

DEFINIZIONE DI UN METODO PER L'ESECUZIONE DEI CONTROLLI INTERMEDI DEGLI STRUMENTI DI MISURA DI CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO A RADIOFREQUENZA E A BASSA FREQUENZA

Desandr  C., Bottura V., Imperial E., Cerise L., Cappio Borlino M.
Arpa Valle d'Aosta, Localit  Grande Charrière 44, 11020 Saint-Christophe (AO), c.desandre@arpa.vda.it

INTRODUZIONE

La taratura degli strumenti di misura del campo elettrico e magnetico consiste in un insieme di operazioni, effettuate sotto precise condizioni, tramite le quali   stabilita una relazione tra i valori delle quantit  indicati dallo strumento in taratura e i corrispondenti valori di campo generati da catene strumentali campione. Questo insieme di operazioni   eseguito in appositi laboratori e deve essere ripetuta periodicamente e, comunque, ogni qual volta si abbia il sospetto che possa essere avvenuta una variazione nelle prestazioni dello strumento.

Tra una taratura e la successiva   consigliato eseguire dei controlli intermedi, sia per verificare il mantenimento delle prestazioni degli strumenti sia, nell'ottica della razionalizzazione delle risorse, per poter individuare un intervallo di tempo maggiore tra due tarature successive, nel quale per  gli strumenti continuino ad operare in modo corretto. Non disponendo di un laboratorio di prova in cui generare campi di riferimento, l'ARPA della Valle d'Aosta ha introdotto una metodologia per eseguire i controlli intermedi tramite misure effettuate direttamente sul territorio, nelle vicinanze di una sorgente di campo elettromagnetico.

Il lavoro presentato   il metodo per l'esecuzione dei controlli intermedi sulle classi di strumenti utilizzati dall'area operativa radiazioni non ionizzanti (NIR) dell'Agenzia ARPA Valle d'Aosta, sia alle alte frequenze sia alle basse frequenze.

STRUMENTI

Gli strumenti testati durante i controlli intermedi sono quelli che vengono utilizzati normalmente dall'area Radiazioni non ionizzanti (NIR) per l'esecuzione delle misure connesse col lavoro quotidiano agenziale.

Gli strumenti utilizzati a radiofrequenza a banda larga sono quattro: un misuratore a banda larga Wandel & Goltermann EMR300 con la sonda di campo elettrico, tipo 8.2 da 100 kHz a 3 GHz, un misuratore a banda larga Wandel & Goltermann EMR 300 con la sonda di campo elettrico, tipo 18 da 100 kHz a 3 GHz, e due centraline di monitoraggio per la misura in continuo del campo elettrico PMM. Per le misure a radiofrequenza a banda stretta sono state utilizzate due catene di misura: la prima composta da un analizzatore di spettro HP ESA E4407B 9 kHz – 26.50 GHz, da un cavo coassiale da 5 metri, da un rotore motorizzato Seibersdorf Research e da un'antenna PCD 8250 Seibersdorf Research (80 MHz -2.50 GHz); la seconda composta dall'analizzatore di spettro portatile NARDA SRM-3000, da un cavo RF da 1,5 m e da una sonda di campo elettrico triassiale.

