



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Confronti Interlaboratorio per misure di Campi Elettromagnetici: Analisi dei fattori d'influenza attraverso l'elaborazione statistica dei risultati del Circuito Ispra IC015

Lucia Ardoino, Enrichetta Barbieri, Sabrina Barbizzi

ISPRA, Metrologia Ambientale

Laura Anglesio, Giovanni d'Amore

ARPA Piemonte, Centro tematico Radiazioni Ionizzanti e non Ionizzanti

Alberto Maria Silvi

ARPA Toscana – Dipartimento di Pisa



V Convegno Nazionale

**IL CONTROLLO DEGLI AGENTI FISICI:
AMBIENTE, SALUTE E QUALITA' DELLA VITA**

Novara, 6-8 giugno 2012



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Interconfronto IC015

misure selettive di campo elettrico associato a segnali GSM, UMTS e FM

due siti in provincia di Torino

- sito 1, 1° giorno - stazione radiobase, **misure GSM (2 misure) e UMTS**
- sito 2, 2° giorno - trasmissioni radiotelevisive, **misure FM (1 misura)**

hanno partecipato 27 dipartimenti provinciali (incluso un partecipante estero)

tutti hanno fornito i risultati e le informazioni richieste [due partecipanti però hanno fornito risultati per una sola delle due giornate]

sono richiesti singoli contributi alle frequenze nelle bande suddette

Il valore assegnato per ciascuna frequenza/campione è stato determinato come **valore di consenso** ottenuto mediante la statistica robusta



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



misure selettive → permettono l'identificazione dei singoli contributi

➤ **elementi di complessità**

catena strumentale

taratura degli strumenti

impostazioni dei parametri di acquisizione

➤ **elementi di criticità**

variabilità temporale intrinseca dei segnali

variabilità spaziale del campo legata alle caratteristiche delle sorgenti

variabilità spaziale del campo legata alla presenza di oggetti riflettenti

➤ **Norme Tecniche CEI 211-7, CEI 211-10 App H** lasciano certa arbitrarietà per strumenti e taratura

impostazioni parametri di acquisizione

criteri di scelta dei punti di misura (solo precise per le tre altezze)

incertezza (totale) entro ± 3 dB

**tutto questo concorre alla
dispersione dei risultati delle
misure in un sito**



Organizzazione del Circuito IC015

- **protocollo “preliminare”** → raccolta adesioni → raccolta informazioni strumenti e procedure
 - **protocollo definitivo** → in accordo con ISO 43-1 e 17043
 - **scelta e caratterizzazione dei siti** di misura
 - **taratura SIT** degli strumenti in uso
 - **misure** in campo
 - raccolta ed elaborazione dei dati in accordo ISO 43-1 e ISO 13528
- **I partecipanti utilizzano le proprie procedure di cui sono tutti i**
- **ARPA Piemonte dispone di Centro SIT 069 – ha effettuato tarature SIT di antenne e cavi per chi ne ha fatto richiesta**
- **caratteristiche e requisiti del sito ideale**
- **definizione e attuazione delle misure essenziali per la caratterizzazione sito**
- **Analisi dei risultati delle misure di caratterizzazione**



Caratterizzazione dei siti

Sito 1 – Grugliasco - parcheggio multipiano centro commerciale LeGru – GSM



	A	B	C
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
...			
15			

Misure della BCCH 952 MHz

	Zona A (gialla)	Zona B (verde)
Media	1,97	1,20
Mediana	2,07	1,18
Standard Dev	0,25	0,08
Intervallo	0,67	0,19
Minimo	1,58	1,12
Massimo	2,25	1,32
Liv Confid (95%)	0,19	0,09

