La valutazione dell'esposizione umana a campi elettromagnetici in ambienti di lavoro complessi

Zoppetti N.[1], Andreuccetti D.[1], Bianchi S. [2] e Pancari G. [2]

(1) IFAC-CNR
n.zoppetti@ifac.cnr.it
d.andreuccetti@ifac.cnr.it
(2) ITALCERTIFER SpA
s.bianchi@italcertifer.it
g.pancari@italcertifer.it

SESSIONE A2 - Aula B101
Valutazioni relative agli ambienti di lavoro

Presiede: Aldo Canova

Relazione a invito

14.00 **Influenza del metodo di calcolo nella determinazione dell'indice di picco ponderato per esposizione a campi elettromagnetici (D.Andreuccetti, G.M.Contessa, R.Falsaperla, R.Lodato, V.Lopresto, C.Merla, R.Pinto, N.Zoppetti - IFAC-CNR/ENEA/INAIL)**

14.35 Esposizione simultanea a campo magnetico statico e gradienti: valutazione della corrente indotta al cuore (S.Valbonesi, E.Papotti, R.Sghedoni, M.Tiberti, A.Vanore, P.Zanichelli)

15.00 **La valutazione dell'esposizione umana a campi elettromagnetici in ambienti di lavoro complessi (N.Zoppetti, S.Bianchi, D.Andreuccetti, G.Pancari)**

15.25 Valutazione dell'esposizione degli operatori sanitari addetti alla stimolazione magnetica transcranica con induttore circolare (M.Zucca, O.Bottauscio, M.Chiampi, L.Zilberti, MP.Manconi, L.Ferrero, L.Maccagno)

- Misure di CEM
- Indici di esposizione
- Metodi di elaborazione

- Valutazione dell'esposizione
- Caratterizzazione/modellazione di sorgenti di CEM
- Dosimetria

Lo spunto

Collaborazione tra IFAC-CNR e Italcertifer SpA (gruppo Ferrovie dello Stato Italiane) per supporto alla valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici a bordo di rotabile ferroviario. Contratto prot IFAC-CNR n. 5040.

PROCEDURA·DI·VALUTAZIONE·DELL'ESPOSIZIONE·A·CAMPI·ELETTROMAGNETICI
A·BORDO·DI·MATERIALE·ROTABILE·FERROVIARIO

Nicola·Zoppetti[1],·Daniele·Andreuccetti[1],·Giuseppe·Pancari[2],·Stefano·Bianchi[2]

(1)·IFAC-CNR,·via·Madonna·del·Piano·10—·50019·Sesto·Fiorentino·(FI)
(2)·ITALCERTIFER·SpA,·Largo·Fratelli·Alinari·4—·50123·Firenze

Generalizzazione

La valutazione dell'esposizione umana a campi elettromagnetici in <u>ambienti di lavoro complessi</u>

Cosa intendiamo con *ambiente di lavoro complesso:*

- un ambiente nel quale possono coesistere <u>diverse tipologie</u> di sorgenti di CEM:
  - ✓ anche di non immediata <u>localizzazione</u>
  - ✓ anche di non immediata <u>caratterizzazione</u>

Essiccatrice RF a perdite dielettriche

Main Technical Parameters	
Electrical supply voltage	380V±5%
Electrical supply frequency	50Hz
Operating frequency	27.12MHz±0.6%
Input power	280KVA
Output power	170KW
Conveyor belt operating speed	2.5m/h-107m/h
Cooling system	Water cooling; air cooling
Water circulation	5.0M^3/h
Evaporative capacity	1.2-1.3KG (water) /kw (RF) h
Max product height	260mm
Max loading width	1650mm
External dimensions	13mX2.4m (3.1mMAX) X3.5m
Weight	8000kg

STALAM

SP02-170 Radio Frequency Dryer

http://www.china-deyi.com/endefault.asp

Sala compressori

Sala con oltre 15 compressori con potenza nominale compresa tra i 132 kW ed i 750 kW (correnti nominali comprese tra circa 200 A e circa 1100 A eff.)

Materiale rotabile

Principali criticità nella valutazione dell'esposizione a CEM in ambienti complessi

- diverse tipologie di CEM.
- ambienti relativamente vasti.
- dipendenza dei livelli di esposizione a CEM dai cicli di produzione/funzionamento delle sorgenti
- necessità di considerare sia l'esposizione dei lavoratori sia quella della popolazione

↓

Processo di valutazione oneroso in termini di tempo, di risorse umane e strumentali

Si devono eventualmente considerare i riferimenti tecnici/normativi, specifici per le tipologie di sorgente/ambiente di lavoro considerate

Riferimenti tecnici: EN50500, EN50499

Norma Italiana

CEI EN 50499

La seguente Norma è identica a: EN 50499:2008-12.

Titolo

Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici

EUROPEAN STANDARD **EN 50500**

English version

Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure

Riferimenti tecnici: specifiche trenitalia

"Caratterizzazione del livello di esposizione a campi magnetici a bordo di rotabili ferroviari (5 Hz–100 kHz)". Specifica tecnica TI.UTMR.CEM002.0, Trenitalia S.p.A., Firenze, maggio 2005.

"Caratterizzazione del livello di esposizione a campi elettromagnetici a bordo di rotabili ferroviari (100 kHz-2.5 GHz)". Specifica tecnica TI.UTMR.CEM003.0, Trenitalia S.p.A., Firenze, maggio 2005.