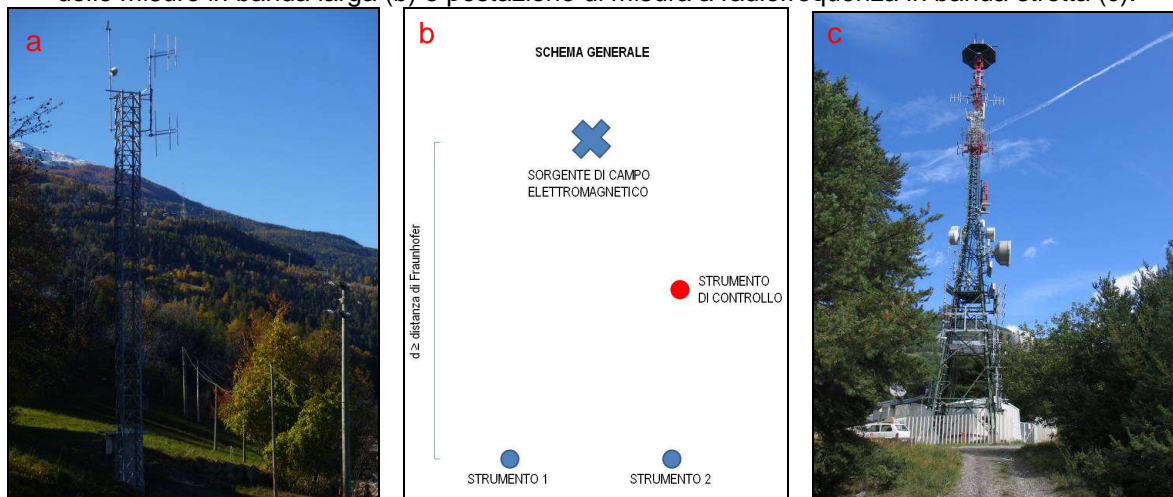
Gli strumenti utilizzati alle basse frequenze per la misura del campo magnetico sono sei: due misuratori di campo elettrico e magnetico EMDEX II, due misuratori di campo magnetico EMDEX LITE, un misuratore di campo elettrico e magnetico EFA 300 e una sonda di campo elettrico e magnetico EHP 50D. Gli strumenti utilizzati alle basse frequenze per la misura del campo elettrico sono tre: due misuratori di campo elettrico e magnetico EMDEX II accoppiati al sistema E-PROBE e una sonda di campo elettrico e magnetico EHP 50D.

SCelta DEL SITO DI MISURA ED ESECUZIONE DELLE MISURE A RADIOFREQUENZA

La Regione Valle d'Aosta è dotata di un Sistema informativo, condiviso tra Regione, ARPA ed Enti Locali, finalizzato alla gestione delle stazioni radioelettriche e di tutte le strutture di radio telecomunicazione regionali, che contiene anche il catasto degli impianti. Tra tutte le postazioni censite nel catasto ne sono state individuate due, una per le misure a radiofrequenza a banda larga e una per quelle a banda stretta. Le condizioni essenziali che le postazioni devono soddisfare sono: la generazione di un segnale il più possibile stabile nel tempo (per poter confrontare le misure effettuate con strumenti differenti, eventualmente anche in istanti di tempo differenti), l'accessibilità del sito di misura e la generazione di un segnale significativo da misurare.

Per la misura a banda larga, la scelta è ricaduta su una postazione (vedi fig. 1a) occupata da una sola radio, da alcuni ponti radio e da stazioni wireless. Il segnale emesso dalle stazioni è dunque teoricamente costante, ovvero dipendente quasi esclusivamente dal segnale generato alla frequenza radio, che, tolta la modulazione FM, è costante nel tempo e dipende dalle caratteristiche radioelettriche (potenza, guadagno, tilt elettrico) e geometriche (altezza centro elettrico e tilt meccanico dell'antenna) delle antenne utilizzate dal servizio. Il banco di prova è stato predisposto secondo lo schema generale di fig. 1b. Le misure sono state effettuate a 1,5 m di altezza dal piano di calpestio e gli strumenti sono stati collocati su appositi sostegni. Uno strumento di controllo (centralina di monitoraggio in continuo) è stato posizionato per verificare la stabilità del segnale generato dalla sorgente, pertanto i valori da esso misurati sono significativi non tanto per il valore stesso rilevato ma per verificarne stabilità nel tempo. Le misure da utilizzare per i confronti sono invece state effettuate ponendo in acquisizione due strumenti contemporaneamente: una centralina e un EMR 300. Le due centraline forniscono un valore di campo ogni 6 minuti, mediato sui valori acquisiti in tali 6 minuti, mentre gli EMR forniscono un valore di campo ogni minuto, valore mediato sui precedenti 6 minuti (media mobile). Effettuando la misurazione in contemporanea è chiaro che il numero di valori forniti dagli EMR 300 è maggiore: tale ridondanza di dati è ritenuta utile allo scopo del presente lavoro.