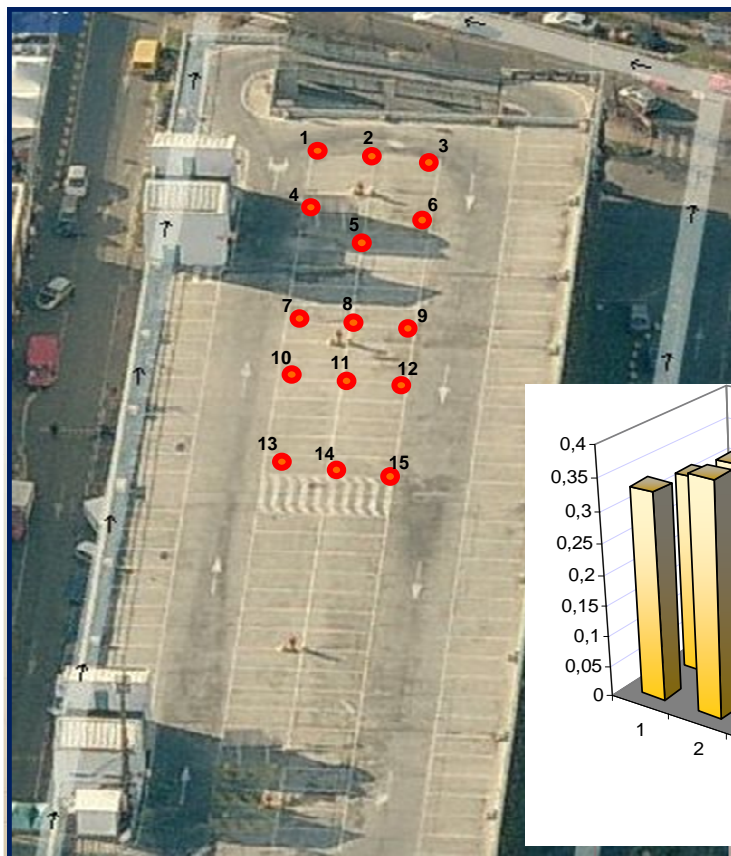
$t = 8,626$ (gdl = 30) $p < 0,01$

**L'intera area NON è
sufficientemente omogenea,
MA se consideriamo due aree,
ognuna presenta una
variabilità spaziale
contenuta**



Caratterizzazione dei siti

Sito 1 – Grugliasco - parcheggio multipiano centro commerciale LeGru – UMTS



➤ Sono state effettuate misure ripetute di canale_pilota e Channel Power, nei soli 15 punti usati dai partecipanti

$$N(p) = E_{\text{ref}}(p)/E_{\text{max}}$$

pos	$E_{\text{ref}}(p)$ (V/m)	N(p)	pos	$E_{\text{ref}}(p)$ (V/m)	N(p)
1	0,34	0,89	9	0,23	0,61
2	0,32	0,85	10	0,17	0,44
3	0,31	0,83	11	0,18	0,48
4	0,38	1,00	12	0,15	0,40
5	0,33	0,87	13	0,07	0,19
6	0,28	0,75	14	0,06	0,16
7	0,24	0,63	15	0,12	0,31
8	0,25	0,67			

$$E_{xx} = \frac{1}{2} [E_{xx}(p_{xx-1}) * N(p_{xx-1}) + E_{xx}(p_{xx-2}) * N(p_{xx-2})]$$

- I valori normalizzati sono stati utilizzati come funzione peso per combinare i risultati delle due misure → un unico valore per ogni partecipante
- L'informazione dell'incertezza non viene utilizzata



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Caratterizzazione dei siti

Sito 2 – Colle della Maddalena - Parco della Rimembranza - FM



- Sono state effettuate misure BL in 36 punti... ma sono state utilizzate solo 4 posizioni per la necessità di impiegare laboratori schermati
- Risultato misura BL nei 4 punti: $E=11,52 \pm 0,15 \text{ V/m}$
- La variabilità del segnale di sorgente è stata valutata attraverso il confronto di misure in diversi periodi (caratterizzazione) e con una centralina (Narda AMS 8060) nella giornata dell'interconfronto.
- Sono state richieste 7 specifiche frequenze (FM)



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



➤ **TARATURA ANTENNE E CAVI**

➤ **MISURE IN CAMPO**

➤ **INVIO E RACCOLTA RISULTATI**



ELABORAZIONE E ANALISI DEI DATI



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Elaborazione dei risultati → campioni

➤ L'elaborazione è stata preceduta da un'accurata verifica di tutti i dati forniti

