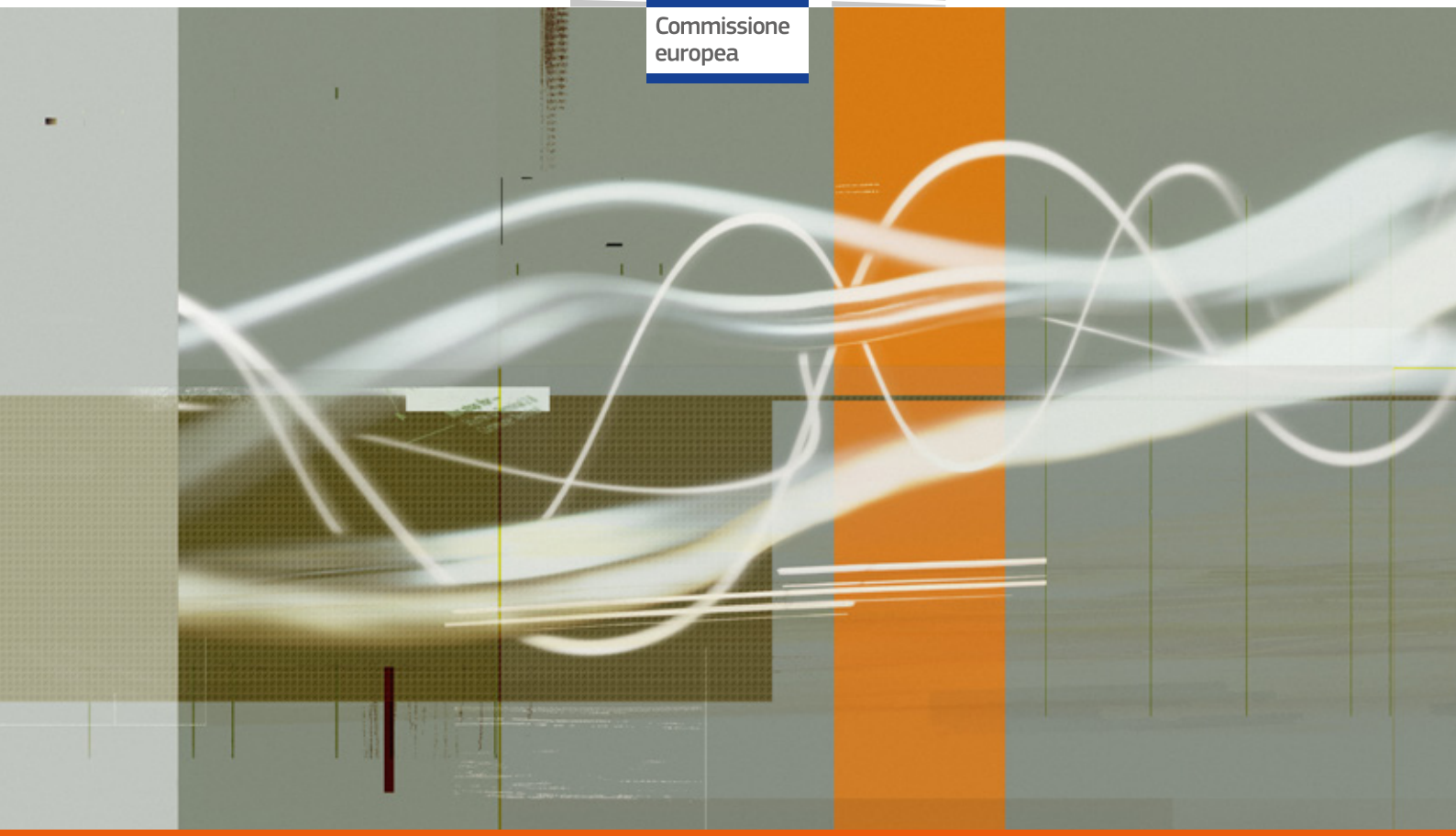
Commissione europea



Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici

Volume 1: Guida pratica

L'Europa sociale

La pubblicazione è sostenuta dal Programma europeo per l'occupazione e l'innovazione sociale (EaSI) 2014-2020.

Per ulteriori informazioni: http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1081&langId=it

Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici

Volume 1: Guida pratica

Commissione europea
Direzione generale
per l'Occupazione, gli affari sociali e l'inclusione
Unità B3

Manoscritto completato nel novembre 2014

Né la Commissione europea né alcuna persona che agisca a suo nome è responsabile dell'uso che può essere fatto delle informazioni contenute nella presente pubblicazione.

I link contenuti nella presente pubblicazione erano corretti alla data di completamento del manoscritto.

© Foto di copertina: corbis

L'uso o la riproduzione di fotografie non coperte dal diritto d'autore dell'Unione europea deve essere autorizzato direttamente dai titolari dei diritti d'autore.

Europe Direct è un servizio che risponde alle domande dei cittadini riguardanti l'Unione europea.

Numero verde (*):

00 800 6 7 8 9 10 11

(*) Le informazioni sono gratuite, come la maggior parte delle chiamate (tuttavia, presso alcuni operatori, hotel o cabine telefoniche possono essere a pagamento).

Ulteriori informazioni sull'Unione europea sono disponibili su Internet (http://europa.eu).

Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, 2015

ISBN 978-92-79-45901-6
doi:10.2767/18647

© Unione europea, 2015

Riproduzione autorizzata con citazione della fonte.

SINTESI

La presente guida pratica è stata elaborata per aiutare i datori di lavoro, in particolare le piccole e medie imprese, a ottemperare agli obblighi previsti dalla direttiva relativa ai campi elettromagnetici (direttiva 2013/35/UE, detta anche direttiva EMF). In seno all'Unione europea, le disposizioni generali per garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori sono contenute nella direttiva quadro 89/391/CEE. Essenzialmente la direttiva EMF fornisce ulteriori dettagli su come realizzare gli obiettivi della direttiva quadro, nel caso specifico del lavoro in presenza di campi elettromagnetici.

Molte delle attività svolte nei luoghi di lavoro attuali generano campi elettromagnetici, per esempio l'utilizzo di apparecchiature elettriche e di molti comuni dispositivi di comunicazione. Tuttavia, nella maggior parte dei luoghi di lavoro il livello di esposizione è molto basso e non comporta rischi per i lavoratori. Anche qualora vengano generati campi di forte entità, questi di solito si riducono rapidamente con l'aumentare della distanza; pertanto, se è possibile limitare l'accesso dei lavoratori alle aree vicine alle apparecchiature, non vi sarà alcun rischio. Inoltre, poiché la maggior parte dei campi è generata elettricamente, essi scompaiono quando l'alimentazione viene interrotta.

I rischi per il lavoratore possono derivare dagli effetti diretti del campo sul corpo o dagli effetti indiretti causati dalla presenza di oggetti nel campo. Gli effetti diretti possono essere di natura termica o non termica. Alcuni lavoratori potrebbero essere esposti a rischi particolari derivanti dai campi elettromagnetici. Tra questi lavoratori rientrano i portatori di dispositivi medici impiantabili attivi o di dispositivi medici passivi, i portatori di dispositivi medici indossati sul corpo e le lavoratrici in gravidanza.

Per aiutare i datori di lavoro a effettuare una valutazione iniziale del proprio luogo di lavoro, la guida riporta una tabella delle situazioni di lavoro più comuni. Tre colonne indicano situazioni in cui sono richieste valutazioni specifiche per i lavoratori con dispositivi impiantabili attivi, gli altri lavoratori particolarmente a rischio e tutti i lavoratori. Questa tabella dovrebbe aiutare la maggior parte dei datori di lavoro ad accertare l'assenza di rischi legati ai campi elettromagnetici nei propri luoghi di lavoro.

Anche per i lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi sarà di norma sufficiente fare in modo che seguano le normali istruzioni fornite loro dall'équipe medica curante. Un'appendice è destinata ai datori di lavoro che devono valutare la situazione dei lavoratori particolarmente a rischio.

L'ultima colonna della tabella individua situazioni di lavoro in cui prevedibilmente si verificheranno forti campi elettromagnetici e per le quali i datori di lavoro dovranno di norma seguire una procedura di valutazione più dettagliata. Spesso i campi elettromagnetici rappresentano un rischio soltanto per i lavoratori particolarmente a rischio, ma in alcuni casi possono esserci rischi per tutti i lavoratori, derivanti da effetti diretti o indiretti dei campi elettromagnetici. In questi casi il datore di lavoro dovrà considerare l'opportunità di adottare ulteriori misure di protezione o prevenzione.

La guida pratica contiene consigli sullo svolgimento della valutazione dei rischi, che dovrebbe essere coerente con una serie di procedure di valutazione dei rischi comunemente utilizzate, tra cui lo strumento interattivo online per la valutazione dei rischi (OiRA) fornito dall'Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro.

Nel corso della valutazione dei rischi, per i datori di lavoro potrebbe essere necessario confrontare le informazioni sui campi elettromagnetici presenti nel luogo di lavoro con i livelli di azione e i valori limite di esposizione specificati nella direttiva EMF. In presenza di campi elettromagnetici ridotti nel luogo di lavoro di norma questi confronti non sono necessari e la guida consiglia ai datori di lavoro di fare riferimento piuttosto a informazioni generiche come le tabelle menzionate in precedenza.

Qualora sia invece necessario effettuare confronti con i livelli di azione o i valori limite di esposizione, i datori di lavoro sono incoraggiati a utilizzare le informazioni messe a disposizione dai fabbricanti o reperibili in banche dati, e a evitare, se possibile, di effettuare le loro proprie valutazioni. Per i datori di lavoro che devono effettuare la propria valutazione, la guida offre consigli su metodi e orientamenti relativi a tematiche specifiche come i campi non uniformi, la sommazione di frequenze multiple e l'applicazione del metodo del picco ponderato.

La guida offre inoltre consigli sulle possibili opzioni qualora i datori di lavoro debbano adottare misure di protezione o prevenzione supplementari. È importante sottolineare che non esiste un'unica soluzione per tutti i rischi connessi ai campi elettromagnetici, e i datori di lavoro dovrebbero considerare tutte le opzioni disponibili, per scegliere quella più idonea alla loro situazione.

Ormai da tempo è risaputo che l'uso della risonanza magnetica per immagini in ambito sanitario può comportare livelli di esposizione dei lavoratori che superano i valori limite di esposizione specificati nella direttiva EMF. La risonanza magnetica è un'importante tecnologia medica, indispensabile per la diagnosi e la cura di varie patologie. Per questo motivo, la direttiva EMF prevede una deroga condizionale all'obbligo di rispettare i valori limite di esposizione. Un'appendice della guida preparata in consultazione con le parti interessate offre ai datori di lavoro orientamenti pratici per conformarsi alle condizioni della deroga.

Il volume 2 presenta dodici studi di casi che indicano ai datori di lavoro come effettuare le valutazioni e illustrano alcune delle misure di protezione e prevenzione che possono essere scelte e attuate. Gli studi di casi vengono presentati nel contesto di luoghi di lavoro generici, ma sono stati elaborati sulla base di situazioni di lavoro reali. In molte delle situazioni valutate negli studi di casi si registravano campi elettromagnetici forti. In alcuni casi la situazione rappresentava un rischio soltanto per i lavoratori particolarmente a rischio, che potevano essere esclusi dall'area in cui si registravano campi di forte entità. In altri casi sussistevano rischi potenziali per tutti i lavoratori, la cui presenza nell'area, tuttavia, non era necessaria mentre il campo di forte entità veniva generato.

Oltre alla risonanza magnetica (di cui si è discusso in precedenza), sono state individuate altre due situazioni che potrebbero comportare un'esposizione dei lavoratori superiore ai valori limite di esposizione.

La più comune tra queste è la saldatura a resistenza che si avvale di correnti molto forti e spesso dà luogo a induzioni magnetiche vicine o superiori ai livelli di azione specificati nella direttiva EMF. Per i processi di saldatura manuali l'operatore si trova necessariamente vicino alla sorgente del campo elettromagnetico. Nelle situazioni esaminate negli studi di casi e altrove, talvolta sono stati superati temporaneamente i livelli di azione inferiori. Tuttavia, non è mai stato superato il livello di azione superiore o i modelli indicano che i valori limite di esposizione non sono stati superati. Nella maggior parte dei casi quindi i rischi possono essere gestiti con misure semplici quali l'offerta di informazioni e formazione ai lavoratori, affinché comprendano i rischi e sappiano come ridurre al minimo l'esposizione utilizzando le apparecchiature conformemente all'uso previsto. È possibile, nondimeno, che alcune delle operazioni di saldatura a resistenza manuale comportino esposizioni superiori ai valori limite di esposizione specificati nella direttiva EMF. È probabile che i rappresentanti dei settori che utilizzano queste tecnologie debbano rivolgersi alle autorità pubbliche di ciascun Stato membro per chiedere una deroga che consenta loro di continuare a utilizzare questa apparecchiatura per il tempo necessario alla sostituzione delle apparecchiature.

La seconda situazione che comporta un'alta esposizione è l'uso della stimolazione magnetica transcranica in campo medico. Questa procedura è meno comune della risonanza magnetica, ma è una tecnica importante e comunemente utilizzata sia a fini terapeutici che diagnostici. Durante la terapia l'applicatore viene normalmente sostenuto al di sopra della testa del paziente in un supporto adeguato. Poiché il terapista non deve necessariamente rimanere vicino al paziente mentre l'apparecchiatura è in funzione, dovrebbe essere facile limitare l'esposizione del lavoratore. Al contrario, per le applicazioni diagnostiche è necessaria la manipolazione manuale dell'applicatore che inevitabilmente comporta

un'esposizione significativa dei lavoratori. Lo sviluppo di apparecchiature idonee per la manipolazione a distanza consentirebbe di ridurre l'esposizione dei lavoratori.

Per concludere, la guida è stata elaborata con una struttura modulare, in modo da ridurre al minimo l'onere per la maggioranza dei datori di lavoro: a loro probabilmente basterà leggere la prima sezione. Alcuni datori di lavoro dovranno tenere conto dei lavoratori particolarmente a rischio e dovranno leggere anche la seconda sezione. I datori di lavoro che hanno a che fare con campi elettromagnetici di forte entità dovranno leggere fino alla terza sezione, e quelli la cui attività comporta campi elettromagnetici che presentano rischi dovranno esaminare anche la sezione finale. L'accento è posto sempre su metodologia semplici, sia per le valutazioni che per le misure di protezione e prevenzione.

INDICE

SEZIONE 1 — TUTTI I DATORI DI LAVORO

1. INTRODUZIONE E OBIETTIVO DELLA GUIDA 12
   - 1.1 Utilizzo della guida 13
   - 1.2 Introduzione alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici 15
   - 1.3 Campo di applicazione della presente guida 15
   - 1.4 Corrispondenza con la direttiva 2013/35/UE 16
   - 1.5 Normative nazionali e altre fonti di informazioni 17
2. EFFETTI SULLA SALUTE E RISCHI PER LA SICUREZZA DERIVANTI DAI CAMPI ELETTROMAGNETICI 18
   - 2.1 Effetti diretti 18
   - 2.2 Effetti a lungo termine 18
   - 2.3 Effetti indiretti 19
3. SORGENTI DI CAMPI ELETTROMAGNETICI 20
   - 3.1 Lavoratori particolarmente a rischio 21
     - 3.1.1 Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi 22
     - 3.1.2 Altri lavoratori particolarmente a rischio 22
   - 3.2 Prescrizioni per la valutazione di attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro comuni 23
     - 3.2.1 Attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro che potrebbero richiedere una valutazione specifica 27
   - 3.3 Attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro non elencati nel presente capitolo 28

SEZIONE 2 — DECIDERE SU EVENTUALI ULTERIORI AZIONI

4. STRUTTURA DELLA DIRETTIVA RELATIVA AI CAMPI ELETTROMAGNETICI 30
   - 4.1 Articolo 3 — Valori limite di esposizione e livelli di azione 32
   - 4.2 Articolo 4 — Valutazione dei rischi e identificazione dell'esposizione 32
   - 4.3 Articolo 5 — Disposizioni miranti a eliminare o a ridurre i rischi 33
   - 4.4 Articolo 6 — Informazione e formazione dei lavoratori 33
   - 4.5 Articolo 7 — Consultazione e partecipazione dei lavoratori 33
   - 4.6 Articolo 8 — Sorveglianza sanitaria 34
   - 4.7 Articolo 10 — Deroghe 34
   - 4.8 Sintesi 34
5. VALUTAZIONE DEI RISCHI NELL'AMBITO DELLA DIRETTIVA RELATIVA AI CAMPI ELETTROMAGNETICI 35
   - 5.1 Piattaforma per la valutazione dei rischi interattiva online (OiRA) 36
   - 5.2 Fase 1 — Preparazione 36
   - 5.3 Fase 2 — Identificazione dei pericoli e dei soggetti a rischio 37
     - 5.3.1 Identificazione dei pericoli 37
     - 5.3.2 Identificazione delle misure di prevenzione e precauzionali esistenti 38
     - 5.3.3 Identificazione dei soggetti a rischio 38
     - 5.3.4 Lavoratori particolarmente a rischio 38
   - 5.4 Fase 3 — Valutazione dei rischi e definizione delle priorità 39
     - 5.4.1 Valutazione dei rischi 39
       - 5.4.1.1 Effetti diretti 40
       - 5.4.1.2 Effetti indiretti 40
       - 5.4.1.3 Lavoratori particolarmente a rischio 41

5.5 Fase 4 — Decisioni sulle azioni preventive 41
5.6 Fase 5 — Attuazione delle misure 42
5.7 Documentazione della valutazione dei rischi 42
5.8 Monitoraggio e esame della valutazione dei rischi 42

SEZIONE 3 — VALUTAZIONI DI CONFORMITÀ

6. USO DEI VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE E DEI LIVELLI DI AZIONE 44
6.1 Livelli di azione previsti per gli effetti diretti 46
6.1.1 Livelli di azione del campo elettrico (1 Hz-10 MHz) 48
6.1.2 Livelli di azione del campo magnetico (1 Hz-10 MHz) 49
6.1.3 Livelli di azione del campo elettrico e magnetico (100 kHz-300 GHz) 50
6.1.4 Livelli di azione per corrente indotta attraverso gli arti (10-110 MHz) 50
6.2 Livelli di azione previsti per gli effetti indiretti 50
6.2.1 Livelli di azione del campo magnetico statico 50
6.2.2 Livelli di azione per le correnti di contatto (fino a 110 MHz) 50
6.3 Valori limite di esposizione 51
6.3.1 Valori limite di esposizione relativi agli effetti sensoriali e sanitari 51
6.3.2 Valori limite di esposizione (0-1 Hz) 52
6.3.3 Valori limite di esposizione (1 Hz-10 MHz) 52
6.3.4 Valori limite di esposizione (100 kHz-300 GHz) 53
6.4 Deroghe 53
6.4.1 Deroga in materia di RMI 54
6.4.2 Deroga in ambito militare 55
6.4.3 Deroga generale 55

7. USO DELLE BANCHE DATI E DEI DATI DEI FABBRICANTI RELATIVI ALLE EMISSIONI 56
7.1 Utilizzare le informazioni fornite dai fabbricanti 56
7.1.1 Base della valutazione del fabbricante 57
7.2 Banche dati di valutazioni 58
7.3 Informazioni fornite dai fabbricanti 58
7.3.1 Norme di valutazione 58
7.3.2 Assenza di una norma corrispondente 59

8. CALCOLO O MISURAZIONE DELL'ESPOSIZIONE 61
8.1 Disposizioni della direttiva relativa ai campi elettromagnetici 61
8.2 Valutazioni sul luogo di lavoro 61
8.3 Casi speciali 62
8.4 Richiesta di assistenza supplementare 62

SEZIONE 4 — SONO NECESSARIE ULTERIORI AZIONI?

9. MISURE DI PROTEZIONE E PREVENZIONE 66
9.1 Principi di prevenzione 66
9.2 Eliminazione del pericolo 67
9.3 Ricorso a processi o apparecchiature meno pericolosi 67
9.4 Misure tecniche 68
9.4.1 Schermatura 68
9.4.2 Ripari 69
9.4.3 Interblocchi 70
9.4.4 Dispositivi di protezione sensibili 71
9.4.5 Dispositivo di comando a due mani 71
9.4.6 Arresti di emergenza 72

9.4.7 Misure tecniche per evitare le scariche di scintille ... 72
9.4.8 Misure tecniche per evitare le correnti di contatto ... 73
9.5 Misure organizzative ... 73
9.5.1 Delimitazione dell'area e restrizione dell'accesso ... 73
9.5.2 Segnaletica e avvisi di sicurezza ... 75
9.5.3 Procedure scritte ... 77
9.5.4 Informazioni sulla sicurezza del sito ... 77
9.5.5 Supervisione e gestione ... 78
9.5.6 Istruzione e formazione ... 78
9.5.7 Progettazione e assetto dei luoghi e delle postazioni di lavoro ... 79
9.5.8 Adozione di procedure di lavoro adeguate ... 80
9.5.9 Programmi di manutenzione preventiva ... 82
9.5.10 Restrizione di movimento in campi magnetici statici ... 82
9.5.11 Coordinamento e cooperazione tra datori di lavoro ... 82
9.6 Dispositivi di protezione individuale ... 83

10. PREPARAZIONE ALLE SITUAZIONI DI EMERGENZA ... 84
10.1 Elaborazione dei piani ... 84
10.2 Reazione in caso di incidenti ... 84

11. RISCHI, SINTOMI E SORVEGLIANZA SANITARIA ... 86
11.1 Rischi e sintomi ... 86
11.1.1 Campi magnetici statici (da 0 a 1 Hz) ... 86
11.1.2 Campi magnetici a bassa frequenza (da 1 Hz a 10 MHz) ... 87
11.1.3 Campi elettrici a bassa frequenza (da 1 Hz a 10 MHz) ... 87
11.1.4 Campi ad alta frequenza (da 100 kHz a 300 GHz) ... 87
11.2 Sorveglianza sanitaria ... 89
11.3 Visita medica ... 89
11.4 Documentazione ... 90

SEZIONE 5 — MATERIALE DI RIFERIMENTO

APPENDICE A. Natura dei campi elettromagnetici ... 92
APPENDICE B. Effetti dei campi elettromagnetici per la salute ... 96
APPENDICE C. Grandezze e unità di misura dei campi elettromagnetici ... 101
APPENDICE D. Valutazione dell'esposizione ... 108
APPENDICE E. Effetti indiretti e lavoratori particolarmente a rischio ... 153
APPENDICE F. Orientamenti sulla risonanza magnetica ... 160
APPENDICE G. Disposizioni di altri testi dell'Unione europea ... 170
APPENDICE H. Norme europee e internazionali ... 176
APPENDICE I. Risorse ... 178
APPENDICE J. Glossario e abbreviazioni ... 182
APPENDICE K. Bibliografia ... 186
APPENDICE L. Direttiva 2013/35/UE ... 188

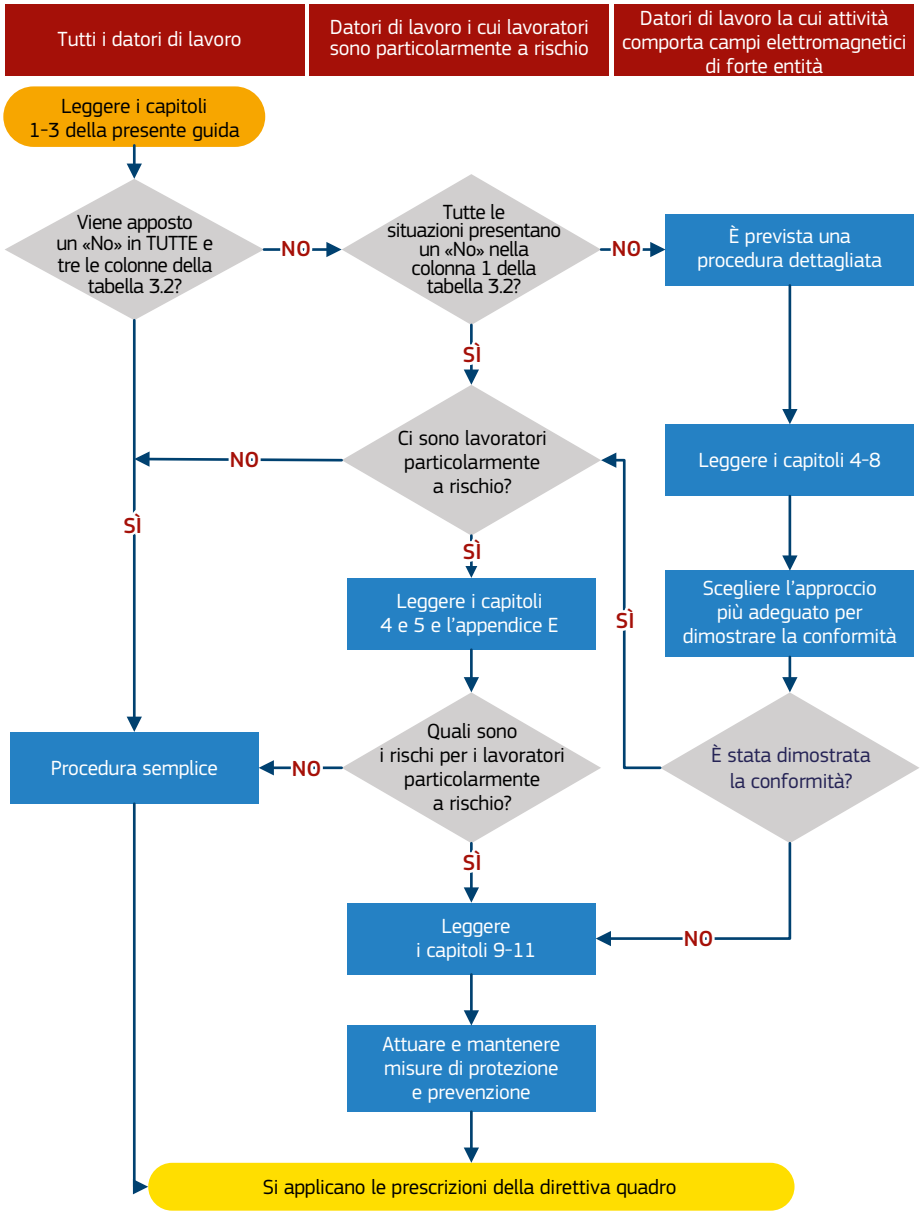
Sezione 1

TUTTI I DATORI DI LAVORO

1. INTRODUZIONE E OBIETTIVO DELLA GUIDA

La presenza di campi elettromagnetici, disciplinati dalla direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici (direttiva EMF), è un dato di fatto nei paesi sviluppati, poiché questi campi vengono generati ogniqualvolta si utilizza l'elettricità. Per la maggior parte dei lavoratori l'intensità di campo è di livello tale da non causare effetti nocivi. In alcuni ambienti di lavoro l'intensità di campo può tuttavia presentare un rischio e la direttiva intende garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori in situazioni di questo tipo. Una delle principali difficoltà incontrate dai datori di lavoro sta nel decidere se occorre adottare ulteriori misure specifiche.

Figura 1.1 — Panoramica generale: come utilizzare questa guida



1.1 Utilizzo della guida

La presente guida è destinata principalmente alle piccole e medie imprese, ma può essere utile anche per i lavoratori, i rappresentanti dei lavoratori e le autorità di regolamentazione degli Stati membri.

Costituisce uno strumento di aiuto per effettuare una valutazione iniziale dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro. A seconda del suo esito, la valutazione aiuta a decidere sull'eventuale necessità di adottare ulteriori misure conformemente alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici, fornendo consigli pratici sulle possibili misure da adottare.

La presente guida intende spiegare come la direttiva relativa ai campi elettromagnetici possa incidere sulle nostre attività. Essa non è giuridicamente vincolante e non fornisce un'interpretazione di specifiche norme giuridiche da rispettare. Per questo motivo va letta in combinazione con la direttiva relativa ai campi elettromagnetici (cfr. l'appendice L), la direttiva quadro (89/391/CEE) e le leggi nazionali pertinenti.

La direttiva EMF stabilisce le disposizioni minime di sicurezza relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici. Sono comunque pochi i datori di lavoro che dovranno calcolare o misurare i livelli dei campi elettromagnetici sul proprio luogo di lavoro. Nella maggior parte dei casi il lavoro svolto è di natura tale che il rischio sarà basso e potrà essere valutato agevolmente. La guida è articolata in modo da consentire ai datori di lavoro che si sono già conformati alle norme di effettuare rapidi accertamenti senza dover leggere l'intera guida.

L'utilizzo della guida è illustrato dal diagramma di flusso contenuto nella figura 1.1. La guida si articola in quattro sezioni.

1. La prima sezione (capitoli da 1 a 3) è rivolta a tutti i lettori e fornisce un'introduzione generale, istruzioni sull'utilizzo della guida, una sintesi dei principali effetti sulla salute e la sicurezza e una spiegazione in merito alle sorgenti di campi elettromagnetici. Un aspetto importante: il capitolo 3 comprende un elenco di apparecchiature, attività e situazioni generiche in cui i campi sono talmente deboli che i datori di lavoro non avranno bisogno di adottare ulteriori misure. Questa tabella dovrebbe consentire alla maggior parte dei datori di lavoro di accertare di aver già adempiuto i propri obblighi, a condizione di essersi conformati alle prescrizioni della direttiva quadro. Per questi datori di lavoro la guida avrà raggiunto il proprio scopo ed essi non dovranno fare altro.

2. La seconda sezione (capitoli 4 e 5) è rivolta a quei datori di lavoro che non sono certi di non dover intraprendere ulteriori azioni. Questi datori di lavoro avranno bisogno di una più approfondita comprensione delle prescrizioni della direttiva EMF e dovranno effettuare una specifica valutazione dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici. Per alcuni ciò sarà dovuto al fatto che alcuni dei loro lavoratori sono particolarmente esposti ai rischi derivanti da campi elettromagnetici. A seconda dell'esito della valutazione, i datori di lavoro potrebbero essere indirizzati direttamente alla quarta sezione. Per altri datori di lavoro i campi elettromagnetici possono essere così forti da presentare rischi per tutti i lavoratori. Questi datori di lavoro dovranno esaminare anche la terza sezione.

3. La terza sezione (capitoli 6, 7 e 8) è rivolta ai datori di lavoro che devono accertare se i livelli di azione (LA), e in alcuni casi i valori limite di esposizione (VLE), saranno superati. Spesso sarà possibile dimostrare che non è così e che le procedure di lavoro esistenti sono accettabili. Questi datori di lavoro hanno comunque bisogno di una valutazione dei rischi più dettagliata e di una stima più adeguata delle esposizioni. Molti si possono limitare a leggere fino al capitolo 7, ma alcuni datori di lavoro potrebbero trovare utile la lettura del capitolo 8.

4. La quarta sezione (capitoli 9, 10 e 11) è rivolta all'esigua minoranza di datori di lavoro che individuano esposizioni superiori a un VLE o altri rischi che devono essere ridotti. Questi datori di lavoro dovranno attuare alcune modifiche per proteggere i lavoratori e dovrebbero già aver letto i precedenti capitoli della presente guida.

La guida si propone di accompagnarvi attraverso un percorso logico, per valutare i rischi derivanti dall'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici.

Tabella 1.1 — Percorso di valutazione dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici

Se tutti i rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro sono ridotti, non sono necessarie ulteriori azioni. Si consiglia ai datori di lavoro di registrare per iscritto di aver effettuato un esame sul proprio luogo di lavoro e l'esito di tale esame.
Se i rischi derivanti dai campi elettromagnetici non sono ridotti o non sono noti, i datori di lavoro dovranno seguire una procedura per valutare il rischio e adottare le eventuali precauzioni.
Il capitolo 4 descrive le prescrizioni della direttiva relativa ai campi elettromagnetici, mentre il capitolo 5 illustra la metodologia proposta per valutare i rischi derivanti dai campi elettromagnetici. È possibile che si giunga alla conclusione che non esistono rischi significativi. In tal caso occorre prender nota per iscritto della valutazione e la procedura si conclude.
Il capitolo 6 illustra l'utilizzo dei valori limite di esposizione e dei livelli di azione e tratta la questione delle deroghe.
Per facilitare la valutazione del rischio in generale e in particolare per valutare la conformità ai livelli di azione o ai valori limite di esposizione, i datori di lavoro possono aver bisogno di informazioni sul livello dei campi elettromagnetici. Queste possono essere ottenute da banche dati o fabbricanti (capitolo 7) oppure da calcoli o misurazioni (capitolo 8).
Il capitolo 9 illustra nei dettagli le misure di protezione e prevenzione qualora occorra ridurre il rischio.
Il capitolo 10 fornisce orientamenti in materia di preparazione alle situazioni di emergenza, mentre il capitolo 11 offre consigli su rischi, sintomi e sorveglianza sanitaria.

I capitoli della guida sono stati sintetizzati al massimo per snellire gli oneri a carico dei datori di lavoro che li utilizzano. Le appendici della guida forniscono ulteriori informazioni ai datori di lavoro e ad altre persone che possono essere interessate al processo di valutazione dei rischi (tabella 1.2):

Tabella 1.2 — Appendici della guida

A — Natura dei campi elettromagnetici
B — Effetti dei campi elettromagnetici sulla salute
C — Grandezze e unità dei campi elettromagnetici
D — Valutazione dell'esposizione
E — Effetti indiretti e lavoratori particolarmente a rischio
F — Orientamenti sulla risonanza magnetica (RMI)
G — Prescrizioni di altri testi dell'UE
H — Norme europee e internazionali
I — Risorse
J — Glossario, abbreviazioni e simboli del diagramma di flusso
K — Bibliografia
L — Direttiva 2013/35/UE

1.2 Introduzione alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici

Come stabilito dalla direttiva quadro, tutti i datori di lavoro hanno l'obbligo di valutare i rischi derivanti dalle attività che svolgono e di adottare misure di protezione o prevenzione al fine di ridurre i rischi individuati. La direttiva relativa ai campi elettromagnetici è stata adottata per aiutare i datori di lavoro a ottemperare agli obblighi generali stabiliti dalla direttiva quadro per il caso specifico dei campi elettromagnetici sul luogo di lavoro. Dal momento che si conformano alle prescrizioni della direttiva quadro, la maggior parte dei datori di lavoro constaterà di adempiere già pienamente alle disposizioni della direttiva relativa ai campi elettromagnetici e non dovrà fare altro.

Ai fini della direttiva EMF, s'intendono per «campi elettromagnetici» campi elettrici statici, campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo con frequenze sino a 300 GHz. Questa terminologia viene utilizzata nella guida soltanto quando ne derivi un evidente vantaggio.

I campi elettromagnetici vengono prodotti da una vasta gamma di sorgenti alle quali i lavoratori possono essere esposti sul luogo di lavoro. Essi sono generati e utilizzati in molte attività lavorative, ad esempio i processi di fabbricazione, la ricerca, le comunicazioni, le applicazioni mediche, la produzione, trasmissione e distribuzione di energia, la telediffusione, la navigazione marittima e aerea e la sicurezza. I campi elettromagnetici possono anche essere incidentali, come i campi generati in prossimità dei cavi di distribuzione dell'energia elettrica all'interno degli edifici, oppure dovuti all'impiego di apparecchiature e dispositivi elettrici. Poiché gran parte dei campi è generata elettricamente, essi scompaiono quando l'alimentazione viene interrotta.

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici riguarda gli effetti diretti e indiretti accertati che sono provocati dai campi elettromagnetici, ma non affronta le ipotesi di effetti a lungo termine sulla salute (cfr. la sezione 2.2). Gli effetti diretti sono suddivisi in effetti non termici, come la stimolazione di nervi, muscoli ed organi sensoriali, ed effetti termici, come il riscaldamento dei tessuti (cfr. la sezione 2.1). Gli effetti indiretti si verificano quando la presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico può costituire un pericolo per la sicurezza o la salute (cfr. la sezione 2.3).

1.3 Campo di applicazione della presente guida

La presente guida intende fornire consigli pratici per aiutare i datori di lavoro a conformarsi alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici. È rivolta a tutte le imprese in cui i lavoratori possono essere esposti a campi elettromagnetici. Sebbene la direttiva EMF non escluda specificamente alcun particolare tipo di lavoro o di tecnologie, in molti ambienti di lavoro i campi sono così deboli da non comportare rischi. La presente guida contiene un elenco di attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro generici in cui i campi sono talmente deboli che i datori di lavoro non avranno bisogno di adottare ulteriori misure. La guida non considera le questioni relative alla compatibilità elettromagnetica, che vengono discusse altrove.

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici prescrive ai datori di lavoro di prestare attenzione ai lavoratori particolarmente a rischio, segnatamente i portatori di dispositivi medici impiantabili attivi o passivi, come gli stimolatori cardiaci, i lavoratori con dispositivi medici portati sul corpo, come le pompe insuliniche, e le lavoratrici in gravidanza. La guida fornisce consigli per queste situazioni.

Esistono alcuni potenziali scenari di esposizione che sono altamente specifici o molto complessi e quindi vanno al di là dell'ambito della guida. Alcune industrie con particolari scenari di esposizione potranno elaborare propri orientamenti in relazione alla direttiva EMF, e tali orientamenti dovranno essere consultati in caso di necessità (cfr. l'appendice I). I datori di lavoro con scenari di esposizione complessi dovranno chiedere ulteriori informazioni in merito alla valutazione (cfr. il capitolo 8 e l'appendice I).

1.4 Corrispondenza con la direttiva 2013/35/UE

La guida è stata redatta per soddisfare le prescrizioni di cui all'articolo 14 della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. La tabella 1.3 illustra la corrispondenza tra gli articoli della direttiva relativa ai campi elettromagnetici e i capitoli della guida.

Tabella 1.3 — Corrispondenza tra gli articoli della direttiva relativa ai campi elettromagnetici e le sezioni della guida

Articoli e orientamenti	Sezione della guida
Articolo 2 — Definizioni	
Informazioni di carattere generale	Appendici A, B
Grandezze e unità utilizzate nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici	Appendice C
Termini e abbreviazioni	Appendice J
Articolo 3 — Valori limite di esposizione e livelli di azione	
Limitazione dell'esposizione	Sezione 6.3
Applicazione dei livelli di azione	Sezioni 6.1, 6.2
Azioni richieste	Sezioni 9.4, 9.5
Articolo 4 — Valutazione dei rischi e identificazione dell'esposizione	
Valutazione del rischio	Capo 5
Effetti indiretti e lavoratori particolarmente a rischio	Sezioni 5.3, 5.4 e appendice E
Valutazione dell'esposizione utilizzando le informazioni disponibili	Capo 7
Valutazione dell'esposizione mediante misurazioni o calcoli	Capo 8 e appendice D
Articolo 5 — Disposizioni miranti a eliminare o a ridurre i rischi	
Principi di prevenzione	Sezione 9.1
Misure tecniche	Sezione 9.4
Misure organizzative	Sezione 9.5
Attrezzature di protezione individuale	Sezione 9.6
Articolo 6 — Informazione e formazione dei lavoratori	
Informazione dei lavoratori	Sezione 9.5 e appendice E
Formazione dei lavoratori	Sezione 9.5 e appendici A, B
Articolo 7 — Consultazione e partecipazione dei lavoratori	
Consultazione e partecipazione del lavoratore	Capo 4
Articolo 8 — Sorveglianza sanitaria	
Sintomi	Sezione 11.1
Sorveglianza sanitaria	Sezione 11.2
Visita medica	Sezione 11.3
Articolo 10 — Deroghe	
Deroghe	Sezione 6.4 e appendice F

1.5 Normative nazionali e altre fonti di informazioni

L'utilizzo della presente guida non garantisce necessariamente la conformità alle normative in materia di protezione dai campi magnetici vigenti nei vari Stati membri dell'UE. In ogni caso prevalgono le normative con cui gli Stati membri hanno recepito la direttiva 2013/35/UE che possono andare oltre le prescrizioni minime della direttiva EMF su cui si basa la presente guida. Maggiori informazioni possono essere ottenute presso le autorità di regolamentazione nazionali di cui all'appendice I.

Per contribuire ulteriormente all'attuazione delle prescrizioni della direttiva relativa ai campi elettromagnetici, i fabbricanti possono progettare i loro prodotti in modo da ridurre al minimo i campi elettromagnetici accessibili. Essi possono inoltre fornire informazioni sui campi e sui rischi connessi al normale utilizzo delle apparecchiature. L'utilizzo delle informazioni fornite dai fabbricanti viene trattato ulteriormente nel capitolo 7.

Le appendici della guida forniscono altre fonti di informazioni. In particolare, l'appendice I contiene particolari relativi ad associazioni di categoria e organizzazioni nazionali, mentre l'appendice J contiene un glossario, un elenco di abbreviazioni e la spiegazione dei simboli del diagramma di flusso utilizzati nella guida. L'appendice K fornisce una bibliografia di pubblicazioni utili.

2. EFFETTI SULLA SALUTE E RISCHI PER LA SICUREZZA DERIVANTI DAI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Il tipo di effetto che i campi elettromagnetici hanno sulle persone dipende in primo luogo dalla frequenza e dall'intensità; anche altri fattori, come la forma d'onda, possono essere importanti in alcune situazioni. Alcuni campi provocano la stimolazione degli organi sensoriali, dei nervi e dei muscoli, mentre altri causano riscaldamento. Gli effetti causati dal riscaldamento sono denominati *effetti termici* nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici, mentre tutti gli altri effetti sono definiti *effetti non termici*. L'appendice B fornisce ulteriori particolari in merito agli effetti che l'esposizione ai campi elettromagnetici esercita sulla salute.

È importante notare che tutti questi effetti hanno una soglia al di sotto della quale non vi è alcun rischio e le esposizioni inferiori alla soglia non sono in alcun caso cumulative. Gli effetti causati dall'esposizione sono transitori, essendo limitati alla durata dell'esposizione, e cessano o diminuiscono quando finisce l'esposizione. Ciò significa che non vi sono ulteriori rischi per la salute una volta terminata l'esposizione.

2.1 Effetti diretti

Gli effetti diretti sono i cambiamenti provocati in una persona dall'esposizione a un campo elettromagnetico. La direttiva relativa ai campi elettromagnetici prende in considerazione solo gli effetti noti che si basano su meccanismi conosciuti, ma opera una distinzione fra effetti sensoriali ed effetti sulla salute, considerati più gravi.

Gli effetti diretti sono i seguenti:

- vertigini e nausea provocati da campi magnetici statici (associati di norma al movimento, ma possibili anche in assenza di movimento);
- effetti su organi sensoriali, nervi e muscoli provocati da campi a bassa frequenza (fino a 100 kHz);
- riscaldamento di tutto il corpo o di parti del corpo causato da campi ad alta frequenza (pari o superiore a 10 MHz); in presenza di valori superiori a qualche GHz il riscaldamento si limita in misura sempre maggiore alla superficie del corpo;
- effetti su nervi e muscoli e riscaldamento causato da frequenze intermedie (100 kHz-10 MHz).

Questi concetti sono illustrati nella figura 2.1. Cfr. l'appendice B per ulteriori informazioni sugli effetti diretti.

2.2 Effetti a lungo termine

La direttiva EMF non affronta le ipotesi di effetti a lungo termine derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici, dal momento che non si disponiamo attualmente di prove scientifiche solide dell'esistenza di una relazione causale. Tuttavia, nel caso in cui emergano prove scientifiche certe, la Commissione europea valuterà quali siano gli strumenti più appropriati per affrontare tali effetti.

Figura 2.1 — Effetti dei campi elettromagnetici con diverse gamme di frequenza (gli intervalli di frequenza non sono in scala)

2.3 Effetti indiretti

Effetti indesiderati possono essere provocati dalla presenza nel campo elettromagnetico di oggetti che possono determinare pericoli per la sicurezza o la salute. I rischi derivanti dal contatto con conduttori sotto tensione non rientrano nell'ambito della direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

Gli effetti indiretti sono i seguenti:

- interferenze con apparecchiature e altri dispositivi medici elettronici;
- interferenze con apparecchiature o dispositivi medici impiantabili attivi, per esempio stimolatori cardiaci o defibrillatori;
- interferenze con dispositivi medici portati sul corpo, per esempio pompe insuliniche;
- interferenze con dispositivi impiantabili passivi (per esempio protesi articolari, chiodi, fili o piastre di metallo);
- effetti su schegge di metallo, tatuaggi, body piercing e body art;
- rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici non fissi in un campo magnetico statico;
- innesco involontario di detonatori;
- innesco di incendi o esplosioni a causa di materiali infiammabili o esplosivi;
- scosse elettriche o ustioni dovute a correnti di contatto quando una persona tocca un oggetto conduttore in un campo elettromagnetico e uno dei due non è collegato a terra.

Il capitolo 5 e l'appendice E forniscono ulteriori informazioni sugli effetti indiretti e sul modo in cui questi rischi possono essere gestiti sul luogo di lavoro.

Avvertenza importante: effetti dei campi elettromagnetici

I campi elettromagnetici sul luogo di lavoro possono causare effetti diretti o indiretti. Gli effetti diretti sono quelli derivanti da un'interazione dei campi con il corpo e possono essere di natura termica o non termica. Gli effetti indiretti sono dovuti alla presenza in un campo elettromagnetico di un oggetto che può costituire un pericolo per la sicurezza o la salute.

3. SORGENTI DI CAMPI ELETTROMAGNETICI

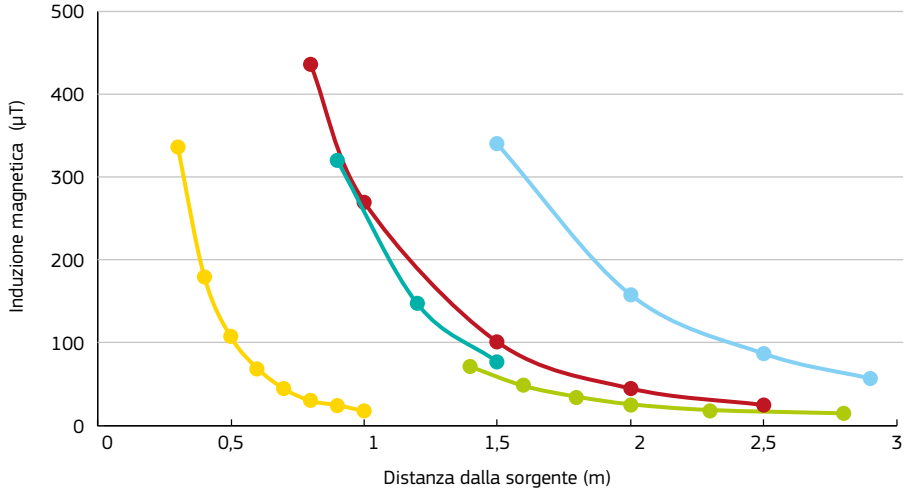
Nella nostra società moderna siamo tutti esposti a campi elettrici e magnetici generati da molte sorgenti, tra cui le apparecchiature elettriche e i dispositivi di radiodiffusione e di comunicazione (figura 3.1). L'appendice A fornisce ulteriori informazioni sulla natura dei campi elettromagnetici. La maggior parte delle sorgenti dei campi elettromagnetici presenti nelle case e negli ambienti di lavoro produce livelli di esposizione estremamente bassi, tanto che la maggior parte delle attività lavorative comuni difficilmente causa esposizioni superiori ai livelli di azione o ai valori limite di esposizione stabiliti dalla direttiva EMF.

Figura 3.1 — Rappresentazione schematica dello spettro elettromagnetico in cui figurano alcune sorgenti tipiche

Il presente capitolo intende fornire ai datori di lavoro informazioni sulle sorgenti di campi elettromagnetici presenti nell'ambiente di lavoro, per aiutarli a decidere se sia necessaria un'ulteriore valutazione dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici. Le dimensioni e l'intensità dei campi elettromagnetici prodotti dipendono dalle tensioni, dalle correnti e dalle frequenze di funzionamento delle apparecchiature o che esse generano, nonché dalla loro progettazione. Alcune apparecchiature sono progettate in modo da generare intenzionalmente campi elettromagnetici esterni. In questi casi, piccole apparecchiature a bassa potenza possono produrre notevoli campi elettromagnetici esterni. Generalmente le apparecchiature che utilizzano correnti o tensioni elevate o che sono progettate per emettere radiazioni elettromagnetiche richiedono una valutazione aggiuntiva. L'appendice C fornisce ulteriori informazioni sulle grandezze e le unità di misura più comunemente utilizzate per valutare i campi elettromagnetici. Il capitolo 5 offre consigli sulla valutazione dei rischi nell'ambito della direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

L'intensità di un campo elettromagnetico diminuisce rapidamente con la distanza dalla sorgente (figura 3.2). L'esposizione dei lavoratori può essere ridotta se è possibile limitare l'accesso alle aree vicine alle apparecchiature quando queste sono in funzione. Va notato inoltre che i campi elettromagnetici, a meno che non siano generati da un magnete permanente o da un magnete superconduttore, scompaiono di norma quando l'apparecchiatura non è più in funzione.

Figura 3.2 — Riduzione dell'induzione magnetica in funzione della distanza per varie sorgenti di frequenza elettrica: saldatrice a punti (●—●); bobina di smagnetizzazione 0,5 m (●—●); forno a induzione 180 kW (●—●); macchina per saldatura continua 100 kVA (●—●); bobina di smagnetizzazione 1 m (●—●)



La parte rimanente del presente capitolo mira ad aiutare i datori di lavoro a distinguere fra apparecchiature, attività e situazioni che difficilmente presentano un pericolo e quelle per cui possono essere necessarie misure di protezione o prevenzione per tutelare i lavoratori.

3.1 Lavoratori particolarmente a rischio

Alcuni gruppi di lavoratori (cfr. la tabella 3.1) sono considerati particolarmente esposti a rischi derivanti dai campi elettromagnetici. Tali lavoratori non possono essere protetti adeguatamente mediante i livelli di azione previsti dalla direttiva relativa ai campi elettromagnetici e perciò i datori di lavoro devono esaminare la loro esposizione separatamente da quella degli altri lavoratori.

I lavoratori particolarmente a rischio sono in genere tutelati adeguatamente se si rispettano i livelli di riferimento specificati nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio (cfr. l'appendice E). Per un'esigua minoranza, tuttavia, anche questi livelli di riferimento possono non essere sufficienti a garantire una protezione adeguata. Queste persone riceveranno consigli adeguati dal proprio medico curante e ciò dovrebbe permettere al datore di lavoro di stabilire se la persona sia effettivamente esposta a un rischio sul luogo di lavoro.

Tabella 3.1 — Lavoratori particolarmente a rischio ai sensi della direttiva relativa ai campi elettromagnetici

Lavoratori particolarmente a rischio	Esempi
Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (Active Implanted Medical Devices, AIMD)	Stimolatori cardiaci, defibrillatori cardiaci, impianti cocleari, impianti nel tronco encefalico, protesi dell'orecchio interno, neurostimolatori, codificatori della retina, pompe impiantate per l'infusione di farmaci
Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili passivi contenenti metallo	Protesi articolari, chiodi, piastre, viti, clip chirurgiche, clip per aneurisma, stent, protesi valvolari cardiache, anelli per annuloplastica, impianti contraccettivi metallici e tipi di dispositivi medici impiantabili attivi
Lavoratori portatori di dispositivi medici indossati sul corpo	Pompe esterne per infusione di ormoni
Lavoratrici in gravidanza	

NB: Per valutare se i lavoratori sono particolarmente a rischio, i datori di lavoro dovranno prendere in considerazione la frequenza, il livello e la durata dell'esposizione.

3.1.1 Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi

Un gruppo di lavoratori particolarmente a rischio è quello dei portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (Active Implanted Medical Devices, AIMD), dato che i campi elettromagnetici di forte entità possono interferire con il normale funzionamento dei dispositivi impiantabili attivi. I fabbricanti di questi dispositivi sono tenuti per legge a garantire che i loro prodotti vantino una ragionevole immunità alle interferenze e questi prodotti sono controllati periodicamente per verificare l'intensità di campo cui potrebbero essere esposti negli ambienti pubblici. Di conseguenza un'intensità di campo inferiore ai livelli di riferimento fissati nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio non dovrebbe incidere negativamente sul funzionamento di tali dispositivi. Un'intensità di campo superiore a tali livelli di riferimento *in prossimità del dispositivo o dei suoi sensori* (se presenti) può però causare una disfunzione, comportando un rischio per chi lo indossa.