Figura 1 - Postazione di misura a radiofrequenza in banda larga (a); schema generale del banco di prova delle misure in banda larga (b) e postazione di misura a radiofrequenza in banda stretta (c).



Il sito scelto per le misure a radiofrequenza a banda stretta (vedi fig. 1c) è una postazione abbastanza complessa, ospitante vari gestori di vari servizi (radio, televisioni, telefonia mobile e servizi wireless). L'insieme dei segnali emessi è dunque complesso ma per testare la funzionalità degli strumenti in banda stretta sono state effettuate misure su componenti abbastanza stabili nel tempo: una frequenza radio e una delle bande della telefonia mobile presente, il GSM, in particolare sulle portanti la cui potenza viene mantenuta pressoché costante nel tempo. In questo caso non è stato possibile utilizzare uno strumento per la verifica della stabilità del campo generato, in quanto l'Agenzia non dispone di strumenti per la misura in continuo in banda stretta.

E' stato individuato un punto nel quale i segnali radio e GSM fossero significativi e, in successione, sono stati posti lì i due analizzatori di spettro per la misura. Le misure sono state effettuate a 1,5 m di altezza dal piano di calpestio e per ogni strumento è stato acquisito uno spettro per ogni banda (bande definite in tab. 1). Su entrambi gli analizzatori di spettro sono stati inseriti i medesimi parametri di misura, riportati in tab. 1.

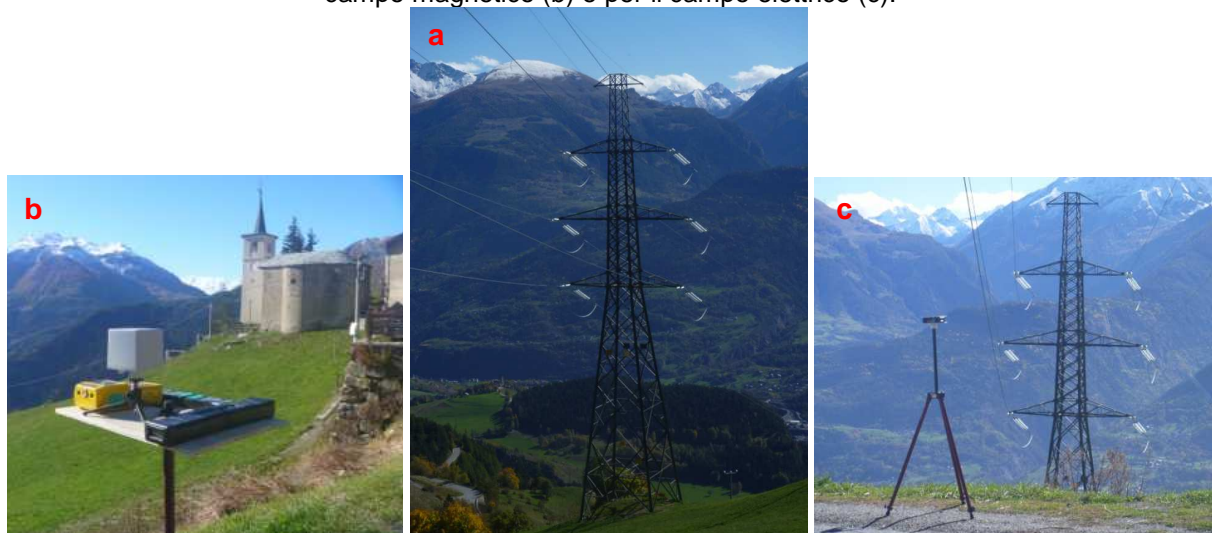
Tabella 1 - Parametri di misura impostati sui due analizzatori di spettro durante le misure nella banda di frequenze delle radio (a sinistra) e nella banda del GSM (a destra)

