

**Procedura di valutazione
dell'esposizione a campi elettromagnetici
a bordo di materiale rotabile ferroviario
Parte II**

N. Zoppetti^{(1,*),} D. Andreuccetti^(1,**)

(¹) Istituto di Fisica Applicata “Nello Carrara” del CNR (IFAC-CNR)

(*) N.Zoppetti@ifac.cnr.it

(**) [D. Andreuccetti@ifac.cnr.it](mailto:D.Andreuccetti@ifac.cnr.it)

Premessa

Questo documento contiene alcune integrazioni al lavoro dal titolo “**Procedura di valutazione dell’esposizione a campi elettromagnetici a bordo di materiale rotabile ferroviario**” pubblicato come special issue nella collana Technical, Scientific and Research Reports - ISSN 2035-5831 e disponibile all’indirizzo <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/11870>.

In particolare la procedura di misura originale è stata integrata in modo da tenere conto di alcune indicazioni maturate successivamente alla consegna del lavoro. Gli aggiornamenti hanno riguardato esclusivamente il capitolo 3, che viene riproposto in questo rapporto nella sua versione aggiornata.

Parte I Contenuti tecnici

1 - La procedura di misura

1.1 - Introduzione

Uno dei principali obiettivi con cui è stata sviluppata la procedura descritta in questo documento è consistito nel cercare di raggiungere il miglior compromesso tra la qualità della valutazione (intesa sia come completezza, sia come accuratezza) e l’onerosità complessiva della sua applicazione pratica.

Nel caso delle misure di induzione magnetica a frequenze basse ed intermedie (sicuramente l’agente fisico più rilevante tra i CEM a bordo treno), uno degli aspetti più onerosi è riconducibile alla modalità di acquisizione e trattamento dei dati prevista dagli standard tecnici, che richiede tempi di misura relativamente lunghi e non permette la visualizzazione in tempo reale di un indice di esposizione sintetico. Per questo secondo motivo è necessario eseguire le misure in un insieme di punti considerati rappresentativi in base ad una analisi a priori. Se i punti in questione vengono selezionati unicamente sulla base di criteri di tipo “topografico”¹, 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. L’ipotesi di scegliere i punti di misura sulla base dell’effettiva posizione delle sorgenti, 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 strutturali che, sulla base dell’esperienza e di informazioni progettuali, sono all’origine dei CEM a bordo. Tuttavia, affidarsi unicamente ad uno studio preliminare dei dati tecnici del rotabile espone al rischio di trascurare aree importanti, qualora tale processo non sia sufficientemente dettagliato o contenga inesattezze. La presente procedura si avvale perciò sia di un’analisi documentale preliminare della struttura del rotabile, sia di un’indagine “esplorativa” basata su misure. Come sarà spiegato meglio nel seguito, in entrambi i casi lo scopo è quello di individuare i punti nei quali procedere con un secondo e più approfondito livello di analisi, basato su misure più complesse ed articolate. In questa procedura, si è pertanto ritenuto opportuno proporre un approccio articolato su **due livelli di indagine, preceduti da una fase preliminare di studio del rotabile**.

Nella fase preliminare di studio, si analizza la struttura del rotabile mirando ad una sua suddivisione in locali ed alla individuazione in essi sia delle principali postazioni di lavoro, sia degli apparati che – sulla base della documentazione tecnica – presentano maggiori criticità in relazione alla loro capacità di comportarsi come sorgenti di CEM.

Nel primo livello, si effettuano misure, che chiameremo “*esplorative*”, aventi l’obiettivo di valutare in modo rapido l’esposizione in un grande numero di punti ed individuare quelli nei quali ha senso procedere al livello successivo di indagine.

Nel secondo livello, si eseguono le misure secondo la procedura prevista dagli standard tecnici (misure che chiameremo “*puntuali*”), ma lo si fa in un numero limitato di punti, scelti in base all’indagine preliminare del precedente livello.

¹ Cioè campionando opportunamente tutti gli spazi dei rotabili e in particolare quelli dove con certezza o alta probabilità staziona il personale di bordo.

L'articolazione delle misure su due livelli permette di evitare gli approfondimenti in caso di situazioni in cui l'esposizione è molto bassa, mentre consente di rilevare informazioni esaurienti nel caso di situazioni più critiche. Una procedura di misura divisa in più livelli può supplire alla eventuale mancanza di informazioni sull'effettiva dislocazione delle sorgenti e permette di eseguire misure approfondite in un numero di punti assai minore che nel caso in cui questi punti vengano fissati a priori. Così facendo – non ostante la complessità dovuta alla maggiore articolazione della procedura – è possibile ottenere un consistente risparmio di tempo.

Nei casi in cui non è immediato ricondursi al confronto del risultato della misura preliminare con uno specifico valore limite, l'approccio proposto richiede necessariamente l'utilizzo, per le misure esplorative, di strumenti che siano in grado di restituire a display un indice sintetico di esposizione.

La struttura modulare di questa procedura ne permette infine un'applicazione parziale ed in particolare permette di trascurare tutte quelle modalità di esposizione che gli standard tecnici attualmente in vigore considerano non vincolanti. D'altra parte, la procedura propone un percorso anche per queste situazioni, al fine di far fronte sia alle evoluzioni della normativa, sia ad eventuali esigenze di maggior completezza.

1.2 - Tipologie di campo da misurare

In generale, le misure avranno per oggetto le **quattro** diverse tipologie di campo elencate sotto, ciascuna delle quali è considerata usando diverse modalità di misura e metodi di valutazione e conseguentemente diverse modalità di elaborazione dei risultati delle misure stesse. Nell'elenco che segue a ciascuna tipologia di campo è associato anche un codice di tre lettere che sarà utilizzato nel seguito del documento per riferirsi a ciascuna di esse.

- **BST**: campo magnetico statico (EN50500).
- **BBF**: induzione magnetica a bassa frequenza (EN50500).
- **EBF**: campo elettrico a bassa frequenza.
- **EAF-BAF**: campo elettromagnetico ad alta frequenza (si usano due codici distinti per riferirsi alla componente elettrica EAF o alla componente magnetica BAF).

La norma EN50500 permette di escludere a priori dalle indagini sia EBF, sia EAF e BAF. Tuttavia, come già accennato, in questa procedura si considerano anche tali tipologie di campo, sia per permettere un effettivo riscontro delle ipotesi assunte nello standard CENELEC, sia per far fronte ad eventuali future modifiche.

Ai fini dell'applicazione della procedura qui delineata, si potranno quindi sia considerare valide le ipotesi formulate nella EN50500 sia procedere ad una verifica, anche solo minimale, dei livelli di esposizione al campo elettrico a bassa frequenza e al campo elettromagnetico ad alta frequenza.

D'altra parte, i risultati delle misure, riportati nei rapporti di prova allegati, confermano la scarsa rilevanza di EBF ed EAF, in considerazione della quale la norma tecnica CENELEC EN50500 indica come non vincolante l'esecuzione di questo tipo di misure.

È opportuno infine notare che dovrebbero essere considerate anche le correnti indotte negli arti e le correnti di contatto. In questo documento tuttavia non si prenderanno in considerazione anche in relazione alle evidenze riportate nella specifica Trenitalia TI.UTMR.CEM003.0 (par.3 pag.7).

Ciascun passaggio della procedura di misura sarà descritto evidenziando inizialmente gli aspetti generali e successivamente quelli specifici ad ogni tipologia di campo

1.3 - Articolazione in livelli

Per ciascun tipo di campo sono previste quattro fasi di misura corrispondenti a un livello crescente di approfondimento. I primi due livelli sono mirati alla valutazione dell'entità della esposizione ai campi presenti nel rotabile, mentre il terzo ed il quarto livello possono eventualmente essere applicati qualora i primi due evidenzino superamenti dei pertinenti valori limite di campo. Questo documento si concentra sui primi due livelli descritti; il terzo e quarto, che qui sono descritti in termini generali, saranno se necessario approfonditi in successive appendici a questa procedura.

- **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.

In generale ciascun livello è implementato diversamente per ciascuna tipologia di campo misurato.

Il campo statico può essere considerato un caso particolare in cui i primi tre livelli sostanzialmente coincidono. A rigori il quarto livello non si applica in quanto il campo magnetico statico può di fatto essere considerato una grandezza di base. Eventualmente il quarto livello dovrà essere preso in considerazione solo nel caso si volessero o dovessero applicare le indicazioni relative al movimento in campo statico, con riferimento alle linee guida ICNIRP del 2014, dedicate a questo specifico argomento. È opportuno però notare che tali indicazioni non sono al momento recepite in alcun documento con valore giuridico.

Tab.1: le tipologie di valutazione e di misura vincolanti ed opzionali secondo la EN50500 e secondo questa procedura

Tipologia di campo	Codice	EN50500	Questa procedura	
			Misure esplorative	Misure puntuali
Magnetico statico	BST	Valutazione vincolante	Obbligatorie	
Magnetico a bassa frequenza	BBF	Valutazione vincolante	Obbligatorie	Obbligatorie in almeno un punto per ogni locale/ambiente del rotabile
Elettrico a bassa frequenza	EBF	Valutazione non vincolante	Consigliate	Solo nel caso di livelli significativi evidenziati durante le misure esplorative
Elettromagnetico ad alta frequenza	EAF-BAF			

Come già detto, secondo lo standard EN50500 sia il campo elettrico a bassa frequenza sia il campo elettromagnetico ad alta frequenza possono essere trascurati (par 4.1). Tuttavia, anche in relazione alle evoluzioni tecnologiche del materiale rotabile, non è possibile escludere a priori l'esistenza di casi in cui il campo ad alta frequenza o il campo elettrico a bassa frequenza siano confrontabili con i rispettivi limiti di esposizione. La procedura qui presentata, per far fronte a questo problema, prevede di effettuare inizialmente le sole misure esplorative e solo in presenza di livelli significativi di procedere con i livelli successivi.