Alcune delle situazioni di lavoro trattate nel presente capitolo possano dar luogo a forti campi elettromagnetici, ma in molti casi tali campi sono estremamente circoscritti. Il rischio può quindi essere controllato assicurando che il campo di forte entità non venga generato nelle immediate vicinanze del dispositivo. Per esempio, il campo generato da un telefono cellulare potrebbe interferire con un pacemaker se viene tenuto vicino al dispositivo. Ciononostante le persone che portano stimolatori cardiaci possono far uso di telefoni cellulari senza correre rischi. Devono semplicemente cercare di tenere il cellulare lontano dal torace.

Nella colonna 3 della tabella 3.2 sono elencate situazioni in cui è richiesta una valutazione specifica per i lavoratori portatori di dispositivi impiantabili attivi, in quanto nelle immediate vicinanze del dispositivo o dei suoi sensori (se presenti) potrebbero generarsi forti campi elettromagnetici. Da tale valutazione risulta spesso che il lavoratore deve semplicemente seguire le istruzioni fornitegli dai medici che gli hanno applicato il dispositivo.

Nel caso in cui lavoratori o altri portatori di dispositivi impiantabili attivi abbiano accesso al luogo di lavoro, il datore di lavoro dovrà verificare se sia richiesta una valutazione più dettagliata. A tale riguardo va notato che per una serie di attività lavorative elencate nella tabella 3.2 viene fatta una distinzione tra le situazioni in cui una persona svolge personalmente un'attività e quelle in cui l'attività avviene sul luogo di lavoro. In una situazione di questo tipo è improbabile che un campo di forte entità venga generato nelle immediate vicinanze del dispositivo impiantato e quindi in genere non è richiesta alcuna valutazione.

Alcune situazioni (per esempio la fusione a induzione) generano campi molto forti. In questi casi l'area in cui i livelli di riferimento della raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio possono venire superati sarà generalmente molto più ampia. Di conseguenza la valutazione sarà probabilmente più complessa (cfr. l'appendice E) e potrebbe essere necessario applicare restrizioni di accesso.

3.1.2 Altri lavoratori particolarmente a rischio

Per gli altri gruppi di lavoratori particolarmente a rischio (cfr. la tabella 3.1) i campi elettromagnetici di forte entità molto localizzati non presentano generalmente alcun rischio. Questi lavoratori saranno invece a rischio nei casi in cui è probabile che le attività lavorative generino campi superiori ai livelli di riferimento della raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio in aree ampiamente più accessibili. Situazioni comuni in cui ciò può verificarsi sono indicate nella colonna 2 della tabella 3.2 e richiedono una valutazione specifica.

Qualora sia necessaria una valutazione per i lavoratori particolarmente a rischio, i datori di lavoro devono consultare l'appendice E.

Nota bene: lavoratori particolarmente a rischio

I lavoratori portatori di dispositivi impiantabili attivi possono essere esposti al rischio derivante da forti campi elettromagnetici sul luogo di lavoro. Questi campi sono spesso molto localizzati e di solito i rischi possono essere controllati adeguatamente adottando alcune semplici precauzioni basate sui consigli dei medici curanti del lavoratore in questione.

Anche se i campi elettromagnetici di forte entità possono presentare particolari rischi per altri gruppi di lavoratori (i portatori di dispositivi impiantabili passivi o dispositivi medici indossati sul corpo e le lavoratrici in gravidanza) ciò succede soltanto in un numero limitato di situazioni (cfr. la tabella 3.2).

3.2 Prescrizioni per la valutazione di attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro comuni

La tabella 3.2 elenca molte attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro comuni e indica la necessità o meno di effettuare una valutazione per:

- i lavoratori con dispositivi impiantabili attivi;
- altri lavoratori particolarmente a rischio;
- lavoratori non particolarmente a rischio.

Le voci di questa tabella si basano sulla possibilità che in una situazione si verifichino intensità di campo superiori ai livelli di riferimento indicati nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio e, in caso affermativo, sulla possibilità che tali campi siano molto localizzati.

La tabella 3.2 si basa sull'impiego di apparecchiature conformi a norme recenti, sottoposte a una corretta manutenzione e utilizzate per i fini previsti dal fabbricante. Qualora il lavoro comporti l'impiego di apparecchiature molto vecchie non conformi o in cattivo stato di manutenzione, gli orientamenti della tabella 3.2 potrebbero non essere applicabili.

Se per tutte le attività svolte in un luogo di lavoro viene apposto un «No» nelle tre colonne, non è necessario effettuare una valutazione specifica in relazione alla direttiva EMF, dato che non dovrebbero esserci rischi di questo tipo. In genere, in queste situazioni non sono necessari ulteriori provvedimenti. Sarà comunque necessario effettuare una valutazione generale del rischio in conformità alle prescrizioni della direttiva quadro. Conformemente a tale direttiva, i datori di lavoro dovranno tener conto dei mutamenti di circostanze e riesaminare la necessità di una valutazione specifica dei campi elettromagnetici alla luce di eventuali cambiamenti.

Anche per i luoghi di lavoro cui non hanno accesso lavoratori con dispositivi impiantabili attivi o altri lavoratori particolarmente a rischio potrebbe non essere necessario effettuare una valutazione specifica in relazione alla direttiva EMF, a condizione che per tutte le attività venga apposto un «No» in tutte le colonne *pertinenti*. Sarà comunque necessario effettuare una valutazione generale del rischio come prescritto dalla direttiva quadro. Inoltre, i datori di lavoro dovranno prestare attenzione ai mutamenti di circostanze e in particolare alla possibilità di accesso ai locali da parte dei lavoratori particolarmente a rischio.

Nota bene: valutazioni dei campi elettromagnetici

Se un luogo di lavoro presenta solo le situazioni elencate nella tabella 3.2 che riportano un «No» in tutte le colonne pertinenti, in genere non è necessario effettuare una valutazione specifica dei campi elettromagnetici. Sarà tuttavia necessario effettuare una valutazione generale dei rischi conformemente alle prescrizioni della direttiva quadro e i datori di lavoro dovranno tener conto dei mutamenti di circostanze.

Tabella 3.2 — Prescrizioni per le valutazioni specifiche dei campi elettromagnetici relative ad attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro comuni

Tipo di apparecchiatura o luogo di lavoro	Valutazione richiesta per i		
	Lavoratori non particolarmente a rischio* (1)	Lavoratori particolarmente a rischio (esclusi quelli con dispositivi impiantabili attivi)† (2)	Lavoratori con dispositivi impiantabili attivi)§ (3)
Comunicazioni senza filo			
Telefoni senza filo (comprese le stazioni base per telefoni senza filo DECT) — utilizzo di	No	No	Sì
Telefoni senza filo (comprese le stazioni base per telefoni senza filo DECT) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Telefoni cellulari — utilizzo di	No	No	Sì
Telefoni cellulari — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Dispositivi di comunicazione senza fili (per esempio Wi-Fi o Bluetooth) comprendenti punti di accesso per WLAN — utilizzo di	No	No	Sì
Dispositivi di comunicazione senza fili (per esempio Wi-Fi o Bluetooth) comprendenti punti di accesso per WLAN — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Ufficio			
Apparecchiature audiovisive (per esempio televisori, lettori DVD)	No	No	No
Apparecchiature audiovisive contenenti trasmettitori a radiofrequenza	No	No	Sì
Apparecchiature di comunicazione e reti cablate	No	No	No
Computer e apparecchiature informatiche	No	No	No
Termoventilatori, elettrici	No	No	No
Ventilatori elettrici	No	No	No
Apparecchiature per ufficio (ad esempio fotocopiatrici, distruggidocumenti, aggraffatrici a funzionamento elettrico)	No	No	No
Telefoni (fissi) e fax	No	No	No
Infrastrutture (immobili e terreni)			
Sistemi di allarme	No	No	No
Antenne per stazioni base, all'interno della zona di esclusione destinata all'operatore	Sì	Sì	Sì
Antenne per stazioni base, all'esterno della zona di esclusione destinata all'operatore	No	No	No
Utensili da giardino (a funzionamento elettrico) — utilizzo di	No	No	Sì
Utensili da giardino (elettrici) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Apparecchi per il riscaldamento (elettrici) per il riscaldamento dell'ambiente	No	No	No
Apparecchi domestici e professionali, per esempio frigoriferi, lavatrici, asciugatrici, lavastoviglie, forni, tostapane, forni a microonde, ferri da stiro, a condizione che non contengano dispositivi di trasmissione come WLAN, Bluetooth o telefoni cellulari	No	No	No
Apparecchi di illuminazione, per esempio illuminazione di interni e lampade da scrivania	No	No	No

Apparecchi di illuminazione, attivati a radiofrequenza o a microonde	Sì	Sì	Sì
Luoghi di lavoro accessibili al pubblico conformi ai livelli di riferimento indicati nella raccomandazione (1999/519/CE) del Consiglio	No	No	No
Sicurezza			
Sistemi di sorveglianza e identificazione a radio frequenza (RFID) di oggetti	No	No	Sì
Cancellatori, per nastri o dischi rigidi	No	No	Sì
Metal detector (rivelatore di metalli)	No	No	Sì
Alimentazione elettrica			
Circuito elettrico in cui i conduttori sono vicini l'uno all'altro e con una corrente netta pari o inferiore a 100 A — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	No	No	No
Circuito elettrico in cui i conduttori sono vicini l'uno all'altro e con una corrente netta superiore a 100 A — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	Sì	Sì	Sì
Circuiti elettrici all'interno di un impianto, con corrente di fase nominale pari o inferiore a 100 A per un singolo circuito — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	No	No	No
Circuiti elettrici all'interno di un impianto, con corrente di fase nominale superiore a 100 A per un singolo circuito — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	Sì	Sì	Sì
Impianti elettrici con corrente di fase nominale superiore a 100 A — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	Sì	Sì	Sì
Impianti elettrici con corrente di fase nominale pari o inferiore a 100 A — compresi cavi elettrici, commutatori, trasformatori ecc. — esposizione a campi magnetici	No	No	No
Generatori e generatori di emergenza — lavori con	No	No	Sì
Inverter, compresi quelli su sistemi fotovoltaici	No	No	Sì
Conduttore nudo aereo con tensione nominale inferiore a 100 kV o linea aerea inferiore a 150 kV, sopra il luogo di lavoro — esposizione a campi elettrici	No	No	No
Conduttore nudo aereo con tensione nominale superiore a 100 kV o linea aerea superiore a 150 kV ([1]), sopra il luogo di lavoro — esposizione a campi elettrici	Sì	Sì	Sì
Conduttori nudi aerei con qualsiasi tensione — esposizione a campi magnetici	No	No	No
Circuito a cavo sotterraneo o isolato, con qualsiasi tensione nominale — esposizione a campi elettrici	No	No	No
Turbine eoliche, lavori con	No	Sì	Sì
Industria leggera			
Procedimenti di saldatura ad arco manuali (compresi MIG, MAG, TIG), seguendo le buone prassi e senza avvolgere il filo attorno al corpo	No	No	Sì
Caricabatterie industriali	No	No	Sì

([1]) Per linee aeree superiori a 150 kV l'intensità di campo elettrico sarà solitamente, ma non sempre, inferiore al livello di riferimento specificato nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio.

Caricabatterie professionali di grandi dimensioni	No	No	Sì
Apparecchiature per la verniciatura e il rivestimento	No	No	No
Attrezzature di controllo non contenenti trasmettitori radio	No	No	No
Apparecchiature per il trattamento corona delle superfici	No	No	Sì
Riscaldamento dielettrico	Sì	Sì	Sì
Saldatura dielettrica	Sì	Sì	Sì
Apparecchiature per la verniciatura elettrostatica	No	Sì	Sì
Forni di riscaldamento a resistenza	No	No	Sì
Pistole incollatrici (portatili) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Pistole incollatrici — utilizzo di	No	No	Sì
Pistole ad aria calda (portatili) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Pistole ad aria calda — utilizzo di	No	No	Sì
Rampe idrauliche	No	No	No
Riscaldamento a induzione	Sì	Sì	Sì
Sistemi di riscaldamento a induzione automatizzati, in cui la ricerca di guasti e la riparazione comportano la stretta vicinanza con la sorgente del campo elettromagnetico	No	Sì	Sì
Apparecchi di sigillatura a induzione	No	No	Sì
Saldatura a induzione	Sì	Sì	Sì
Macchine utensili (per esempio trapani a colonna, smerigliatrici, torni, fresatrici, seghe)	No	No	Sì
Ispezione con particelle magnetiche (rilevazione di incrinature)	Sì	Sì	Sì
Magnetizzatori/smagnetizzatori, industriali (compresi i cancellatori per nastri)	Sì	Sì	Sì
Apparecchiature e strumenti di misura non contenenti trasmettitori radio	No	No	No
Riscaldamento ed essiccazione a microonde, nelle industrie del legno (essiccazione, piegatura e incollaggio del legno)	Sì	Sì	Sì
Dispositivi al plasma a radiofrequenza (RF), compresi quelli per deposizione e polverizzazione catodica (*sputtering*) in vuoto	Sì	Sì	Sì
Utensili (elettrici portatili e trasportabili per esempio trapani, levigatrici, seghe circolari e smerigliatrici angolari) — utilizzo di	No	No	Sì
Utensili (elettrici portatili e trasportabili) — luoghi di lavoro contenenti	No	No	No
Sistemi di saldatura automatizzati, in cui la ricerca di guasti, la riparazione e la formazione comportano una stretta vicinanza con la sorgente del campo elettromagnetico	No	Sì	Sì
Saldatura a resistenza manuale (saldatura a punti, saldatura continua)	Sì	Sì	Sì
Industria pesante			
Elettrolisi industriale	Sì	Sì	Sì
Forni fusori ad arco	Sì	Sì	Sì
Forni fusori a induzione (i forni di piccole dimensioni hanno in genere campi accessibili di frequenza più alta dei forni di grandi dimensioni)	Sì	Sì	Sì
Edilizia			
Macchinari per cantieri (per esempio betoniere, vibratori, gru ecc.) — lavoro in stretta prossimità	No	No	Sì
Asciugatura a microonde nell'industria edilizia	Sì	Sì	Sì

Settore medico			
Apparecchiature mediche senza impiego di campi elettromagnetici per diagnosi o terapie	No	No	No
Apparecchiature mediche con impiego di campi elettromagnetici per diagnosi e terapie (per esempio diatermia a onde corte, stimolazione magnetica transcranica)	Sì	Sì	Sì
Trasporti			
Veicoli e impianti a motore — lavoro in stretta prossimità di motorini di avviamento, alternatori e sistemi di accensione	No	No	Sì
Radar di controllo del traffico aereo, militari, meteorologici e a lungo raggio	Sì	Sì	Sì
Treni e tram a trazione elettrica	Sì	Sì	Sì
Varie			
Caricabatterie, ad accoppiamento induttivo o di prossimità	No	No	Sì
Caricabatterie, ad accoppiamento non induttivo per uso domestico	No	No	No
Sistemi e dispositivi di radiodiffusione (radio e TV: LF, MF, HF, VHF e UHF)	Sì	Sì	Sì
Apparecchiature che generano campi magnetici statici superiori a 0,5 millitesla, generati elettricamente o da magneti permanenti (per esempio piani, tabelle e trasportatori magnetici, magneti di sollevamento, supporti magnetici, targhette, distintivi)	No	No	Sì
Apparecchiature immesse sul mercato europeo conformemente alla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio o alle norme armonizzate sui campi elettromagnetici	No	No	No
Cuffie che producono forti campi magnetici	No	No	Sì
Apparecchiature di cucina a induzione, professionali	No	No	Sì
Apparecchi non elettrici di tutti i tipi eccetto quelli contenenti magneti permanenti	No	No	No
Apparecchiature portatili (a batteria) non contenenti trasmettitori a radiofrequenza	No	No	No
Radio bidirezionali (per esempio ricetrasmettitori, radio per veicoli)	No	No	Sì
Trasmettitori a batteria	No	No	Sì

NB: * Valutazione richiesta rispetto ai livelli di azione o ai valori limite di esposizione applicabili (cfr. il capitolo 6).
† Da valutare rispetto ai livelli di riferimento della raccomandazione del Consiglio (cfr. la sezione 5.4.1.3 e l'appendice E).
§ L'esposizione personale localizzata può superare i livelli di riferimento indicati nella raccomandazione del Consiglio. Questo aspetto va considerato nella valutazione del rischio, che dovrà basarsi sulle informazioni fornite dagli operatori sanitari responsabili dell'impianto del dispositivo e/o della successiva assistenza (cfr. la sezione 5.4.1.3 e l'appendice E).

3.2.1 Attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro che potrebbero richiedere una valutazione specifica

Gli ambienti di lavoro contenenti o vicini ad apparecchiature che funzionano con correnti o tensioni elevate possono presentare aree con forti campi elettromagnetici. Ciò succede anche nel caso di apparecchiature progettate per trasmettere intenzionalmente radiazioni elettromagnetiche ad alta potenza. Questi forti campi elettromagnetici possono superare i livelli di azione o i valori limite di esposizione stabiliti dalla direttiva EMF o possono comportare rischi inaccettabili a causa degli effetti indiretti.

Nella colonna 1 della tabella 3.2 sono indicate situazioni che possono dar luogo a forti campi che richiedono in genere una valutazione specifica dei campi elettromagnetici. Questa

tabella compilata sulla base dei dati di misurazione disponibili per situazioni di questo tipo mostra che i campi possono essere così forti da avvicinarsi e, in alcuni casi, superare i livelli di azione pertinenti. Un «sì» nella colonna 1 non significa quindi che il campo accessibile è decisamente superiore a un valore limite di esposizione, bensì che non è possibile essere certi che il valore limite di esposizione sia sempre rispettato, tenendo presente il margine di variazione che può verificarsi sul luogo di lavoro. Si consiglia quindi di effettuare una valutazione specifica per ciascun luogo di lavoro.

Va notato che la tabella 3.2 fornisce esempi di situazioni che si verificano comunemente nei luoghi di lavoro. Non si tratta di un elenco completo ed è possibile che non comprenda alcune apparecchiature specialistiche o procedure non comuni. Tuttavia l'elenco può aiutare i datori di lavoro a individuare tipi di situazioni che potrebbero richiedere una valutazione più dettagliata.

3.3 Attività lavorative, apparecchiature e luoghi di lavoro non elencati nel presente capitolo

Se i datori di lavoro individuano nei propri luoghi di lavoro situazioni che non sembrano rientrare fra le voci della tabella 3.2, dovranno innanzitutto raccogliere il maggior numero di informazioni possibile dai manuali e dagli altri documenti in loro possesso. Poi dovranno verificare se sono disponibili informazioni fornite da fonti esterne come i fabbricanti di apparecchiature e le associazioni di categoria (cfr. il capitolo 7 della presente guida).

Se non è possibile ottenere informazioni sui campi elettromagnetici da altre fonti, può essere necessario effettuare una valutazione mediante misurazioni o calcoli (cfr. il capitolo 8).

Sezione 2

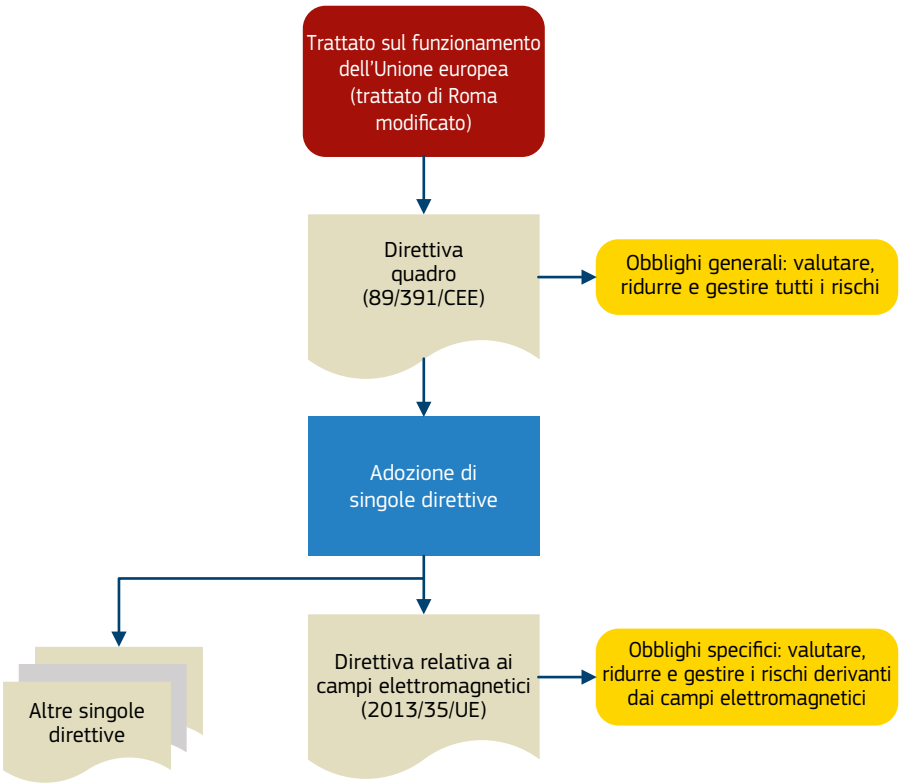
DECIDERE SU EVENTUALI ULTERIORI AZIONI

4. STRUTTURA DELLA DIRETTIVA RELATIVA AI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Il testo integrale della direttiva relativa ai campi elettromagnetici (direttiva 2013/35/UE) è incluso nell'appendice L della presente guida. Il presente capitolo spiega in che modo e per quale motivo la direttiva è stata adottata e fornisce una sintesi delle principali prescrizioni.

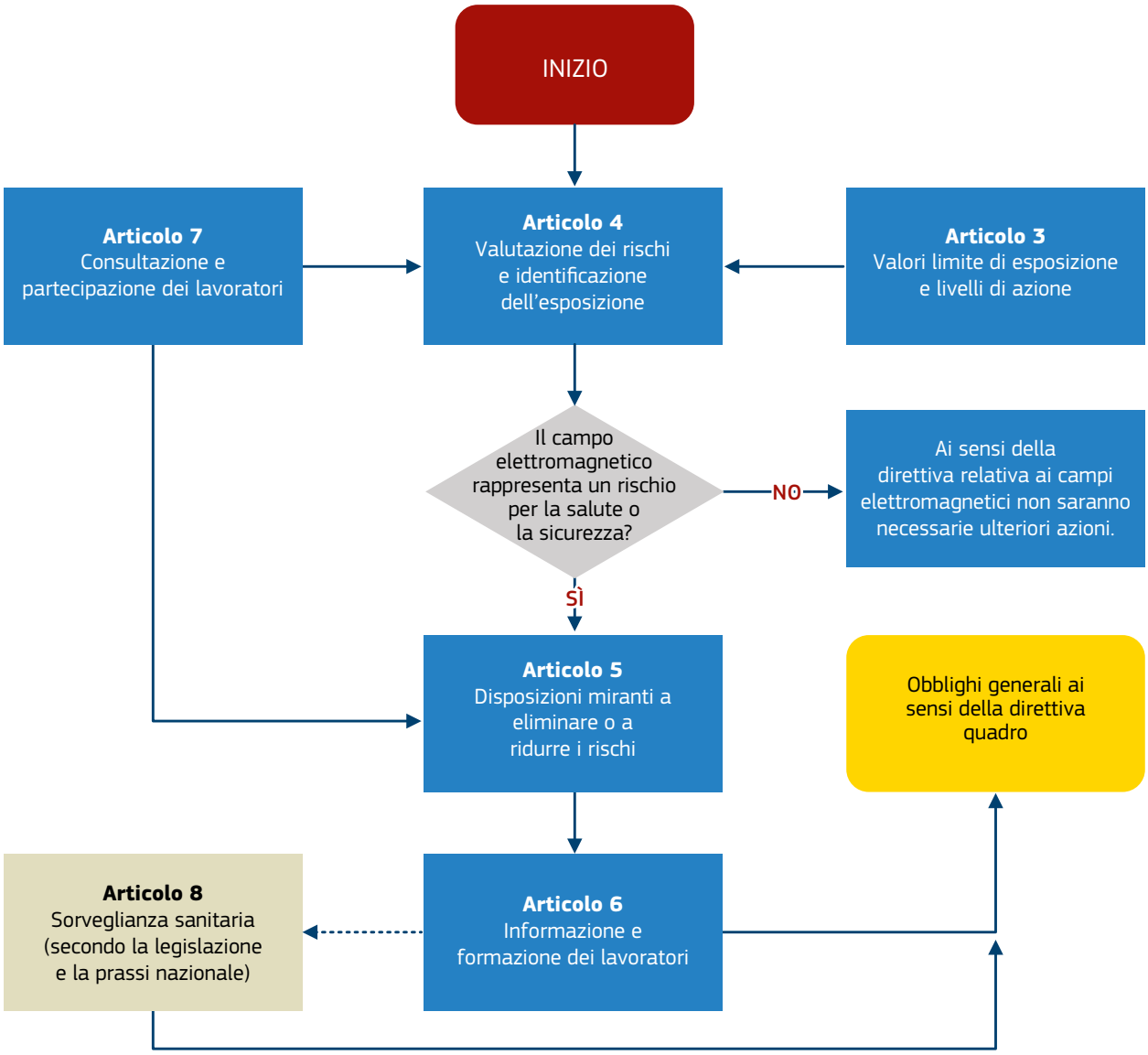
Il trattato di Roma (noto come il trattato sul funzionamento dell'Unione europea) stabilisce l'obiettivo di promuovere il miglioramento dell'ambiente di lavoro, per proteggere la sicurezza e la salute dei lavoratori. Per favorire il raggiungimento di questo obiettivo, esso prevede l'introduzione di direttive che fissino prescrizioni minime. Nel 1989 è stata introdotta in questo settore, come direttiva generale, la direttiva quadro (89/391/CEE). La direttiva quadro sancisce le prescrizioni generali per la valutazione e la riduzione dei rischi, la gestione delle emergenze, l'informazione, la partecipazione e la formazione dei lavoratori, gli obblighi dei lavoratori e la sorveglianza sanitaria. Prevede l'introduzione di singole direttive, che forniscono ulteriori dettagli sulle modalità per raggiungere gli obiettivi della direttiva quadro in situazioni specifiche. La direttiva relativa ai campi elettromagnetici è la ventesima direttiva di questo tipo. La figura 4.1 illustra il modo in cui essa si inserisce nel più ampio panorama legislativo.

Figura 4.1 — Rappresentazione schematica del quadro legislativo della direttiva relativa ai campi elettromagnetici



La figura 4.2 offre una panoramica dei principali articoli della direttiva relativa ai campi elettromagnetici pertinenti per i datori di lavoro e illustra il modo in cui interagiscono tra loro.

Figura 4.2 — Rappresentazione schematica dell'interazione tra gli articoli della direttiva relativa ai campi elettromagnetici



Come già indicato, la direttiva relativa ai campi elettromagnetici ha lo scopo di aiutare i datori di lavoro ad adempiere i propri obblighi, nel rispetto della direttiva quadro, per situazioni di lavoro specifiche che comportano l'esposizione a campi elettromagnetici. Di conseguenza molte delle prescrizioni della direttiva relativa ai campi elettromagnetici riflettono quelle della direttiva quadro (di portata più generale), e pertanto le due direttive dovrebbero essere utilizzate insieme. La direttiva relativa ai campi elettromagnetici è incentrata soprattutto sulla valutazione dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici nel luogo di lavoro e, se necessario, sull'attuazione di misure atte a ridurli. Tuttavia, uno dei risultati del collegamento tra le due direttive è che gran parte dei datori di lavoro che adempiono già i propri obblighi nell'ambito della direttiva quadro si renderanno conto probabilmente di non avere molto altro da fare per conformarsi alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

La direttiva EMF mira a introdurre prescrizioni minime di sicurezza e di salute in relazione al lavoro in presenza di campi elettromagnetici. Conformemente al trattato sul funzionamento dell'Unione europea, i singoli Stati membri possono scegliere di mantenere la legislazione vigente oppure introdurre una nuova legislazione con prescrizioni più rigorose di quelle della direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

4.1 Articolo 3 — Valori limite di esposizione e livelli di azione

L'articolo 3 limita le esposizioni massime fissando valori limite di esposizione (VLE) per gli effetti sensoriali e gli effetti sanitari; tali effetti sono definiti negli allegati II (effetti non termici) e III (effetti termici) della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. I VLE relativi agli effetti sanitari devono essere sempre rispettati. Il superamento temporaneo dei VLE relativi agli effetti sensoriali è invece accettabile purché siano state fornite ai lavoratori le informazioni opportune e siano state adottate altre misure in conformità dell'articolo 3.

Nota bene: Definizioni

Le definizioni di molti termini utilizzati nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici sono riportati nell'articolo 2. Tuttavia, alcuni termini come «temporaneamente» e «giustificato» non sono definiti e possono essere utilizzati con significati diversi a seconda del contesto. Ove i termini non siano esplicitamente definiti nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici, gli Stati membri li definiranno nel corso del processo di attuazione, tramite strumenti legislativi o di altro tipo.

Nella maggior parte dei casi i VLE vengono definiti in termini di grandezze riscontrabili all'interno del corpo che non possono essere misurate direttamente né semplicemente calcolate. Per questo motivo l'articolo 3 introduce livelli di azione (LA) fissati in termini di grandezze di campo esterne, più facilmente rilevabili tramite misurazioni o calcoli. I LA sono definiti negli allegati II e III della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. Se i LA non sono superati, si può ipotizzare che le esposizioni siano conformi ai VLE e che non sono necessarie ulteriori valutazioni. In talune circostanze il superamento di alcuni LA può essere accettabile; le norme in materia sono esposte nell'articolo 3.

La complessa applicazione pratica dei LA e dei VLE è descritta più approfonditamente nel capitolo 6 della presente guida.

4.2 Articolo 4 — Valutazione dei rischi e identificazione dell'esposizione

Il primo passo per creare un luogo di lavoro più sicuro è la valutazione dei rischi esistenti. Il capitolo 5 della guida fornisce ulteriori informazioni sulla valutazione dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e affronta le questioni da considerare per rispettare l'articolo 4. È importante osservare che non basta dimostrare l'osservanza dei LA o dei VLE, poiché ciò potrebbe non essere sufficiente a proteggere adeguatamente i lavoratori particolarmente a rischio o a eliminare i rischi riguardanti la loro sicurezza derivanti dagli effetti indiretti.

Per valutare i rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro è necessario comprendere la natura dei campi presenti. L'articolo 4 prevede pertanto che i datori di lavoro identifichino e valutino i campi elettromagnetici sul luogo di lavoro. Tuttavia consente ai datori di lavoro di tener conto delle informazioni fornite da altri e impone loro di valutare essi stessi i campi elettromagnetici qualora non sia possibile dimostrare la conformità con altri mezzi.

L'accettabilità dei dati forniti dai fabbricanti o pubblicati nelle banche dati di valutazioni generiche è importante poiché per gran parte dei datori di lavoro questo sarà certamente il modo più semplice di valutare i campi elettromagnetici sul luogo di lavoro. L'utilizzo di informazioni fornite da terzi viene discusso ulteriormente nel capitolo 7 della presente guida e illustrato in alcuni studi di casi nel volume 2.

Anche quando i datori di lavoro devono valutare essi stessi i campi elettromagnetici, l'articolo 4 consente loro di decidere se farlo sulla base di misurazioni o di calcoli. Questa flessibilità consente ai datori di lavoro di scegliere l'approccio più semplice per la loro situazione specifica. Ci sono diversi fattori che influiscono sull'approccio da adottare, e di

questi si discuterà ulteriormente nel capitolo 8 della guida, mentre l'appendice D fornisce orientamenti supplementari.

4.3 Articolo 5 — Disposizioni miranti a eliminare o a ridurre i rischi

Se i LA non sono superati e si possono essere esclusi altri effetti, i datori di lavoro non dovranno adottare altre misure se non quelle volte a garantire che continuino ad adempiere i propri obblighi ai sensi della direttiva quadro. Tra queste rientra il riesame della valutazione dei rischi per garantirne la costante validità.

Quando dei LA vengono superati, il datore di lavoro può provare a dimostrare, se possibile, l'osservanza dei VLE e l'assenza di altri rischi per la sicurezza derivanti dai campi elettromagnetici. In molti casi tuttavia potrebbe essere più semplice ed economico attuare misure volte a scongiurare i rischi, piuttosto che dimostrare la conformità con i VLE. Come per altri aspetti della direttiva EMF, gli approcci generali per l'eliminazione o la riduzione dei rischi dovrebbero seguire quelli della direttiva quadro. La maggior parte dei datori di lavoro dispongono di diverse opzioni praticabili e la più idonea dipende dalla loro situazione specifica. Gli approcci più comuni sono trattati nel capitolo 9 della guida che comprende alcune misure che riguardano specificamente i rischi derivanti dai campi elettromagnetici.

Come si è detto nella precedente sezione 4.1, l'articolo 3 consente il superamento temporaneo di LA inferiori o i VLE relativi agli effetti sensoriali ad alcune condizioni. L'articolo 5 specifica le precauzioni da adottare in queste situazioni.

Anche qualora i LA non vengano superati, il datore di lavoro dovrà tener conto del fatto che questo non è sufficiente a garantire una protezione adeguata dei lavoratori particolarmente a rischio né a eliminare i rischi derivanti dagli effetti indiretti. Anche in questo caso è disponibile un ventaglio di opzioni per gestire tali rischi, opzioni che vengono trattate più approfonditamente nel capitolo 9.

4.4 Articolo 6 — Informazione e formazione dei lavoratori

Come per altri aspetti della direttiva EMF, le prescrizioni dell'articolo 6 sono ampiamente simili agli articoli corrispondenti della direttiva quadro. Laddove sono stati individuati dei rischi, sarebbe opportuno fornire informazioni e formazione adeguate. È evidente tuttavia che molti lavoratori potrebbero essere poco informati sulla natura dei pericoli associati ai campi elettromagnetici, sui possibili sintomi o i concetti quali i VLE e i LA, che dovrebbero quindi essere trattati specificamente in tutte le azioni di formazione. I dipendenti dovranno inoltre ricevere informazioni specifiche sui risultati delle valutazioni per il loro luogo di lavoro.

Altrettanto importante è guardare ai rischi in prospettiva. I lavoratori devono essere consapevoli che molte delle sorgenti dei campi elettromagnetici nel luogo di lavoro non presentano un rischio per la salute o la sicurezza. In effetti, molte apparecchiature come i telefoni cellulari o gli apparecchi di sollevamento possono contribuire al loro benessere o comunque facilitano il loro lavoro. Il capitolo 9 della guida approfondisce l'aspetto della dell'informazione e della formazione dei lavoratori.

4.5 Articolo 7 — Consultazione e partecipazione dei lavoratori

L'articolo 7 della direttiva relativa ai campi elettromagnetici fa un esplicito riferimento all'articolo 11 della direttiva quadro.

4.6 Articolo 8 — Sorveglianza sanitaria

L'articolo 8 della direttiva relativa ai campi elettromagnetici si basa sulle prescrizioni dell'articolo 14 della direttiva quadro. Agli Stati membri è consentito specificamente adattare tali prescrizioni ai sistemi già vigenti e pertanto l'attuazione pratica di questo articolo varierà probabilmente da paese a paese. Alcuni orientamenti in materia di sorveglianza sanitaria vengono forniti nel capitolo 11 della presente guida.

4.7 Articolo 10 — Deroghe

L'articolo 10 concede una deroga non discrezionale e due deroghe discrezionali. Per deroga si intende l'applicazione più flessibile di una prescrizione legislativa. In questo caso significa che in circostanze specifiche i datori di lavoro non sono tenuti a rispettare alcune prescrizioni della direttiva relativa ai campi elettromagnetici, a condizione che i lavoratori siano comunque adeguatamente protetti.

La deroga non discrezionale riguarda l'installazione, il controllo, l'uso, lo sviluppo e la manutenzione degli apparecchi per la risonanza magnetica (RMI) nel settore sanitario o la ricerca in questo campo. La deroga consente che l'esposizione superi i VLE purché siano soddisfatte alcune condizioni, che vengono illustrate dettagliatamente nell'appendice F della presente guida, insieme agli orientamenti forniti ai datori di lavoro sulle modalità per dimostrare la conformità.

Conformemente alla prima deroga discrezionale, gli Stati membri possono autorizzare l'attuazione di un sistema di protezione alternativo per il personale che lavora presso installazioni militari o che partecipa ad attività militari, come esercitazioni militari internazionali congiunte, purché si evitino gli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza.

Nel quadro della seconda deroga discrezionale, una deroga di natura generale, gli Stati membri possono autorizzare il superamento temporaneo dei VLE in settori specifici o per attività specifiche, nel rispetto di determinate condizioni.

Queste deroghe vengono trattate ulteriormente nella sezione 6.4 della presente guida.

4.8 Sintesi

La direttiva EMF mira ad aiutare i datori di lavoro ad adempiere i propri obblighi, nel rispetto della direttiva quadro, in relazione ai rischi specifici associati ai campi elettromagnetici. Gran parte dei datori di lavoro adempie già i propri obblighi nell'ambito della direttiva quadro, e pertanto ha già assolto le proprie responsabilità ai sensi della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. Tuttavia, per alcuni luoghi di lavoro in cui si generano campi elettromagnetici di più forte entità, i datori di lavoro potrebbero dover effettuare valutazioni più approfondite e adottare ulteriori precauzioni tese a eliminare o ridurre i rischi. I datori di lavoro inoltre dovranno fornire informazioni e formazione al proprio personale, coinvolgere il personale nella gestione dei rischi e seguire le prassi nazionali in relazione alla sorveglianza sanitaria.

La risonanza magnetica nel settore sanitario è soggetta a una deroga non discrezionale. Ulteriori deroghe consentono agli Stati membri di adottare un sistema di protezione alternativo per le attività militari e il superamento temporaneo dei VLE in altri settori a determinate condizioni.

5. VALUTAZIONE DEI RISCHI NELL'AMBITO DELLA DIRETTIVA RELATIVA AI CAMPI ELETTROMAGNETICI

La valutazione dei rischi è una prescrizione fondamentale della direttiva quadro che si riflette nell'articolo 4 della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. Quest'articolo introduce alcune questioni specifiche da considerare al momento di valutare i rischi derivanti dai campi elettromagnetici. Il presente capitolo fornisce orientamenti sul modo di affrontare la valutazione dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici. Ciascun datore di lavoro può adattare questi consigli per integrarli nei propri sistemi di valutazione dei rischi.

In generale non ci sono regole fisse sul modo di effettuare una valutazione dei rischi, benché valga sempre la pena consultare le autorità nazionali qualora esistano specifiche prescrizioni nazionali. Solitamente gli approcci articolati alla valutazione dei rischi sono i più efficaci giacché consentono di individuare in modo sistematico i pericoli e i lavoratori a rischio; in questo modo si è certi di non tralasciare involontariamente nessuno dei potenziali rischi. La complessità della valutazione dipenderà dalla natura delle mansioni da valutare, ma l'esperienza dimostra che nella maggior parte delle situazioni conviene optare per la maggiore semplicità possibile.

Non vi sono regole fisse concernenti la valutazione dei rischi, e anche la terminologia utilizzata può variare. Questo capitolo utilizza i termini e le definizioni raccomandate dalla Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro (tabella 5.1).

Tabella 5.1 — Termini e definizioni utilizzati nella guida in relazione alla valutazione dei rischi

Pericolo	Proprietà o capacità intrinseca per cui una cosa può provocare un danno
Rischio	Probabilità che il danno potenziale si verifichi nelle condizioni di utilizzazione e/o di esposizione, nonché entità eventuale del danno stesso
Valutazione dei rischi	Procedimento di valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, nell'espletamento delle loro mansioni, derivante dal verificarsi di un pericolo sul luogo di lavoro

Una valutazione completa dei rischi dovrà prendere in considerazione tutti i pericoli associati all'attività lavorativa. Ai fini della presente guida, tuttavia, verranno discussi soltanto i pericoli connessi ai campi elettromagnetici. Gli studi di casi presentati nel volume 2 della guida forniscono alcuni esempi di valutazione specifica dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici. Per alcune applicazioni il fabbricante del prodotto fornirà informazioni sufficienti per concludere che il rischio è adeguatamente gestito. Il processo di valutazione dei rischi non è dunque necessariamente oneroso. La valutazione deve essere conservata conformemente alla legislazione e alle pratiche nazionali.

La valutazione dei rischi rientra fra le responsabilità dei dirigenti ma deve essere intrapresa in consultazione con i lavoratori, che devono essere informati dell'esito della valutazione.

5.1 Piattaforma per la valutazione dei rischi interattiva online (OiRA)

Nell'ambito di un'iniziativa volta ad assistere le microimprese e le piccole imprese, l'Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro ha messo a punto la piattaforma per la valutazione dei rischi interattiva online (OiRA). Tale strumento è ospitato su un sito dedicato (www.oiraproject.EU) che dà accesso agli strumenti OiRA, forniti gratuitamente e il cui scopo è aiutare i datori di lavoro a effettuare un processo di valutazione dei rischi articolato in più fasi. Poiché gli strumenti sono specifici per i singoli settori, aiutano i datori di lavoro a individuare i pericoli più comuni dei rispettivi settori.

Come risulta dalla tabella 5.2 qui in appresso, il processo OiRA consta di quattro fasi principali.

Tabella 5.2 — Fasi del processo OiRA

Preparazione	Offre una panoramica della valutazione che si sta per avviare, e consente di adattare la valutazione alla natura specifica della propria attività.
Identificazione	OiRA presenta una serie di potenziali problemi o pericoli per la salute e la sicurezza che potrebbero interessare il luogo di lavoro. Rispondendo alle affermazioni/domande con sì o no, indicherete l'eventuale presenza di tali pericoli o problemi. Potrete anche decidere di non rispondere a una domanda e di rispondere in una fase successiva.
Valutazione	Qui sarete in grado di determinare il livello di rischio connesso a ciascuna delle voci individuate come «da trattare» nella fase di «identificazione».
Piano d'azione	Nella quarta fase della valutazione potrete decidere quali misure adottare per far fronte ai rischi precedentemente identificati e quali risorse potrebbero essere necessarie. Su questa base, nella fase successiva viene elaborata automaticamente una relazione.

Gli orientamenti descritti di seguito sono coerenti con il processo OiRA e dovrebbero essere utili a coloro che impiegano gli strumenti OiRA. È noto tuttavia che non tutti i datori di lavoro sono disposti a utilizzare gli strumenti OiRA. Alcuni potrebbero disporre già di sistemi di valutazione dei rischi, mentre altri potrebbero aver adottato sistemi di gestione della salute e sicurezza come l'OHSAS 18001. I consigli forniti in questo capitolo pertanto sono da intendersi pertinenti per tutte queste situazioni.

5.2 Fase 1 — Preparazione

In qualsiasi valutazione dei rischi la prima fase consiste nella raccolta di informazioni sulle attività lavorative, tra cui:

- descrizioni delle mansioni;
- le persone che svolgono il lavoro;
- in che modo viene svolto il lavoro;
- quale apparecchiatura viene utilizzata per svolgere le mansioni in questione.

In questa fase sono particolarmente importanti la consultazioni dei lavoratori e l'osservazione delle attività lavorative. Lo svolgimento pratico di un'attività lavorativa può essere diverso dallo svolgimento teorico.

È anche importante garantire che la valutazione riguardi sia le operazioni di routine che quelle straordinarie o intermittenti. Tra queste ricordiamo:

- pulizia;
- manutenzione;
- revisione;
- riparazione;
- nuovi impianti;
- messa in servizio;
- disattivazione.

5.3 Fase 2 — Identificazione dei pericoli e dei soggetti a rischio

5.3.1 Identificazione dei pericoli

La prima fase per l'identificazione dei pericoli derivanti dai campi elettromagnetici consiste nell'individuare le attività e le apparecchiature che generano campi elettromagnetici nel luogo di lavoro. Sarà utile confrontare questo elenco con la tabella 3.2 del capitolo 3; in molti casi infatti la natura di un'attività o la progettazione dell'apparecchiatura saranno tali da produrre soltanto campi deboli, che non risulteranno pericolosi, neppure se nelle immediate vicinanze si svolgono diverse attività o si trovano varie apparecchiature.

La direttiva EMF riconosce che alcuni luoghi di lavoro aperti al pubblico possono già essere stati valutati in relazione alla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz. A condizione che tali luoghi di lavoro rispettino la raccomandazione del Consiglio e sia possibile escludere rischi per la salute e per la sicurezza, non sono necessarie ulteriori valutazioni dell'esposizione. Si ritiene che tali condizioni siano soddisfatte se:

- le apparecchiature destinate al pubblico sono utilizzate conformemente alla loro destinazione;
- le apparecchiature sono conformi alle direttive sui prodotti che stabiliscono livelli di sicurezza più rigorosi di quelli previsti dalla direttiva EMF;
- non è utilizzata nessun'altra apparecchiatura.

La tabella 3.2 del capitolo 3 sarà utile anche per identificare le attività e le apparecchiature che probabilmente richiederanno una valutazione dettagliata.

Alcune sorgenti generano campi elettromagnetici di più forte entità che però non sono accessibili, in condizioni di normale utilizzo, a causa dell'alloggiamento delle apparecchiature o del riparo delle aree di lavoro. In queste situazioni sarà importante determinare se i lavoratori possono avere accesso a campi di forte entità durante la manutenzione, la revisione o la riparazione.

I fabbricanti e gli installatori delle apparecchiature dovranno considerare che le prove effettuate su apparecchiature montate parzialmente potrebbero esporre i lavoratori a campi elettromagnetici di forte entità che normalmente non sarebbero accessibili.

5.3.2 Identificazione delle misure di prevenzione e precauzionali esistenti

Nella maggior parte dei luoghi di lavoro sono già predisposte una serie di misure di prevenzione e precauzione volte a eliminare o ridurre i rischi sul luogo di lavoro. Tali misure potrebbero essere state attuate specificamente in relazione ai campi elettromagnetici. In altri casi potrebbero essere state adottate in relazione ad altri pericoli, ma contribuiranno anche a limitare l'accesso ai campi elettromagnetici.

Pertanto è importante identificare le misure di prevenzione e precauzione esistenti che possono contribuire al processo di valutazione dei rischi.

5.3.3 Identificazione dei soggetti a rischio

È necessario identificare i soggetti che potrebbero subire danni a causa dei pericoli in questione. Nel far questo è importante considerare tutti i lavoratori presenti sul luogo di lavoro. Dovrebbe essere facile identificare coloro che svolgono attività lavorative o utilizzano apparecchiature che generano forti campi elettromagnetici. È importante tuttavia prendere in considerazione anche coloro che svolgono altre mansioni o lavorano con altre apparecchiature, ma che potrebbero comunque essere esposti a campi elettromagnetici. Per esempio la valutazione dei campi generati dalla postazione della saldatrice da banco a punti nello studio del caso dell'officina (volume 2 della presente guida) dimostra che il campo è più forte nella postazione dell'operatore ma a fianco dell'apparecchiatura. Se la saldatrice si trova vicino a un passaggio, gli altri lavoratori di passaggio nell'area potrebbero essere esposti a campi elettromagnetici di entità superiore a quella dell'operatore.

È altresì importante considerare i rischi cui sono esposti coloro che, pur non essendo dipendenti, sono presenti sul luogo di lavoro, per esempio i visitatori, i tecnici addetti all'assistenza, altri subcontraenti e fornitori.

5.3.4 Lavoratori particolarmente a rischio

È obbligatorio tener conto dei lavoratori particolarmente a rischio e la direttiva EMF identifica specificamente quattro gruppi di lavoratori che rientrano in questa categoria (cfr. la tabella 3.1 per ulteriori dettagli):

- lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi;
- lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili passivi;
- lavoratori con dispositivi medici portati sul corpo;
- lavoratrici in gravidanza.

I lavoratori che rientrano in uno di questi gruppi potrebbero essere esposti a maggiori rischi derivanti dai campi elettromagnetici rispetto alla popolazione attiva e dovrebbero essere oggetto di una specifica valutazione dei rischi (cfr. la seguente sezione 5.4.1.3) che potrebbe indicare che il rischio rimane tollerabile, ma in altri casi potrebbe essere necessario adattare le loro condizioni di lavoro per ridurre il rischio.

5.4 Fase 3 — Valutazione dei rischi e definizione delle priorità

5.4.1 Valutazione dei rischi

La valutazione dei rischi può comportare diversi gradi di complessità: da un semplice giudizio in base al quale il rischio viene definito basso, medio o alto a una raffinata analisi quantitativa. Di norma una semplice valutazione sarà opportuna laddove i campi sono tutti a un livello basso, per esempio se per *tutte* le attività e le apparecchiature tutte le colonne della tabella 3.2 riportano un «No». Tuttavia, laddove i campi saranno prevedibilmente più forti, la valutazione sarà probabilmente più complessa e potrebbe includere una valutazione quantitativa per stabilire l'entità degli eventuali pericoli.

La valutazione dei rischi dovrà tener conto sia della gravità di un evento pericoloso che della probabilità che tale evento si verifichi.

L'indice di gravità assegnato deve riflettere l'esito previsto dell'evento pericoloso. Nel luogo di lavoro, le interazioni dei campi elettromagnetici possono dar luogo a una serie di esiti di diversa gravità. Qui di seguito sono riportati alcuni esempi di risultati e livelli di gravità possibili. In pratica la determinazione della gravità spetterà all'esperto incaricato della valutazione, anche in funzione dell'intensità del campo accessibile e di altre circostanze locali.

Tabella 5.3 — Esempi degli esiti e dei livelli di gravità possibili derivanti dalle interazioni dei campi elettromagnetici sul luogo di lavoro

Esito	Gravità
Sensazioni di vertigini e nausea Percezione di lampi di luce (fosfeni) Formicolio o dolore (stimolazione nervosa) Lieve aumento della temperatura dei tessuti Disturbi uditivi da microonde	Lieve
Propulsione di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici Interferenza con dispositivi medici impiantabili Aumenti considerevoli della temperatura dei tessuti	Seria
Accensione di atmosfere infiammabili Innesco di detonatori	Fatale

La valutazione della probabilità dovrà tener conto di una serie di fattori come l'accesso al campo e la natura delle mansioni svolte. Spesso l'accesso a forti campi elettromagnetici è limitato per altri motivi, come pericoli di natura meccanica o elettrica. In tali circostanze non sarà necessario applicare ulteriori restrizioni. Analogamente, la valutazione della probabilità dovrebbe tener conto del processo di lavoro. Un forno a induzione può, ad esempio, funzionare a pieno regime durante la fase di riscaldamento iniziale, ma solitamente in questa parte del ciclo i lavoratori non si trovano in stretta prossimità del forno. Successivamente, dopo la fusione della carica, il forno può funzionare a regime ridotto, e pertanto l'entità del campo sarà assai inferiore.

La valutazione dei rischi dovrà tener conto di eventuali misure di prevenzione e precauzionali già in vigore (cfr. la sezione 5.3.2).

I campi elettromagnetici potrebbero comportare rischi — derivanti da interazioni dirette e indirette — che sarà opportuno valutare separatamente. Inoltre alcuni lavoratori potrebbero essere particolarmente a rischio (cfr. la precedente sezione 5.3.4), e questi rischi dovranno essere appositamente valutati.

Nota bene: valutazione dei rischi

La valutazione dei rischi non è necessariamente complessa e i datori di lavoro possono avvalersi della tabella 3.2 per decidere in merito al grado di dettaglio necessario. La valutazione dovrà tener conto sia della gravità dell'evento pericoloso che della probabilità che tale evento si verifichi.