FM	Bande di frequenza	B1	87-91,2 MHz	GSM 900	Bande di frequenza	B1	925-935 MHz
		B2	91,2-95,4 MHz			B2	935-945 MHz
		B3	95,4-99,6 MHz			B3	945-955 MHz
		B4	99,6-103,8 MHz			B4	955-965 MHz
		B5	103,8-108 MHz				
	RBW		30 kHz		RBW		30 kHz
	WBW		30 kHz		WBW		30 kHz
	SPAN		4,2 MHz		SPAN		10 MHz

SCelta DEL SITO DI MISURA ED ESECUZIONE DELLE MISURE A BASSA FREQUENZA

Il sito dove sono state effettuate le misure a bassa frequenza, sia di campo magnetico sia di campo elettrico, è caratterizzato dal passaggio di due elettrodotti a 220 kV che condividono gli stessi sostegni, il T201 (Avisè – Riddes) e il T202 (Avisè – Valpelline) (vedi fig. 2).

Figura 2 – Foto della postazione di misura alle basse frequenze (a). Dettaglio del banco di prova per il campo magnetico (b) e per il campo elettrico (c).



Per il campo magnetico, gli strumenti sono stati posti in misura in contemporanea, in quanto la presenza degli altri strumenti non influenza la misura del campo, su un piano posto ad 1,50 metri di altezza e sono stati impostati per acquisire un valore di campo magnetico ogni 30 secondi, per 30 minuti circa. Il campo magnetico è direttamente proporzionale alla corrente che circola nella linea e, quindi, è variabile nel tempo all'interno della stessa giornata e più in generale nel corso dell'anno. Pertanto le misure rilevate in istanti di tempo differenti, seppur abbastanza vicini, non possono essere paragonate, ma lo sono quelle acquisite nello stesso intervallo di tempo.

Per il campo elettrico, gli strumenti sono stati posti in misura in successione uno all'altro, in quanto le misure di campo elettrico possono essere influenzate dalla vicinanza di oggetti e persone. Gli strumenti sono stati sistemati sull'apposito cavalletto isolato ad una altezza di 1,50 metri dal piano di calpestio e sono stati impostati per acquisire un valore di campo ogni 30 secondi, per 30 minuti circa. Il campo elettrico è funzione della tensione delle linee, della distanza dalla linea e della configurazione della linea stessa e dunque l'andamento del campo elettrico in un determinato punto può essere considerato costante nel tempo. Perciò le misure, acquisite dagli strumenti in istanti di tempo differenti, sono state considerate paragonabili tra loro. Tale

considerazione è importante per le modalità con cui verranno trattati i dati nelle successive elaborazioni per la definizione del metodo in oggetto.

DEFINIZIONE DEL METODO

Per la definizione del metodo per l'esecuzione dei controlli intermedi si è cercato di utilizzare una procedura di elaborazione dei dati e di presentazione dei risultati che fosse il più possibile uniforme per le varie tipologie di strumenti e misure testati. A causa, però, delle diverse tipologie di strumenti (in particolare per la parte che riguarda le modalità di acquisizione dei valori) e della differenza delle modalità di propagazione dei vari segnali analizzati, sono presenti alcune difformità nell'elaborazione delle misure effettuate, che verranno sottolineate nel corso della trattazione.