Infine, per quanto riguarda l'induzione magnetica a bassa frequenza, si eseguiranno sempre le misure esplorative e le misure puntuali in almeno un punto per ogni locale in cui risulta suddiviso il rotabile. Le misure

puntuali in ulteriori punti ed eventualmente i livelli di approfondimento successivi saranno applicati solo nei casi in cui i valori rilevati risultino significativi.

1.4 - Classificazione e scelta dei punti di misura

Come si è già avuto modo di accennare, uno degli scopi di questa procedura è quello di effettuare misure approfondite nel minor numero di punti possibile, senza che ciò pregiudichi la validità e la rappresentatività dei risultati.

Ai fini della descrizione della procedura, si distinguono le tre diverse tipologie di punti di misura, elencate nel seguito.

- Un insieme di punti fissati a priori (**punti A**, individuati nel corso dell'analisi preliminare del rotabile e posti tipicamente in corrispondenza delle postazioni di lavoro, oppure in prossimità di particolari sorgenti).
- Un limitato numero di eventuali punti aggiuntivi (**punti B**) nei quali eseguire le misure puntuali, scelti in base ai risultati di **misure di campo esplorative** (livello 1).
- Un'eventuale insieme di punti (**punti C**) che caratterizzano i livelli di campo in un volume in cui sono stati riscontrati valori di campo/indice tali da rendere necessari degli approfondimenti dosimetrici. Tali punti saranno individuati secondo uno schema spaziale predefinito, mirato alla successiva esecuzione dei calcoli dosimetrici.

Nell'elenco che segue si descrive brevemente in che modo ciascuna tipologia di punti è coinvolta nei diversi livelli di approfondimento.

- Durante le **misure esplorative (livello 1)** si mira alla caratterizzazione dei **punti A** (individuati su base documentale o comunque nel corso dell'analisi preliminare) e all'individuazione degli eventuali **punti B**. In particolare si effettuano misurazioni di una grandezza di riferimento nei **punti A** e si cercano eventuali punti aggiuntivi in cui si manifestano dei massimi locali della grandezza misurata (**punti B**).
- Durante le **misure puntuali (livello 2)** si eseguono misure approfondite, in un limitato numero di punti (di tipo A o B) scelti o individuati durante le misure esplorative. Inoltre, nel caso le misure esplorative abbiano evidenziato dei superamenti dei limiti di esposizione, si individua per ciascuno di essi un punto CM (quello in cui si verifica il massimo assoluto dell'esposizione) e si effettuano presso di esso misure analoghe a quelle effettuate nei punti A e B. Il punto CM si differenzia dai relativi punti A/B perché non è necessariamente caratterizzato dalle distanze dal piano di calpestio definite nella EN50500.
- Durante le **misure per la zonizzazione (livello 3)** ci si muove intorno ai **punti di tipo A e B** in cui le misure esplorative e le misure puntuali hanno evidenziato dei superamenti, cercando di determinare i confini delle aree all'interno delle quali avvengono i superamenti stessi.
- Le **misure per la dosimetria (livello 4)** caratterizzano la distribuzione di campo in un volume attraverso la misura del campo stesso in un insieme di punti (**punti C**) disposti secondo uno schema predefinito e localizzati presso un massimo locale della grandezza assunta come riferimento durante le misure esplorative.

1.4.1 - Criteri generali per la scelta dei punti di tipo A e B

I criteri che guidano la scelta dei punti di tipo A e B si ispirano a quelli definiti nello standard CEI EN 50500. Gli aspetti in comune con lo standard sono quelli che riguardano le distanze dal piano di calpestio e dalle superfici in generale. Ci si discosta invece dallo standard quando non ci si riferisce **esclusivamente** all'identificazione delle principali sorgenti di emissione del treno, in quanto la necessaria conoscenza a priori di tali sorgenti non può in generale darsi per scontata. Come già accennato, per integrare le informazioni si rimedia a tale difetto di conoscenza prevedendo una fase di misure esplorative. D'altra parte, le misure esplorative possono essere considerate come un complemento dello studio dei dettagli costruttivi del rotabile considerato ed in tal senso organiche all'impianto della EN50500.

I criteri generali per la scelta dei punti A e B possono pertanto essere così riassunti.

- I punti devono essere situati in aree dove di solito gli addetti ai lavori possono trovarsi nelle normali condizioni di esercizio del treno.
- In generale, tra i punti di tipo A ci sono quelli vincolati alle postazioni di lavoro, se ne esistono di ben localizzate. Sicuramente un punto (di tipo A) è posizionato in corrispondenza del posto di guida.
- Altri punti di tipo A sono quelli individuati in prossimità delle sorgenti di CEM all'interno del veicolo (dispositivi, o elementi strutturali) individuate nella analisi documentale preliminare.
- In aree accessibili da soli lavoratori, i punti di tipo A e B sono posti a 0.9 e 1.5 m dal piano di calpestio e ad almeno 0.3 m dalle pareti (EN 50500, par 4.2.1).
- In aree accessibili al pubblico i punti di tipo B sono posti a 0.3 0.9 e 1.5 m dal piano di calpestio e ad almeno 0.3 m dalle pareti (EN 50500, par 4.2.2).

1.4.2 - La definizione dei locali del materiale rotabile durante l'analisi preliminare

Ai fini della riduzione dei punti in cui effettuare approfondimenti ed elaborazioni la procedura prevede di suddividere il materiale rotabile in **locali** (o zone), dove per locale si intende un ambiente separato dagli altri da porte, divisori, rampe o scale. Gli esempi di applicazione della procedura riportati come allegati si riferiscono a due casi molto diversi da questo punto di vista. Il primo è un locomotore in cui la definizione dei locali è univoca e si distinguono chiaramente cabina, corridoio e vestibolo. Nel secondo caso, caratterizzato da superfici più ampie e spazi meno delimitati, sono invece stati individuati ben 9 locali. La definizione dei locali permette la riduzione del numero di punti in quanto, se non si verificano superamenti, saranno eseguiti approfondimenti in un solo punto per ciascuno di essi. In questa ottica 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.

Nella definizione dei locali si tiene in conto anche della eventuale simmetria del materiale rotabile, in modo da non ripetere misure in locali considerabili come equivalenti. Ciò può essere utile anche per gestire gli eventuali cambi di banco durante le prove effettuate con materiale rotabile in condizioni dinamiche.

1.4.3 - I punti di tipo A

Come già detto, tra i punti di tipo A ci sono senza dubbio quelli corrispondenti alle postazioni di lavoro ben localizzate. In Fig. 1 e Fig. 2, si considera la struttura di una generica cabina di guida, nella quale alcuni possibili punti di tipo A sono indicati con il prefisso CAB ed i numeri 5, 8, 23 e 26. I punti e la simbologia adottata sono ripresi dalle specifiche di misura Trenitalia, dove sono stati considerati i soli punti corrispondenti alle postazioni di lavoro e che rispondono ai criteri sopra elencati. In particolare i punti CAB 5 e CAB 23 sono posti a 0.9 m da terra mentre i punti CAB 8 e CAB 26 sono posti a 1.5 m da terra.

Quando si parla di *possibili* punti di tipo A si intende che durante le misure puntuali non necessariamente si devono considerare tutti i quattro punti rappresentati nelle figure. Ad esempio si eseguiranno le misure esplorative nei quattro punti e, salvo che non si verifichino valori dell'indice di riferimento particolarmente intensi (si approfondirà questo aspetto per ogni tipologia di campo nel successivo capitolo dedicato alle misure esplorative), si eseguiranno misure approfondite solo in quello in cui si è misurato la massima esposizione.

In aggiunta, nell'elenco dei punti A, si inseriscono quelli posti in prossimità di sorgenti di CEM individuate su base documentale. Anche in questo caso, è possibile prevedere due diverse strategie di utilizzo di tali eventuali punti nell'ambito della procedura. Ci si può affidare, come nel caso precedente, ai risultati delle misure esplorative, per stabilire in quali di questi punti eseguire misure approfondite. Alternativamente, si può decidere di procedere comunque agli approfondimenti, indipendentemente dai risultati delle misure esplorative. La scelta della metodologia dipende dalla natura della sorgente individuata, in particolare dalle condizioni che la portano a manifestare i suoi effetti in termini di campo magnetico attorno ad essa. Se tali condizioni, per funzionamento del veicolo e dinamica di velocità, non sono riproducibili nelle prove esplorative, si eseguiranno

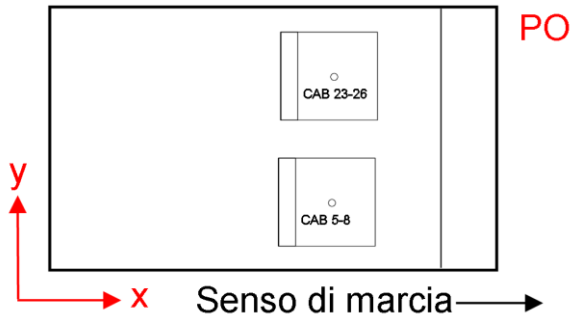


Fig.1: punti di tipo A in cabina di guida, piano orizzontale.

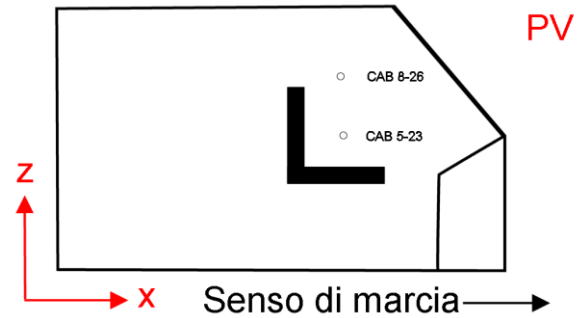


Fig.2: punti di tipo A in cabina di guida, piano verticale.

senz'altro misure puntuali². Nella successiva descrizione della procedura (ed in particolare nei diagrammi a blocchi) si farà riferimento alla prima di queste strategie. Tuttavia, ciò non toglie di generalità alla trattazione, in quanto l'adozione della seconda strategia comporta solo un aumento del numero dei punti A in cui si procede agli approfondimenti.