B05		1	M	944,8	945,2	945,6	945,8	947,2	948,2	948,9	949,3	949,8	950,2	951,2	952,0	952,8	953,8
	E(f)			0,13	0,14	0,11	0,15	1,85	1,85	0,02	0,09	0,14	0,12	0,16	2,42	0,17	2,75
	I			0,01	0,01	0,01	0,02	0,28	0,24	0,28	0,01	0,016					
A06		14	M	944,8	945,3		945,7	947,1	948,2	948,8		949,9					
	E(f)			0,10	0,14		0,17	2,14	1,96	2,02		0,15					
	I			0,03	0,04		0,05	0,67	0,62	0,64		0,05					

- GSM: 2 misure, 14 campioni per ogni misura;
 - il numero di elementi per campione è variabile (>8)
- UMTS: unico campione
- FM: 8 campioni (7 *freq* richieste + totale); il numero di elementi è lo stesso perché tutti hanno misurato le *freq* richieste

944,8				945,2			
cod_la	E	I	I*	cod_la	E	I	I*
A01	0,10	0,02	0,02	A01	0,12	0,02	0,02
A03	0,10	0,02	0,02	A03	0,10	0,02	0,02
A04	0,15	0,03	0,04	A04	0,17	0,04	0,04
B05	0,13	0,01	0,02	B05	0,14	0,01	0,02
A06	0,10	0,03	0,03	A06	0,14	0,04	0,04
A08	0,10	0,02	0,03	A08	0,10	0,02	0,02
A10	0,14	0,01	0,01	B11	0,12	0,02	0,02
B11	0,13	0,02	0,02	A12	0,09	0,02	0,02
A12	0,08	0,02	0,02	D15	0,10	0,02	0,02
D15	0,10	0,02	0,02	A17	0,09	0,00	0,01
A17	0,12	0,00	0,02	B18	0,12	0,03	0,03
B18	0,11	0,02	0,02	A22	0,02	0,00	0,00
A22	0,02	0,00	0,00	A24	0,12	0,04	0,04
A24	0,11	0,03	0,03	A25	0,11	0,02	0,02
A25	0,12	0,03	0,03				



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



ANALISI DEI DATI

ogni campione è stato sottoposto a:

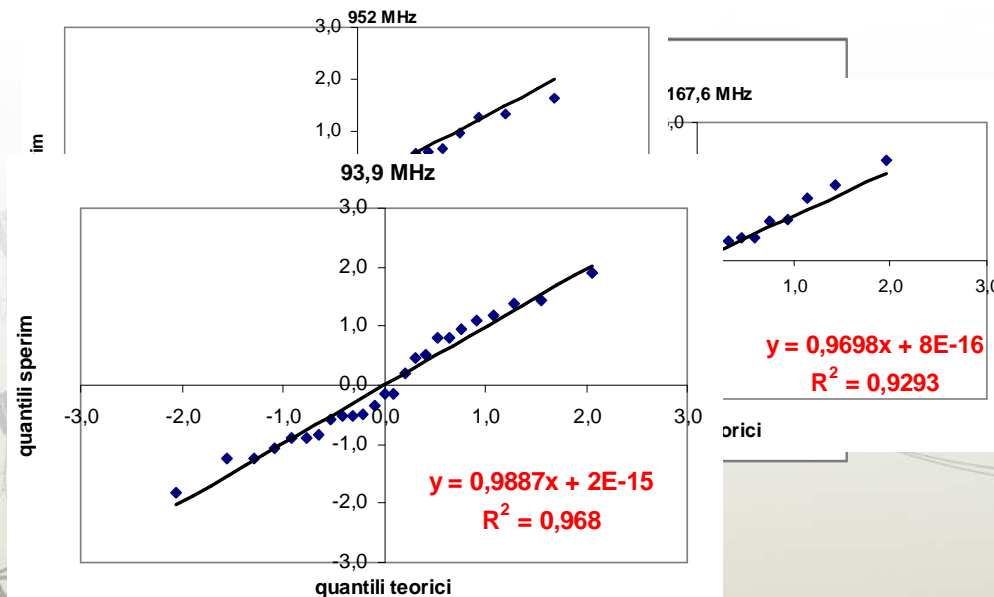
- Normal Probability Plot → normalità delle distribuzioni
- test di Huber → outliers
- statistica robusta (Algoritmo A) → **valore di consenso** + scarto tipo robusto + incertezza stat
- valutazione dell'accettabilità dei risultati mediante z-scores
- test statistici → a una via (test mediana e t-Student)
→ ANOVA a più fattori
per la verifica delle ipotesi di influenza



