

WEBNIR

Strumenti WEB per la valutazione dell'esposizione occupazionale alle Radiazioni Non Ionizzanti

Distanza di rispetto: concetti, misure, file-dati, calcolo e valutazione dell'errore.

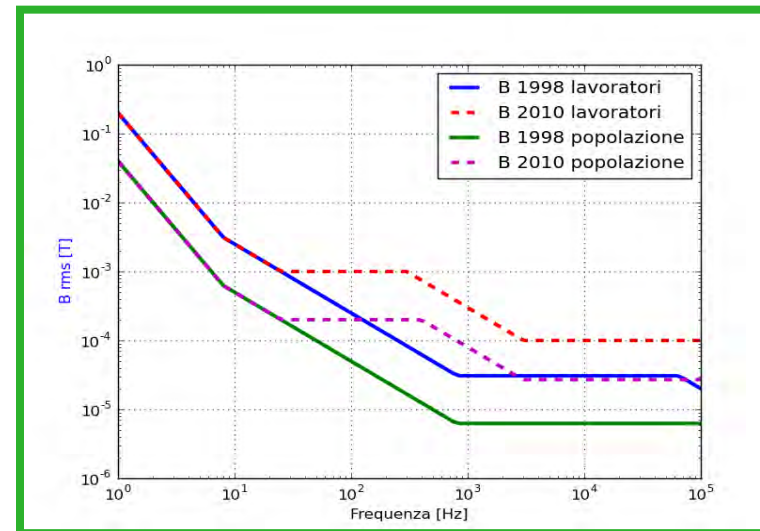
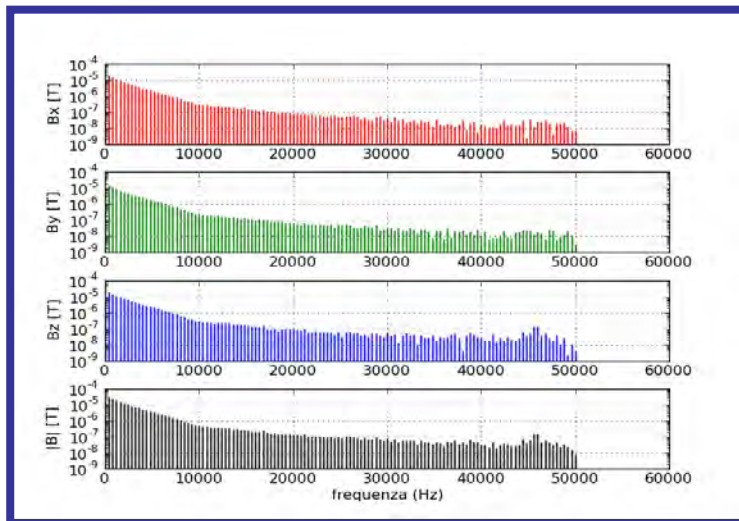
N.Zoppetti, IFAC-CNR

n.zoppetti@ifac.cnr.it

Indici di esposizione

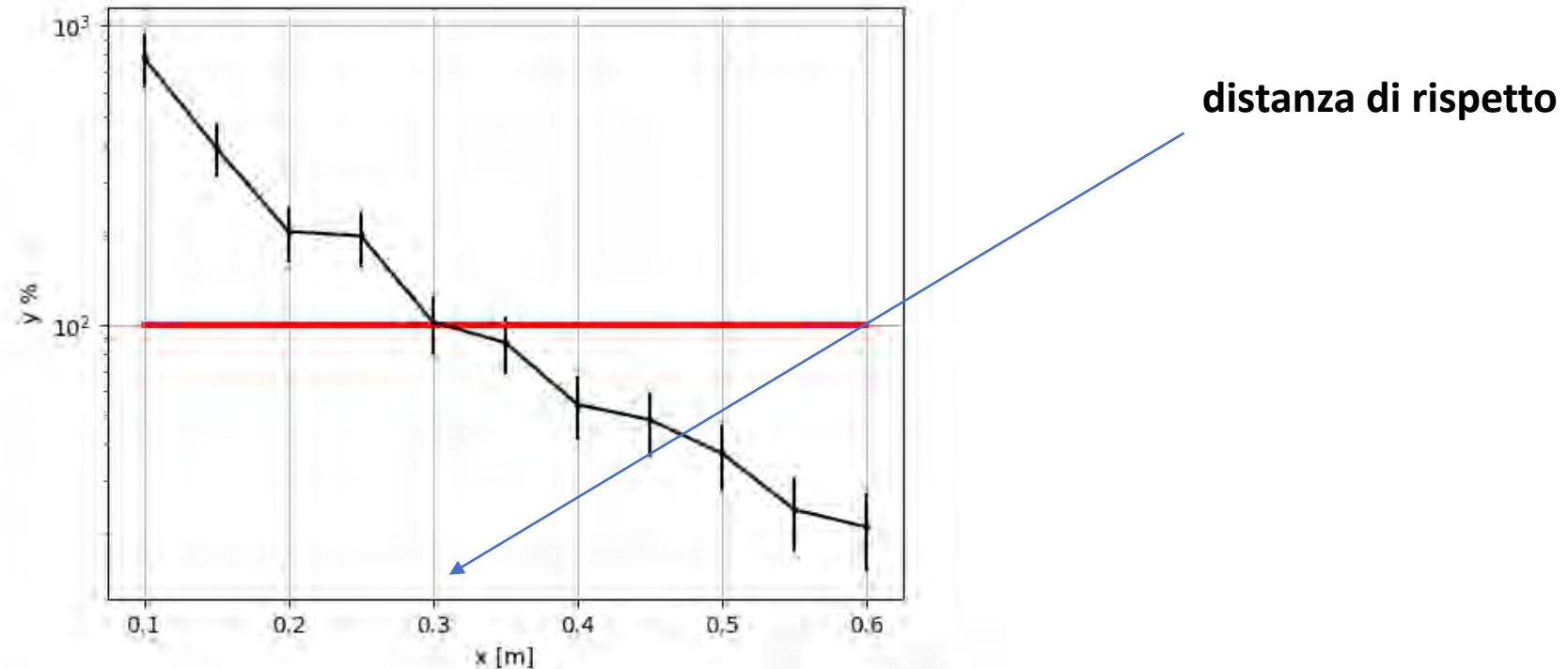
Gli **indici di esposizione** sono grandezze di rilievo nella valutazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici, in particolare in ambito occupazionale, perché tengono conto sia dello spettro del campo, sia dell'andamento in frequenza dei limiti normativi.

