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

Campagna di misure di campi di gradiente su tomografi RM: set-up strumentale, verifica dei limiti e zone di rispetto

Riccardo Di Liberto[1], Daniele Andreuccetti[2], Moreno Comelli[2], Giancarlo Burriesci[3]

[1] *IRCCS Policlinico San Matteo, viale Camillo Golgi 19, 27100 Pavia*

[2] *IFAC-CNR, via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)*

[3] *INAIL-DiMEILA, via Fontana Candida 1, 00078 Monte Porzio Catone (RM)*

D.Andreuccetti@ifac.cnr.it

Riassunto

Vengono presentati gli obiettivi, i metodi e i risultati di una campagna di misure di esposizione a campi magnetici di gradiente (CMG) che ha riguardato tre tomografi a risonanza magnetica posti in due ospedali lombardi. Tra gli obiettivi: indagare le emissioni di sorgenti per alcuni versi peculiari e mettere alla prova gli strumenti disponibili sulla piattaforma WEBNIR per questo tipo di indagine. La piattaforma WEBNIR è un portale sviluppato nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dall'INAIL, coordinato dall'IFAC e nel quale è coinvolto, tra le unità operative partner, il Policlinico San Matteo.
Le misure eseguite hanno riguardato la determinazione dell'indice di picco ponderato per l'induzione magnetica dovuta ai campi di gradiente, relativo ai valori di azione per i lavoratori e ai livelli di riferimento per la popolazione. La metodica e la strumentazione utilizzate si rifanno a precedenti esperienze, arricchite grazie all'impiego di due strumenti diversi ed integrate con la ricerca delle distanze di rispetto, resa più agevole dalle risorse della piattaforma WEBNIR.
I risultati confermano che i livelli di esposizione ai campi di gradiente sono sostanzialmente sicuri per i lavoratori professionalmente esposti non portatori di rischi specifici, mentre per gli altri lavoratori – come pure per gli individui della popolazione generale – è opportuno rispettare una distanza di rispetto di circa un metro dal tomografo.

INTRODUZIONE

Si descrivono i metodi e i risultati di una recente (novembre 2018) campagna di misure svoltasi in due strutture sanitarie della Lombardia, poste nelle città di Lodi e di Pavia. La campagna ha riguardato l'esposizione ai campi magnetici di gradiente (CMG) prodotti dal funzionamento di tre diversi tomografi per immagini a risonanza magnetica (MRI). Come è noto, i CMG sono generati da apposite bobine interne al tomografo ed hanno lo scopo di modificare localmente il campo magnetostatico principale (e quindi la frequenza di risonanza dei nuclei atomici), in modo da codificare spazialmente il segnale con cui viene costruita l'immagine diagnostica.
La campagna si è prefissata i seguenti obiettivi.

1. Indagare i livelli di esposizione, in alcune condizioni e posizioni di lavoro tipiche – anche nell'ottica dell'applicazione del D.Lgs. 159/2016 (Repubblica Italiana, 2016) – generati da attrezzature che rappresentano una delle più rilevanti fonti di campi elettromagnetici negli ambienti sanitari. Sebbene misure del genere siano già state eseguite in passato, anche da alcuni degli autori (Andreuccetti et al., 2013), tuttavia nuovi dati consentono di arricchire la conoscenza sulle esposizioni di questo tipo, in modo particolare in questo caso, in cui si è potuto esaminare un apparato peculiare (a magnete aperto), confrontare dal punto di vista radioprotezionistico apparati strutturalmente molto diversi tra loro e paragonare i risultati forniti da due catene strumentali diverse.
2. Collaudare gli strumenti web messi a disposizione dalla piattaforma WEBNIR, che viene sviluppata nell'ambito di un progetto di ricerca finanziato dall'INAIL, coordinato dall'IFAC e nel quale è coinvolto, tra le unità operative partner, il Policlinico San Matteo.
3. Validare le indicazioni (ove disponibili) fornite dalla documentazione tecnica dei tomografi, in merito all'esposizione ai campi elettromagnetici.