ANALISI DEI DATI

La distribuzione normale è requisito per l'applicazione della statistica robusta e per i test parametrici (NPPlot)

👍 Tutte le distribuzioni sono normali



Dati “anomali” (outliers): che farne? (Huber test)

→ Inclusi ?

→ Esclusi ?

👍 La media robusta non risente della presenza di 1 o 2 dati anomali ...
... ma ...

👎 porterebbero inutilmente a degli z-scores > 3

👍 Solo pochi campioni presentano 1 o 2 dati anomali

👍 In quasi tutti i casi i dati anomali hanno trovato una giustificazione (fattori d'influenza, anomalie della strumentazione, ...)



Statistica Robusta (Algoritmo A)

Campione: $(x_1, x_2, x_3, \dots \dots x_n)$

- x^* media robusta

- s^* scarto tipo robusto

Valori iniziali:

$x^* \leftarrow$ mediana di x_i

$s^* \leftarrow 1,483 * \text{mediana} (|x_i - x^*|)$

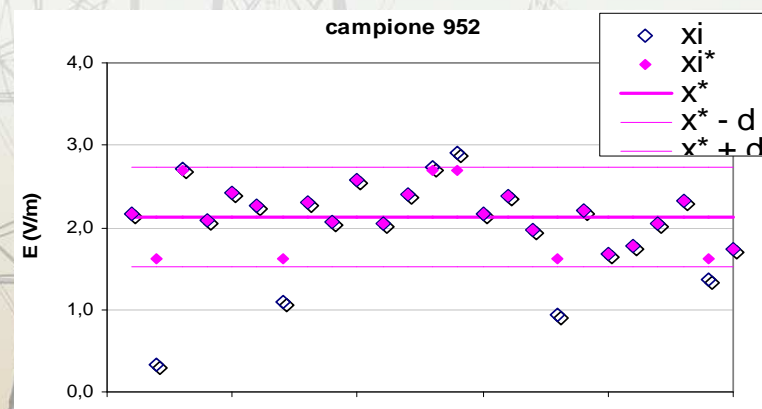
$\delta = 1,5 * s^*$

$$x_i^* = \begin{cases} x^* - \delta & \text{se } x_i < x^* - \delta \\ x^* + \delta & \text{se } x_i > x^* + \delta \\ x_i & \text{altrimenti} \end{cases}$$

quando è raggiunta la convergenza:

$$x^* = \sum x_i^* / n$$

$$s^* = 1,134 \sqrt{\sum (x_i^* - x^*)^2 / (n-1)}$$



Accettabilità \leftarrow

$$z - \text{score}_i = \frac{|x_i - x^*|}{s^*}$$

≤ 2 , accettabile
 > 2 e < 3 , discutibile
 ≥ 3 , non accettabile

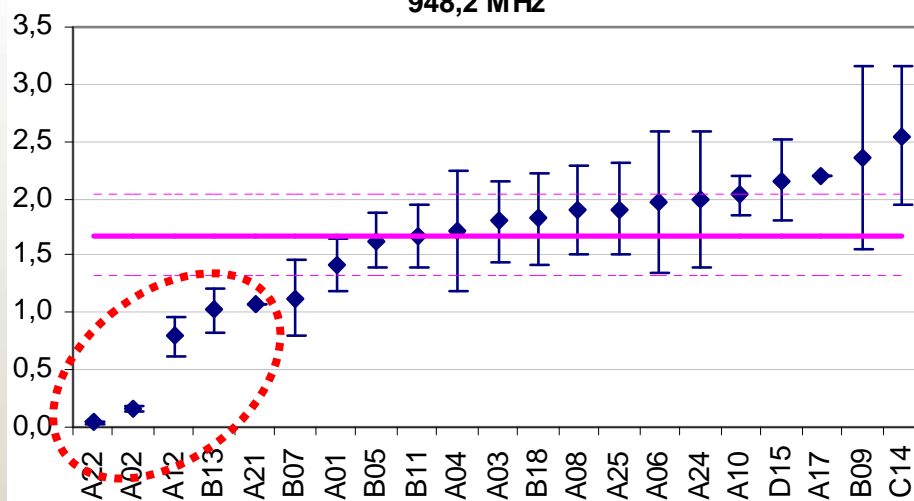


ANALISI DEI DATI

valutazione qualitativa dell'influenza delle impostazioni (GSM)