$$\vec{B}(t) = \sum_{k=1}^n [B_{x,k} \cos(2\pi k f_0 t + \theta_{xk}) \cdot \hat{i}_x + B_{y,k} \cos(2\pi k f_0 t + \theta_{yk}) \cdot \hat{i}_y + B_{z,k} \cos(2\pi k f_0 t + \theta_{zk}) \cdot \hat{i}_z]$$

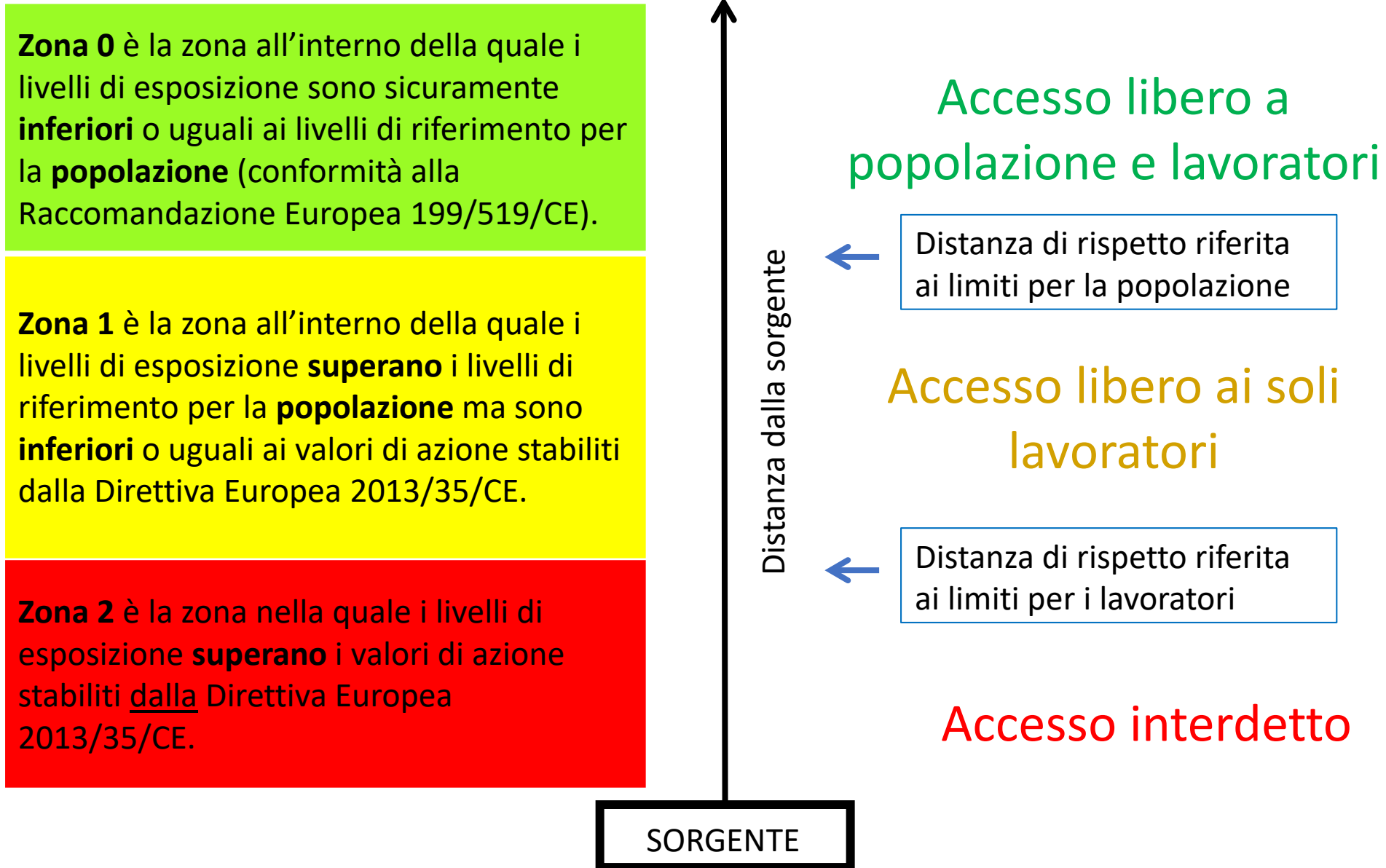


distanza di rispetto

In molte situazioni, un parametro che permette di caratterizzare l'esposizione e dare indicazioni sintetiche ed efficaci sulla valutazione e la riduzione del rischio, è la **distanza di rispetto**, cioè la distanza dalla sorgente oltre la quale l'indice di esposizione considerato è inferiore al 100%.



