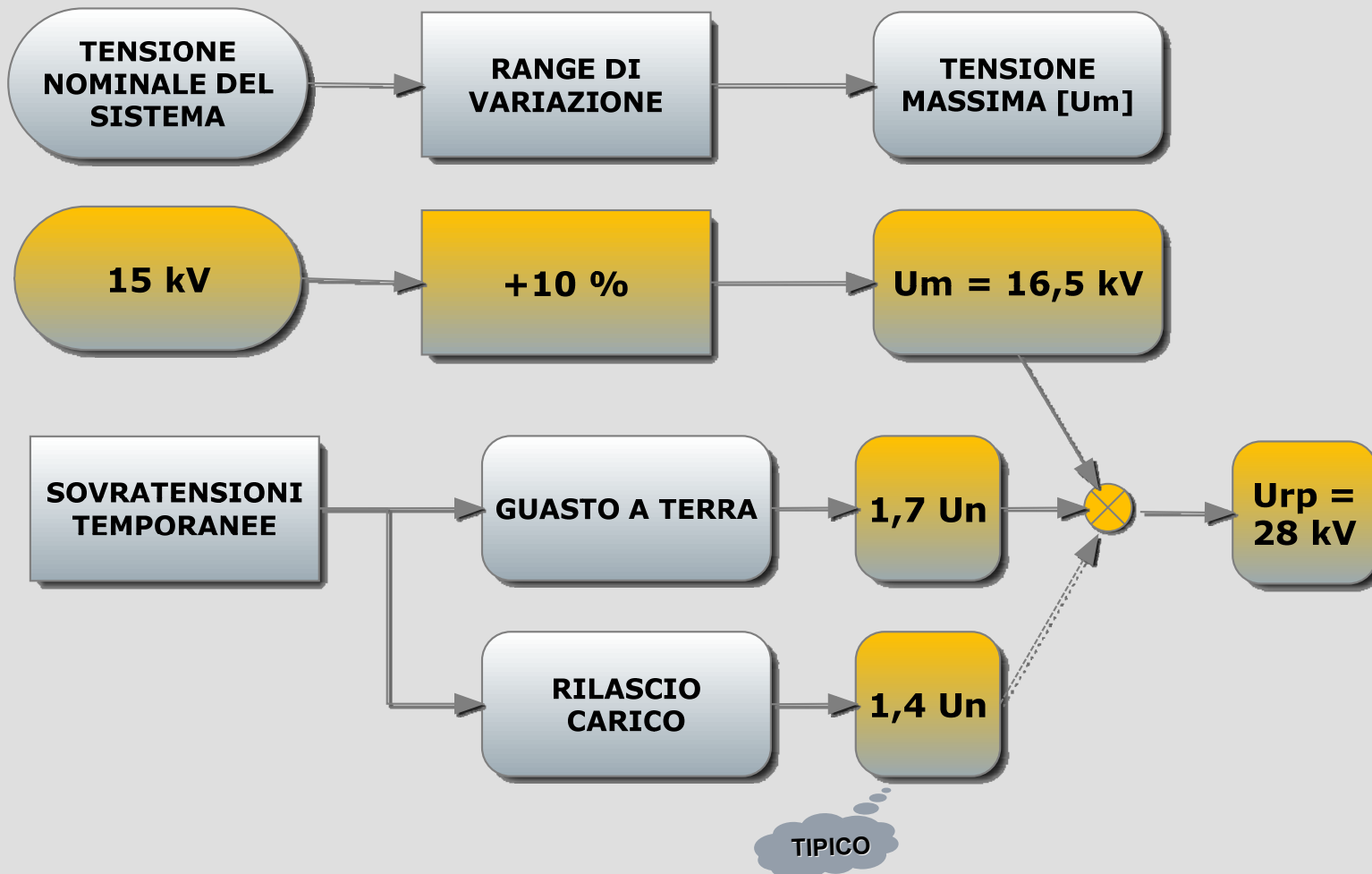
**Coordinamento dell'isolamento per gli apparecchi nei sistemi
a bassa tensione**

Parte 1: Principi, prescrizioni e prove

tensione < 1 kV

CEI EN 60071-1

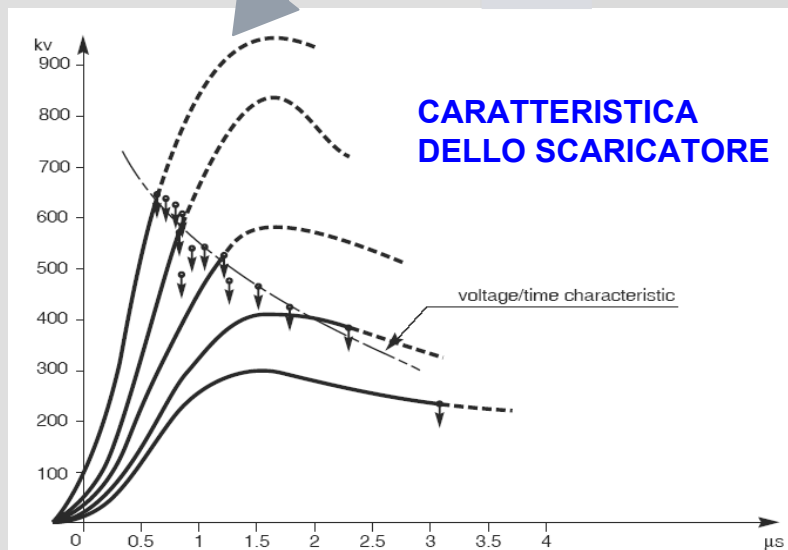
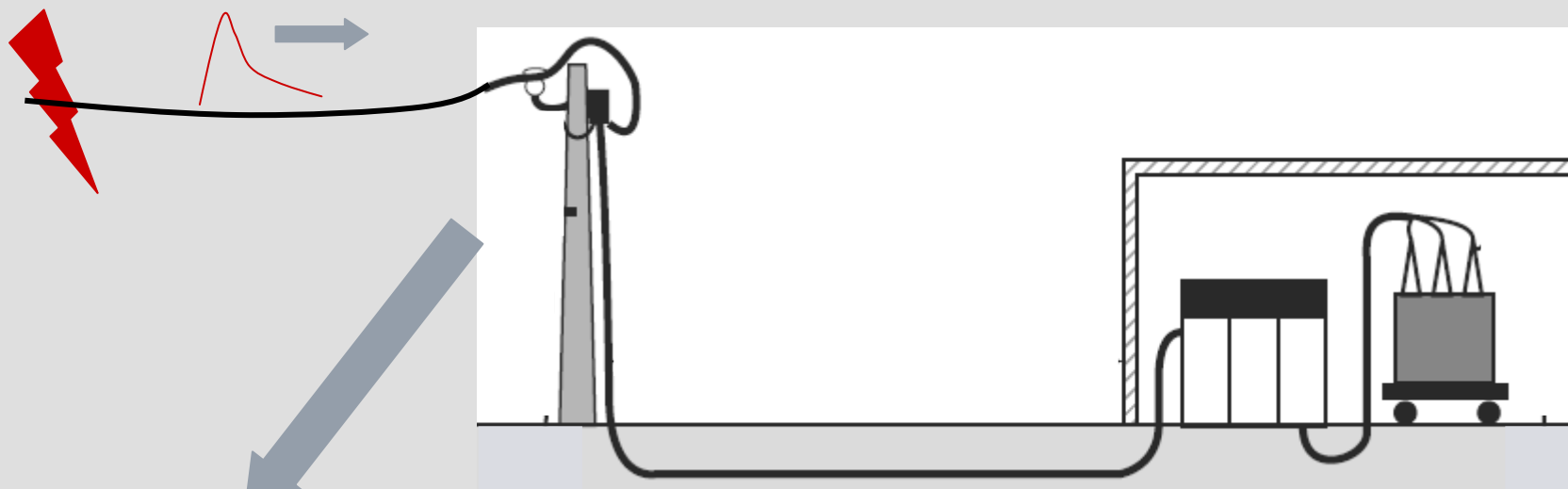