MATERIALI E METODI

APPARATI ESAMINATI

Le misure hanno interessato l'induzione magnetica dispersa dalla bobine di gradiente di tre tomografi per MRI di due tipologie diverse: la prima a magnete aperto superconduttivo da 1 T, la seconda comprendente due apparati a magnete chiuso superconduttivo cilindrico da 1.5 T. Sono state eseguite anche misure del campo elettrico emesso dalle stesse bobine, ma sono risultate

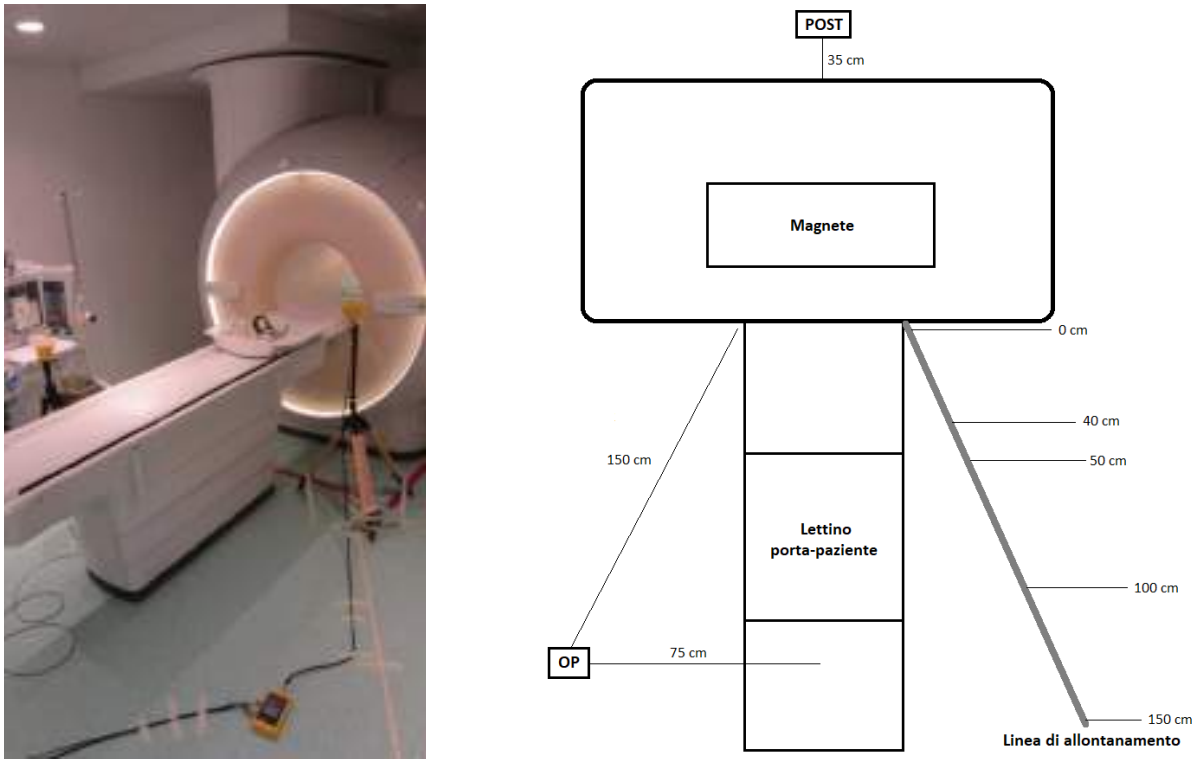
ISBN 9788888648477

meno significative rispetto al campo magnetico e, per brevità, non saranno riportate in questo lavoro. I tre tomografi sono correntemente utilizzati per attività diagnostiche di routine: il primo (che chiameremo tomografo "A", un apparato Philips Panorama da 1 T), è operativo del 2007 presso l'Ospedale Maggiore di Lodi; il secondo (tomografo "B", Philips Ingenia da 1.5 T), è in funzione del 2017 presso il reparto di pediatria del Policlinico San Matteo di Pavia; il terzo (tomografo "C", Siemens Magnetom Aera da 1.5 T), viene utilizzato dal 2018 nel reparto di radiologia dello stesso nosocomio.