Distanza di rispetto e Zonizzazione





WEBNIR

Strumenti **WEB** per la valutazione dell'esposizione occupazionale alle **R**adiazioni **N**on **I**onizzanti

Ti trovi in: [> Home](#) [> Sezione pubblica](#) [> CEM](#) [> Ricerca di strumenti Web per tipologia](#)



Sezione pubblica

- [Campi Elettromagnetici](#) >
- [Dispositivi Medici Impiantabili](#) >
- [Radiazioni Ottiche Artificiali](#) >

CAMPI ELETTROMAGNETICI RICERCA DI STRUMENTI **WEB** PER TIPOLOGIA

Aspetti generali

- Consultazione dei limiti normativi
- Confronto di limiti normativi
- Caricamento e personalizzazione di un grafico generico
- Elenco strutturato di sorgenti

Calcolo della distanza di rispetto

- Interpolazione di misure di indice e calcolo della distanza di rispetto
- Interpolazione di misure di indice e calcolo della distanza di rispetto con determinazione dell'incertezza

Applicazioni per la caratterizzazione di sorgenti nell'ambiente esterno

- Calcolo dell'induzione magnetica generata da più sistemi di conduttori rettilinei indefiniti
- Calcolo dell'induzione magnetica generata da più sistemi di conduttori elicordati indefiniti

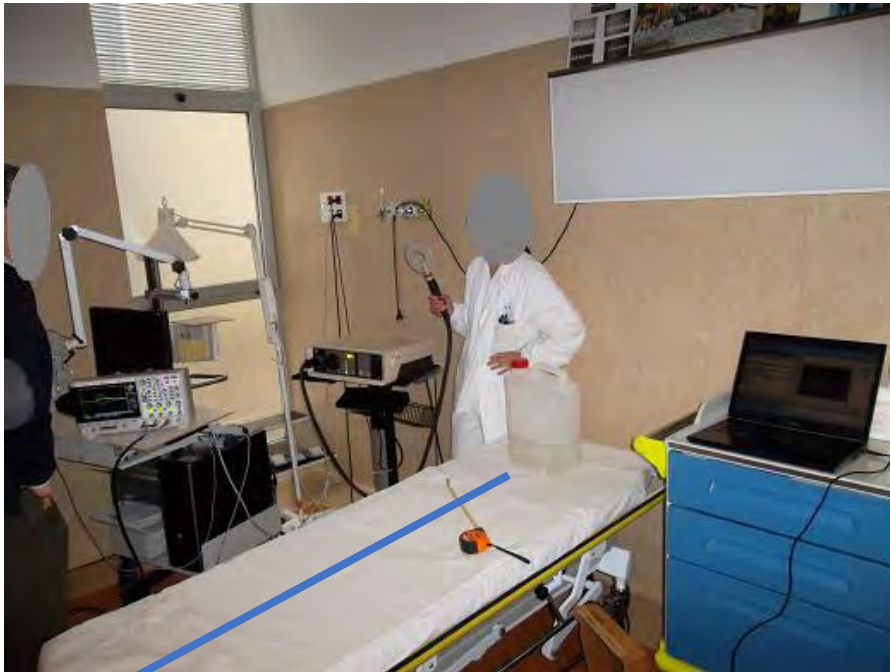
Obiettivi degli strumenti sviluppati

1. Determinare la distanza di rispetto a partire da un numero limitato di misure, grazie ad un metodo di interpolazione flessibile che può essere utilizzato in abbinamento a diversi modelli di sorgente.
2. Propagare l'incertezza di misura sul risultato dell'interpolazione e determinare una stima dell'incertezza della distanza di rispetto stessa.

I problemi da risolvere

Ho la possibilità di eseguire misure di un generico indice di esposizione a distanza x crescente dalla sorgente.

1. Voglio **determinare la distanza di rispetto** relativa ad una sorgente di campo (per semplicità magnetico a bassa frequenza).
2. Voglio **propagare l'incertezza** della misura **sulla distanza di rispetto**.



x [m]

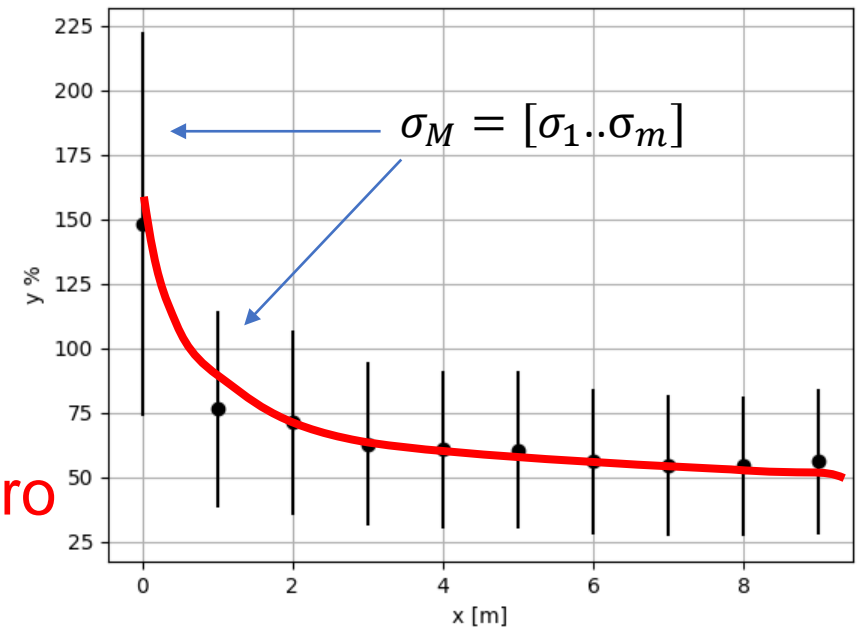
Problema 1 di 2: la determinazione della distanza di rispetto

- Si suppone di avere m misure caratterizzate da $x_M = [x_1 \dots x_m]$, $y_M = [y_1 \dots y_m]$, $\sigma_M = [\sigma_1 \dots \sigma_m]$ dove:
 - x_M è il vettore che rappresenta la distanza dalla sorgente dei punti di misura (che si intendono allineati lungo una retta passante per la sorgente);
 - y_M rappresenta gli indici misurati;
 - σ_M l'incertezza delle misure di questi ultimi.