Il metodo prevede una serie di passaggi che vengono elencati nel seguito:

- 1) Esecuzione delle misure: secondo quanto descritto nel paragrafo precedente;
- 2) Individuazione delle incertezze di misura degli strumenti: per ciascuno strumento o catena di misura dovrà essere individuato il valore di incertezza estesa strumentale, in base all'ordine di grandezza dei valori misurati;
- 3) Analisi delle misure effettuate sul singolo strumento: per le misure a radiofrequenza a banda larga e per quelle di campo elettrico a bassa frequenza andranno considerati i valori centrali della serie temporale delle misure, in modo da eliminare quei valori che potrebbero essere stati influenzati da fattori esterni, e dovrà essere calcolato per ogni valore il minimo e il massimo in base all'incertezza, di cui al punto 2. In seguito andranno calcolate alcune statistiche per le distribuzioni: la media, la deviazione standard e il coefficiente di variazione delle osservazioni. Il coefficiente di variazione (V) è definito come il rapporto tra la deviazione standard (σ) e la media (m) e fornisce un'indicazione della variabilità delle osservazioni rilevate. Esso, rispetto alla deviazione standard, è un numero puro in quanto rapporto tra due grandezze omogenee e pertanto permette di confrontare direttamente la variabilità di serie di dati anche eterogenee, per unità di misura o per valore della media. Il coefficiente di variazione permetterà di verificare se la media delle osservazioni potrà essere un buon indicatore della distribuzione in oggetto. In particolare se V risulta $>0,5$, significa che i valori della serie temporale di misure presentano una forte variabilità intorno alla media e quest'ultima non può essere presa come indicatore corretto della distribuzione. In caso contrario ($V < 0,5$) i valori della serie temporale di misure di un singolo strumento possono essere sostituiti da un unico valore pari alla media dei valori. Il coefficiente di variazione può dunque assumere i seguenti valori: $V = 1$ (ovvero $\sigma = m$ e la media non è un indice corretto per la distribuzione); $V = 0$ (ovvero $\sigma = 0$ e la media è un indice perfetto per la distribuzione); $V > 0,5$ (la media non è un indice corretto per la distribuzione); $V < 0,5$ (la media è un indice corretto per la distribuzione). In Tabella 2 viene riportato un esempio di quanto appena esposto relativo ad uno degli strumenti testati.

Per le misure a radiofrequenza a banda stretta e per quelle di campo magnetico a bassa frequenza, invece, è stato preso un solo valore per ogni strumento analizzato.

Tabella 2 - Valori rilevati e statistiche calcolate per lo strumento di misura in continuo a radiofrequenza a banda larga (centralina di monitoraggio). Le colonne Minimo e Massimo si riferiscono ai valori tenuto conto dell'incertezza strumentale.

N°misura	Valore [V/m]	Minimo [V/m]	Massimo [V/m]
1	1,71	1,32	2,10
2	1,72	1,33	2,11
3	1,73	1,34	2,12
4	1,75	1,35	2,15
5	1,77	1,37	2,17
6	1,72	1,33	2,11
7	1,74	1,34	2,14
8	1,74	1,34	2,14
9	1,74	1,34	2,14
10	1,74	1,34	2,14

Valor medio	1,74	V/m
Deviazione standard	0,01713	V/m
Coefficiente di variazione	0,00986577	-
TEST _{coeff.variazione}	OK	