PROCEDURA

La procedura di misura prevede una "linea di allontanamento" dall'imboccatura anteriore del *gantry* (la parte centrale in cui viene inserito il paziente) di ciascun tomografo con un'inclinazione di circa 35° rispetto all'asse longitudinale del lettino porta-paziente (**Figura 1**). I punti di misura, in corrispondenza ai quali sono state posizionate le sonde, sono stati scelti a 100 e 160 cm di altezza dal pavimento e a distanze di 0, 40/50, 100 e 150 cm dal punto più vicino al *gantry*, lungo la linea di allontanamento. Il punto di misura individuato con "OP" è situato a fianco del lettino porta-paziente ed il punto "POST" è nella parte posteriore del *gantry*, allineato con l'asse del lettino stesso, a 35 cm dal bordo della parte posteriore del *gantry*.

Figura 1



Posizione dei punti di misura: nella planimetria sono evidenziati i punti "OP" e "POST" e i punti di misura lungo la *linea di allontanamento*.

Per ciascun tomografo sono state eseguite alcune prove preliminari per individuare, tra le sequenze diagnostiche impiegate nella routine clinica, quelle associate ai maggiori livelli di esposizione al campo magnetico. Queste sono state poi mantenute per ogni sessione di misure, in modo da garantirne la riproducibilità.
Le sequenze indagate sono riassunte nella **Tabella 1**; in essa, la colonna "Codice" riporta il riferimento con cui le sequenze sono indicate nelle successive tabelle dei risultati.

ISBN 9788888648477

Tabella 1 – Tomografi e sequenze CMG analizzate.

	Sequenza dei gradienti	
Tomografo	**Codice**	**Descrizione**
A) Philips Panorama 1 T Lodi, Ospedale Maggiore	A1	SPIN-ECHO, Tempo di Ripetizione 729 ms, Slice Gap 0.35 mm.
	A2	STIR, Tempo di Ripetizione 2500 ms, Tempo di Inversione 120 ms, Tempo di Eco 70 ms.
B) Philips Ingenia 1.5 T Pavia, Policlinico S.Matteo	B1	SPAIR Colonna Lombare 200 mm, Tempo di Eco 80 ms, Tempo di Ripetizione 4179 ms, Soppressione del grasso.
	B2	STIR Long TE Colonna Lombare (Sagittale-Lombare), Tempo di Eco 60 ms, Tempo di Ripetizione 2500-4000 ms, Tempo di Inversione 160 ms.
C) Siemens Magnetom Aera 1.5 T Pavia, Policlinico S.Matteo	C1	T1 TIRM Coronale P2-320 Bilaterale, Tempo di Ripetizione 5110 ms, Tempo di Eco 52 ms, Slice Thickness 4.5 mm.
	C2	TURBO SPIN ECHO FatSat 256 bilaterale, Tempo di Ripetizione 481 ms, Tempo di Eco 7.3 ms, Slice Thickness 4.5 mm.

Pur non essendo prassi comune permanere all'interno della sala magnete in prossimità del *gantry* durante le acquisizioni diagnostiche, la presenza di personale sanitario o di accompagnatori può essere saltuariamente richiesta per esigenze particolari (ad esempio per esami su bambini, pazienti poco collaboranti o complicati). Per tali motivi, al fine di rendere possibile una valutazione completa dei rischi relativi all'esposizione ai CMG in sala magnete, è opportuno individuare le *zone di rispetto* attorno al *gantry* di ciascun tomografo. Queste zone, secondo l'approccio proposto dall'Allegato G della norma CEI EN 50499 (CEI, 2009), garantiscono:

Zona 0: il rispetto dei Livelli di Riferimento (LR) definiti dalla Raccomandazione Europea 1999/519/CE (Consiglio Europeo, 1999) per la tutela della popolazione (sono individui della popolazione, ad esempio, gli accompagnatori dei pazienti pediatrici; sono altresì da considerare alla stregua di individui della popolazione i lavoratori non professionalmente esposti e i lavoratori professionalmente esposti portatori di rischi specifici); questa è una zona di libero accesso per chiunque;

Zona 1: il superamento dei LR di cui sopra e il rispetto dei Valori di Azione (VA) definiti dal D.Lgs. 159/2016 per la tutela dei lavoratori (Repubblica Italiana, 2016); in questa zona dovrebbero essere ammessi solo i lavoratori professionalmente esposti non portatori di rischi specifici;

Zona 2: il superamento dei VA di cui sopra; in questa zona dovrebbe essere impedito l'accesso a chiunque.

I segnali di CMG emessi dai tomografi per MRI sono caratterizzati da forme d'onda complesse con contenuto spettrale fino ad alcuni chilohertz. Si è pertanto utilizzato il *metodo del picco ponderato* come metrica per l'interpretazione radioprotezionistica delle misure di induzione magnetica. Il metodo permette di ricavare un indice radiometrico (ICNIRP, 2003; ICNIRP, 2010) il cui valore, espresso in termini percentuali, indica rispettivamente – a seconda che risulti minore o maggiore di 100 – la conformità o la violazione dei limiti normativi presi a riferimento per il suo calcolo.
Disponendo inoltre, per due dei tre tomografi analizzati, dei dati dei rispettivi fabbricanti per le emissioni dei gradienti, si è proceduto ad un confronto tra le distanze di sicurezza per lavoratori e popolazione valutate sulla base delle misure effettuate.

STRUMENTAZIONE

Per le misure si sono utilizzate due catene strumentali distinte, anche al fine di confrontarne le indicazioni.
La prima catena è stata sviluppata da alcuni degli autori in occasione di precedenti attività di ricerca (Lodato et al., 2011; Andreuccetti et al., 2013) e si compone **(Figura 2**) di una sonda di campo magnetico ELT-400 Exposure Level Tester (Narda Safety Test Solutions, Pfullingen, Germany) con sensore triassiale da 100 cm^2, un acquisitore di dati U2531A (Agilent Technologies,

ISBN 9788888648477

Santa Clara, CA 95051, USA) collegato alle uscite analogiche della sonda, un personal computer portatile connesso via interfaccia USB all'acquisitore ed infine un'applicazione software *ad hoc* realizzata in Labview 2009 (National Instruments Corp., Austin, TX 78759, USA) per la gestione della catena e la memorizzazione dei dati acquisiti. La catena consente di misurare direttamente sia l'induzione magnetica, sia l'indice di picco ponderato relativo a due specifiche normative. Elaborando fuori linea i dati acquisiti attraverso le uscite analogiche della sonda, è possibile determinare l'indice di picco ponderato relativo a qualunque altro limite normativo: a questo scopo, è disponibile sulla piattaforma WEBNIR uno specifico strumento (v. sotto).
La seconda catena consiste di una sonda triassiale di campo elettrico e magnetico EHP-50F Field Strength Analyzer (Narda-PMM, Cisano sul Neva (SV)), in grado sia di effettuare l'analisi spettrale via FFT in tempo reale, sia di determinare l'indice di picco ponderato nel dominio del tempo in relazione alle principali normative; la sonda è collegata ad un personal computer (dotato di apposito software di acquisizione e controllo) per mezzo di un cavo bidirezionale in fibra ottica.

Figura 2

(a) **(b)**

Catene strumentali per la misura dei CMG: (a) sonda Narda ELT-400 con sistema di acquisizione; (b) sonda Narda-PMM EHP-50F.