CEI EN 60694

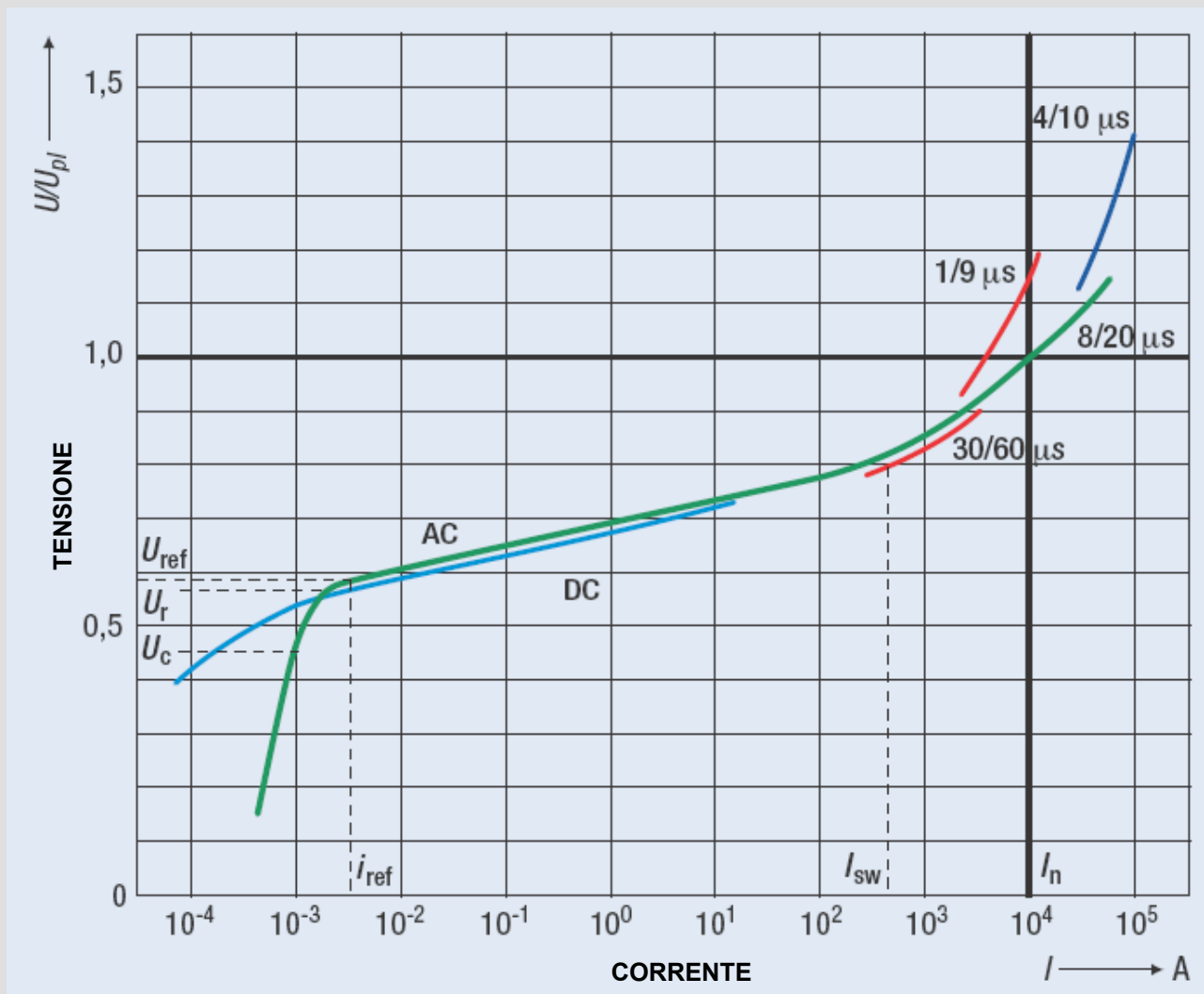
Tensione nominale <i>Rated voltage</i>	Tensione nominale di tenuta di breve durata a frequenza industriale <i>Rated short-duration power-frequency withstand voltage</i>		Tensione nominale di tenuta a impulso atmosferico <i>Rated lightning impulse withstand voltage</i>	
U_r kV (valore efficace) <i>kV (r.m.s. value)</i>	U_d kV (valore efficace) <i>kV (r.m.s. value)</i>		U_p kV (valore di picco) <i>kV (peak value)</i>	
	Valore comune <i>Common value</i>	Sulla distanza di sezionamento <i>Across the isolating distance</i>	Valore comune <i>Common value</i>	Sulla distanza di sezionamento <i>Across the isolating distance</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195
52	95	110	250	290