- 4) Confronto tra gli strumenti: può essere eseguito dopo aver individuato un unico valore per ogni singolo strumento, ricavato, per le misure a radiofrequenza a banda stretta e per le misure di campo magnetico a bassa frequenza, dal valore fornito dallo strumento, e, per le misure a radiofrequenza a banda larga e per le misure di campo elettrico a bassa frequenza, dalla media della serie temporale di misure. A questo punto si procede col confronto basato sul calcolo di ulteriori statistiche:
- $Media_{tot}$: media dei valori forniti dall'insieme di tutti gli strumenti; anche in questo caso è necessario calcolare il coefficiente di variazione per stabilire se la $media_{tot}$ rappresenta un buon indicatore per il confronto;
 - Definizione del range di accettabilità intorno alla $media_{tot}$: la definizione di questo range è importante perché rappresenta il limite oltre il quale uno strumento che vi ricade non avrà superato il controllo intermedio e dovrà essere rimandato in taratura. Gli estremi del range, massimo e minimo, vengono calcolati nel modo seguente: $Minimo = Media_{tot} - (\alpha/100 * Media_{tot})$ e $Massimo = Media_{tot} + (\alpha/100 * Media_{tot})$. Il valore da assegnare al coefficiente α è il punto più delicato del metodo in quanto stabilisce l'ampiezza del range entro il quale le misure risultano accettabili. Si è deciso di ricavare tale valore dai criteri di accettabilità dei risultati delle tarature (in accordo con quanto affermato nella Norma CEI 211-7, par. 13.5.1, per le misure a radiofrequenza e in accordo con quanto affermato nella Norma CEI 211-6, par. 13.2.1, per le misure a bassa frequenza). Per cui $\alpha_{RF} = 50$ e $\alpha_{ELF} = 10$;
 - TEST: restituisce l'indicazione "OK" quando il valore o la media dei valori di ogni singolo strumento ricade all'interno del range precedentemente definito, altrimenti fornisce l'indicazione "OUT" qualora il valore o la media dei valori del singolo strumento sia esterno al range. Lo strumento che restituisce il valore OUT deve essere tenuto sotto controllo, in quanto lo scostamento dal valore accettabile della $media_{tot}$ è troppo elevato. Pertanto lo strumento potrebbe essere soggetto a derive delle letture e potrebbe necessitare di una nuova taratura.

Tabella 3 - Elaborazioni sui dati acquisiti durante la sessione di misura del campo elettrico a radiofrequenza in banda larga.

Strumento	Valore o Media dei valori	$Media_{tot}$	Minimo*	Massimo*	TEST
1) Centralina	1,74	1,82	0,91	2,73	OK
2) EMR300	1,90				OK
3) EMR 300	1,81				OK
4) Centralina	1,75				OK
5) EMR 300	1,82				OK
6) EMR300	1,91				OK

* Estremi dell'intervallo di accettabilità intorno alla $media_{tot}$

Grafico 1. Grafico che fornisce il confronto tra gli strumenti a radiofrequenza: a - misure a banda larga; b - misure a banda stretta alla frequenza di 90,41 MHz

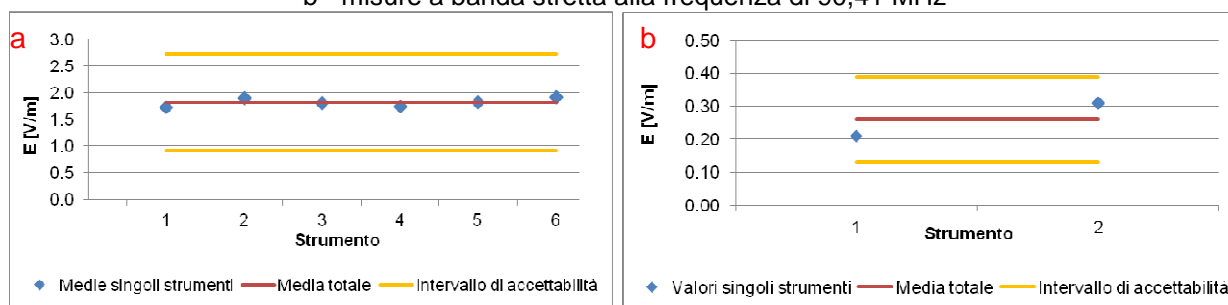
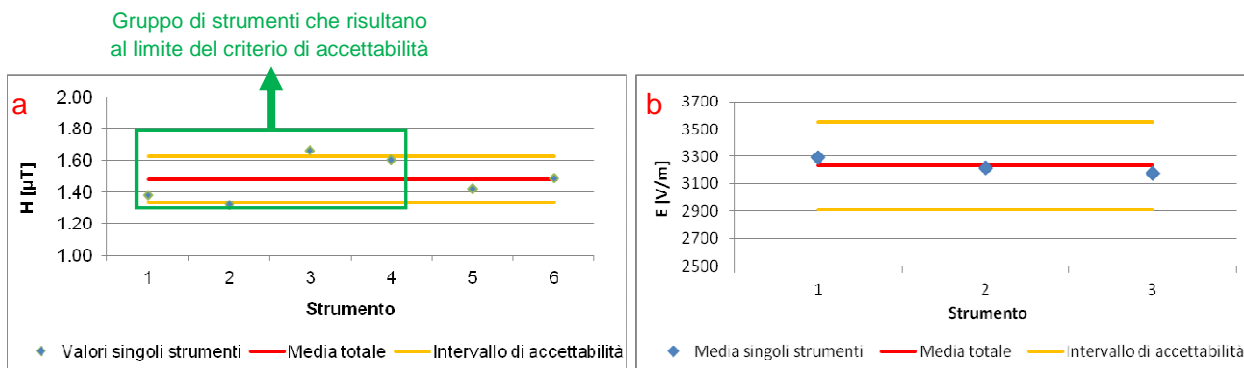