Principali criticità nella valutazione dell’esposizione a CEM in ambienti complessi

Proliferazione dei punti di misura

-
- ambienti relativamente vasti.
- dipendenza dei livelli di esposizione a CEM dai cicli di produzione/funzionamento delle sorgenti
- necessità di considerare sia l’esposizione dei lavoratori sia quella della popolazione

Scelta dei punti di misura

- **Criterio topografico: campionamento di tutti gli spazi dei rotabili e in particolare quelli dove con certezza o alta probabilità staziona il personale di bordo.**
  - Ci si troverà quasi sicuramente a dover eseguire le misure in un grande numero di punti, nella maggioranza dei quali si riscontreranno poi livelli di esposizione trascurabili.
- **Considerando la posizione delle sorgenti di CEM individuate a priori, su base documentale.**
  - Tale ipotesi è ammessa dalla normativa tecnica permetterebbe di minimizzare il numero delle misure, limitandole alle sole zone prossime ai componenti, ai dispositivi, agli impianti o agli elementi

- Analisi documentale preliminare della struttura del rotabile + **indagine "esplorativa" basata su misure.**
  - Lo scopo è quello di <u>individuare i punti nei quali procedere con un secondo e più approfondito livello di analisi,</u> basato su misure più complesse ed articolate.

Articolazione della procedura in livelli

Livello 1 - misure esplorative: si tratta di misure preliminari finalizzate alla determinazione dei punti nei quali procedere alle misure puntuali del livello successivo. I soli risultati delle misure esplorative non sono esaustivi dal punto di vista protezionistico ed assumono rilevanza solo insieme a quelli delle successive misure puntuali.

Livello 2 - misure puntuali: si tratta delle misure più significative dal punto di vista protezionistico. Sono eseguite in un certo numero di punti fissati a priori più, eventualmente, in altri punti individuati durante le precedenti misure esplorative.

Livello 3 - misure per la zonizzazione: sono misure che si possono effettuare qualora le misure dei precedenti livelli abbiano evidenziato dei superamenti e sono finalizzate a determinare le aree entro le quali i limiti sono effettivamente superati. Questo livello ha senso specialmente se è possibile interdire l'accesso a tali aree.

Livello 4 - misure per la dosimetria: anche in questo caso si tratta di un livello necessario solo nel caso in cui il primo ed il secondo abbiano evidenziato dei superamenti. Le misure di livello 4 sono finalizzate infatti a determinare la distribuzione di campo che sarà poi utilizzata come dato di partenza ai fini del calcolo delle grandezze indotte internamente ad un modello numerico dell'organismo del soggetto esposto.

Tipologie di campo

- **BST: campo magnetico statico (EN50500).**
- **BBF: induzione magnetica a bassa frequenza (EN50500).**
- **EBF**: campo elettrico a bassa frequenza.
- **EAF-BAF**: campo elettromagnetico ad alta.

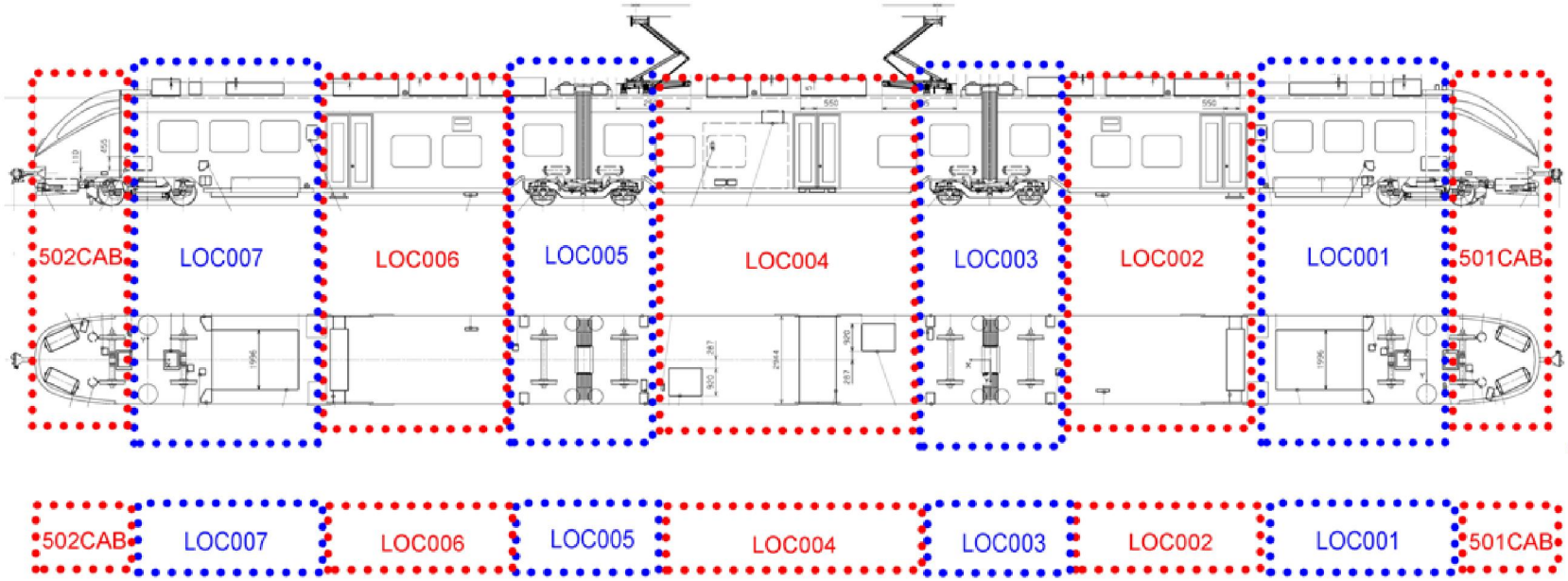
Nel seguito faremo principalmente riferimento all'induzione magnetica a frequenze basse ed intermedie in quanto
•è sicuramente l'agente fisico più rilevante tra i CEM a bordo treno
•è quello che prevede le modalità di valutazione più articolate

