VII Convegno Nazionale Agenti Fisici

Monitoraggio ambientale: dalla produzione all'analisi del dato

5, 6, 7 giugno 2019 - Stresa, Hotel La Palma

SEGRETARIO SCIENTIFICO

Giovanni d'Amore, Arpa Piemonte

COMITATO SCIENTIFICO

Sara Adda	Arpa Piemonte
Giovanni Agnesod	Arpa Valle d'Aosta
Luca Albertone	Arpa Piemonte
Elisabetta Angelino	Arpa Lombardia
Enrico Bonansea	Arpa Piemonte
Francesco Caridi	Arpa Calabria
Maria Clivia Losana	Arpa Piemonte
Daniele Contini	ISAC - CNR Lecce
Marc De Cort	JRC - Ispra (VA)
Pierino De Felice	ENEA - INMRI
Rosaria Falsaperla	INAIL
Jacopo Fogola	Arpa Piemonte
Michele Guida	Università di Salerno
Gaetano Licitra	ARPAT Toscana
Francesco Lollobrigida	Arpa Piemonte
Anna Mastroberardino	Università della Calabria
Renata Pelosini	Arpa Piemonte
Anna Maria Siani	Sapienza Università di Roma
Pasquale Spezzano	ENEA Roma
Giancarlo Torri	ISIN

COMITATO ORGANIZZATORE

Laura Anglesio	Arpa Piemonte
Guido Barberi	Arpa Piemonte
Elisa Bianchi	Arpa Piemonte
Daniela Checchinato	Arpa Piemonte
Luisella Garlati	AIRP - Polimi
Sonia Gustin	Arpa Piemonte
Mauro Magnoni	AIRP - Arpa Piemonte
Rosa Mottola	Arpa Piemonte
Giovanna Mulatero	Arpa Piemonte
Gianmario Nava	Arpa Piemonte
Laura Porzio	Arpa Piemonte
Paola Quaglino	Arpa Piemonte
Fulvio Raviola	Arpa Piemonte

SEGRETERIA ORGANIZZATIVA

Anna Prandstatter, Arpa Piemonte
Tel.+390125645328
agenti fisici@arpa.piemonte.it

ISCRIZIONI

Le iscrizioni, esclusivamente online sul sito:
www.airp-asso.it/?page_id=931&event_id=30

Accreditato ECM

Con il patrocinio di:

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Istituto Superiore di Sanità

Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione

ISBN 9788888648477

Incertezza nella determinazione della distanza di rispetto mediante interpolazione spaziale di indici di esposizione a campi elettromagnetici

Nicola Zoppetti[1], Daniele Andreuccetti[1], Moreno Comelli[1], Simona D'Agostino[2], Rosaria Falsaperla[2]

[1] *IFAC-CNR, Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" del Consiglio Nazionale delle Ricerche, via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)*

[2] *INAIL DiMEILA, Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale, Via di Fontana Candida 1, 00040 Monte Porzio Catone (Roma)*

N.Zoppetti@ifac.cnr.it

Riassunto

In questo lavoro si descrive come sia possibile determinare la distanza di rispetto a partire da misure di indice di esposizione, grazie ad un metodo di interpolazione flessibile che può essere utilizzato in abbinamento a diversi modelli di sorgente. È inoltre possibile propagare l'incertezza di ciascuna misura sul risultato dell'interpolazione e determinare anche quella relativa alla distanza di rispetto. Il metodo è stato implementato come applicazione online, dotata di una chiara interfaccia operativa, che consente all'utente di gestire in modo flessibile e completo la selezione dei dati da processare e la personalizzazione dei risultati dell'elaborazione.

INTRODUZIONE

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. In commercio sono disponibili strumenti che permettono di misurare questi indici, in genere esprimendoli come valore percentuale. 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%. In questo lavoro si descrive come sia possibile 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. È inoltre possibile propagare l'incertezza di ciascuna misura sul risultato dell'interpolazione e determinare quindi l'incertezza della distanza di rispetto.