1.4.4 - I punti di tipo B

I punti di tipo B non si riferiscono a postazioni di lavoro ben definite ma sono invece il frutto di una ricerca del massimo della grandezza misurata durante le misure esplorative. Sulla procedura di ricerca di tali punti torneremo in seguito quando parleremo di misure esplorative.

1.4.5 - I punti di tipo C

Le misure nei punti di tipo C si effettuano nell'ultimo dei quattro livelli di approfondimento in cui si articola la procedura, cioè quello dedicato alla valutazione dosimetrica. In questo paragrafo ci si limita a descrivere in generale la disposizione spaziale dei punti e i criteri in base ai quali tale disposizione è stata scelta. Per i dettagli sulla esecuzione delle misure di quarto livello si rimanda ad eventuali documenti specifici.

Il punto CM di massimo assoluto finalizzato ad un'analisi dosimetrica con campo omogeneo

Si tratta del punto in cui si manifesta il massimo assoluto della grandezza misurata, localizzato in corrispondenza di un punto A o B in cui si è rilevato un superamento dei limiti normativi. Se ciò avviene, si individua il punto CM, cercando l'altezza dal piano di calpestio in corrispondenza della quale si ottiene l'indice massimo. Questo punto può riferirsi sia ad una postazione di lavoro (e quindi ad un punto di tipo A), sia ad un massimo locale del campo in zone di passaggio (e quindi ad un punto di tipo B). I punti CM dovranno comunque rispettare il vincolo di 30 cm dalle superfici interne del rotabile.

I punti C finalizzati ad un'analisi dosimetrica con campo non omogeneo

Come si può notare in Fig.3 e Fig.4, l'insieme dei punti di tipo C riferito ad una singola postazione di lavoro è composto da 27 punti di misura, suddivisi in 3 piani orizzontali, ciascuno dei quali contiene 9 punti. Ciascun punto è denominato con la sigla C_{ZYX} dove Z, Y e X sono tre indici interi compresi tra 0 e 2. L'indice Z individua il piano orizzontale a cui il punto appartiene (0 indica il piano più basso 2 il più alto) mentre gli altri due indici individuano la posizione del punto nel grigliato di 9 punti di ciascun piano.

² In ogni caso, a questo proposito, è comunque opportuno tenere presente che lo standard EN-50500, al paragrafo 5.3.2, indica che "Transients with a duration of less than 1 s, e.g. during switching events, can be disregarded".

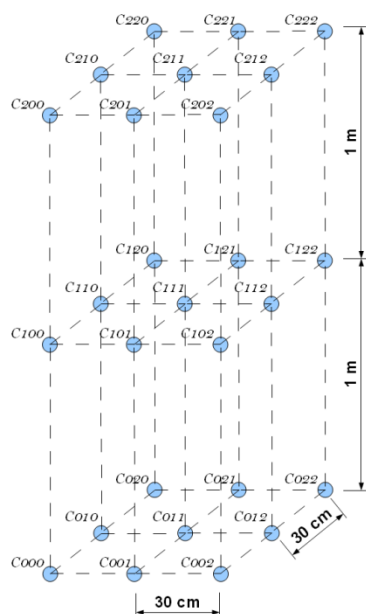


Fig.3: griglia dei punti di tipo C nel caso di postazione di lavoro che comporta una postura eretta.

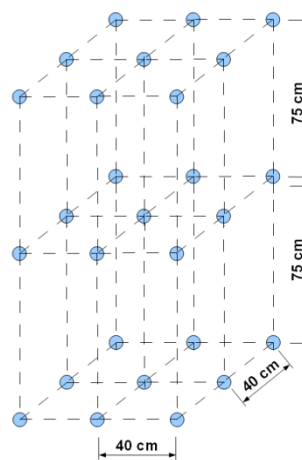


Fig.4: griglia dei punti di tipo C nel caso di postazione di lavoro che comporta una postura seduta.

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 la 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.

D'altra parte, la distanza dei punti più bassi dal piano di calpestio e più in generale la distanza di qualsiasi punto dalle superfici più vicine dovrebbe essere superiore ad almeno 2 volte le dimensioni del sensore. Questo vincolo, nel caso di ambienti angusti, potrebbe portare a dover ridurre le distanze tra i punti rispetto a quelle raccomandate ed illustrate in Fig.3 e Fig.4. Per tali ragioni le misure di quarto livello dovrebbero essere eseguite con sensori più piccoli di quelli utilizzati durante le misure esplorative e di approfondimento.

1.5 - Misure esplorative

Le misure esplorative costituiscono il primo dei quattro livelli di approfondimento in cui si articola la procedura di misura qui presentata. Esse rivestono una grande importanza in quanto i risultati che si ottengono condizionano il percorso da intraprendere nelle fasi successive e più in generale perché la loro esecuzione rende meno stringente la necessità di uno studio a priori delle specifiche del particolare rotabile in prova.

Il risultato atteso da questa fase è la determinazione dell'insieme di punti in cui saranno eseguite le successive e più approfondite misure puntuali, cioè quelle da confrontare con i pertinenti limiti definiti dalla normativa. Insieme alla posizione dei punti, si registra il valore della grandezza misurata, anche se quest'ultimo non costituisce risultato della procedura di misura, ma solo un suo prodotto intermedio.

È necessario dedicare a questa fase particolare attenzione, sia durante la pianificazione della campagna - prevedendo tempi congrui - sia durante l'esecuzione delle misure.

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. 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. Come vedremo in seguito, in alcuni casi sarà necessario usare strumentazione dedicata, che fornisce un risultato pesato con i limiti, in altri si faranno invece ipotesi semplificative che permetteranno di confrontare una misura di campo con un valore limite fissato, anche in presenza di livelli di riferimento variabili con la frequenza.

Visto che la normativa definisce i limiti di esposizione per i lavoratori e per la popolazione generale, è necessario stabilire quale versione considerare durante le misure. L'approccio più corretto dal punto di vista normativo sarebbe quello di considerare i limiti di esposizione per i lavoratori se ci si trova in locali interdetti all'accesso del pubblico e adottare quelli per la popolazione in caso contrario. Tuttavia, specialmente nel caso in cui i livelli di esposizione siano molto bassi, al fine di evitare di misurare solo rumore può essere opportuno misurare l'indice più sensibile implementato dalla strumentazione, indipendentemente dal fatto che il locale del rotabile considerato sia o meno aperto al pubblico. Questo secondo approccio offre anche l'ulteriore vantaggio di non rendere necessario cambiare le impostazioni della strumentazione durante le misure esplorative.

Le misure esplorative non hanno, come si è detto, particolare rilevanza dal punto di vista protezionistico, infatti i valori significativi saranno determinati durante le misure puntuali e le successive elaborazioni. Tuttavia i risultati delle misure di primo livello hanno una notevole importanza nell'ambito della procedura in quanto è in base a questi che si decide il livello di approfondimento delle successive fasi. Inoltre, elaborando i risultati acquisiti negli stessi punti durante le eventuali successive misure puntuali, è possibile verificare se si ricavano indici di esposizione simili a quelli rilevati durante le misure esplorative. Se ciò accade si è indirettamente verificato che i risultati delle misure puntuali rappresentano la situazione verificatasi durante le misure esplorative, sulla base della quale sono stati scelti i punti in cui effettuare gli approfondimenti. È necessario però osservare che tale riscontro sarà possibile e significativo solo nei casi in cui le misure esplorative e quelle puntuali sono eseguite nelle stesse condizioni, con particolare riferimento al regime di marcia del rotabile.

Le misure esplorative riguardano inizialmente le **postazioni di lavoro** ben definite, come ad esempio i posti di guida o il banco riservato al capo treno in un vestibolo. Oltre a tali postazioni, in questa fase è necessario *esplorare* tutti i **locali** del rotabile. All'interno di ciascun locale si individuano poi tutte le **aree accessibili**, ovvero le aree in cui il lavoratore può accedere durante il normale esercizio del rotabile, anche se solo di passaggio. La distinzione tra locali e le aree in essi contenute è necessaria in particolar modo in ambienti come i corridoi di servizio di alcuni locomotori che, essendo molto lunghi, possono presentare al loro interno condizioni di esposizione differenziate.

Il diagramma a blocchi di Fig.5 descrive come si svolge una generica sessione di misure esplorative. Nel diagramma si indica con **IdR** (che sta per Indice di Riferimento) la grandezza misurata che, come si è detto, dipende dalla tipologia di campo indagata. Come si può notare nello schema, inizialmente si misura IdR in tutti i punti A corrispondenti alle postazioni di lavoro e si prende nota sia della posizione precisa del punto P_A sia del valore di IdR ivi misurato. Terminata la ricognizione delle postazioni di lavoro, 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 prima parte della relazione (1). La seconda parte della espressione (1) sta a significare che si procederà comunque ad approfondimenti in tutti i punti in cui le misure esplorative determinano superamenti dei limiti di esposizione.

$$\begin{cases} IdR_B > \max[IdR_A] \\ 1 \leq IdR_B \end{cases} \quad (1)$$

Nei casi in cui in un locale del rotabile non siano state individuate postazioni di lavoro si cercano i punti di massimo di IdR.

Criteria per la riduzione del numero di punti di tipo A e B nei quali effettuare approfondimenti

In generale sarà possibile che nello stesso locale si individuino più di un punto di massimo locale di IdR che soddisfi la condizione (1). Tuttavia, al fine di limitare il numero di punti nei quali eseguire le misure puntuali, sono stati previsti dei criteri secondo i quali è possibile scartarne alcuni (sia di tipo A sia di tipo B) che pure erano stati inizialmente considerati; nel seguito si elencano alcuni esempi di tali criteri.