LA PIATTAFORMA WEBNIR

La piattaforma WEBNIR (Andreuccetti et al., 2017) viene sviluppata nell'ambito di una ricerca in collaborazione affidata nel 2017 da INAIL all'IFAC e il cui completamento è previsto per la fine del 2019. La piattaforma raccoglie una serie di strumenti operativi, pensati per dare supporto agli operatori della prevenzione pubblici e privati, nell'attività di valutazione e riduzione del rischio da esposizione ai campi elettromagnetici e alle radiazioni ottiche artificiali. Sulla piattaforma sono stati inseriti numerosi contenuti pertinenti la normativa protezionistica e le sorgenti di campi elettromagnetici e sono stati resi disponibili alcuni applicativi web.
La sezione pubblica della piattaforma (posta all'indirizzo http://webnir.ifac.cnr.it/pub/) è articolata in tre aree tematiche, rispettivamente dedicate ai campi elettromagnetici (CEM), alle radiazioni ottiche artificiali (ROA) e alle problematiche dei dispositivi medici impiantabili attivi (DMIA).
L'area CEM dà accesso agli strumenti web per la valutazione dell'esposizione, che possono essere selezionati sia ricercandoli per tipologia di strumento, sia passando attraverso un elenco strutturato di sorgenti occupazionali di campi elettromagnetici, per ciascuna delle quali sono indicati gli strumenti applicabili.
Sono attualmente disponibili, sotto forma di prototipi perfettibili ma completamente operativi, gli strumenti web che consentono di:

- analizzare le normative del settore, visualizzare l'andamento dei relativi valori limite in funzione della frequenza e calcolarne il valore esatto ad una frequenza specificata;

ISBN 9788888648477

- riportare in grafico e confrontare tra loro gli andamenti in funzione della frequenza di due o più limiti normativi, relativi a grandezze omogenee;
- determinare la distanza di rispetto da una sorgente CEM tramite interpolazione dei dati misurati lungo una linea retta, a distanze progressivamente crescenti (Zoppetti et al., 2019);
- elaborare una sequenza di misure di campo magnetico percepito nel caso di movimento di un soggetto in un campo magnetostatico e determinare i pertinenti indici radioprotezionistici;
- analizzare nel dominio del tempo o della frequenza una forma d'onda a frequenza bassa o intermedia opportunamente campionata e calcolare gli indici radioprotezionistici relativi alle normative applicabili (Comelli et al., 2019): questo strumento consente, in particolare, di elaborare le misure di induzione magnetica relative all'esposizione ai CMG acquisite con la catena strumentale di **Figura 2(a)**;
- valutare l'efficacia schermante di schermi piani ideali;
- determinare i livelli di campo magnetico dispersi da elettrodotti aerei ed interrati.

Tutti questi strumenti dispongono di un'interfaccia utente realizzata per mezzo di una pagina web, mentre il carico computazionale è suddiviso tra il computer utilizzato dall'utente e la piattaforma server che distribuisce le applicazioni.

RISULTATI

Vengono di seguito riportate le tabelle con i valori degli indici di picco ponderato in termini percentuali, relativi al rispetto dei VA e dei LR per l'induzione magnetica secondo le normative applicabili.

TOMOGRAFO A MAGNETE APERTO PHILIPS PANORAMA 1 T

Tabella 2 – Risultati delle misure con sonda ELT-400 (Valori a display – Mode Exposure STD ICNIRP 1998 General Public – Range Low – Low Cut 30 Hz – Detector STND) e EHP-50F (Modo WP, campo magnetico, fondo scala 100 µT).

	Posizione		Sonda ELT-400	Sonda EHP-50F		
Sequenza	**Distanza (cm)**	**Altezza (cm)**	**LR EU1999/519/CE**	**LR EU1999/519/CE**	**VA Inf. D.Lgs.159/2016**	**VA Sup. D.Lgs.159/2016**
A1	0	100	46.6%			
A2	0		76.0%	70.0%	2.0%	1.5%
	50		7.0%	9.0%	0.3%	0.3%
	100		2.4%	2.4%	0.1%	0.1%
	150		1.7%			

Tabella 3 – Risultati delle misure con sonda ELT-400 (Postprocessing dei dati acquisiti dalle uscite analogiche – Mode Field Strength 320 µT – Range Low – Low Cut 30 Hz).

