

Confronti Interlaboratorio per misure di Campi Elettromagnetici: Analisi dei fattori d'influenza attraverso l'elaborazione statistica dei risultati del Circuito Ispra Ic015

Ardoino L, Barbieri E, Barbizzi S

ISPRA - Servizio di Metrologia Ambientale – via Vitaliano Brancati, 48 – Roma

Anglesio L, d'Amore G

Arpa Piemonte, Dipartimento Tematico Radiazioni, Via Jervis 30, Ivrea (TO)

Silvi AM

ARPA Toscana – Dip. provinciale di Pisa, via V. Veneto, 27 - Pisa

Riassunto

Questo lavoro consiste nell'analizzare i risultati delle misure dell'interconfronto ISPRA IC015 alla luce delle informazioni sui parametri di acquisizione impostati e forniti dai partecipanti.

INTRODUZIONE

Le misure dei livelli di campo elettromagnetico ambientale vengono eseguite dagli addetti dei dipartimenti provinciali delle Agenzie Regionali, ognuno per il proprio territorio di competenza, con catene strumentali e procedure di misura che sono, ad oggi, abbastanza uniformate tramite le Norme Tecniche CEI 211-7, CEI 211-10 App H e CEI 211-6 (rispettivamente per le alte frequenze, trasmissioni radiotelevisive e telecomunicazioni e la per la frequenza di rete (ELF).

Alle alte frequenze, il livello di campo totale è generalmente dovuto all'insieme dei contributi del campo emesso da sorgenti diverse e associato a segnali che differiscono per frequenza, modulazione, ampiezza. Tali segnali, associati prevalentemente a trasmissioni radiotelevisive e telecomunicazioni, coesistono pressappoco ovunque. Ne consegue che la sola misura del livello totale (banda larga), non fornisce però adeguate informazioni sul sito stesso e non è sufficiente qualora il sito risulti non conforme; per ciò si rende necessario il ricorso a misure selettive che permettano l'identificazione di tutti i singoli contributi, effettuate con una catena strumentale più complessa, costituita da un'antenna selettiva e un analizzatore di spettro, e che richiedono tempi decisamente più lunghi rispetto alla misura a banda larga.

Queste misure presentano degli elementi di complessità legati principalmente alle impostazioni dei parametri di acquisizione (e alla taratura degli strumenti) e degli elementi di criticità dovuti, invece, soprattutto, alla variabilità temporale intrinseca ai segnali stessi e alla variabilità spaziale dei livelli di campo legata alle caratteristiche delle sorgenti.

Le procedure definite nelle Norme Tecniche hanno solo parzialmente fornito una soluzione a questi elementi di complessità e criticità fornendo indicazioni sulle tarature degli strumenti, sul posizionamento dei sensori e sui tempi di acquisizione, sulle impostazioni dei parametri di acquisizione del segnale (modalità, span e filtri dell'analizzatore di spettro), sulle modalità di elaborazione dei risultati e di valutazione dell'incertezza di misura. Complessità e criticità non sono, come si vedrà nel seguito, completamente indipendenti: ci sono, ad esempio, parametri la cui influenza può essere determinante in presenza di segnali a elevata variabilità (strutturale) e non esserlo affatto nel caso di segnali più stabili.

Le procedure di misura utilizzate dai tecnici delle Agenzie sono, quindi, abbastanza uniformate grazie a quanto definito nelle Norme Tecniche. Le stesse norme lasciano comunque una certa arbitrarietà nella scelta e nell'impostazione di alcuni parametri che possono influire significativamente sul risultato della misura.

Valutazioni specifiche dell'influenza di questi fattori sono state effettuate in laboratorio e in condizioni controllate (Barellini et al. 2006), ma raramente è stato possibile effettuare valutazioni statistiche a causa della mancanza di campioni adeguati, sufficientemente ampi come numero di elementi (indipendenti e con la stessa distribuzione) e con indici di dispersione ragionevolmente contenuti.

L'insieme dei risultati delle misure dei partecipanti all'interconfronto IC015 e delle informazioni sulle impostazioni usate da ciascuno, ha consentito di effettuare proprio questo tipo di valutazioni.

Lo scopo di queste valutazioni è quello di verificare la significatività delle (possibili) variazioni all'interno di un campione, dovute all'influenza di questi fattori. E' chiaro comunque, in questo caso, che gli elementi di criticità dovranno essere attentamente controllati affinché il campione in questione abbia caratteristiche che lo rendano idoneo a un'analisi di questo tipo, sia cioè, il più omogeneo possibile. Questo è stato fatto attraverso la caratterizzazione del sito e la scelta di aree aventi un buon grado di omogeneità spaziale dei livelli di campo e di stabilità nel tempo dei valori medi.