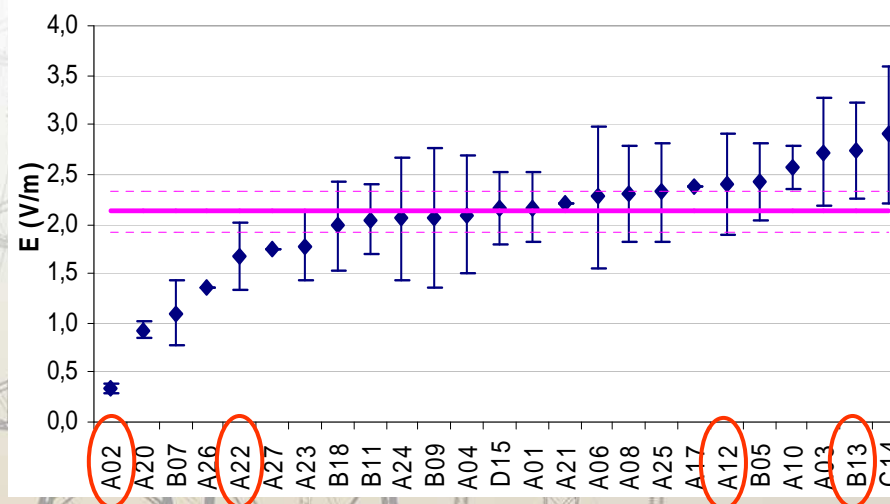
Portanti traffico

948,2 MHz

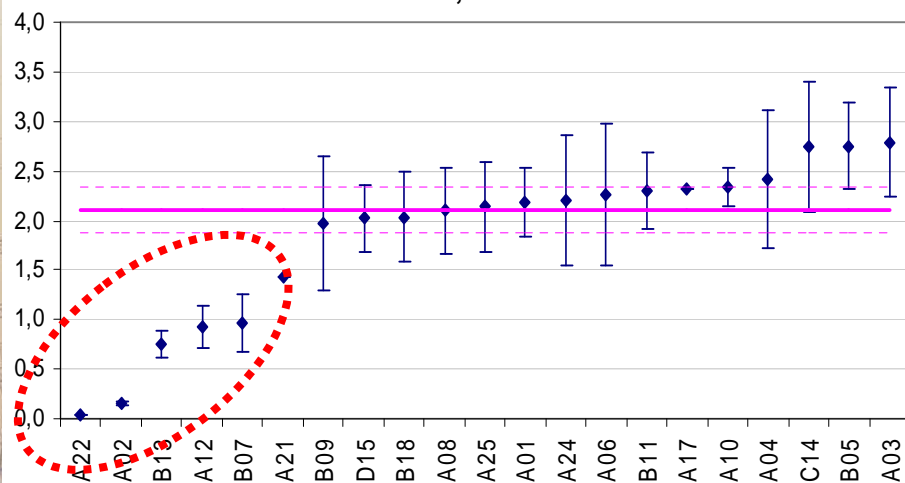


Portanti BCCH

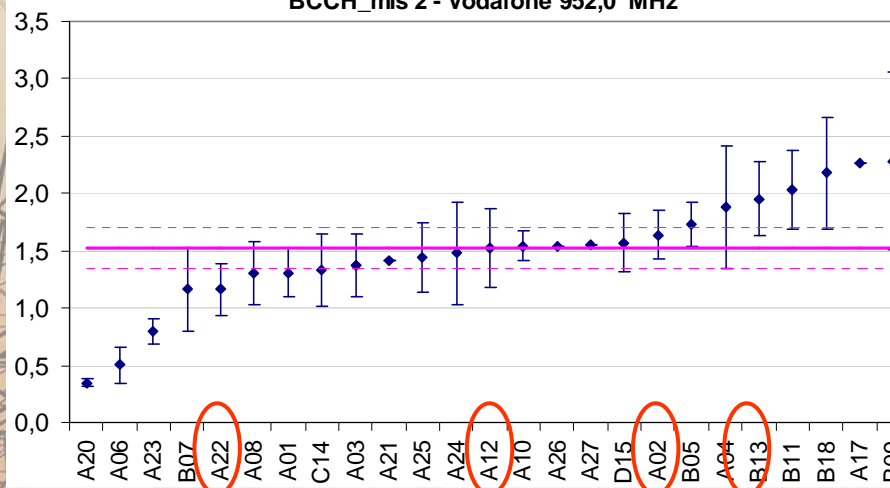
BCCH_mis 1 - Vodafone - 952,0 MHz



953,8 MHz