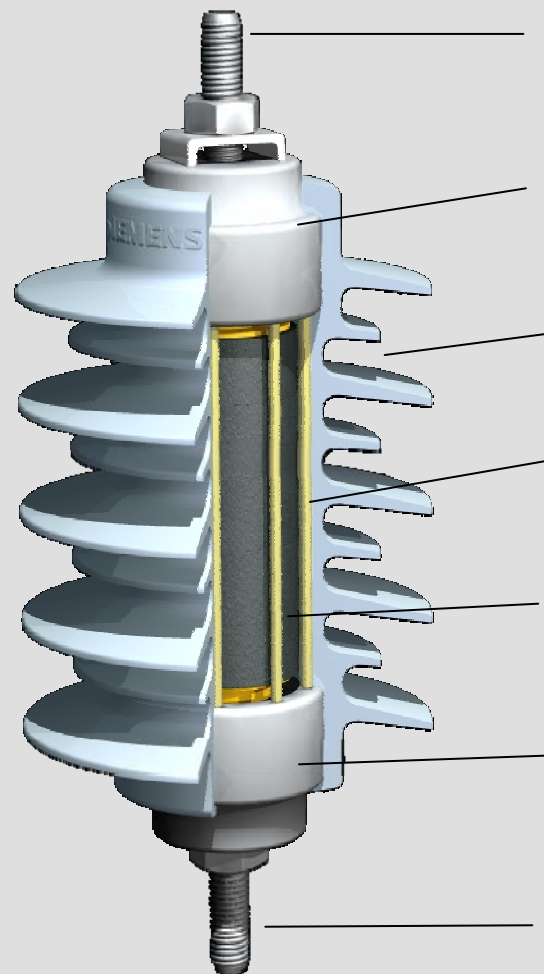
Procedura di calcolo: sovratensioni breve durata



Caratteristica degli Scaricatori

RESISTORE NON LINEARE





M12 (3/8 inch)
stainless steel stud

Aluminium end fitting

Silicone rubber sheds
directly moulded onto active parts

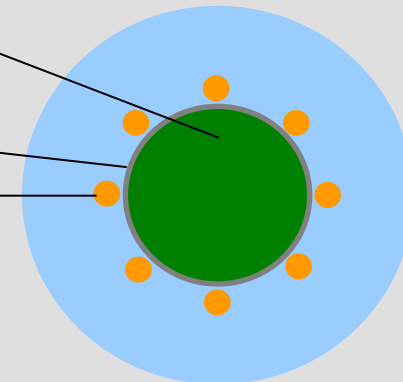
Metal oxide varistor (MOV)

Glass coating

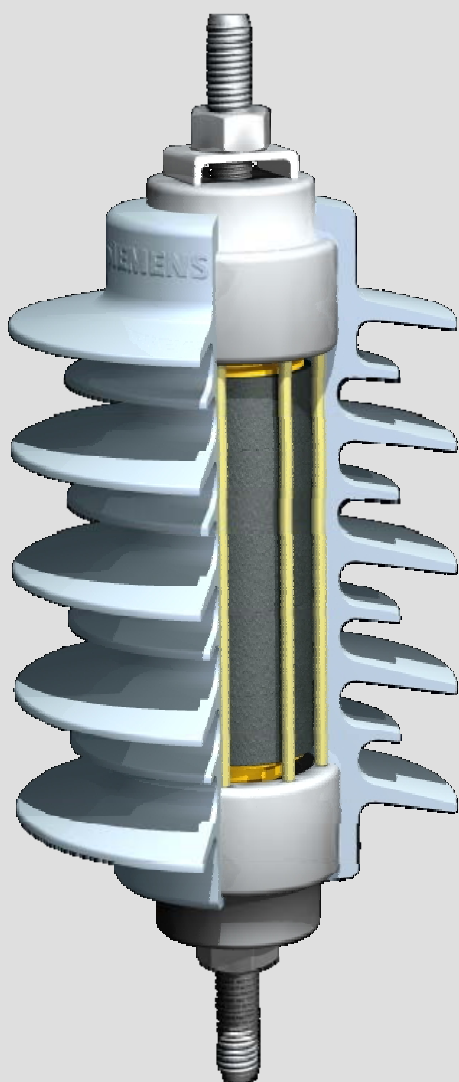
Cage of FRP Rods
surrounding MOV column

Aluminium end fitting

M12 (3/8 inch)
stainless steel stud



Horizontal cross section
view of surge arrester



Max. system voltage	U_m	16,5 kV
Max. rated voltage	U_r	21 kV
Max. continuous operating voltage (MCOV)	U_c	16.8 kV
Nominal discharge current	I_n	10 kA

$$U_{rp} = 28 \text{ kV}$$

$$\text{MCOV} = 28 / \sqrt{3} = 16.2 \text{ kV}$$

Rated voltage U_r	Continuous operating voltage U_c
[kV]	[kV]
3	2.4
6	4.8
9*	7.2
10.5*	8.4
12*	9.6
15*	12
18	14.4
21*	16.8
24	19.2

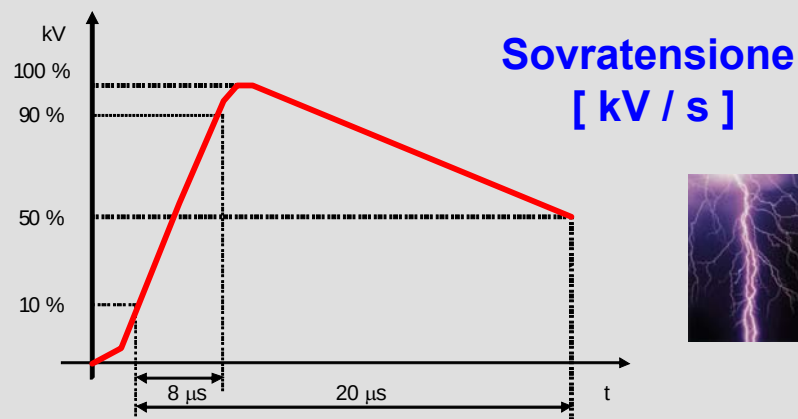
Rated voltage U_r	Continuous operating voltage U_c	Maximum discharge voltage							
		1 kA 8/20 μ s [kV cr]	3 kA 8/20 μ s [kV cr]	5 kA 8/20 μ s [kV cr]	10 kA 8/20 μ s [kV cr]	15 kA 8/20 μ s [kV cr]	20 kA 8/20 μ s [kV cr]	125 A 30/60 μ s [kV cr]	500 A 30/60 μ s [kV cr]
21*	16.8	45.3	49.2	52.0	55.9	60.4	64.3	39.7	42.5