Fissata la forma di una «funzione» $f(x, p_1, \dots, p_n)$ che dipende dalla distanza x e da un generico numero n di parametri

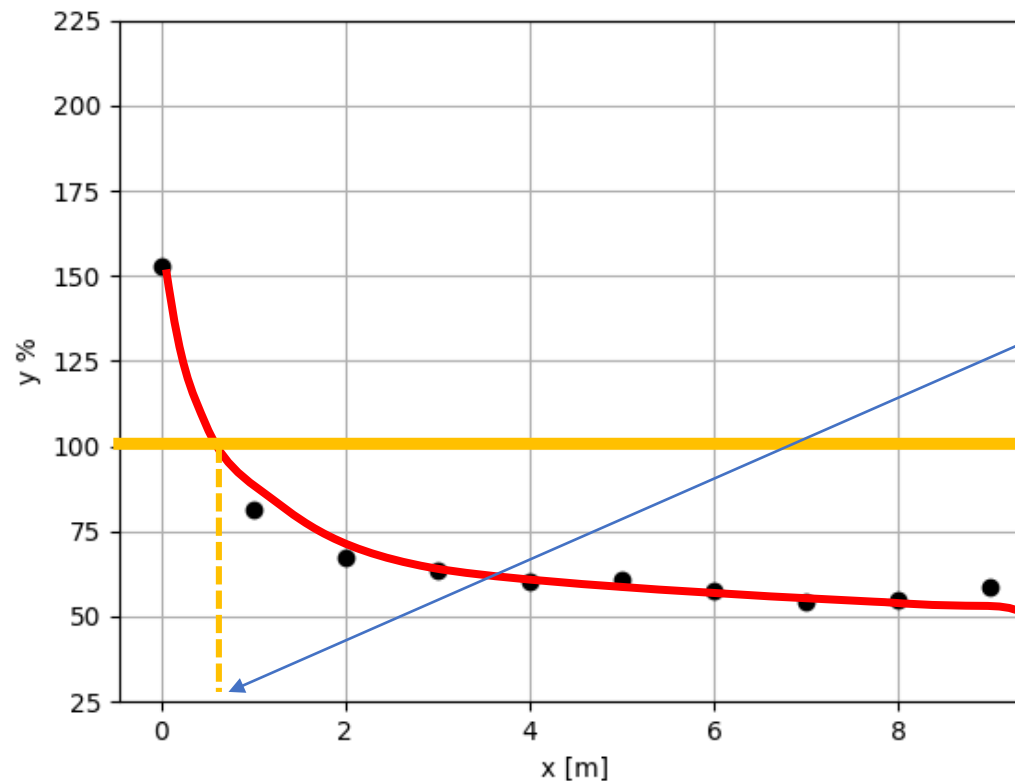
$$y = f(x, p_1, \dots, p_n)$$

«Cerco» i parametri p_{o1}, \dots, p_{on} tali da minimizzare lo scarto quadratico medio tra le misure ed una funzione $y = f(x, p_1, \dots, p_n)$ di forma fissata.



Problema 1 di 2: la determinazione della distanza di rispetto

Una volta determinati i parametri «ottimali» p_{o1}, \dots, p_{on} e quindi una particolare «realizzazione» della funzione interpolante $f(x, p_{1o}, \dots, p_{no})$ è possibile determinare la distanza di rispetto come intersezione tra $f(x, p_{1o}, \dots, p_{no})$ e la retta orizzontale $y=100\%$.