L'obiettivo più ampio di questo lavoro è quello di stimolare la revisione delle attuali Norme Tecniche (2001) rendendole più adeguate ai segnali oggi maggiormente diffusi, tenendo conto dell'evoluzione della strumentazione disponibile, e introducendo indicazioni più specifiche sulle impostazioni dei parametri di misura in modo da rendere confrontabili i risultati delle stesse.

MATERIALI E METODI

Il lavoro si basa sull'analisi dei risultati delle misure dell'interconfronto ISPRA IC015 fittati con le informazioni sui parametri di acquisizione utilizzati e forniti dai partecipanti congiuntamente ai risultati stessi.

A onor del vero, l'idea di effettuare queste valutazioni è scaturita dalla necessità di verificare l'idoneità dei campioni di risultati per garantire la bontà del valore di consenso come valore assegnato.

In questo tipo d'interconfronti la scelta del valore di consenso come valore assegnato è pressoché obbligata, a meno di non poter effettuare un elevato numero di misure e monitoraggi e di non intervenire sulla sorgente.

Inoltre, un valore assegnato ottenuto con un metodo diverso dal valore di consenso richiederebbe la definizione di una procedura di misura che tenga conto della riferibilità metrologica e garantisca un'incertezza ampiamente inferiore a quella ammessa dalla Norma Tecnica. Ciò comporterebbe poi l'imposizione, ai partecipanti, degli stessi parametri di acquisizione utilizzati per la determinazione del valore assegnato, venendo meno quindi l'intento di lasciare che ognuno utilizzi le proprie procedure consolidate obbligandoli a effettuare le misure con una procedura diversa da quella usata abitualmente.

Lo svolgimento del circuito d'interconfronto ISPRA IC015 è descritto nel lavoro "Circuito d'Interconfronto ISPRA IC015: misure selettive in frequenza di campi elettromagnetici" presentato in questa sede e non saranno, quindi, riportati molti dettagli ma solo un sommario essenziale.

L'interconfronto ha avuto come oggetto misure selettive di campo elettrico associato a segnali GSM, UMTS e FM ed è stato articolato in due giornate, in due siti distinti: in prossimità di una stazione radiobase e in prossimità di un complesso di trasmettenti radiotelevisive. Come risultati sono stati richiesti i contributi di campo elettrico ad alcune frequenze nelle bande suddette. I campioni oggetto di quest'analisi, pertanto, sono costituiti dai valori forniti dai partecipanti alla medesima frequenza, nell'ambito di una misura. Il valore assegnato per ciascuna frequenza/campione è stato determinato come valore di consenso ottenuto mediante la statistica robusta. Anche lo scarto tipo e l'incertezza attribuita al valore assegnato sono quelli ottenuti dalla statistica robusta (algoritmo A della 13528).

All'interconfronto hanno partecipato 27 dipartimenti provinciali (incluso un partecipante estero); tutti hanno fornito i risultati e le informazioni richieste; due partecipanti, però, hanno contribuito ad una sola delle giornate di misura.

ELABORAZIONE DEI DATI

L'analisi dei risultati dei partecipanti, finalizzata alla valutazione dell'accettabilità attraverso l'assegnazione di z-scores, è stata preceduta da un'accurata fase di verifica dell'attendibilità dei dati (procedura di Validazione) e seguita da un'approfondita fase di valutazioni del tipo suddetto.

Sono stati elaborati prima i dati del sito 2 (emittenti FM) in quanto tutti i partecipanti hanno fornito il contributo di 7 specifiche frequenze richieste: sono stati creati 8 insiemi di dati (campioni) di ugual numero di elementi (le 7 frequenze richieste più un campione con la somma dei contributi come rappresentativo del contributo al campo totale della banda FM).

Per quanto riguarda il sito 1, ove ogni partecipante ha effettuato due misure in due aree distinte (per livello di campo) e vi sono state misurate le due tipologie di segnale GSM e UMTS, l'elaborazione dei dati è stata più articolata e complessa. Inoltre, a differenza del sito 2, non sono

stati richiesti i contributi a specifiche frequenze ma solo di identificare le portanti BCCH fra tutte le frequenze rilevate da ciascun partecipante.