MATERIALI E METODI

Si descrivono di seguito le basi matematiche del metodo. Si suppone di avere *m* misure caratterizzate da $x_M = [x_1..x_m]$, $y_M = [y_1..y_m]$, $\sigma_M = [\sigma_1..\sigma_m]$ 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 e σ_M l'incertezza delle misure di questi ultimi. Si considera un modello di sorgente rappresentato da una generica funzione $y = f(x, p_1..p_n)$ che esprime l'indice misurato *y* in funzione della distanza *x* e di *n* parametri p_i. Si determinano i valori degli *n* parametri p_i che minimizzano lo scarto quadratico tra le misure ed il modello e si definisce P_o il relativo vettore. Durante la minimizzazione, si determina anche la matrice S_P di varianza-covarianza dei parametri.

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:

ISBN 9788888648477

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

e si osserva che:

$$\Delta f^2 = \Delta f \cdot \Delta f^T = (F \cdot \Delta P)(F \cdot \Delta P)^T = F \cdot \Delta P \cdot \Delta P^T \cdot F^T = F \cdot \Delta P^2 \cdot F^T$$

dove ΔP è il vettore (colonna) degli errori sui parametri (inteso come scostamento rispetto ad un ipotetico valore 'vero' dei parametri stessi) mentre Δf è il vettore dell'errore sulla grandezza interpolata. Considerando il valore medio della precedente espressione, si ottiene S_f cioè la matrice varianza covarianza della grandezza interpolata (k righe, k colonne) che ha sulla diagonale una stima della varianza in ciascuno dei k punti considerati.

$$S_f \stackrel{def}{\equiv} (\Delta f^2) = F \cdot (\Delta P^2) \cdot F^T \stackrel{def}{\equiv} F \cdot S_p \cdot F^T$$

Si determinano quindi tre curve: una centrale, $f(x,P_o)$ che è la interpolante vera e propria relativa ai parametri P_o ed altre due, $f(x,P_o)\pm\sigma_f$, ottenute sommando e sottraendo a $f(x,P_o)$ una deviazione standard della grandezza interpolata, determinata in ciascun punto come la radice quadrata della diagonale della matrice S_f.

Il metodo appena descritto permette di tenere conto della sola incertezza sui valori misurati, ma non di quella relativa al posizionamento del sensore. Per tenere conto di quest'ultima, è possibile ricorrere sia ad un metodo di minimizzazione matematicamente più complesso, sia ad approssimazioni. Ad esempio, un approccio consiste nel 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.

RISULTATI E DISCUSSIONE

In fig. 1 si illustra il risultato dell'interpolazione dell'indice di picco ponderato riferito ai livelli di riferimento per i lavoratori e per l'induzione magnetica (ICNIRP 1998), misurato con la sonda Narda ELT-400 (Narda Safety Test Solutions, Pfullingen, Germany) e relativo ad una saldatrice ad arco (Zoppetti et al. 2015). Il modello matematico della sorgente utilizzato è una funzione con 4 parametri:

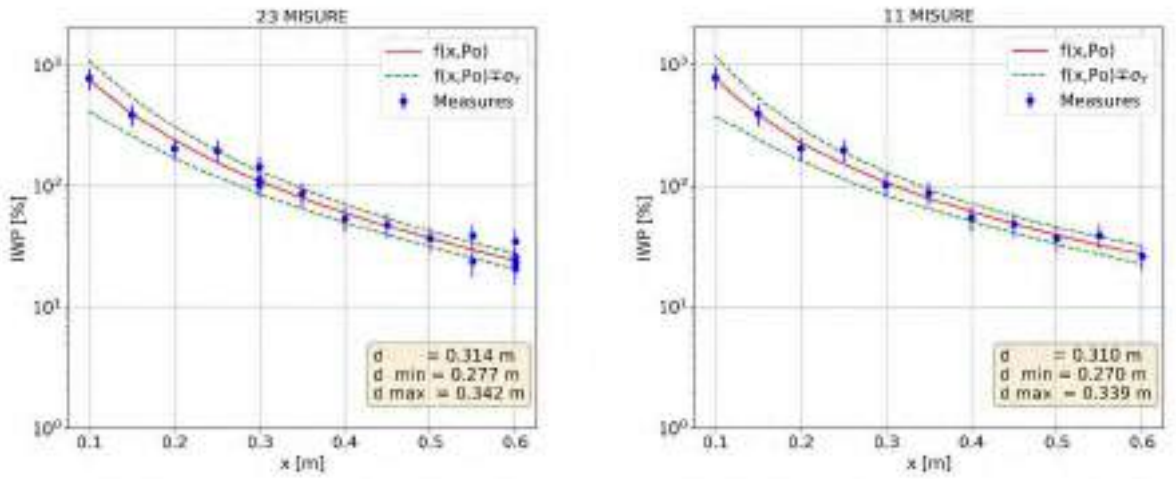
$$f(x,p_i) = \frac{p_3}{(x+p_0)^3} + \frac{p_2}{(x+p_0)^2} + \frac{p_1}{(x+p_0)^1}$$