- Per ogni punto determinato in pianta le misure esplorative selezionano uno ed un solo punto (di tipo A o B) corrispondente all'altezza dal piano di calpestio (scelta tra quelle ammissibili) in corrispondenza della quale si è misurato il maggior valore di IdR.

- Se i valori di IdR misurati sono inferiori all'unità, in genere si considera un solo punto di tipo A per ogni locale. Qualora nello stesso locale vi siano più postazioni di lavoro si considera il punto nel quale si è registrato il maggior valore di IdR.
- Si considerano comunque tutti i punti di tipo A e B nei quali si misura $IdR > 1$.
- Se i valori di IdR misurati sono inferiori all'unità, in genere si considera 1 punto di tipo B per ogni locale, tuttavia nel caso di locali articolati e ricchi di sorgenti nei quali vi siano più punti di massimo locale, si valuta caso per caso se considerare un solo punto oppure più di uno. Tale scelta può essere effettuata ad esempio sulla base delle seguenti considerazioni.
 - Se in un punto si misura un indice IdR significativamente più alto che negli altri nello stesso locale, allora si considera solo quello.
 - Se gli indici misurati in diversi punti dello stesso locale sono dello stesso ordine di grandezza si conservano tutti se si sospetta che le esposizioni possano essere provocate dalla vicinanza ad apparati diversi.

1.5.1 - Strumentazione di misura

Trattandosi di misure per molti versi preliminari, per la loro esecuzione non è strettamente necessario rispettare in modo rigido tutti i requisiti definiti dalla normativa tecnica. D'altra parte, sarebbe opportuno che i risultati delle misure esplorative fossero confrontabili con quelli delle successive misure puntuali negli stessi punti. Ad esempio, durante le misure esplorative si potrà impugnare lo strumento, senza cavalletto, in tutti quei casi in cui ci si aspetta che la presenza dell'operatore influisca poco sul risultato della misura: in caso contrario, sarà indicato usare opportuni accorgimenti (cavalletti o prolunghe). Con riferimento alla ripetibilità dei risultati, sarebbe opportuno usare per le misure esplorative gli stessi sensori che si useranno poi per le misure puntuali.

1.5.2 - Regimi di corsa in condizioni dinamiche

Le misure esplorative in condizioni dinamiche del rotabile non sono eseguite durante una corsa-tipo (massima accelerazione, mantenimento e massima decelerazione) come quella specificata nella norma EN50500; ciò nonostante, dovranno effettuarsi misure sia in fase di accelerazione sia in fase di frenatura, anche se in condizioni meno vincolanti di quelle previste dalla norma.

Durante tutte le prove effettuate, in condizioni dinamiche, nel corso delle campagne fin qui eseguite, i massimi dell'esposizione si sono manifestati in trazione o in frenatura, mentre in fase di coasting (mantenimento) i valori di campo o di indice sono sempre stati sensibilmente inferiori.

Conseguentemente, durante le misure esplorative in condizioni dinamiche si è dato indicazione al personale di macchina di far muovere il rotabile secondo un regime di marcia nel quale la velocità oscilla tra due valori non troppo distanti (compatibili con la tratta percorsa, ad esempio tra 60 e 100 km/h o tra 100 e 150 km/h). Le oscillazioni dovrebbero avvenire sfruttando la massima trazione e la massima frenata elettrica supportate dal rotabile.

Durante la ricerca dei punti B, la durata del singolo ciclo di accelerazione/frenata dovrebbe essere sufficiente a esplorare un singolo locale ad altezza fissata dal piano di calpestio, tenendo presente che in ogni punto le misure dovrebbero caratterizzare sia la fase di accelerazione sia la frenata.

Durante le misure esplorative nei punti A, nei quali non si devono effettuare ricerche e lo strumento rimane fermo in ciascun punto per un intero ciclo accelerazione/frenata, può essere conveniente adottare cicli più brevi in modo da velocizzare le misure.

1.5.3 - Ordine di esecuzione delle prove in relazione alle tipologie di campo

Tutte le prove effettuate hanno confermato che la tipologia di campo che da luogo ai livelli di esposizione più vicini ai rispettivi limiti è BBF (induzione magnetica a bassa frequenza). Di conseguenza è spesso conveniente eseguire prima le misure esplorative di BBF, per poi proseguire con BST e poi, con ordine indifferente, con EBF, EAF/BAF.

Nei casi in cui, nei locali nei quali non sono definite postazioni fisse di lavoro, le misure esplorative di BST e delle altre tipologie di campo non evidenzino livelli di esposizione significativi, possono essere utilizzati come punti B quelli precedentemente determinati per BBF. Così facendo si intende contrastare l'inutile proliferazione di punti ed il conseguente appesantimento della reportistica.

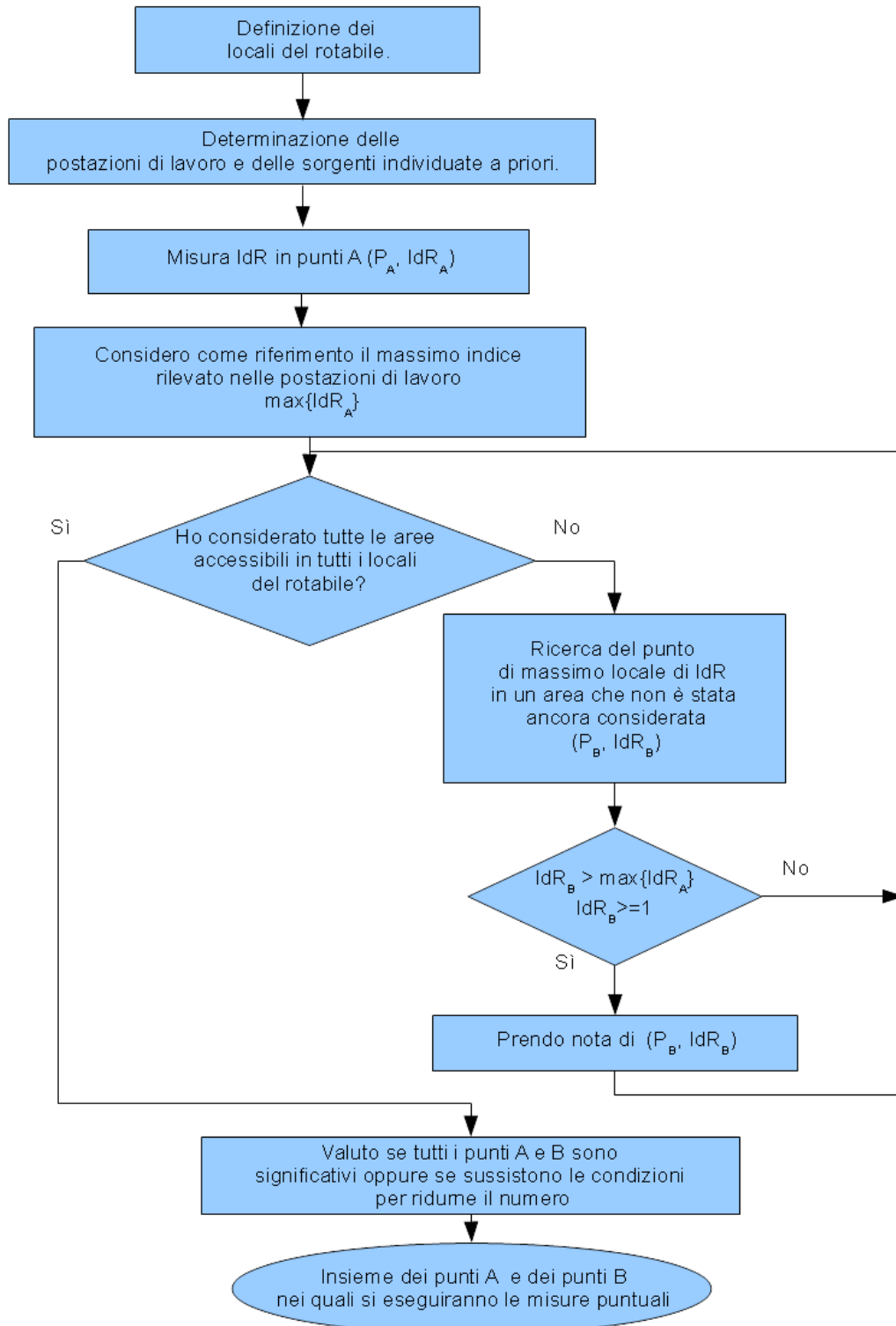


Fig.5: diagramma di flusso di una generica sessione di misure esplorative.

Nei seguenti paragrafi si elencano per punti le specificità delle misure esplorative per ciascuna tipologia di campo considerata.

1.5.4 - BBF (valutazione vincolante ai sensi della EN50500)

- Grandezza misurata: indice determinato secondo il metodo del *picco ponderato* (indice WP). Si tratta di uno dei due metodi di valutazione previsti dallo standard EN50500, in particolare nel paragrafo 5.3.2.2. Questo metodo può essere implementato sia nel dominio della frequenza sia nel dominio del tempo; lo standard EN50500 si riferisce alla seconda soluzione, che è anche quella generalmente implementata nella strumentazione di misura. L'altro metodo previsto dalla EN50500 (metodo FFT, descritto nel paragrafo 5.3.2.1) non è invece adatto per essere utilizzato nelle misure esplorative, poiché richiede l'acquisizione delle forme d'onda dell'induzione magnetica e la loro successiva elaborazione, cosa che difficilmente può essere effettuata contestualmente alla misura.
- Modalità di raccolta dei dati: valori riportati in appositi moduli cartacei o elettronici.
- Limiti di riferimento: ci si riferisce agli indici di esposizione che integrano i limiti definiti nella Direttiva EU2013/35.
- Banda di frequenza.
 - Limite superiore. L'intervallo di frequenze entro il quale devono essere considerati gli effetti di stimolazione ha un limite superiore pari 10 MHz. D'altra parte la norma EN50500 permette di limitare l'analisi a 20 kHz. La strumentazione attualmente disponibile sul mercato per queste applicazioni invece ha una banda passante limitata a frequenze dell'ordine delle centinaia di kHz. Pur essendo accettabile qualsiasi valore superiore a 20 kHz, si consiglia di effettuare le misure esplorative con la più ampia banda disponibile.
 - Limite inferiore. Gli effetti di stimolazione si riferiscono a frequenze superiori ad 1 Hz. La norma EN50500 giustificherebbe l'esclusione dell'intervallo 1-5 Hz dal campo di analisi. Si consiglia di utilizzare il più piccolo limite inferiore di banda supportato dalla strumentazione utilizzata, che è dell'ordine di uno o più hertz per quella attualmente disponibile sul mercato.
- Caratteristiche del sensore: isotropo, possibilmente con superficie utile totale di 100 cm² (ai fini di verifica è utile soddisfare questo requisito che è vincolante per l'esecuzione delle misure puntuali).
- Dinamica dello strumento: 0.05% – 200%
- Modalità di impiego: è possibile effettuare le misure con lo strumento impugnato.