Per il segnale GSM, per ciascuna delle due misure, sono state identificate tutte le frequenze misurate da un numero congruo di partecipanti, fissato arbitrariamente in 8. Si sono ottenuti 14 campioni per ciascuna delle due misure. Le frequenze sono quasi tutte le stesse.

Per l'elaborazione dei risultati delle misure del segnale UMTS è stato necessario "manipolare" ripetutamente i dati riportando, innanzitutto, tutti i risultati sotto forma di misura Channel Power (alcuni partecipanti avevano fornito la sola misura del canale_pilota e/o il valore estrapolato); si è dovuto poi effettuare un'operazione di "pesatura", in funzione della posizione, dei risultati delle due misure ed infine la media delle due, ottenendo così un unico risultato per partecipante. Alle frequenze dell'UMTS, nell'area delle misure, il grado di uniformità spaziale del campo elettrico non era sufficiente a classificare direttamente i campioni in uno o due gruppi ed è stato necessario utilizzare il fattore di pesatura ottenuto dalle misure di caratterizzazione.

L'elaborazione statistica dei dati è stata effettuata mediante l'utilizzo di Excel mentre, per alcuni test statistici è stato utilizzato il programma free Dataplot.

In generale, ogni campione è stato sottoposto a:

test di Huber e Normal Probability Plot, per individuare eventuali outliers e per verificare la normalità delle distribuzioni dei dati, requisito essenziale per molti dei test effettuati,

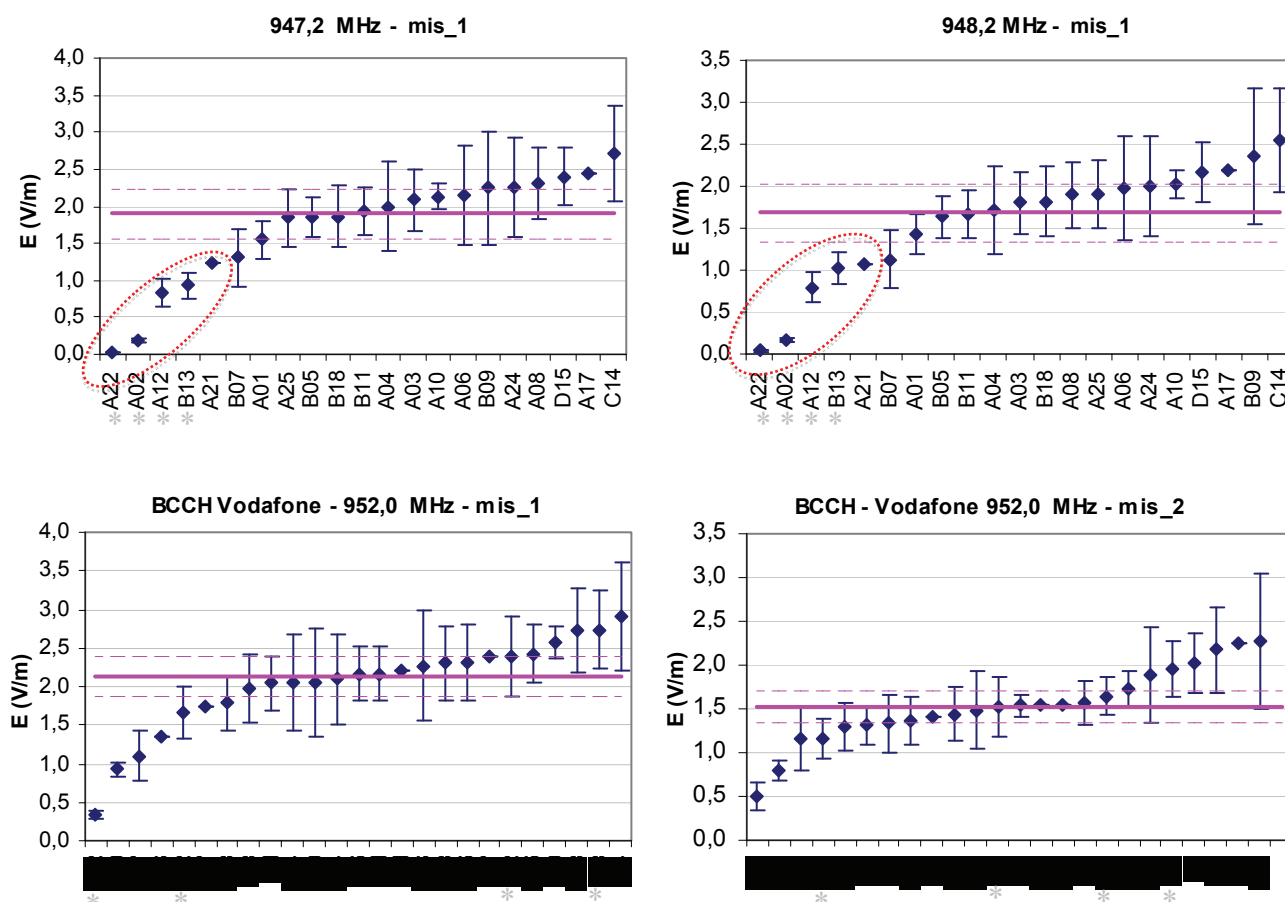
test statistici a una via (test della mediana e t-Student per dati disaccoppiato) e ANOVA a più fattori per la verifica delle ipotesi di influenza,