**TENSIONE
RESIDUA
SCARICATORE**

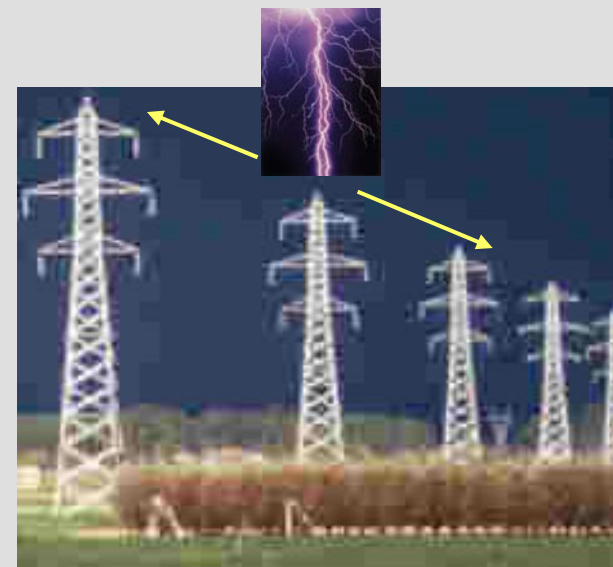
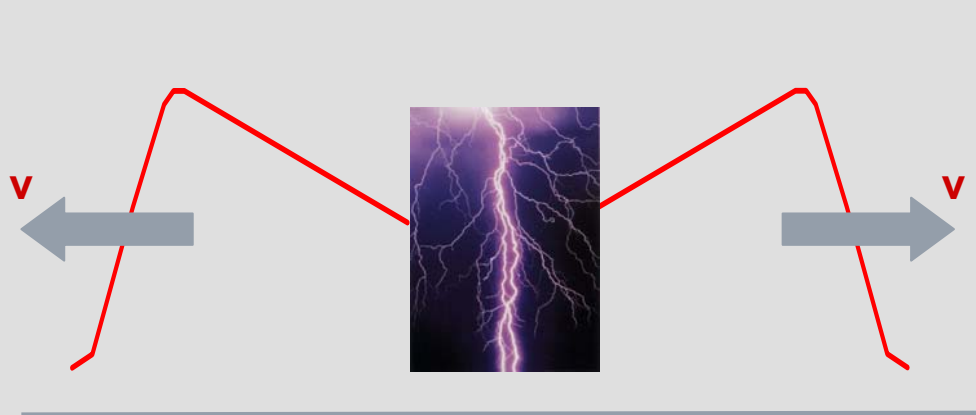
Tensione nominale <i>Rated voltage</i>	Tensione nominale di tenuta di breve durata a frequenza industriale <i>Rated short-duration power-frequency withstand voltage</i>		Tensione nominale di tenuta a impulso atmosferico <i>Rated lightning impulse withstand voltage</i>	
	U_d kV (valore efficace) kV (r.m.s. value)		U_p kV (valore di picco) kV (peak value)	
	Valore comune <i>Common value</i>	Sulla distanza di sezionamento <i>Across the isolating distance</i>	Valore comune <i>Common value</i>	Sulla distanza di sezionamento <i>Across the isolating distance</i>
17,5	38	45	75 95	85 110