Analisi preliminare

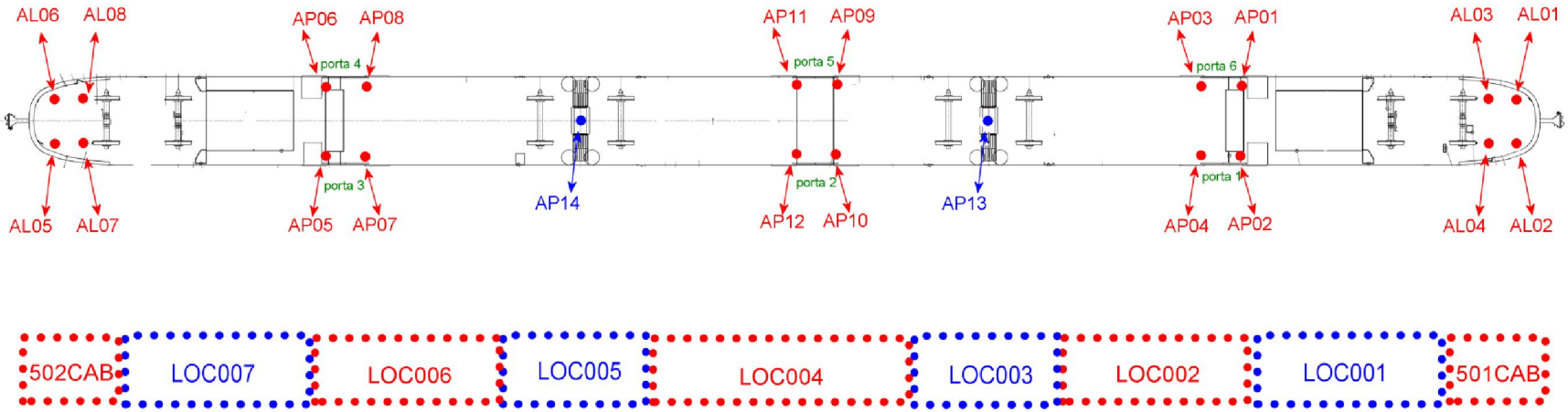
- Suddivisione dell’ambiente di lavoro in “locali”.
- Individuazione delle principali postazioni di lavoro e se del caso delle potenziali sorgenti di CEM (PUNTI A).
- [Individuazione delle potenziali sorgenti di CEM (PUNTI A)].

L0: suddivisione del rotabile in locali

- Per locale si intende un ambiente separato dagli altri da porte, divisori, rampe o scale.
- Se nel primo livello non si verificano superamenti, saranno eseguite misure di secondo livello in un solo punto per ciascuno di essi (riduzione punti).
- È opportuno definire dei locali che non siano troppo piccoli, per evitare la proliferazione di punti soggetti ad approfondimento e d'altra parte evitare locali troppo grandi che porterebbero ad una eccessiva perdita di dettaglio.
- Si tiene in conto anche della eventuale simmetria del materiale rotabile, in modo da non ripetere misure in locali considerabili come equivalenti e per gestire gli eventuali cambi di banco durante le prove effettuate con materiale rotabile in condizioni dinamiche.



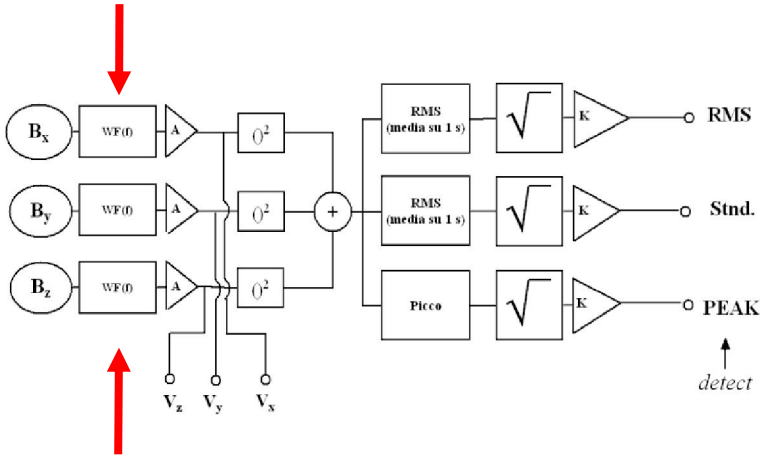
L0: individuazione dei punti A



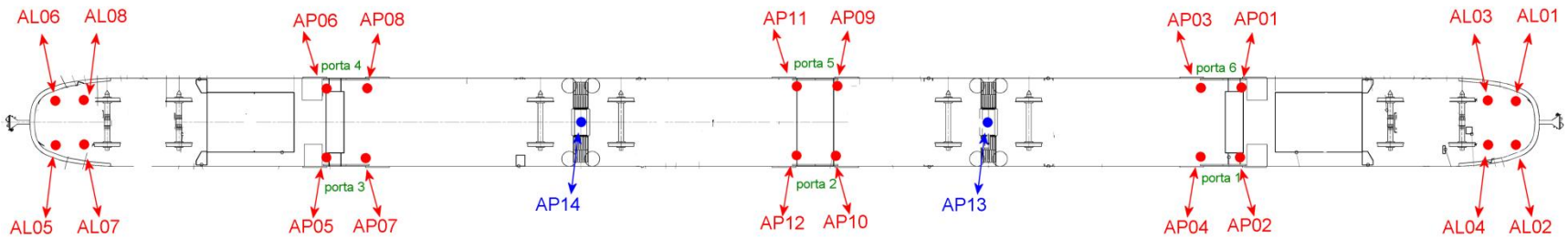
- CAB: sedile principale
- CAB: sedile secondario
- CAB: quadri elettrici.
- LOC: comandi porte passeggeri
- *LOC: centro dei mantici*