applicazione del metodo della statistica robusta (Algoritmo A) per la determinazione del valore di consenso come media robusta con scarto tipo robusto e incertezza.

valutazione dell'accettabilità dei risultati prodotti fatta mediante z-scores.

Riportiamo alcuni grafici dei risultati dei partecipanti rapportati al valore di consenso e all'incertezza attribuitagli (statistica), che possono essere utili anche ai fini di una migliore

Figura 1 – Valori dei partecipanti, rapportati al valore di consenso, per alcune portanti GSM.



I grafici mostrano alcune delle distribuzioni ordinate dei valori dei partecipanti rapportati al valore di consenso, precisamente per due portanti traffico della mis_1 e per le BCCH di entrambe le misure. Gli asterischi che affiancano i codici in ascisse indicano i risultati ottenuti utilizzando la modalità Avg. La presenza di questi ultimi fortemente concentrata verso i valori più bassi nelle portanti TCH rappresenta, già di per sé, un'evidenza dell'influenza del fattore modalità (Avg/MaxHold) limitatamente, però, al caso di segnali altamente variabili, dato che tale "concentrazione" si annulla completamente nella misura delle portanti BCCH (molto più stabili). In realtà, osservando attentamente i dati delle portanti TCH, questa "sottoclasse" sembra essere affetta anche da un altro fattore di differenziazione. Questa distribuzione dei valori si ritrova per tutte le portanti traffico di entrambe le misure.

TEST STATISTICI APPLICATI PER LE VALUTAZIONI D'INFLUENZA DEI PARAMETRI

Misura del segnale GSM

In un primo momento, il test t di Student è stato utilizzato sui risultati (un campione per ogni area) delle misure di caratterizzazione per verificare le ipotesi di: - esistenza di due aree distinte per livello di campo, - omogeneità dei valori all'interno di ciascuna area. Lo stesso criterio è stato poi applicato su diversi campioni di dati dei partecipanti confermando l'ipotesi delle due aree distinte, ciascuna con un buon livello di omogeneità spaziale. Il test è stato applicato su due campioni della medesima frequenza (per esempio, BCCH_mis1 e BCCH_mis2) fornendo un $p < 0,011$, e poi su sottoclassi, create in base alle posizioni, all'interno di ciascuna campione ($p > 0,12$, differenze non significative).

Questi primi test hanno confermato l'idoneità dei campioni anche dal punto di vista, per così dire, tecnico. La verifica della numerosità dei campioni, supponendo di voler rilevare variazioni del 15-20% (con potenza 0,8), ha confermato l'adeguatezza della maggior parte dei campioni.

In realtà, comunque, sono stati presi in considerazione solo alcuni dei campioni, scelti sulla base delle caratteristiche di stabilità/variabilità del segnale (TCH e BCCH appunto), del livello medio misurato e del numero di elementi del campione, corrispondente al fatto che tutti o quasi i partecipanti hanno fornito il dato a quella frequenza. In particolare sono stati considerati i campioni di quattro portanti traffico e della BCCH del settore che puntava sull'area delle misure e delle altre due BCCH. Il sommario dei test effettuati è riportato in Tabella 1.

Come fattori² d'influenza sono stati considerati, in generale: la tipologia dell'antenna (monoassiale o isotropa), la modalità di misura (Averaging vs MaxHold), i filtri RBW e VBW.

Lo studio della dipendenza dal tipo di rivelatore (detector RMS o PEAK), è stato escluso in quanto è risultato strettamente collegato alla modalità di misura. Infatti i partecipanti hanno utilizzato per tutte le misure in modalità Avg il detector RMS, mentre per quelle in modalità MaxHold, il detector PEAK.