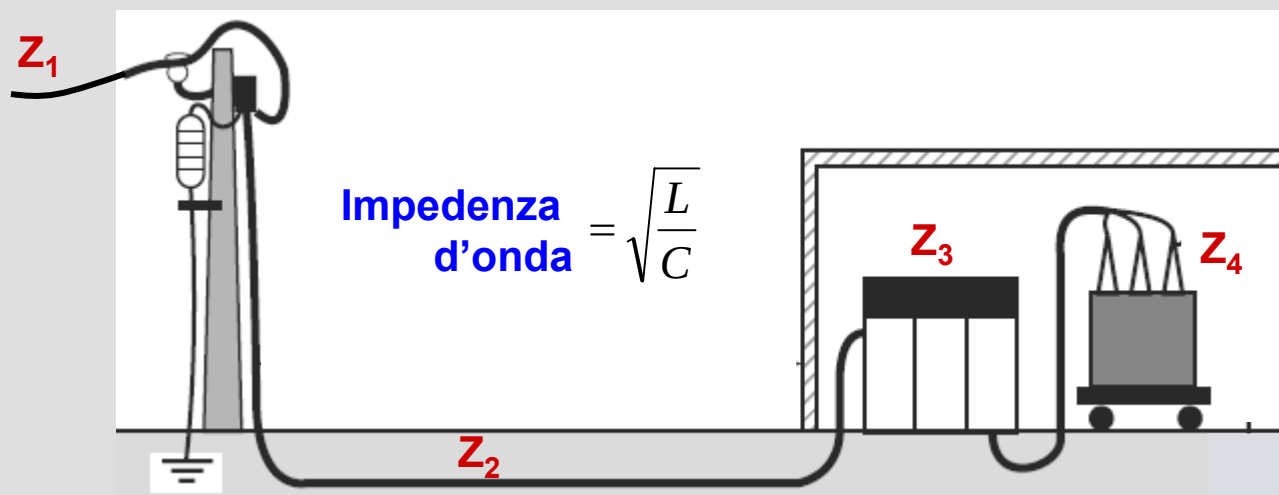
**TENSIONE
TENUTA
APPARATI**

Verifica dell'Installazione



Velocità di propagazione:
circa **300 m/μs**

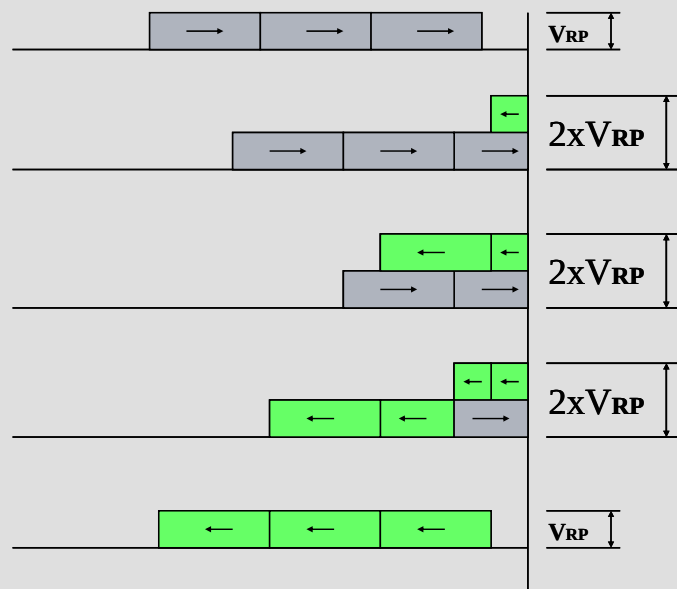


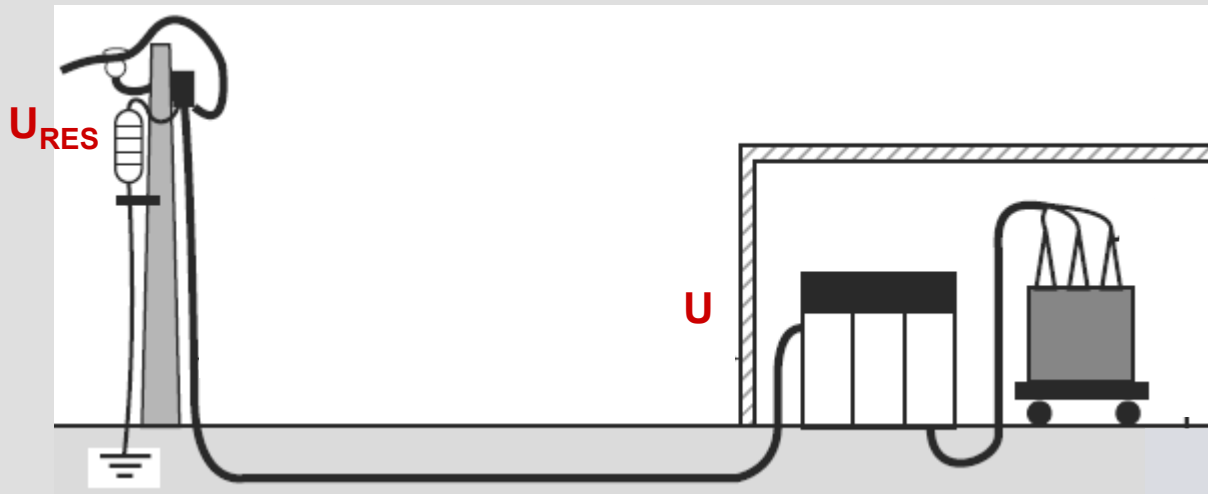


sul trasformatore
la sovratensione
RADDOPPIA !