Grafico 2 - – Grafico che fornisce il confronto tra gli strumenti a bassa frequenza: a – misure di campo magnetico; b – misure di campo elettrico.



CONCLUSIONE

Il controllo intermedio degli strumenti rappresenta un momento importante di conferma metrologica dei dispositivi, nell'intervallo di tempo tra una taratura ufficiale e la successiva. I risultati che si ottengono col metodo descritto sono utili per individuare possibili derive degli strumenti negli anni e tale risultato sarà ancora più evidente con l'implementazione del metodo nel tempo, che permetterà di confrontare i risultati negli anni sulla base di serie storiche. Qualora tali controlli generino un dubbio sul mantenimento dei requisiti metrologici necessari per garantire un utilizzo corretto del dispositivo di misura, bisognerà tenerli sotto controllo e prevedere eventualmente una nuova taratura del dispositivo.

In questo primo sviluppo del metodo, oltre a definire le modalità di esecuzione delle misure e delle elaborazioni successive, sono già emerse alcune considerazioni sugli strumenti in uso.

Per quanto riguarda gli strumenti a radiofrequenza, sia in banda larga sia in banda stretta, essi rispettano ampiamente i requisiti imposti nel metodo per cui non si prevede una extra-taratura e anche le derive degli strumenti sembrano essere poco significative.

Per quanto riguarda invece gli strumenti a bassa frequenza, si è notato che un EMDEX II e un EMDEX LITE escono, in alcune delle misure, dall'intervallo di accettabilità individuato. Questo significa che gli strumenti vanno costantemente tenuti sotto controllo per individuare tempestivamente una deriva ancor maggiore. Ciò non è un esito inatteso in quanto gli strumenti in questione sono datati e già le tarature avevano portato alla luce un avvicinamento dell'incertezza estesa a quel limite del 10% individuato dalla normativa vigente oltre il quale la taratura non è più accettabile.

A seguito di quanto emerso dal metodo, dell'esperienza acquisita sul funzionamento degli strumenti, dell'utilizzo corretto degli stessi durante le normali operazioni di misura, del comportamento degli strumenti stessi tra i periodi di taratura fino ad oggi utilizzati e nell'ottica della razionalizzazione delle risorse, si è deciso di definire un intervallo di tempo più lungo tra una taratura e la successiva, pari a 4 anni anziché 2 come in precedenza, effettuando annualmente i controlli intermedi e non escludendo di procedere a nuove tarature qualora dai controlli intermedi nascessero problemi. Per il 2016 sono previste le tarature ufficiali di alcuni degli strumenti in questione. A taratura avvenuta, verrà nuovamente applicato il metodo qui descritto, con duplice scopo: avere un primo confronto per le analisi qui descritte e verificare se gli strumenti che hanno fornito qualche valore al di fuori dei range sono rientrati nei valori oppure se devono ancora essere tenuti sotto controllo ed eventualmente sostituiti.