Lo SPAN e lo sweep-time non sono stati considerati in quanto, a differenza dei filtri, la moltitudine di valori utilizzati dai partecipanti non avrebbe permesso di ricondurli a fattori a due o tre livelli.

Tutti i fattori sono stati considerati variabili qualitative.

Per quanto riguarda la tipologia dell'antenna, isotrope o monoassiali (fattore a due livelli), l'effetto è stato valutato attraverso il test t-Student su diversi campioni, risultando sempre non significativo ($p > 0,1$).

Lo stesso test è stato utilizzato per la valutazione del solo effetto della modalità di acquisizione, confermando le ipotesi formulate in base ai grafici precedentemente commentati: il "fattore modalità" influenza fortemente la misura delle TCH ($p < 0,01$) ma non la misura delle BCCH ($p > 0,3$).

Per valutare, invece, l'effetto dei diversi filtri RBW e VBW in possibile relazione con la modalità di acquisizione, si è ricorsi ad una ANOVA a tre fattori. Anche qui i fattori di studio, filtri (fattori a tre livelli) e modalità, sono trattati come variabili qualitative e codificati, mentre la variabile risposta (il file dei risultati delle misure dei partecipanti), è una variabile quantitativa.

¹ **valore p**

E' una stima della probabilità che un certo risultato, o uno ancora più estremo, si sia verificato per caso, in caso di validità dell'ipotesi nulla. Un valore piccolo di p significa che l'ipotesi nulla è difficile da sostenere e che l'effetto misurato è significativo. Piccolo significa usualmente $< 0,05$ o, con la condizione più restrittiva $< 0,01$.

² **Fattore:** variabile utilizzata per differenziare un gruppo della popolazione (o del campione) da un altro

Livello: uno dei possibili valori (o stati, o determinazioni) che il fattore può assumere

Variabile Risposta: variabile quantitativa oggetto dello studio.

Nelle Tabelle seguenti è mostrato il trattamento dei dati (“disegno dello studio”) e il risultato fornito dall’ANOVA (F test) nel caso in cui la variabile risposta è costituita dal campione della BCCH (nessuna evidenza di significatività, ma i filtri hanno un peso maggiore della modalità) e nel caso di una delle TCH ove viene confermata la significatività della modalità (Fattore 3).

Tabella 1-2 - Tavole del disegno dello studio: a sinistra la codifica delle variabili (fattori di studio), a destra la distribuzione dei livelli.

RBW	30 kHz	100 kHz	300 kHz
codifica RBW	1	2	3
VBW	30 kHz	100 kHz	3000 kHz
codifica VBW	1	2	4
Avg/MaxHold	Avg	MaxHold	
codifica Avg/MH	1	2	

	Fattori		
livelli	RBW	VBW	Avg/MaxH
1	2	3	4
2	20	19	20
3	2	-	
4	-	2	

Tabella 3 - Risultati dell’ANOVA per due variabili risposta: una misura BCCH e una delle TCH.

ANOVA Table		BCCH 952 MHz			
Source	DF	F Statistic	F CDF	Signif	
Total (corrected)	23				
Factor 1	2	3,0102	92,55%		
Factor 2	2	2,5409	89,33%		
Factor 3	1	0,7163	59,15%		
Estimation	Level-ID	NI	Mean	Effect	SD(Effect)
Factor 1	1	2	2,80999	0,78874	0,40964
	2	20	1,8875	-0,13374	0,05523
	3	2	2,57	0,54875	0,40964
Factor 2	1	3	2,56	0,53875	0,32678
	2	19	1,87842	-0,14282	0,06336
	4	2	2,57	0,54875	0,40964
Factor 3	1	4	1,7875	-0,23374	0,27618
	2	20	2,068	0,04675	0,05523

ANOVA Table		TCH 947,2 MHz			
Source	DF	F Statistic	F CDF	Signif	
Total (corrected)	20				
Factor 1	2	1,3592	71,33%		
Factor 2	2	1,5061	74,65%		
Factor 3	1	8,7153	99,01%		**
Estimation	Level-ID	NI	Mean	Effect	SD(Effect)
Factor 1	1	2	2,39999	0,67333	0,62502
	2	17	1,74705	0,02039	0,09836
	3	2	0,88	-0,84666	0,62502
Factor 2	1	3	2,35	0,62333	0,49672
	2	16	1,71562	-0,01104	0,11336
	4	2	0,88	-0,84666	0,62502
Factor 3	1	4	0,4925	-1,23416	0,41805
	2	17	2,01705	0,29039	0,09836

Misura del segnale UMTS e FM

A parte i test finalizzati a verificare l'omogeneità spaziale e la stabilità del segnale della sorgente, non è stato possibile effettuare test per valutare l'influenza dei parametri in quanto quasi tutti i partecipanti utilizzano le stesse impostazioni.