5.4.1.1 Effetti diretti

La valutazione dei rischi derivanti dalle interazioni dirette dei campi elettromagnetici con i lavoratori dovrà tener conto delle caratteristiche dei campi magnetici accessibili. I fattori principali che influiscono sull'entità di un pericolo sono la frequenza o le frequenze e l'intensità del campo. Tuttavia, possono rivelarsi importanti anche altri fattori come la forma d'onda, l'uniformità spaziale e le variazioni nel tempo dell'intensità del campo.

In tale aspetto della valutazione è essenziale stabilire se i lavoratori potrebbero subire esposizioni superiori ai VLE (cfr. il capitolo 6). Qualora i valori limite di esposizione non possano essere superati, non vi sarà pericolo di effetti diretti.

In generale, per campi variabili nel tempo con frequenze comprese tra 1 Hz e 6 GHz, non è facile misurare o calcolare i VLE; quasi sempre per i datori di lavoro sarà più opportuno valutare se i campi accessibili superano i livelli di azione (LA) previsti per gli effetti diretti. Se i livelli di azione non sono superati, è impossibile che siano superati i VLE.

La direttiva EMF non impone ai datori di lavoro di effettuare calcoli o misurazioni per verificare che i livelli di azione non siano superati, a meno che risulti impossibile ottenere tale informazione in altra maniera. Molti datori di lavoro riscontreranno che per tutte le loro attività e apparecchiature, tutte e tre le colonne della tabella 3.2 riportano un «No». In tal caso i livelli di azione non saranno superati, neanche nel caso di attività o apparecchiature multiple nelle immediate vicinanze. Anche qualora le attività o le apparecchiature non siano elencate nella tabella 3.2, le informazioni a conferma del fatto che i livelli di azione non sono stati superati possono essere reperibili altrove (cfr. il capitolo 7).

Qualora i datori di lavoro non siano in grado di dimostrare la conformità ai LA o ai VLE sulla base di informazioni facilmente reperibili, possono effettuare una valutazione più dettagliata (cfr. il capitolo 8) oppure prendere in considerazione la possibilità di adottare misure che limitino l'accesso ai campi in questione (cfr. il capitolo 9).

5.4.1.2 Effetti indiretti

I campi elettromagnetici possono comportare rischi per la sicurezza e la salute, derivanti dall'interazione con oggetti presenti nel campo. La direttiva EMF impone di valutare anche questi rischi separatamente dai rischi derivanti dagli effetti diretti.

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici individua una serie di effetti indiretti che può essere necessario valutare:

- interferenza con apparecchiature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo);
- rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici;
- innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori);
- incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;
- correnti di contatto.

Molti di questi effetti indiretti si produrranno in situazioni specifiche; di conseguenza, quasi sempre, i datori di lavoro dovranno in primo luogo considerare la probabilità che tali rischi si verifichino sul loro luogo di lavoro.

La direttiva EMF definisce i LA per aiutare i datori di lavoro a valutare i rischi per due di questi effetti indiretti: il rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici e le correnti di contatto. Se i LA non vengono superati il rischio è basso e non sono necessarie misure di prevenzione e precauzionali aggiuntive.

Per i rimanenti effetti indiretti non ci sono LA, ma le norme europee forniscono ulteriori orientamenti per la valutazione dei rischi. Questo aspetto viene trattato in maniera più approfondita nell'appendice E della presente guida.

5.4.1.3 Lavoratori particolarmente a rischio

Per i lavoratori particolarmente a rischio (cfr. la tabella 3.1) la valutazione è di solito più complessa. È possibile che i LA per gli effetti diretti non garantiscano una protezione adeguata a questi lavoratori, rendendo necessaria una valutazione separata.

I lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili o dispositivi medici indossati sul corpo talvolta ricevono informazioni specifiche sui livelli di sicurezza dell'intensità di campo. In questo caso tali informazioni costituiranno criteri di valutazione e dovranno quindi essere anteposte a qualsiasi altra informazione più generale eventualmente disponibile. Per esempio, la valutazione relativa a un portatore di pacemaker, analizzata nello studio del caso dei dispositivi al plasma a radiofrequenza (RF) (volume 2) si avvale dei dati del fabbricante.

Laddove non siano disponibili informazioni specifiche per i dispositivi medici impiantabili o i dispositivi medici indossati sul corpo, e per le lavoratrici in gravidanza i datori di lavoro devono far riferimento agli orientamenti contenuti nell'appendice E della presente guida.

Nota bene: aspetti di cui tener conto

Al momento di valutare i rischi derivanti dai campi elettromagnetici, i datori di lavoro devono considerare i rischi connessi a effetti diretti e indiretti. Alcuni lavoratori possono essere particolarmente esposti ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici (cfr. la tabella 3.1) e anche di questo aspetto occorre tener conto.

5.5 Fase 4 — Decisioni sulle azioni preventive

Una volta individuati i rischi, occorre anzitutto chiedersi se sia possibile eliminarli. Sarebbe possibile ridurre l'intensità di campo a un livello che non presenti rischi, oppure è possibile impedire l'accesso al campo?

Ove possibile, le decisioni relative alle azioni preventive dovrebbero essere adottate nelle fasi di progettazione o acquisto di nuovi processi o apparecchiature.

Il capitolo 9 della presente guida offre orientamenti sulle misure di protezione e prevenzione adottabili per ridurre al minimo i rischi derivanti dai campi elettromagnetici. La protezione collettiva dovrebbe sempre prevalere sulla protezione individuale.

5.6 Fase 5 — Attuazione delle misure

Qualora risulti necessario intervenire, è importante definire le priorità dell'attuazione di misure di protezione e prevenzione. La priorità deve essere di norma stabilita in base all'entità del rischio e alla gravità dell'esito del potenziale evento pericoloso. Talvolta potrebbe essere impossibile attuare rapidamente tutte le nuove misure. In tal caso occorrerà decidere se introdurre alcune misure temporanee che consentano di proseguire il lavoro fino all'attuazione di misure di prevenzione permanenti. In alternativa si può decidere di bloccare il lavoro fino all'introduzione delle nuove misure.

5.7 Documentazione della valutazione dei rischi

È importante registrare i risultati della valutazione dei rischi. Nell'ambito di tale procedura occorre individuare gli elementi essenziali della valutazione dei rischi, tra cui i pericoli individuati, i lavoratori potenzialmente esposti ai rischi e l'esito della valutazione. Si dovrà anche registrare l'eventuale presenza di lavoratori particolarmente a rischio. Devono essere documentate le prescrizioni relative a eventuali nuove misure di prevenzione e precauzionali, così come le disposizioni per il riesame ulteriore della valutazione.

5.8 Monitoraggio e esame della valutazione dei rischi

È importante esaminare periodicamente la valutazione dei rischi per verificarne l'adeguatezza, nonché l'efficacia delle misure di protezione e prevenzione. Tale esame deve tener conto dei risultati degli eventuali controlli di routine sulle condizioni delle apparecchiature, poiché qualunque deterioramento potrebbe incidere sulle conclusioni della valutazione dei rischi. È indispensabile riesaminare la valutazione dei rischi anche nel caso di cambiamento delle apparecchiature in uso o di modifica delle procedure di lavoro.

I datori di lavoro devono inoltre tenere a mente che la situazione dei lavoratori può cambiare. Per esempio a un lavoratore può essere impiantato un dispositivo medico, oppure una lavoratrice può rimanere incinta. Un simile cambiamento dovrà comportare una revisione della valutazione dei rischi per verificarne l'adeguatezza.

Qualora i lavoratori subiscano un'esposizione temporanea superiore ai LA inferiori per i campi magnetici (tabella B2 dell'allegato II della direttiva EMF) oppure ai VLE relativi agli effetti sensoriali, possono comparire alcuni sintomi temporanei, tra cui:

- vertigini e nausea provocati dall'esposizione a campi magnetici statici e a bassa frequenza;
- percezioni sensoriali come lampi di luce (fosfeni) o lievi alterazioni delle funzioni cerebrali provocate dall'esposizione a campi elettromagnetici a bassa frequenza;
- percezioni sensoriali come «disturbi uditivi da microonde» provocate, in condizioni specifiche, dall'esposizione a campi a radiofrequenza pulsata (cfr. la sezione B5).

Qualora i lavoratori evidenzino questi sintomi, il datore di lavoro dovrà rivedere, e se necessario aggiornare, la valutazione dei rischi, adottando eventualmente ulteriori misure di protezione e prevenzione.

Sezione 3

VALUTAZIONI DI CONFORMITÀ

6. USO DEI VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE E DEI LIVELLI DI AZIONE

Come illustrato nel capitolo 2, l'esposizione ai campi elettromagnetici può produrre effetti diversi a seconda della frequenza dei campi. Per questa ragione la direttiva EMF prevede valori limite di esposizione (VLE) per:

- effetti non termici (0-10 MHz) nell'allegato II;
- effetti termici (100 kHz-300 GHz) nell'allegato III.

Ne consegue che generalmente, prima di scegliere il VLE corretto, è necessario conoscere la frequenza (o le frequenze) del campo elettromagnetico. Si noti che le due gamme di valori si sovrappongono. Di conseguenza nella gamma di frequenza intermedia (100 kHz-10 MHz) possono prodursi effetti sia termici che non termici: occorre quindi tener conto di entrambi i VLE.

Per le frequenze comprese tra 1 Hz e 6 GHz, i VLE sono definiti in termini di grandezze presenti nel corpo che non possono essere misurate o calcolate facilmente. La direttiva EMF definisce anche livelli di azione (LA) fissati in termini di grandezze di campo esterne, rilevabili con relativa facilità tramite misurazioni o calcoli. Questi LA sono ottenuti dai VLE sulla base di ipotesi prudenziali, e pertanto la conformità ai LA pertinenti garantisce sempre la conformità al VLE corrispondente. Tuttavia è possibile mantenere la conformità al VLE pur avendo superato un LA. Questo aspetto viene approfondito nella sezione 6.1. La figura 6.1 illustra il processo per stabilire se occorre valutare la conformità ai LA oppure ai VLE.

Il confronto con i LA o i VLE contribuisce al processo di valutazione dei rischi. Se non è possibile dimostrare la conformità ai LA, i datori di lavoro possono decidere di effettuare una valutazione in base ai VLE, che però si rivelerà probabilmente più complessa e pertanto più costosa. In molti casi sarà possibile applicare misure supplementari per garantire la conformità ai LA o ai VLE. Una volta che abbia dimostrato la conformità, o abbia esaurito tutte le possibili opzioni di misure supplementari, il datore di lavoro dovrà continuare il processo di valutazione dei rischi (cfr. il capitolo 5).

La valutazione completa dell'esposizione dei lavoratori e il confronto con i VLE possono rivelarsi assai complessi ed esulano dal campo di applicazione della presente guida. L'appendice D della guida fornisce ulteriori informazioni sulle valutazioni. Tuttavia lo scopo principale delle informazioni presentate in questo capitolo è illustrare il funzionamento pratico del sistema dei VLE e dei LA, affinché i datori di lavoro possano decidere se determinarli autonomamente o rivolgersi a uno specialista.

La direttiva definisce una serie di LA differenti, alcuni dei quali applicabili simultaneamente. I LA riguardano gli effetti diretti o indiretti. Alle basse frequenze, i campi elettrici e magnetici possono essere considerati indipendenti (la cosiddetta «approssimazione quasi-statica») ed entrambi inducono campi elettrici nel corpo. Pertanto alle basse frequenze esistono LA per i campi elettrici e magnetici. Ci sono anche LA per la corrente di contatto.

Con l'aumentare della frequenza, i campi provocano un accoppiamento più intenso e l'interazione con il corpo si modifica, producendo una deposizione di energia che a sua volta provoca effetti termici. Per queste frequenze ci sono LA per i campi elettrici e magnetici. A frequenze superiori a 6 GHz, esiste un LA supplementare per la densità di potenza, che è correlato all'intensità dei campi elettrici e magnetici. Ci sono anche LA per le correnti indotte attraverso gli arti, a loro volta correlati agli effetti termici, e per le correnti di contatto. Il sistema dei LA è illustrato nella figura 6.2.

Figura 6.1 — Processo per stabilire se occorre valutare la conformità ai LA oppure ai VLE

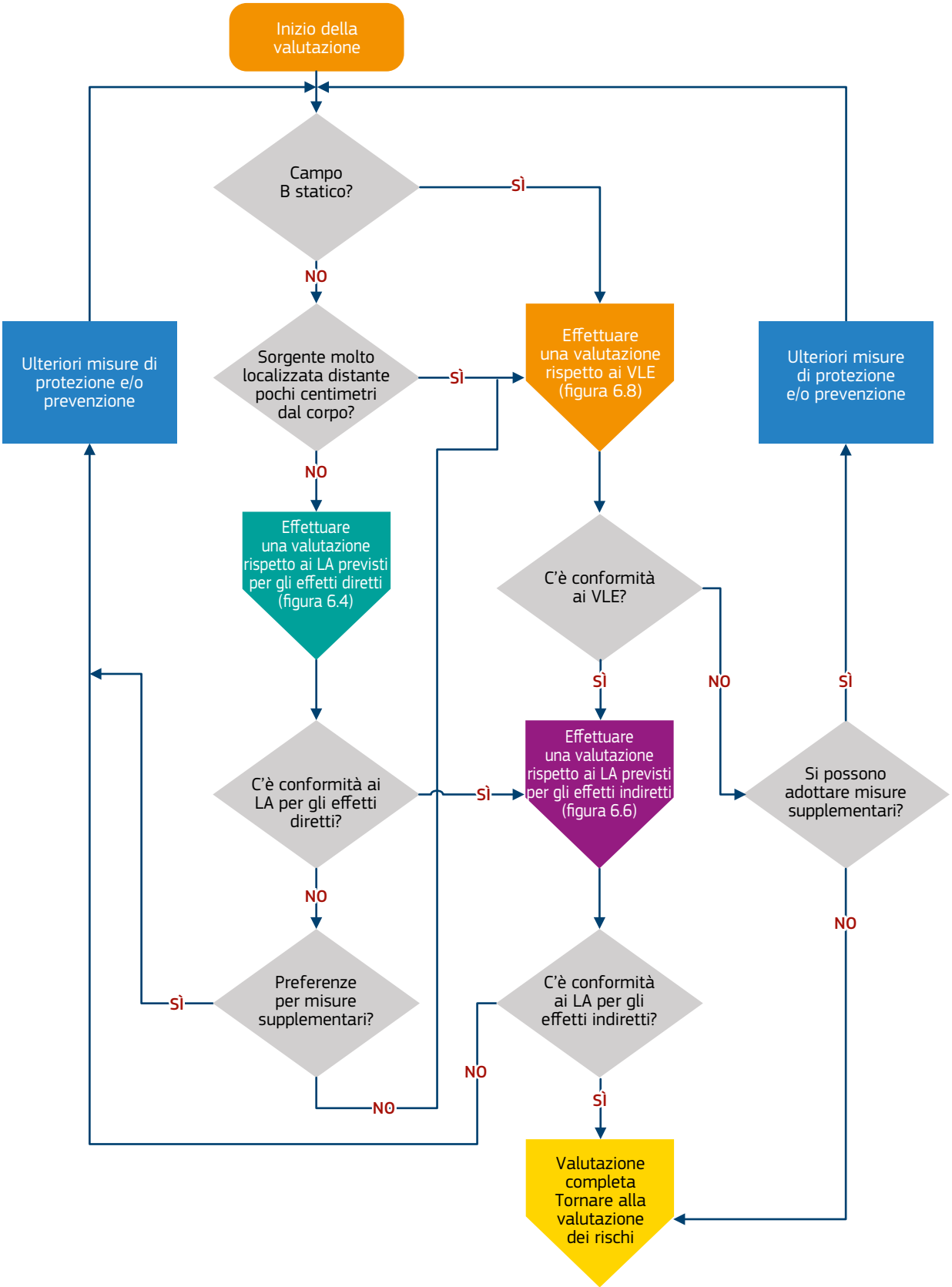
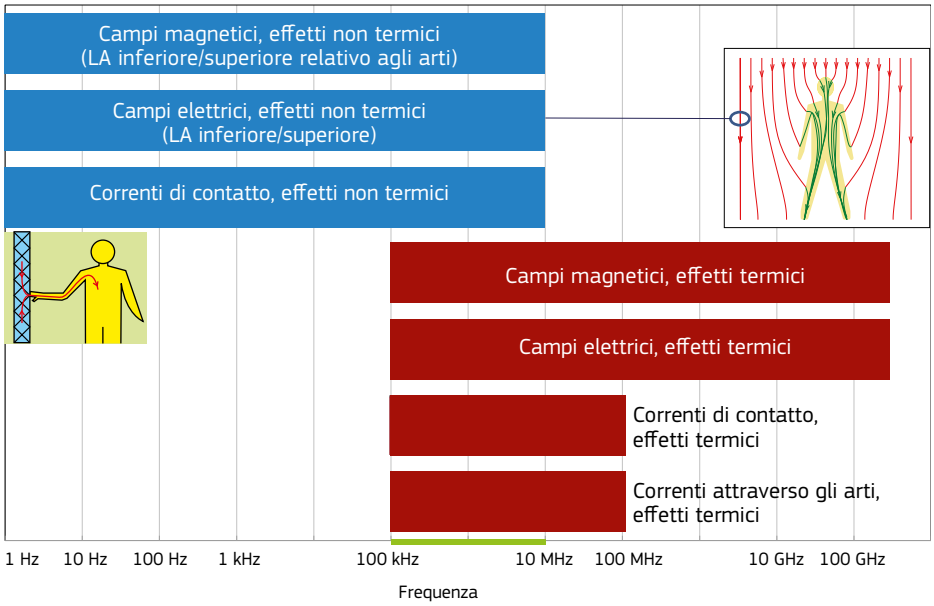


Figura 6.2 — Gamma di frequenze cui sono applicabili diversi LA



Le barre blu indicano gli effetti non termici e quelle rosse indicano gli effetti termici. Ove la gamma di frequenza è evidenziata in verde, è obbligatoria la conformità ai valori per gli effetti non termici (campo elettrico, campo magnetico e correnti di contatto) e gli effetti termici (campo elettrico e magnetico).

I VLE e i relativi LA si basano sugli orientamenti pubblicati dalla Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP). Questi orientamenti, che si possono consultare all'indirizzo www.icnirp.org (cfr. la sezione Risorse nell'appendice I), forniscono ulteriori informazioni sul fondamento logico di questi valori.

La direttiva EMF prevede che gli Stati membri recepiscano i VLE nella propria legislazione nazionale; i datori di lavoro sono pertanto giuridicamente vincolati a rispettarli. La direttiva EMF contiene disposizioni che consentono alla Commissione di rivedere i LA in caso di necessità.

Nota bene: livelli di azione e valori limite di esposizione

Per gran parte dei datori di lavoro sarà più semplice dimostrare la conformità ai livelli di azione che ai valori limite di esposizione, anche se le distanze di conformità possono essere maggiori per i primi. Sono inoltre specificati i livelli di azione per alcuni effetti indiretti (ma non per tutti). I livelli di azione e i valori limite di esposizione di norma non garantiscono una protezione sufficiente ai lavoratori particolarmente a rischio.

6.1 Livelli di azione previsti per gli effetti diretti

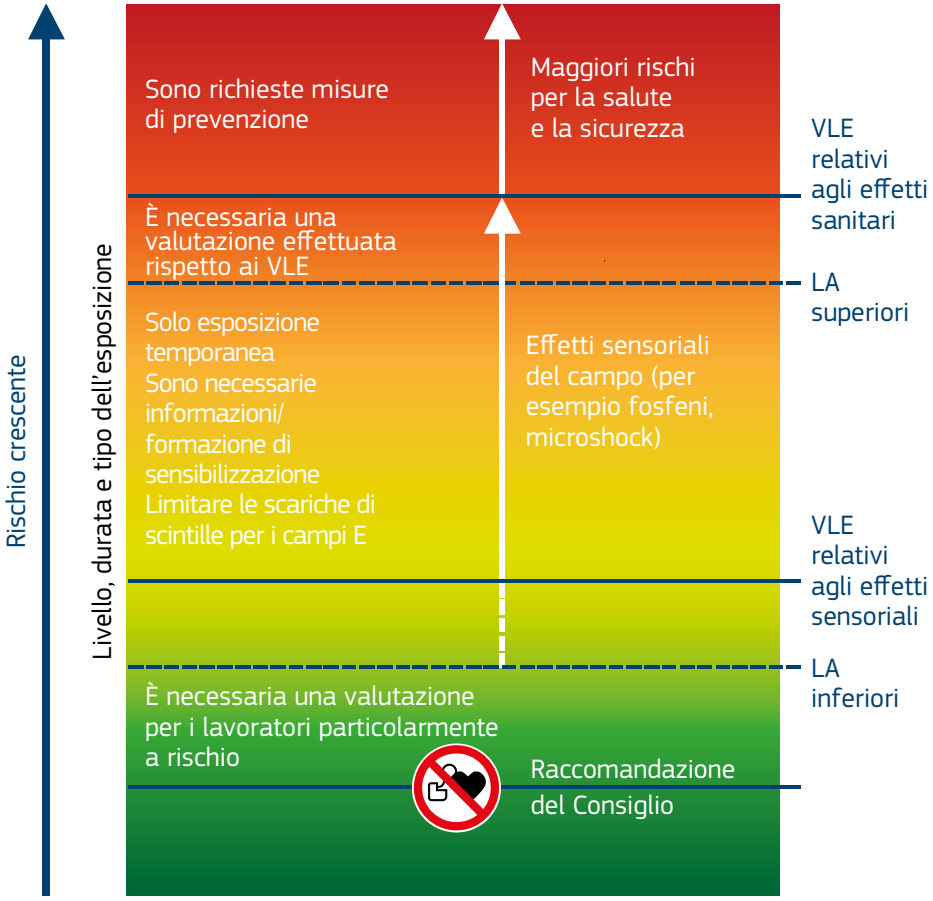
Come si è rilevato in precedenza, i LA per gli effetti diretti sono stati ricavati dai corrispondenti VLE usando tecniche di modellizzazione informatica e ipotizzando le interazioni più pessimistiche. Ciò significa che la conformità ai LA garantisce sempre la conformità ai corrispondenti VLE. Tuttavia, in molte situazioni sarà possibile superare il LA e mantenere comunque la conformità al VLE corrispondente. La relazione tra LA e VLE è illustrata nella figura 6.3. Per quasi tutti i datori di lavoro, in quasi tutte le situazioni, i LA previsti per gli effetti diretti offrono un metodo relativamente semplice per dimostrare la conformità ai VLE corrispondenti.

Tutti i LA sono definiti per campi non alterati dalla presenza del corpo del lavoratore.

Se non è possibile dimostrare la conformità ai LA, i datori di lavoro possono scegliere se attuare misure di protezione e prevenzione, oppure valutare direttamente la conformità ai VLE. Nel prendere tale decisione, i datori di lavoro non dovranno dimenticare che la valutazione effettuata in base ai VLE potrebbe comunque sfociare nell'obbligo di attuare misure di protezione e prevenzione.

Il processo per la selezione dei livelli di azione previsti per gli effetti diretti è illustrato dal diagramma di flusso di cui alla figura 6.4.

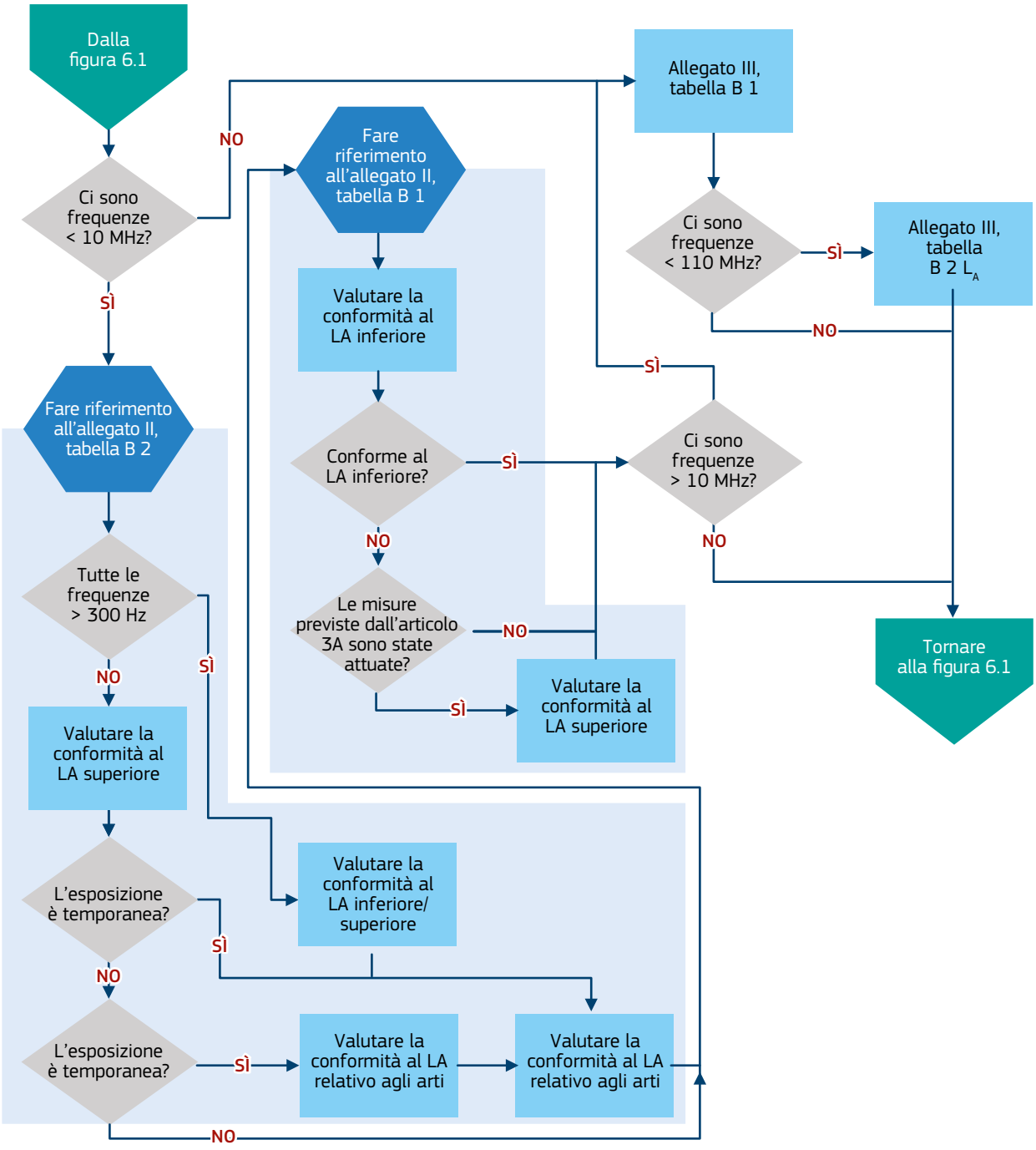
Figura 6.3 — Rappresentazione schematica che illustra la relazione tra i valori limite di esposizione e i livelli di azione



6.1.1 Livelli di azione del campo elettrico (1 Hz-10 MHz)

La direttiva EMF definisce due LA per campi elettrici a bassa frequenza, un LA inferiore e un LA superiore. Il concetto di LA superiori e inferiori è illustrato nella precedente figura 6.3. La conformità al LA inferiore consente di non superare i VLE applicabili evitando altresì fastidiose scariche di scintille nell'ambiente di lavoro.

Figura 6.4 — Diagramma di flusso per la selezione dei livelli di azione previsti per gli effetti diretti («Allegato» si riferisce agli allegati della direttiva sui campi elettromagnetici)



Se l'intensità dei campi elettrici non supera il LA inferiore, nessuno dei VLE applicabili verrà superato. Tuttavia, se l'intensità di campo elettrico supera il LA inferiore, la conformità al LA superiore non sarà di per sé sufficiente a evitare le fastidiose scariche di scintille. In questa situazione pertanto è necessario adottare ulteriori misure tecniche, organizzative, e se opportuno, di protezione individuale per limitare le scariche di scintille.

6.1.2 Livelli di azione del campo magnetico (1 Hz-10 MHz)

La direttiva EMF definisce tre LA per campi magnetici a bassa frequenza: LA inferiore, LA superiore e LA relativo agli arti.

I LA inferiori derivano dai VLE relativi agli effetti sensoriali (cfr. la sezione 6.3.1): tale conformità assicura sia la conformità ai VLE relativi agli effetti sensoriali sia ai VLE relativi agli effetti sanitari. I LA inferiori hanno lo stesso valore dei LA superiori per le frequenze superiori a 300 Hz.

La conformità ai LA superiori garantisce la conformità ai VLE relativi agli effetti sanitari, da cui derivano, ma non assicura la conformità ai VLE relativi agli effetti sensoriali a frequenze inferiori a 300 Hz. La direttiva EMF consente il superamento dei LA inferiori, a condizione di poter dimostrare che i VLE relativi agli effetti sensoriali non vengono superati, o che comunque l'eventuale superamento è soltanto temporaneo. Tuttavia i VLE relativi agli effetti sanitari non devono essere superati. Inoltre i lavoratori devono essere informati in merito alla comparsa di sensazioni e sintomi temporanei. Qualora si denuncino sintomi temporanei, il datore di lavoro deve adottare, se necessario, azioni tese ad aggiornare la valutazione dei rischi e le misure di prevenzione.

La conformità ai LA relativi agli arti garantirà la conformità ai VLE relativi agli effetti sanitari da cui derivano. I LA relativi agli arti tengono conto dell'accoppiamento più debole del campo negli arti e di conseguenza sono meno restrittivi dei LA superiori. L'utilizzo dei LA relativi agli arti sarebbe giustificato soltanto qualora l'esposizione del corpo ad un'intensità di campo sia improbabile. Il loro utilizzo pertanto sarebbe giustificato nel caso di un lavoratore che manipoli uno strumento che genera campi elettromagnetici, ma non se lo strumento è tenuto vicino al corpo durante l'utilizzo (figura 6.5). Se si effettua la valutazione dell'esposizione degli arti sulla base del livello di azione relativo agli arti, sarebbe prassi normale valutare anche l'esposizione del corpo sulla base del LA inferiore o superiore, a seconda dei casi.

Figura 6.5 — Lavoratore con un utensile elettrico tenuto vicino al corpo. In questa situazione l'esposizione del corpo e degli arti è simile e la conformità ai LA inferiori/superiori è restrittiva

6.1.3 Livelli di azione del campo elettrico e magnetico (100 kHz-300 GHz)

Per le frequenze comprese tra 100 kHz e 6 GHz, la direttiva EMF definisce i LA per l'intensità di campo elettrico e l'induzione magnetica che derivano dai VLE relativi agli effetti sanitari. Poiché i VLE corrispondenti sono valori mediati nel tempo, il quadrato del LA dev'essere mediato su un periodo di sei minuti.

Per frequenze superiori a 6 GHz, la direttiva EMF definisce i LA per l'intensità del campo elettrico, l'induzione magnetica e la densità di potenza. Il LA per la densità di potenza dev'essere mediato su una superficie esposta di 20 cm^2, a condizione che la massima densità di potenza nello spazio mediata su 1 cm^2 non superi di 20 volte i LA. Anche i LA per la densità di potenza sono mediati nel tempo, su un periodo di sei minuti per frequenze fino a 10 GHz, e su un periodo di $68/f^{1,05}$ minuti per frequenze superiori (dove f è la frequenza in GHz). Oltre questo limite, il tempo medio diminuisce all'aumentare della frequenza, riflettendo un calo della profondità di penetrazione.

Per le frequenze superiori a 6 GHz, i LA per l'intensità di campo elettrico e l'induzione magnetica derivano dai VLE di densità di potenza. Pertanto, benché la direttiva relativa ai campi elettromagnetici non lo indichi esplicitamente, per coerenza le condizioni della media spaziale e temporale per i LA devono applicarsi anche a $[LA(E)]^2$ e $[LA(B)]^2$ a frequenze superiori a 6 GHz.

6.1.4 Livelli di azione per corrente indotta attraverso gli arti (10-110 MHz)

La direttiva EMF specifica i LA per l'intensità di corrente della radiofrequenza indotta attraverso gli arti di un lavoratore esposto a un campo a radiofrequenza. Poiché questo LA riguarda il riscaldamento dei tessuti, il quadrato del LA dev'essere mediato su un periodo di sei minuti.

6.2 Livelli di azione previsti per gli effetti indiretti

La direttiva EMF specifica i LA per offrire protezione da alcuni effetti indiretti associati ai campi elettromagnetici. Il processo per la selezione dei livelli di azione previsti per gli effetti indiretti è illustrato dal diagramma di flusso di cui alla figura 6.6.

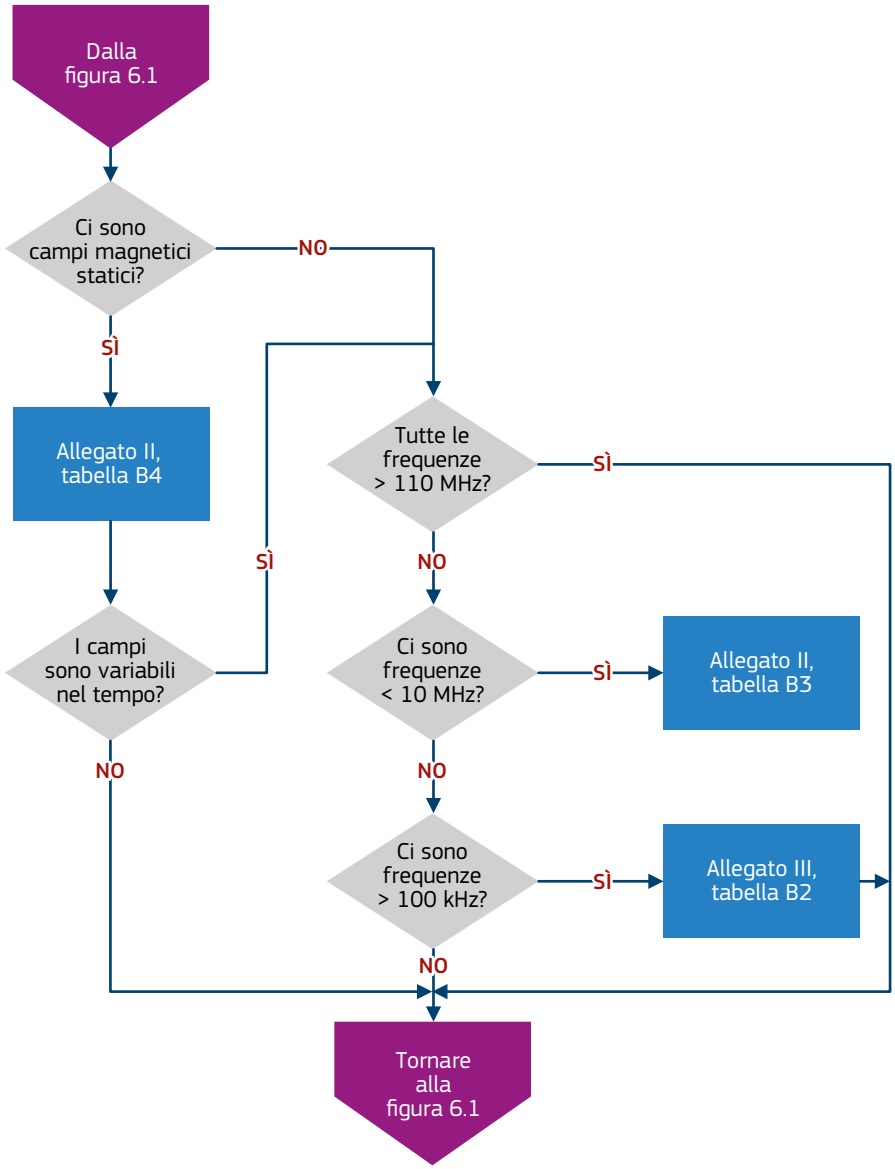
6.2.1 Livelli di azione del campo magnetico statico

Un LA di 0,5 mT viene specificato per limitare l'interferenza con la funzione di dispositivi medici impiantabili attivi. La direttiva relativa ai campi elettromagnetici prevede anche un LA di 3 mT per limitare il rischio propulsivo nel campo periferico da sorgenti ad alta intensità (> 100 mT).

6.2.2 Livelli di azione per le correnti di contatto (fino a 110 MHz)

La direttiva EMF specifica i LA per le correnti di contatto stazionarie per limitare il rischio di scosse elettriche o ustioni quando una persona tocca un oggetto conduttore in un campo elettromagnetico e uno dei due non è collegato a terra.

Figura 6.6 — Diagramma di flusso per la selezione dei livelli di azione previsti per gli effetti indiretti («Allegato» si riferisce agli allegati della direttiva sui campi elettromagnetici)

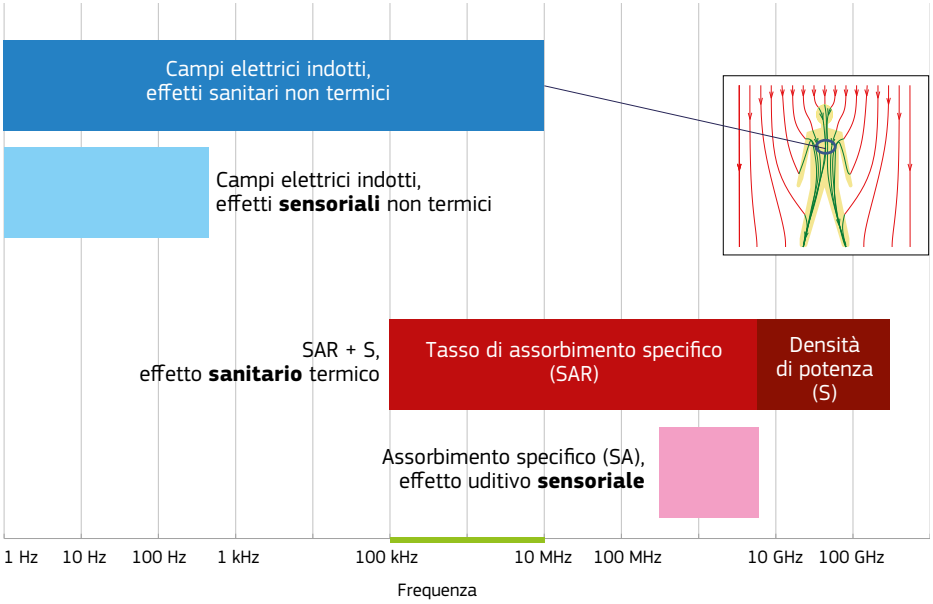


6.3 Valori limite di esposizione

6.3.1 Valori limite di esposizione relativi agli effetti sensoriali e sanitari

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici definisce VLE separati per gli effetti sensoriali e sanitari (figura 6.7). I VLE relativi agli effetti sensoriali si applicano soltanto a specifiche gamme di frequenza (0-400 Hz e 0,3-6 GHz). Per le basse frequenze, la percezione del campo si verifica a livelli di esposizione inferiori a quelli in cui si registrano effetti per la salute. Il VLE relativo agli effetti sensoriali (per quanto riguarda gli effetti termici) ha lo scopo di evitare i «disturbi uditivi da microonde» che si verificano soltanto in determinate condizioni (cfr. l'appendice B). Al contrario i VLE relativi agli effetti sanitari si applicano a tutte le frequenze. In generale è ammesso il superamento temporaneo dei VLE relativi agli effetti sensoriali, per brevi periodi, purché vengano soddisfatte alcune condizioni.

Figura 6.7 — Gamma di frequenze nell'ambito della quale vengono utilizzati diversi VLE



Le barre blu indicano gli effetti non termici e quelle rosse indicano gli effetti termici.

6.3.2 Valori limite di esposizione (0-1 Hz)

I VLE per la gamma di frequenza tra 0-1 Hz sono definiti in termini di induzione magnetica esterna (tabella A1 dell'allegato II della direttiva EMF). I VLE relativi agli effetti sensoriali sono fissati per evitare vertigini e altri effetti legati alla percezione. Questi derivano soprattutto da campi elettrici indotti nei tessuti quando il corpo si muove in un forte campo magnetico statico, benché sia dimostrato che possono verificarsi in assenza di movimento. Pertanto per un ambiente di lavoro controllato in cui il movimento nel campo è limitato e i lavoratori sono adeguatamente informati, potrebbe essere ammesso un superamento temporaneo dei VLE relativi agli effetti sensoriali a condizione che ciò sia giustificato dalla prassi o dalla procedura. In questo caso le esposizioni non devono superare i VLE relativi agli effetti sanitari.

6.3.3 Valori limite di esposizione (1 Hz-10 MHz)

I VLE nella gamma di frequenza 1 Hz-10 MHz sono definiti in termini di campi elettrici interni indotti nel corpo (tabella A2 e tabella A3 dell'allegato II della direttiva EMF).

Per le frequenze fino a 400 Hz ci sono sia VLE relativi agli effetti sensoriali, sia VLE relativi agli effetti sanitari. I VLE relativi a effetti sensoriali sono destinati alla prevenzione dei fosfeni retinici e di modifiche minori e transitorie delle funzioni cerebrali. Di conseguenza si applicano soltanto ai tessuti del sistema nervoso centrale nella testa del lavoratore esposto.

I VLE relativi agli effetti sanitari si applicano a tutte le frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz e sono destinati a prevenire la stimolazione dei nervi centrali e periferici. Pertanto questi VLE si applicano a tutti i tessuti del corpo del lavoratore esposto.

6.3.4 Valori limite di esposizione (100 kHz–300 GHz)

Per le frequenze comprese tra 100 kHz e 6 GHz, il grado di riscaldamento derivante dall'esposizione dipende dal tasso di assorbimento di energia nei tessuti. Questo è definito dal tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) utilizzato per specificare i VLE relativi agli effetti sanitari, con valori diversi per le esposizioni dell'intero corpo e le esposizioni localizzate (tabella A1 dell'allegato III della direttiva EMF). I valori relativi al corpo intero offrono protezione da stress termico e da colpi di calore e sono applicati al SAR mediato su tutto il corpo. I valori localizzati offrono protezione da lesioni termiche di tessuti specifici e sono applicati al SAR su 10 g di tessuto contiguo (o connesso). Sia il SAR riferito a tutto il corpo, sia il SAR localizzato sono mediati su un periodo di sei minuti.

Per le frequenze nella gamma compresa tra 300 MHz e 6 GHz ci sono anche VLE relativi agli effetti sensoriali destinati alla prevenzione dei «disturbi uditivi da microonde» provocati dall'esposizione a campi pulsati (tabella A2 dell'allegato III della direttiva relativa ai campi elettromagnetici). Questi sono specificati in termini di assorbimento specifico (SA) mediato su 10 g nella testa.

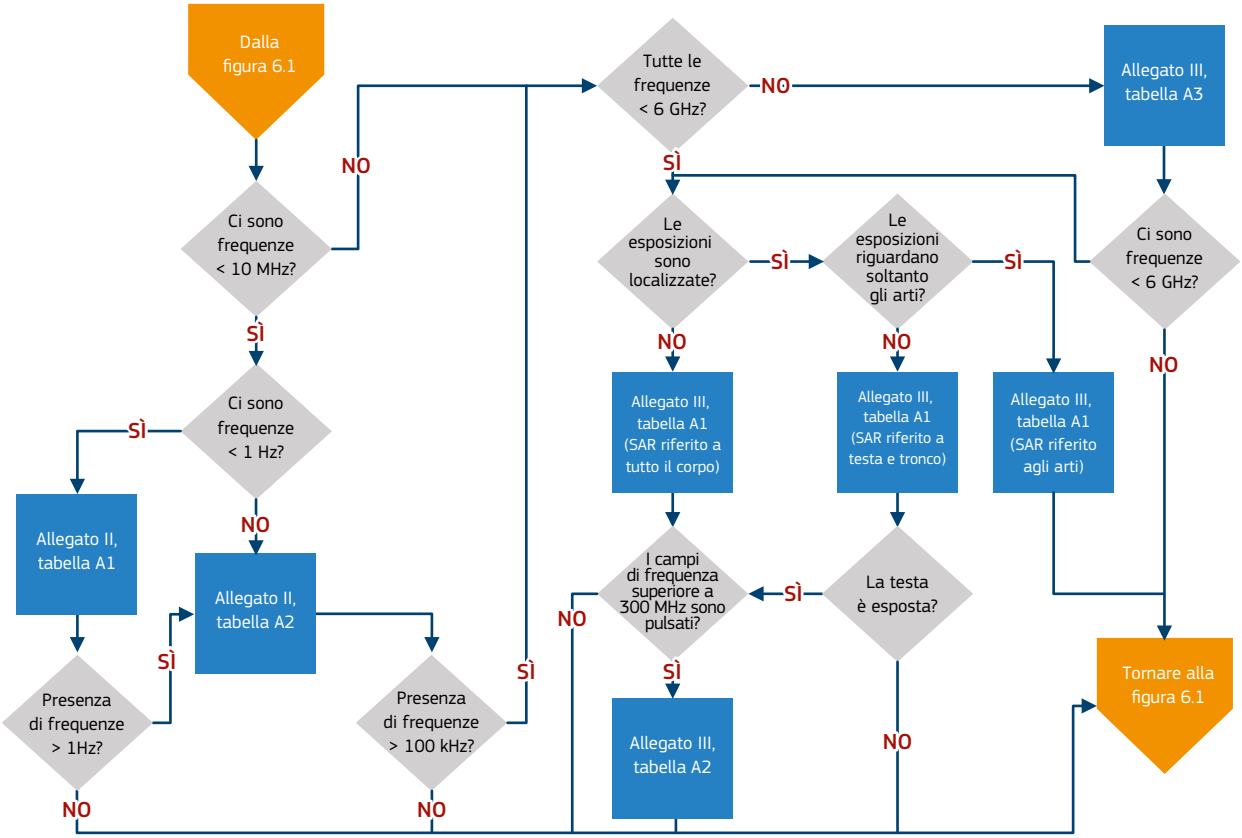
La penetrazione dei campi elettromagnetici nel corpo diminuisce con la frequenza nella gamma della radiofrequenza, per frequenze superiori a 6 GHz il campo è pertanto assorbito soprattutto sulla superficie del corpo. Ciò significa che per queste frequenze è assai più importante limitare la densità di potenza sulla superficie del corpo che non il tasso di assorbimento di energia in una massa di tessuto. La densità di potenza è mediata su 20 cm^2, rispettando il limite della massima densità mediata su una superficie di 1 cm^2. Per frequenze nella gamma compresa tra 6 e 10 GHz la densità di potenza è mediata su un periodo di sei minuti. Oltre questo limite, il tempo medio diminuisce all'aumentare della frequenza, riflettendo il calo della profondità di penetrazione (tabella A3 dell'allegato III della direttiva relativa ai campi elettromagnetici).

6.4 Deroghe

L'articolo 10 della direttiva relativa ai campi elettromagnetici concede una deroga condizionale all'articolo 3 (VLE e LA) in tre situazioni. L'articolo 10 non incide sull'obbligo generale del datore di lavoro, previsto dall'articolo 5, paragrafo 1, in base al quale egli adotta le misure necessarie per garantire che i rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro siano eliminati o ridotti al minimo.

La prima deroga, concernente l'uso della risonanza magnetica (RMI) nel settore sanitario, è non discrezionale. Le rimanenti deroghe sono a discrezione degli Stati membri.

Figura 6.8 — Diagramma di flusso per la selezione dei VLE



6.4.1 Deroga in materia di RMI

L'esposizione connessa all'installazione, al controllo, all'uso, allo sviluppo, alla manutenzione degli apparecchi per la risonanza magnetica (RMI) per i pazienti nel settore sanitario o alla ricerca in materia può superare i VLE purché siano soddisfatte le condizioni seguenti:

i) la valutazione dei rischi ha dimostrato che i VLE sono superati;

ii) tenuto conto dello stato dell'arte, sono state applicate tutte le misure tecniche e/o organizzative;

iii) le circostanze giustificano debitamente il superamento del VLE;

iv) si è tenuto conto delle caratteristiche del luogo di lavoro, delle apparecchiature di lavoro o delle procedure di lavoro;

v) il datore di lavoro dimostra che i lavoratori sono comunque protetti dagli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza, assicurando in particolare che siano applicate le istruzioni per l'uso in condizioni di sicurezza fornite dal fabbricante.

Ulteriori orientamenti ai datori di lavoro sulla conformità alla deroga in materia di RMI sono contenuti nell'appendice F della presente guida.

6.4.2 Deroga in ambito militare

Gli Stati membri possono autorizzare l'attuazione di sistemi di protezione equivalenti per il personale che lavora presso impianti militari operativi o che partecipa ad attività militari, purché si evitino gli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza.

6.4.3 Deroga generale

Gli Stati membri possono consentire il temporaneo superamento dei VLE in settori specifici o per attività specifiche che esulano dall'ambito di applicazione delle altre due deroghe, a condizione che le circostanze siano debitamente giustificate. Perché le circostanze siano debitamente giustificate, si devono soddisfare le seguenti condizioni:

i) la valutazione dei rischi ha dimostrato che i VLE sono superati;

ii) tenuto conto dello stato dell'arte, sono state applicate tutte le misure tecniche e/o organizzative;

iii) si è tenuto conto delle caratteristiche del luogo di lavoro, delle attrezzature di lavoro o delle procedure di lavoro;

iv) il datore di lavoro dimostra che i lavoratori sono comunque protetti dagli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza, avvalendosi in particolare di norme e orientamenti comparabili, più specifici e riconosciuti a livello internazionale.

7. USO DELLE BANCHE DATI E DEI DATI DEI FABBRICANTI RELATIVI ALLE EMISSIONI

Le informazioni sull'esposizione possono essere comunicate dai fabbricanti delle apparecchiature. Inoltre alcuni enti governativi, organismi professionali o associazioni di categoria possono sviluppare e aggiornare banche dati di valutazioni generiche dell'esposizione. Se queste informazioni sono disponibile e pertinenti, i datori di lavoro avranno a disposizione il mezzo più semplice per dimostrare la conformità alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici. Di conseguenza, prima di considerare l'opportunità di valutare l'esposizione mediante misurazioni o calcoli, la maggior parte dei datori di lavoro valuterà sicuramente questa opzione.

7.1 Utilizzare le informazioni fornite dai fabbricanti

È importante che i datori di lavoro capiscano che le loro responsabilità, ai sensi della direttiva EMF, riguardano l'esposizione complessiva del lavoratore piuttosto che la sua esposizione ad un elemento particolare dell'apparecchiatura. La valutazione pertanto dovrà tener conto dell'esposizione derivante da tutte le sorgenti dell'ambiente di lavoro. Per contro, laddove i fabbricanti forniscono informazioni, queste riguarderanno la specifica apparecchiatura prodotta.

Per la maggior parte di tipologie di apparecchiature l'intensità di campo diminuisce molto rapidamente con la distanza dalla sorgente (cfr. figura 3.2). Ciò significa che in molti casi l'esposizione del lavoratore sarà dovuta a una o, nel peggiore dei casi, ad alcune apparecchiature nelle immediate vicinanze della postazione di lavoro. Di conseguenza i datori di lavoro hanno interesse a disporre delle informazioni sul modo in cui i campi si riducono con la distanza dall'apparecchiatura. Nella valutazione dell'apporto delle diverse sorgenti all'esposizione del lavoratore, il datore di lavoro non deve dimenticare i campi generati da impianti ausiliari come cavi di alimentazione, alimentatori e commutatori.

Benché le informazioni fornite dai fabbricanti possano offrire una soluzione semplice al problema della valutazione dell'esposizione, i datori di lavoro devono utilizzarle con una certa cautela. I fabbricanti forniscono informazioni sui campi elettromagnetici associati alle proprie apparecchiature per diversi motivi. Per esempio un fabbricante potrebbe fornire informazioni sull'intensità di campo generata dall'apparecchiatura perché il campo è importante per il suo funzionamento e dunque fa parte delle caratteristiche tecniche. Le informazioni possono essere fornite anche per dimostrare il rispetto delle prescrizioni in materia di compatibilità elettromagnetica delle direttive europee sui prodotti (cfr. l'appendice G). Benché queste informazioni possano essere rilevanti per le questioni di sicurezza legate alle interferenze, non sarebbero utili ai fini della valutazione dell'esposizione.