L1: catena di misura

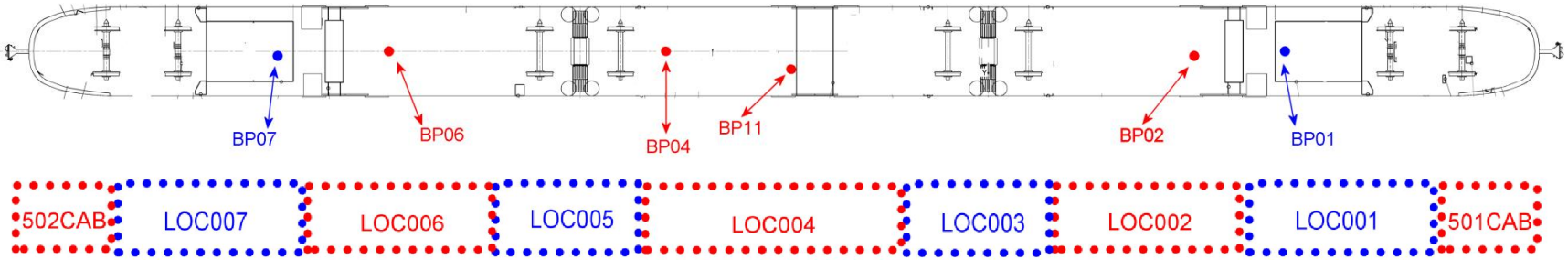
- Le misure esplorative devono essere eseguite per tutte le tipologie di campo indagate, misurando una grandezza scelta in modo tale da permettere un immediato confronto con i pertinenti limiti di esposizione (IdR, indice di riferimento).
- Questo vincolo, che è un requisito fondamentale per l'applicazione dell'intera procedura, assume particolare rilevanza nel caso in cui i limiti di esposizione siano variabili entro l'intervallo di frequenze interessato dalle misure.



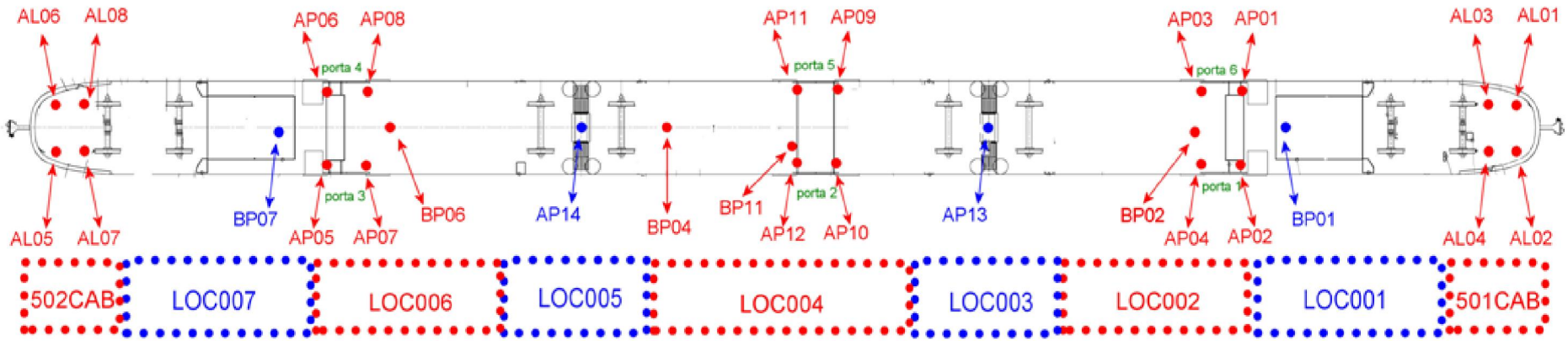
L1: misura di IdR nei punti A e ricerca dei punti B



- Si misura l'indice di riferimento IdR_A in tutti i punti A
- Terminata la ricognizione dei punti A, si passa alla vera e propria *esplorazione*, cioè alla ricerca dei massimi della grandezza IdR nelle aree accessibili dei vari locali del rotabile.
- Nella ricerca dei punti B, si assumerà come riferimento il massimo valore di IdR determinato nei punti A, cosicché saranno considerati solo i punti B nei quali vale la relazione $\mathbf{IdR_B > max(IdR_A)}$:
- Si procederà ad approfondimenti anche in tutti i punti in cui le misure esplorative determinano superamenti dei limiti di esposizione $\mathbf{IdR_B > 1}$.

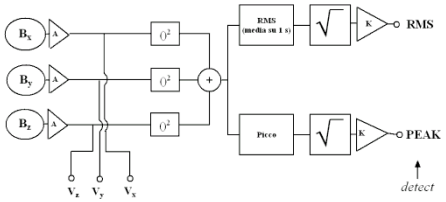


Selezione punti di misura per L2



- In L2 si considerano comunque tutti i punti di tipo A e B nei quali si misura IdR>1.
- Se i valori di IdR misurati in un locale sono tutti inferiori all'unità, in genere **in L2 si considera un solo punto di tipo A o B per ogni locale**, salvo eccezioni.

L2: catena di misura



Scheda di acquisizione dati

Si misura ed acquisisce l'evoluzione dell'induzione magnetica nel tempo.