Onda riflessa $= \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$

Onda trasmessa $= \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$





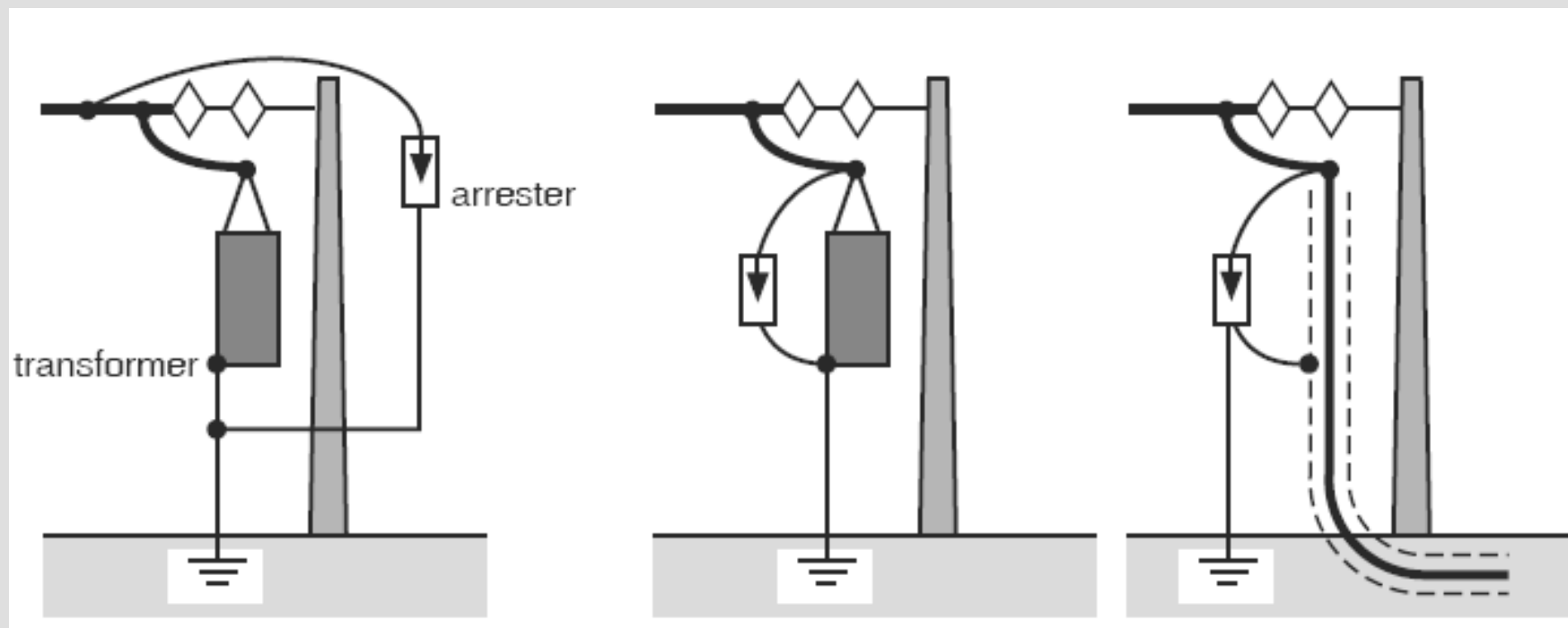
SCARICATORE
prossimo al
trasformatore

$$U = U_{RES} + \frac{2 \cdot S \cdot L}{v}$$

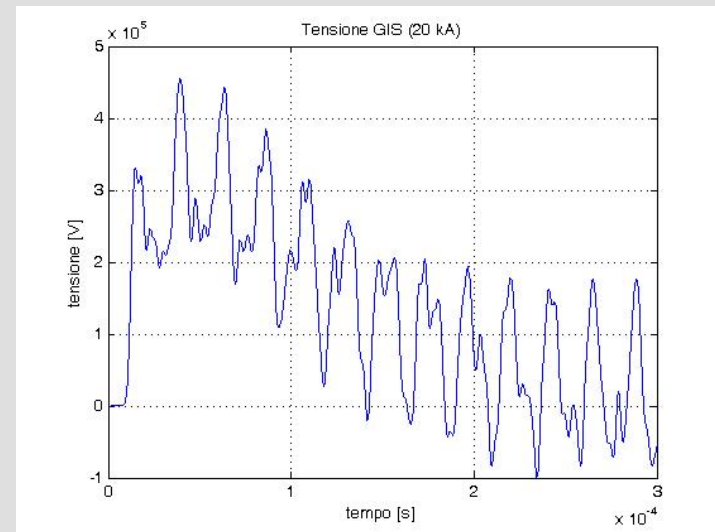
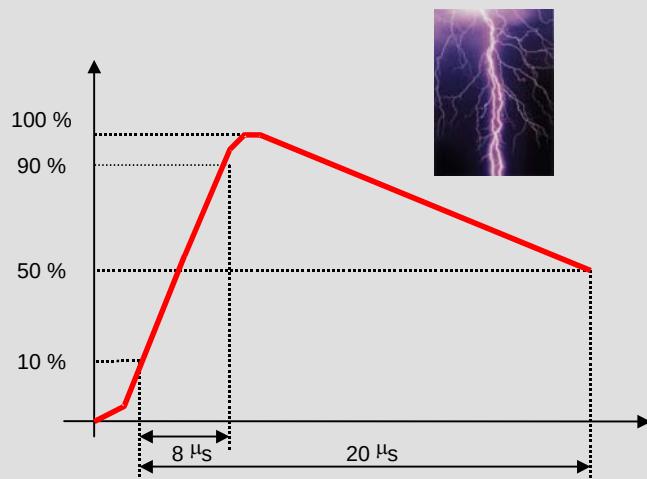
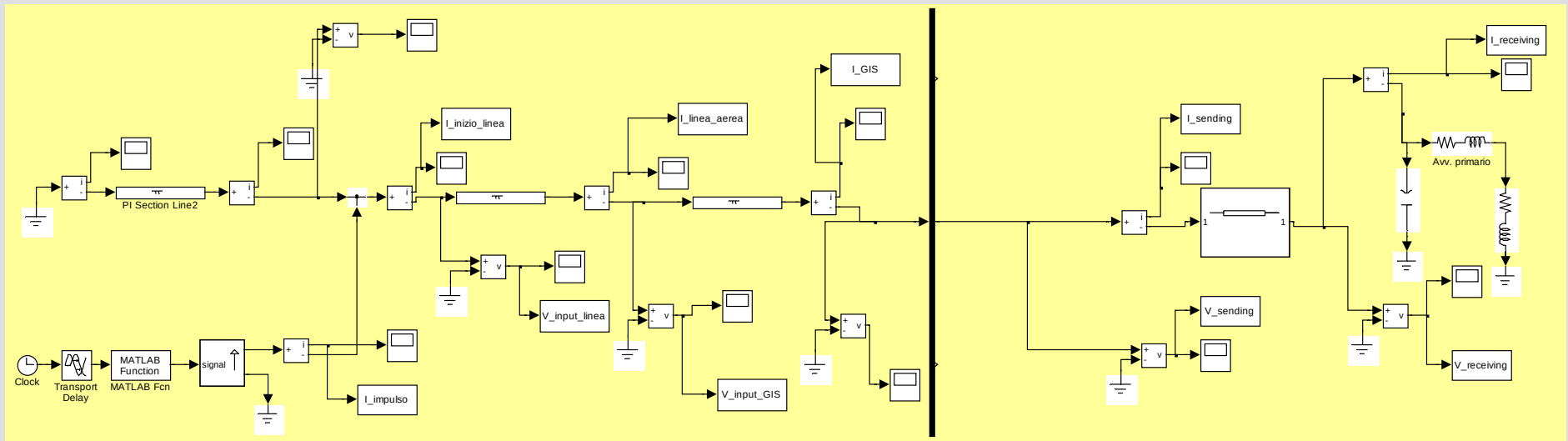
S = pendenza dell'onda
(800-1550 kV/ μ s)

v = velocità dell'onda
(300 m/ μ s)

Con una tensione residua di 56 kV ed una distanza di 20 m si ha una tensione sul trasformatore **> 160 kV** (> della tenuta a impulso).



Le connessioni degli scaricatori devono essere le più corte possibili.