Le informazioni più utili dal punto di vista del datore di lavoro riguarderebbero la valutazione dell'esposizione tipica del lavoratore durante l'utilizzo normale dell'apparecchiatura e l'indicazione del modo in cui il campo diminuisce con la distanza. In alternativa un'indicazione delle intensità di campo relative ai livelli di azione nelle diverse zone accessibili intorno all'apparecchiatura consentirebbe ai datori di lavoro di valutare essi stessi la conformità durante l'uso.

Nota bene: informazioni provenienti dalle banche dati e dai fabbricanti

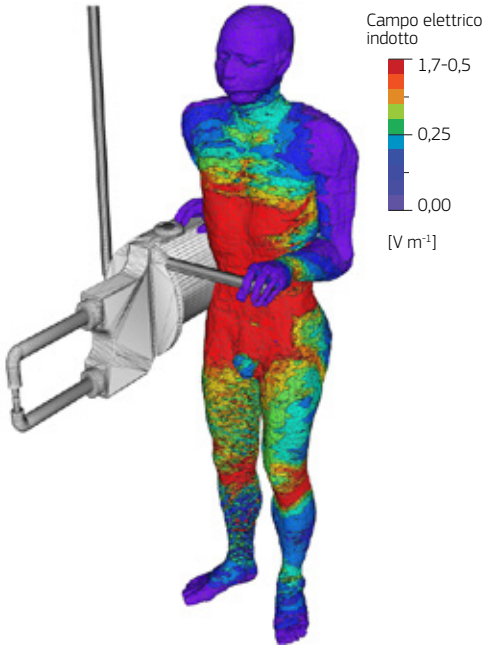
Se sono disponibili informazioni provenienti da banche dati o fornite dai fabbricanti, i datori di lavoro potranno dimostrare la conformità in maniera assai più semplice di quanto avverrebbe se dovessero effettuare una valutazione specifica. I fornitori di macchinari hanno l'obbligo giuridico di assicurare che le emissioni dei loro macchinari non siano pericolose per le persone (cfr. appendice H). Essi hanno inoltre l'obbligo di fornire informazioni sui rischi residui e le probabili emissioni che possono provocare danni alle persone, per esempio ai portatori di dispositivi medici impiantabili.

7.1.1 Base della valutazione del fabbricante

Alcuni fabbricanti possono pubblicare le valutazioni delle loro apparecchiature, effettuate secondo procedure standardizzate. Molte norme di misurazione, tuttavia, riguardano le emissioni più che l'esposizione umana. Queste norme sulle emissioni vengono elaborate per fornire procedure standardizzate per le prove di laboratorio del livello dei campi elettromagnetici prodotti da tipi particolari di dispositivi elettrici. Riguardano specificamente il valore di campo in un punto determinato e sono utili per comparare diversi dispositivi o apparecchi. Tuttavia possono essere di utilità limitata per valutare l'esposizione relativa ai LA o ai VLE nel caso di un normale utilizzo.

Per esempio la norma armonizzata vigente per le prove di conformità della saldatrice raccomanda di misurare i campi a 20 cm dal cavo di saldatura, il che consente misurazioni più agevolmente riproducibili. Tuttavia nell'utilizzo quotidiano il cavo può essere a contatto con il corpo del lavoratore e in prossimità dei tessuti sensibili nella testa del lavoratore. La figura 7.1 illustra il caso di una pistola per saldatura a punti tenuta vicina al corpo del lavoratore, ad una distanza inferiore ai 20 cm previsti. È chiaro che questo problema sarà affrontato nelle future edizioni della norma.

Figura 7.1 — Distribuzione del campo elettrico indotto in un modello umano in seguito all'esposizione a una pistola per saldatura a punti portatile (PSW). In questo esempio la sorgente del campo elettromagnetico si trova a una distanza dal corpo notevolmente inferiore a 20 cm



NB: L'esempio in questa figura ha un puro valore illustrativo e non dev'essere estrapolato per situazioni specifiche.

Questo esempio dimostra che prima di utilizzare i dati pubblicati dai fabbricanti è importante sapere quale norma è stata applicata e a quale scopo sono stati generati i dati.

7.2 Banche dati di valutazioni

Potrebbero rivelarsi molto utili banche dati di valutazioni generiche per particolari settori industriali, che potrebbero essere create da istituzioni governative, organismi professionali o associazioni di categoria. In ogni caso il primo aspetto da considerare è il risparmio di tempo e denaro per i datori di lavoro che non dovrebbero effettuare valutazioni specifiche. Se le apparecchiature e le procedure di lavoro sono sufficientemente standardizzate, si tratta di un approccio pragmatico ed efficiente in termini di costi.

Al momento di considerare l'utilizzo delle informazioni ottenute dalle banche dati, i datori di lavoro devono accertarsi che l'apparecchiatura sia utilizzata conformemente alla sua destinazione, sia nella valutazione della banca dati sia nel proprio luogo di lavoro. Inoltre i dati della valutazione potrebbero non essere pertinenti se l'apparecchiatura è molto più vecchia o non è stata sottoposta a un'adeguata manutenzione.

La Commissione europea ha sostenuto lo sviluppo di un pacchetto software per aiutare i datori di lavoro nella valutazione dei processi di saldatura e di altri processi collegati. Ulteriori informazioni sul progetto sono disponibili sul sito (www.emfweld.com).

7.3 Informazioni fornite dai fabbricanti

I fabbricanti che forniscono apparecchiature che rientrano nell'ambito della direttiva macchine (cfr. l'appendice G) hanno obblighi specifici per quanto riguarda la fornitura di informazioni. In particolare, per soddisfare le prescrizioni di base, i fabbricanti devono fornire informazioni sui rischi residui e sulle misure di protezione che l'utilizzatore dovrà attuare.

In particolare se la macchina può emettere radiazioni non ionizzanti che potrebbero provocare danni, soprattutto ai portatori di dispositivi medici impiantabili, il fabbricante deve fornire informazioni sulle emissioni per l'operatore e tutte le persone esposte.

7.3.1 Norme di valutazione

I comitati di normalizzazione elaborano attivamente norme per guidare i fabbricanti lungo il processo di valutazione delle emissioni in relazione ai LA e ai VLE specificati nella direttiva EMF. In alcuni casi queste norme specificano anche in che modo i risultati della valutazione devono essere comunicati agli acquirenti delle apparecchiature.

I fabbricanti devono innanzi tutto controllare se sia stata pubblicata una norma pertinente collegata alla direttiva EMF vigente. Se esiste una norma corrispondente che fornisce istruzioni sulla comunicazione dei risultati della valutazione, il fabbricante dovrebbe applicarla rispettarla.

I fabbricanti possono anche decidere di fornire ulteriori informazioni non specificate nella norma se ritengono che queste possano essere utili all'acquirente.

7.3.2 Assenza di una norma corrispondente

Se non esiste una norma corrispondente per guidare il fabbricante, le seguenti informazioni di valutazione dovrebbero consentire agli acquirenti di effettuare valutazioni adeguate sul luogo di lavoro.

I prime tre elementi forniscono all'acquirente un inquadramento di carattere generale sulle tipologie di effetti previsti e sul modo in cui la valutazione è stata effettuata. In particolare sarà importante che l'acquirente sappia se le condizioni operative della valutazione riflettono il modo in cui utilizzerà l'apparecchiatura.

Le due informazioni successive serviranno a capire le probabili esposizioni dell'operatore e se sia necessario imporre restrizioni o garantire la formazione del personale.

Le ultime due informazioni potranno essere utilizzate per una semplice valutazione dell'effetto prodotto dalla collocazione di diverse apparecchiature nella stessa area. I datori di lavoro possono utilizzare le curve che rappresentano la percentuale del LA o la percentuale dei livelli di riferimento contenuti nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio per effettuare una semplice valutazione dell'effetto cumulativo dovuto alla collocazione di più apparecchiature in stretta vicinanza.

Questo approccio spesso darà luogo a una sovrastima delle intensità di campo ottenute in quanto le sorgenti non funzioneranno necessariamente tutte insieme e sovente alcuni campi saranno annullati a causa delle differenze di fase. L'approccio tuttavia è semplice da applicare e sarà facile per la maggior parte degli acquirenti dimostrare la conformità.

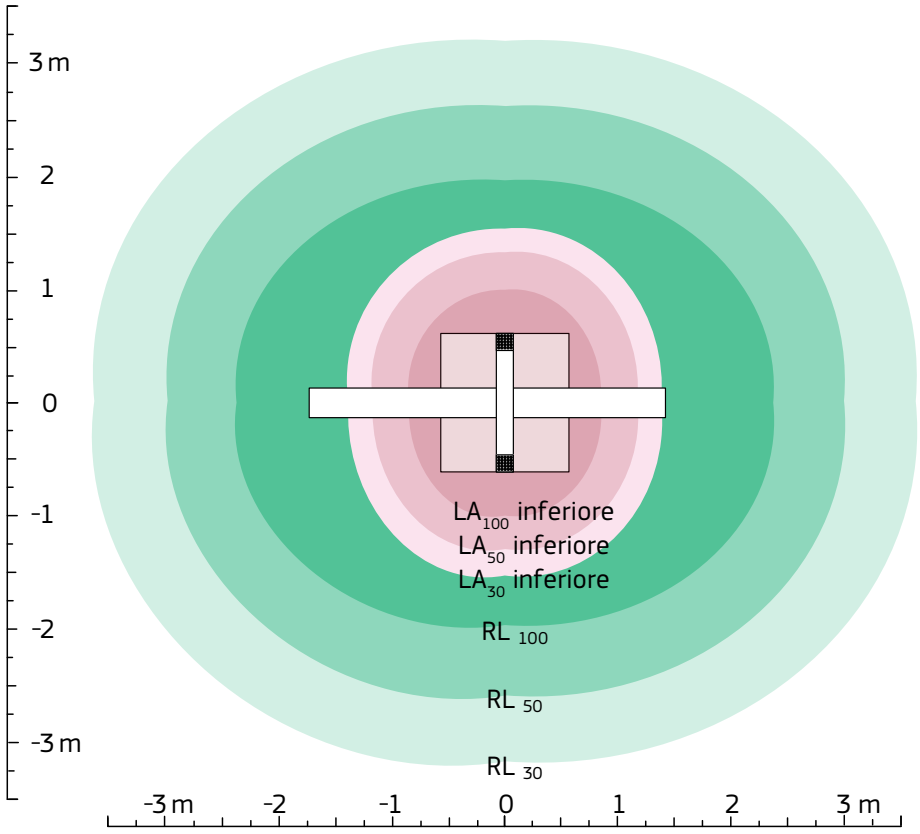
Tabella 7.1 — Informazioni che si consiglia ai fabbricanti di fornire

Questioni da considerare nella valutazione di un luogo di lavoro	• effetti non termici • effetti termici • effetti indiretti (specificare)
Condizioni operative in cui è stata effettuata la valutazione:	• capacità massima di alimentazione • scenari più pessimistici (specificare) • scenari tipici (specificare)
Media applicata al risultato della valutazione • spaziale • temporale	
Se l'apparecchiatura è utilizzata conformemente alla sua destinazione, l'esposizione dell'operatore in una posizione normale supera: • LA inferiore • LA superiore • LA relativo agli arti OPPURE • VLE relativi agli effetti sensoriali • VLE relativi agli effetti sanitari	
Se l'apparecchiatura è utilizzata conformemente alla sua destinazione, l'esposizione dell'operatore in una posizione normale supera i valori pertinenti della raccomandazione (1999/519/CE) del Consiglio per: • livello di riferimento OPPURE • limite di base	
Laddove l'intensità di campo può superare uno o più LA, indicare le distanze massime, o preferibilmente un piano di delimitazione, per le seguenti percentuali di LA: • 100 % • 50 % • 30 %	
Laddove l'intensità di campo può superare uno o più livelli di riferimento, fornire le distanze massime, o preferibilmente un piano di delimitazione, per le seguenti frazioni del livello di riferimento: • 100 % • 50 % • 30 %	

In generale i vincoli di spazio limiteranno il numero di unità che possono essere collocate in stretta prossimità. Poiché i campi di solito si riducono con la distanza (cfr. il capitolo 3), è poco probabile che l'apparecchiatura più lontana contribuisca in maniera significativa all'esposizione.

La figura 7.2 illustra i piani di delimitazione che possono essere forniti per l'apparecchiatura.

Figura 7.2 — Illustrazione dei piani di delimitazione che potrebbero essere forniti dai fabbricanti per aiutare gli utenti a garantire che l'effetto cumulativo prodotto dalla collocazione di diverse apparecchiature nel luogo di lavoro non provochi il superamento dei LA



L'esempio riguarda un'apparecchiatura generica con delimitazioni che indicano le distanze in cui il campo è uguale al 100 %, 50 % e 30 % (indicato dai pedici) dei LA interessati. Perimetri equivalenti vengono forniti per i livelli di riferimento nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio, indicati con LR, per agevolare la valutazione dei lavoratori particolarmente a rischio.

8. CALCOLO O MISURAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

La valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici è un tema specialistico e pochi datori di lavoro hanno l'esperienza necessaria per effettuare autonomamente queste valutazioni. Tuttavia ricorrere ad un appaltatore esterno potrebbe essere un'alternativa costosa. In generale i datori di lavoro avranno bisogno di ponderare questo costo rispetto all'attuazione di semplici misure di protezione o prevenzione (cfr. il capitolo 9). Al momento di considerare le opzioni disponibili, è importante tenere presente che l'esito di qualsiasi valutazione potrebbe tradursi nell'obbligo di attuare misure di protezione e prevenzione. Come si è affermato in precedenza nella presente guida, i campi spesso si riducono rapidamente con la distanza, pertanto limitare l'accesso alle aree nelle immediate vicinanze delle apparecchiature potrebbe rivelarsi una misura economica ed efficace.

8.1 Disposizioni della direttiva relativa ai campi elettromagnetici

La direttiva EMF prevede chiaramente che i datori di lavoro debbano valutare i rischi derivanti dai campi elettromagnetici cui sono esposti i propri dipendenti sul luogo di lavoro. Nell'ambito della valutazione dei rischi i datori di lavoro devono identificare e valutare i campi elettromagnetici nel luogo di lavoro. Questo però non comporta necessariamente calcoli o misurazioni poiché il datore di lavoro ha diritto di tener conto dei dati sui livelli di emissione e altri dati relativi alla sicurezza forniti dal fabbricante o dal distributore. Soltanto se non è possibile stabilire con certezza il rispetto dei VLE con altri mezzi, il datore di lavoro dovrà effettuare la valutazione dell'esposizione sulla base di misurazioni o calcoli.

Se i fabbricanti hanno fornito dati relativi all'esposizione o valutazioni dei rischi, sarà in genere più semplice ed economico dimostrare la conformità. Allo stesso modo, laddove dati rilevanti di valutazioni generiche sono messi a disposizione da parte di organismi governativi, organismi professionali e associazioni di categoria, solitamente per i datori di lavoro sarà più facile utilizzare questi dati piuttosto che effettuare valutazioni sull'esposizione. Entrambe le opzioni vengono discusse più dettagliatamente nel capitolo 7.

8.2 Valutazioni sul luogo di lavoro

Se i datori di lavoro decidono che è necessario valutare l'esposizione nel luogo di lavoro, spesso hanno a loro disposizioni più opzioni. In primo luogo occorre decidere se valutare l'esposizione mediante calcoli o misurazioni. Entrambi gli approcci sono accettabili per dimostrare la conformità alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici, e entrambi offrono numerose opzioni diverse di varia complessità.

I metodi di valutazione semplici si basano spesso su ipotesi o approssimazioni che comportano una sovrastima dell'esposizione. Di conseguenza, i metodi di valutazione più complessi daranno luogo probabilmente a distanze di conformità inferiori, ma saranno certamente più costosi in termini di tempo e denaro. Ne consegue che la scelta finale sarà determinata dalle particolari circostanze del lavoro e del luogo di lavoro. Tuttavia per molti datori di lavoro una valutazione relativamente semplice sarà perfettamente adeguata.

Le valutazioni dell'esposizione a campi elettromagnetici sono spesso complesse. Pertanto i datori di lavoro che si propongono di valutare autonomamente l'esposizione dovranno considerare le competenze di coloro che svolgono il lavoro. Alcuni datori di lavoro disporranno delle conoscenze e delle competenze all'interno dell'azienda, ma nella maggior parte dei casi l'acquisizione di tali competenza richiederà un notevole investimento.

Le valutazioni basate sulle misurazioni comportano investimenti supplementari per l'acquisizione degli strumenti necessari e la relativa taratura. Gli addetti alla valutazione dovranno conoscere nei dettagli le prestazioni tecniche necessarie degli strumenti, in modo da acquistare apparecchiature adatte. Dovranno anche sapere come utilizzare lo strumento «sul campo» ed essere consapevoli delle possibili difficoltà. Dovranno inoltre sapere che le misurazioni rappresentano una «istantanea» che dipende dai parametri operativi dell'apparecchiatura al momento dell'ispezione. Laddove le valutazioni sono effettuate raramente, i datori di lavoro possono decidere che il noleggio di strumenti da un fornitore affidabile costituisce un'opzione più efficace in termini di costi.

Infine è importante essere consapevoli che una valutazione non si limita a misurare dei campi. È importante valutare la natura del lavoro svolto per poter determinare l'ubicazione dei lavoratori. Per le frequenze per le quali è consentito il calcolo della media temporale, è altresì essenziale registrare i cicli di funzionamento dell'apparecchiatura e stimare la durata dell'occupazione delle aree.

8.3 Casi speciali

Esistono varie situazioni in cui le esposizioni potrebbero essere particolarmente complesse. Alcune di queste vengono trattate più approfonditamente nell'appendice D, come risulta nella tabella 8.1.

Tabella 8.1 — Ulteriori orientamenti su valutazioni complesse dell'esposizione

Scenario di valutazione	Appendice
Esposizione non uniforme	D2
Esposizione a campi con frequenze comprese tra 100 kHz e 10 MHz	D3
Esposizione simultanea a componenti di frequenza diversa.	D3
Esposizione a campi non sinusoidali	D3
Valutazione dei campi con frequenze comprese tra 0 e 1 Hz	D4

8.4 Richiesta di assistenza supplementare

Se i datori di lavoro non possiedono ancora le competenze e, nel caso delle misurazioni, gli strumenti per effettuare le valutazioni, sarà necessario un notevole investimento per acquisirli. Per alcuni datori di lavoro ciò potrebbe essere economicamente conveniente, ma non per tutti.

I datori di lavoro che intendono chiedere un'assistenza esterna devono sapere che ci sono vari fornitori in grado di offrirla. Le organizzazioni seguenti possono possedere l'esperienza e gli strumenti necessari per fornire assistenza:

- enti nazionali per la salute e la sicurezza;
- alcune autorità locali o nazionali offrono servizi gratuiti di valutazione ai datori di lavoro residenti nelle proprie zone;
- istituti di ricerca (come le università);
- fabbricanti di strumenti di misurazione o loro agenti;
- consulenti specializzati.

Al momento di rivolgersi a un fornitore esterno per avere assistenza, il datore di lavoro si accerta che questi sia competente a fornire i servizi richiesti. I datori di lavoro devono avere le prove che il fornitore di servizi:

- offra personale competente ed esperto nell'applicazione dei VLE e dei LA pertinenti, e di tutti i metodi di calcolo necessari;
- offra personale competente ed esperto nel tipo di valutazione richiesto;
- utilizzi strumenti capaci di misurare i campi in questione, tenendo conto di fattori quali le componenti della frequenza, le caratteristiche degli impulsi e la forma d'onda;
- sia in grado di dimostrare la tracciabilità della taratura rispetto a norme nazionali adeguate;
- sia in grado di stimare l'incertezza su eventuali misurazioni effettuate.

Il datore di lavoro dipende dal fornitore esterno per selezionare LA o VLE adeguati e per generare dati adatti alla comparazione. I fornitori dovranno dotarsi di un sistema di garanzia della qualità per assicurare l'attendibilità dei dati. Dovranno anche fornire una relazione scritta per spiegare al datore di lavoro il significato della valutazione e illustrare chiaramente le conclusioni tratte. Se opportuno, la relazione deve anche contenere raccomandazioni per azioni future.

Nota bene: misurazione o calcolo dell'esposizione

La valutazione dell'esposizione mediante misurazione o calcolo è solitamente complessa e dev'essere evitata se sono disponibili informazioni da altre fonti, quali i fabbricanti o le banche dati. Se è necessario effettuare una valutazione, i datori di lavoro devono valutare con attenzione se dispongono della capacità di farlo autonomamente.

Per molti datori di lavoro potrebbe essere più efficace, in termini di costi, ricorrere ad un'assistenza esterna, ma in questo caso dovranno accertarsi che i fornitori di servizi dispongano delle competenze, dell'esperienza e degli strumenti adeguati per effettuare la valutazione.

Sezione 4

SONO NECESSARIE ULTERIORI AZIONI?

9. MISURE DI PROTEZIONE E PREVENZIONE

La scelta di misure di protezione e prevenzione adeguate per una situazione specifica deve basarsi sull'esito della valutazione dei rischi. Questa fornirà informazioni sul modo in cui possono verificarsi esposizioni pericolose. La scelta delle misure volte a controllare i rischi dovrà anche tener conto della natura del lavoro da svolgere.

Come si è detto nel capitolo 6, se è possibile stabilire che i livelli di azione (LA) o i valori limite di esposizione (VLE) non saranno superati e non ci sono rischi significativi derivanti da effetti diretti o per i lavoratori particolarmente a rischio, non saranno necessarie ulteriori misure.

Per le aree in cui vi è il rischio di superare i LA o i VLE o che si producano effetti indiretti, il datore di lavoro dovrà verificare se l'area è accessibile quando sono presenti dei campi. Se l'accesso all'area è già adeguatamente limitato per altri motivi (per esempio per la presenza di tensioni elevate) normalmente non saranno necessarie ulteriori misure. Diversamente il datore di lavoro dovrà attuare misure supplementari.

Se si adottano ulteriori misure di protezione o prevenzione, gli aspetti corrispondenti della valutazione dei rischi devono essere riesaminati per accertare che tutti i rischi siano stati eliminati o ridotti al minimo.

In generale l'introduzione di misure di protezione o prevenzione durante la concezione e l'installazione di luoghi di lavoro o apparecchiature può offrire vantaggi considerevoli in termini di sicurezza e operatività. L'attuazione in una fase successiva potrebbe avere implicazioni notevoli in termini di costi.

9.1 Principi di prevenzione

Se si richiedono misure di protezione e prevenzione, l'articolo 6 della direttiva quadro specifica i principi di prevenzione che devono essere applicati a tutti i rischi (cfr. la tabella 9.1)

Tabella 9.1 — Principi di prevenzione specificati nella direttiva quadro

Principi di prevenzione
Evitare i rischi
Valutare i rischi che non possono essere evitati
Combattere i rischi alla fonte
Adeguare il lavoro all'uomo, in particolare per quanto riguarda la concezione dei luoghi di lavoro, la scelta delle attrezzature di lavoro e dei metodi di lavoro e produzione
Adeguarsi al progresso tecnico
Sostituire ciò che è pericoloso con ciò che non è pericoloso o che è meno pericoloso
Elaborare una politica di prevenzione coerente che integri la tecnologia, l'organizzazione del lavoro, le condizioni di lavoro, le relazioni sociali e i fattori legati all'ambiente di lavoro
Dare la priorità alle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale
Impartire adeguate istruzioni ai lavoratori

9.2 Eliminazione del pericolo

Il metodo più efficace per controllare i rischi è quello di eliminare del tutto i pericoli, eventualmente ricorrendo ad un processo alternativo che non comporti la generazione di forti campi elettromagnetici (per esempio preferendo dalla saldatura elettrica a resistenza la saldatura a laser). È chiaro tuttavia che ciò non sarà sempre realizzabile. Spesso non vi sarà un processo alternativo idoneo, oppure le alternative disponibili potrebbero comportare altri tipi di pericoli (nell'esempio precedente, la presenza di un raggio laser ad alta potenza) che comportano rischi uguali o maggiori per i lavoratori.

L'eliminazione dei pericoli spesso comporterà la riprogrammazione dell'intero processo e sostanziali investimenti in nuove apparecchiature. Spesso quindi questo sarà realizzabile soltanto durante l'allestimento iniziale o un in occasione di un ammodernamento radicale delle apparecchiature. In queste occasioni tuttavia è opportuno considerare altri approcci per ottenere gli stessi obiettivi senza generare forti campi elettromagnetici.

9.3 Ricorso a processi o apparecchiature meno pericolosi

Un approccio efficace per ridurre i rischi derivanti dai campi elettromagnetici consiste nel sostituire i processi o le apparecchiature con altri che producono meno campi elettromagnetici. Nella sua forma più semplice, per esempio, la saldatura dielettrica della plastica può comportare un'alta esposizione dell'operatore a campi elettromagnetici irradiati a radiofrequenza e perfino al rischio di ustioni da contatto con elettrodi esposti. In genere è possibile progettare apparecchiature che incorporino la schermatura per limitare l'intensità del campo irradiato e prevedere misure di automazione che allontanino ulteriormente l'operatore dagli elettrodi.
La sostituzione dell'impianto esistente con un'apparecchiatura più automatizzata e schermata di solito migliora l'efficienza del processo, ma comporta costi considerevoli in termini di capitale. Questa opzione è solitamente realizzabile soltanto nell'ambito del normale ciclo di sostituzione delle apparecchiature.

Nota bene: misure volte a ridurre i rischi

Se non è possibile ridurre i rischi con provvedimenti di eliminazione o sostituzione, sarà necessario adottare misure supplementari. I datori di lavoro hanno a disposizione molte opzioni e in generale le misure tecniche e organizzative saranno preferibili poiché offrono una protezione collettiva. Molte delle misure che potrebbero essere utilizzate per ridurre i rischi derivanti dai campi elettromagnetici sono simili a quelle utilizzate per altri pericoli caratteristici dei luoghi di lavoro.

9.4 Misure tecniche

L'attuazione di misure tecniche, se realizzabile, ha il vantaggio di offrire una protezione collettiva e di combattere i rischi alla fonte. Inoltre solitamente saranno più affidabili delle misure organizzative giacché non dipendono dall'iniziativa delle singole persone. Alcune misure tecniche, illustrate qui di seguito, possono rivelarsi efficaci nell'impedire o limitare l'accesso ai campi elettromagnetici.

9.4.1 Schermatura

La schermatura può essere un modo efficace per ridurre i campi elettromagnetici prodotti da una sorgente e spesso è incorporata nella progettazione dell'apparecchiatura al fine di limitare le emissioni. Il forno a microonde è un buon esempio. La rete dello sportello è collegata all'alloggiamento metallico del forno per formare uno schermo continuo che limiti le emissioni di microonde. Gli schermi possono essere applicati anche nei locali per ottenere un ambiente elettromagnetico debole, benché ciò solitamente avvenga per proteggere apparecchiature elettriche sensibili piuttosto che delle persone.

In pratica gli schermi per campi elettrici a radiofrequenza e a bassa frequenza rinchiudono la sorgente all'interno di una superficie conduttrice (una gabbia di Faraday). Questa normalmente è costituita da una lamiera o una rete metallica, ma è possibile usare anche altri materiali, come ceramica, plastica e vetro, con uno o più rivestimenti metallici oppure con una rete metallica inserita all'interno. Quest'ultimo procedimento è utile per gli sportelli qualora sia necessario controllare visivamente il processo. Se è necessario un flusso d'aria, ad esempio a scopo di raffreddamento, questo si può ottenere per mezzo di reti metalliche o materiali a nido d'ape.

Per essere efficace lo schermo dev'essere continuo. Eventuali interruzioni o giunture devono essere assai più piccole della lunghezza d'onda (cfr. l'appendice A) del campo elettromagnetico. Per questo motivo i pannelli che costituiscono lo schermo dovranno essere di norma fissati uno all'altro mediante viti o bulloni posti a distanza estremamente ravvicinata. Se è necessario rimuovere un pannello, questo dovrà essere rimontato applicando tutti i mezzi di fissaggio previsti per ridurre al minimo le fuoriuscite. Porte e pannelli di accesso sono dotati solitamente di una guarnizione di contatto per tutta la loro lunghezza. A parte eventuali interruzioni e giunture, l'efficacia della schermatura dipende dal materiale con cui è costruita, dallo spessore, dalla forma della schermatura stessa e dalla frequenza del campo.

I cavi e le altre guide di onde utilizzate per la trasmissione dei campi a radiofrequenza sono di norma schermati. Ciò serve essenzialmente a evitare l'emissione di onde radio, che provocherebbe forti perdite, ma anche a limitare l'entità dei campi ambientali. Qualsiasi perdita dell'integrità dello schermo può comportare fuoriuscite; occorre pertanto vigilare sul possibile deterioramento di giunture o gomiti.

La schermatura di campi magnetici statici e a bassa frequenza (inferiori a circa 100 kHz) è più difficile. È possibile schermare questi campi per mezzo di leghe metalliche speciali come il mu-metal; vi sono però forti limitazioni per cui tali materiali sono generalmente riservati ad applicazioni specialistiche.

Poiché la schermatura passiva dei campi magnetici è un procedimento complesso, spesso viene utilizzata la schermatura attiva, soprattutto per i campi statici (cfr. lo studio del caso delle unità NMR nel volume 2 della presente guida). Nella schermatura attiva si usa una bobina supplementare, solitamente un solenoide, per generare un campo magnetico contrario. L'annullamento dei due campi provoca una rapida riduzione dell'induzione magnetica lontano dalla sorgente.

9.4.2 Ripari

I ripari possono rappresentare un mezzo economico ed efficace per limitare l'accesso ad aree con forti campi elettromagnetici. Come si è osservato nel capitolo 3, le intensità di campo di solito diminuiscono rapidamente con l'aumentare della distanza dalla sorgente del campo; il ricorso a ripari costituisce quindi spesso un'opzione pratica per limitare l'accesso alle immediate vicinanze. Conoscendo la distribuzione del campo, chiunque abbia competenze di progettazione e installazione di ripari per macchine dovrebbe essere in grado di ideare una soluzione efficace.

Quando si installa un riparo in campi elettromagnetici di forte entità, è necessario scegliere il materiale del riparo in funzione del campo. Potrebbe quindi essere opportuno utilizzare materiali non metallici, per esempio barriere di plastica in impianti NMR con forti campi magnetici statici. Inoltre se si installano ripari metallici bisogna considerare il problema delle scariche di scintille e delle correnti di contatto, nonché di un adeguato collegamento di massa (sezioni 9.4.7 e 9.4.8).

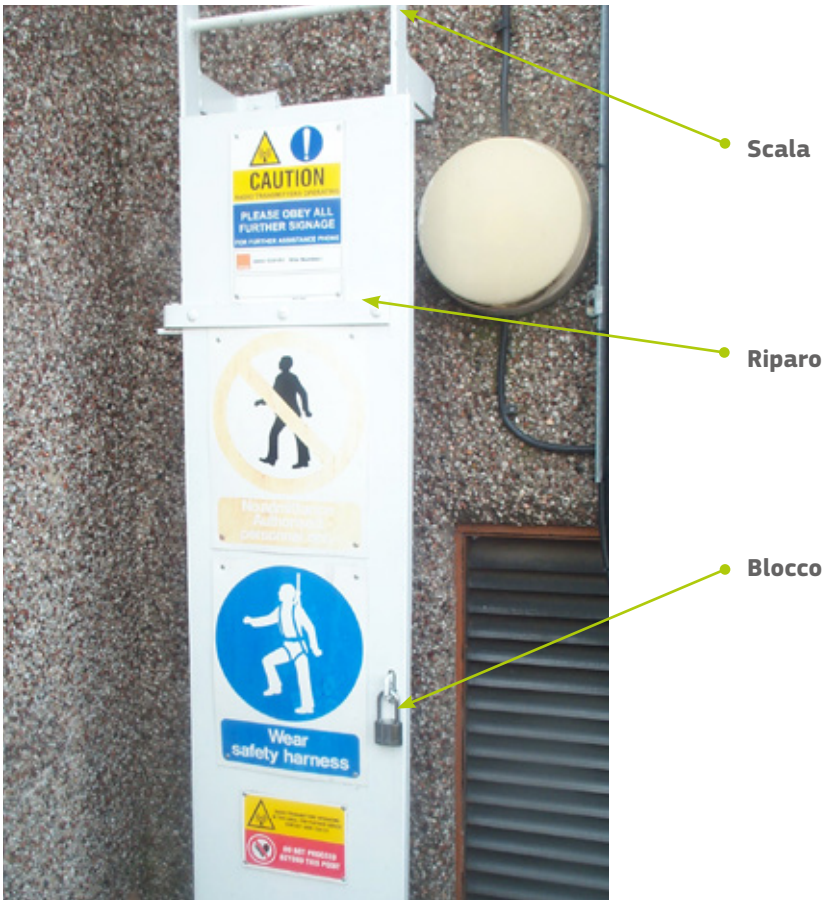
Qualora non sia necessario entrare nell'area ad accesso limitato nel corso delle normali operazioni, la soluzione più semplice ed economica è spesso quella dei ripari fissi. Questi ripari sono fissati in modo tale da richiedere l'uso di attrezzi per rimuoverli.

Ciò rende però i ripari fissi inadatti alle aree in cui si debba accedere frequentemente. In tal caso un riparo mobile può costituire una soluzione accettabile. Tali ripari dovrebbero essere normalmente interbloccati alla sorgente del campo, ma un riparo non interbloccato (figura 9.1) potrebbe essere accettabile quando il rischio è relativamente basso.

Figura 9.1 — Esempio di un semplice riparo mobile usato per limitare l'accesso a un forte campo magnetico. In questo caso il riparo non è interbloccato ma è integrato da cartelli di avvertimento e misure organizzative

Se i forti campi elettromagnetici sono accessibili soltanto mediante scale verticali fisse — ad esempio nell'installazione a tetto di antenne ad alta potenza (cfr. lo studio del caso nel volume 2 della presente guida) — un riparo per la scala potrebbe costituire un mezzo economico ed efficace per limitare l'accesso (figura 9.2).

Figura 9.2 — Utilizzo di un riparo per scale, allo scopo di limitare l'accesso a forti campi elettromagnetici su un tetto



9.4.3 Interblocchi

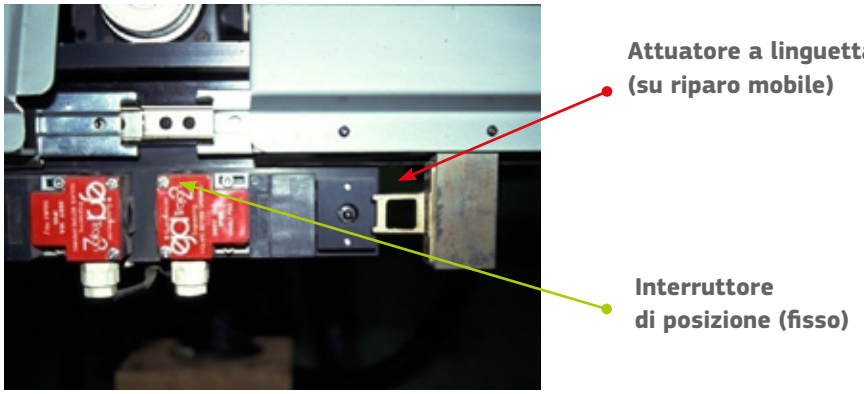
Se per limitare l'accesso a forti campi elettromagnetici si utilizzano ripari mobili, il riparo stesso dev'essere interbloccato alla sorgente del campo elettromagnetico. Il dispositivo di interblocco controlla la posizione del riparo e impedisce la generazione del campo elettromagnetico quando il riparo non si trova in posizione di completa chiusura.

Esistono vari tipi di dispositivi di interblocco, ognuno dei quali comporta vantaggi e svantaggi (cfr. la tabella 9.2). La scelta del dispositivo più appropriato dipende dalle circostanze specifiche e dev'essere effettuata tenendo conto dell'esito della valutazione dei rischi.

Tabella 9.2 — Esempi di diversi tipi di interblocchi

Tipo	Descrizione	Esempi
1	Interruttore meccanico senza codifica	Commutatore a camme rotanti su riparo incernierato Commutatore a camme lineari azionato da rotaia su riparo scorrevole Interruttore montato internamente all'interno della cerniera
2	Interruttore meccanico con codifica	Interruttore di posizione con attuatore a linguetta Sistema a chiave bloccata
3	Interruttore di posizione senza contatto e senza codifica	Interruttore di prossimità basato su metodi di identificazione induttivi, magnetici, capacitivi, ultrasonici od ottici
4	Interruttore di posizione senza contatto e con codifica	Interruttore di prossimità con identificazione magnetica codificata Interruttore di prossimità con identificazione a radiofrequenza (RFID)

Figura 9.3 — Interruttore di posizione con attuatore a linguetta, un esempio di dispositivo di interblocco di tipo 2



In presenza di forti campi elettromagnetici, sarà necessario considerare il rischio di interferenze con il funzionamento del dispositivo di interblocco e di eventuali circuiti associati. I dispositivi meccanici possono essere meno vulnerabili a interferenze elettromagnetiche.

Gli interblocchi devono soddisfare le pertinenti norme europee e devono essere installati con sistemi di fissaggio che richiedono l'utilizzo di un utensile per la rimozione.

Poiché normalmente l'apertura del riparo dovrebbe far cessare immediatamente la condizione di forte campo elettromagnetico, di solito non sarà necessario procedere al blocco del riparo (per cui il riparo rimane bloccato fino alla scomparsa del rischio).

9.4.4 Dispositivi di protezione sensibili

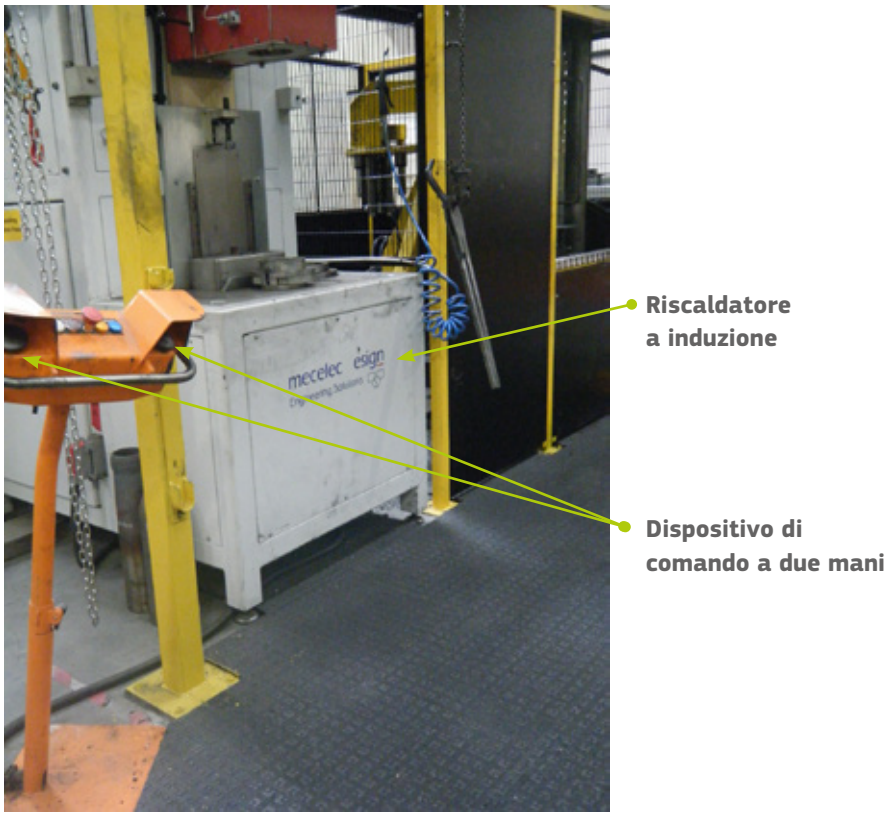
Laddove non sia possibile installare ripari fissi o mobili, un'altra opzione sono i dispositivi di protezione sensibili. Di questi fanno parte le barriere fotoelettriche, i dispositivi di scansione e tappeti sensibili alla pressione. Le apparecchiature possono rilevare l'ingresso o la presenza di una persona nell'area dei campi di forte entità e possono impedire il funzionamento delle apparecchiature che generano campi elettromagnetici.

I dispositivi di protezione sensibili si avvalgono di una serie di tecnologie di rilevazione, la cui idoneità varia a seconda della situazione specifica. Per scegliere il sistema più adatto i datori di lavoro devono rivolgersi a consulenti esperti. In particolare occorre tener conto del rischio di interferenze da parte di forti campi elettromagnetici.

9.4.5 Dispositivo di comando a due mani

Si può utilizzare un dispositivo di comando a due mani (figura 9.4) che richiede l'uso di entrambe le mani dell'operatore (attivazione simultanea). Ciò può rivelarsi utile per garantire che un operatore si trovi in una posizione specifica o che le sue mani restino fuori dall'area del campo di forte entità. Il dispositivo tuttavia non offre alcuna protezione agli altri lavoratori.

Figura 9.4 — Dispositivo di comando a due mani utilizzato per garantire la distanza tra il lavoratore e il riscaldatore a induzione



9.4.6 Arresti di emergenza

Se i lavoratori possono accedere ad ambienti potenzialmente pericolosi, è indispensabile predisporre arresti di emergenza. Gli arresti di emergenza più conosciuti sono i pulsanti rossi a fungo. L'arresto di emergenza deve essere a risposta rapida, interrompere tutti i servizi dell'area e impedirne il riavvio prima che sia stato effettuato il risettaggio.

I pulsanti degli arresti di emergenza devono essere posizionati nell'ambiente in quantità sufficiente in modo che ce ne sia sempre uno facilmente raggiungibile, e in ogni caso senza che sia necessario attraversare una zona pericolosa. Se gli arresti vengono installati in aree molto estese, conviene utilizzare interruttori a trazione di cavo piuttosto che pulsanti.

9.4.7 Misure tecniche per evitare le scariche di scintille

Le scariche di scintille possono verificarsi in forti campi elettromagnetici quando una persona tocca un oggetto conduttore il cui potenziale elettrico è diverso poiché uno dei due è collegato a terra e l'altro no. Le scariche di scintille possono essere evitate eliminando queste differenze di potenziale, mediante misure tecniche come la messa a terra degli oggetti conduttori e il collegamento dei lavoratori con oggetti di lavoro conduttori (collegamento equipotenziale).

In pratica potrebbe essere difficile attuare tutte queste misure tecniche data la difficoltà di realizzare efficacemente la messa a terra o il collegamento degli oggetti mobili. Di conseguenza di solito occorre associare alle misure tecniche adeguate misure organizzative, soprattutto la formazione del personale e, se possibile, l'utilizzo di attrezzature di protezione individuale.

9.4.8 Misure tecniche per evitare le correnti di contatto

Se una persona tocca un oggetto conduttore in un campo a radiofrequenza e uno dei due non è collegato a terra, la corrente di radiofrequenza può attraversare la persona fino a terra; ciò può provocare scosse o ustioni. È possibile attuare alcune misure per limitare le correnti di contatto. Riducendo l'intensità dei campi di dispersione, si riduce l'intensità di corrente della radiofrequenza, e si possono apportare ulteriori miglioramenti mediante isolamento e messa a terra. Infine occorre osservare che misure organizzative come la rimozione di oggetti conduttori inutili, soprattutto quelli di grandi dimensioni, ridurranno le occasioni di contatto.

9.5 Misure organizzative

In alcune situazioni potrebbe essere impossibile ridurre al minimo i rischi derivanti dai campi elettromagnetici mediante misure tecniche. In tali situazioni, il passo successivo sarà considerare l'opportunità di ricorrere a misure organizzative. Queste misure devono comunque prevedere la protezione collettiva, ma poiché solitamente dipendono dalle azioni delle persone sulla base delle informazioni disponibili, la loro efficacia sarà proporzionale alle azioni di tali persone. Le misure organizzative svolgono comunque un ruolo importante e possono costituire la principale misura di controllo in alcune circostanze, per esempio durante la messa in servizio e la manutenzione.

La scelta delle misure organizzative dipende dalla natura dei rischi e dal modo in cui è svolto il lavoro. Le misure possono comprendere la delimitazione di aree e la restrizione dell'accesso, segni, segnali ed etichette, nonché la nomina di addetti alla supervisione di aree o attività lavorative e procedure scritte.

9.5.1 Delimitazione dell'area e restrizione dell'accesso

In alcune situazioni la restrizione dell'accesso ad aree di campi di forte entità mediante misure tecniche, come i ripari, potrebbe essere di difficile attuazione. In queste situazioni si potrebbe utilizzare un ventaglio di misure organizzative per delimitare le aree in questione e imporre restrizioni all'accesso o alle attività. In generale si tratta di collocare segnali o avvisi, spesso insieme a segnaletica al suolo, per avvertire i lavoratori dei rischi e identificare le aree dei campi di forte entità.

Tabella 9.3 — Esempi di restrizioni di accesso o di altro tipo che possono essere richieste per aree con forti campi elettromagnetici

Criteri	Restrizioni
Effetti non termici VLE relativo agli effetti sanitari superato LA superiore superato LA relativo agli arti superato	Nessun accesso in presenza di campi
Effetti termici VLE relativo agli effetti sanitari superato LA relativo all'esposizione superato Livello di azione per corrente indotta attraverso gli arti superato	Restrizioni di accesso per limitare l'esposizione mediata nel tempo
VLE sensoriale superato temporaneamente LA inferiore superato temporaneamente	Accesso limitato a lavoratori in possesso della necessaria formazione Possono essere applicate altre restrizioni
Rischi propulsivi derivanti da forti campi magnetici statici	Restrizioni sull'introduzione nell'area di materiali ferromagnetici
Rischi per i lavoratori particolarmente a rischio	Restrizioni di accesso nelle aree con forti campi Informazioni sull'accesso al sito
Rischio di scariche di scintille prodotte da forti campi elettrici	Accesso limitato a lavoratori in possesso della necessaria formazione
Rischio di correnti di contatto	Accesso limitato a lavoratori in possesso della necessaria formazione Divieto di oggetti conduttori inutili

In alcune situazioni, laddove la segnaletica al suolo è già presente per avvertire di altri pericoli o restrizioni, si potrebbero utilizzare mezzi alternativi di delimitazione, per esempio segnaletica a parete o affissioni di piante dell'area in cui sono contrassegnate alcune zone.

Se i campi elettromagnetici sono presenti soltanto in alcune fasi del ciclo di lavoro, potrebbe essere utile indicare quando sono presenti i campi mediante segnali di avvertimento visivo (un segnale luminoso, per esempio) o acustico (una sirena).

Se l'accesso è limitato ad alcuni lavoratori, sarà necessario un processo di autorizzazione formale per le persone che hanno il diritto di accedere.

In alcuni casi potrebbe essere necessario stabilire restrizioni temporanee di accesso. Sarebbero opportune per un'installazione temporanea, oppure durante lavori di messa in servizio su un'installazione permanente, ma prima dell'installazione di ripari fissi. In queste situazioni di norma si possono installare barriere temporanee, su cui solitamente saranno affissi dei cartelli di avvertimento. Nel caso di situazioni di breve durata ma ad alto rischio, potrebbe essere opportuno anche incaricare i lavoratori della supervisione dei limiti dell'area per garantire che nessuno attraversi le barriere.

Figura 9.5 — Barriere temporanee e cartelli di avvertimento per limitare l'accesso a campi di elevata intensità generati da un'installazione temporanea

Se ci sono rischi di accensione di atmosfere infiammabili o di innesco di dispositivi elettro-esplosivi, è prassi normale delimitare l'area in cui si trova il pericolo principale (l'atmosfera infiammabile o il dispositivo elettro-esplosivo) e quindi imporre restrizioni a tutte le sorgenti di accensione o innesco, compreso il campo elettromagnetico, in quell'area.

9.5.2 Segnaletica e avvisi di sicurezza

I segnali e gli avvisi costituiscono un elemento importante di qualsiasi sistema di misure organizzative. L'efficacia della segnaletica e degli avvisi di sicurezza dipende dalla loro chiarezza e inequivocabilità. Devono essere collocati all'altezza degli occhi per ottimizzarne la visibilità. La natura del pericolo dev'essere indicata chiaramente. Pittogrammi esemplificativi rilevanti per i campi elettromagnetici vengono riportati nelle figure da 9.6 a 9.8 insieme ai loro significati riconosciuti. In generale sarà opportuno aggiungere un avviso con un testo supplementare per agevolare la comprensione. Questo approccio è particolarmente importante per quanto riguarda i segnali di prescrizione che impongono di indossare calzature o guanti isolanti o conduttori.

Figura 9.6 — Cartelli di avvertimento standard affissi in relazione ai campi elettromagnetici

Attenzione: campo magnetico

Attenzione: radiazioni non ionizzanti

Figura 9.7 — Cartelli di divieto standard affissi in relazione ai campi elettromagnetici

Vietato l'accesso ai portatori di dispositivi cardiaci impiantabili attivi

Vietato l'accesso ai portatori di impianti metallici

Figura 9.8 — Cartelli di prescrizione standard che potrebbero essere affissi in relazione ai campi elettromagnetici

Indossare calzature di sicurezza

Indossare guanti protettivi

Indossare un dispositivo di protezione per gli occhi

Segnaletica generale di azione obbligatoria

Se i campi elettromagnetici sono presenti soltanto a intermittenza, i cartelli di avvertimento devono essere affissi soltanto in presenza del campo, altrimenti rischiano di essere ignorati. In pratica ciò può avvenire girando il cartello (su un gancio o su un supporto scanalato) sul retro quando la situazione di pericolo viene meno.

È prassi normale apporre etichette di avvertimento che riportano lo stesso pittogramma su tutte le apparecchiature che generano campi elettromagnetici.

9.5.3 Procedure scritte

Qualora sia necessario ricorrere a misure organizzative per gestire i rischi derivanti da campi elettromagnetici, queste dovrebbero essere documentate nella valutazione dei rischi affinché tutti sappiano come occorre procedere. È necessario includere:

- la descrizione di tutte le aree oggetto di restrizioni particolari all'accesso o allo svolgimento di una determinata attività;
- informazioni dettagliate relative alle condizioni di accesso ad un'area o per lo svolgimento di una determinata attività;
- i requisiti specifici di formazione per i lavoratori (per esempio la formazione richiesta per superare temporaneamente il LA inferiore);
- i nominativi di coloro che sono autorizzati ad accedere alle aree;
- i nominativi dei membri del personale responsabili della supervisione del lavoro o dell'attuazione delle restrizioni di accesso;
- l'identificazione dei gruppi specificamente esclusi dalle aree, per esempio i lavoratori particolarmente a rischio;
- i particolari relativi alle disposizioni di emergenza, se del caso.

Copie delle procedure scritte devono essere consultabili nelle aree cui si riferiscono, e devono essere distribuite a tutte le persone potenzialmente interessate.

9.5.4 Informazioni sulla sicurezza del sito

È prassi comune fornire informazioni o istruzioni sulla sicurezza a coloro che entrano nel sito per la prima volta. Se nel sito sono state identificate alcune aree in cui l'accesso o attività specifiche sono soggetti a restrizioni, sarebbe opportuno spiegarlo nelle informazioni sulla sicurezza del sito.

Figura 9.9 — Le informazioni sulla sicurezza del sito fornite ai visitatori devono spiegare qualsiasi restrizione di accesso alle aree e in particolare i rischi per i lavoratori particolarmente a rischio

È particolarmente importante sottolineare se ci sono aree in cui potrebbero esserci rischi per lavoratori particolarmente a rischio. I gruppi «a rischio» riconosciuti devono essere identificati e ed è opportuno raccomandare a chiunque rientri in uno di questi gruppi di informarne l'ospite. Le informazioni devono comprendete un avviso per coloro che fanno parte di questi gruppi, ricordando di prestare attenzione a ulteriori segnali di avvertimento.

9.5.5 Supervisione e gestione

La sicurezza dei campi elettromagnetici dev'essere gestita tramite la stessa struttura di gestione della salute e sicurezza di altre attività potenzialmente pericolose. Le disposizioni organizzative possono variare nei dettagli a seconda delle dimensioni e della struttura dell'organizzazione.