- Archiviazione
- Elaborazione della stessa misura secondo diverse versioni dei limiti di sicurezza
- Elaborazione della stessa misura secondo metodi di valutazione differenti da quelli originariamente previsti.

Elaborazione risultati L2

SESSIONE A2 - Aula B101
Valutazioni relative agli ambienti di lavoro

Presiede: Aldo Canova

Relazione a invito

14.00 **Influenza del metodo di calcolo nella determinazione dell'indice di picco ponderato per esposizione a campi elettromagnetici (D.Andreuccetti, G.M.Contessa, R.Falsaperla, R.Lodato, V.Lopresto, C.Merla, R.Pinto, N.Zoppetti - IFAC-CNR/ENEA/INAIL)**

14.35 Esposizione simultanea a campo magnetico statico e gradienti: valutazione della corrente indotta al cuore (S.Valbonesi, E.Papotti, R.Sghedoni, M.Tiberti, A.Vanore, P.Zanichelli)

15.00 **La valutazione dell'esposizione umana a campi elettromagnetici in ambienti di lavoro complessi (N.Zoppetti, S.Bianchi, D.Andreuccetti, G.Pancari)**

15.25 Valutazione dell'esposizione degli operatori sanitari addetti alla stimolazione magnetica transcranica con induttore circolare (M.Zucca, O.Bottauscio, M.Chiampi, L.Zilberti, MP.Manconi, L.Ferrero, L.Maccagno)

IFAC ENEA INAIL
ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO

Influenza del metodo di calcolo nella determinazione dell'indice di picco ponderato per esposizione a campi elettromagnetici

Andreuccetti D.[1], Contessa G.M.[2], Falsaperla R.[3], Lodato R.[3], Lopresto V.[2], Merla C.[2], Pinto R.[2], Zoppetti N.[1]

(1) IFAC-CNR – Via Madonna del Piano, 10 – 50019 Sesto Fiorentino (FI)

(2) ENEA Centro Ricerche Casaccia – Via Anguillarese, 301 – 00123 Roma

(3) INAIL – Via Fontana Candida, 1 – 00040 Monte Porzio Catone (Roma)

Tempistica L0+L1+L2

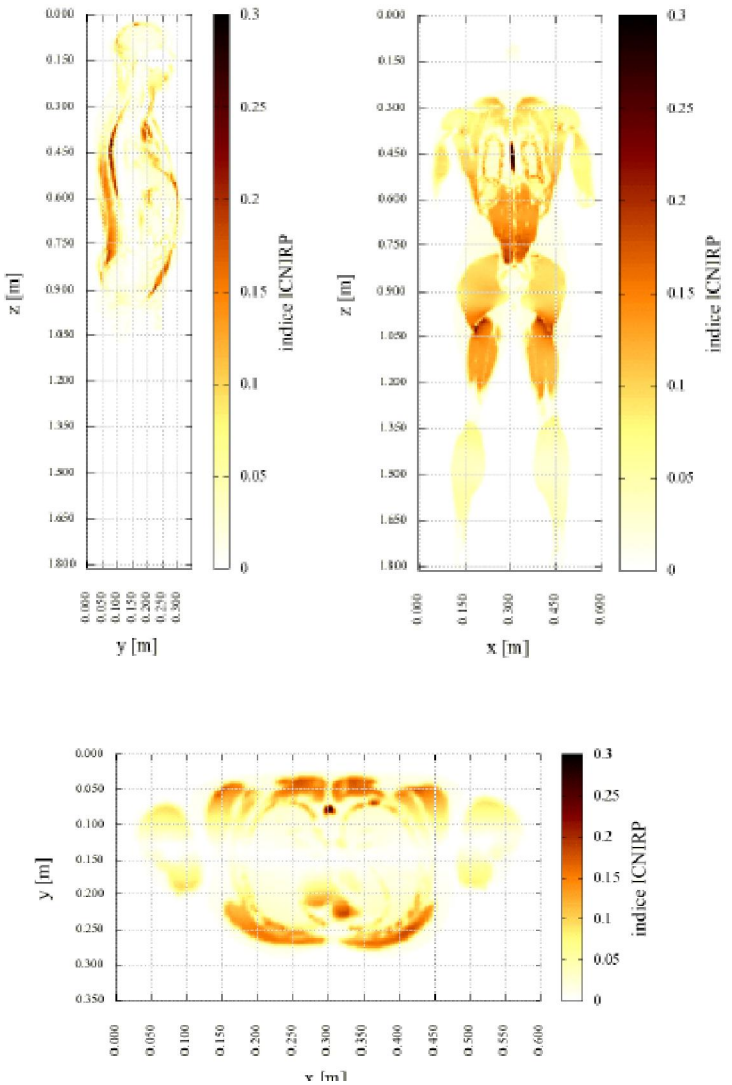
Cronologia delle misure					
	Tipologia (serie)	*Condizioni rotabile*	*Strumento*	*Luogo o tratta*	*Banco attivo*
6 MAGGIO 2015 MATTINA	Definizione locali e punti	Statiche		Sulmona	ALE502
	BBF esplorative	Dinamiche	ELT400	Sulmona-Pescara	ALE502
	BST esplorative (1)		THM1176	Sulmona-Pescara	ALE502
6 MAGGIO 2015 POMERIGGIO	BBF esplorative	Statiche	ELT400	Pescara	ALE501
	BST puntuali		THM1176	Pescara	ALE501
	BBF puntuali		ELT400	Pescara	ALE501
	BBF puntuali	Dinamiche	ELT400	Pescara-Termoli	ALE501
	BST esplorative (2)		THM1176	Termoli-Pescara	ALE502
6 MAGGIO 2015 NOTTE	BST puntuali		THM1176	Pescara-Termoli	ALE501
	EAF esplorative (1)		EMR300	Pescara-Termoli	ALE501
	EAF esplorative (2)		EMR300	Termoli-Pescara	ALE502
7 MAGGIO 2015 POMERIGGIO	EAF esplorative	Statiche	EMR300	Pescara	ALE501
	EBF esplorative	Statiche	EHP50E	Pescara	ALE501
	EBF esplorative	Dinamiche	EHP50E	Pescara-Termoli	ALE501

Cosa succede nel caso in cui in L0 (L1) si verificano superamenti dei livelli di azione?