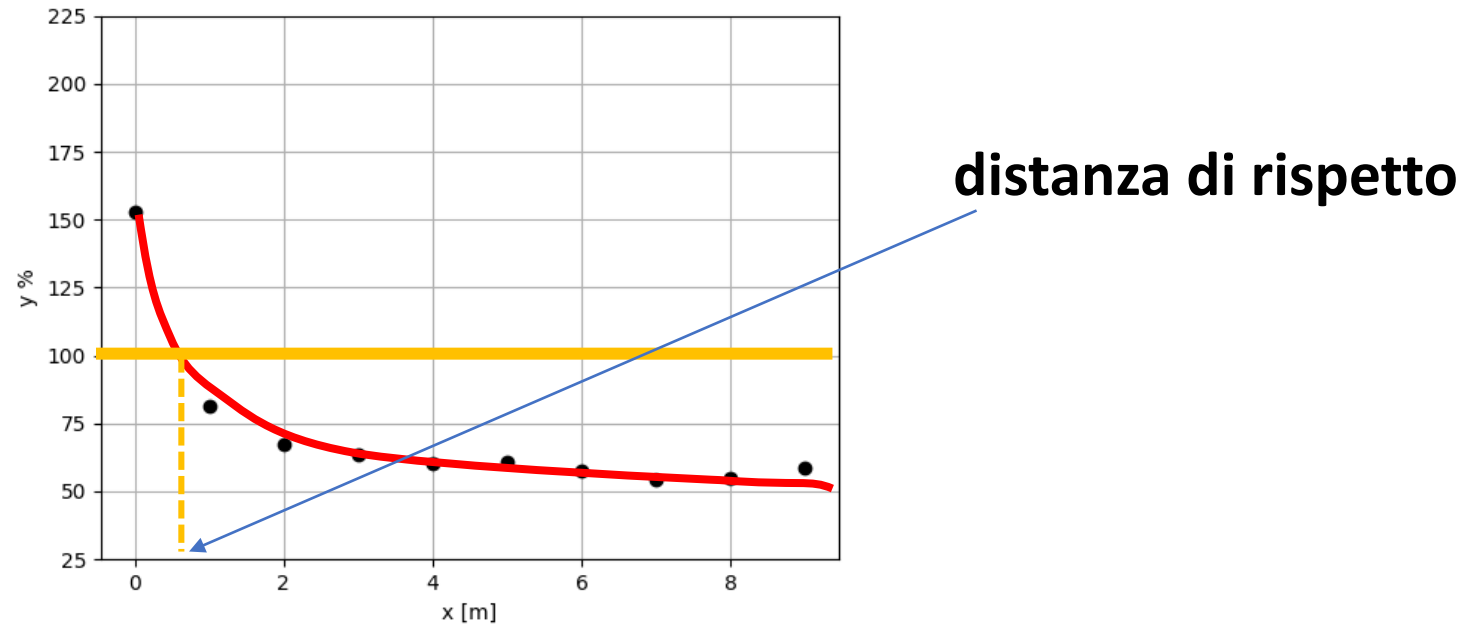


distanza di rispetto

ESEMPI di APPLICAZIONE sul portale **WEBNIR**

- **Modalità di utilizzo** (scheda Presentazione)
- **Limitazioni** (scheda Presentazione)
- **Formato del file-dati** (scheda Istruzioni)

Problema 2 di 2: propagazione dell'incertezza



- la distanza di rispetto così determinata NON tiene conto degli errori di misura σ_M
- la procedura di minimizzazione (`scipy.curve_fit`) restituisce la matrice di varianza-covarianza dei parametri S_p ($n \times n$) che invece dipende da σ_M

Problema 2 di 2: propagazione dell'incertezza

Per ottenere indicazioni sull'incertezza della grandezza misurata y in un insieme di k punti x_j scelti a piacere (ed in genere non coincidenti con x_M):

- si determina (analiticamente o numericamente) la matrice F (k righe, n colonne) delle derivate parziali del modello al variare dei parametri in ciascun punto.

$$F = \frac{\partial f(x_j, p_i)}{\partial p_i}$$

- si determina la matrice varianza covarianza S_f (k righe, k colonne) della grandezza interpolata nei k punti scelti.

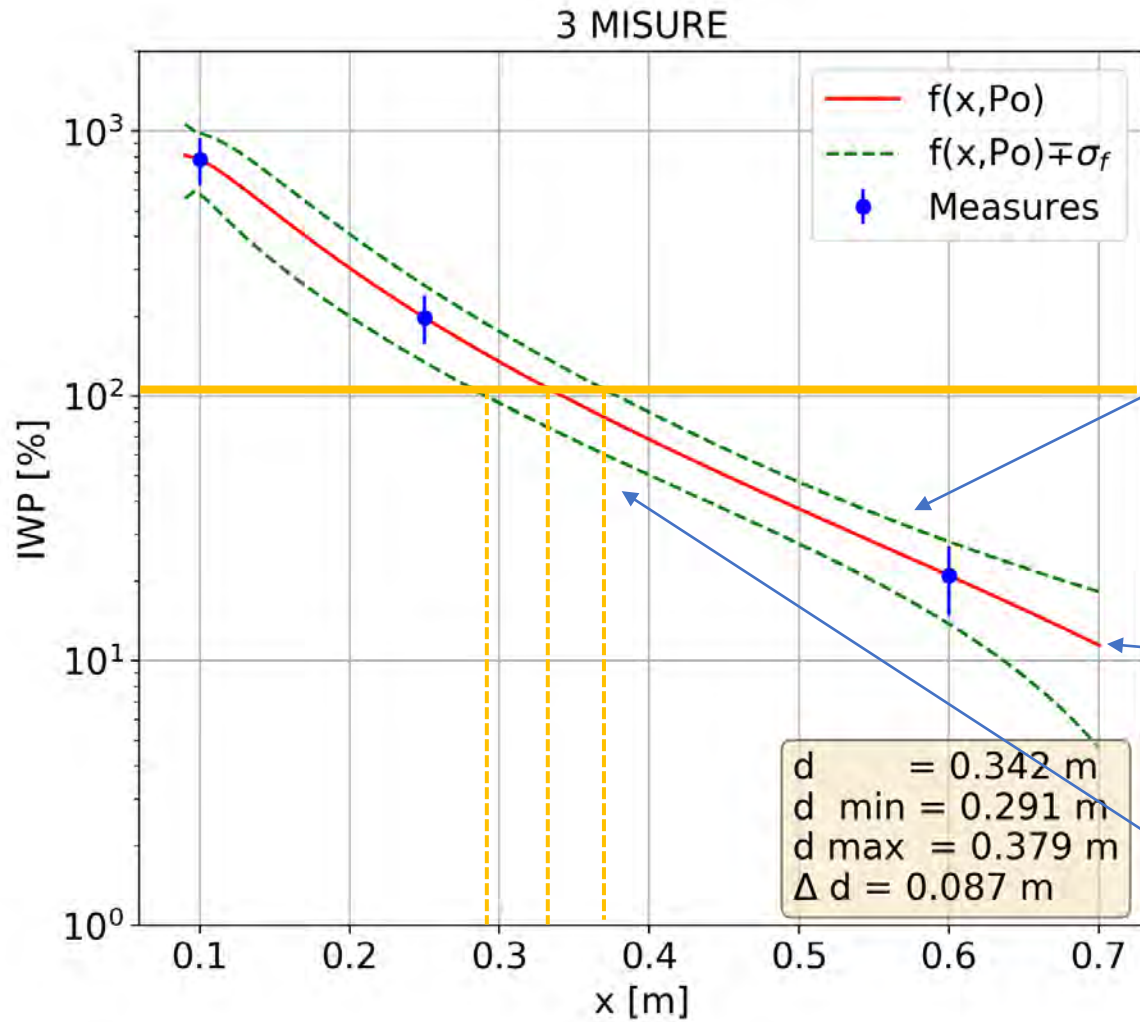
$$S_f = F \cdot S_p \cdot F^T$$

- La diagonale di S_f fornisce una stima della varianza σ_f^2 della grandezza interpolata