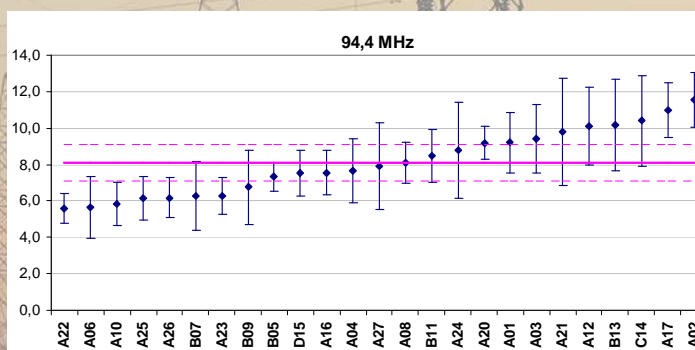
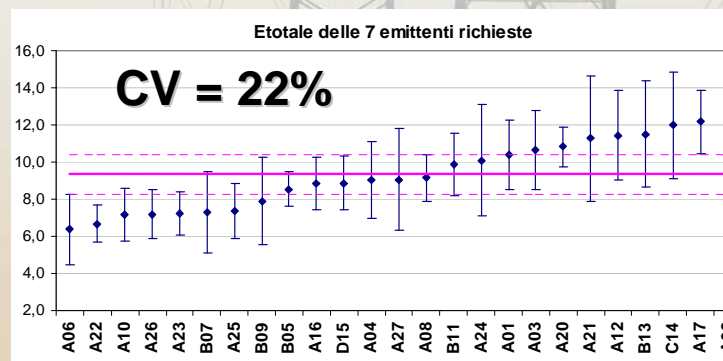
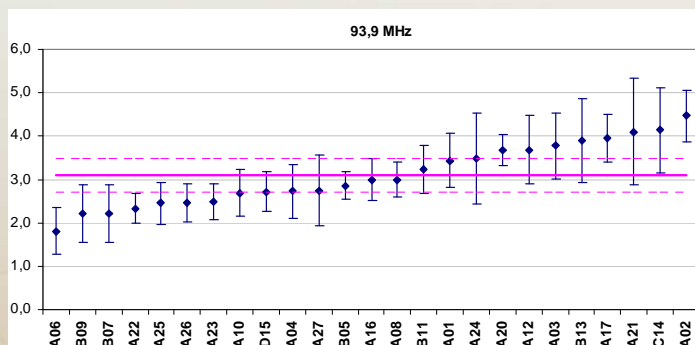
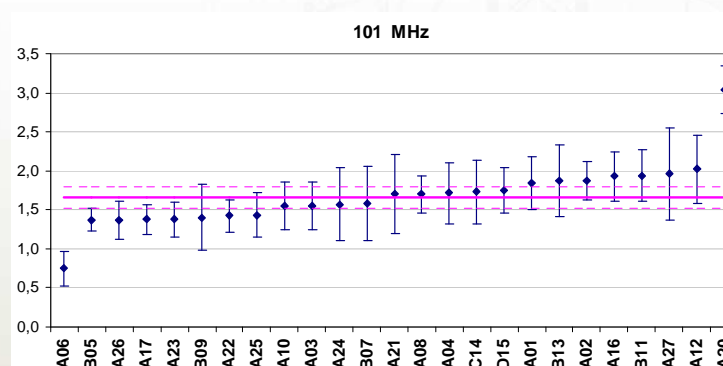
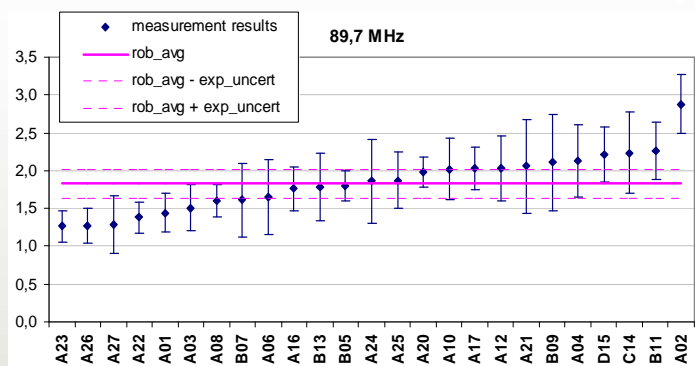
BCCH_mis 2 - Vodafone 952,0 MHz