SIEMENS

Dal Quadro MT al
Sistema di Distribuzione

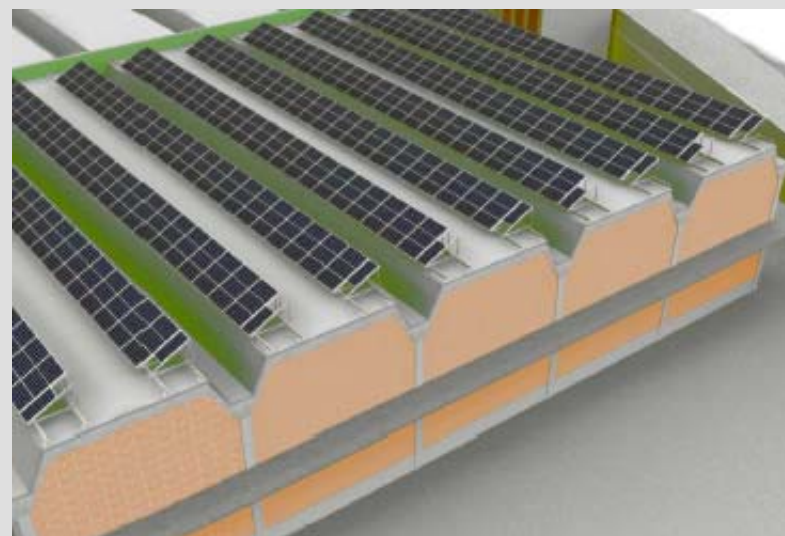


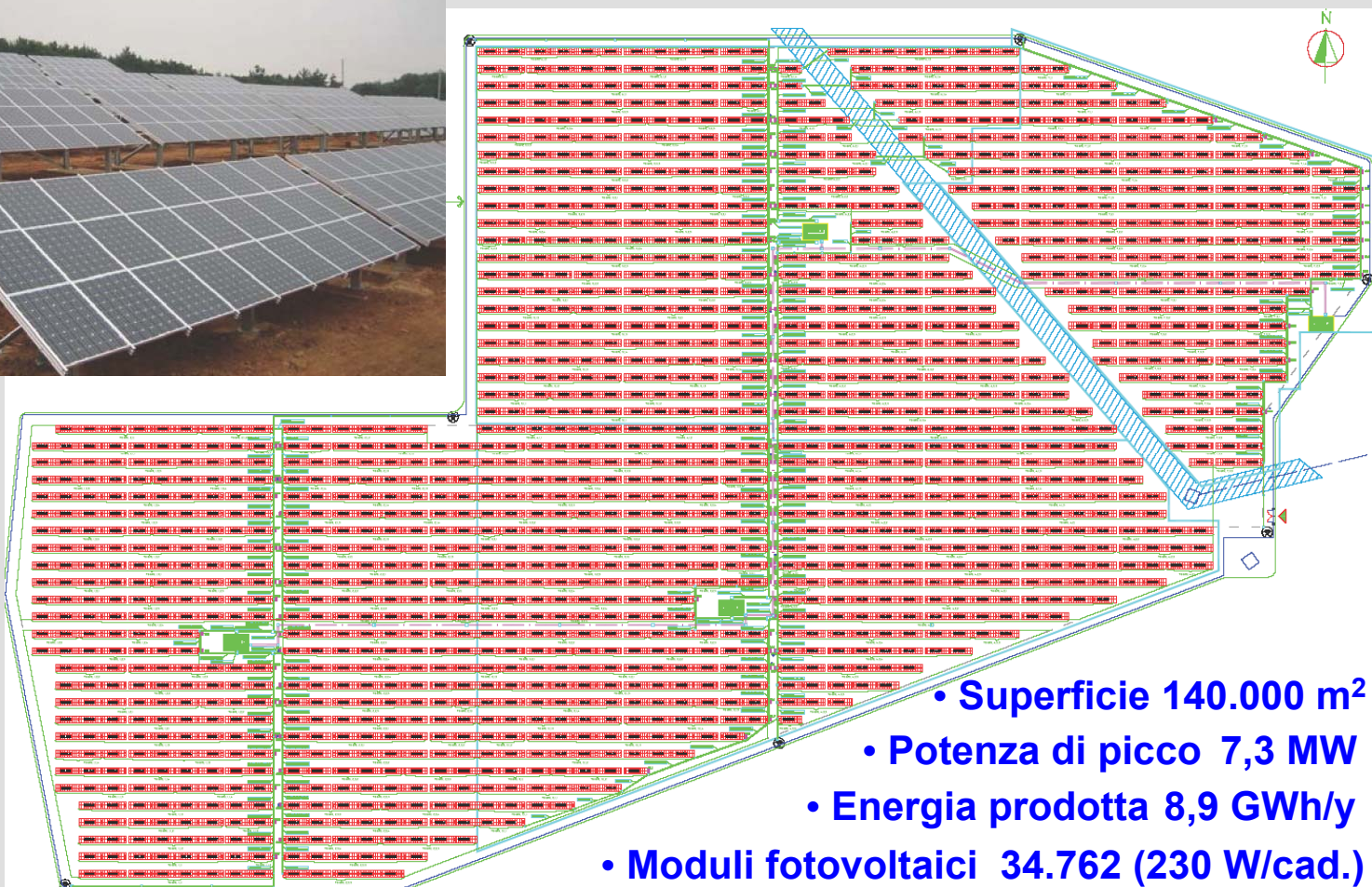
**Impianto
PV**



- Moduli fotovoltaici 11.746 (170 W/cad.)
- Potenza di picco 2 MW
- Energia annua 2.229 MWh