Se i campi sono sufficientemente forti da richiedere una gestione specifica, sarà di norma opportuno nominare un membro esperto del personale per supervisionare gli aspetti giornalieri della sicurezza dei campi elettromagnetici nel luogo di lavoro.

9.5.6 Istruzione e formazione

L'articolo 6 della direttiva EMF riguarda specificamente l'offerta di informazioni e formazione ai lavoratori che potrebbero essere esposti a rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro. Il contenuto obbligatorio di questa formazione è illustrato nella tabella 9.4

Il livello di informazioni o formazione fornito dev'essere proporzionale ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici nel luogo di lavoro. Laddove la valutazione iniziale (cfr. il capitolo 3) abbia dimostrato che i campi accessibili sono così bassi da non richiedere alcuna azione specifica, dovrebbe essere sufficiente dare garanzie a riguardo. Tuttavia, anche in questa situazione, sarà importante avvertire i lavoratori o i loro rappresentanti che alcuni lavoratori potrebbero essere particolarmente a rischio. Qualsiasi lavoratore che rientri in uno dei gruppi «a rischio» riconosciuti dovrà essere incoraggiato a informarne i dirigenti.

Tabella 9.4 — Contenuto delle informazioni e della formazione specificato nella direttiva EMF

Misure adottate in applicazione della direttiva EMF
Entità e significato dei VLE e dei LA, possibili rischi associati e misure preventive adottate
Eventuali effetti indiretti dell'esposizione
Risultati della valutazione, della misurazione o del calcolo dei livelli di esposizione ai campi elettromagnetici effettuati a norma dell'articolo 4 della direttiva EMF
Modalità per individuare e segnalare gli effetti negativi dell'esposizione per la salute
Possibilità di sintomi e sensazioni temporanei dovuti a effetti sul sistema nervoso centrale o periferico
Circostanze in cui i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria
Procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione
Lavoratori particolarmente a rischio

Laddove è stato necessario attuare misure tecniche od organizzative specifiche in relazione a campi elettromagnetici, di norma è opportuno fornire alcuni elementi di formazione più strutturati. Se i rischi sono stati eliminati o ridotti al minimo esclusivamente mediante misure tecniche, dovrebbe essere sufficiente fornire istruzioni di sicurezza o svolgere un'analisi informale dei rischi. In questo modo si informeranno i lavoratori sui rischi e verranno illustrate le misure tecniche che sono state messe in atto per la loro protezione. La formazione dovrà sottolineare quanto sia importante notificare eventuali presunte mancanze o carenze delle misure protettive in modo che si possa ovviare a questi problemi.

Laddove la gestione dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici si basa in larga parte su misure organizzative o l'utilizzo di attrezzature di protezione individuale, la formazione dovrà di norma essere più formale e dettagliata.

Al momento di determinare l'approfondimento, l'ampiezza e la durata della formazione, il datore di lavoro dovrà considerare gli aspetti di cui alla tabella 9.5. È importante che qualsiasi formazione esamini i rischi derivanti dai campi elettromagnetici tenendo conto anche degli altri rischi del luogo di lavoro.

Tabella 9.5 — Aspetti di cui tener conto al momento di decidere in merito al livello di formazione richiesto

Esito delle valutazioni dei rischi
Competenze dei membri del personale e loro conoscenza dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici
Grado di partecipazione dei lavoratori alla gestione dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici
Tipo di ambiente di lavoro (stabile o cambiamenti frequenti)
La formazione è destinata ai lavoratori nuovi o è un corso di aggiornamento per tutto il personale?

Se ci sono rischi di scariche di scintille o correnti di contatto, la formazione dovrà identificare specificamente questi rischi. Dovrà anche illustrare le misure previste per ridurre i rischi, soprattutto laddove queste richiedano l'intervento dei lavoratori.

L'offerta di formazione dev'essere documentata.

9.5.7 Progettazione e assetto dei luoghi e delle postazioni di lavoro

I rischi derivanti dai campi elettromagnetici spesso possono essere ridotti al minimo con costi minimi o pari a zero progettando l'assetto del luogo di lavoro in generale e le singole postazioni di lavoro in particolare.

Per esempio le apparecchiature che generano forti campi elettromagnetici spesso possono essere posizionate lontano dalle aree di passaggio e da altre zone molto frequentate. In ogni caso è necessario disporre le apparecchiature in modo che l'accesso possa essere opportunamente limitato, qualora la conformità ai VLE non possa essere garantita.

Le apparecchiature che generano forti campi elettromagnetici devono essere collocate in modo che i lavoratori particolarmente a rischio non debbano attraversare campi che li espongano a rischi. Questi campi non devono mai estendersi alle aree di passaggio né ad altre aree, a meno che sia possibile escludere questi lavoratori dalle aree in questione.

Nel considerare l'assetto del luogo di lavoro, i datori di lavoro devono ricordare che i campi magnetici solitamente non sono attenuati da muri divisori e dovranno quindi considerare l'accesso alle aree circostanti. Questo aspetto è stato illustrato per le apparecchiature per l'ispezione con particelle magnetiche nello studio del caso dell'officina meccanica nel volume 2 della presente guida.

Spesso anche la struttura delle postazioni di lavoro è importante. Nell'esempio della figura 9.10 il campo nella posizione dell'operatore davanti alla saldatrice a punti è più debole del campo a fianco della saldatrice. Pertanto in questo tipo di situazione è importante organizzare la postazione di lavoro in modo che la posizione dell'operatore (in piedi o seduto) sia quella prevista (figura 9.10) e considerare altresì l'ubicazione dei lavoratori che svolgono altre mansioni.

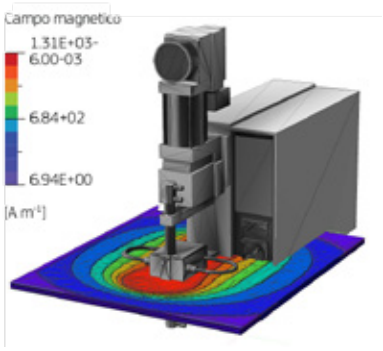
Figura 9.10 — Illustrazioni di buone e cattive pratiche nel predisporre la postazione di lavoro per una saldatrice a punti e considerare la collocazione dell'operatore

Buona pratica:

Il campo è più forte ai lati della saldatrice a punti che non davanti. Con questa disposizione, il lavoratore è in piedi davanti all'apparecchiatura per svolgere l'attività di saldatura. L'esposizione del lavoratore pertanto viene mantenuta bassa.

Cattiva pratica:

Con questo assetto, il lavoratore deve stare in piedi a fianco dell'apparecchiatura per svolgere l'attività di saldatura. Di conseguenza l'esposizione del lavoratore sarà più alta.



Il grafico illustra in che modo i perimetri del campo magnetico sono più distanziati ai lati della saldatrice.

9.5.8 Adozione di procedure di lavoro adeguate

Spesso i lavoratori possono ridurre al minimo la generazione di campi di forte intensità o ridurre la loro esposizione operando semplici cambiamenti nelle proprie procedure di lavoro. Per esempio se la corrente di alimentazione e la corrente di ritorno scorrono attraverso conduttori distinti, questi dovrebbero essere collocati in stretta prossimità, se possibile. Si otterrà così una sostanziale riduzione nel campo generato poiché flussi di corrente opposti provocheranno la cancellazione del campo.

I lavoratori devono fare attenzione ad allontanare i cavi dal loro corpo, ogni qualvolta sia possibile, soprattutto se ci sono cavi diversi per la corrente di alimentazione e di ritorno.

Le illustrazioni nella figura 9.11 mostrano esempi di buona e cattiva pratica nell'attività di saldatura. I cavi di saldatura sono pesanti e tendono a limitare i movimenti della pistola per saldatura. Di conseguenza gli addetti alla saldatura tendono a sostenere il cavo sulla spalla, o ad appenderlo intorno al collo. Questo inevitabilmente avvicina il campo di forte entità al cervello e al midollo spinale. L'opzione di sostenere il cavo con altri mezzi non soltanto ridurrebbe l'esposizione, ma sarebbe preferibile dal punto di vista ergonomico.

Figura 9.11 — Esempi di buone e cattive pratiche per l'instradamento del cavo per la saldatura ad arco

Buona pratica:

Il cavo viene allontanato dal corpo del lavoratore, e pertanto l'esposizione viene mantenuta bassa.

I cavi di alimentazione e di ritorno vengono tenuti insieme, per quanto possibile, la cancellazione del campo ridurrà quindi l'intensità dei campi nell'ambiente di lavoro.

Cattiva pratica:

In questo esempio il lavoratore sostiene il peso del cavo di saldatura sulla spalla. Questo tuttavia avvicina il cavo alla testa e al corpo, aumentando così l'esposizione.

Cattiva pratica:

In questo esempio il lavoratore sostiene il peso del cavo di saldatura sulla spalla formando un anello. In questa posizione si avvicina il cavo alla testa e al corpo, aumentando così l'esposizione.

Allo stesso modo, nell'ispezione con particelle magnetiche, è prassi comune completare il lavoro effettuando un ciclo di smagnetizzazione, che solitamente genera un campo iniziale più forte che nel ciclo di ispezione. Ma, a differenza del ciclo di ispezione, non è necessario che l'ispettore sia vicino al pezzo durante la smagnetizzazione e sarebbe buona prassi che, in questa fase del processo, si allontanasse.

In alcune situazioni la smagnetizzazione sarà effettuata utilizzando una bobina di smagnetizzazione (cfr. lo studio del caso dell'officina meccanica nel volume 2 della presente guida). Queste bobine solitamente sono munite di una rotaia e un piccolo carrello su cui montare il pezzo. L'utilizzo di sistemi spingipezzo e del carrello attraverso la bobina ridurrà al minimo l'esposizione dell'operatore.

9.5.9 Programmi di manutenzione preventiva

Le apparecchiature che generano campi elettromagnetici dovrebbero essere oggetto di un regolare programma di manutenzione preventiva e, se del caso, a ispezioni che ne garantiscano il funzionamento efficiente. La manutenzione adeguata è prevista dalla direttiva sulle attrezzature di lavoro (cfr. l'appendice G) e serve a ridurre al minimo qualsiasi aumento di emissioni dovuto al deterioramento delle apparecchiature.

Anche le misure tecniche per la limitazione delle emissioni o la restrizione dell'accesso a forti campi elettromagnetici devono essere soggette a manutenzione, ispezione e controlli continui per garantirne la piena efficienza.

La frequenza di queste attività di manutenzione e ispezione dipenderà dal tipo di apparecchiature, dal modo in cui vengono utilizzate e dall'ambiente in cui sono collocate. In generale i fabbricanti delle apparecchiature specificano gli intervalli di manutenzione adeguati e queste indicazioni sono in linea di massima affidabili. Tuttavia, ambienti particolarmente critici o l'uso intensivo delle apparecchiature possono accelerare il tasso di deterioramento e in questi casi sono giustificate manutenzioni e ispezioni più frequenti.

9.5.10 Restrizione di movimento in campi magnetici statici

Il movimento in forti campi magnetici statici può comportare l'induzione di campi elettrici a bassa frequenza nel corpo che possono produrre una serie di effetti. Tali effetti possono essere ridotti al minimo limitando l'estensione e la velocità del movimento attraverso i campi. Ciò vale soprattutto per il movimento di parti del corpo, come la rotazione della testa. Con la formazione e/o la pratica, i lavoratori possono imparare a limitare i propri movimenti, riducendo così al minimo qualsiasi effetto.

9.5.11 Coordinamento e cooperazione tra datori di lavoro

Qualora sia necessario far lavorare nello stesso sito dipendenti di diversi datori di lavoro, questi ultimi devono scambiarsi informazioni per garantire ai lavoratori un'adeguata protezione. Questa situazione si verifica frequentemente durante attività di installazione, messa in servizio e manutenzione delle apparecchiature, ma può anche verificarsi in altre situazioni. Per esempio è abbastanza comune che i datori di lavoro appaltino all'esterno molti servizi di supporto tra cui la pulizia, la gestione di impianti, l'immagazzinamento e la logistica, la salute del lavoro e i servizi informatici.

Per quanto riguarda i campi elettromagnetici, lo scambio di informazioni dovrebbe includere i particolari relativi a eventuali restrizioni all'accesso o alle attività in un'area specifica e qualsiasi rischio per i lavoratori particolarmente a rischio. Tali restrizioni dovranno essere concordate tra i datori di lavoro e ciascuno di loro dovrà garantirne il rispetto da parte dei propri dipendenti.

9.6 Dispositivi di protezione individuale

In base ai principi di prevenzione sanciti nella direttiva quadro (cfr. la tabella 9.1) la protezione collettiva dovrebbe sempre avere la priorità rispetto alle misure di protezione individuale. Talvolta tuttavia misure tecniche od organizzative che consentano un'adeguata protezione collettive potrebbero non essere attuabili. In questi casi può essere necessario ricorrere a dispositivi di protezione individuale.

Come si è osservato in precedenza nella sezione sulle misure tecniche, è relativamente semplice schermare i campi elettrici, ma è difficile ottenere una protezione efficace dai campi magnetici. Di conseguenza il ricorso alla protezione individuale per offrire protezione dai campi elettromagnetici non è facilmente praticabile. L'efficienza della protezione individuale dipende dalla frequenza del campo, e pertanto i dispositivi di protezione adatti per una gamma di frequenza difficilmente sono adatti per altre gamme.

La scelta delle apparecchiature adeguate dipenderà dalla situazione specifica e dal tipo di rischi che si vogliono evitare. In funzione delle situazioni, calzature, stivali o guanti isolanti o anti-elettricità statica possono essere efficaci nella riduzione dei rischi. Se sono necessarie calzature isolanti, di norma basteranno stivali da lavoro resistenti oppure scarpe con pesanti suole di gomma. Qualora la valutazione riveli che questo tipo di calzature non sono adeguate, potrebbe essere necessario reperire un fornitore di dispositivi di sicurezza più specializzato.

Il dispositivo di protezione degli occhi può essere utilizzato per proteggere gli occhi dai campi ad alta frequenza. In alcune situazioni potrebbe essere necessario l'utilizzo di tute protettive integrali, ma è opportuno ricordare che queste possono comportare nuovi rischi impedendo i movimenti o frenando la dispersione di calore per coloro che le indossano.

I dispositivi di protezione individuale devono essere sottoposti a manutenzione e ispezione adeguate per garantire che siano sempre idonee all'impiego previsto.

È opportuno accertare che i dispositivi di protezione individuale indossati per altri rischi siano compatibili con la presenza di forti campi elettromagnetici. Per esempio stivali di sicurezza con puntali in acciaio potrebbero non essere adatti in un ambiente con forti campi magnetici statici, mentre i campi magnetici a bassa frequenza, se sufficientemente forti, riscaldano il rinforzo in acciaio. Alcune tute protettive hanno delle componenti elettroniche che possono essere soggette a interferenze in forti campi elettromagnetici. Problemi simili si riscontrano con gli otoprotettori attivi.

10. PREPARAZIONE ALLE SITUAZIONI DI EMERGENZA

Se i datori di lavoro utilizzano apparecchiature o svolgono attività che potrebbero dar luogo a incidenti (o inconvenienti), devono predisporre piani di emergenza per far fronte alle conseguenze. In tale contesto, le circostanze sfavorevoli comprenderebbero le situazioni in cui qualcuno si ferisce o si ammala, nonché gli incidenti mancati (i cosiddetti «quasi incidenti») o gli eventi indesiderati. Le circostanze indesiderate potrebbero includere situazioni in cui il valore limite di esposizione (VLE) è stato superato ma nessuno si è ferito (e non vi è alcuna deroga applicabile). Un esempio sarebbe quello di un tecnico di antenne che incautamente entra nella zona di esclusione di un trasmettitore ad alta potenza prima che l'alimentazione sia stata interrotta.

Gli incidenti (o inconvenienti) possono anche essere causati da effetti indiretti, come l'interferenza con un dispositivo medico impiantabile o l'accensione di un'atmosfera infiammabile. Un altro esempio sarebbe un oggetto ferromagnetico attratto nella cavità di un'unità NMR dal forte campo magnetico statico (il cosiddetto «effetto propulsivo»).

Tabella 10.1 — Scenari da prevedere nei piani di emergenza

I piani di emergenza devono prevedere le misure da adottare e le responsabilità nel caso di:
effettiva esposizione di un lavoratore per superamento di un VLE (nessuna deroga applicabile)
incidente derivante da un effetto indiretto
sospetta esposizione del lavoratore per superamento di un VLE
incidente mancato o evento indesiderato derivante da un effetto indiretto

10.1 Elaborazione dei piani

La valutazione dei rischi di cui all'articolo 4 della direttiva EMF deve consentire al datore di lavoro di identificare gli incidenti ragionevolmente prevedibili (cfr. il capitolo 5 della presente guida). Una volta che il datore di lavoro abbia identificato e compreso la natura di questi potenziali incidenti, sarà possibile elaborare dei piani per far fronte alle conseguenze. In alcuni casi i fabbricanti possono illustrare, nella loro documentazione, le procedure di emergenza che devono prevalere su eventuali altri interventi.

La maggior parte dei datori di lavoro probabilmente dispone già di piani generali di emergenza e le potenziali circostanze indesiderate derivanti dai campi elettromagnetici possono pertanto essere affrontate ricorrendo alle disposizioni vigenti. I piani di emergenza possono includere disposizioni per gli interventi di pronto soccorso e le successive visite mediche (cfr. il capitolo 11 della presente guida). In ogni caso, il livello di dettaglio e la complessità dei piani dipenderà dal rischio. In generale è buona prassi testare i piani di emergenza per conoscerli meglio e individuarne le carenze.

10.2 Reazione in caso di incidenti

La reazione in caso di incidenti sarà necessariamente dinamica e dovrà corrispondere alla natura e alla gravità della circostanza. La figura 10.1 illustra una tipica sequenza di eventi in risposta ad un incidente. Non tutte le azioni saranno necessariamente adeguate ad ogni circostanza indesiderata.

La relazione iniziale sull'incidente deve contenere il maggior numero possibile di informazioni che potrebbero servire nelle ispezioni successive. La relazione dovrebbe di norma comprendere:

- una descrizione della natura dell'incidente;
- il modo in cui la circostanza stessa si è verificata;
- informazioni dettagliate su tutti membri del personale coinvolti e la loro ubicazione durante l'incidente;
- i dettagli delle eventuali lesioni subite;
- le caratteristiche della sorgente di campi elettromagnetici interessata:
  - — la frequenza;
  - — la potenza;
  - — le tensioni e le correnti di esercizio;
  - — il ciclo di funzionamento (se del caso).

Figura 10.1 — Sequenza di eventi in una tipica reazione in caso di incidente

Ulteriori informazioni sulla gestione di esposizioni accidentali a campi a radiofrequenza sono contenute nella relazione pubblicata dall'Istituto finlandese di medicina del lavoro (Alanko e al., 2014). Questo documento comprende, nell'appendice, modelli di relazione iniziale sull'incidente e di relazione tecnica.

11. RISCHI, SINTOMI E SORVEGLIANZA SANITARIA

L'articolo 8 della direttiva relativa ai campi elettromagnetici riguarda la sorveglianza sanitaria dei lavoratori che deve essere effettuata a norma dell'articolo 14 della direttiva quadro. Le disposizioni per la sorveglianza sanitaria in materia di campi elettromagnetici saranno probabilmente un adattamento dei sistemi già vigenti negli Stati membri. La redazione e la disponibilità della documentazione sanitaria dovranno conformarsi alla prassi e alla legislazione nazionali.

11.1 Rischi e sintomi

Gli effetti dell'esposizione ai campi elettromagnetici sono sintetizzati nel capitolo 2 che fornisce anche dettagli supplementari sugli effetti per la salute descritti nell'appendice B. Le esposizioni che superano i valori limite di esposizione (VLE) possono provocare — nel caso di campi a bassa frequenza — effetti sui tessuti nervosi e sui muscoli, oppure riscaldamento nel caso di campi ad alta frequenza. Il contatto con oggetti metallici può provocare scosse e ustioni in entrambe le gamme di frequenza. In generale si registrano lesioni fisiche soltanto in presenza di campi o esposizioni ben superiori ai livelli di azione (LA) o ai VLE. I LA e i VLE prevedono un margine di sicurezza, per cui un'unica esposizione di breve durata, di poco superiore al limite, può essere priva di conseguenze indesiderate.

11.1.1 Campi magnetici statici (da 0 a 1 Hz) ([1])

I campi magnetici statici a induzione superiore a 0,5 mT possono provocare interferenze con dispositivi medici impiantabili attivi, come stimolatori cardiaci e defibrillatori, o dispositivi medici portati sul corpo, come le pompe per l'infusione di insulina. Questa interferenza potrebbe avere conseguenze gravissime.

L'esposizione a campi magnetici statici ben superiori ai VLE relativi agli effetti sanitari potrebbe comportare variazioni nel flusso ematico degli arti e/o nel battito cardiaco. Attualmente questi effetti non sono ancora chiari e potrebbero non rappresentare un pericolo per la salute.

La presenza o il movimento in forti campi magnetici statici potrebbero provocare vertigini, nausea e altri effetti sensoriali. Potrebbero anche esserci variazioni meno evidenti in termini di attenzione, concentrazione o altre funzioni intellettive, con effetti dannosi sulla prestazione lavorativa e sulla sicurezza. È possibile indurre la stimolazione dei nervi e la contrazione dei muscoli involontari durante movimenti rapidi con un'esposizione dell'intero corpo superiore a 8 T oppure in situazioni che comportano un cambiamento rapido dell'induzione. Questi effetti sono reversibili, ed è pertanto improbabile che i sintomi persistano dopo la fine dell'esposizione.

([1]) Dal punto di vista scientifico i campi magnetici statici hanno una frequenza di 0 Hz, ma ai fini della direttiva relativa ai campi elettromagnetici si definiscono come statici i campi aventi una frequenza di 0-1 Hz.

11.1.2 Campi magnetici a bassa frequenza (da 1 Hz a 10 MHz)

L'esposizione a campi a bassa frequenza al di sotto del livello di azione (LA) inferiore può provocare interferenze con il normale funzionamento di dispositivi medici impiantabili attivi o dispositivi medici portati sul corpo. Eventuali disfunzioni potrebbero avere conseguenze gravi. La presenza di impianti metallici passivi potrebbe generare campi elettrici più forti in regioni localizzate all'interno del corpo, mentre l'impianto stesso può riscaldarsi per induzione, con il rischio potenziale di lesioni termiche.

Il primo segno di esposizione eccessiva in altri lavoratori può manifestarsi quando il lavoratore lamenta di vedere immagini vaghe e tremolanti (fosfeni) che possono provocare distrazione o una sensazione sgradevole. Il picco della sensibilità viene raggiunto a 16 Hz e per produrre fosfeni ad altre frequenze sono necessarie fortissime intensità di campo, ben superiori ai livelli normalmente incontrati dai lavoratori. Inoltre i lavoratori possono provare sensazioni di vertigini o nausea e durante l'esposizione possono manifestarsi leggeri cambiamenti per quanto riguarda la capacità di ragionamento, la risoluzione di problemi e il processo decisionale, con effetti dannosi sulla prestazione lavorativa e sulla sicurezza. Per quanto riguarda l'esposizione ai campi magnetici statici, si tratta di effetti reversibili, che difficilmente persisteranno dopo che l'esposizione è cessata.

Può verificarsi una stimolazione nervosa, con conseguente formicolio o dolore; si riscontrano anche spasmi incontrollati o altre contrazioni muscolari e nel caso di campi esterni molto forti ciò può avere anche effetti sul cuore (aritmia). In pratica questi effetti hanno probabilità di prodursi solo in presenza di intensità di campo ben superiori a quelle che comunemente si riscontrano nei luoghi di lavoro.

Inoltre gli effetti del riscaldamento si producono con esposizioni prossime all'estremità superiore di questa gamma di frequenze (cfr. la sezione 11.1.4).

11.1.3 Campi elettrici a bassa frequenza (da 1 Hz a 10 MHz)

I campi elettrici a bassa frequenza producono sui tessuti nervosi e sui muscoli effetti simili a quelli prodotti dai campi magnetici. Tuttavia le prime indicazioni della presenza di forti campi elettrici sono solitamente il movimento o la vibrazione della peluria corporea, e le scosse elettriche ricevute dai lavoratori che toccano oggetti conduttori non collegati a terra, presenti nel campo. La vibrazione della peluria può provocare distrazione o una sensazione sgradevole, e le scosse elettriche possono essere fastidiose, spiacevoli o dolorose a seconda dell'intensità del campo. Toccare oggetti all'interno di campi di forte entità può anche provocare ustioni.

11.1.4 Campi ad alta frequenza (da 100 kHz a 300 GHz)

L'esposizione a campi ad alta frequenza al di sotto del livello di azione (LA) rilevante può provocare interferenze con il normale funzionamento di dispositivi medici impiantabili attivi o dispositivi medici portati sul corpo. Eventuali disfunzioni possono avere conseguenze gravi. Gli impianti medici passivi metallici possono fungere da antenne assorbenti e provocare aumenti localizzati dell'esposizione dei tessuti alle radiofrequenze e possibili lesioni.

La prima indicazione dell'esposizione a campi ad alta frequenza può essere una sensazione di calore, mentre il corpo del lavoratore è riscaldato tutto o in parte dal campo. Tuttavia non è sempre così e la sensazione di calore non è un segnale di avvertimento attendibile. È altresì possibile «udire» campi pulsati tra 300 kHz e 6 GHz; i lavoratori esposti potrebbero sentire dei ticchettii, ronzii o sibili.

Un'esposizione prolungata del corpo intero può provocare un aumento della temperatura corporea. Un aumento della temperatura anche solo di pochi gradi può provocare confusione mentale, stanchezza, mal di testa e altri sintomi di stress termico. Gravosi carichi di lavoro fisico, oppure un lavoro svolto in ambienti caldi e umidi, aumentano la probabilità di tali effetti. La gravità dei sintomi dipende anche dalle condizioni fisiche del lavoratore, dall'eventuale disidratazione e dal tipo di indumenti indossati.

Un'esposizione corporea parziale può produrre riscaldamento localizzato o «punti caldi» nei muscoli o negli organi interni, e provocare anche ustioni superficiali che compaiono immediatamente al momento dell'esposizione. Gravi lesioni interne possono prodursi anche senza lesioni evidenti sull'epidermide. Una forte sovraesposizione può provocare danni ai muscoli e ai tessuti circostanti negli arti esposti (sindrome del comparto mediale) che si sviluppano istantaneamente oppure entro pochi giorni. In generale quasi tutti i tessuti possono tollerare senza danni aumenti delle temperature per brevi periodi, ma una temperatura di 41 °C che si protragga per più di 30 minuti produce danni.

Una riduzione temporanea della conta spermatica è possibile in caso di esposizioni che provochino un sensibile riscaldamento dei testicoli; il calore può anche aumentare il rischio di aborti spontanei nelle prime fasi della gravidanza.

L'occhio è notoriamente sensibile al calore, ed esposizioni molto alte, ben superiori al VLE, possono provocare l'infiammazione della sclera, dell'iride o della congiuntiva. Tra i sintomi si annoverano rossore, dolore agli occhi, fotosensibilità e restrizione della pupilla. Le cateratte (opacizzazione del cristallino) sono un effetto ritardato, raro ma possibile, dell'esposizione, che può prodursi a distanza di settimane o mesi dall'esposizione stessa. Non si segnalano effetti che si producano a distanza di anni dall'esposizione.

Per campi di frequenza superiore (all'incirca 6 GHz e più) l'assorbimento dell'energia diventa sempre più superficiale. Questi campi verranno assorbiti dalla cornea oculare, ma si producono ustioni solo in presenza di esposizioni ben superiori al VLE. Anche la pelle assorbe questi campi ad alta frequenza e in presenza di esposizioni sufficientemente elevate ciò può provocare dolore e ustioni.

È possibile che i lavoratori subiscano scosse elettriche o ustioni da contatto, qualora tocchino antenne in funzione o vengano a contatto con grandi oggetti metallici non collegati a terra (come un'automobile) nell'area del campo. Effetti simili si producono se un lavoratore non collegato a terra tocca un oggetto metallico collegato a terra. Queste ustioni possono essere superficiali o profonde all'interno del corpo. Gli impianti metallici, comprese le otturazioni dentali e i body piercing (nonché i gioielli e alcuni pigmenti per tatuaggi) possono concentrare il campo e produrre quindi riscaldamento localizzato e ustioni termiche. Un'elevata esposizione della mano può produrre a sua volta danni ai nervi.

Le relazioni su casi di singoli lavoratori colpiti da sovraesposizione segnalano anche altri possibili sintomi, tra cui mal di testa, disturbi intestinali, letargia, protratte sensazioni di formicolii nei tessuti esposti.

Le reazioni allo stress possono associarsi a sovraesposizione effettiva o sospetta.

Tabella 11.1 — Effetti e sintomi associati a un'esposizione superiore ai VLE relativi agli effetti sanitari

Campo	Frequenza	Possibili effetti e sintomi
Campi magnetici statici	0-1 Hz	Interferenza con dispositivi medici Nausea e vertigini. Effetti su flusso ematico, battito cardiaco, funzione cerebrale (possibile al di sopra di 7 T) Stimolazione dei nervi e contrazione dei muscoli (movimenti rapidi)
Campi magnetici a bassa frequenza	1 Hz-10 MHz	Interferenza con dispositivi medici Sensazioni visive Stimolazione nervosa, con conseguente formicolio o dolore Contrazione dei muscoli, aritmia cardiaca
Campi elettrici a bassa frequenza	1 Hz-10 MHz	Scosse elettriche e ustioni superficiali (in caso di contatto con oggetti)
Campi ad alta frequenza	100 kHz e oltre	Interferenza con dispositivi medici Sensazione di calore Stress termico Scossa e ustione superficiale o profonda (in caso di contatto con oggetti) Possibilità di altri sintomi
I campi intermedi (100 kHz-10 MHz) producono un quadro misto, in cui compaiono i sintomi sia delle alte che delle basse frequenze		

11.2 Sorveglianza sanitaria

La sorveglianza sanitaria di routine dei lavoratori dev'essere effettuata se prescritta dalla legislazione o la prassi nazionale. Tuttavia, in assenza di sintomi e rischi noti connessi alle esposizioni a campi elettromagnetici al di sotto dei VLE, non vi sono motivi per prescrivere visite mediche regolari. La sorveglianza può essere giustificata da altre ragioni.

I lavoratori particolarmente a rischio derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici comprendono le donne in gravidanza e i portatori di dispositivi medici impiantabili attivi o passivi o di dispositivi indossati sul corpo. Questi lavoratori dovrebbero consultare periodicamente il responsabile per la medicina del lavoro per accertarsi di essere pienamente al corrente delle restrizioni supplementari che li riguardano nel luogo di lavoro. Tali consultazioni offrono anche al lavoratore l'opportunità di segnalare eventuali effetti indesiderati o inattesi sulla salute, e di tenere la situazione sotto controllo.

Una visita medica può essere consigliabile anche per i lavoratori colpiti da effetti indesiderati o inattesi sulla salute.

11.3 Visita medica

Una sovraesposizione accidentale che provochi lesioni o danni dovrebbe essere trattata come gli altri incidenti sul lavoro, conformemente alla prassi e alla legislazione nazionale.

L'immediato intervento dell'operatore sanitario più indicato può rendersi necessario se il lavoratore ha subito scosse e/o ustioni, oppure accusa dolori o un aumento della temperatura. Tali effetti dovrebbero essere trattati con i metodi consueti, secondo i sistemi vigenti sul luogo di lavoro. I lavoratori che abbiano subito scosse o ustioni dovrebbero essere seguiti da un medico con adeguata esperienza. Gli altri lavoratori possono essere seguiti, per i propri sintomi, dal medico curante o dallo specialista in medicina del lavoro.

Per la sovraesposizione a un campo elettromagnetico non si prevedono esami specifici. Per esempio non vi sono prove che l'esposizione a campi elettromagnetici provochi l'alterazione di parametri ematici come quelli dell'emocromo, dell'urea e degli elettroliti, o della funzione epatica. Una visita oculistica può essere opportuna nel caso di sovraesposizione a campi ad alta frequenza; dovrebbe essere ripetuta entro tre mesi dal primo controllo. Tale visita normalmente dovrebbe essere effettuata da un oftalmologo.

11.4 Documentazione

I lavoratori che hanno subito (o si ritiene abbiano subito) esposizioni superiori ai VLE dovrebbero avere la possibilità di sottoporsi a visite mediche. Tali visite dovrebbero essere gratuite, e dovrebbero aver luogo durante l'orario di lavoro. La documentazione relativa dovrebbe essere redatta e conservata secondo la legislazione e la prassi nazionale.

La documentazione dovrebbe contenere una sintesi delle azioni svolte, in forma tale da essere consultabile successivamente, fatta salva la riservatezza. Su richiesta i singoli lavoratori devono aver accesso alla propria documentazione.

Gli eventuali dettagli disponibili per qualsiasi sovraesposizione, effettiva o sospetta, devono essere registrati il prima possibile. La documentazione deve contenere l'intensità e la durata dell'esposizione nonché la frequenza del campo (per stimare la profondità di penetrazione del campo nel corpo). È altresì importante determinare se l'esposizione abbia interessato tutto il corpo o solamente specifiche parti di esso, e se il lavoratore fosse portatore di uno stimolatore cardiaco o altro dispositivo medico. Esempi di tale documentazione sono contenuti nella relazione dedicata, dall'Istituto finlandese di medicina del lavoro, al lavoro svolto entro campi elettromagnetici da portatori di stimolatore cardiaco (Alanko e al., 2013).

Sezione 5

MATERIALE DI RIFERIMENTO

APPENDICE A. NATURA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

I campi elettromagnetici che conosciamo meglio sono probabilmente quelli che si verificano in natura. Il campo magnetico della Terra, che possiamo rilevare sulla superficie terrestre, è prodotto, si ritiene, da correnti elettriche generate in profondità entro il nucleo di ferro fuso del pianeta. Anche se non ne comprendiamo completamente le origini, l'interazione tra questo campo e i materiali magnetici utilizzati nelle bussole viene sfruttata da secoli per la navigazione. Analogamente, la carica elettrica generata all'interno delle formazioni temporalesche produce altissime tensioni tra le formazioni stesse e la superficie terrestre. Tali tensioni generano campi elettrici tra le formazioni e la terra, che producono forti e rapide scariche di corrente elettrica, note come fulmini.

Figura A1 — Sorgenti naturali di campi elettromagnetici: (a) una bussola utilizzata per rilevare la direzione del campo magnetico statico della terra e (b) scariche ad alta tensione tra le formazioni temporalesche e la terra, ossia «fulmini»

(a)

(b)

A.1 La scoperta dell'elettromagnetismo

Gli effetti dell'elettricità statica e del magnetismo sono noti fin dall'antichità. Tuttavia, un primo passo decisivo verso la comprensione dei fenomeni elettromagnetici è stato compiuto, con ogni probabilità, da Luigi Galvani che nel 1780 scoprì che era possibile far contrarre le zampe di una rana utilizzando l'elettricità generata da due metalli diversi. Un decennio più tardi Alessandro Volta sfruttò questo principio per costruire la pila voltaica.

In Europa il ritmo delle scoperte si fece sempre più intenso e nel 1820 l'associazione tra correnti elettriche e campi magnetici fu dimostrata da Hans Christian Oersted che riuscì a far deviare l'ago di una bussola usando un cavo percorso da corrente elettrica. André-Marie Ampère scoprì che cavi percorsi da corrente producono forze l'uno sull'altro e Michael Faraday studiò l'induzione magnetica.

Alcuni anni dopo, James Clerk Maxwell formulò la teoria dell'elettromagnetismo su base matematica e nel 1873 pubblicò il suo trattato di elettricità e magnetismo. Le idee di Maxwell sulle onde elettromagnetiche sono valide ancora oggi giacché costituiscono la base della teoria elettromagnetica.

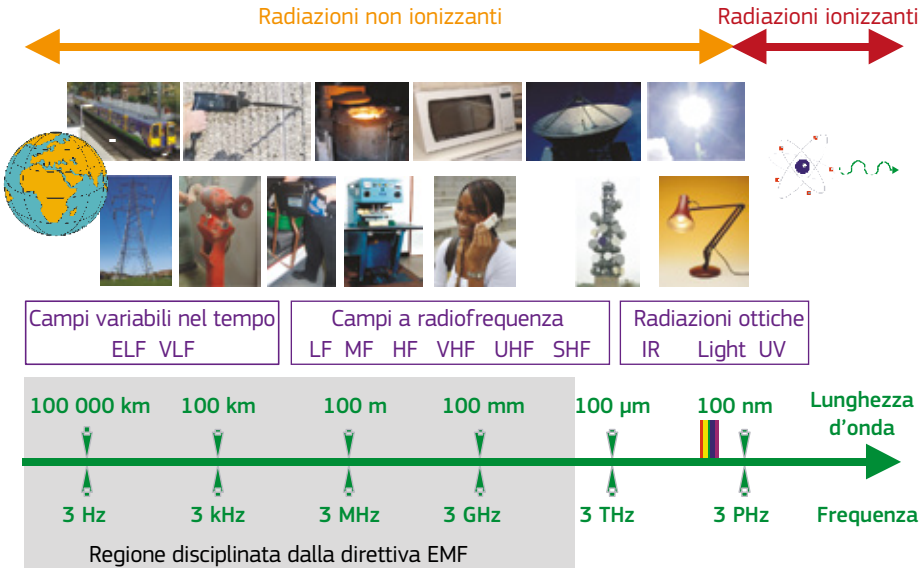
Nel 1885 Heinrich Hertz confermò le idee di Maxwell generando e scoprendo le onde elettromagnetiche; dieci anni dopo Guglielmo Marconi utilizzò questa scoperta per inviare messaggi su lunghe distanze mediante segnali radio. Un altro importantissimo progresso per quanto riguarda la produzione di energia elettrica fu compiuto da Nikolai Tesla, che nel 1892 costruì il primo generatore di corrente alternata.

Nel mondo moderno i campi elettromagnetici sono ormai comunissimi. È difficile immaginare una società moderna senza apparecchi elettrici. Il ventesimo secolo ha assistito a un massiccio incremento dell'uso dell'energia elettrica per scopi industriali e domestici. Una crescita analoga si è registrata per le trasmissioni radiotelevisive, mentre tra la fine del ventesimo secolo e l'inizio del ventunesimo l'avvento dei telefoni cellulari e di altri dispositivi senza fili ha prodotto una rivoluzione nel campo delle telecomunicazioni. I campi elettromagnetici sono ampiamente usati anche in applicazioni specialistiche, come la radionavigazione e le applicazioni mediche.

A.2 Lo spettro elettromagnetico

Lo spettro elettromagnetico, illustrato nella figura A2, copre una vasta gamma di radiazioni con differenti frequenze e lunghezze d'onda. La relazione tra frequenza e lunghezza d'onda è spiegata nell'Appendice C. La parte dello spettro disciplinata dalla direttiva EMF va dai campi statici (0 Hz) ai campi elettromagnetici variabili nel tempo con frequenze sino a 300 GHz (0,3 THz). In questa regione rientrano le radiazioni comunemente definite campi statici, campi variabili nel tempo e onde radio (comprese le microonde). Altre sezioni dello spettro elettromagnetico non trattate dalla direttiva EMF comprendono la regione ottica (raggi infrarossi, visibili e ultravioletti) e la regione ionizzante. Queste sezioni sono coperte rispettivamente dalla direttiva 2006/25/CE sulle radiazioni ottiche artificiali e dalla direttiva sulle norme fondamentali di sicurezza (2013/59/Euratom).

Figura A2 — Lo spettro elettromagnetico

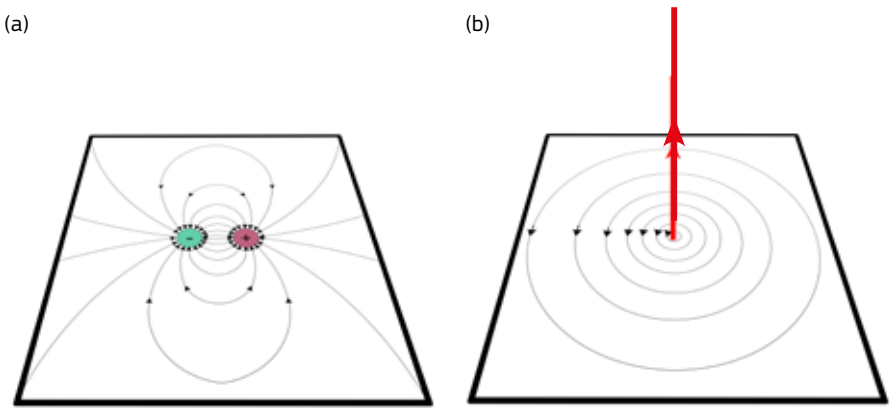


La radiazione elettromagnetica nella gamma di frequenza coperta dalla direttiva EMF non dispone dell'energia sufficiente per rimuovere gli elettroni dagli atomi di un materiale ed è pertanto classificata come non ionizzante. I raggi X e i raggi gamma sono radiazioni elettromagnetiche ad alta energia capaci di rimuovere questi elettroni orbitali e sono pertanto classificati come radiazioni ionizzanti.

A.3 Produzione di campi elettromagnetici

Le cariche elettriche producono un campo elettrico. Quando si muovono, creando una corrente elettrica, viene prodotto anche un campo magnetico. La direttiva relativa ai campi elettromagnetici cerca appunto di affrontare i rischi per la salute e per la sicurezza nel luogo di lavoro derivanti da questi campi elettrici e magnetici.

Figura A3 — Rappresentazioni delle linee di campo intorno a: (a) cariche elettriche e (b) un flusso di corrente elettrica, indicate come una linea rossa



La produzione di un campo magnetico intorno a un magnete permanente è dovuta alla sommazione di tutti i campi magnetici prodotti dall'allineamento del movimento degli elettroni nel materiale. In un materiale non magnetico tale allineamento non avviene e pertanto i campi magnetici minuscoli generati intorno a ogni atomo si estinguono.

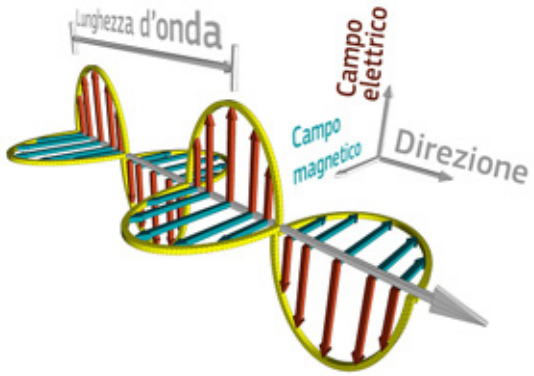
A.3.1 Campi variabili nel tempo

Se la carica elettrica su un oggetto varia nel tempo o varia il flusso della carica (corrente), si producono campi variabili nel tempo. La natura dei campi variabili nel tempo è regolata dalla frequenza delle oscillazioni. A basse frequenze i campi elettrici e magnetici si possono considerare indipendenti. All'aumentare della frequenza, passando nella regione delle radiofrequenze, i campi presentano un accoppiamento più forte: un campo elettrico variabile nel tempo induce un campo magnetico e viceversa. Proprio tale interazione tra campi elettrici e campi magnetici consente alle radiazioni elettromagnetiche di percorrere lunghe distanze.

A.3.2 Campi elettromagnetici radianti

L'interazione tra campi elettrici e magnetici a livello di radiofrequenze consente all'energia di irradiarsi dal punto di produzione. Nel campo estremo, le due componenti, il campo elettrico e quello magnetico, oscillano ad angolo retto l'una rispetto all'altra e ad angolo retto rispetto alla direzione in cui l'onda si muove. Tutto questo avviene alla stessa velocità a cui viaggia la luce. La progettazione del trasmettitore consente di emettere le radiazioni in tutte le direzioni oppure di indirizzarle in una direzione particolare.

Figura A4 — Le radiazioni elettromagnetiche consistono di un campo elettrico e di uno magnetico che oscillano ad angolo retto l'uno rispetto all'altro e si muovono alla velocità della luce



APPENDICE B. EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI PER LA SALUTE

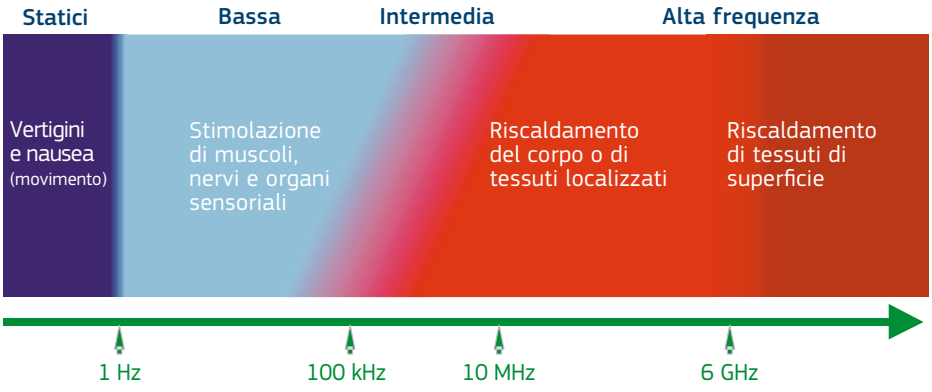
B.1 Introduzione

La natura di qualsiasi reazione causata dall'esposizione a un campo elettromagnetico dipende in primo luogo dalla frequenza del campo applicato in quanto le varie frequenze interagiscono con il corpo in maniera differente. Di conseguenza gli effetti dei campi a bassa frequenza non sono uguali a quelli prodotti da frequenze più elevate: i campi a bassa frequenza provocano stimolazione dei nervi e dei muscoli, mentre i campi ad alta frequenza causano un riscaldamento.

Sulla base dell'interazione con le persone, i campi elettromagnetici possono essere suddivisi in quattro ampie regioni (figura B1): quelli con frequenza da 0 a 1 Hz (campi statici); quelli con frequenze da 1 Hz a 100 kHz (campi a bassa frequenza); quelli con frequenze da 100 kHz a 10 MHz (campi a frequenza intermedia); e quelli con frequenze superiori a 10 MHz (campi ad alta frequenza). Al di sopra di alcuni GHz, il riscaldamento si limita sempre di più alla superficie del corpo.

La direttiva EMF definisce come effetti non termici gli effetti che si producono in conseguenza di azioni sul sistema nervoso, e invece come effetti termici gli effetti di riscaldamento che sono conseguenza dell'esposizione a campi superiori a 100 kHz.

Figura B1 — Rappresentazione schematica dei principali effetti diretti dei campi elettromagnetici, indicante i principali valori soglia delle frequenze usate per definire i valori limite di esposizione e i livelli di azione nella direttiva EMF



L'entità della reazione a una data frequenza dipende dall'intensità del campo: campi più deboli producono essenzialmente effetti di percezione o sensoriali, mentre campi più forti producono reazioni più gravi. A qualsiasi frequenza, perché una reazione si verifichi è comunque necessario superare un valore soglia di esposizione.

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici tutela i lavoratori esposti indicando una serie di valori limite di esposizione (VLE). Per ciascuna gamma di frequenze c'è un valore inferiore per la limitazione degli effetti sensoriali e un valore superiore per la limitazione degli effetti sulla salute (cfr. la tabella B1). Tali valori si basano sulle raccomandazioni della Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP) e considerano soltanto gli effetti a breve termine dell'esposizione basati su validi meccanismi di interazione biofisica.

Tabella B1 — Sintesi degli effetti sensoriali e per la salute utilizzati per limitare le esposizioni in diverse regioni di frequenze

Campo e frequenza	Effetti sensoriali	Effetti per la salute
Campo magnetico statico 0-1 Hz	Vertigini, nausea, gusto metallico	Alterazioni del flusso ematico negli arti e delle funzioni cerebrali; Alterazioni della funzione cardiaca
Campi a bassa frequenza 1 Hz-10 MHz	Fosfeni (percezioni di lampi di luce) (Lievi alterazioni delle funzioni cerebrali 1-400 Hz)	Formicolio o dolore (stimolazione nervosa) Spasmi muscolari Disturbi del ritmo cardiaco
Campi ad alta frequenza 100 kHz-6 GHz	Disturbi uditivi da microonde (200MHz-6,5 GHz)	Riscaldamento eccessivo o ustioni estesi a tutto il corpo o localizzati
Campi ad alta frequenza 6-300 GHz		Danno da calore localizzato agli occhi o alla pelle
NB: Gli effetti dei campi a frequenza intermedia (100 kHz-10 MHz) sono una combinazione degli effetti dei campi ad alta e di quelli a bassa frequenza.		

Benché sia sempre possibile che un'esposizione ripetuta e protratta nel tempo produca rischi per la salute non ancora identificati, nella direttiva EMF viene specificato che non si affrontano potenziali effetti a lungo termine.

B.2 Campi magnetici statici (da 0 a 1 Hz)

Le persone a riposo non subiscono generalmente effetti dai campi magnetici statici tranne forse nel caso di intensità molto elevate, allorché si potrebbero registrare effetti sul cuore o sul cervello (cfr. la tabella B1). Si registrano però effetti nelle persone che si muovono all'interno di questi campi. Il movimento produce campi elettrici nei tessuti che possono avere un impatto sui tessuti nervosi. Secondo alcuni recenti risultati tali effetti possono verificarsi anche in persone che non si muovono. L'entità dei campi elettrici indotti dipende dai gradienti temporali e spaziali.

Gli organi dell'equilibrio situati nell'orecchio sono particolarmente sensibili; quindi, camminando o muovendo rapidamente la testa all'interno del campo è possibile provare capogiri (vertigini). Può essere interessata anche la lingua, con sensazioni di alterazioni del gusto; sono state segnalati anche nausea e altri sintomi in lavoratori che operavano nei pressi di apparecchiature RMI in funzione. Tutti questi effetti sono transitori e cessano nel momento in cui il movimento cessa o rallenta.

Non vi sono prove che l'esposizione causi danni permanenti o gravi effetti nocivi. Per prevenire tali effetti è opportuno muoversi lentamente all'interno del campo; la limitazione dell'induzione magnetica esterna a 2 T tutela a sua volta il lavoratore.

B.3 Campi elettrici a bassa frequenza (da 1 Hz a 100 kHz)

B.3.1 Campi elettrici a bassa frequenza

I campi elettrici a bassa frequenza esterni al corpo possono indurre campi elettrici all'interno dei tessuti del corpo stesso. La superficie del corpo però assicura una forte schermatura, e quindi il campo indotto all'interno del corpo è di intensità assai minore del campo esterno.

In linea di principio i campi elettrici indotti potrebbero generare effetti simili ai campi indotti dall'esposizione a campi magnetici a bassa frequenza (cfr. la sezione B.3.2). Tuttavia, in conseguenza dell'effetto di schermatura, il campo elettrico indotto è normalmente troppo debole per produrre effetti nocivi per i campi elettrici esterni solitamente presenti nel luogo di lavoro.

Inoltre i campi elettrici a bassa frequenza producono un altro effetto che non si osserva nei campi magnetici. Un lavoratore che si trovi in piedi in un campo elettrico di sufficiente intensità può lamentare una sensazione di pizzicore e formicolio sulla pelle; questa eventualità può verificarsi talvolta sotto cavi elettrici ad alta tensione in una giornata asciutta. La causa sta nel fatto che il campo elettrico a bassa frequenza produce un accumulo di corrente sulla superficie del corpo, per cui la peluria sulla pelle si muove e vibra (a una frequenza doppia rispetto a quella del campo a bassa frequenza). Sensazioni simili si possono provare se la peluria vibra contro gli indumenti.

B.3.2 Campi magnetici a bassa frequenza

I campi magnetici a bassa frequenza inducono nel corpo umano campi elettrici che possono stimolare gli organi sensoriali a valori di campo inferiori, oppure stimolare i nervi e i muscoli (soprattutto quelli delle braccia e delle gambe) in presenza di campi più forti. Gli effetti sugli organi sensoriali non sono dannosi, ma possono provocare distrazione o una sensazione sgradevole nei lavoratori; gli effetti di campi più forti possono essere spiacevoli o addirittura dolorosi.