- Per determinare l'incertezza della distanza di rispetto considero le seguenti due curve:

$$f(x, p_{10}, \dots, p_{no}) \pm \sigma_f$$

Problema 2 di 2: propagazione dell'incertezza



$$f(x, p_{10}, \dots, p_{no}) + \sigma_f$$

$$f(x, p_{10}, \dots, p_{no})$$

$$f(x, p_{10}, \dots, p_{no}) - \sigma_f$$

Incertezza di posizionamento del sensore σ_x

- È possibile tenerne conto usando una interpolazione che non minimizza lo scarto (quadratic medio) secondo la sola variabile dipendente y ma tiene conto delle distanze sul piano xy (Orthogonal Distance Regression, ODR).
- Si può ricorrere ad approcci approssimati come determinare i parametri senza tenere conto dell'incertezza di posizionamento, ricavando poi l'incertezza complessiva su y come combinazione dell'incertezza propria più quella propagata dall'incertezza di posizionamento

$$\sigma_{f\ TOT} \simeq \sqrt{\sigma_f^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x} \cdot \sigma_x\right)^2}$$

Incertezza strumentale ELT-400

8.2 Specifications when using the 100 cm² probe

Frequency range (-3 dB), selectable	1 Hz to 400 kHz, 10 Hz to 400 kHz, 30 Hz to 400 kHz	
Antenna type	Magnetic (B) field	
Sensor type	Isotropic coil 100 cm ²	
Damage level ¹⁾	RMS	160 mT The damage level reduces linearly with increasing frequency above 77,5 Hz (1/f).
	Peak	226 mT The damage level reduces linearly with increasing frequency above 620 Hz (1/f). The damage level (peak) applies for pulse duration ≤15,6 ms and duty cycles:1/64
Measurement uncertainty ²⁾	±4% (50 Hz to 120 kHz)	
Mounting thread	1/4-20UNC-2B (standard thread)	

Specifications when using the 3 cm² probe

Frequency range (-3 dB), selectable	1 Hz to 400 kHz, 10 Hz to 400 kHz, 30 Hz to 400 kHz	
Antenna type	Magnetic (B) field	
Sensor type	Isotropic coil 3 cm ²	
Damage level	RMS	1500 mT The damage level reduces linearly with increasing frequency above 30 Hz (1/f).
	Peak	2121 mT The damage level reduces linearly with increasing frequency above 240 Hz (1/f). The damage level (peak) applies for pulse duration ≤15,6 ms and duty cycle ≤1/64.
Measurement uncertainty ¹⁾	±6% (50 Hz to 120 kHz)	
Mounting thread	1/4-20UNC-2B (standard thread)	

¹⁾ The measurement uncertainty includes flatness, isotropy, absolute and linearity variations (frequency range: 1 Hz to 400 kHz or 10 Hz to 400 kHz). The uncertainty increases at the frequency band limits (10 Hz, 30 Hz, 400 kHz) to ±1 dB based on the nominal frequency response.
²⁾ Band limits: see page C-4

Probe	UNC	NL L	NL H
3cm ²	±6%	10 %	50 %
100cm ²	±4%	1%	5%

Exposure STD mode

Exposure evaluation	Comparison with standard (see Ordering information, page 8-12)					
MODE ³⁾	ICNIRP		BGV B11		EN 50366	
RANGE	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	HIGH
Overload limit	100%	1000%	160%	1600%	160%	1600%
Noise level ⁴⁾ , typical	1%	5%	0.4%	2%	0.4%	2%
Resolution (RANGE: LOW)	0.001%					
Detection, selectable	Automatic according to selected standard, or RMS (averaging time 1 s), or Peak Value					
Display mode, selectable	Instantaneous or Max Hold					

Exposure STD mode

Exposure evaluation	Comparison with standard (see Ordering information, page 8-12)					
MODE ²⁾	ICNIRP		BGV B11		EN 50366	
RANGE	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	HIGH
Overload limit	1500%	15000%	1500%	15000%	1500%	15000%
Noise level ³⁾ , typical	10%	50%	4%	20%	4%	20%