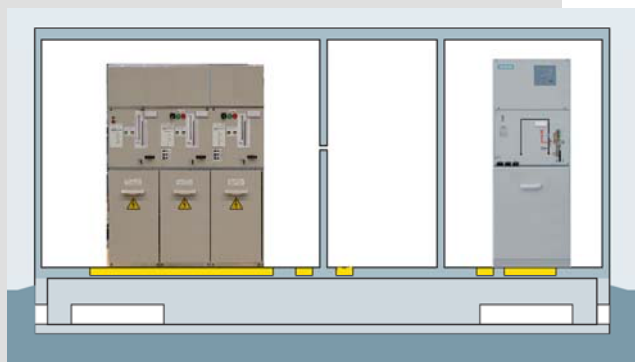
Impianto parzialmente integrato



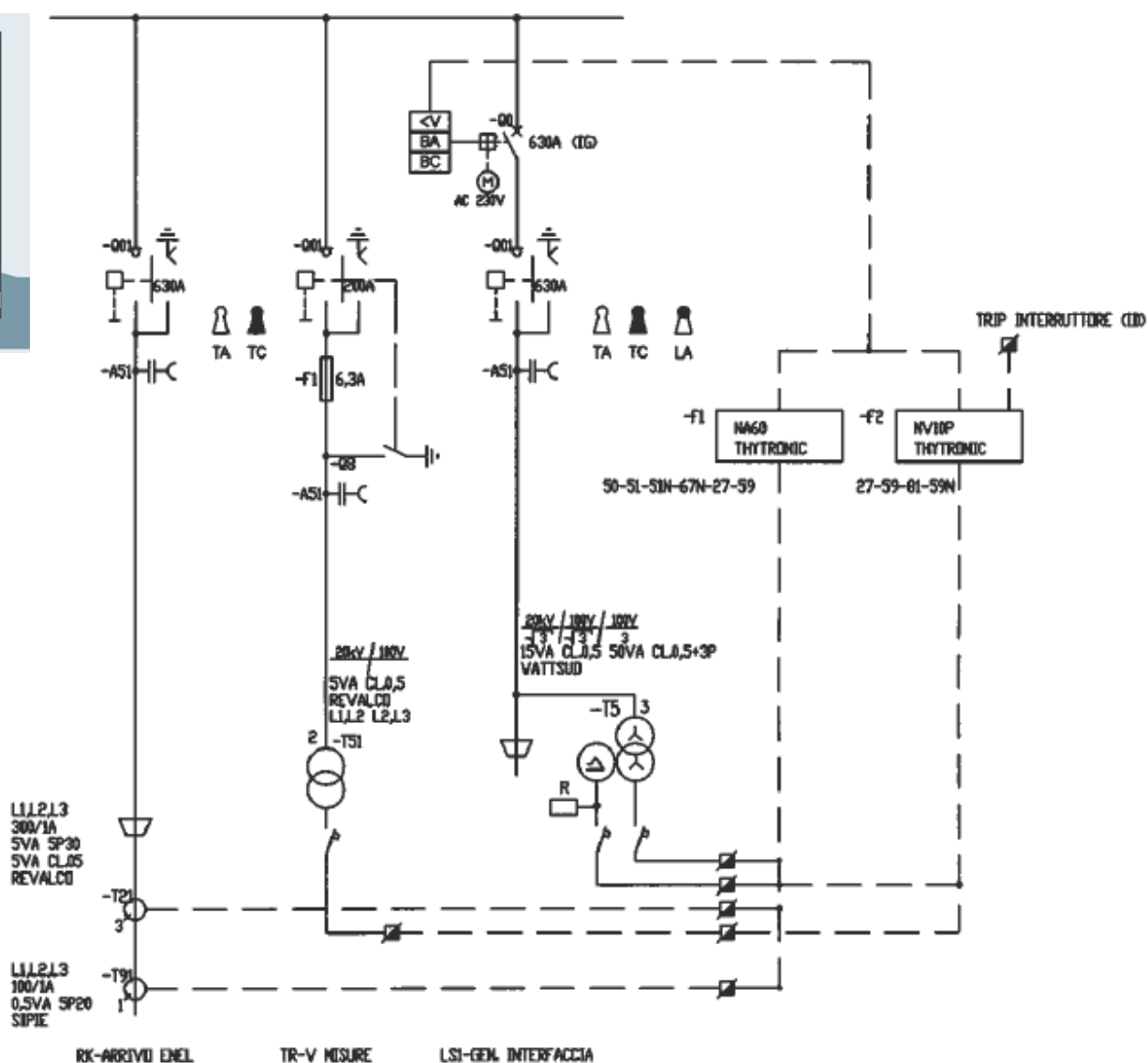


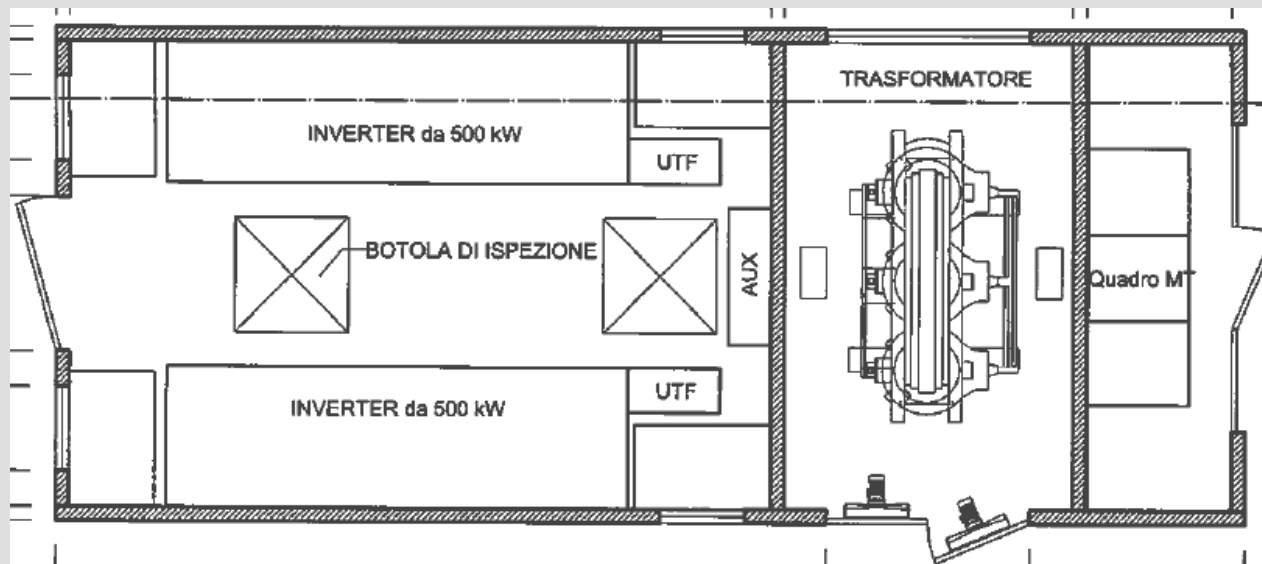
- Superficie 140.000 m²
- Potenza di picco 7,3 MW
- Energia prodotta 8,9 GWh/y
- Moduli fotovoltaici 34.762 (230 W/cad.)





Cabina Interfaccia Rete





Cabina Conversione 250-500-750-1000 kW