Sequenza	**Distanza (cm)**	**Altezza (cm)**	**LR EU1999/519/CE**	**VA Inf. D.Lgs.159/2016**	**VA Sup. D.Lgs.159/2016**
A2	0	100	69.5%	3.36%	3.56%

ISBN 9788888648477

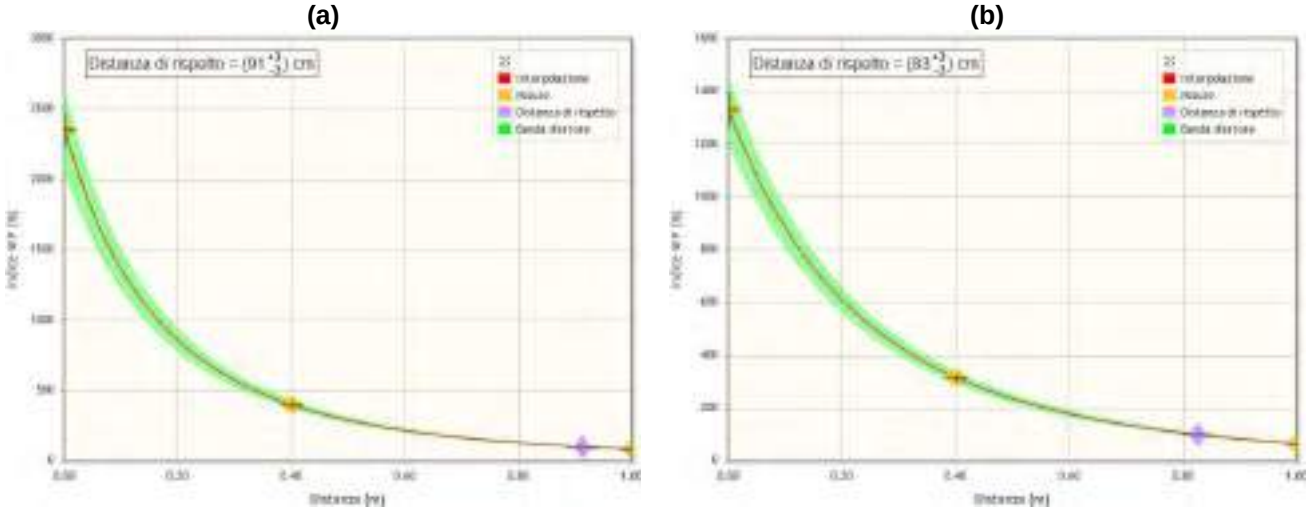
TOMOGRAFO A MAGNETE CHIUSO PHILIPS INGENIA 1.5 T

Tabella 4 – Risultati delle misure con sonda EHP-50F (Modo WP, campo magnetico, fondo scala 100 µT).

Sequenza	Distanza (cm)	Altezza (cm)	LR EU1999/519/CE	VA Inf. D.Lgs.159/2016	VA Sup. D.Lgs.159/2016
B1	0	100	1389%	45.0%	45.6%
	OP		22.5%	0.70%	0.60%
B2	0	100	2356%	76.0%	72.5%
	40		401%	13.0%	12.0%
	100		83%	2.50%	2.10%
	OP		51%	1.57%	1.25%
	0	160	1332%	40.1%	40.8%
	40		317%	9.70%	9.17%
	100		66%	2.00%	1.65%

Interpolando, con l'apposito strumento WEBNIR, i risultati relativi alla sequenza B2 alle varie distanze, sono state calcolate le distanze di rispetto per la popolazione generale alle due altezze di misura. I valori risultanti sono pari a 91±3 cm a 100 cm da terra e a 83±3 cm a 160 cm da terra. Queste distanze identificano il confine tra la Zona 0 e la Zona 1.