I grafici di fig. 1 sono stati ottenuti ponendo un errore di misura fisso pari a 1.3% (rumore intrinseco dello strumento) più uno pari al 20% dell'indice misurato. Si è tenuto conto inoltre di un errore di posizionamento della sonda pari a 3 cm, applicando l'approccio descritto nel paragrafo precedente.

In particolare, nel pannello di sinistra, a 30, 55 e 60 cm di distanza dalla sorgente le misure sono state ripetute (23 misure in totale), mentre nel pannello di destra si considera una sola misura per ogni distanza dalla sorgente (11 misure in totale). Nel riquadro testuale sono riportate le distanze di rispetto ottenute e si può notare che pur essendo le misure ripetute abbastanza disperse, il loro utilizzo comporta una piccola riduzione dell'intervallo tra le distanze di rispetto relative alle due curve ottenute sommando e sottraendo a $f(x,P_o)$ una deviazione standard della grandezza interpolata.

ISBN 9788888648477

Figura 1 – Curve di interpolazione e distanze di rispetto



L'APPLICAZIONE WEB

Il metodo descritto è stato implementato sotto forma di applicazione web e integrato nel portale WEBNIR http://webnir.ifac.cnr.it/ (Andreuccetti et. al. 2019). Il portale WEBNIR è ad accesso libero; questa applicazione mette a disposizione degli utenti un metodo relativamente semplice e flessibile per determinare la distanza di rispetto e la sua significatività a partire da misure di indice e dall'incertezza ad esse associata.

L'applicazione si presenta all'utente strutturata in tre schede adibite rispettivamente a:

- inserire il file dati e impostare i parametri per il calcolo;
- visualizzare il risultato;
- presentare la documentazione necessaria a spiegare l'utilizzo del programma.

I dati, riportati come coppie di valori (distanza dalla sorgente, indice), sono contenuti in un file di testo (un punto di misura per ogni riga) da caricare nell'interfaccia per essere inviato al server, assieme ad alcuni parametri che ne rendano possibile l'interpretazione (l'unità di misura delle distanze e se i valori di indice sono riportati come valori assoluti o percentuali). L'utente ha inoltre facoltà di specificare un errore assoluto da associare ai valori di distanza, e un errore assoluto e relativo per quanto riguarda le misure di indice. Una prima verifica sulla validità dei dati inseriti viene eseguita già lato client, tramite apposite procedure *Javascript*, mentre l'elaborazione vera e propria si avvale delle potenzialità di calcolo offerte dal linguaggio *Python*. Le procedure di calcolo sono infatti eseguite lato server; a questo fine, è stato messo a punto un protocollo standardizzato (denominato GateWay to Python, GW2Py) per lo scambio dei dati nelle due direzioni tra pagine web e procedure Python, pensato con lo scopo di garantire uniformità di approccio tra le varie applicazioni del portale, portabilità e flessibilità nella suddivisione del lavoro tra più sviluppatori e nella ripartizione del carico computazionale tra terminale utente e piattaforma server.