ANALISI DEI DATI

valutazione qualitativa dell'influenza delle impostazioni (FM)



$$CV = \frac{s^*}{x^*} \cdot 100$$

➤ I coefficienti di variazione (CV) sono sempre tra il 16% e il 25%

➤ Questo ha impedito di rilevare probabili variazioni temporali (significative) dei segnali di riferimento (sorgente) del 10%



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



ANALISI DEI DATI

POSSIBILI FATTORI D'INFLUENZA

- **Antenna: isotropa vs monoassiale**
- **Taratura: recente (appena effettuata) vs taratura di oltre un anno**
- **Procedure: automatizzate vs manuali**
- **Impostazioni AS:**
 - **MaxHold vs Averaging**
 - **Detector Peak vs RMS**
 - **Filtro RBW (da 30 kHz a 300 kHz)**
 - **Filtro VBW (da 30 kHz a 3 MHz)**



Riepilogo test su campioni di misure GSM

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 Exp (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	<u>5 (*)</u>
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 per turni (*3)	Non signif	Non signif	Non signif	-	Non signif	-	Non signif
Fattore: Modalità acquisizione, Avg vs MaxHold [<i>t-Student</i>]	signif	signif	signif	-	Non signif	Non signif	-
		signif		-	Non signif	Non signif	-
Fattore: filtro VBW (solo su dati Avg) [<i>t-Student</i>]		signif					
Fattori: RBW, VBW e Modalità [<i>ANOVA</i>]	signif A vs MH	signif A vs MH	signif A vs MH	Non signif	Non signif	Non signif	Non applic



ANALISI DEI DATI

valutazione quantitativa dell'influenza delle impostazioni (GSM)

Disegno dello studio

RBW	30 kHz	100 kHz	≥300 kHz
Cod RBW	1	2	3
VBW	30 kHz	100 kHz	≥1000 kHz
Cod VBW	1	2	4
Avg / MaxH	Avg	MaxHold	
Cod Avg/MH	1	2	
Fattori			
livelli	RBW Factor 1	VBW Factor 2	Avg/MaxH Factor 3
1	2	3	4
2	19	19	20
3	3	-	
4	-	2	

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	71,65%		
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



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Conclusioni

- Interconfronti di questo tipo, oltre a fornire le valutazioni di affidabilità dei risultati dei partecipanti, permettono di valutare l'influenza di vari elementi direttamente "in condizioni reali"
- Tali valutazioni confermano i risultati di laboratorio (condizioni controllate) ma hanno una valenza diversa
- La dispersione dei risultati delle misure, vista semplicemente attraverso i CV, è risultata ampiamente entro l'incertezza ammessa dalle Norme Tecniche (± 3 dB)
- E' necessario tentare di uniformare le metodiche di valutazione dell'incertezza
- E' auspicabile aumentare la frequenza di confronti di questo tipo, soprattutto sui segnali di nuova generazione



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



**GRAZIE
DELL'ATTENZIONE**