1.5.5 - BST (valutazione vincolante ai sensi della EN50500)

- Grandezza misurata: valore istantaneo dell'induzione magnetica.
- Modalità di raccolta dei dati: valori riportati in appositi moduli cartacei o elettronici.
- Limiti di riferimento: ci si riferisce ai limiti definiti nella Direttiva 2013/35³ che possono essere riassunti come segue:
 - 400 mT per la popolazione;
 - 0.5 mT (3mT) è il valore oltre il quale si escludono rischi in casi particolari legati a portatori di dispositivi medici impiantati (ai pericoli dovuti a oggetti volanti);
 - 2 T per i lavoratori;

³ L'ICNIRP ha pubblicato nel 2014 le linee guida dedicate agli effetti provocati dal movimento di un soggetto in un campo magnetostatico. Queste nuove linee guida non sono state al momento recepite in atti con valore giuridico; per tale motivo, esse non sono state considerate nella stesura di questa procedura, che dovrà pertanto essere aggiornata se e quando il contesto normativo maturerà in tal senso.

- 8 T per i lavoratori, arti e esposizioni controllate;
- Banda di frequenza: 0-1 Hz.
- Caratteristiche del sensore: isotropo di dimensioni non specificate nella normativa.
- Dinamica dello strumento: 20 mT – 4T.
- Modalità di impiego: è possibile effettuare le misure con lo strumento impugnato. In condizioni statiche del rotabile è però conveniente, una volta individuato il punto di tipo A o B, effettuare una misura (con cavalletto, ad altezza normata) in modo da poterla utilizzare anche come misura puntuale.

1.5.6 - EBF (valutazione non vincolante ai sensi della EN50500)

- Grandezza misurata: indice WP. Valgono le stesse considerazioni fatte per l'induzione magnetica a bassa frequenza, anche se in questo caso lo standard EN50500 non impone di effettuare la valutazione.
- Modalità di raccolta dei dati: valori riportati in appositi moduli cartacei o elettronici.
- Valore limite di riferimento: valgono le stesse indicazioni date per l'induzione magnetica a bassa frequenza, salvo notare che le linee guida ICNIRP più recenti introducono livelli di riferimento mediamente più bassi di quelle precedenti.
- Banda di frequenza:
 - Limite superiore. L'intervallo di frequenze entro il quale devono essere considerati gli effetti di stimolazione ha un limite superiore pari 10 MHz. La limitazione a 20 kHz introdotta nella norma EN 50500 si riferisce alla sola induzione magnetica. La strumentazione attualmente disponibile sul mercato invece ha una banda passante limitata a frequenze dell'ordine delle centinaia di kHz. Si consiglia di effettuare le misure esplorative con la più ampia banda disponibile.
 - Limite inferiore. Gli effetti di stimolazione si riferiscono a frequenze superiori ad 1 Hz. Si consiglia di utilizzare il più piccolo limite inferiore di banda supportato dalla strumentazione utilizzata.
- Dinamica dello strumento: 0.05% – 200%
- Modalità di impiego: misure da effettuare usando un cavalletto di materiale isolante e mantenendo la massima distanza possibile tra strumento ed operatore. Durante la ricerca dei punti di massimo locale muoversi impugnando il cavalletto o un'apposita prolunga in materiale isolante.

1.5.7 - EAF e BAF (valutazioni non vincolante ai sensi della EN50500)

Per esposizioni ad alta frequenza si intendono quelle che danno luogo ad effetti di tipo termico, che si manifestano per frequenze maggiori di 100 kHz. I limiti di esposizione per la prevenzione degli effetti termici assumono i valori più bassi per frequenze comprese fra 10 e 400 MHz e questi valori sono costanti con la frequenza. È quindi opportuno confrontare con essi i valori rilevati durante le misure esplorative, per le quali potranno essere vantaggiosamente impiegate le sonde a larga banda. In questo modo, si introduce ovviamente un notevole margine di cautela, in quanto non è detto che la misura si riferisca ad un CEM con uno spettro prevalentemente contenuto nella banda 10 – 400 MHz. Inoltre, i valori limite previsti dalle normative si riferiscono a medie su 6 minuti, mentre le misure esplorative, per praticità, riguardano i valori efficaci misurati su intervalli di tempo dell'ordine del secondo o frazioni di secondo (a seconda della strumentazione utilizzata). Ciò introduce un ulteriore fattore di cautela, che può essere anche molto ampio nel caso di esposizioni intermittenti.

Poiché, infine, l'esposizione a campi ad alta frequenza a bordo treno può avvenire anche in zona di campo reattivo, il campo elettrico e il campo magnetico devono essere considerati agenti fisici indipendenti e misurati entrambi con sensori specifici. Per questo motivo, nel seguito si considerano separatamente la componente elettrica e quella magnetica. A tal proposito, la specifica Trenitalia TI.UTMR.CEM003.0 indica che l'unica misura significativa ad alta frequenza dovrebbe essere quella di campo magnetico a frequenze comprese

tra 100 kHz e 30 MHz. Anche in considerazione di ciò, si è scelto di valutare la componente elettrica in un intervallo di frequenze che comprende sia le esposizioni in regime reattivo, sia quelle in regime radiativo, con un limite superiore di frequenza determinato dalla strumentazione disponibile. Per quanto riguarda la componente magnetica, ci si può limitare a considerare solo le esposizioni in regime reattivo nella banda di frequenza indicata dalla specifica di misura Trenitalia citata sopra.

EAF

- Grandezza misurata: se disponibile, usare strumentazione in grado di restituire una misura pesata con il limite. Alternativamente misurare il valore efficace del campo elettrico (tempo di media breve, i 6 minuti saranno considerati durante le eventuali misure puntuali).
- Modalità di raccolta dei dati: valori riportati in appositi moduli cartacei o elettronici.
- Limite di riferimento: se il risultato della misura non è già pesato con il limite, ci si riferisce ai valori più bassi nell'intervallo di frequenze di interesse dei livelli di azione della Direttiva 2013/35.
 - 61 V/m per i lavoratori;
 - 28 V/m per la popolazione.
- Banda di frequenza.
 - Teorica: 100 kHz-300 GHz.
 - Strumentazione: 100 kHz-alcuni GHz.
- Modalità di impiego: misure da effettuare usando un cavalletto di materiale isolante e mantenendo la massima distanza possibile tra strumento ed operatore. Durante la ricerca dei punti di massimo locale muoversi impugnando il cavalletto o un'apposita prolunga in materiale isolante.

BAF

- Grandezza misurata: se disponibile, usare strumentazione in grado di restituire una misura pesata con il limite. Alternativamente, misurare valore efficace del campo magnetico o dell'induzione magnetica.
- Modalità di raccolta dei dati: valori riportati in appositi moduli cartacei o elettronici.
- Limiti di riferimento: se il risultato della misura non è già pesato con il limite, ci si riferisce ai valori più bassi nell'intervallo di frequenze di interesse dei livelli di azione indicati dalla Direttiva 2013/35.
 - 0.16 A/m o 0.2 μ T per i lavoratori;
 - 0.073 A/m o 0.92 μ T per la popolazione.
- Banda di frequenza: 100 kHz-30 MHz (la limitazione a 30 MHz si ispira alla specifica di misura Trenitalia, tutte le esposizioni che avvengono in regime radiativo sono già valutate con la componente elettrica).
- Modalità di impiego: misure da effettuare preferibilmente usando un cavalletto di materiale isolante e mantenendo la massima distanza possibile tra strumento ed operatore. Durante la ricerca dei punti di massimo locale muoversi impugnando il cavalletto o un'apposita prolunga in materiale isolante.

1.6 - Misure puntuali

Le misure puntuali sono effettuate in un sottoinsieme dei punti P_A e P_B considerati durante le misure esplorative. Trattandosi di misure i cui risultati sono significativi dal punto di vista protezionistico, esse devono essere necessariamente svolte osservando le pertinenti norme tecniche.

Le misure puntuali, a differenza di quelle esplorative, non sono necessariamente di immediata interpretazione. Nel caso dell'induzione magnetica a bassa frequenza, ad esempio, è necessaria una elaborazione successiva alla misura per ottenere gli indici di esposizione desiderati. Infatti, durante le misure puntuali, si mira ad acquisire dati anche nell'ottica di una loro archiviazione, in modo che, se necessario, sia possibile elaborarli a distanza di tempo, eventualmente riferendosi a limiti di sicurezza o metodi di valutazione differenti da quelli originariamente previsti.

L'archiviazione dei dati e la loro elaborazione fuori linea sono utilizzate per la tipologia di campo indicata come più critica dalla normativa, cioè quella che più probabilmente può dar luogo al superamento dei limiti. Per le altre tipologie, come vedremo, le misure puntuali possono essere simili alle misure esplorative (in alcuni casi si fanno coincidere le due fasi) e diventano più approfondite solo in caso siano presenti valori di campo vicini o superiori ai limiti.