Figura 3



Interpolazione delle misure di indice e calcolo della distanza di rispetto per la popolazione generale. Tomografo B), sequenza B2). Grafico (a): altezza 100 cm da terra. Grafico (b): altezza 160 cm da terra.

Tabella 5 – Risultati delle misure con sonda ELT-400 (Postprocessing dei dati acquisiti dalle uscite analogiche – Mode Field Strength 320 µT – Range Low – Low Cut 30 Hz).

Sequenza	Distanza (cm)	Altezza (cm)	LR EU1999/519/CE	VA Inf. D.Lgs.159/2016	VA Sup. D.Lgs.159/2016
B1	0	100	1423 %	52.4 %	53.2 %
B2	0	100	1106 %	41.4 %	40.9 %

ISBN 9788888648477

TOMOGRAFO A MAGNETE CHIUSO SIEMENS MAGNETOM AERA 1.5 T

Tabella 6 – Risultati delle misure con sonda EHP-50F (Modo WP, campo magnetico, fondo scala 100 µT).

Sequenza	Distanza (cm)	Altezza (cm)	LR EU1999/519/CE	VA Inf. D.Lgs.159/2016	VA Sup. D.Lgs.159/2016
C1	0	100	2032%	78.9%	86.5%
C2	0	100	2642%	88.0%	92.0%
	50		338%	11.4%	10.7%
	100		100%	3.36%	2.82%
	150		44.4%	1.51%	1.21%
	POST		916%	31.0%	29.5%

L'interpolazione delle misure relative alla sequenza C2 in funzione della distanza conduce in questo caso a determinare una distanza di rispetto per la popolazione generale pari a 104±3 cm. Questa distanza identifica il confine tra la Zona 0 e la Zona 1.

Tabella 7 – Risultati delle misure con sonda ELT-400 (Postprocessing dei dati acquisiti dalle uscite analogiche – Mode Field Strength 320 µT – Range Low – Low Cut 30 Hz).

Sequenza	Distanza (cm)	Altezza (cm)	LR EU1999/519/CE	VA Inf. D.Lgs.159/2016	VA Sup. D.Lgs.159/2016
C1	0	100	1376 %	55.5 %	55.9 %
C2	0	100	1257 %	53.8 %	53.4 %

DISCUSSIONE

I risultati delle misure eseguite attorno al magnete aperto del tomografo A) da 1 T mostrano che anche in posizione ravvicinata all'imboccatura del *gantry*, a fianco del lettino porta-paziente nelle posizioni accessibili dal personale addetto o da accompagnatori, sono sempre rispettate le prescrizioni normative per l'induzione magnetica generata dai gradienti diagnostici, relative ai VA per i lavoratori e ai LR per la popolazione.
Per le due apparecchiature B) e C) a magnete cilindrico chiuso da 1.5 T, si evidenzia la necessità di mantenere una distanza minima di circa 100 cm dall'imboccatura del *gantry* per garantire il rispetto dei LR previsti per la popolazione. Per i lavoratori addetti, le misure sono risultate sempre conformi ai VA. Non si riscontrano differenze significative tra gli indici di picco ponderato riferiti ai VA superiori e ai VA inferiori, a dimostrazione che il contenuto spettrale dei segnali di CMG si colloca in massima parte al di sopra della frequenza di 300 Hz, a partire dalla quale i due limiti coincidono.
La valutazione del livello di esposizione al campo elettrico (non riportata in questo lavoro) non evidenzia in alcun punto di misura condizioni di rischio significative per gli individui della popolazione, né quindi tantomeno per i lavoratori professionalmente esposti.
I dati forniti dai fabbricanti dei tomografi da 1.5 T riportano gli andamenti di intensità dell'induzione magnetica per i gradienti diagnostici, normalizzati al centro del *gantry*, in funzione della distanza. Dai grafici è possibile riscontrare che gli andamenti calcolati a seguito delle misure eseguite sono sovrapponibili a quelli dei fabbricanti, così come le distanze di sicurezza indicate.
Infine, il confronto tra le misure eseguite con la catena basata su sonda ELT-400 e con la sonda EHP-50E mostra in alcuni casi una buona corrispondenza, in altri casi un accordo peggiore. Si ritiene che questa variabilità (specie nei punti di misura più vicini al *gantry*, dove il gradiente spaziale del campo è maggiore) dipenda principalmente dalla difficoltà di riposizionare il sensore esattamente nello stesso punto.