RISULTATI E CONCLUSIONI

I risultati delle valutazioni e dei test effettuati sui dati dell'IC015 hanno prevedibilmente confermato l'influenza di alcuni fattori limitatamente ad alcuni casi, confermando, quindi, solo in parte, i risultati ottenuti in condizioni controllate e ribadendo la necessità di fornire, a livello di norme tecniche, indicazioni più specifiche.

Tabella 4 – (Grugliasco – segnale GSM) Riepilogo dell'elaborazione dei dati e dei Test effettuati

Portanti	TCH 947,2	SDCCH 948,2	TCH 948,8	BCCH 951,4	BCCH 952,0	BCCH 952,8	SDCCH 953,8
Media robusta	1,90	1,68	1,77	0,15	2,13	0,14	2,25
Incertezza (95%)	0,28	0,30	0,22	0,02	0,22	0,02	0,16
Numero campioni totali	21	21	21	17	25	19	21
Test							
Outliers (Test Huber)	0	0	2	1	1	0	5 (*)
Distribuzione (NPPlot)	Norm	Norm	Norm	Norm	Norm	Norm	Norm
Differenza livelli E per Aree di misura (*2)	signif	signif	signif	signif	signif	signif	signif
Differenza livelli E fra turni (*3)	Non signif	Non signif	Non signif	-	Non signif	-	Non signif
Fattore: Modalità acquisizione, Avg vs MaxHold [t-Student]	signif	signif	signif		Non signif	Non signif	-
		signif		-	Non signif	Non signif	-
Fattore: filtro VBW (solo su dati Avg) [t-Student]		signif					
Fattori: RBW, VBW e Modalità [ANOVA]	signif	signif	signif	Non signif	Non signif	Non signif	Non applic

(*2) la differenza riguarda solo l'AREA di mis1 confrontata con quella di mis2, non le posizioni all'interno della stessa area.

(*3) la valutazione è fatta solo fra i turni "completi", ovvero quelli in cui tutte le postazioni erano occupate.

Tabella 5 – Riepilogo dei Test effettuati sui dati delle emittenti FM (sito2)

Portanti	89,7	91,3	93,9	94,4	96,4	98,5	101
Media robusta	1,83	1,24	3,09	8,09	1,89	0,66	1,65
Incertezza (95%)	0,19	0,18	0,39	0,99	0,16	0,08	0,13
Numero campioni totali	25	25	25	25	25	25	25
Test							
Outliers (Test Huber)	0	0	0	0	1	0	1
Distribuzione (NPPlot)	Norm	Norm	Norm	Norm	Norm	Norm	Norm
Differenza livelli E fra turni, (1-4 vs 5-7) [t-Student]	Non Sign	Non Sign	Non Sign	Non Sign	Non Sign	Non Sign	Non Sign
Fattore: antenna (isotropa vs monoassiale) [t-Student]	Non Sign	Non Sign	Non Sign	Non Sign	Non Sign	Non Sign	Non Sign
Fattore: Modalità acquisizione, Avg vs MaxHold [t-Student]	Non applicabile						
Fattore: detector (RMS vs Peak) [t-Student]	Non applicabile						

DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Barellini A, Bogi L, Licitra G, Silvi AM, "Dipendenza delle misure di segnali GSM dai parametri d'impostazione dell'Analizzatore di Spettro Digitale", Atti del Terzo Convegno Nazionale 'Controllo ambientale degli agenti fisici: dal monitoraggio alle azioni di risanamento e bonifica', Biella, 7-9 giugno 2006.

Norma Italiana CEI 211-7 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana", 2001.

Norma Italiana CEI 211-10;V1 "Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza Appendice H: Metodologie di misura per segnali UMTS", 2004.

ISO/IEC Guide 43-1 Proficiency testing by interlaboratory comparison – Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes.

ISO 13528:2005(E): "Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons".

ISO/IEC 17043:2010: "Conformity assessment -- General requirements for proficiency testing"

Orazio Rossi "Metodi statistici multivariati per l'analisi di dati ecologici ed ambientali". (2009) Uni.Nova Editore.