Punti di massimo assoluto in corrispondenza di eventuali superamenti (punti CM)

Qualora in uno o più punti A e/o B individuati, l'indice di riferimento IdR superi l'unità, è opportuno considerare delle azioni aggiuntive finalizzate alla ricerca del punto di massimo assoluto di IdR, detto P_{CM} nel seguito, svincolandosi dalle altezze dal piano di calpestio previste dalla normativa tecnica.

Le misure in P_{CM} sono utilizzate per stabilire il livello massimo di esposizione da utilizzare in analisi dosimetriche semplificate che considerano il soggetto esposto ad una distribuzione di campo, omogenea nello spazio, con intensità pari a quella rilevata nel punto P_{CM} stesso.

La ricerca dei punti CM si effettua contestualmente alle misure puntuali, considerando l'indice di esposizione IdR misurato durante le prove esplorative. Una volta individuato il punto di massimo si procede ad effettuare la misura del campo come nel punto P_A/P_B corrispondente. In condizioni dinamiche le misure si devono riferire ad una corsa tipo del rotabile.

La dosimetria con campo disomogeneo e le onerose misure necessarie ad eseguirla, saranno effettivamente necessarie solo se la dosimetria con campo omogeneo evidenzierà una non conformità ai valori limite di esposizione.

1.6.1 - BBF (valutazione vincolante ai sensi della EN50500)

- Grandezza misurata: valore istantaneo dell'induzione magnetica.
- Modalità di raccolta dei dati:
 - acquisizione simultanea delle forme d'onda delle tre componenti cartesiane del campo (per esempio mediante sistema di acquisizione collegato ad uscite analogiche della strumentazione di misura);
 - sensore possibilmente orientato in modo da avere allineamento tra un asse di misura e la direzione delle rotaie.
 - frequenza di campionamento:
 - almeno in un punto (possibilmente quello in cui le misure esplorative hanno evidenziato il valore maggiore di indice), una acquisizione alla massima frequenza di campionamento supportata dal sistema di acquisizione, utilizzando il sensore di campo come filtro anti-aliasing. L'acquisizione dovrà rappresentare un tempo di osservazione più breve rispetto alle misure a regime, ma sufficiente per ottenere una risoluzione spettrale adeguata (ad esempio 1s);
 - in tutti gli altri punti del rotabile usare i parametri di misura definiti nella EN50500, cioè frequenza di campionamento superiore a 40 kS/s e durata dell'acquisizione variabile in funzione delle condizioni del rotabile;
 - durata dell'acquisizione:

- rotabile in condizioni statiche: 30-60 s;
- rotabile in condizioni dinamiche: acquisizione dell'intera corsa-tipo composta dalle seguenti fasi:
 - partenza da fermo fino alla massima velocità con massima accelerazione;
 - almeno 10 s a velocità massima costante;
 - decelerazione con massima frenatura elettrica fino all'arresto.
- NB: oltre alla eventuale registrazione delle forme d'onda del campo, annotare a parte l'intensità di picco del campo visualizzata sul display dello strumento (ai fini sia della verifica delle impostazioni dello strumento sia di validazione dei dati acquisiti).
- Caratteristiche del sensore: isotropo, triassiale, con superficie totale utile pari a 100 cm².

1.6.2 - BST (valutazione vincolante ai sensi della EN50500)

- In generale le misure puntuali avvengono con le stesse modalità con cui sono state effettuate le misure esplorative.
- In condizioni statiche del rotabile si possono assumere validi i risultati delle misure esplorative.
- In condizioni dinamiche del rotabile le misure puntuali devono essere effettuate durante la corsa-tipo definita nella EN50500 (in un sottoinsieme dei punti P_A e P_B).
- In condizioni dinamiche del rotabile annotare in appositi moduli cartacei/elettronici:
 - massima intensità del campo in accelerazione;
 - massima intensità del campo in fase di mantenimento;
 - massima intensità del campo in fase di frenata;
 - se possibile memorizzare anche l'intensità del campo con treno fermo, anche per confronto/verifica con i risultati delle misure in condizioni statiche.

1.6.3 - EBF (valutazione non vincolante ai sensi della EN50500)

- Grandezza misurata: valore istantaneo del campo elettrico. Se non si dispone di strumentazione adeguata è possibile ricorrere ad una misura di indice, con tutte le limitazioni del caso (prime fra tutte quelle che ogni misura si riferirà ad un singolo limite di esposizione e che non sarà possibile determinare un indice diverso mediante elaborazione, se non ricorrendo ad approssimazioni).
- Modalità di raccolta dei dati: la norma 50500 si riferisce alla sola induzione magnetica: per omogeneità, sarebbe opportuno riferirsi ad essa per quanto riguarda frequenza di campionamento, durata delle acquisizioni ed allineamento degli assi di misura alle rotaie.

1.6.4 - EAF e BAF (valutazione non vincolante ai sensi della EN50500)

Nel caso sia necessario procedere a misure puntuali, l'obiettivo principale di queste sarà di comprendere quali sono le frequenze principali che caratterizzano lo spettro del campo. Per fare ciò è necessario procedere con misure cosiddette 'a banda stretta' ovvero che permettono di ricavare lo spettro del campo. Per raggiungere questo obiettivo è possibile utilizzare sia catene di misura complesse, i cui componenti principali sono un'antenna e l'analizzatore di spettro, sia sistemi portatili che integrano tali componenti in un unico strumento.

In questo contesto non si entra nei dettagli, anche perché si tratta del secondo livello di misure che già di per sé sono opzionali secondo la EN50500. Per approfondimenti sulle misure in banda stretta si rimanda alle pertinenti norme tecniche ed in particolare alla CEI 211-7.

1.7 - Misure per la zonizzazione

Le misure per la zonizzazione costituiscono il terzo livello di approfondimento della procedura di misura e sono messe in atto nel caso in cui nelle precedenti fasi della procedura sia stato evidenziato un superamento dei limiti. L'obiettivo di questa fase è quello di determinare i confini delle zone entro le quali uno specifico limite normativo è superato. Tale operazione è finalizzata ad un'eventuale restrizione all'accesso, che può essere parziale (interdizione al pubblico o a specifiche categorie di lavoratori) oppure totale. Qualora tale restrizione non fosse possibile è quindi inutile procedere alla zonizzazione e, a fronte dei superamenti, è necessario prendere altri provvedimenti.

In questo paragrafo si descrivono gli aspetti generali di questo livello di approfondimento entrando nel merito del solo caso relativo all'induzione magnetica a bassa frequenza. D'altra parte, per quanto riguarda il campo magnetico statico, le considerazioni generali dovrebbero essere sufficienti, anche perché le modalità di misura non variano rispetto alle misure esplorative e puntuali. Inoltre, per quanto riguarda campo elettrico a bassa frequenza e campo elettromagnetico, non si è voluto appesantire questo documento con approfondimenti relativi ad agenti fisici che sia la norma EN50500, sia le specifiche Trenitalia indicano come di minor rilevanza.

L'approccio alla zonizzazione è stato introdotto nello standard EN50499 e può considerarsi adattabile sia a sorgenti ben definite e localizzabili, sia ad ambienti in cui coesistono diverse sorgenti e quindi difficilmente rappresentabili mediante modellazione matematica.

In questo contesto daremo per scontato di trovarsi nella seconda situazione cioè di non disporre di un modello individuale della sorgente di campo di interesse e conseguentemente di dover ricavare i confini delle zone mediante misure.

Con riferimento all'induzione magnetica a bassa frequenza e alle precedenti fasi di questa procedura, si potrà procedere alla determinazione delle 'zone' con due diversi approcci.

- Mediante misura diretta degli indici, con modalità analoghe a quelle delle misure esplorative.
- Mediante acquisizione delle forme d'onda delle componenti cartesiane del campo e determinazione dei confini delle zone in fase di elaborazione.

Il primo approccio ha il vantaggio di permettere una immediata determinazione delle distanze di rispetto e quindi delle zone in cui limitare l'accesso. Gli svantaggi sono legati principalmente (1) alla esecuzione di misure mirate alla determinazione di zone riferite ad un singolo indice e quindi alla necessità di ripetere le misure per considerarne più di uno, (2) alla disponibilità di strumentazione in grado di misurare tutti gli indici di interesse ed infine (3) alla impossibilità, se non con metodi approssimati, di riutilizzare i risultati delle misure in caso di modifiche alla normativa.

Il secondo approccio ha il vantaggio di permettere la determinazione di zone riferite a diversi indici, anche a posteriori, ma ha lo svantaggio di non permettere una diretta visualizzazione degli indici stessi, cosicché potrebbe risultare difficoltoso stabilire in quali punti (fino a quale distanza dalla sorgente o dai punti nei quali si verificano i livelli di esposizione maggiori) procedere con le acquisizioni.

Tuttavia è possibile anche un approccio, che può essere considerato un ibrido tra i due precedenti, secondo il quale:

- 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 supponendo che il campo sia caratterizzato in tutti i punti di misura dalle forme d'onda acquisite e quindi gli indici di esposizione siano caratterizzate dai mutui rapporti calcolati in precedenza a partire dalle acquisizioni stesse.

Indipendentemente dal particolare approccio utilizzato, le misure per la zonizzazione relative all'induzione magnetica a bassa frequenza saranno condotte rispettando i seguenti vincoli:

- si usano sensori con superficie totale pari a 100 cm² cioè che rispettano i requisiti della EN50500;
- si eseguono le misure ad una distanza fissata dal piano di calpestio tra quelle definite nella EN50500 per ambienti accessibili al pubblico (30, 90, 150 cm) o per ambienti accessibili ai soli lavoratori (90 e 150 cm): la particolare altezza scelta sarà quella del punto di massimo locale individuato durante le misure esplorative.