I differenti tessuti raggiungono il picco della sensibilità a frequenze differenti e pertanto anche gli effetti provati cambiano a seconda della frequenza.

Tabella B2 — Siti di interazione e picchi di sensibilità per differenti effetti

Effetto	Sito di interazione	Picco di sensibilità (Hz)
Gusto metallico	Recettori sulla lingua	< 1Hz
Vertigini, nausea Stimolazione di muscoli e nervi	Orecchio interno (sistema vestibolare) Campi elettrici nei tessuti indotti dal flusso ematico	< 0,1-2 Hz
Fosfeni	Cellule retiniche dell'occhio	~ 20 Hz
Sensazione tattile e dolorosa Contrazione muscolare indotta Effetti sul cuore	Nervi periferici Muscoli e nervi periferici Cuore	~ 50 Hz

L'occhio sembra molto sensibile agli effetti dei campi elettrici indotti; l'effetto più comunemente segnalato dell'esposizione è quello dei fosfeni, ossia sensazioni visive tremolanti alla periferia del campo visivo (un effetto più o meno analogo si può ottenere massaggiando leggermente gli occhi chiusi). La limitazione del campo elettrico indotto nel sistema nervoso previene questi effetti e tutela il lavoratore.

Questi effetti di cariche elettriche di superficie non riguardano solo le persone; qualsiasi oggetto metallico o conduttore, come veicoli o barriere non collegate elettricamente a terra, può essere caricato dal campo elettrico. Chiunque tocchi questi oggetti riceve una lieve scossa elettrica. Mentre una singola scossa può essere sorprendente, ricevere scosse ripetute toccando un oggetto può essere sgradevole o avere effetti anche peggiori. Chi non sia collegato a terra può ricevere una scossa se tocca un oggetto collegato a terra. Per fornire l'adeguata protezione, può essere necessaria una formazione specifica per coloro che lavorano in tali condizioni, insieme ad adeguati controlli della messa a terra degli oggetti e dei lavoratori, nonché l'impiego di scarpe isolanti, guanti e indumenti protettivi.

B.4 Campi a frequenza intermedia

I campi a frequenza intermedia rappresentano una zona di transizione tra i campi a bassa frequenza e quelli ad alta frequenza. In questa regione si passa gradualmente dagli effetti sul sistema nervoso agli effetti di riscaldamento: i primi prevalgono a 100 kHz, i secondi a 10 MHz.

Nota bene: campi a frequenza intermedia

Nella presente guida sono definiti campi a frequenza intermedia i campi con frequenze comprese tra 100 kHz e 10 MHz, che possono produrre effetti sia termici che non termici.

Altre fonti possono fornire definizioni diverse di campi a frequenza intermedia. Per esempio l'Organizzazione mondiale della sanità definisce campi a frequenza intermedia quelli con frequenze comprese tra 300 Hz e 10 MHz.

B.5 Campi ad alta frequenza

L'esposizione delle persone a campi con frequenze superiori a 100 kHz provoca riscaldamento tramite l'assorbimento di energia. A seconda della situazione, ne può derivare un riscaldamento dell'intero corpo oppure un riscaldamento localizzato di parti del corpo, come gli arti o la testa.

Gli adulti sani sono generalmente in grado di regolare la temperatura complessiva del proprio corpo con grande efficienza, mantenendo l'equilibrio tra i meccanismi di generazione e perdita di calore. Tuttavia, i normali meccanismi di perdita di calore talvolta non sono più in grado di svolgere il proprio compito se il tasso di assorbimento di energia è eccessivo; in tal caso si ha un graduale e costante aumento della temperatura corporea di circa 1 °C o più, che provoca stress termico. Non soltanto si avrà così un effetto dannoso sulla capacità della persona di lavorare in sicurezza ma, cosa ancor più grave, aumenti protratti della temperatura interna del corpo di alcuni gradi o più possono essere molto pericolosi.

Limitando il tasso di energia assorbita (il tasso di assorbimento specifico di energia o SAR) si evitano i disturbi correlati al calore e si tutela il lavoratore. Dal momento che il riscaldamento non è istantaneo e il corpo può tollerare un maggiore carico termico per brevi periodi, i valori limite di esposizione sono mediati su un periodo di sei minuti. In tal modo i lavoratori possono rimanere esposti a valori SAR superiori per brevi periodi, a condizione che la media non venga superata.

Inoltre i valori limite di esposizione sono sufficientemente prudenziali, e pertanto non è necessario tener conto di altri fattori che possono incidere sulla regolazione della temperatura: per esempio un lavoro manuale assai intenso o svolto in ambienti caldi e umidi.

In molte situazioni industriali, tuttavia, l'esposizione non è uniforme e l'energia viene assorbita soltanto in alcune aree del corpo, come le mani e i polsi. Se in tali situazioni si applicasse il limite valido per il corpo intero, il danno termico potrebbe verificarsi nelle aree esposte (in quanto l'energia assorbita si concentrerebbe su masse di tessuto assai più piccole). Pertanto, la direttiva EMF stabilisce anche valori limite di esposizione per parti del corpo.

Questi valori sono fissati per evitare un riscaldamento eccessivo nelle regioni del corpo sensibili al calore: l'occhio (e in particolare il cristallino) e i testicoli (per l'uomo). Anche il feto in sviluppo è notoriamente assai sensibile agli effetti dell'ipertermia della madre: le lavoratrici in gravidanza devono pertanto essere considerate esposte a particolari rischi.

Alle frequenze più alte, 6 GHz e oltre, i campi non penetrano nel corpo in maniera significativa, e il riscaldamento è essenzialmente limitato alla pelle. Limitando l'energia assorbita su una piccola area di pelle si garantisce un'adeguata protezione.

I campi a radiofrequenza pulsata possono generare percezioni sensoriali sotto forma di «disturbi uditivi da microonde». Le persone con udito normale percepiscono campi pulsati modulati con frequenze comprese tra circa 200 MHz e 6,5 GHz. Si tratta di un suono descritto di solito come ronzio, ticchettio o schiocco, a seconda delle caratteristiche di modulazione del campo. La tipica durata delle pulsazioni che consente di percepire il campo è dell'ordine di qualche decina di microsecondi.

Come avviene per i campi elettrici a bassa frequenza, chi si trovi all'interno di un campo ad alta frequenza e tocchi un oggetto conduttore rischia di subire una scossa o un'ustione. Anche questo rischio è contemplato dalla direttiva EMF.

APPENDICE C. GRANDEZZE E UNITÀ DI MISURA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

I rischi derivanti dai campi elettromagnetici dipendono in primo luogo dalla frequenza e dall'intensità del campo. Per valutare il pericolo causato da un determinato campo elettromagnetico occorre essere in grado di caratterizzare il campo in termini di grandezze fisiche stabilite. Le grandezze utilizzate nella direttiva EMF vengono descritte nelle sezioni seguenti.

Le grandezze relative ai campi elettromagnetici possono essere espresse in diversi modi. Ciò vale in particolar modo per i display degli strumenti di misurazione ove lo spazio è talvolta limitato. Familiarizzandosi con le varie forme delle unità di misura, sarà possibile utilizzare in maniera più adeguata le informazioni fornite. Ecco alcuni esempi:

- per determinare la scala di grandezza dell'unità di misura si possono usare prefissi: 1 volt, 1 V, 1 000 mV e 1 000 000 µV rappresentano tutti lo stesso valore. I prefissi usati comunemente sono reperibili nella tabella C;
- l'uso di un apice numerico o di un esponente dopo un numero o un'unità di misura indica la potenza a cui vengono elevati. Per esempio m^2 è equivalente a metri quadri e il suo uso indica che viene misurata un'area;
- le unità di misura possono essere espresse in diversi modi. Pertanto 100 volt per metro, 100 V/m, 100 $V.m^{-1}$ e 100 Vm^{-1} rappresentano lo stesso valore.

Tabella C1 — Prefissi utilizzati con le unità di misura SI

Nome	Simbolo	Fattore di scala
Tera	T	10^{12} o 1 000 000 000 000
Giga	G	10^{9} o 1 000 000 000
Mega	M	10^{6} o 1 000 000
Kilo	k	10^{3} o 1 000
Milli	m	10^{-3} o 0,001
Micro	µ	10^{-6} o 0,000 001
Nano	n	10^{-9} o 0,000 000 001

Nota bene: notazione utilizzata nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici

Le unità di misura possono essere espresse in diversi formati. Nella direttiva EMF le unità di misura sono espresse nel formato Vm^{-1}. Questa notazione viene seguita anche dalla presente guida.

La direttiva EMF si discosta dalla convenzione scientifica utilizzando una virgola per indicare un punto decimale.

C.1 Frequenza (f)

I livelli di azione (LA) e i valori limite di esposizione (VLE) forniti nella direttiva EMF vengono specificati a seconda della frequenza del campo elettromagnetico. Normalmente la frequenza è rappresentata dalla lettera *f*.

La frequenza di un campo elettromagnetico rappresenta il numero di volte che il picco dell'onda elettromagnetica attraversa un punto particolare ogni secondo. Rappresenta il numero di oscillazioni al secondo ed è una proprietà fondamentale di un'onda.

L'unità di misura della frequenza è l'hertz, che si abbrevia con Hz.

La frequenza è strettamente correlata alla lunghezza d'onda di un campo elettromagnetico, che si rappresenta con il simbolo λ. La lunghezza d'onda si misura in metri, in forma abbreviata m.

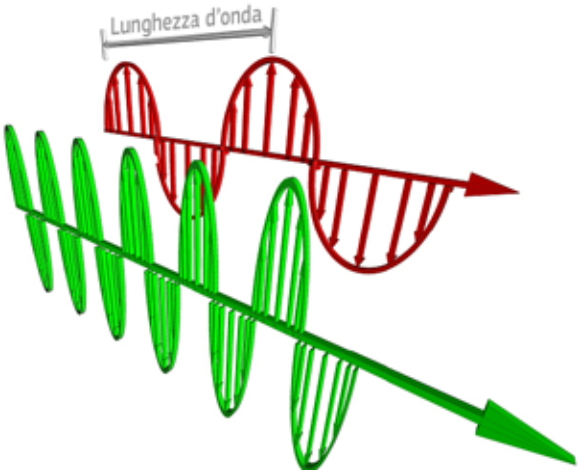
Il numero di picchi dell'onda che attraversano un determinato punto in un secondo dipende dalla lunghezza dell'onda poiché tutte le onde elettromagnetiche viaggiano alla stessa velocità nel vuoto. Pertanto i campi con lunghezze d'onda più elevate hanno frequenze inferiori (figura C1).

La frequenza è correlata alla lunghezza d'onda dall'espressione

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

in cui c è la velocità della luce nel vuoto (3,0 x 10^8 ms^{-1}).

Figura C1 — Onde elettromagnetiche con la lunghezza d'onda indicata. Un'onda con lunghezza d'onda più elevata ha una frequenza inferiore (rossa), le onde con una lunghezza d'onda più breve hanno una frequenza superiore (verde)



C.2 Intensità di campo elettrico (E)

L'intensità di campo elettrico in un punto del campo elettrico è la forza che agisce su una carica positiva unitaria collocata in quel punto. È una quantità vettoriale che ha intensità e direzione. L'intensità di campo elettrico può essere comparata al pendio di una collina. Maggiore il pendio, maggiore la forza che fa rotolare gli oggetti a valle. Per un campo elettrico, quanto maggiore è l'intensità di campo elettrico, tanto maggiore sarà la forza su una particella carica.

L'intensità di campo elettrico solitamente è rappresentata dalla lettera *E* e viene quantificata in volt per metro, in forma abbreviata Vm^{-1}.

Ci possono essere campi elettrici all'esterno e all'interno del corpo. I LA per campi elettrici al di sotto di 10 MHz e campi elettromagnetici al di sopra di 100 kHz sono specificati in termini di intensità di campi elettrici esterni. I VLE per gli effetti non termici presentati nell'allegato II della direttiva relativa ai campi elettromagnetici sono specificati in termini di intensità di campi elettrici all'interno del corpo.

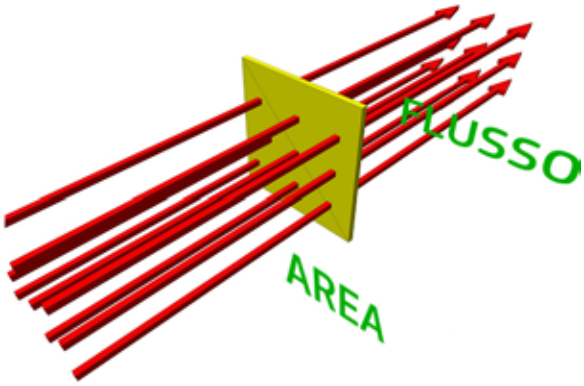
C.3 Induzione magnetica (B)

L'induzione magnetica è una misura del flusso magnetico che attraversa un'area particolare (figura C2). L'induzione magnetica è maggiore se in una determinata area ci sono più linee di campo, così che la densità delle linee di flusso è alta. L'induzione magnetica produce una forza che agisce su cariche in moto.

Il flusso magnetico è una misura della «quantità di magnetismo». Si tratta di una grandezza scalare che tiene conto dell'intensità e dell'estensione di un campo magnetico.

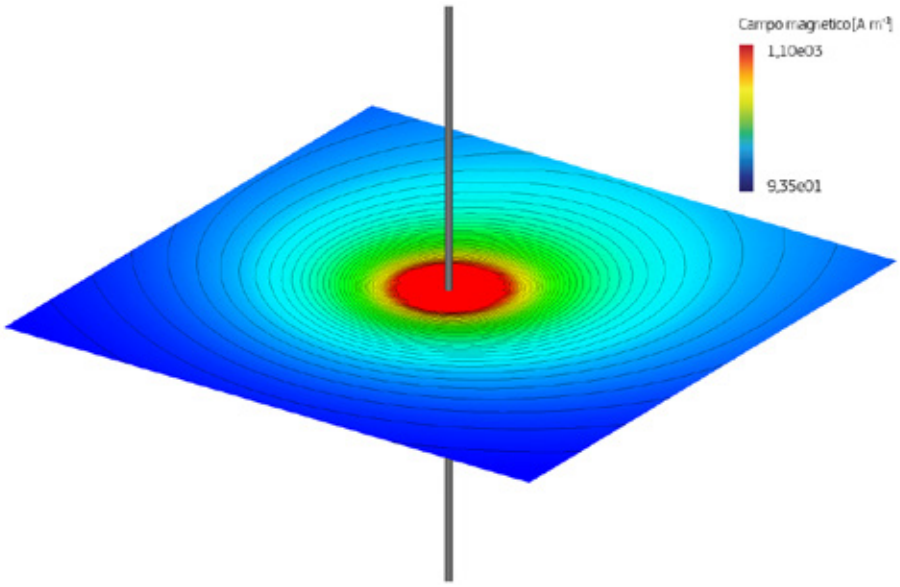
L'induzione magnetica solitamente è rappresentata dalla lettera *B* e viene quantificata in unità di tesla, in forma abbreviata *T*.

Figura C2 — Il flusso magnetico (rosso) attraversa un'area definita (gialla). L'induzione magnetica rappresenta la quantità di flusso magnetico per unità di area e impiega le unità di tesla



I VLE per l'esposizione a campi tra 0 e 1 Hz sono specificati in termini di induzione magnetica, come i LA per i campi magnetici tra 1 Hz e 10 MHz e i campi elettromagnetici superiori a 100 kHz.

Figura C3 — La distribuzione spaziale dell'intensità di campo magnetica intorno a un cavo da 50 Hz che conduce una corrente di 70 A



C.4 Intensità di campo magnetico (H)

Come per l'induzione magnetica, l'intensità di campo magnetico è una misura dell'entità del campo magnetico. L'intensità di campo magnetico è rappresentata dalla lettera *H* ed è quantificata in unità di amp per metro (Am^{-1}). Benché l'intensità di campo magnetico non sia utilizzata nell'ambito della direttiva EMF, essa è impiegata nelle linee guida dell'ICNIRP e molti misuratori dei campi magnetici forniscono risultati in questa grandezza.

Nello spazio libero un valore dell'intensità di campo magnetico può essere convertito nell'induzione magnetica equivalente utilizzando l'equazione:

$$B\ [\mu T] \approx H \times 1.25\ [Am^{-1}]$$

Pertanto se H ha un valore di 800 Am^{-1}

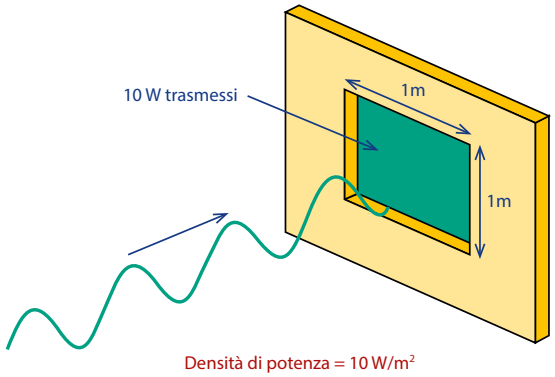
B è approssimativamente uguale a 800 x 1,25 µT = 1 000 µT = 1 mT

C.5 Densità di potenza a radiofrequenza (S)

A frequenze molto alte (superiori a 6 GHz), laddove la profondità di penetrazione nel corpo è bassa, sia i VLE sia i LA sono presentati in termini di densità di potenza e hanno lo stesso valore numerico. La densità di potenza è definita come la potenza irradiata, misurata in watt, incidente su una superficie, misurata in metri quadri. È rappresentata dal simbolo *S* ed è espressa in unità di watt per metro quadro (Wm^{-2}).

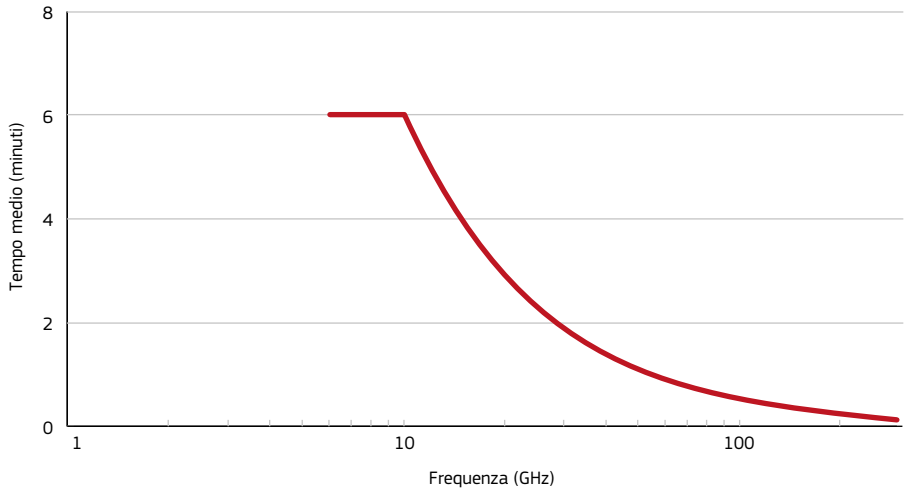
Nel confrontare una densità di potenza con il VLE e il LA pertinenti essa può mediata su una superficie esposta di 20 cm^2 a condizione che la densità di potenza mediata su una superficie esposta di 1 cm^2 non superi di 20 volte il VLE o il LA (ossia 1 000 Wm^{-2}).

Figura C4 — La densità di potenza è la potenza irradiata per ciascuna unità di area



La densità di potenza può anche essere mediata in un periodo di tempo che dipende dalla frequenza della radiazione. La formula per questo periodo di tempo compare nelle note A3-1 e B1-4 dell'allegato III della direttiva EMF e viene presentata graficamente nella figura C5.

Figura C5 — Grafico che illustra il modo in cui il tempo medio per la densità di potenza dipende dalla frequenza



C.6 Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR)

Il tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) è un mezzo per quantificare il tasso a cui un'unità di massa di tessuto nel corpo assorbe energia dalla radiazione elettromagnetica. Il tasso di assorbimento di energia riguarda gli effetti termici dei campi elettromagnetici.

Il tasso di assorbimento specifico di energia è quantificato in unità di watt per chilogrammo, in forma abbreviata Wkg^{-1}.

Il tasso di assorbimento specifico di energia è utile per stimare gli aumenti della temperatura interna del corpo provocati dall'esposizione del corpo intero. In questa situazione il SAR è mediato sulla massa del corpo del lavoratore. La possibilità che il tessuto si riscaldi e pertanto si producano effetti nocivi per la salute aumenta all'aumentare del SAR. Il valore del SAR mediato su tutto il corpo per un lavoratore tende a raggiungere l'apice alla frequenza di risonanza del corpo del lavoratore. La frequenza di risonanza dipende dalle dimensioni e dalla forma del corpo umano nonché dal suo orientamento rispetto all'incidenza del campo elettromagnetico. Per un lavoratore di altezza e massa media, la risonanza si verifica a

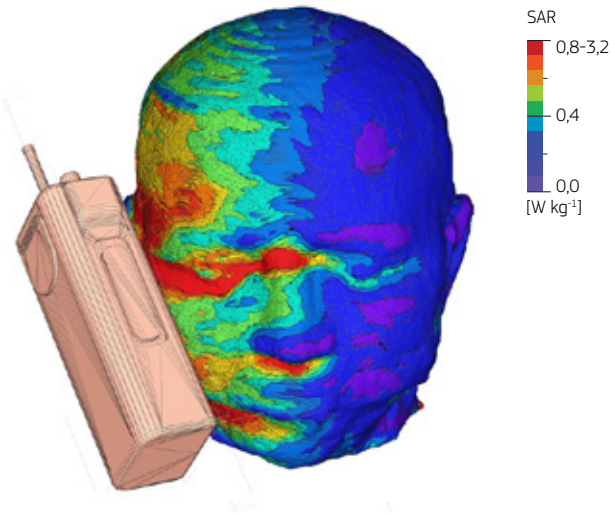
circa 65 MHz quando il lavoratore è isolato dalla massa e il campo incidente è polarizzato verticalmente.

Il SAR localizzato è applicabile quando l'assorbimento del campo elettromagnetico incidente avviene in una piccola regione del corpo, per esempio la testa se esposta a un auricolare TETRA (figura C6). Il SAR localizzato è mediato su una massa di tessuto contiguo (o connesso) di 10 g nel corpo. Il SAR relativo ai 10 g di tessuto contiguo è una rappresentazione più accurata dell'assorbimento localizzato di energia e una misura migliore della distribuzione del SAR nel corpo.

Se i tessuti del corpo assorbono energia da un campo irradiato, ci vuole tempo perché i tessuti raggiungano l'equilibrio termico. Per questo motivo sia il SAR localizzato che quello riferito a tutto il corpo sono mediati su un periodo di tempo specifico (sei minuti).

I VLE relativi agli effetti sanitari per l'esposizione ai campi elettromagnetici da 100 kHz a 6 GHz sono specificati in relazione al SAR riferito a tutto il corpo e a quello localizzato.

Figura C6 — La distribuzione del tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) nella testa in seguito a esposizione a un auricolare TETRA (apparecchiature radio terrestri collegate) da 380 MHz



C.7 Assorbimento specifico di energia (SA)

L'assorbimento specifico di energia si definisce come l'energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico e si esprime in joule per chilogrammo (Jkg^{-1}). Nella direttiva EMF il termine si impiega per limitare gli effetti derivanti da esposizioni a microonde pulsate.

I VLE relativi agli effetti sensoriali per esposizione a campi elettromagnetici di frequenze comprese tra 300 MHz e 6 GHz sono presentati nella direttiva in relazione all'SA localizzato mediato su 10 g di tessuto.

C.8 Corrente di contatto (I_C)

Il contatto con oggetti conduttori passivi in campi elettromagnetici può generare correnti nel corpo che possono provocare scosse o ustioni o ancora riscaldamento localizzato. Sono stati fissati livelli di azione per limitare questo effetto. Le correnti di contatto sono rappresentate da I_C e sono quantificate in unità di milliampere (mA).

C.9 Corrente indotta negli arti (I_L)

La corrente indotta attraverso gli arti è la corrente elettrica scaricata a terra da una persona che è sottoposta all'azione di un campo elettrico ma non tocca un oggetto conduttore. Può essere misurata con un misuratore a bobina di tipo clamp on intorno all'arto (figura C7) oppure misurando la corrente che scorre a terra. È rappresentata da I_L ed è quantificata in unità di milliampere (mA).

Figura C7 — Una pinza amperometrica usata per misurare la corrente attraverso gli arti quando si utilizza una saldatrice dielettrica a 27 MHz

APPENDICE D. VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

La presente appendice fornisce ai datori di lavoro una panoramica del processo di valutazione dell'esposizione professionale in relazione alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici, con particolare attenzione per le esposizioni non uniformi e a frequenze diverse. L'obiettivo non è definire protocolli dettagliati di misurazione per esaminare parti specifiche di apparecchiature o processi sul luogo di lavoro. Col tempo il Cenelec e altri organismi di normalizzazione elaboreranno norme tecniche con queste finalità.

I campi elettromagnetici sono agenti fisici complessi che variano nel tempo e nello spazio. A seconda della particolare situazione del luogo di lavoro l'esposizione può essere dominata dalla parte di campo elettrico o magnetico dell'onda. L'onda può oscillare a una frequenza o essere composta da molte frequenze con oscillazioni o impulsi irregolari. La frequenza e l'ampiezza possono anche cambiare con il tempo durante il ciclo operativo.

In alcune situazioni industriali sarà necessario effettuare misurazioni per fare confronti con i livelli di azione (LA) della direttiva relativa agli effetti elettromagnetici e talvolta sarà necessario ricorrere a tecniche computazionali per valutare l'esposizione in relazione ai valori limite di esposizione (VLE) della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. In generale le metodologie di valutazione più sofisticate richiedono più tempo e denaro, ma garantiscono stime di esposizione migliore che possono ridurre le distanze di conformità.

Qualunque sia la situazione, la valutazione dovrà tener conto della situazione di esposizione più pessimistica, al fine di determinare se il luogo di lavoro sia conforme alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

D.1 Valutazione dell'esposizione — Principi generali

Le figure D1 (effetti non termici) e D2 (effetti termici), insieme alle sezioni da D1.1 a D1.3 illustrano un possibile approccio alla valutazione della conformità che comporta tre fasi principali. Per tener conto dei diversi modi in cui i campi influiscono sugli individui sono necessari approcci diversi per i campi elettromagnetici a bassa e ad alta frequenza.

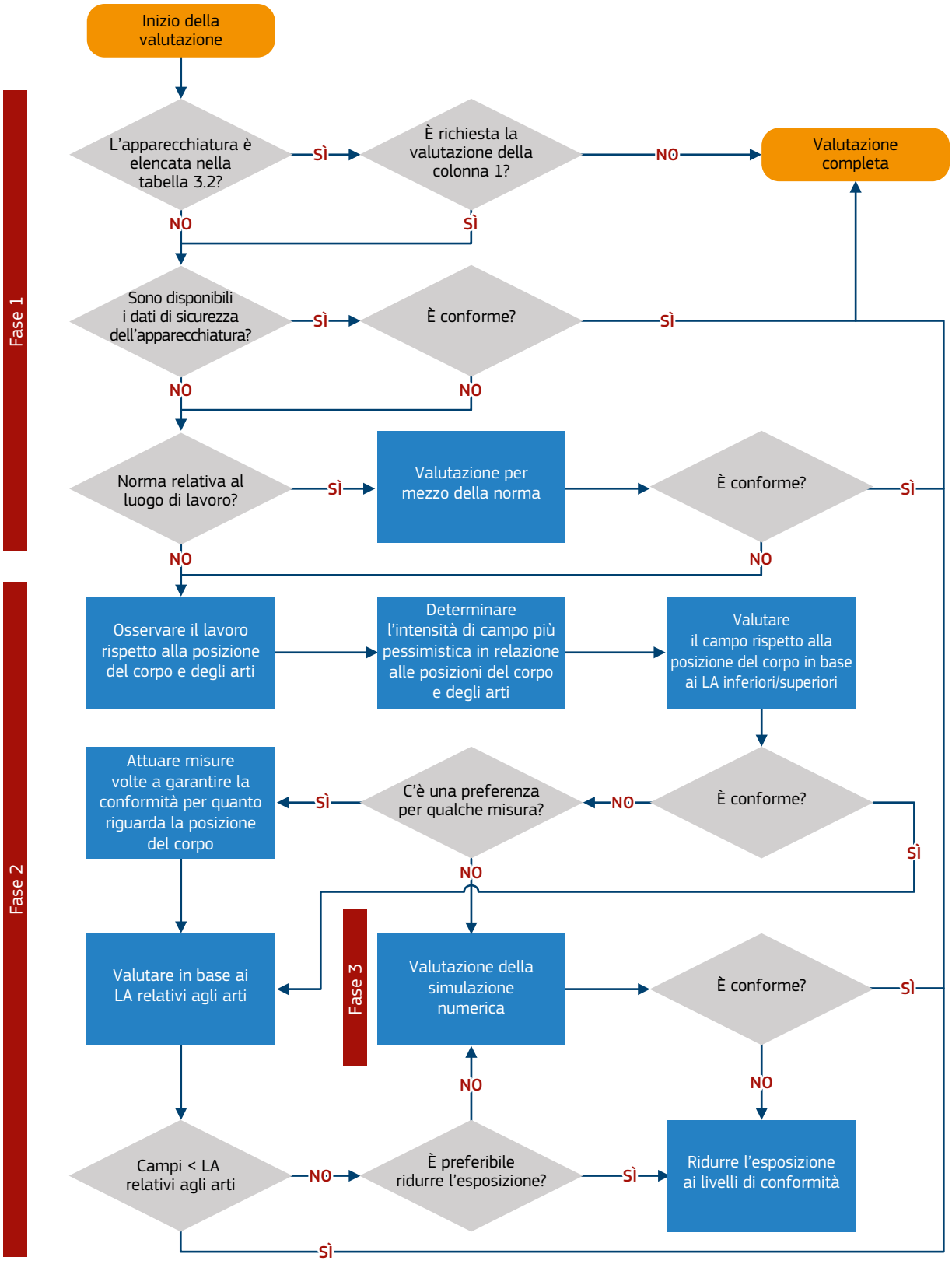
D.1.1 Fase 1 — Valutazione iniziale

Per dimostrare la conformità alla direttiva EMF, i datori di lavoro sono autorizzati a utilizzare i dati del fabbricante o le banche dati di valutazioni generiche se tali informazioni sono disponibili. In generale ciò dovrebbe consentire ai datori di lavoro di effettuare le valutazioni all'interno dell'azienda, riducendo al minimo la necessità di ricorrere ad organismi di assistenza specializzata quali organizzazioni competenti in materia di sicurezza, consulenti e istituti di ricerca.

La prima fase consiste nell'identificare ed elencare tutte le apparecchiature, le situazioni e le attività nel luogo di lavoro che potrebbero generare campi elettromagnetici. Successivamente è necessario considerare quali di queste siano conformi alla EMF e quali richiedano una valutazione più dettagliata (fase 2 e/o fase 3), questa operazione può essere effettuata mediante la comparazione con la tabella del capitolo 3.

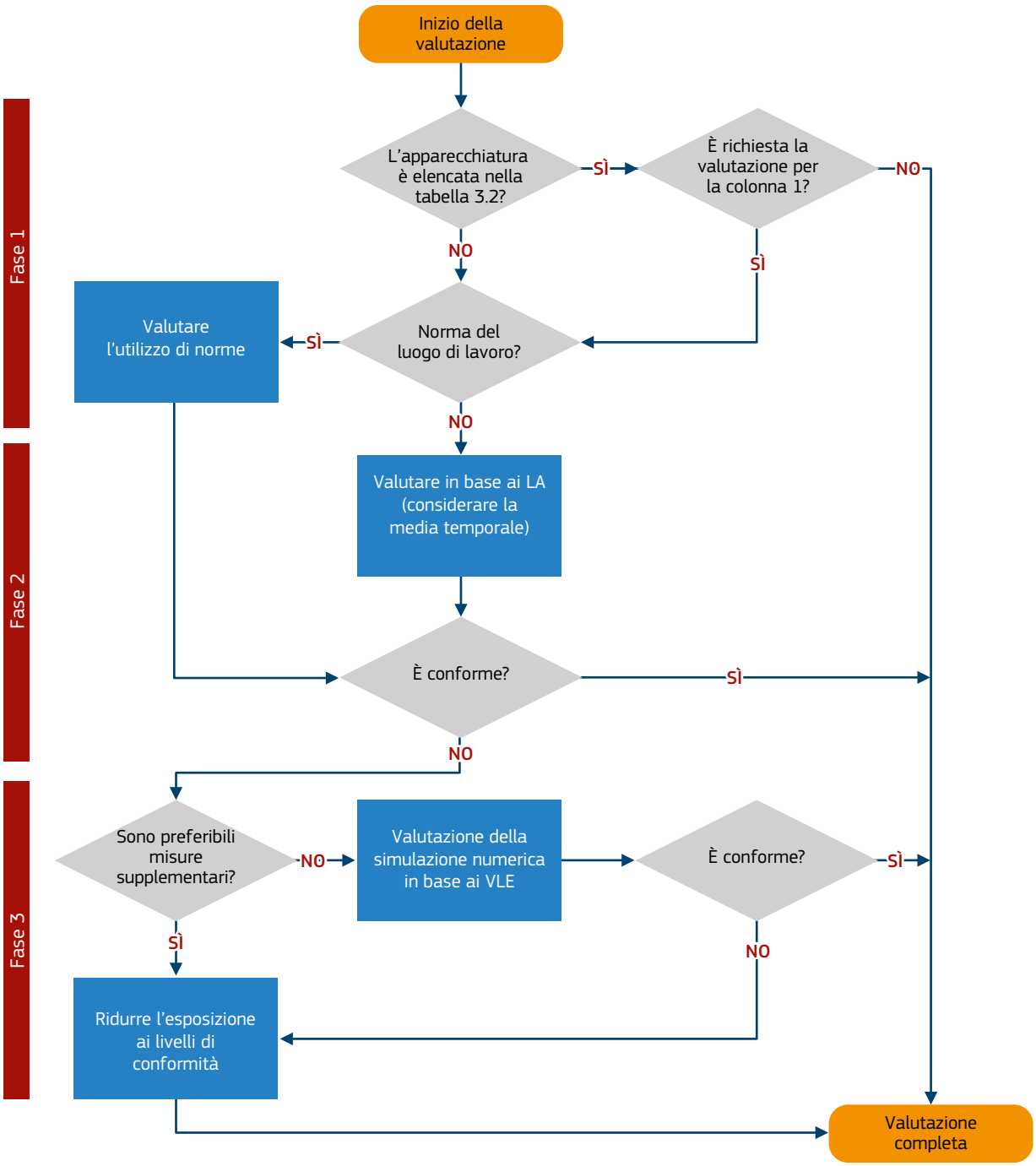
Gran parte delle apparecchiature, delle attività e delle situazioni non richiederanno una valutazione di fase 2 o 3 per assenza di campo o poiché il campo sarà a livelli molto bassi.

Figura D1 — Diagramma di flusso che riporta le varie fasi di una valutazione del campo elettromagnetico nel luogo di lavoro per gli effetti non termici



NB: Il diagramma di flusso fa riferimento ai LA e ai VLE per gli effetti non termici definiti dall'allegato II della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. La valutazione dev'essere effettuata separatamente per i campi elettrici e per quelli magnetici.

Figura D2 — Diagramma di flusso che mostra le varie fasi di una valutazione del campo elettromagnetico nel luogo di lavoro per gli effetti termici



NB: Il diagramma di flusso fa riferimento agli effetti termici definiti dall'allegato III della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. La valutazione dev'essere effettuata separatamente per i campi elettrici e per quelli magnetici.

I fabbricanti di macchine, ai sensi della direttiva macchine (cfr. l'appendice G), hanno specifici doveri per quanto riguarda la comunicazione di informazioni sui campi potenzialmente pericolosi prodotti dalle loro apparecchiature. Tuttavia non vi è alcuna disposizione in base alla quale i fabbricanti delle apparecchiature debbano dimostrare la conformità rispetto alla direttiva EMF. Molti fabbricanti probabilmente riconoscono comunque il vantaggio commerciale derivante dal fornire ai clienti le informazioni di cui hanno bisogno per dimostrare la conformità alla direttiva EMF.

In futuro probabilmente verranno elaborate norme al fine di dimostrare la conformità alla direttiva EMF. Benché tali norme saranno di carattere informativo piuttosto che normativo, dovrebbero costituire la base per le informazioni fornite dai fabbricanti. Tali informazioni normalmente saranno incluse nei manuali in dotazione con le apparecchiature. In caso contrario, potrebbe essere necessario contattare il fabbricante o il fornitore dell'apparecchiatura per richiedere eventuali informazioni disponibili.

Perché l'apparecchiatura sia considerata conforme alla fase 1 dev'essere installata, utilizzata e sottoposta a manutenzione conformemente alle istruzioni del fabbricante. È anche opportuno considerare se la situazione di esposizione è destinata a mutare durante la manutenzione, la revisione o la riparazione, nel qual caso potrebbe essere necessaria una valutazione di fase 2.

I luoghi di lavoro conformi alla fase 1 non richiedono altre valutazioni se non la documentazione dei risultati nell'ambito della valutazione generale dei rischi. Qualora non sia possibile dimostrare la conformità del luogo di lavoro alla fase 1, sarà necessario procedere alla valutazione di fase 2 ed eventualmente di fase 3.

D.1.2 Fase 2 — Valutazione in base ai livelli di azione

Alcuni tipi di apparecchiature, attività e situazioni, come quelli indicati da un «Sì» nella colonna 1 della tabella 3.2, richiedono una valutazione più dettagliata che può essere effettuata utilizzando le informazioni messe a disposizione dai fabbricanti o altre fonti. Tuttavia, qualora tali informazioni non siano facilmente reperibili, di norma è necessario accertare la conformità utilizzando tecniche di misurazione o di calcolo. In generale si utilizzano approcci basati sulla misurazione per valutare la conformità ai LA, mentre tecniche di modellizzazione numerica più complesse sono richieste per valutare la conformità ai VLE.

D.1.2.1 Fase preparatoria

Nella preparazione alla valutazione di fase 2, occorre considerare in primo luogo gli elementi noti dell'apparecchiatura, dell'attività o della situazione. Occorre registrare i dettagli relativi allo svolgimento del lavoro e le informazioni fornite dal fabbricante o dal fornitore, se disponibili.

L'elemento chiave per determinare il corretto approccio di valutazione è una chiara comprensione del modo in cui il lavoro è svolto e la conoscenza delle caratteristiche dell'apparecchiatura che genera i campi. Di norma si tratta di informazioni sulla frequenza, la tensione, la potenza e il ciclo di funzionamento.

- Controllare il manuale d'uso del fabbricante e le specifiche tecniche in dotazione con le apparecchiature per familiarizzarsi con queste ultime e con il loro utilizzo.
- Esaminare le modalità di svolgimento del lavoro e la posizione dell'operatore e degli altri lavoratori nel luogo di lavoro. Considerare anche le posizioni dei lavoratori durante le attività di manutenzione e riparazione, che potrebbero richiedere una diversa valutazione.
- Considerare altresì le persone che saranno presenti nell'area di lavoro: eventuali lavoratrici in gravidanza, portatori di dispositivi medici impiantabili o lavoratori che portano sul corpo dispositivi medici.

D.1.2.2 Fase di misurazione del campo di applicazione

Nella maggior parte delle situazioni occorrerà effettuare misurazioni del campo di applicazione o misurazioni pilota nel luogo di lavoro per analizzare la natura del campo da valutare. Tali misurazioni sono effettuate all'inizio dell'ispezione e contribuiscono a determinare i tipi di misurazione e gli strumenti necessari a valutare adeguatamente i campi. La tabella D1 fornisce alcuni esempi dei fattori da considerare durante la fase di misurazione del campo di applicazione.

Tabella D1 — Elementi di cui tener conto per la fase di misurazione del campo di applicazione della fase 2

Attributo del campo elettromagnetico	Esempi di considerazioni	Implicazioni per la valutazione
Grandezza fisica di interesse	Il campo è magnetico, elettrico o entrambi?	Determina il tipo di strumento necessario a effettuare misurazioni.
Frequenza e ampiezza	Il campo varia come un'onda continua a una frequenza o è una forma d'onda complessa composta da frequenze diverse?	Determina il tipo di strumento necessario a effettuare misurazioni. Le forme d'onda sinusoidali semplici a una particolare frequenza possono essere valutate utilizzando semplici strumenti a banda larga e comparando i risultati direttamente con i LA. Le forme d'onda complesse possono richiedere l'applicazione di tecniche spettrali sofisticate per identificare le varie componenti di frequenza e analisi complesse come i metodi RMS o del picco ponderato per effettuare comparazioni con i LA (cfr. la sezione D.3).
Caratteristiche spaziali	L'intensità del campo varia a seconda del sito d'interesse nel qual caso l'esposizione probabilmente non è uniforme?	Considerare le dimensioni della sonda e l'ubicazione e il numero delle misurazioni. Le misurazioni devono essere effettuate per rilevare le situazioni di esposizione peggiori (cfr. la sezione D.2)
Caratteristiche temporali	Il campo varia in frequenza e/o intensità durante il ciclo operativo?	Determina la strumentazione necessaria nonché il tempo e la durata delle misurazioni. Possono essere disponibili dei contatori con dispositivo di registrazione, nel qual caso sarà opportuno considerare il tasso di campionamento e il periodo di integrazione per una misurazione. Le misurazioni devono essere effettuate per rilevare le situazioni di esposizione peggiori. La difficoltà risiede nel registrare il campo per un periodo sufficientemente lungo e a un tasso di campionamento sufficiente per rilevare il massimo valore di campo.

D.1.2.3 Grandezza fisica pertinente

A basse frequenze è necessario valutare separatamente i campi elettrici e i campi magnetici. Molti tipi di processi industriali utilizzano apparecchiature che funzionano con tensioni elevate e producono campi magnetici. I campi elettrici forti tendono a essere meno comuni nei posti di lavoro perché un numero relativamente limitato di applicazioni utilizza tensioni elevate o conduttori aperti (non schermati). I campi magnetici sono assai più difficili da schermare.

È ugualmente importante stabilire se l'esposizione avviene nel campo lontano, in un punto lontano dalla sorgente, o nella regione del campo prossimo. Il confine tra campo lontano e campo prossimo è regolato essenzialmente dalla lunghezza d'onda del campo e dalla dimensione della sorgente. Nel campo lontano c'è un rapporto semplice tra i campi elettrici e magnetici determinato dall'impedenza dell'onda, pertanto per determinare l'esposizione complessiva basta valutare il campo elettrico o il campo magnetico.

La relazione tra campi magnetici e campi elettrici nel campo prossimo, vicino alla sorgente, è più difficile da prevedere poiché i campi possono variare considerevolmente su distanze molto brevi, tanto che occorre valutarli separatamente. Le misurazioni nel campo prossimo sono generalmente di difficile realizzazione giacché i livelli di campo possono variare su distanze molto brevi e il sensore stesso può accoppiarsi con il campo e influire sulla misurazione. Negli ambienti industriali caratterizzati da processi di trasmissione di potenza e di riscaldamento, sono le dimensioni della sorgente e la frequenza del segnale a stabilire se i campi elettrici e quelli magnetici vengono valutati separatamente.

Non è sempre possibile effettuare misurazioni significative nel campo prossimo, nel qual caso la soluzione alternativa è una valutazione di fase 3, che si basa su una modellizzazione numerica.

D.1.2.4 Variazione spaziale

In una fase precoce dell'analisi è importante determinare il modo in cui il campo è distribuito rispetto alla posizione del lavoratore e il modo in cui il campo varia nell'insieme della postazione di lavoro. La valutazione deve tener conto del luogo in cui si registra la massima intensità di campo rispetto alla posizione del lavoratore; in molte situazioni il campo si riduce rapidamente con l'aumentare della distanza dalla sorgente.

Se il campo varia considerevolmente su distanze molto brevi, è opportuno considerare con attenzione la dimensione della sonda poiché sonde di grandi dimensioni possono fornire risultati erronei. In tali circostanze può essere preferibile basarsi sui livelli di azione relativi all'esposizione degli arti, a seconda della parte del corpo esposta; i LA relativi agli arti sono meno restrittivi degli altri livelli di azione.

La sezione D.2 della presente appendice illustra gli approcci per il calcolo della media spaziale e la dimostrazione di conformità in situazioni di esposizione non uniforme.

D.1.2.5 Caratterizzazione della forma d'onda

Molti campi elettromagnetici incontrati nel luogo di lavoro variano come un'onda continua della stessa frequenza. In tal caso si può effettuare una valutazione relativamente semplice che richiede una strumentazione a banda larga non sofisticata. Alcuni tipi di apparecchiature industriali producono forme d'onda complesse che sono costituite da una serie di frequenze; in queste situazioni per campionare il segnale è necessario utilizzare strumentazioni sofisticate come l'analizzatore di spettro o dispositivi cattura-onde.

Le valutazioni che riguardano frequenze multiple e forme d'onda complesse sono trattate nei dettagli nella sezione D.3 della presente appendice.

D.1.2.6 Variazione temporale

È importante determinare in che modo la frequenza e/o l'intensità (ampiezza) del campo variano col tempo. In alcune situazioni il campo può variare durante il ciclo operativo, nel qual caso la valutazione dovrà tener conto delle variazioni della frequenza e dell'intensità di campo e identificare il momento in cui si registrano il valore massimo o di picco del campo.

Le variazioni temporali possono essere intenzionali, per esempio il modo in cui i segnali sono modulati per portare informazioni nei sistemi di telecomunicazioni, o casuali, per esempio i segnali armonici prodotti durante i processi di riscaldamento a induzione o laddove la rettificazione della corrente alternata o la rapida commutazione della corrente vengono utilizzate per controllare l'alimentazione di alcuni tipi di apparecchiature industriali. È importante identificare i segnali armonici quando si verificano poiché i LA e i VLE variano con la frequenza. La sezione D.3 illustra il modo in cui trattare le esposizioni a frequenze diverse nella valutazione dell'esposizione.

Molti strumenti moderni hanno capacità di registrazione, grazie alle quali il campo può essere registrato a intervalli di campionamento predeterminati per periodi che possono estendersi a parecchie ore. Il tasso di campionamento è scelto a seconda della velocità della variazione temporale del campo. Se il tasso di campionamento è troppo lento in relazione alla variazione di campo, è possibile che il livello di picco non venga individuato, con la conseguente sottostima dell'esposizione. Anche il periodo di integrazione dello strumento, ossia il tempo necessario al contatore per elaborare e registrare il segnale, dev'essere considerato attentamente poiché una sottostima o una sovrastima dell'esposizione possono verificarsi se il campo muta rapidamente durante il periodo di integrazione. Gran parte degli strumenti moderni richiedono un periodo di integrazione di almeno un secondo, pertanto se il campo varia a una velocità superiore si raccomanda di catturare il segnale di picco o l'intera forma d'onda.

D.1.2.7 Campi magnetici statici

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici comprende i VLE per i campi magnetici esterni da 0 Hz a 1 Hz. Il movimento nei campi magnetici statici produce campi elettrici indotti all'interno del corpo simili a quelli prodotti da campi a bassa frequenza variabili nel tempo. La valutazione relativa ai campi elettromagnetici necessaria in questa situazione è trattata nella sezione D.4.

D.1.2.8 Fase principale dell'ispezione

Aspetti di sicurezza nello svolgimento delle misurazioni

Oltre alle normali considerazioni legate alla sicurezza in un contesto professionale, è necessario fare in modo che le persone che effettuano le misurazioni non siano a loro volta esposte a campi elettromagnetici che superano i LA o i VLE e non siano esposte a rischi derivanti da effetti indiretti. È buona prassi avviare le misurazioni a una certa distanza dalla sorgente dei campi. In tal modo si garantisce che l'ispettore non sia esposto a campi superiori ai LA o ai VLE e si proteggono gli strumenti da eventuali danni nei campi elevati che si possono incontrare vicino a una forte sorgente.

Nei campi magnetici statici si deve fare particolare attenzione a evitare il rischio degli effetti propulsivi, mentre nei forti campi elettrici è necessario evitare le correnti di contatto e i microshock eccessivi.

È opportuno effettuare per tempo un'idonea valutazione dei rischi e attuare adeguate misure di protezione e prevenzione. Tali misure saranno essenzialmente di natura organizzativa.

Approccio all'ispezione

È opportuno rivolgere particolare attenzione all'ubicazione, al tempo e alla durata delle misurazioni. Normalmente si comincia interpellando i lavoratori per individuarne le mansioni, e si trascorre un certo tempo a osservarli mentre lavorano in modo da identificare le posizioni più adatte del corpo e degli arti per effettuare le misurazioni. Le valutazioni devono tener conto delle varie attività normalmente intraprese: normali operazioni, pulizia, rimozione dei blocchi, manutenzione, e revisione/riparazione se svolte all'interno dell'azienda.

L'approccio più comune all'ispezione prevede l'utilizzo di misurazioni isolate in punti definiti del luogo di lavoro oppure in punti specifici intorno alle sorgenti dei campi elettromagnetici. Queste dovrebbero riflettere le aree occupate dal lavoratore nell'adempimento delle proprie mansioni, come si è detto in precedenza. Si deve notare tuttavia che i LA specificati nella direttiva sono valori calcolati in assenza del corpo, pertanto il lavoratore non dev'essere presente durante l'effettiva misurazione (cfr. di seguito). Per tener conto di qualsiasi eventuale variazione temporale relativa al campo, i contatori con dispositivo di registrazione possono essere predisposti in modo da registrare il campo in vari punti durante le misurazioni isolate.

È buona prassi ripetere le misurazioni nello stesso punto a vari intervalli durante la valutazione per accertarsi che le misurazioni siano stabili e che i contatori funzionino correttamente.

La misurazione dei campi elettrici è più difficile di quella dei campi magnetici, perché i campi elettrici sono facilmente perturbati dagli oggetti circostanti, tra cui il corpo umano. La direttiva relativa ai campi elettromagnetici definisce i LA non perturbati, pertanto occorre prestare attenzione a tenere il corpo dei lavoratori o degli ispettori ben lontano dalla sonda di misurazione (e la sonda ben lontana da oggetti metallici) al momento di effettuare le misurazioni.

Strumentazione

Perché la valutazione sia valida è importante utilizzare una strumentazione adeguata per effettuare le misurazioni, e ciò dipende dalla natura dei campi elettromagnetici oggetto della valutazione. Occorre considerare le specifiche tecniche della strumentazione per essere certi che sia adatta a misurare il segnale di interesse. In alcune situazioni può essere

necessario misurare sia i campi elettrici, sia i campi magnetici. Se è noto che la sorgente opera a frequenze superiori ad alcune decine di MHz e l'operatore si trova nel campo estremo, l'intensità di campo per i campi elettrici e magnetici può essere convertita da uno all'altro sulla base del valore dell'impedenza dello spazio libero [Z0 = 377 Ohm (Ω)]. Un altro importante requisito è che gli strumenti siano tarati secondo norme note, per garantirne il corretto funzionamento. Occorre avviare sempre l'ispezione con lo strumento predisposto al punto più alto dell'intervallo di misura per ridurre al minimo il rischio di sovraccaricarlo.

Gli strumenti con un sensore ad asse singolo misurano soltanto una componente del campo, pertanto quando si utilizza questo tipo di sensore è importante che sia utilizzato in tre orientamenti ortogonali nel punto della misurazione per poter calcolare il campo che ne risulta. Strumenti più sofisticati hanno tre sensori ortogonali che possono misurare il campo che ne risulta. È anche importante considerare le dimensioni della sonda, poiché questa dev'essere inferiore al volume su cui il campo cambia. Ulteriori informazioni sulle adeguate dimensioni delle sonde vengono riportate nella norma IEC61786 1.