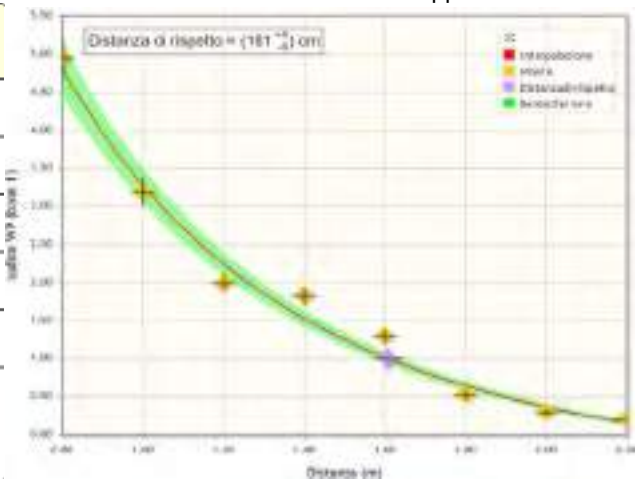
Alla fine del calcolo, in una seconda scheda viene visualizzato un riepilogo con tempo di calcolo e metodo di interpolazione, nonché una tabella riassuntiva (fig. 2) relativa ai parametri del file di input (con gli eventuali commenti in esso contenuti), esportabile in formato PNG e XLS per eventuali utilizzi esterni all'applicazione. A partire dalla risposta del server, viene quindi generato lato client un grafico (fig. 2) in cui sono visualizzati i dati di misura, la curva interpolatrice, la distanza di rispetto e le bande d'errore. Per questa funzionalità, si è scelto di utilizzare la libreria *jqPlot*, che

ISBN 9788888648477

consente di personalizzare accuratamente l'interfaccia, mette a disposizione funzioni interattive evolute (come zoom ed interrogazione degli elementi al *rollover*) e rende semplice l'esportazione del contenuto in formato PNG.

Figura 2 – Tabella relativa al file dati e grafico ottenuti al termine dell'elaborazione. dell'applicazione web

Parametri del file di input	
Nome del file	tms04.txt
Ultima modifica	28/5/2018 14:47:42
Dimensione	207 B
Tipo	text/plain
Numero di punti	8
Commenti	Magstim Magstim 200 (STIMTRANS 04) 0.4,30.54 misura scartata 0.6,10.00 misura scartata



CONCLUSIONI

Si è brevemente descritto un metodo di elaborazione che permette di determinare la distanza di rispetto interpolando una serie di misure di indice di esposizione, acquisite procedendo lungo una linea retta a distanze progressivamente crescenti dalla sorgente. Il metodo consente di valutare l'incertezza sulla distanza di rispetto a partire da quella sui dati misurati. Esso ben si presta a fungere da base per protocolli di valutazione dell'esposizione in ambito occupazionale, poiché ha il pregio di fornire un risultato sintetico ma esauriente e di pronto impiego, tenendo conto di molteplici misurazioni.

Il metodo è stato implementato come applicazione *online*, distribuita attraverso il portale WEBNIR di libero accesso (http://webnir.ifac.cnr.it/) e dotata di una chiara interfaccia operativa, che consente di gestire in modo flessibile e completo la selezione dei dati da processare e la personalizzazione dei risultati dell'elaborazione.

Crediti

Il portale WEBNIR è in corso di realizzazione con il supporto finanziario dell'INAIL, nell'ambito del progetto a Bando Bric-2016, Programma 4, Tematica 30.

Bibliografia

Andreuccetti D, Comelli M, Zoppetti N, 2017. WebNir. *Piattaforma web sviluppata nell'ambito del progetto ex bando INAIL Bric-2016 (P4-ID30). Strumenti web di ausilio alla valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici - anche in riferimento ai portatori di dispositivi medici impiantabili attivi - e a radiazioni ottiche artificiali.* 2017-2019. (http://webnir.ifac.cnr.it/).

Zoppetti N., Bogi A., Pinto I. Andreuccetti D., *Evaluation of human exposure to complex waveform magnetic fields generated by arc-welding equipment according to european safety standards,* Radiat Prot Dosimetry, Oxford University Press, 2015, **163** (3), 292-305; doi:10.1093/rpd/ncu188.

ISBN 9788888648477