1.7.1 - Zonizzazione per locali

È possibile effettuare una zonizzazione semplificata basandosi sui risultati delle misure puntuali, senza necessità di eseguire prove aggiuntive. In tal caso le zone definite dalla EN50499 corrispondono ai locali del rotabile e ciascun locale è caratterizzato dal massimo livello di esposizione misurato nei punti P_A/P_B in esso contenuti.

1.7.2 - Zonizzazione in condizioni dinamiche del rotabile

Durante l'esecuzione delle misure per la zonizzazione in condizioni dinamiche è necessario considerare sia la fase di accelerazione, sia quella di frenata. In tal caso è opportuno eseguire misure (di indice o di campo a seconda dell'approccio scelto) a distanze crescenti dal punto di massimo, dove ciascuna misura si riferisce ad un'intera corsa-tipo (massima accelerazione – mantenimento - massima frenata).

1.8 - Misure per la dosimetria con campo non omogeneo

Le misure per la dosimetria sono il quarto ed ultimo livello di approfondimento della procedura di misura. L'obiettivo di questa fase è quello di raccogliere i dati sulla distribuzione spaziale del campo nel volume in cui avviene un superamento dei limiti di esposizione. Tale distribuzione verrà poi utilizzata come termine noto durante l'esecuzione dei calcoli dosimetrici.

Come nel caso delle misure per la zonizzazione, ci si riferisce qui alla sola induzione magnetica a bassa frequenza.

È opportuno ricordare che, in caso di superamenti dei livelli di azione, può essere inizialmente effettuata una dosimetria meno onerosa in termini sia di misure, sia di calcoli. Tali analisi si riferiscono ad un campo con distribuzione spaziale omogenea, le cui componenti cartesiane assumono, istante per istante, le intensità delle componenti del campo acquisite nel punto P_{CM} corrispondente al superamento. La determinazione dei punti P_{CM} e le misure da effettuare presso di essi sono già state descritte nel paragrafo dedicato alle misure puntuali.

Nel seguito si elencano le modalità di esecuzione delle misure per la dosimetria.

- La disposizione dei 27 punti di misura che caratterizzano il volume di interesse è illustrata in Fig.3 e Fig.4.
- Il punto di massimo locale degli indici rilevato durante le precedenti fasi e in base al quale si è deciso di procedere agli approfondimenti dosimetrici, dovrebbe possibilmente giacere sull'asse verticale centrale del volume definito dai tre punti C011, C111 e C211.
- Visto che l'acquisizione completa delle forme d'onda in tutti i 27 punti previsti sarebbe molto onerosa, è possibile limitare l'acquisizione ad un sottoinsieme di punti, ad esempio:
 - nei soli tre punti C011, C111 e C211;
 - nel solo punto di massimo assoluto dell'indice.
- Negli altri 24/26 punti presso i quali non si effettuano acquisizioni complete si potrà procedere in due modi:
 - misurare il valore di picco del campo visualizzato sul display dello strumento;
 - misurare il valore di picco ed il corrispondente valore di ciascuna componente cartesiana del campo nell'istante di massima ampiezza. Nel caso lo strumento di misura utilizzato non fornisca sul display l'indicazione delle singole componenti, questa seconda ipotesi implicherebbe comunque l'acquisizione del campo.

- L'acquisizione delle forme d'onda deve riferirsi alle condizioni che, durante le precedenti fasi, hanno dato luogo ai massimi valori di indice di esposizione. Cospicché, ad esempio, se i valori massimi sono stati ottenuti in fase di accelerazione, le acquisizioni potranno limitarsi a tale fase.
- Non si fissano a priori vincoli relativi alla durata dell'acquisizione; se sono state chiaramente individuate le condizioni che determinano il massimo dell'esposizione, allora l'acquisizione può essere limitata ad un intervallo di tempo che comprende l'evento, preceduto e seguito da un intervallo di acquisizione pari ad almeno un secondo.
- La frequenza di campionamento da utilizzare deve essere decisa in base ai risultati delle misure puntuali ed in particolare in base alle acquisizioni effettuate alla massima frequenza di campionamento possibile.
- I dettagli relativi ai calcoli dosimetrici non sono riportati in questo documento. Per una panoramica delle problematiche da affrontare e per degli esempi di applicazione ci si può riferire ai due report citati tra la documentazione di riferimento insieme alle specifiche di misura Trenitalia.

1.9 - Quadro generale della procedura di misura.

In questo paragrafo sono riportati dei diagrammi di flusso che illustrano in modo generale la procedura di misura per ciascun agente fisico considerato. I diagrammi comprendono anche gli eventuali possibili interventi di risanamento (blocchi in giallo), che sono riportati in quanto permettono una visione più generale e completa del contesto trattato.

1.9.1 - BST (valutazione vincolante ai sensi della EN50500)

Lo schema di Fig.6 rappresenta la procedura di misura del campo magnetico statico. La procedura non prevede dosimetria, perché i limiti di campo statico sono da considerarsi restrizioni di base. Come si può notare nel diagramma, le misure esplorative effettuate in condizioni statiche del rotabile coincidono con quelle puntuali. Le misure puntuali in condizioni dinamiche si differenziano da quelle esplorative in quanto le prime devono riferirsi necessariamente alla corsa-tipo del rotabile, condizione non richiesta durante le misure esplorative.

1.9.2 - BBF (valutazione vincolante ai sensi della EN50500)

Nel diagramma a blocchi di Fig.7 si rappresenta lo schema generale della procedura di misura riguardante l'induzione magnetica a bassa frequenza. Lo schema risulta più articolato di quello relativo al campo statico, in quanto comprende anche l'eventuale ricorso alla dosimetria.

Nel caso dell'induzione magnetica a bassa frequenza, le misure puntuali sono effettuate in almeno un punto per ogni locale individuato; ciò discende dalla necessità di attenersi alle prescrizioni della norma EN50500. Le misure puntuali consistono nell'acquisizione delle forme d'onda delle componenti del campo e la loro elaborazione consiste in un procedimento che in genere si effettua fuori linea.

Le misure per la zonizzazione e quelle per la dosimetria si intendono effettuate nelle condizioni del rotabile in cui si sono verificati i superamenti evidenziati durante le misure puntuali ed esplorative.

1.9.3 - EBF, EAF, BAF (valutazioni non vincolanti ai sensi della EN50500)

In Fig.8, in un unico diagramma, si rappresenta la procedura di misura nel caso del campo elettrico a bassa frequenza e di quello elettromagnetico ad alta frequenza.

La principale differenza rispetto ai casi precedenti consiste nel fatto che l'esecuzione delle misure puntuali è condizionata all'esito delle misure esplorative ed è quindi possibile che non sia necessario effettuare alcuna misura puntuale.

Per stabilire la soglia oltre la quale procedere al secondo livello di approfondimento ci si è riferiti alla norma CEI 211-7. Per quanto riguarda il campo elettromagnetico ad alta frequenza si è quindi ripreso

direttamente tale norma e si fa in modo di procedere a misure puntuali (a banda stretta) se durante le misure esplorative (a banda larga) si supera il 75% dei pertinenti limiti di esposizione.

Per trasportare tale soglia a bassa frequenza si è tenuto presente che i limiti ad alta frequenza intendono proteggere dagli effetti termici i quali sono direttamente proporzionali alla potenza del campo incidente e quindi al quadrato della sua intensità. Perciò affermare che la soglia è del 75% in termini di intensità di campo è equivalente ad affermare che gli approfondimenti sono necessari se si supera circa il 55% dei corrispondenti limiti in termini di densità di potenza, che sono quelli direttamente connessi alle soglie degli effetti biologici.

A bassa frequenza (EBF), dove i limiti di esposizione intendono proteggere dall'insorgenza di fenomeni istantanei di stimolazione, si procede quindi alle misure puntuali se durante le misure esplorative si sono registrati valori che superano il 55% dei limiti in termini di campo (in quanto sono questi ultimi ad essere direttamente collegati agli effetti biologici dai quali i limiti intendono proteggere).