L2 in P_{CM} + Dosimetria con campo omogeneo

- Il punto denominato $\mathbf{P_{CM}}$ è quello in cui si manifesta il massimo assoluto di IdR, localizzato in corrispondenza di un punto A o B in cui si è rilevato un superamento dei limiti normativi.
- Si individua il punto $\mathbf{P_{CM}}$, cercando l'altezza dal piano di calpestio in corrispondenza della quale si ottiene l'indice massimo.
- I punti $\mathbf{P_{CM}}$ non rispettano il vincolo sulle altezze dal piano di calpestio ma dovranno comunque rispettare il vincolo di 30 cm dalle superfici interne del rotabile.

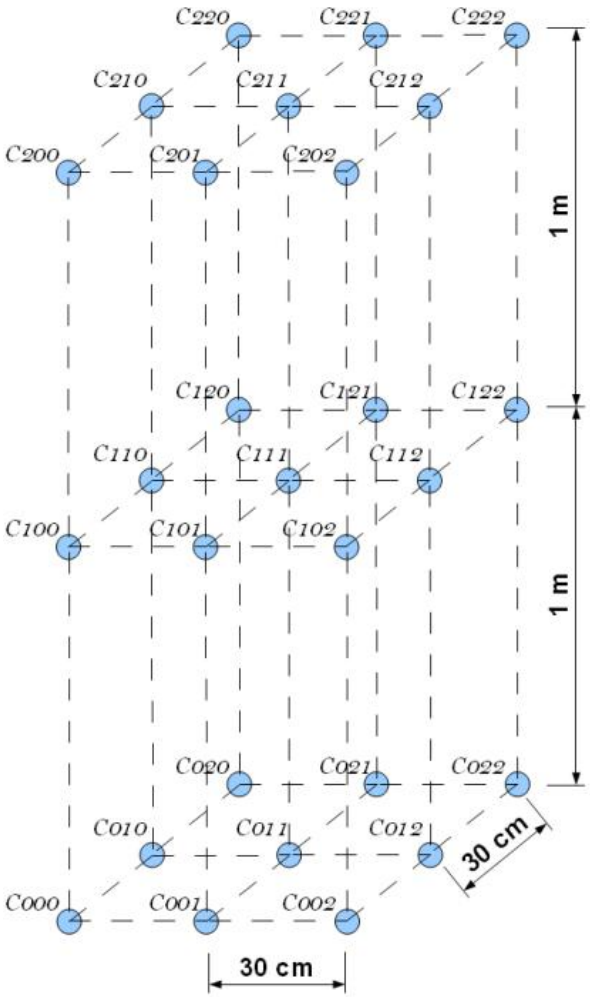
Risultati di calcoli dosimetrici con campo omogeneo



L3: Misure per la zonizzazione

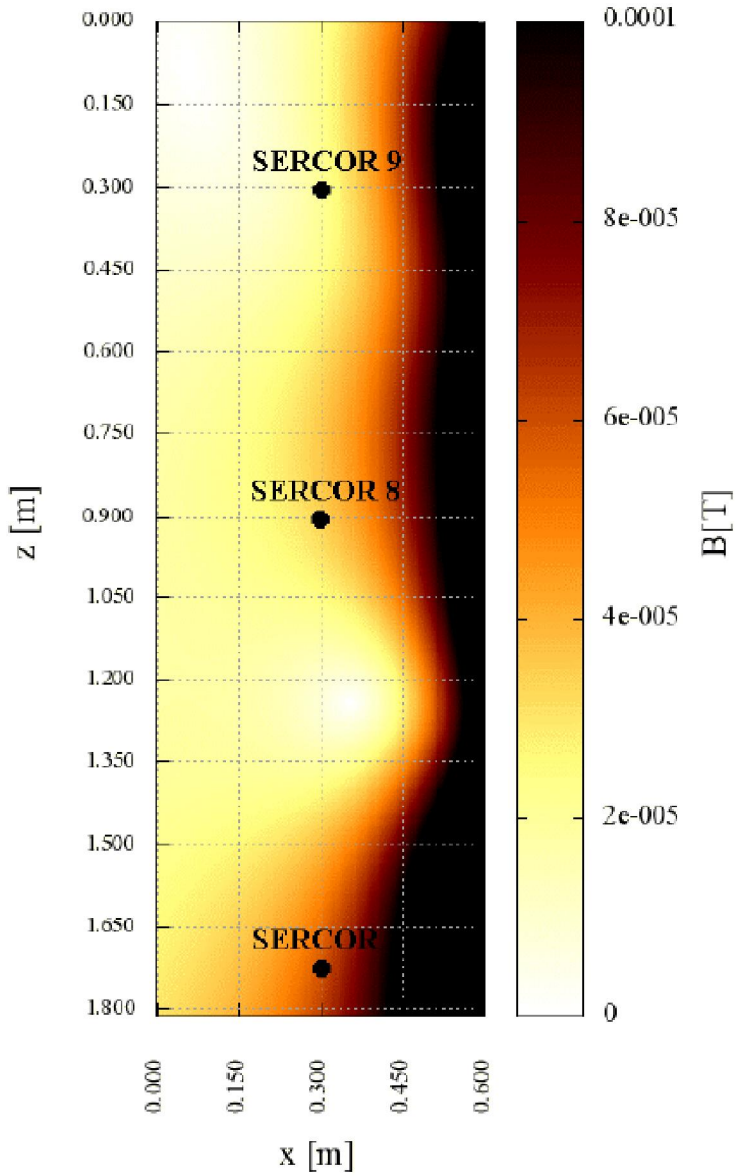
- **determinare i confini entro i quali uno specifico limite normativo è superato**.
- operazione è finalizzata ad un'eventuale **restrizione all'accesso**.
- sono possibili diversi approcci (rif induzione magnetica a bassa frequenza):
  1. mediante misura diretta degli indici, con modalità analoghe a quelle delle misure esplorative, L1.
  2. mediante acquisizione delle forme d'onda delle componenti cartesiane del campo (misure puntuali, L2) e determinazione dei confini delle zone in fase di elaborazione.
  3. Approccio ibrido:
     - ✓ si esegue un'unica acquisizione del campo nel dominio del tempo (in genere nel punto in cui si è verificato il massimo locale);
     - ✓ si elaborano le forme d'onda acquisite ed in particolare si calcolano i rapporti tra i diversi indici di esposizione di interesse;
     - ✓ si eseguono misure puntuali di un unico indice, a varie distanze dal punto di massimo, determinando sia i confini della zona entro la quale avviene il superamento, sia l'andamento dell'indice nelle principali direzioni;
     - ✓ si scalano le misure di indice <u>supponendo che il campo sia caratterizzato in tutti i punti di misura dalle forme d'onda acquisite</u> e quindi gli indici di esposizione siano caratterizzate dai mutui rapporti calcolati in precedenza a partire dalle acquisizioni stesse.