ISBN 9788888648477

CONCLUSIONI

Le misure e le valutazioni effettuate portano a chiare indicazioni in relazione al livello di esposizione dei lavoratori addetti a tomografi per diagnostica fino a 1.5 T, definendo uno scenario rassicurante in normali condizioni operative, anche all'interno della sala magnete. Un modesto spostamento laterale di poche decine di centimetri dall'imboccatura del *gantry* è sufficiente per garantire il rispetto dei limiti di esposizione occupazionale all'induzione magnetica anche durante le sequenze diagnostiche più impattanti.
Agli eventuali soggetti della popolazione, lavoratori non professionalmente esposti o portatori di rischi specifici che dovessero permanere all'interno della sala durante un esame, potranno essere fornite adeguate raccomandazioni circa il mantenimento di una distanza di almeno un metro dall'imboccatura del *gantry*.
In termini di zonizzazione secondo la norma CEI EN 50499 (CEI, 2009), è possibile definire le seguenti aree:

- Zona 0: oltre 100 cm di distanza dal magnete;
- Zona 1: dall'imboccatura a 100 cm di distanza dal magnete.

CREDITI E RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro si è avvalso del supporto finanziario fornito dall'INAIL nell'ambito del progetto a Bando Bric-2016, Programma 4, Tematica 30.
Gli autori ringraziano il personale dell'Ospedale Maggiore di Lodi e del Policlinico San Matteo di Pavia per la collaborazione fornita in occasione della campagna di misure.

BIBLIOGRAFIA

Andreuccetti D, Contessa GM, Falsaperla R, Lodato R, Pinto R, Zoppetti N and Rossi P, 2013. *Weighted-peak assessment of occupational exposure due to MRI gradient fields and movements in a nonhomogeneous static magnetic field*. Medical Physics (ISSN 0094-2405), Vol.40, N.1, January 2013, 011910.

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/).

CEI, 2009. *EN 50499. Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici*.

Comelli M, Andreuccetti D, 2019. *Applicazione online per l'acquisizione e l'elaborazione di dati nel dominio del tempo e della frequenza nella valutazione dell'esposizione a CEM*. Atti del VII Convegno Nazionale Agenti Fisici, Stresa, 5-7 giugno 2019.

Consiglio Europeo, 1999. *Raccomandazione 1999/519/CE del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai* campi *elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz*. G.U. Comunità europee L 199/59-70, 30.7.1999.

ICNIRP, 2003. *Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines*. Health Physics, Vol.84, N.3, March 2003, pp.383-387.

ICNIRP, 2010. *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)*. Health Physics, Vol.99, N.6, December 2010, pp.818-836.

Lodato R, Mancini S, Contessa GM, Brugaletta V, Andreuccetti D, Zoppetti N and Rossi P, 2011. *Set up for gradients field measurement in MRI*. Abstract collection of the X International Congress of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA2011), Rome (Italy), 21-24 February 2011.

Repubblica Italiana, 2016. *Decreto Legislativo 1 agosto 2016, n.159. Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE*. (16G00172) GU Serie Generale n.192 del 18-08-2016.

Zoppetti N, Andreuccetti D, Comelli M, D'Agostino S, Falsaperla R, 2019. *Incertezza nella determinazione della distanza di rispetto mediante interpolazione spaziale di indici di esposizione a campi elettromagnetici*. Atti del VII Convegno Nazionale Agenti Fisici, Stresa, 5-7 giugno 2019.

ISBN 9788888648477