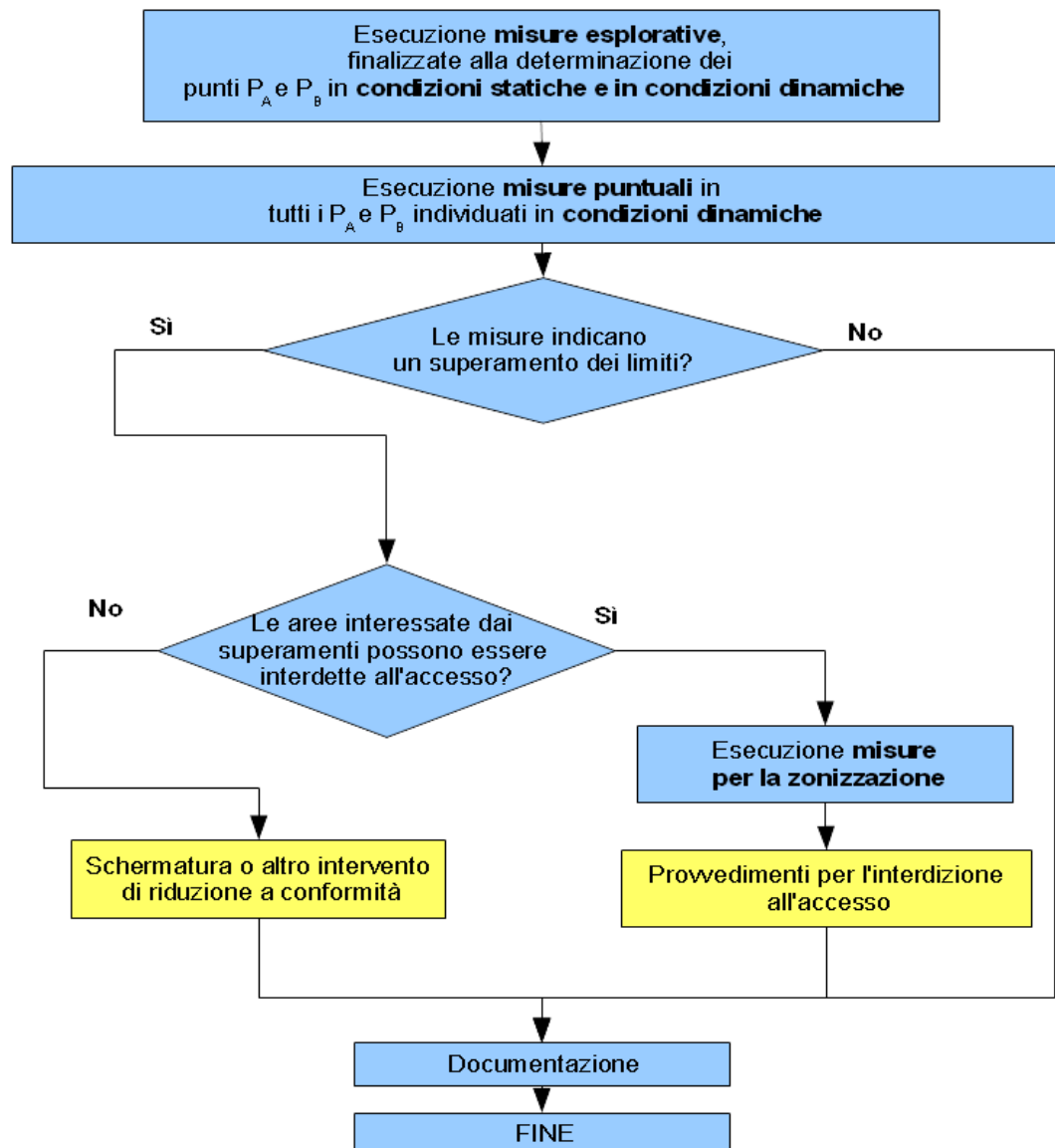


Fig.6: diagramma di flusso della procedura di valutazione del campo magnetico statico.

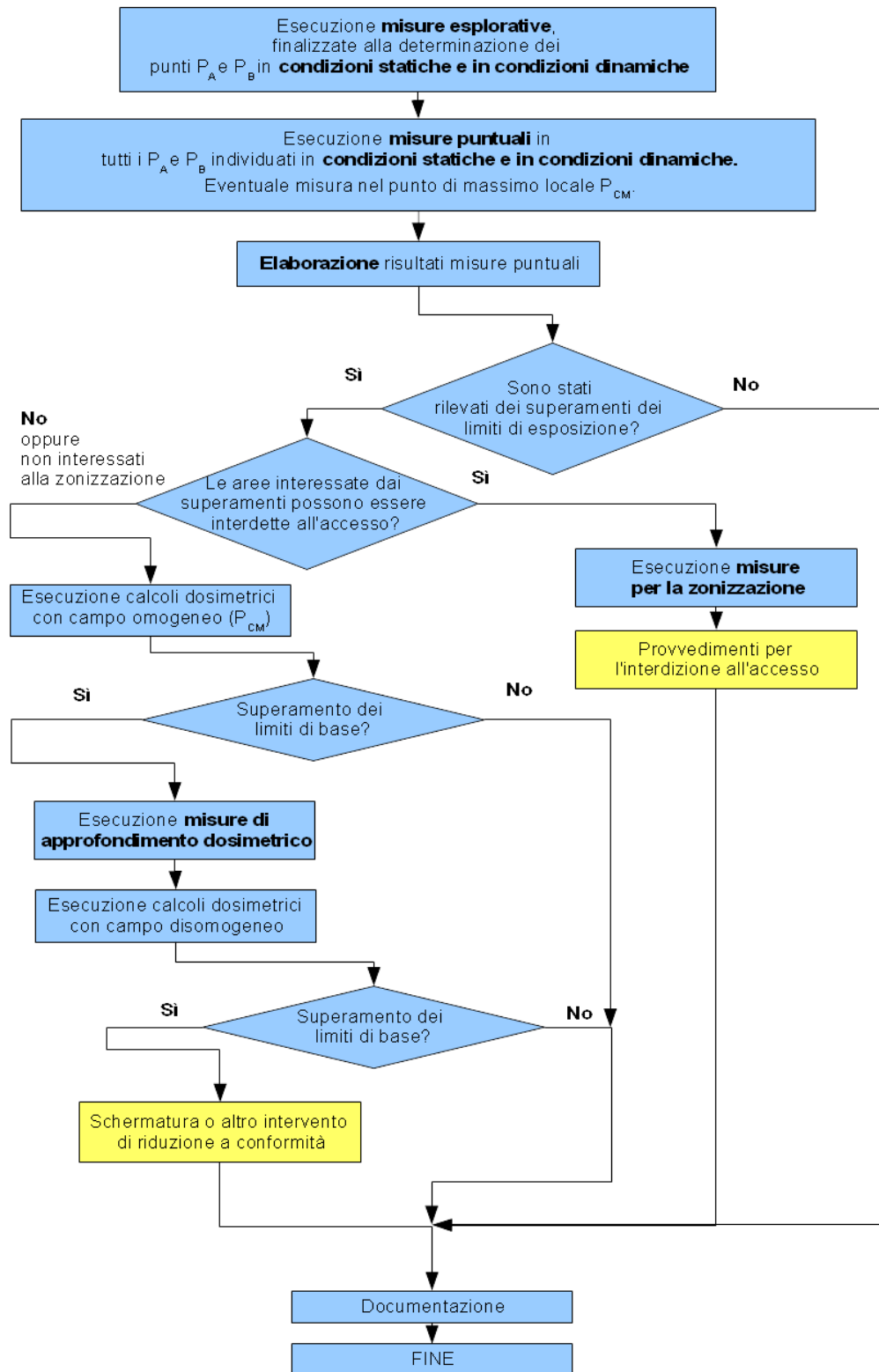


Fig.7: diagramma di flusso della procedura di valutazione dell'induzione magnetica a bassa frequenza.

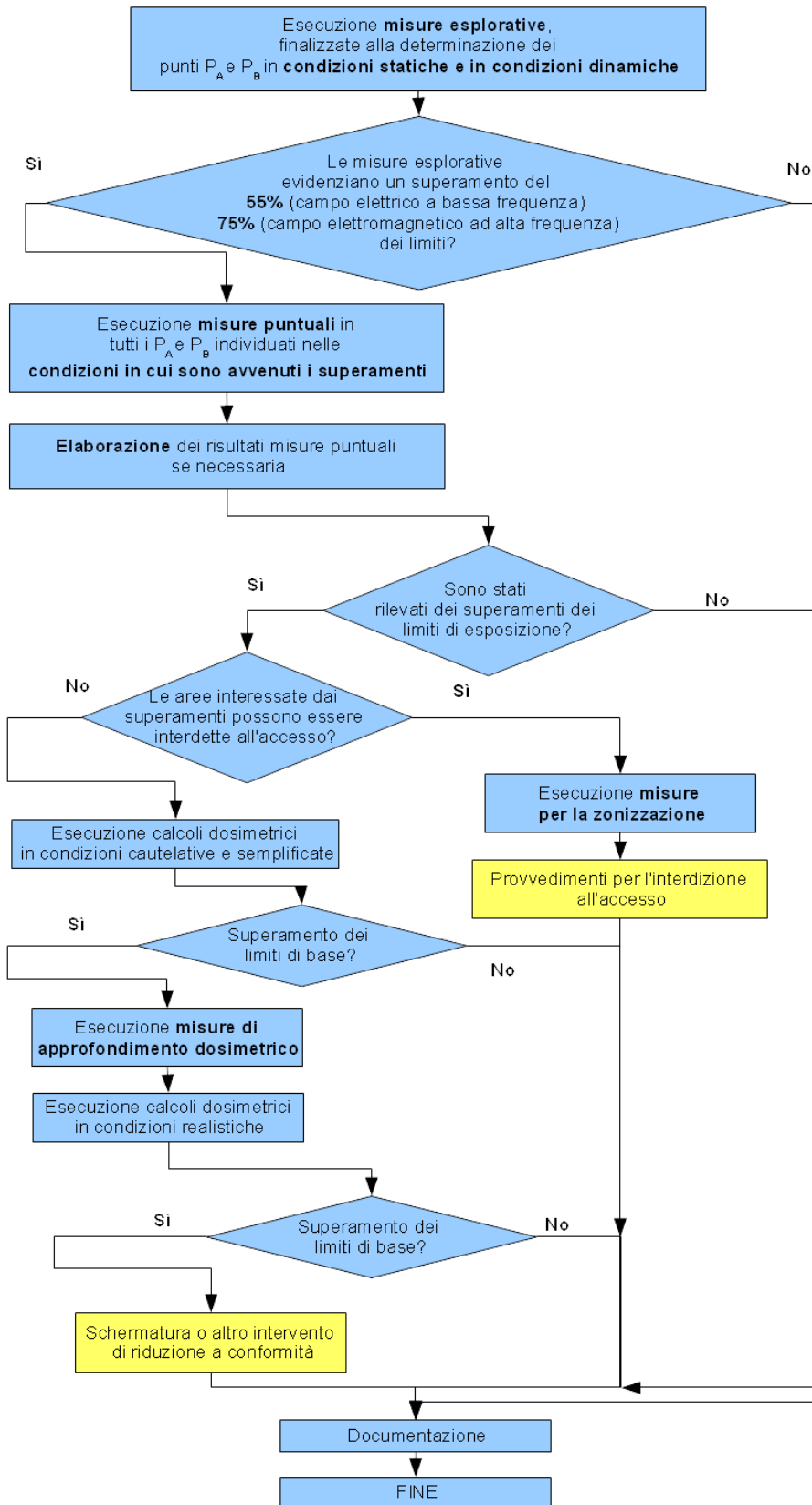


Fig.8: diagramma di flusso della procedura di valutazione del campo elettrico a bassa frequenza e del campo elettromagnetico ad alta frequenza.