Molti strumenti moderni possono essere predisposti per misurare valori di picco o valori efficaci (RMS) per una comparazione diretta con i valori limite forniti nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici. I LA contenuti nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici normalmente sono forniti come valori RMS. Tuttavia i dispositivi di misurazione RMS potrebbero non essere adeguati per misurare i campi prodotti da apparecchiature per saldatura a punti o identificazione a radiofrequenza (RFID) in cui il segnale può essere pulsato e le variazioni di campo sono assai più rapide del tempo medio per lo strumento. In situazioni che comportano segnali complessi si preferiscono valutazioni dell'esposizione basate sul metodo del picco ponderato (cfr. la sezione D.3).

Alcuni dei fattori principali da considerare al momento di scegliere la strumentazione adatta sono sintetizzati nella tabella D.2.

Tabella D2 — Fattori da considerare per scegliere la strumentazione adatta

Caratteristica del campo elettromagnetico da valutare	Requisiti dello strumento
Frequenza	Lo strumento dev'essere capace di rispondere all'intera gamma di frequenze nel segnale in corso di valutazione.
Ampiezza	Lo strumento deve disporre di un intervallo dinamico sufficientemente ampio per misurare le intensità di campo che probabilmente incontrerà.
Caratteristiche di modulazione	Lo strumento dev'essere capace di individuare diversi schemi di modulazione
Variazione temporale / ciclo di funzionamento	Considerare il tasso di campionamento e il tempo di integrazione dello strumento, nonché la durata del periodo di registrazione.
Variazione spaziale	La sonda dev'essere più piccola del volume su cui varia il campo.
Punto: Interno/esterno/entrambi Peso/durata dello strumento	Le ispezioni che si svolgono a una certa distanza dall'alimentazione elettrica potrebbero aver bisogno di una batteria di durata sufficiente. Lo strumento è adatto a ispezioni da condurre all'esterno?

Parametri del rapporto

La tabella D3 presenta alcuni esempi dei principali parametri da registrare nell'ambito della valutazione del luogo di lavoro

Se la valutazione di fase 2 indica che i campi ambientali sono al di sotto dei LA, il luogo di lavoro è conforme alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici e la valutazione può concludersi (figura D1).

Se i VLE o i LA del campo statico possono essere superati, il datore di lavoro dovrà attuare adeguate misure di protezione o prevenzione.

A basse frequenze, se i LA inferiori vengono superati il datore di lavoro dovrà effettuare un'ulteriore valutazione in base ai LA superiori. Se le misurazioni sono al di sotto dei LA superiori, il datore di lavoro potrà scegliere se attuare misure di protezione o prevenzione, tra cui la formazione dei lavoratori, o effettuare una valutazione di fase 3 per dimostrare la conformità con i VLE relativi agli effetti sensoriali.

Tabella D3 — Esempio dei parametri da registrare su una scheda di rilevamento

Parametro	Commenti
Data e ora dell'ispezione	Riferimento
Nome di contatto/Dettagli sul sito/strutture	Riferimento
Luogo di lavoro valutato	Dettagli dell'apparecchiatura presente, tra cui la sintesi della specifica operativa
Mansione del lavoratore o attività valutata	Operazione di routine, manutenzione o pulizia
Grandezza fisica di interesse	Campo elettrico, campo magnetico o densità di potenza
Dettagli relativi alla strumentazione di misurazione	Contatore a banda larga o a banda stretta, risposta in frequenza, intervallo dinamico, tasso di campionamento, data di taratura e incertezza
Strategia di misurazione	Valori di picco/valori efficaci (RMS) Risultanti x, y, z Misurazioni isolate o estese Punti di campionamento (comprendono il diagramma o la pianta se del caso) Tasso di campionamento

Se i campi misurati superano i LA superiori, l'estensione spaziale del campo dev'essere considerata in relazione alla parte del corpo del lavoratore esposta e, se del caso, i campi devono essere comparati con i LA relativi agli arti. Se l'esposizione non è localizzata, o se l'esposizione localizzata supera i LA relativi agli arti, il datore di lavoro ha due possibilità. Può attuare misure di protezione e/o prevenzione oppure procedere a una valutazione di fase 3 per valutare la conformità con i VLE (cfr. la sezione D.1.3).

Ad alte frequenze, se i campi ambientali superano i LA, il datore di lavoro può anche in questo caso decidere se attuare misure di protezione e/o prevenzione oppure procedere a una valutazione di fase 3.

Se i LA per la corrente di contatto sono superati, il datore di lavoro dovrà attuare adeguate misure di protezione o prevenzione.

D.1.3 Fase 3 — Valutazione in base ai valori limite di esposizione (VLE)

D.1.3.1 Introduzione

Ai sensi della direttiva relativa ai campi elettromagnetici i VLE hanno lo scopo primario di limitare i campi elettrici indotti e il tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) nel corpo. Tali grandezze non sono facilmente misurabili e di conseguenza una valutazione di fase 3 di solito si basa su tecniche di modellizzazione numerica sofisticate per determinare la conformità con i VLE, benché esistano modalità di misurazione.

I LA forniscono stime prudenti dei massimi campi ambientali a cui tutto il corpo del lavoratore può essere esposto senza superare i VLE pertinenti. Se le misurazioni indicano che un LA può essere superato per una specifica situazione di esposizione, potrebbe essere necessario effettuare una valutazione dosimetrica allo scopo di determinare la conformità con i VLE.

Le simulazioni numeriche possono essere utilizzate per valutare se i campi elettromagnetici prodotti da un dispositivo comportino il superamento dei VLE. Le simulazioni e l'applicazione della dosimetria computazionale forniscono il collegamento tra i LA (campi elettromagnetici non perturbati misurati esternamente) e i VLE (grandezze delle dosi modellate che rappresentano l'interazione tra il campo elettromagnetico e il corpo umano). Queste simulazioni vengono utilizzate per tradurre i valori dei campi elettromagnetici, misurati in assenza del corpo, in grandezze dosimetriche nel corpo.

Le grandezze dosimetriche incluse nei VLE comprendono le intensità dei campi elettrici indotti, il tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) e la densità di potenza. Gli effetti per la salute e pertanto le grandezze dosimetriche dipendono dalla frequenza del campo incidente. A basse frequenze la direttiva specifica i VLE in termini di intensità dei campi elettrici indotti, laddove a frequenze superiori si utilizzano SAR e densità di potenza (tabella D4).

Tabella D4 — Potenziali effetti biologici dannosi, grandezze VLE e LA

Frequenza	Potenziali effetti biologici dannosi	Grandezza dosimetrica VLE (simulata numericamente)	Grandezza concernente l'esposizione LA (misurata normalmente)
Da 1 Hz a 10 MHz	Effetti sul sistema nervoso centrale e sul sistema nervoso periferico	Campi elettrici indotti nei tessuti stimolati in V/m	Intensità del campo elettrico, induzione magnetica, correnti indotte e di contatto
da 100 kHz a 6 GHz	Riscaldamento dei tessuti	SAR in W/kg SA in J/kg	(Intensità del campo elettrico)^2, (induzione magnetica)^2, correnti indotte e di contatto
Da 6 GHz a 300 GHz	Riscaldamento della superficie	Densità di potenza in W/m^2	(Intensità del campo elettrico)^2, (induzione magnetica)^2 e densità di potenza

D.1.3.2 Interazioni del campo elettromagnetico con il tessuto umano

Campi a bassa frequenza

A basse frequenze i campi elettrici e magnetici possono essere considerati disaccoppiati (approssimazione quasi-statica) e pertanto possono essere trattati separatamente.

Campo elettrico esterno

Il corpo umano perturba sensibilmente un campo elettrico incidente a bassa frequenza. Nella maggior parte delle situazioni di esposizione il campo elettrico esterno è orientato verticalmente rispetto alla terra. Il corpo umano è un buon conduttore a basse frequenze e i campi elettrici interni indotti nel corpo sono inferiori di molti ordini di grandezza rispetto al campo esterno applicato.

La distribuzione delle cariche indotte sulla superficie del corpo dall'esposizione a un campo elettrico esterno non è uniforme. Il risultato è un orientamento essenzialmente verticale delle correnti interne indotte nel corpo. Un altro fattore che influisce fortemente sull'intensità e sulla distribuzione spaziale dei campi elettrici indotti nel corpo è il contatto tra l'essere umano e la massa. I più alti campi elettrici interni sono indotti quando il corpo è in contatto perfetto con la massa attraverso entrambi i piedi. Quanto più il corpo è isolato dalla massa, tanto più bassi saranno i campi elettrici indotti nei tessuti. Per questo motivo in alcune circostanze l'impiego di scarpe da lavoro isolanti può garantire una certa protezione dagli effetti dei campi a bassa frequenza.

Campo magnetico esterno

A differenza di quanto avviene con i campi elettrici, il corpo umano non perturba un campo magnetico applicato. Il campo magnetico nel tessuto umano è uguale al campo magnetico esterno. Questo è dovuto al fatto che la permeabilità magnetica dei tessuti è uguale a

quella dell'aria. I materiali magnetici (per esempio la magnetite) possono essere presenti nel tessuto, anche se in quantità così ridotte che a fini pratici possono essere ignorati.

La principale interazione di un campo magnetico esterno con il corpo è il flusso di corrente associato all'induzione di Faraday nel tessuto umano conduttore. In tessuti eterogenei che consistono in diverse regioni di conduttività, anche le correnti scorrono presso le interfacce ubicate tra queste regioni.

Campi ad alta frequenza

Ad alte frequenze il corpo umano può essere considerato un'antenna conduttrice imperfetta. I campi elettrici e le correnti sono indotti nei tessuti del corpo. Se il corpo è in piedi su un piano di massa, le correnti indotte scorrono attraverso il corpo in direzione verticale attraverso i piedi nella massa. I campi elettrici indotti e le correnti generano effetti termici nei tessuti umani, sia localmente sia in tutto il corpo. L'intensità e la distribuzione spaziale di questi campi elettrici indotti dipendono molto dalla configurazione e dalla frequenza dell'esposizione.

Il corpo ha una frequenza di risonanza naturale correlata alla sua altezza. I campi elettromagnetici a radiofrequenza sono assorbiti in modo più efficiente a frequenze vicine a questa frequenza di risonanza. A frequenze inferiori a circa 1 MHz il corpo umano assorbe una quantità di energia a radiofrequenza (RF) molto scarsa. Un considerevole assorbimento si verifica alla frequenza di risonanza pari a 60-80 MHz se isolato e a 30-40 MHz quando il corpo umano è collegato a terra. Inoltre, anche le parti del corpo possono essere risonanti. La testa di un adulto è risonante a circa 400 MHz. Se il corpo adotta una postura seduta, le metà superiori e inferiori del corpo possono avere una propria frequenza di risonanza. Pertanto la frequenza a cui la quantità massima di energia RF viene assorbita dipende dalle dimensioni del corpo e dalla postura. In generale, si verifica minore riscaldamento RF all'aumentare della frequenza al di sopra della regione di risonanza. Tuttavia il riscaldamento a frequenze superiori tende a essere più concentrato sulla superficie del corpo al diminuire della profondità di penetrazione del campo incidente.

D.1.3.3 Valori limite di esposizione

I VLE rappresentano grandezze dosimetriche nel corpo volte a proteggere dagli effetti nocivi dell'esposizione umana a campi elettromagnetici. I VLE applicati dipendono dalla frequenza del campo in esame.

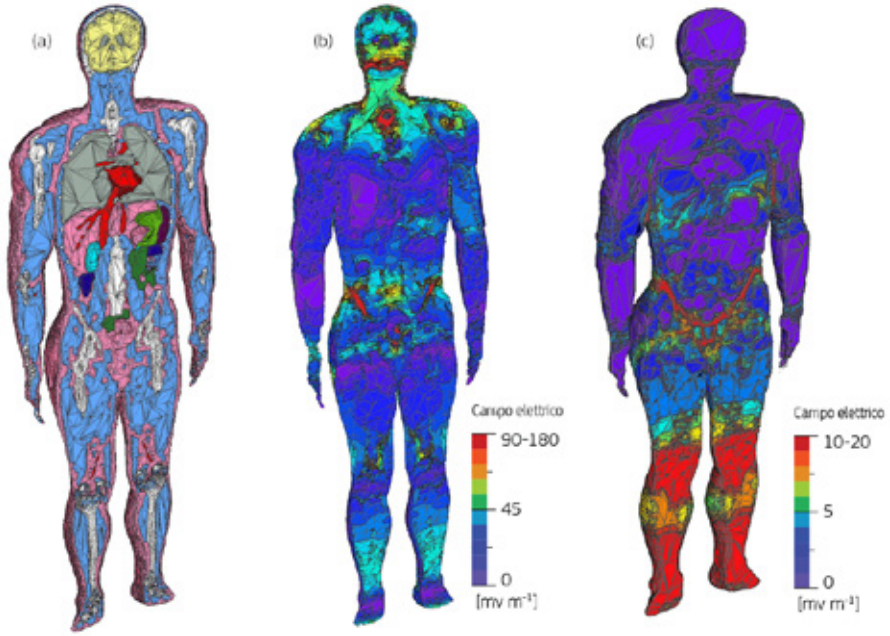
Bassa frequenza

A basse frequenze (da 1 Hz a 10 MHz) la principale grandezza dosimetrica è il campo elettrico interno indotto nel corpo umano. Questo è dovuto al fatto che le soglie per la stimolazione dei tessuti nervosi umani sono definite dall'intensità e dalla variazione spaziale di questi campi elettrici interni. L'unità di misura del campo elettrico indotto è il Volt per metro (Vm^{-1}).

Con l'esposizione a campi elettrici a bassa frequenza, nel corpo si producono campi elettrici interni che perturbano considerevolmente il campo incidente. Cariche non uniformi sono indotte sulla superficie del corpo dal campo elettrico esterno e si creano campi elettrici interni che possono generare correnti all'interno del corpo.

Con l'esposizione a campi magnetici a bassa frequenza, campi elettrici interni sono prodotti dal campo magnetico che induce un campo elettrico e correnti associate nel tessuto umano. Anche le correnti che scorrono tra regioni di conduttività dei tessuti nel corpo producono campi. La figura D3 mostra in che modo questi campi elettrici indotti sono assorbiti nel corpo in conseguenza dell'esposizione a campi esterni elettrici e magnetici a bassa frequenza.

Figura D3 — Esposizione alla bassa frequenza: immagini in sezione del corpo umano che mostrano (a) organi interni del corpo, (b) campi elettrici interni prodotti dall'esposizione a un campo magnetico esterno a bassa frequenza e (c) campi elettrici interni derivanti dall'esposizione a un campo esterno a bassa frequenza

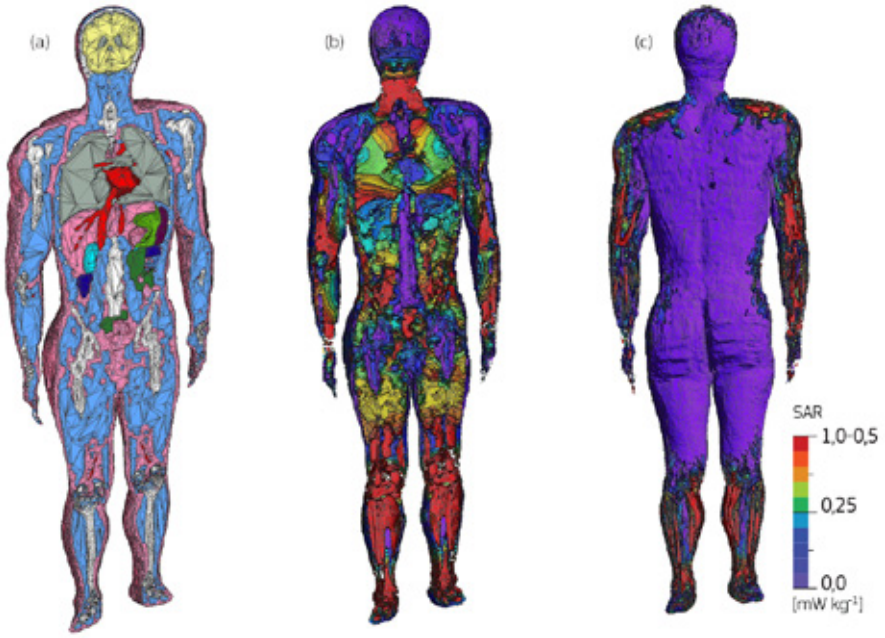


Alta frequenza

Ad alte frequenze (da 100 kHz a 300 GHz) la principale misura dosimetrica dell'assorbimento del campo elettromagnetico è il tasso di assorbimento specifico di energia (SAR). Ciò è dovuto agli effetti biologici dannosi dominanti derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici a queste frequenze, provocati da aumenti di temperatura nei tessuti.

Il SAR può essere definito come la potenza assorbita per unità di massa. La sua unità di misura è il watt per chilogrammo (Wkg^{-1}). Viene utilizzato come grandezza dosimetrica nella direttiva EMF poiché è strettamente correlato all'aumento della temperatura nel tessuto umano. La figura D4 mostra la distribuzione del SAR nel corpo umano quando questo è esposto a un campo elettromagnetico ad alta frequenza.

Figura D4 — Esposizione all'alta frequenza: immagini in sezione del corpo umano che mostrano (a) organi interni del corpo, (b) SAR prodotto nei tessuti dall'esposizione a un campo elettromagnetico a 40 MHz e (c) SAR prodotto nei tessuti dall'esposizione a un campo elettromagnetico a 2 GHz



La grandezze dosimetriche interne (campi elettrici e SAR) utilizzate per definire i VLE non possono essere valutate con precisione con la misurazione, poiché le intensità di campo nel corpo umano non possono essere misurate in maniera non invasiva. Le grandezze dosimetriche VLE sono state misurate negli animali, ma i dati sono limitati e la precisione di tali misurazione è piuttosto scarsa. Inoltre, l'estrapolazione degli studi animali agli esseri umani non può essere applicata direttamente a causa delle differenze fisiologiche tra le specie sotto molto aspetti. Le simulazioni numeriche dell'assorbimento elettromagnetico umano, quindi la conformità con i VLE di cui alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici, consentono di verificare direttamente le grandezze dosimetriche interne.

D.1.3.4 Valutazione della conformità con i VLE

Per calcolare le grandezze dosimetriche nel corpo necessarie per effettuare comparazioni con i VLE, si richiedono una rappresentazione del corpo umano, un metodo numerico capace di modellare l'interazione del campo elettromagnetico con i tessuti biologici e una rappresentazione della sorgente del campo elettromagnetico.

Modello umano

Il corpo umano può essere considerato un'antenna ricevente quando è esposto a campi elettromagnetici. Pertanto, le proprietà anatomiche, geometriche ed elettriche sono estremamente importanti al momento di valutare la conformità con i VLE.

Storicamente, sono state utilizzate semplici strutture omogenee come sfere, sferoidi, cilindri, dischi e cubi per sostituire il corpo al fine di valutare le grandezze dosimetriche interne. Per queste forme omogenee viene utilizzato un unico valore di conduttività e permittività, che rappresenta un valore medio su tutto il corpo; solitamente non dipende dalla frequenza. L'utilizzo di strutture così semplici semplifica la simulazione numerica dell'esposizione a campi elettromagnetici. Tuttavia tali procedure producono risultati imprecisi che sovrastimano considerevolmente l'effettiva esposizione.

Figura D5 — Modello umano: esempio di modello maschile, eterogeneo e anatomicamente realistico. Sono indicati gli organi interni e dello scheletro (a sinistra), lo strato muscolare (al centro) e lo strato dermico (a destra)

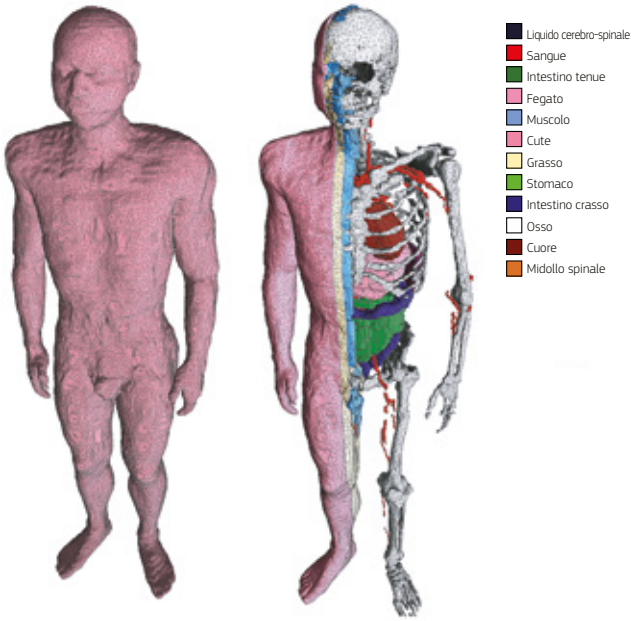
Si raccomanda di utilizzare modelli eterogenei e anatomicamente realistici del corpo umano per la valutazione dell'esposizione a campi elettromagnetici. Attualmente alcune organizzazioni hanno elaborato una serie di modelli eterogenei del corpo umano (uomo, donna, donna in gravidanza, con specifiche posture, eccetera) in cui si identificano realisticamente l'anatomia e numerosi tessuti. A causa dell'investimento necessario per produrre un simile modello, di norma il suo impiego sarà costoso. Inoltre, ci sarà inevitabilmente una differenza tra i vari modelli disponibili, pertanto i risultati prodotti saranno leggermente diversi.

Tendenzialmente i modelli anatomicamente realistici sono sviluppati mediante segmentazione computerizzata dei dati in diversi tipi di tessuti. Particolare attenzione è rivolta alla necessità di rendere questi modelli anatomicamente realistici. Le figure D5 e D6 mostrano esempi di un modello eterogeneo di maschio adulto. Questi modelli sono di solito composti da oltre 30 singoli tessuti e organi. Il modello può essere basato sulla superficie o su voxel (pixel volumetrico).

Se si utilizza nelle simulazioni impiegando un metodo numerico come la dimensione temporale delle differenze finite, il modello del corpo umano è solitamente rappresentato da celle cubiche (voxel) di 1-2 mm di dimensioni. Ai voxel vengono assegnati un valore di permittività e uno di conduttività sulla base dei valori misurati per vari organi e tessuti.

Per calcolare le grandezze dosimetriche dei modelli umani mostrati, le proprietà dielettriche dei tessuti che compongono questi modelli devono essere specificate. Se si ipotizza che diversi tessuti siano essenzialmente omogenei, le proprietà elettriche possono essere descritte con due parametri, ossia la conduttività (σ) e la permittività (ε). Tali proprietà variano con la frequenza per i tessuti biologici. In generale la conduttività di un tessuto aumenta e la permittività diminuisce all'aumentare della frequenza.

Figura D6 — Modello umano: immagine in sezione di un modello umano eterogeneo che mostra tipi di tessuto selezionati



Le proprietà dielettriche differiscono considerevolmente a seconda del tessuto specifico (cfr. http:/niremf.ifac.cnr.it/tissprop/). Tessuti con alta percentuale d'acqua, per esempio i fluidi corporei, non mostrano quasi nessuna dipendenza dalla frequenza per frequenze inferiori a 100 kHz. La percentuale d'acqua o di fluidi presente in un tessuto umano è significativa nelle proprietà dielettriche e nei cambiamenti che si registrano con la frequenza. Di conseguenza, i tessuti che mostrano un comportamento simile quando vengono esposti a campi elettromagnetici possono essere raggruppati a seconda del loro contenuto d'acqua. Per esempio il sangue e il liquido cerebrospinale hanno un alto contenuto d'acqua e possono condurre le correnti relativamente bene. I polmoni, la cute e il grasso non sono buoni conduttori laddove il fegato, la milza e i muscoli hanno una conduttività intermedia.

Metodi numerici

Per valutare l'assorbimento del campo elettromagnetico nei modelli umani eterogenei e anatomicamente realistici sono stati impiegati vari metodi numerici. I metodi numerici idonei sono limitati dalle proprietà elettriche altamente eterogenee del corpo umano e dalle forme degli organi interni ed esterni, ugualmente complesse.

I metodi che sono stati utilizzati con successo per la dosimetria dei campi elettromagnetici ad alta risoluzione comprendono il metodo delle differenze finite (FD), il metodo del dominio della frequenza e del dominio del tempo (FDTD), il metodo degli elementi finiti (FEM) e la tecnica di integrazione finita (FIT).

Questi metodi forniscono una soluzione diretta delle equazioni di Maxwell. Tendono a dividere il dominio computazionale in un reticolo in 3D di celle o superfici cui vengono assegnate proprietà elettriche discrete. Nel caso del metodo delle differenze finite, l'iterazione del codice computazionale avviene nel tempo e nello spazio, stimando i valori di campo in ciascuna cella fino a ottenere la convergenza della soluzione.

Ciascun metodo presenta vantaggi e limitazioni. Tutti i metodi e alcuni codici informatici sono stati soggetti ad ampie verifiche mettendo a confronto soluzioni analitiche e risultati sperimentali per garantire che i risultati prodotti da questi metodi siano rappresentativi per un'ampia varietà di situazioni di esposizione elettromagnetica.

D.1.3.5 Media: Campo elettrico indotto del 99° percentile, WBSAR e SAR localizzato

Campo elettrico indotto del 99° percentile

Al momento di limitare gli effetti nocivi dei campi elettrici in situ indotti nel lavoratore, è importante definire la regione nella quale il campo elettrico è mediato in situ. Come compromesso pratico, che soddisfi da un lato i requisiti di una solida base biologica e dall'altro le limitazioni computazionali, si raccomanda di determinare il campo elettrico in situ come media vettoriale del campo elettrico in un ridotto volume di tessuto contiguo, pari a 2 x 2 x 2 mm^3.

Spesso i metodi numerici utilizzati per calcolare i campi elettrici indotti nel corpo impiegano un modello umano discretizzato in celle o voxel. Tuttavia se si usa un metodo che non impiega celle, sarebbe opportuno preparare un adeguato algoritmo di calcolo della media che calcoli il campo elettrico su un volume di 2 x 2 x 2 mm^3 nell'ambito del codice numerico. Per un tessuto specifico, il valore del 99° percentile del campo elettrico è il valore rilevante da comparare con il valore limite di esposizione (ICNIRP 2010).

Valore del SAR mediato su tutto il corpo (WBSAR)

Il VLE relativo al WBSAR ha lo scopo di proteggere dagli effetti del riscaldamento estesi a tutto il corpo. Per calcolare il SAR riferito a tutto il corpo si sommano i tassi di assorbimento in tutti i voxel del modello umano e quindi si dividono per la massa corporea.

SAR localizzato

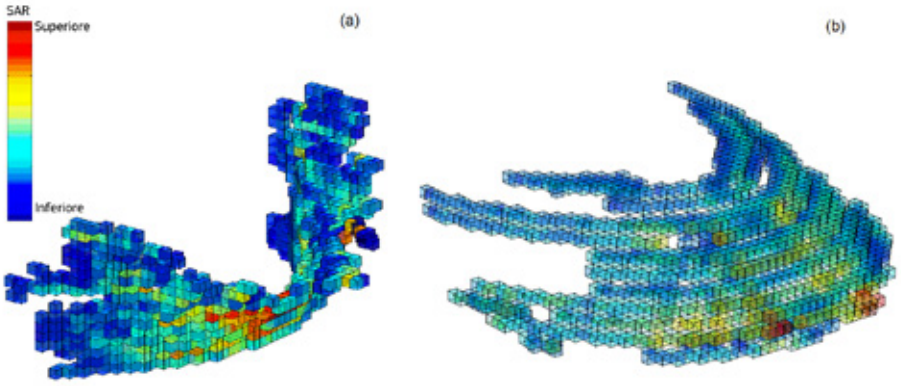
I VLE per il SAR localizzato vengono specificati nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici per proteggere dal riscaldamento localizzato nel corpo umano, in particolare dall'esposizione a sorgenti di radiazioni elettromagnetiche ubicate nel campo prossimo.

Per calcolare il SAR localizzato per l'esposizione a campi elettromagnetici da 100 kHz a 6 GHz, ai sensi della direttiva relativa ai campi elettromagnetici la massa adottata per mediare dev'essere pari a 10 g di tessuto contiguo (ossia connesso). Il massimo valore SAR localizzato nel corpo dev'essere utilizzato per la stima dell'esposizione.

Una procedura per calcolare il SAR localizzato su 10 g di regione contigua è la seguente. In una sezione orizzontale del modello umano viene selezionata una cella con il massimo SAR. Si effettua quindi una ricerca tra le sei celle adiacenti che toccano le facce dell'originale per trovare quella con il più alto tasso di assorbimento. Alla fine si sommano le potenze e le masse. Si effettua una ricerca tra le corrispondenti celle adiacenti sulla sua superficie per ottenere una regione connessa di celle per la quale la massa sia uguale a 10 g e il SAR viene calcolato per questa regione connessa. In questa procedura si impiegano circa 1 000 celle (a seconda della densità del tipo di tessuto) per una risoluzione in voxel di 2 mm, dal momento che il volume di ciascuna cella è pari a 0,008 cm^3. Questa procedura si ripete per ciascuna sezione orizzontale, e alla fine viene scelto il massimo valore SAR di qualsiasi regione connessa sull'intero modello umano.

La figura D7 mostra esempi di SAR localizzato mediato su 10 g di regione contigua. La figura mostra altresì il picco del SAR su 10 g di regione contigua calcolato in un modello umano, derivante dall'esposizione a un campo elettromagnetico a onde piane a 100 MHz e 3,4 GHz.

Figura D7 — Regioni contigue: Il SAR è mediato su regioni contigue (connesse) di 10 g in un modello umano per l'esposizione a (a) un campo elettromagnetico a 100 MHz e (b) a 3,4 GHz. Nella mappa a colori si va dal blu scuro (SAR inferiore) al rosso scuro (SAR superiore)



D.2 Dimostrazione di conformità per l'esposizione non uniforme

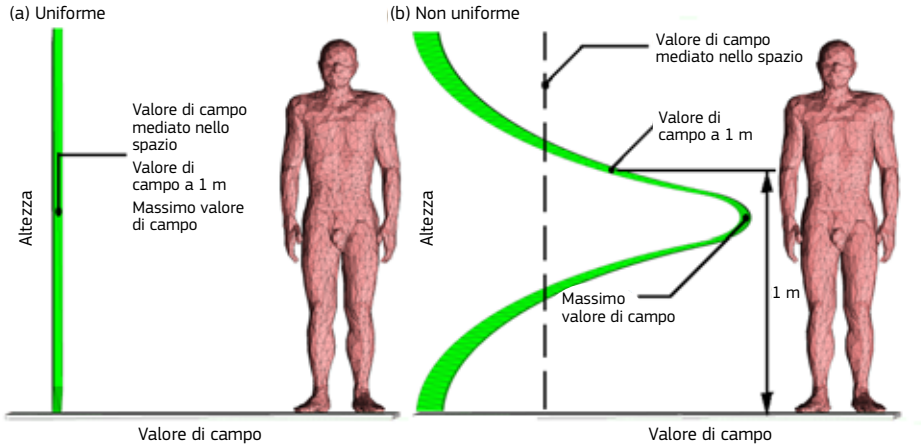
D.2.1 Introduzione

L'esposizione ai campi elettromagnetici può essere descritta come uniforme o come non uniforme. Un campo elettromagnetico uniforme viene definito alle alte frequenze come un'onda che si è diffusa così tanto che apparentemente la sua ampiezza è la stessa ovunque nel piano perpendicolare al suo orientamento. Il campo uniforme è un'idealizzazione che consente di definire l'onda come un'onda intera che viaggia in un'unica direzione. A basse frequenze, un campo uniforme è un campo che è lo stesso attraverso un volume definito, per esempio, un campo elettrico tra due placche parallele infinite.

La determinazione del valore di campo per la valutazione della conformità ai LA è irrilevante per un campo elettromagnetico uniforme, poiché il valore è lo stesso lungo una linea perpendicolare all'orientamento dell'onda (figura D8). Se un campo è uniforme in questo modo, o relativamente uniforme (entro il 20 %), una misurazione del campo in un punto dello spazio occupato da un lavoratore dovrebbe essere sufficiente.

Dispositivi che producono radiazioni elettromagnetiche possono creare condizioni di esposizione non uniformi sull'altezza del corpo, se collocati vicino a una persona o in un ambiente in cui vi siano variazioni nel campo generato a causa di riflessi /dispersioni a terra provenienti dagli oggetti circostanti.

Figura D8 — Esempi di esposizione uniforme e non uniforme: variazione del campo in funzione della distanza dalla terra per (a) un campo uniforme e (b) un dipolo tipico. Sono indicati il valore del campo mediato nello spazio, il massimo valore di campo e il valore di campo a 1 m



La determinazione di un unico valore di campo per effettuare una comparazione con i LA non è irrilevante se il campo varia sensibilmente nella regione occupata dal lavoratore. In questa situazione di esposizione, è possibile utilizzare il massimo valore di campo nella posizione corporea dei lavoratori, ma ciò comporterà una valutazione prudente. Alcune organizzazioni hanno proposto di impiegare un unico valore di campo a un'altezza di 1 m; tuttavia anche questo valore spesso non è rappresentativo.

In queste situazioni non uniformi occorre definire un metodo appropriato per ottenere un unico valore di campo. Ai sensi della direttiva in questi casi è possibile impiegare la media spaziale dei campi. Si consigliano misurazioni o calcoli mediati nello spazio giacché forniscono indicazioni dell'esposizione più rappresentative in situazioni in cui il campo varia lungo l'altezza del corpo umano.

D.2.2 Questioni concernenti l'esposizione non uniforme

La direttiva specifica i LA in termini di un unico valore per una particolare frequenza. L'ampiezza di questi LA è stabilita per garantirne la conformità ai VLE pertinenti o per decidere quali delle misure di protezione o di prevenzione, di cui all'articolo 5, debbano essere adottate.

Tuttavia, se il campo è non uniforme nell'area occupata dal lavoratore [come nella figura D8 (b)], l'intensità del campo elettrico o l'induzione magnetica variano a seconda della posizione nella quale il campo viene valutato. Una domanda valida sarebbe la seguente: quale valore del campo dev'essere comparato con i LA?

In queste situazioni di esposizione la direttiva raccomanda di dare la priorità al massimo valore di campo rispetto al volume o alla media spaziale pertinenti. Nei casi in cui vi sia una sorgente molto localizzata vicina al corpo, la conformità ai VLE dev'essere determinata mediante dosimetria.

Per quanto riguarda gli effetti non termici, nelle note B1-3 e B2-3 dell'allegato II della direttiva si legge:

«I LA rappresentano i valori massimi calcolati o misurati nello spazio occupato dal corpo del lavoratore. Ciò comporta una valutazione dell'esposizione prudente e una conformità automatica ai VLE in tutte le condizioni di esposizione non uniformi. Al fine di semplificare la valutazione della conformità ai VLE, effettuata ai sensi dell'articolo 4, in specifiche condizioni non uniformi, nella guida pratica di cui all'articolo 14 saranno stabiliti criteri relativi alla media spaziale dei campi misurati, sulla base di una dosimetria consolidata. Qualora si tratti di una sorgente molto localizzata, distante pochi centimetri dal corpo, il campo elettrico indotto è determinato caso per caso mediante dosimetria».

Per quanto riguarda gli effetti termici, nella nota B1-3 dell'allegato III della direttiva si legge:

«I La (E) e La (B) rappresentano i valori massimi calcolati o misurati nello spazio occupato dal corpo del lavoratore. Ciò comporta una valutazione dell'esposizione prudente e una conformità automatica ai VLE in tutte le condizioni di esposizione non uniformi. Al fine di semplificare la valutazione della conformità ai VLE, effettuata ai sensi dell'articolo 4, in specifiche condizioni non uniformi, nella guida pratica di cui all'articolo 14 saranno stabiliti criteri relativi alla media spaziale dei campi misurati, sulla base di una dosimetria consolidata. Qualora si tratti di una sorgente molto localizzata, distante pochi centimetri dal corpo, la conformità ai VLE è determinata caso per caso mediante dosimetria».

D.2.2.1 Massimo valore di campo

È il modo più semplice per valutare la conformità ai limiti di cui alla direttiva; tuttavia è anche il metodo che offre la stima più prudente dell'esposizione del lavoratore ad un campo. Non viene calcolata alcuna media spaziale. La misurazione o il calcolo del campo imperturbato, ossia senza la presenza del lavoratore, vengono effettuati in un punto dell'area occupata dal lavoratore dove il campo è alla sua massima intensità. Il campo è valutato in assenza del lavoratore poiché la sua presenza, in alcune situazioni di esposizione, può alterare il valore di campo. Va osservato che alle basse frequenze la presenza di un lavoratore influisce soltanto sul campo elettrico. Gli esseri umani non sono magnetici e le correnti indotte non sono sufficienti a influire sul campo.

Nella sezione «Media spaziale dei campi elettrici e magnetici esterni» dell'ICNIRP (2010), si legge:

«I livelli di riferimento sono stati stabiliti per condizioni di esposizione in cui la variazione del campo elettrico o magnetico entro lo spazio occupato dal corpo è relativamente piccola. Nella maggior parte dei casi, però, la distanza dalla sorgente è talmente piccola che la distribuzione del campo è non uniforme, o localizzata in una piccola parte del corpo. In questi casi la misura della massima intensità del campo elettrico nella posizione dello spazio occupata dal corpo dà luogo a una valutazione dell'esposizione che garantisce sicurezza, ma è molto conservativa».

D.2.2.2 Media spaziale

La valutazione spaziale del campo in caso di esposizione non uniforme può essere effettuata in diversi modi. Tre approcci comunemente usati, per ordine di complessità decrescente, consistono nel mediare il campo nello spazio, rispettivamente, su

- un volume occupato dal lavoratore o parte del lavoratore;
- un'area trasversale occupata dal lavoratore o parte del lavoratore;
- una linea della zona occupata dal lavoratore o parte del lavoratore.

Una descrizione dettagliata di questi approcci è reperibile in varie norme e orientamenti internazionali, per esempio IEEE C95.3 (2002), Cenelec EN 50357 (2001), IEC 62226 (2001), IEC 62233 (2005), IEC 62110 (2009). Quanto più complessa è la procedura di calcolo della media, tanto migliore è l'approssimazione del campo non uniforme. È però risaputo che, ai fini della valutazione della conformità, può risultare difficile determinare i valori del campo sulla proiezione di un volume o di un'area in quanto tali approcci richiedono un gran numero di punti di campionamento. I metodi di media lineare possono fornire una rappresentazione corretta di un campo elettromagnetico non uniforme e sono pertanto raccomandati nelle seguenti sezioni.

(a) Esposizione a campi elettrici e magnetici compresi tra 1 Hz e 10 MHz

I valori mediati nello spazio dell'intensità del campo elettrico (E_{avg}) oppure dell'induzione magnetica (B_{avg}) devono essere calcolati utilizzando le seguenti formule:

$$E_{avg} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} E_i \qquad \textbf{(Equazione 1)}$$

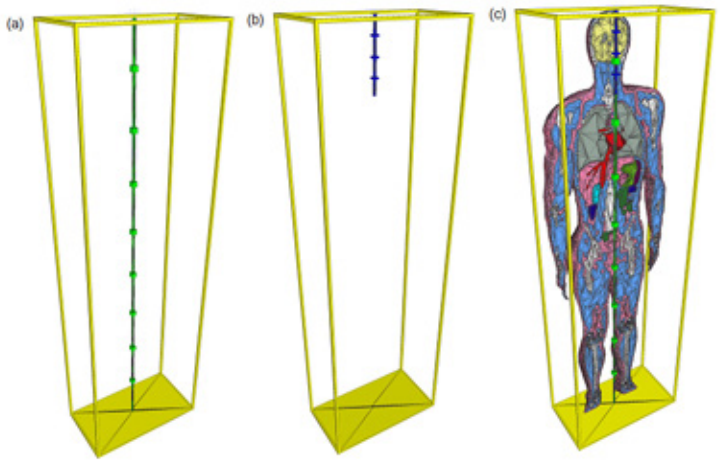
$$B_{avg} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} B_i \qquad \textbf{(Equazione 2)}$$

dove *n* è il numero dei punti di misurazione, *Ei* e *Bi* sono rispettivamente l'intensità del campo elettrico e l'induzione magnetica, misurate nel punto i^{esimo}.

La posizione della linea su cui occorre calcolare il valore medio del campo varia, a seconda che il valore medio nello spazio ottenuto deve essere confrontato ad un LA inferiore, superiore o relativo all'esposizione degli arti. I LA superiori mirano alla protezione dalla stimolazione dei nervi periferici nella testa e nel tronco. Pertanto, se si vuole comparare il valore E_{avg} o B_{avg} con il LA superiore, di solito basterà una semplice scansione lineare dei campi sull'altezza della testa e del tronco, attraverso il centro dell'area proiettata. I LA inferiori mirano alla protezione dagli effetti sensoriali a livello di sistema nervoso centrale e della testa. Pertanto, se si vuole comparare il valore E_{avg} o B_{avg} con il LA inferiore, di solito una semplice scansione lineare dei campi sull'altezza della testa, attraverso il centro dell'area proiettata, costituirà una soluzione adeguata. Infine, i LA relativi agli arti si riferiscono alla protezione dalla stimolazione dei nervi negli arti. Pertanto, se si vuole comparare il valore B_{avg} con il LA inferiore, di solito sarà sufficiente una semplice scansione lineare dei campi sull'altezza dell'arto passando attraverso il centro dell'area proiettata.

Per calcolare la media spaziale sulle regioni della testa, della testa e del tronco o degli arti, di norma si ritiene opportuno rilevare una serie di almeno tre misurazioni, a distanza uniforme. Sono accettabili anche misurazioni di campo aggiuntive ottenute, per esempio, utilizzando un dispositivo di registrazione di dati o che calcola la media spaziale; queste misurazioni fornirebbero maggiori informazioni sulla distribuzione spaziale del campo.

Figura D9 — (a) Media spaziale del campo su una linea verticale nella zona occupata dal lavoratore; (b) media spaziale del campo su una linea verticale nella zona in cui si trova la testa del lavoratore; (c) punti di calcolo della media con vista prospettica del lavoratore al suo posto



(b) Esposizione a campi elettrici e magnetici compresi tra 100 kHz e 300 GHz

I valori mediati nello spazio dell'intensità del campo elettrico (E_{avg}), dell'induzione magnetica (B_{avg}) e della densità di potenza (W_{avg}) devono essere calcolati utilizzando le seguenti formule:

$$E_{avg} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^{n} E_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \qquad \textbf{(Equazione 3)}$$

$$B_{avg} = \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^{n} B_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \qquad \textbf{(Equazione 4)}$$

$$W_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} W_i \qquad \textbf{(Equazione 5)}$$

in cui n è il numero dei punti di misura, E_i, B_i e W_i sono rispettivamente l'intensità del campo elettrico, l'induzione magnetica e la densità di potenza, misurate nel punto i^{esimo}.

I LA relativi all'esposizione a campi elettrici e magnetici da 100 kHz a 300 GHz mirano alla protezione dagli effetti nocivi per la salute derivanti dal riscaldamento nel corpo. Pertanto se si vuole comparare il valore E_{avg} o B_{avg} con il LA relativo agli effetti termici, sarà sufficiente una semplice scansione lineare effettuata su una linea verticale con spaziatura uniforme, dal livello del suolo fino a un'altezza di 2 m passando attraverso il centro dell'area proiettata.

Per calcolare una media spaziale adeguata per la maggioranza delle situazioni di esposizione, si ritiene opportuno considerare la media di almeno dieci punti di misurazione separati da una distanza uniforme su tutta l'altezza del lavoratore. I punti di misurazione dell'intensità di campo sono indicati mediante dei cubi verdi nella figura D9 (a). Sono accettabili anche misurazioni di campo aggiuntive ottenute, per esempio, utilizzando un dispositivo di registrazione di dati o che calcola la media spaziale; queste misurazioni fornirebbero maggiori informazioni sulla distribuzione spaziale del campo.

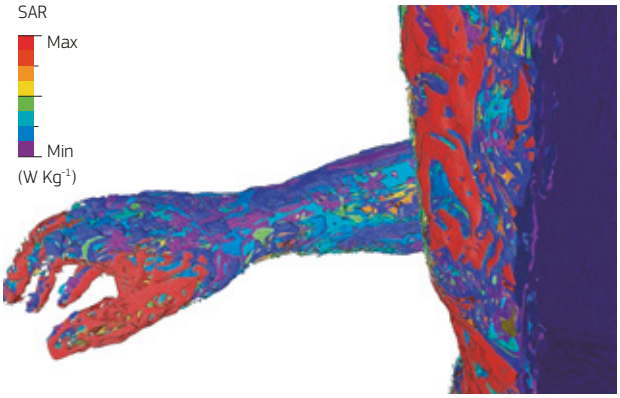
In queste situazioni le misurazioni devono essere effettuate con sensori di campo posti ad almeno 0,2 m da qualsiasi oggetto o persona per evitare effetti di accoppiamento di campo. Si noti che i valori mediati nello spazio dipendono anche dalle caratteristiche spaziali dei campi di radiofrequenze rispetto alla postura del lavoratore esposto.

D.2.2.3 Valutazione dosimetrica per la comparazione diretta con i VLE

Qualora la sorgente del campo elettromagnetico si trovi a pochi centimetri dal corpo, la direttiva raccomanda di determinare la conformità mediante un metodo di dosimetria in vista di una comparazione diretta con i VLE.

La determinazione dei campi elettrici indotti all'interno del corpo a basse frequenze, o del SAR e della densità di potenza ad alte frequenze, può essere effettuata con precisione solo mediante calcoli numerici. La procedura usata per calcolare grandezze dosimetriche interne è stata illustrata nelle sezioni precedenti della presente appendice. Un esempio di valutazione dosimetrica ottenuta tramite calcoli numerici è riportato nella figura D10.

Figura D10 — Determinazione delle grandezze dosimetriche, in questo caso il SAR nella mano e nel tronco derivante dall'esposizione a un cavo non schermato, per la comparazione diretta con i VLE. La direttiva raccomanda questo approccio per dimostrare la conformità nel caso di sorgenti di campo elettromagnetico molto localizzate situate a pochi centimetri dal corpo



D.2.2.3.1 Concetti dosimetrici di base

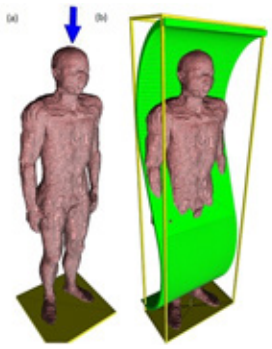
Il concetto e la precisione delle tecniche di valutazione dell'esposizione non uniforme possono essere esaminati tramite esempi.

(a) Esempio 1: Calcolo della media spaziale del campo in caso di esposizione a un'onda piana riflessa

Quando un'onda elettromagnetica riflessa interferisce con l'onda entrante, può prodursi un'onda stazionaria. In alcuni punti l'intensità del campo viene annullata, mentre nei punti più alti dell'onda stazionaria l'intensità del campo elettrico si raddoppia. Questa situazione è illustrata dalla figura D11.

In questo caso il lavoratore è esposto dall'alto a un campo polarizzato orizzontalmente, orientato fronte-retro. L'onda viene riflessa dal piano conduttore al suolo, e torna nell'area occupata dal lavoratore. Se si effettuasse un'unica misurazione in questa zona, si otterrebbe un valore compreso tra zero e il valore massimo del campo. Molto probabilmente quest'unica misurazione non sarebbe rappresentativo della situazione di esposizione. La figura D12 illustra il risultato sul lavoratore di questa esposizione ad onde stazionarie a 200 MHz. Come si può notare, il punto di assorbimento è determinato essenzialmente dalle posizioni dei picchi e dei flessi dell'onda stazionaria.

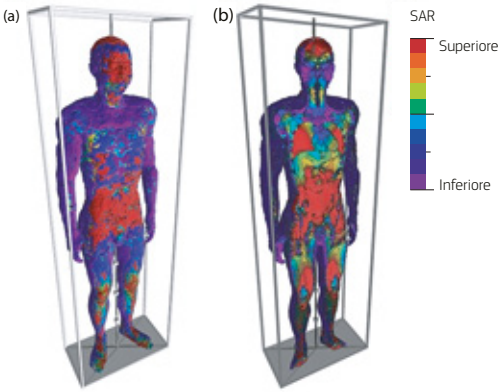
Figura D11 — Esempio 1: Modello umano esposto a un campo elettromagnetico riflesso nella zona occupata dall'essere umano. Questa regione è indicata con un riquadro giallo. L'onda stazionaria è indicata in verde



$$E_{spa} = \left[\frac{\int E^2(z)dz}{\int dz} \right]^{\frac{1}{2}}$$ **(Equazione 6)**

L'integrale nell'equazione 6 ci offre una risposta precisa sull'intensità media lineare del campo nella zona occupata dal lavoratore.

Figura D12 — Esempio 1, tracciati del SAR: Le distribuzioni del SAR in (a) tutto il corpo e (b) sezioni trasversali di un modello umano esposto a un campo elettrico polarizzato orizzontalmente e allineato fronte-retro, con irradiazione di un'onda piana di 200 MHz dall'alto in una situazione di collegamento a terra



Dal momento che per calcolare il campo mediato nello spazio si usa un numero finito di misurazioni, ci si aspetterebbe che quanto maggiore sia il numero di misurazioni, tanto più questo valore si avvicini alla soluzione esatta, calcolata con l'integrale. In linea generale è vero; tuttavia, per la valutazione della conformità sono sufficienti una decina di misurazioni. Le differenze tra il valore esatto del campo elettrico mediato nello spazio e il valore calcolato usando *x* misure sono di solito ridotte, anche quando si effettuano solo poche misurazioni. Si ha un'eccezione quando un nodo dell'onda stazionaria è situato vicino a un valore misurato.

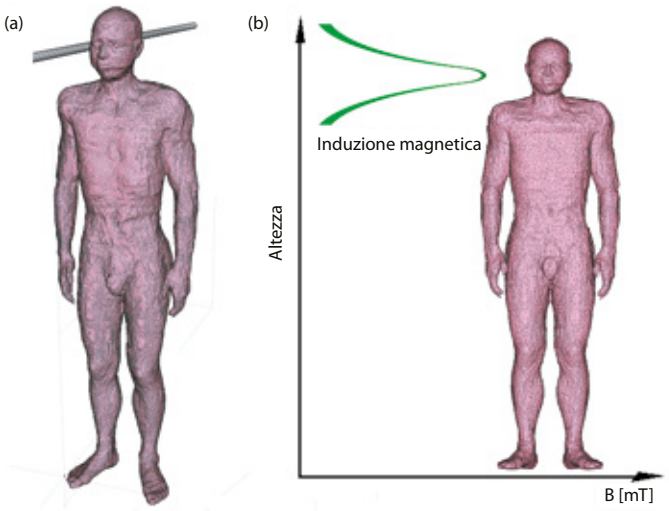
Benché il campo mediato nello spazio si possa rappresentare usando dieci misurazioni, un numero maggiore di misurazioni fornirà un valore più preciso del campo mediato nello spazio. Di conseguenza si consiglia di utilizzare, se è disponibile, una moderna apparecchiatura di ispezione capace di effettuare da 200 a 300 misurazioni per tutta la lunghezza del corpo (per esempio una sonda mossa per 10 secondi con un tasso di registrazione di 32 punti di rilevamento al secondo produce 320 misurazioni) poiché, ovviamente, quanto maggiore è il numero di misurazioni, tanto maggiore sarà la precisione.

Quando la sorgente di un campo elettromagnetico è collocata vicino al corpo, il campo incidente nella regione occupata dal corpo può essere non uniforme. Un esempio in tal senso è quello di un cavo collocato vicino alla testa (figura D13).

(b) Esempio 2: Media spaziale del campo derivante dall'esposizione a un cavo a 50 Hz

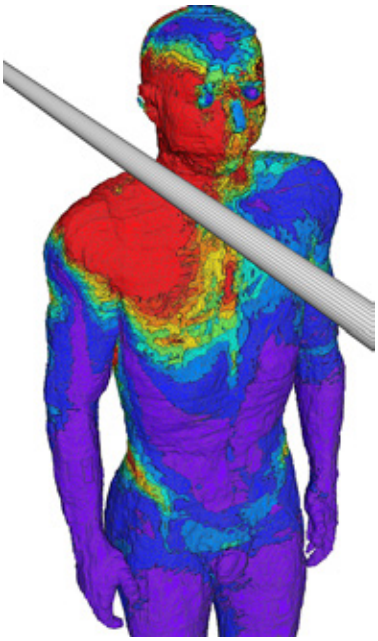
La figura D14 mostra la distribuzione di un campo elettrico indotto per quanto riguarda l'esposizione a livello della testa derivante da un cavo dritto a 50 Hz. Come si può vedere, l'assorbimento del campo elettromagnetico è abbastanza localizzato nella regione della testa e delle spalle.