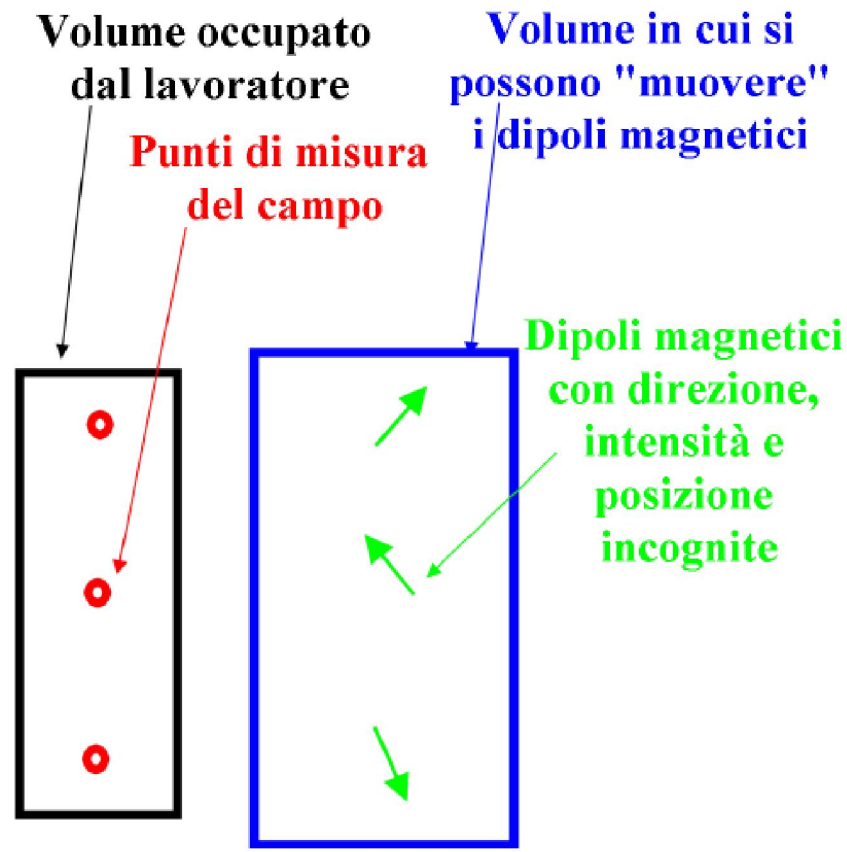
L4: Misure per la dosimetria con campo disomogeneo



- I punti così disposti delimitano il volume entro il quale si suppone sia confinato il soggetto esposto del quale si vuole indagare l'esposizione per via dosimetrica.
- Per poter eseguire i calcoli dosimetrici a partire dai risultati delle misure nei punti di tipo C, è necessario ricostruire mediante interpolazione a distribuzione del campo in tutto il volume occupato dal lavoratore.
- Per questo motivo, è importante che il volume delimitato dai punti sia sufficientemente grande da contenere completamente il soggetto esposto.
- In ciascuno dei punti si effettua l'acquisizione dell'evoluzione dell'induzione magnetica nel tempo

Ricostruzione della distribuzione di campo ai fini della analisi dosimetrica





…..concludendo …..