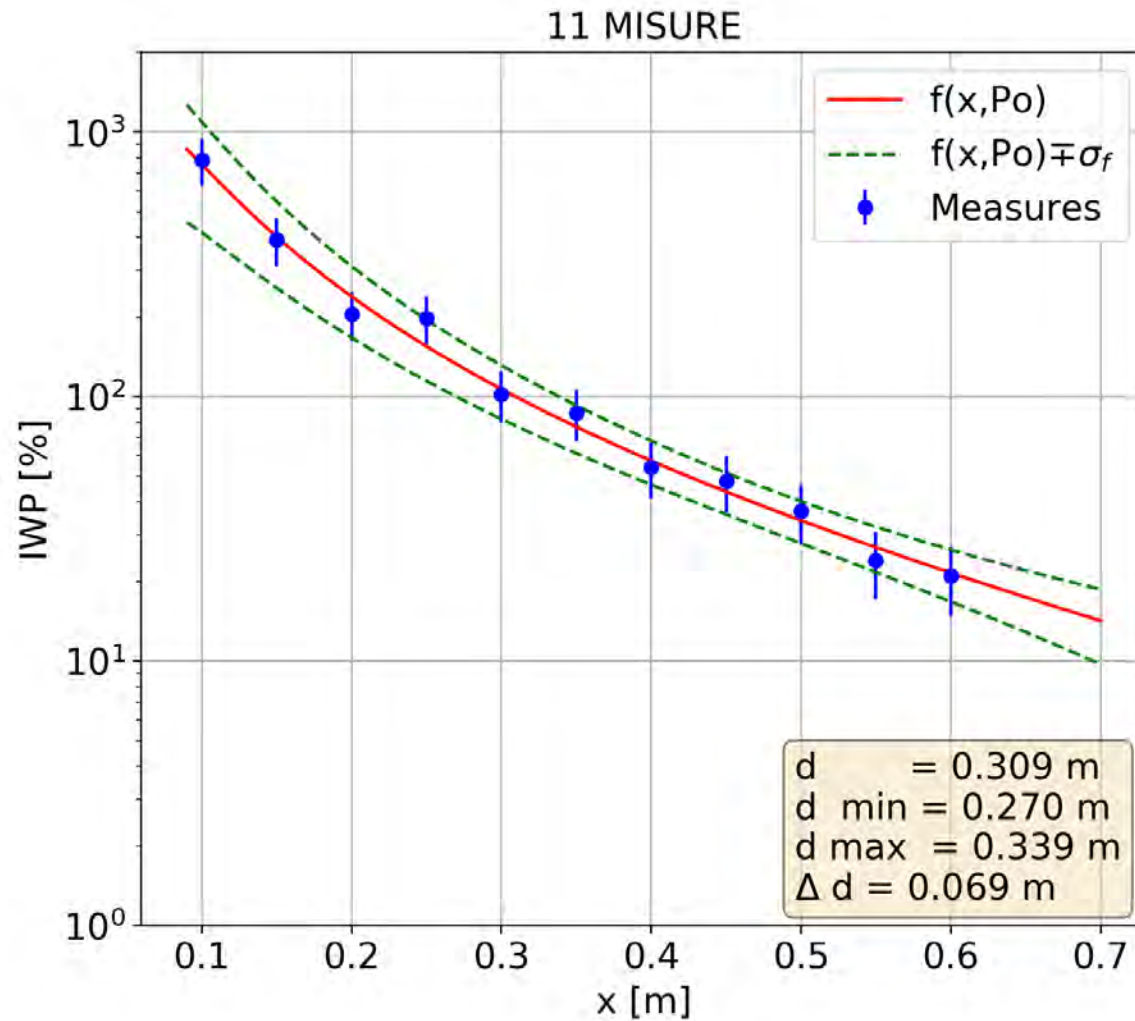
ESEMPI di APPLICAZIONE sul portale **WEBNIR**

- Modalità di utilizzo (scheda Presentazione)
- Limitazioni (scheda Presentazione)
- Formato del file-dati (scheda Istruzioni)

Esempio: saldatrice ad arco effetto dell'aumento del numero dei punti di misura



m	offset [%]	perc_err	dr [m]	dr_M [m]	dr_m [m]	delta_d [m]
3	2	0.2	0.342	0.379	0.291	0.087
5	2	0.2	0.326	0.359	0.281	0.078
7	2	0.2	0.308	0.339	0.266	0.073
11	2	0.2	0.309	0.339	0.270	0.069



$$\sigma_x = 3 \text{ cm} \quad \sigma_m = 0.2 \cdot y_m + 2\%$$

	X_m [m]	Y_m [%]	σ_m
→	0.1	782	158.4
→	0.15	391	80.2
→	0.2	205	43
→	0.25	198	41.6
→	0.3	102	22.4
→	0.35	87	19.4
→	0.4	54	12.8
→	0.45	48	11.6
→	0.5	37	9.4
→	0.55	24	6.8
→	0.6	21	6.2