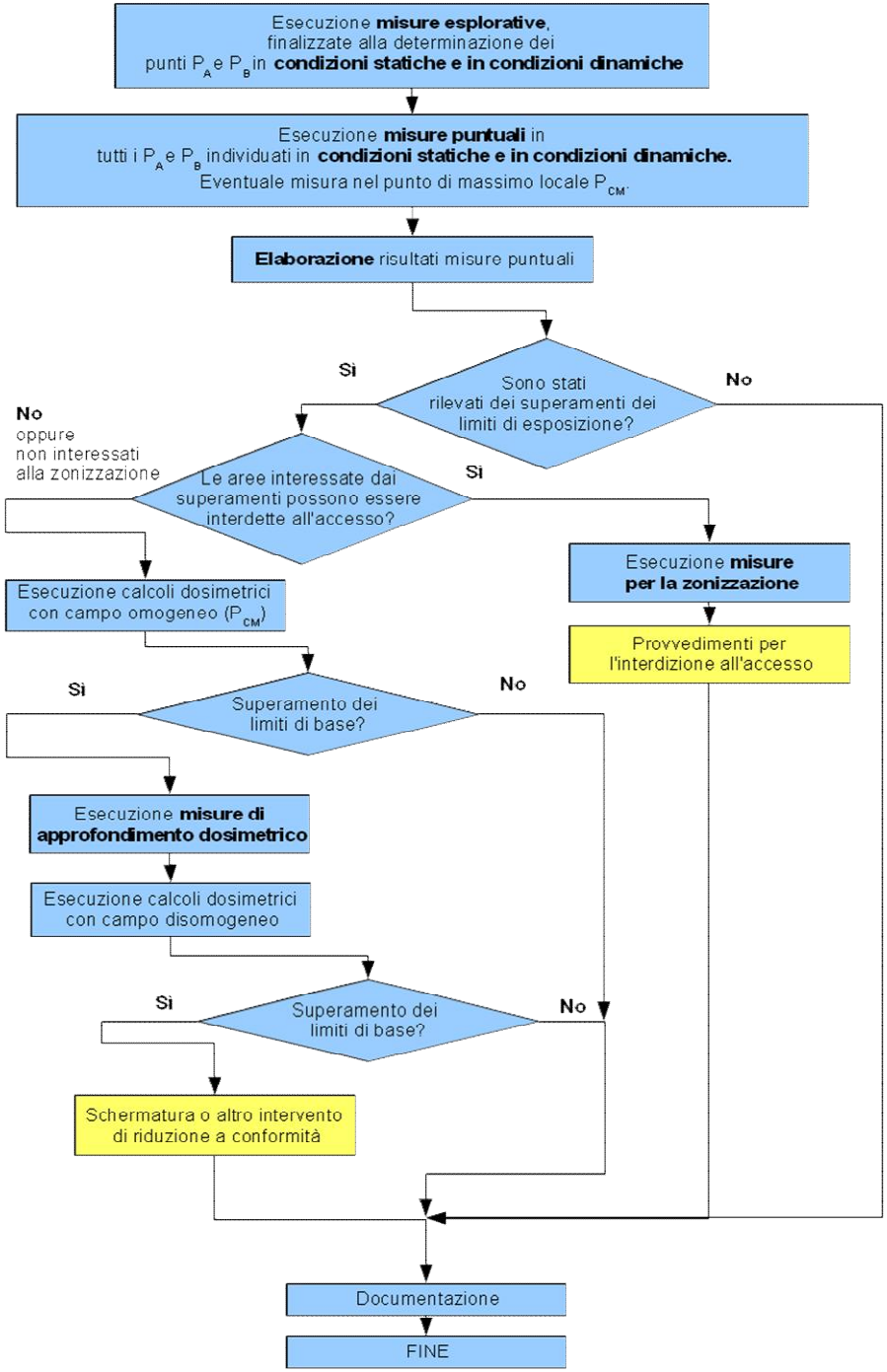


diagramma di flusso della procedura di valutazione dell'induzione magnetica a bassa frequenza.

Pubblicazione della parte generale della procedura

http://puma.isti.cnr.it/searchquery.php

Sommario

Premessa 83
Parte I Normative di sicurezza 84
1 - Documenti di riferimento 84
1.1 - Linee guida a carattere scientifico 85
1.2 - Disposizioni legislative comunitarie 86
1.3 - Disposizioni legislative nazionali 86
1.4 - Norme e guide tecniche internazionali 87
1.5 - Specifiche tecniche Trenitalia e altri documenti di riferimento 88
Quali normative applicare 88
2 - Sintesi delle prescrizioni normative 88
2.1 - Il razionale scientifico delle normative 88
2.2 - Effetti e limiti 91
2.3 - Protezione dagli effetti acuti legati alla stimolazione dei tessuti elettricamente eccitabili 92
2.4 - Protezione dagli effetti acuti legati al riscaldamento dei tessuti 95
2.5 - Note integrative sulle disposizioni legislative nazionali 97
Parte II Contenuti tecnici 99
3 - La procedura di misura 99
3.1 - Introduzione 99
3.2 - Tipologie di campo da misurare 99
3.3 - Articolazione in livelli 100
3.4 - Classificazione e scelta dei punti di misura 101
3.5 - Misure esplorative 104
3.6 - Misure puntuali 110
3.7 - Misure per la zonizzazione 112
3.8 - Misure per la dosimetria con campo non omogeneo 114
3.9 - Quadro generale della procedura di misura. 115
4 - Elaborazione dei risultati delle misure puntuali 119
4.1 - Scelta del metodo di valutazione 119
4.2 - Possibili implementazioni del metodo del picco ponderato 119
4.3 - Implementazione del metodo del picco ponderato nel dominio del tempo 120
Parte III Appendici 125
Appendice A Approfondimenti sull'utilizzo di filtri numerici per la determinazione dell'indice di picco ponderato nel dominio del tempo 125
Appendice B Codifica del nome dei punti di misura 131

http://puma.isti.cnr.it/dfdownload.php?ident=/cnr.ifac.fi/2015-IS-003