Esempio: effetto della forma della funzione $f(x, p_1, \dots, p_n)$

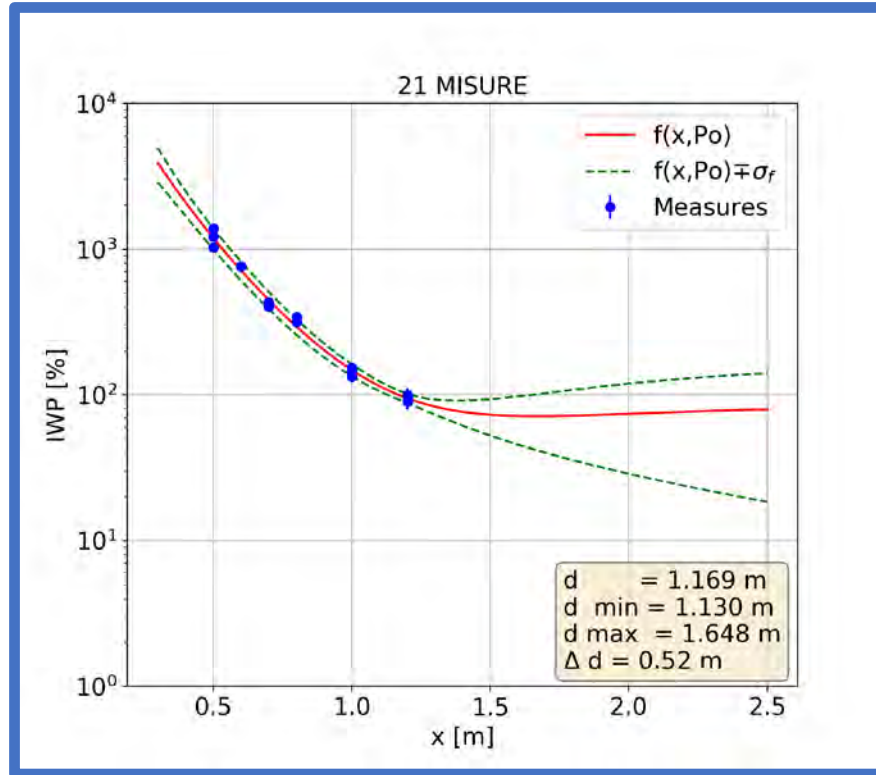
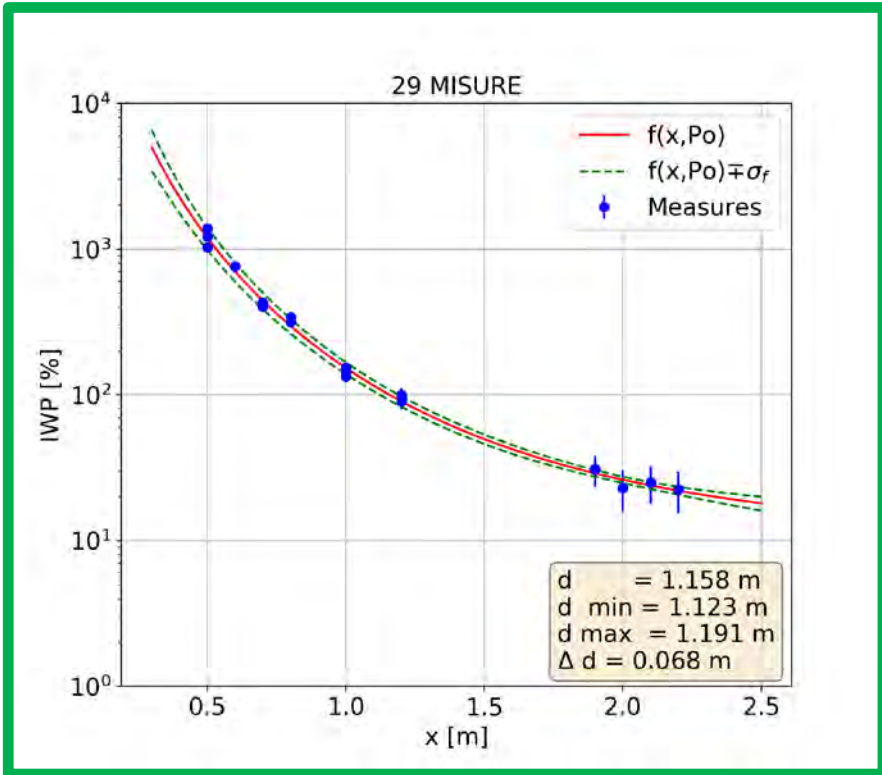
Nel precedente esempio: $f(x, p_i) = \frac{p_3}{x^3} + \frac{p_2}{x^2} + \frac{p_1}{x}$

m	offset [%]	perc_err	dr [m]	dr_M [m]	dr_m [m]	delta_d [m]
3	2	0.2	0.342	0.379	0.291	0.087
5	2	0.2	0.326	0.359	0.281	0.078
7	2	0.2	0.308	0.339	0.266	0.073
11	2	0.2	0.309	0.339	0.270	0.069

Se si considera: $f(x, p_i) = \frac{p_3}{(x + p_0)^3} + \frac{p_2}{(x + p_0)^2} + \frac{p_1}{(x + p_0)^1}$

m	offset	perc_err	dr	dr_M	dr_m	delta_d
3						
5	2	0.2	0.335	0.371	0.285	0.086
7	2	0.2	0.313	0.347	0.267	0.080
11	2	0.2	0.312	0.342	0.272	0.070

Esempio: stimolazione magnetica transcranica (TMS) intervallo delle distanze di misura e ripetizione di misure



Xm	Ym	Sm	Range
0.5	1222	67.1	H
0.5	1027	57.35	H
0.5	1222	67.1	H
0.5	1387	75.35	H
0.6	765	44.25	H
0.6	765	44.25	H
0.7	430	27.5	H
0.7	430	27.5	H
0.7	421	27.05	H
0.7	401	26.05	H
0.8	317	21.85	H
0.8	317	21.85	H
0.8	341	23.05	H
1	145	13.25	H
1	134	12.7	H
1	145	13.25	H
1	153	13.65	H
1.2	97	10.85	H
1.2	99.8	10.99	H
1.2	90	10.5	H
1.2	97	10.85	H
1.9	31	2.55	L
1.9	31	7.55	H
2	23	7.15	H
2	23	2.15	L
2.1	25	2.25	L
2.1	25	7.25	H
2.2	22.5	2.125	L
2.2	22.5	7.125	H

Da notare la ripetizione di misure alla stessa distanza, tutte ben contenute nell'incertezza di misura.

$$\vec{B}(Q, t) = I(t) \cdot \vec{B}_{@1A}(Q)$$

Il campo generato dalle cosiddette sorgenti monofase è rappresentabile come prodotto di due termini: uno rappresenta la variabilità del campo nel tempo ed è proporzionale a $I(t)$ l'altro rappresenta la variabilità del campo nello spazio e dipende dalla forma del circuito.

B98occ

Xm	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	1	1	1	1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.9	1.9	2	2	2.1	2.1	2.2	2.2
Ym	1222	1027	1222	1387	765	765	430	430	421	401	317	317	341	145	134	145	153	97	99.8	90	97	31	31	23	23	25	25	22.5	22.5

@55 cm

name	value	k	dr	dr_delta
B98pop	54.083	4.916	2.309	0.244
B98occ	11.001	1.000	1.158	0.068
B10pop	9.415	0.856	1.097	0.066
B10occ	2.543	0.231	0.707	0.062
B13inf	2.543	0.231	0.707	0.062
B13sup	2.554	0.232	0.708	0.062
B13arti	0.851	0.077	0.487	0.063