Figura D13 — Esempio 2: (a) modello umano esposto a un cavo dritto; (b) variazione del campo generato in funzione dell'altezza



La ricerca dimostra che la raccomandazione di effettuare tre misurazioni è sufficiente nella gamma ELF per le sorgenti localizzate. La differenza tra l'impiego di tre punti sulla regione della testa e quello di un numero infinito di punti, è di circa l'8 % per questo esempio relativo a 50 Hz. Tale differenza può ovviamente essere migliorata, se si vuole, effettuando un maggior numero di misurazioni in linea verticale con spaziatura uniforme.

Figura D14 — Esempio 2: Distribuzione del campo elettrico indotto derivante dall'esposizione a un cavo a 50 Hz collocato vicino alla testa



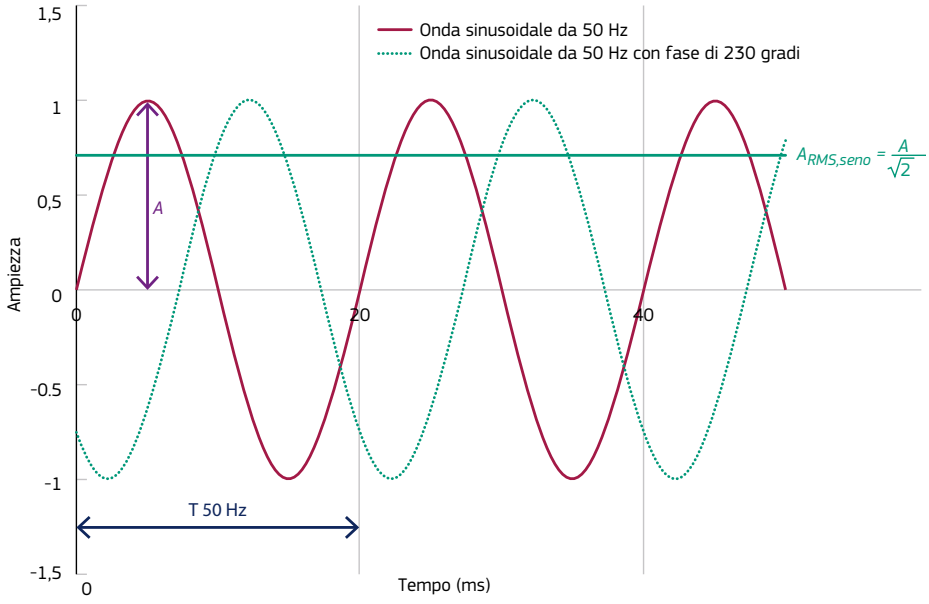
Nota bene: media spaziale

Ai fini della media spaziale, tre punti di misurazione per le valutazioni dell'esposizione alla bassa frequenza o dieci punti di misurazione per ispezioni sulla radiofrequenza saranno normalmente una quantità adeguata. Il miglioramento della qualità diminuisce progressivamente per ciascun punto di misurazione supplementare, per cui non è generalmente necessario usare più di dieci punti. Se per una situazione di esposizione è difficile effettuare la media spaziale su una linea, si deve usare una singola misura della massima intensità di campo.

D.3 Valutazione delle esposizioni a frequenze diverse

Come già si è rilevato nel capitolo 3 e nell'appendice A, campi magnetici ed elettrici esterni, a bassa frequenza e variabili nel tempo, inducono campi elettrici interni. Il variare del campo nel tempo è descritto da una forma d'onda. Per un campo esterno descritto da una semplice onda sinusoidale (figura D15), il campo elettrico indotto nel corpo è proporzionale all'ampiezza del campo esterno e alla sua frequenza.

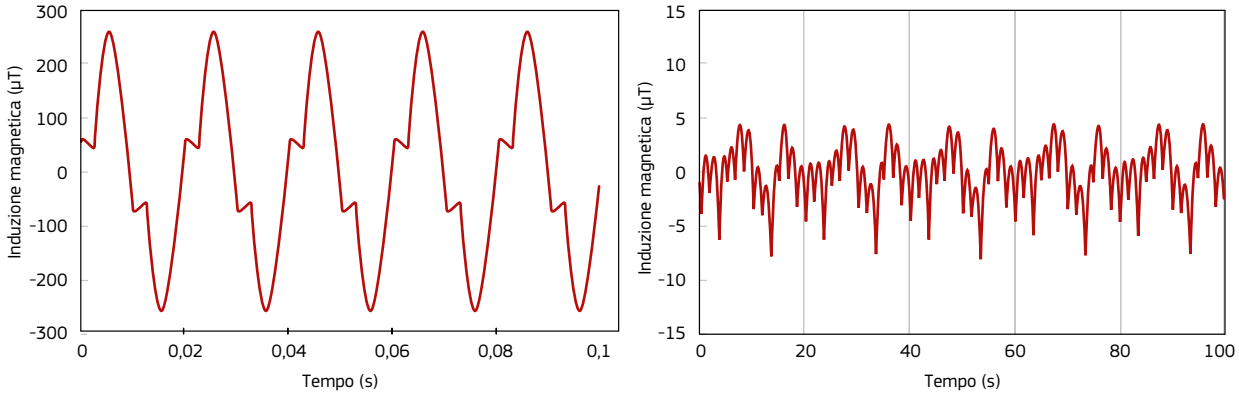
Figura D15 — Onda sinusoidale da 50 Hz. Le onde sinusoidali sono periodiche e hanno una frequenza f data da 1/T, dove T è il periodo della forma d'onda (per esempio T = 20 ms per l'onda sinusoidale da 50 Hz). Il valore efficace (RMS) di un'onda sinusoidale è dato dall'ampiezza di picco divisa per √2. L'effetto della fase dell'onda sinusoidale è di spostarla lungo l'asse del tempo



Le sorgenti di campo elettrico e magnetico inferiori a 10 MHz mostrano molto spesso forme d'onda diverse (qualche volta radicalmente diverse) da un'onda sinusoidale perfetta (figura D15) ma sono comunque periodiche (figura D16), ossia la forma dell'onda si ripete nel tempo. Questi tipi di forme d'onde complesse equivalgono alla somma di una serie di onde sinusoidali con frequenze diverse, e si riferiscono di solito alle componenti spettrali. Per una data forma d'onda, ciascuna di queste componenti spettrali è descritta da un'ampiezza e da una fase. Per analogia, un colore dato può essere scomposto in quantità diverse di colori primari (rosso, verde e blu). Il colore sarebbe la forma d'onda, il rosso, il verde e il blu le componenti spettrali, mentre l'intensità di ciascun colore primario è l'ampiezza di ciascuna componente spettrale. Lo spettro della forma d'onda fornisce le informazioni sullo spettro

(frequenze, ampiezze, fasi) e normalmente si ottiene effettuando un'analisi di Fourier sulla forma d'onda, oppure misurandola direttamente con strumenti a banda stretta (benché questi ultimi talvolta non forniscano informazioni sulla fase).

Figura D16 — Esempio di forme d'onda complesse d'induzione magnetica intorno a sistemi di rilevazione di incrinature. A destra, la periodicità di 20 ms è stata evidenziata con una griglia verticale a punti



D.3.1 Effetti non termici (da > 1 Hz a 10 MHz)

La valutazione della conformità ai LA (e ai VLE) nella regione a bassa frequenza (inferiore a 10 MHz) può essere effettuata in diversi modi, con alcuni metodi più approssimativi di altri ma più semplici da applicare.

Nota bene: valutazione delle frequenze multiple

Il metodo del picco ponderato nel dominio del tempo è il metodo di riferimento raccomandato dalla direttiva relativa ai campi elettromagnetici, ma si possono utilizzare anche metodi alternativi purché offrano risultati sostanzialmente equivalenti (o più prudenti): per esempio il metodo delle frequenze diverse descritto nella sezione D.3.1.2.

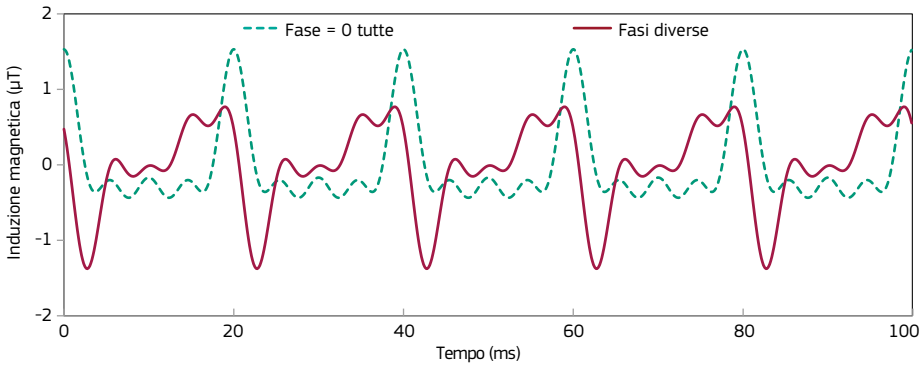
D.3.1.1 Il metodo del picco ponderato

Il metodo del picco ponderato tiene conto sia dell'ampiezza che delle fasi delle componenti spettrali che formano il segnale (cfr. la figura D17 per l'effetto delle fasi dello spettro sulla forma d'onda e sull'indice di esposizione). Il metodo è denominato del «picco ponderato» poiché la forma d'onda è ponderata da LA dipendenti dalla frequenza e l'ampiezza di picco della forma d'onda ponderata fornisce l'indice di esposizione. La ponderazione (o filtraggio) si può effettuare sia nel dominio della frequenza che nel dominio del tempo. Questo metodo è adatto anche per valutare la conformità ai valori limite di esposizione (VLE) relativi agli effetti sia sensoriali che sanitari.

Nota bene: indice di esposizione (EI)

L'indice di esposizione rappresenta l'esposizione osservata divisa per il valore limite. Se l'indice di esposizione è inferiore a uno, l'esposizione è conforme.

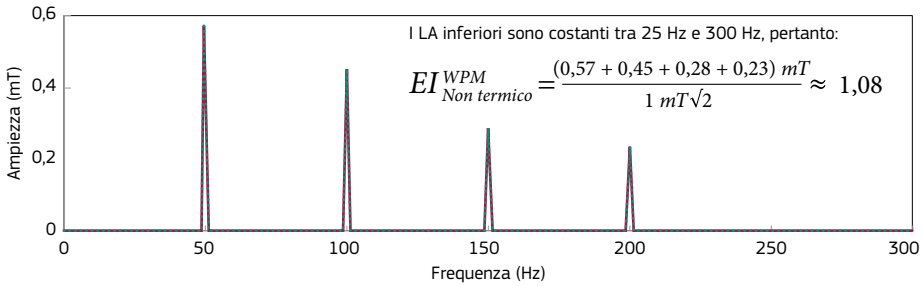
Figura D17 — Esempio dell'effetto delle fasi delle componenti spettrali sulla forma d'onda (grafico superiore). Entrambe le forme d'onda sono composte da onde a coseno a 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz e 200 Hz (grafico inferiore). L'unica differenza tra le due forme d'onda è che per una, tutte le fasi delle quattro componenti spettrali sono state fissate a 0 (linea verde a punti), mentre le fasi delle tre componenti spettrali dell'altra forma d'onda (linea rossa continua) sono state modificate (grafico centrale)

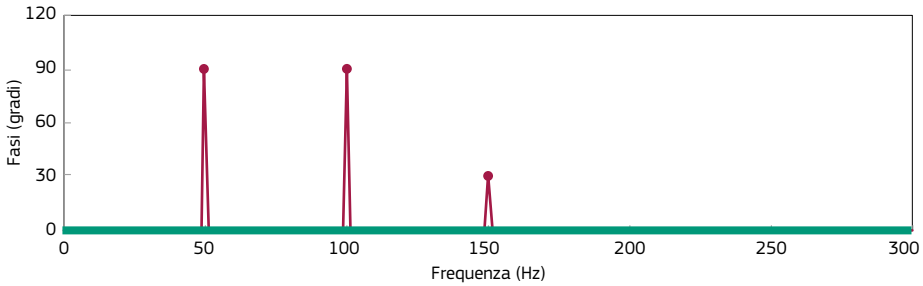


I LA inferiori sono costanti tra 25 Hz e 300 Hz, pertanto per i LA inferiori:

Tutte le fasi fissate a 0: $EI^{WPM}_{Non\ termico} = \frac{1{,}53\ mT}{1\ mT\sqrt{2}} \approx 1{,}08$ => Non conforme

Fasi diverse: $EI^{WPM}_{Non\ termico} = \frac{1{,}38\ mT}{1\ mT\sqrt{2}} \approx 0{,}97$ => Conforme



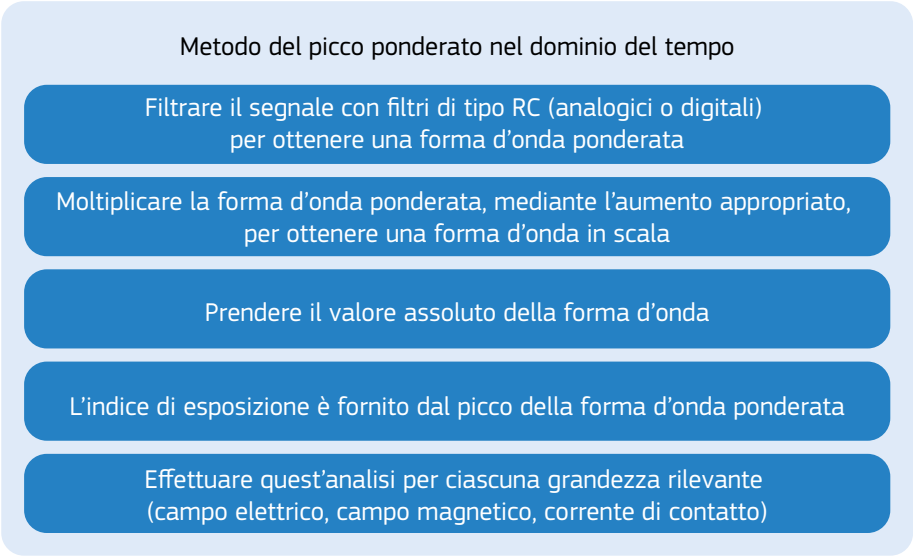


Metodo del picco ponderato nel dominio del tempo

Al momento di applicare il metodo del picco ponderato al dominio del tempo, la ponderazione viene effettuata utilizzando filtri RC con aumenti dipendenti dalla frequenza che riflettono la dipendenza dalla frequenza e l'ampiezza dei LA (figura D18). Ci sono alcune leggere differenze nell'ampiezza e nella fase del filtro quando si utilizzano i filtri RC rispetto ai valori segmentati forniti nella direttiva [1] (figure D19 e D20), tuttavia i filtri RC rappresentano un comportamento biologico più realistico e queste differenze sono ritenute accettabili dall'ICNIRP (ICNIRP 2010, Jokela 2000).

[1] L'ampiezza segmentata del filtro è fornita dall'inverso del LA mentre la fase segmentata del filtro è fornita dall'equazione 7.

Figura D18 — Fasi di calcolo per il metodo del picco ponderato nel dominio del tempo



Il filtraggio nel dominio del tempo può essere effettuato mediante la post-elaborazione della forma d'onda misurata, oppure digitalmente, per esempio utilizzando alcune apparecchiature reperibili in commercio con questa capacità di filtraggio (la funzione è talvolta indicata come Shaped Time Domain, STD). Se viene impiegata un'apparecchiatura reperibile in commercio, l'utente deve garantire che questa utilizzi la serie pertinente di LA (rispetto alle altre norme o metodi di esposizione).

Figura D19 — Ampiezza della funzione di ponderazione per il metodo del picco ponderato: valori dei segmenti di retta utilizzati nel dominio della frequenza (definiti nella sottosezione seguente) e valori approssimati (filtro RC) utilizzati nel dominio del tempo

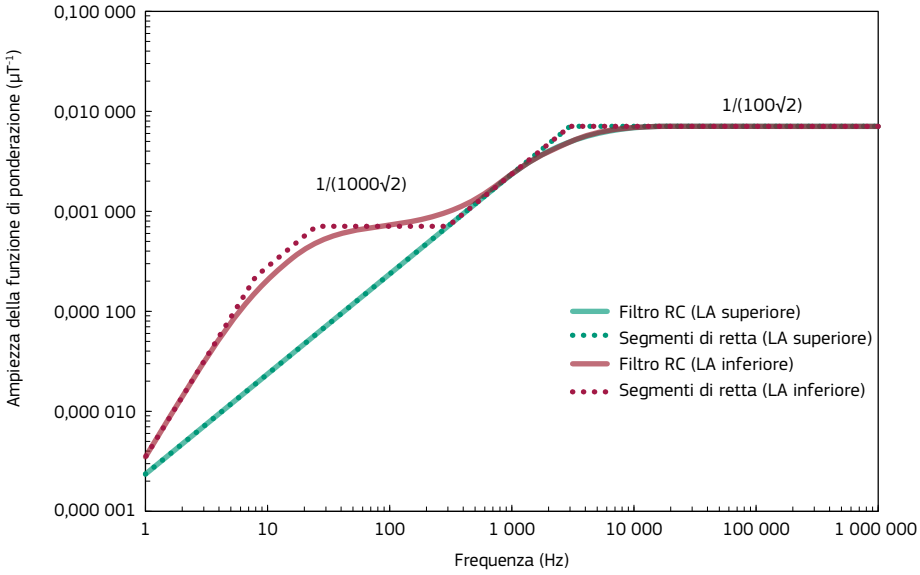
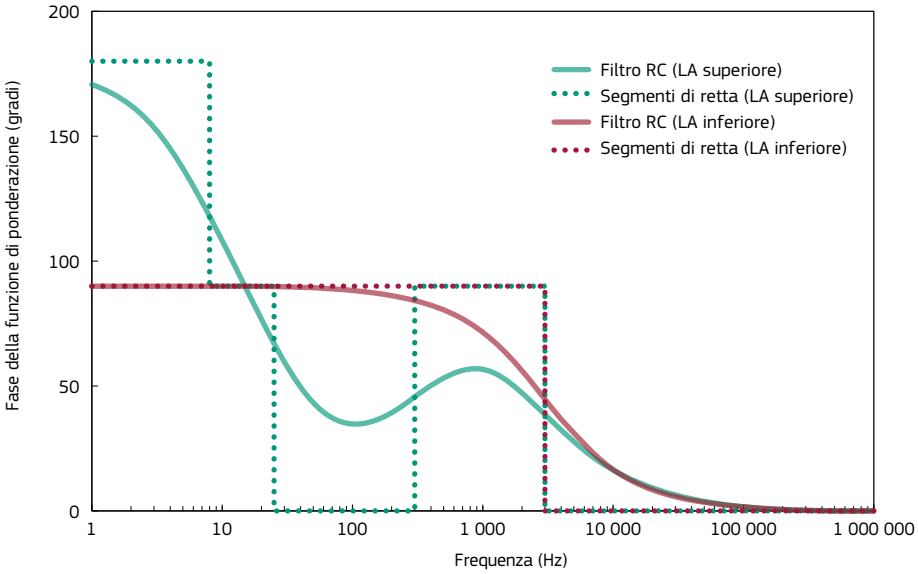


Figura D20 — Fase della funzione di ponderazione per il metodo del picco ponderato: valori dei segmenti di retta utilizzati nel dominio della frequenza (definiti nella sottosezione seguente) e valori approssimati (filtro RC) utilizzati nel dominio del tempo.



Metodo del picco ponderato nel dominio della frequenza

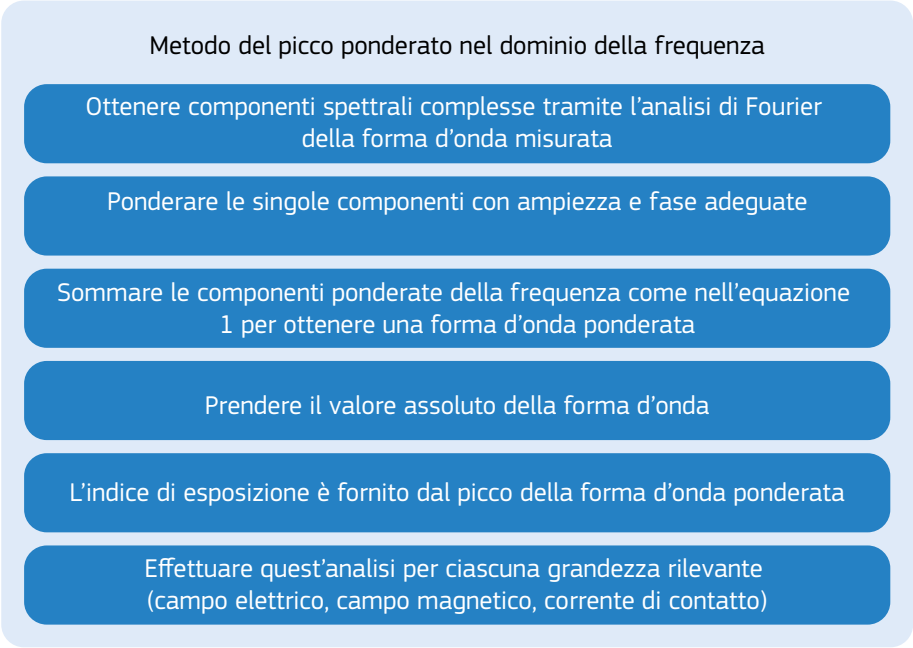
Le fasi per adottare l'approccio del picco ponderato nel dominio della frequenza sono illustrate nella figura D21, e vengono descritte negli orientamenti dell'ICNIRP del 2010 (ICNIRP2010). Per calcolare la forma d'onda ponderata, l'ampiezza di ciascuna componente spettrale è divisa per i pertinenti LA (o VLE se le ampiezze considerate sono campi elettrici interni), e si aggiunge una fase φ_f alla fase di ciascuna componente spettrale. Le informazioni ponderate sullo spettro vengono successivamente riconvertite al dominio del tempo utilizzando:

$$EI^{WP}_{non\text{-}thermal} = Maximum\left\{\left|\sum_f \frac{|A_f|}{AL_f\sqrt{2}} * \cos\left(2\pi f t + \theta_f + \varphi_f\right)\right|\right\} \qquad \textbf{Equazione 7}$$

Laddove $|A_f|$ e θ_f sono rispettivamente l'ampiezza di picco (intensità del campo elettrico o induzione magnetica) e la fase della componente spettrale alla frequenza f e AL_f è il LA pertinente a quella frequenza. La fase φ_f è una funzione della frequenza, ed è definita nell'appendice degli orientamenti dell'ICNIRP del 2010 (ICNIRP2010):

$$\varphi_f = \begin{cases} 180°, f \text{ or } AL_f \,\alpha\, {}^{1}\!/_{f^2} \\ 90°, f \text{ or } AL_f \,\alpha\, {}^{1}\!/_{f} \\ 0°, f \text{ or } AL_f = constant\ (\alpha\, f^0) \\ -90°, f \text{ or } AL_f \,\alpha\, f \end{cases} \qquad \textbf{Equazione 8}$$

Figura D21 — Fasi di calcolo per il metodo del picco ponderato nel dominio della frequenza



Questi sono i valori segmentati cui si fa riferimento nella figura D20. Come si è detto in precedenza, questo metodo è adatto anche per valutare la conformità ai valori limite di esposizione (VLE) relativi agli effetti sia sensoriali che sanitari. Per valutare la conformità con i VLE, $|A_f|$ e θ_f sono l'ampiezza e la fase dei campi elettrici indotti (interni), e i LA sono sostituiti con i VLE nell'equazione 7 e nell'equazione 8. Come per i calcoli non termici, $\sqrt{2}$ è rimosso dall'equazione quando si utilizzano i VLE, poiché questi vengono definiti valori non efficaci.

D.3.1.2 Metodo alternativo: formula delle frequenze diverse

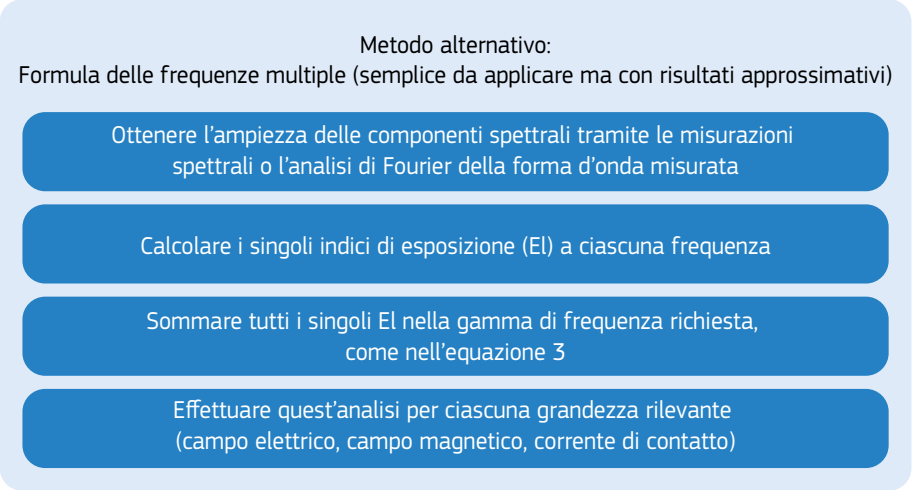
Un'alternativa all'approccio del picco ponderato è la norma delle frequenze diverse (MFR) che è più semplice da applicare ma più conservativa dell'approccio del picco ponderato. Se l'esposizione è probabilmente più simile ai LA (o ai VLE) a basse frequenze, questo metodo potrebbe non essere adeguato poiché spesso conduce a una valutazione molto prudente, giacché ignora le fasi delle componenti spettrali e ipotizza che le onde sinusoidali delle componenti spettrali coincidano allo stesso tempo così che il campo totale cambi radicalmente con il tempo [ICNIRP, 2010].

Il metodo MFR viene descritto nelle equazioni da 3 a 6 negli orientamenti dell'ICNIRP (ICNIRP2010), benché occorra utilizzare i LA e i VLE anziché rispettivamente i livelli di riferimento e le restrizioni di base:

$$EI^{MFR}_{non\text{-}thermal,X} = \sum_{f=1\,Hz}^{10MHz} \frac{X_f}{AL\,(X)_f} \qquad \textbf{Equazione 9}$$

dove X_f è l'ampiezza (RMS), alla frequenza f, della grandezza esterna misurata (o calcolata) e $AL(X)_f$ è il livello di azione rilevante alla frequenza f. LA rilevante significa il LA alla frequenza della componente spettrale, ma anche il tipo di LA richiesto per la valutazione (intensità del campo elettrico, induzione magnetica, superiore, inferiore, di contatto), secondo la definizione contenuta nella tabella B2 dell'allegato II della direttiva. Al momento di effettuare la valutazione in base ai VLE, X_f diventa l'ampiezza dell'intensità del campo elettrico indotto (picco, non RMS), a frequenza f, e $AL(X)_f$ è sostituita da ELV_f. La figura D22 riporta le fasi per calcolare l'indice di esposizione utilizzando il metodo di sommazione delle frequenze multiple.

Figura D22 — Fasi di calcolo per la formula delle frequenze multiple



Il metodo di sommazione delle frequenze multiple è piuttosto semplice ed esistono varie apparecchiature che possono effettuare questa valutazione automaticamente per le linee guida dell'ICNIRP. Tali apparecchiature sono adatte per valutare la conformità ai LA, purché sull'apparecchiatura sia stata caricata la serie pertinente di LA. Questo metodo è adatto anche per valutare la conformità ai valori limite di esposizione (VLE) relativi agli effetti sia sensoriali che sanitari.

Le tabelle da 5a a 5d riportano il confronto degli indici di esposizione impiegando il metodo del picco ponderato nel dominio della frequenza e il metodo MFR, nonché quella ottenuta direttamente utilizzando la caratteristica STD (il metodo del picco ponderato nel dominio del tempo) in una sonda reperibile in commercio.

Tabella D5a — Saldatrice a punti a 50 Hz (50 kVA). Le misurazioni sono state effettuate a una distanza di 0,3 m alla stessa altezza del punto di saldatura

Metodo	LA inferiori	LA superiori	LA relativi agli arti
MFR[a]	3,18	1,70	0,57
Metodo del picco ponderato[a]	0,94	0,45	0,15
STD[b]	0,83	0,34	0,13

[a] I calcoli sono stati effettuati nel dominio della frequenza da una traccia con N = 4096, T = 0,84 s (ossia la frequenza massima considerata era pari a circa 2 kHz).

[b] Le misurazioni STD sono state effettuate utilizzando apparecchiature con una gamma di frequenza da 1 Hz a 400 kHz.

Tabella D5b — Saldatrice a 2kHz (le misurazioni sono state effettuate a una distanza di 0,33 m dal centro della pinza per saldatura)

Metodo	LA inferiori	LA superiori	LA relativi agli arti
MFR[a]	4,52	3,44	1,15
Metodo del picco ponderato[a]	1,08	0,81	0,27
STD[b]	-	1,00	-

[a] I calcoli sono stati effettuati nel dominio della frequenza da una traccia con N = 4096, T = 0,5 s (ossia la frequenza massima considerata era pari a 4 kHz).

[b] Le misurazioni STD sono state effettuate utilizzando un'apparecchiatura con una gamma di frequenza da 1 Hz a 400 kHz.

Tabella D5c — Stimolatore magnetico transcranico (TMS)

Metodo	LA inferiori	LA superiori	LA relativi agli arti
MFR[a]	21,88	21,81	7,27
Metodo del picco ponderato[a]	13,43	13,23	4,41
STD[b]	-	12,22	4,11

[a] I calcoli sono stati effettuati nel dominio della frequenza da una traccia con T = 5 m s (ossia la frequenza massima considerata era pari a 409 kHz).

[b] Le misurazioni STD sono state effettuate utilizzando un'apparecchiatura con una gamma di frequenza da 1 Hz a 400 kHz.

Tabella D5d — Saldatrice a rulli da 100 kVA (la misurazione è stata effettuata davanti e sotto il punto di saldatura, a 28 cm di distanza)

Metodo	LA inferiori	LA superiori	LA relativi agli arti
MFR[a]	4,30	2,59	0,86
WPM[a]	1,09	0,61	0,20
STD[b]	1,13	0,59	0,16

[a] I calcoli sono stati effettuati nel dominio della frequenza da una traccia con T = 333 ms (la frequenza massima considerata era pari a 6,1 kHz).

[b] Le misurazioni STD sono state effettuate utilizzando un'apparecchiatura con una gamma di frequenza da 1 Hz a 400 kHz.

Se esistono componenti spettrali significative oltre 100 kHZ, occorre considerare gli effetti termici, che dovranno essere valutati indipendentemente dagli effetti non termici. Questo tema verrà discusso nella sottosezione successiva.

D.3.1.3 Metodo alternativo: Semplice valutazione su base fisiologica

Nel dominio del tempo i campi pulsati possono essere suddivisi in parti di componenti di campo singole, multiple, costanti, sinusoidali, trapezoidali, triangolari o esponenziali (cfr. la figura D23). Ciò premesso, è possibile effettuare una valutazione semplificata nell'area a bassa frequenza usando i parametri descritti di seguito (Heinrich, 2007). Il metodo si basa sulla fisiologia, e in particolare sul meccanismo della stimolazione, nel modo seguente:

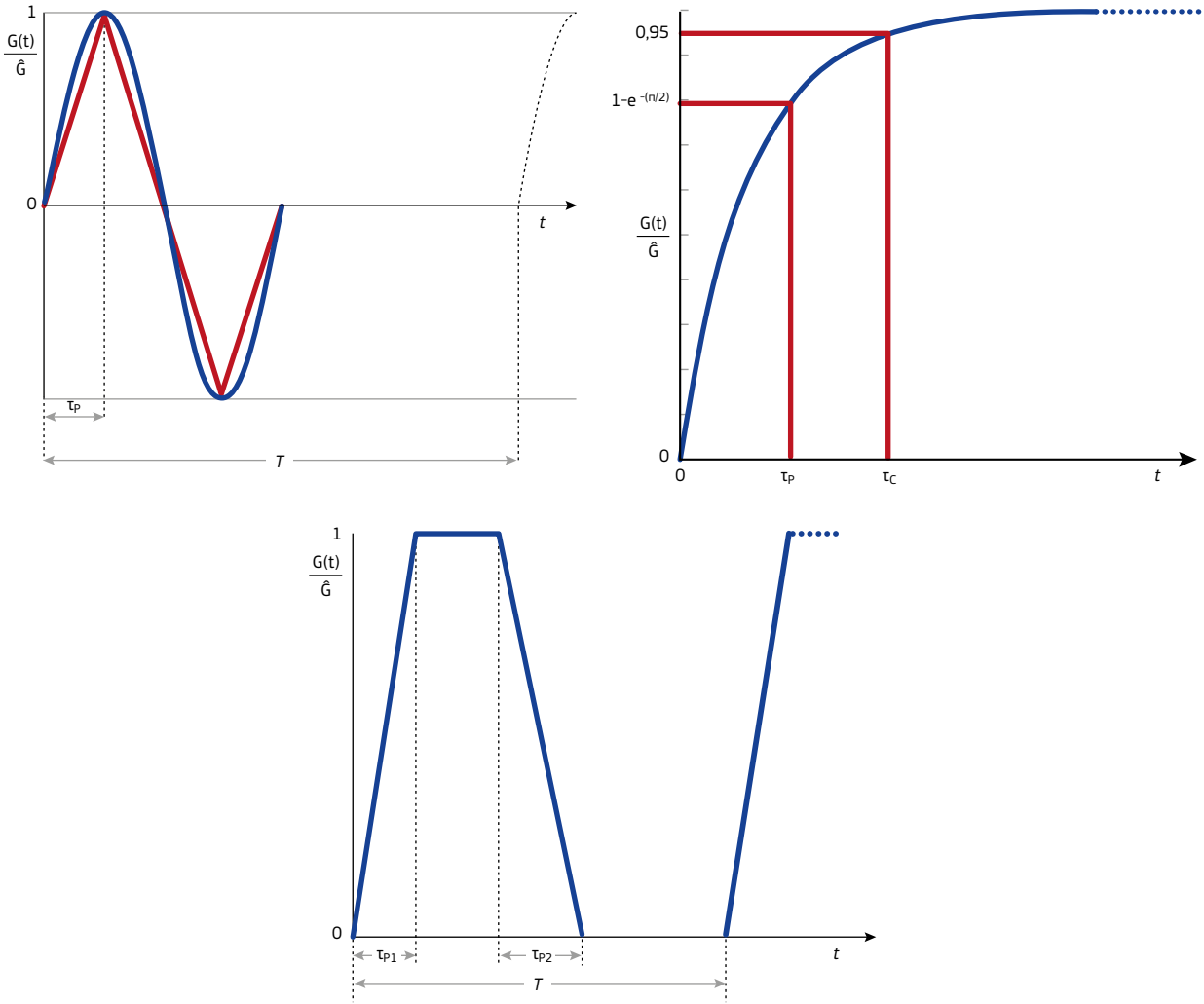
(1) Gli effetti della stimolazione hanno luogo soltanto se viene superata una soglia ben definita.

(2) Gli impulsi inferiori a questa soglia non possono generare alcuno stimolo anche se durano molto a lungo.

(3) Se gli impulsi sono molto brevi sono necessarie intensità maggiori.

La procedura di valutazione è inclusa nel Regolamento di prevenzione degli infortuni dell'Assicurazione tedesca contro gli infortuni (BGV B11, 2001). Si noti però che questo regolamento, risalente al 2001, non utilizza i livelli di azione né i valori limite di esposizione di cui alla nuova direttiva 2013/35/UE.

Figura D23 — Curve di segnale (Impulsi) di forma sinusoidale (in alto a sinistra), esponenziale (in alto a destra) e trapezoidale o triangolare (in basso)



I campi collegati a questi tipi di curve di segnale (figura D23) sono descritti dai seguenti parametri supplementari:

G	Invece della grandezza G utilizzare l'intensità di campo elettrico, E, l'intensità di campo magnetico, H, o l'induzione magnetica, B. *G(t)* indica la funzione del tempo, Ĝ il valore di picco.
T	Durata dell'impulso o ampiezza dell'impulso con la pausa seguente.
τ_p	Durata temporale di un cambiamento di campo per curve di segnale sinusoidali, triangolari o trapezoidali da zero al valore di picco positivo o negativo, o rispettivamente dal valore di picco positivo o negativo a zero. L'analisi di τ_p per curve di segnale esponenziali dev'essere effettuata secondo il diagramma precedente. Se le singole durate temporali τ_{pi} differiscono, allora tutti questi valori τ_{pi} devono essere inclusi negli ulteriori calcoli.

T_I	Tempo di integrazione, dove $T_I = \begin{cases} T & \text{where } T \le 1\ s \\ 1s & \text{in all other cases} \end{cases}$
τ_{Pmin}	Il valore minimo per tutte le durate temporali τ_{Pi}: $\tau_{Pmin} = \min_i(\tau_{Pi})$
τ_C	Grandezza ausiliare per definire le curve di segnale esponenziali. Se le singole durate temporali τ_{Ci} differiscono, allora tutti questi valori τ_{Ci} devono essere inclusi negli ulteriori calcoli.
τ_D	Somma dei tempi di tutti i cambiamenti di campo i durante un intervallo di tempo T_I per: — curve di segnale sinusoidali, triangolari, trapezoidali: $\tau_D = \sum_i \tau_{Pi}$ — curve di segnale esponenziali: $\tau_D = \sum_i \tau_{Ci}$
f_P	Frequenza di un cambiamento di campo, dove: $f_p = \frac{1}{4 \cdot tp_{min}}$
V, V_{max}	Fattore di ponderazione, fattore di ponderazione massimo $V = \begin{cases} \sqrt{\frac{T_I}{\tau_D}} & \text{where } \sqrt{\frac{T_I}{\tau_D}} \le V_{max} \\ V_{max} = 2.6 & \text{in all other cases} \end{cases}$
$\left\lvert \frac{dB(t)}{dt} \right\rvert_{p,max}$	Derivata temporale massima dell'induzione magnetica $\left\lvert \frac{dB(t)}{dt} \right\rvert_{p,max} = \omega \hat{B} \cdot V = 2\pi \cdot f_p \sqrt{2} \cdot B \cdot V$
$\left\lvert \frac{dB(t)}{dt} \right\rvert_{p,mean}$	Derivata temporale media dell'induzione magnetica $\left\lvert \frac{dB(t)}{dt} \right\rvert_{p,mean} = \frac{\omega \hat{B} \cdot V}{\pi/2} = 4 \cdot f_p \sqrt{2} \cdot B \cdot V$

Tabella D6 — Livelli di azione della derivata temporale massima dell'induzione magnetica $\left\lvert \frac{dB(t)}{dt} \right\rvert_{p,mean}$ in (T/s) secondo la tabella B2 della direttiva 2013/35/UE

Gamma di frequenza	Livello di azione inferiore	Livello di azione superiore	Livello di azione per l'esposizione degli arti a un campo magnetico localizzato
1 Hz < f_P< 8 Hz	1,8 · V/f_P	2,7 · V	8 · V
8 Hz < f_P< 25 Hz	0,2 · V	2,7 · V	8 · V
25 Hz < f_P< 300 Hz	0,01 · f_P· V	2,7 · V	8 · V
300 Hz < f_P< 3 kHz	2,7 · V	2,7 · V	8 · V
3 kHz < f_P< 10 MHz	0,001 · f_P· V	0,001 · f_P· V	0,003 · f_P· V

Tabella D7 — Livelli di azione della derivata temporale media dell'induzione magnetica $\left|\frac{dB(t)}{dt}\right|_{p,mean}$ in (T/s) secondo la tabella B2 della direttiva 2013/35/UE, mediata sull'intervallo di tempo τ_p

Gamma di frequenza	Livello di azione inferiore	Livello di azione superiore	Livello di azione per l'esposizione degli arti a un campo magnetico localizzato
1 Hz < f_p< 8 Hz	1,15 · V/f_p	1,7 · V	5,1 · V
8 Hz < f_p< 25 Hz	0,13 · V	1,7 · V	5,1 · V
25 Hz < f_p< 300 Hz	$6 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot$ V	1,7 · V	5,1 · V
300 Hz < f_p< 3 kHz	1,7 · V	1,7 · V	5,1 · V
3 kHz < f_p< 10 MHz	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot$ V	$6 \cdot 10^{-4} \cdot f_p \cdot$ V	$2 \cdot 10^{-3} \cdot f_p \cdot$ V

I valori limite di esposizione della direttiva 2013/35/UE sono rispettati quando vengono applicati i livelli di azione per questa procedura.

I fattori di ponderazione V, V_{max} e le tabelle dei livelli di azione per questa procedura di valutazione sono adattati alle prescrizioni della direttiva 2013/35/UE.

D.3.2 Effetti termici (da 100 kHz a 300 GHz)

D.3.2.1 Valutazione in base ai livelli di azione

Per i campi elettromagnetici con componenti spettrali significative sopra 100 kHz, gli effetti termici sono rilevanti, e l'EI totale per l'effetto termico è fornito da [ICNIRP 1998]:

$$EI_{thermal,X} = \sum_{f=100\,kHz}^{300\,GHz} \frac{X_f^2}{AL(X)^2_{thermal,X}} \qquad \textbf{Equazione 10}$$

dove X_f è l'ampiezza (RMS) alla frequenza f, e X rappresenta l'intensità di campo elettrico, l'induzione magnetica o la corrente di contatto. $AL(X)_{thermal,f}$ è il livello di azione per gli effetti termici alla frequenza f, secondo le definizioni delle tabelle B1, B2 e B3 dell'allegato III della direttiva. Se la comparazione si effettua in base all'intensità di campo, X_f^2 dev'essere la media su un periodo di sei minuti per le frequenze al di sotto di 6 GHz, oppure un periodo di durata dato dalla formula $\tau = 68/f^{1.05}$ *minutes* (dove f è espresso in unità di GHz) per le frequenze al di sopra di 6 GHz. Per le correnti di contatto, è sufficiente la somma tra 100 kHz e 110 MHz e non occorre calcolare la media temporale.

La pendenza della forma d'onda del campo elettromagnetico non influisce sul riscaldamento dei tessuti e pertanto il metodo del picco ponderato non viene usato per valutare la conformità ai livelli di azione definiti per evitare gli effetti termici.

Per gli impulsi RF con frequenze vettrici superiori a 6 GHz, la densità di potenza di picco mediata sulla durata dell'impulso dev'essere inferiore a 50 kWm^{-2}, ossia 1 000 volte il livello di azione per la densità di potenza (tabella B1, allegato III della direttiva).

Come per i calcoli non termici, in cui i campi esterni variano sensibilmente sul corpo del lavoratore, potrebbe essere necessario includere una media spaziale dei livelli di esposizione adatta alla parte del corpo menzionata nel limite utilizzato. Questo aspetto viene trattato nella sezione precedente (sezione D.2).

Valutazione in base ai LA per le correnti attraverso gli arti (10 MHz-110 MHz)

La valutazione delle correnti attraverso gli arti impiega la stessa equazione usata per i campi elettrici e magnetici, ma si prendono in considerazione soltanto le frequenze comprese tra 10 MHz e 110 MHz. Si noti che $I^2_{L,f}$, il quadrato della corrente attraverso gli arti alla frequenza *f*, dev'essere mediato su un periodo di sei minuti.

D.3.2.2 Valutazione effettuata in base ai VLE

Valutazione in base ai VLE relativi agli effetti sanitari (100 kHz-300 GHz)

Come risulta in (ICNIRP 1998), l'indice di esposizione per gli effetti sanitari termici si ottiene da:

$$EI_{thermal,ELV} = \frac{1}{ELV(SAR)} \sum_{f=100\ kHz}^{6\ GHz} W_i \langle SAR_f \rangle + \frac{1}{ELV(S)} \sum_{f>6\ GHz}^{300\ GHz} \langle S_f \rangle \qquad \textbf{Equazione 11}$$

dove

$\langle SAR_f \rangle$ è il tasso di assorbimento specifico (SAR) alla frequenza *f*, in W/kg, mediato su un periodo di sei minuti.

ELV(SAR) è il VLE per il tasso di assorbimento specifico (SAR), in W kg^{-1}, come specificato nella tabella A1 dell'allegato III della direttiva.

$\langle S_f \rangle$ è la densità di potenza alla frequenza *f*, in Wm^{-2}, mediata su una superficie esposta di 20 cm^2 e su un periodo dato da $\tau = 68/f^{1.05}$ *minutes* (dove *f* è espresso in GHz).

ELV(S) è il VLE per la densità di potenza, uguale a 50 Wm^{-2}, come specificato nella tabella A1 dell'allegato III della direttiva.

Per valutare il SAR localizzato, rispetto alla media sull'intero corpo, questi dev'essere mediato su 10 g di tessuto contiguo; il SAR massimo così ottenuto è il valore da utilizzare nell'equazione 10. La sezione D.2 fornisce ulteriori informazioni sul modo di calcolare la media.

Valutazione in base ai VLE relativi agli effetti sensoriali (300 MHz-6 GHz)

Gli effetti uditivi sensoriali possono derivare dall'esposizione della testa a una radiazione a microonde pulsate con una frequenza compresa tra 300 MHz e 6 GHz. Per evitare tali effetti occorre garantire la conformità ai VLE relativi all'assorbimento specifico, dove l'indice di esposizione è dato da:

$$EI_{auditory\ ELV} = \frac{1}{ELV(SAR)} \sum_{f=300\ MHz}^{6\ GHz} SA_f \qquad \textbf{Equazione 12}$$

dove

SA_f è l'assorbimento specifico (SA) alla frequenza *f* nella testa, in J kg^{-1}, assunto pari al massimo dei valori mediati su 10 g di tessuto, e *ELV(SA)* è uguale a 10 mJ kg^{-1}.

D.3.3 Valutazione dei campi elettromagnetici con frequenze comprese tra 100 kHz e 10 MHz

Laddove esistano segnali RF con frequenze comprese tra 100 kHz e 10 MHz, comprese le armoniche dei segnali fondamentali con frequenze inferiori a 100 kHZ, è necessario dimostrare la conformità ai limiti per gli effetti termici e non termici. Tale dimostrazione si può effettuare comparando i livelli dei campi interni con i VLE rilevanti, o più comunemente comparando i livelli dei campi esterni con il LA pertinente.

Le figure 6.2 e 6.7 mostrano il tipo di valutazione necessaria a seconda della gamma di frequenza della sorgente (per la conformità ai LA e, rispettivamente, ai VLE). In molti casi è rilevante soltanto un tipo di effetto (termico o non termico), in funzione delle caratteristiche di frequenza della sorgente; tuttavia, nei casi in cui la sorgente rientri nella gamma di frequenze compresa tra 100 kHz e 10 MHz (indicata in rosso nelle figure 6.2 e 6.7), sono rilevanti entrambi gli effetti e pertanto occorre dimostrare la conformità a entrambi, come risulta dalla tabella D8 (per i LA).

Si consideri per esempio un ambiente in cui l'esposizione di un lavoratore risulti comprendere un segnale fondamentale da 75 kHz insieme a un contenuto armonico significativo a 225 kHz, 375 kHz e 525 kHz. Essendo tutte inferiori a 10 MHz, queste frequenze devono essere incluse nella valutazione dell'indice di esposizione non termica per i campi elettrici, i campi magnetici e, se del caso, per le correnti di contatto a tutte le frequenze identificate nella gamma di frequenze da 1 Hz a 10 MHz. In tale quadro possono rientrare contributi da segnali di frequenza industriale (56/60 Hz), con le armoniche corrispondenti. Inoltre, nella valutazione dell'indice di esposizione termica per questo ambiente devono essere inclusi i segnali da 225 kHz, 375 kHz e 525 kHz, poiché tali frequenze rientrano nella gamma di frequenze da 100 kHz a 300 GHz. Tutte le altre frequenze identificate in questa gamma devono essere a loro volta inserite nel calcolo dell'indice di esposizione termica. La conformità termica ai LA può essere valutata utilizzando valori riferiti all'intensità del campo magnetico o del campo elettrico (esterni), ma se del caso occorrerà effettuare una valutazione dell'indice di esposizione alla corrente di contatto. Tutti gli indici di esposizione (non termica, termica e relativa alla corrente di contatto) devono risultare inferiori all'unità. In caso contrario, occorre imporre limitazioni al lavoratore oppure alla sorgente per garantire la conformità. In qualche caso, qualora non sia possibile dimostrare la conformità ai LA, si potrebbe comunque dimostrare la conformità ai VLE; il costo di tale approccio però potrebbe essere considerevole.

Tabella D8 — Elenco non esaustivo di esempi e relative prescrizioni di conformità ai LA basato sulla gamma di frequenze della sorgente. Le abbreviazioni ed equazioni sono illustrate nelle successive sottosezioni

Gamma di frequenze della sorgente	Misurazione richiesta	Equazione da utilizzare	Prescrizione di conformità ai LA	Esempio di sorgente
Da 1 Hz a 100 kHz	B, E, I_C	Equazione 6 oppure Equazione 8	$EI^M_{non\text{-}thermal,X} \leq 1$ $X = \{B, E, I_C\}$ and M = {(1) *or* (2)}	Linee di trasmissione dell'industria di produzione di energia Induzione a particelle magnetiche
Da 100 kHz a 10 MHz	B, E, I_C	Equazione 6 oppure Equazione 8 e Equazione 9	Come sopra, e inoltre: $EI_{thermal,X} \leq 1$ For $X = \{B, E, I_C\}$	Sistema di sorveglianza elettronica degli articoli Stazioni base per trasmissioni radiofoniche AM Sistemi di comunicazione su linea elettrica
Da 10 MHz a 110 MHz	B, E, I_C, I_L	Equazione 9	$EI_{thermal,X} \leq 1$ per $X = \{B, E, I_C, I_L\}$	Stazioni base per trasmissioni radiofoniche FM Saldatrice per plastica
Da 110 MHz a 300 GHz	B, E (se nel campo estremo, allora B *or* E)	Equazione 9	$EI_{thermal,X} \leq 1$ per $X = \{B, E\}$ (se nel campo estremo, allora $X = \{B$ *or* $E\}$)	Stazioni base per comunicazioni mobili, Radar militari

Si noti che gli effetti non termici sono istantanei, mentre a causa dei processi termoregolatori nel corpo gli effetti termici dipendono dalla durata o dal fattore ciclico dell'esposizione. Pertanto per la valutazione degli effetti sanitari non termici si usa l'esposizione massima istantanea, mentre per la valutazione degli effetti sanitari termici la direttiva relativa ai campi elettromagnetici consente di effettuare la media temporale dell'esposizione su un periodo di sei minuti e su un periodo di $\tau = 68/f^{1.05}$ *minuti* (dove f è espresso in GHz) per le frequenze inferiori e rispettivamente superiori a 10 GHz. Se la comparazione viene effettuata rispetto ai LA dell'intensità di campo, dell'induzione o della corrente attraverso gli arti, la media temporale dev'essere calcolata su valori quadratici.

D.4 Valutazione dell'esposizione a campi magnetici statici

D.4.1 Introduzione

I principali effetti indotti dal movimento del corpo o di parti del corpo in un campo magnetico statico sono la stimolazione dei nervi periferici ed effetti sensoriali transitori come vertigini, nausea e gusto metallico, nonché sensazioni visive come fosfeni retinici.

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici fissa limiti per i campi magnetici statici rispetto a due tipi di condizioni di lavoro:

- normale (non controllata) e
- controllata, quando sono state adottate misure preventive come il controllo dei movimenti e la distribuzione di informazioni ai lavoratori.

La valutazione di conformità per il movimento in campi magnetici statici dipende dall'ambiente di lavoro, sia normale che controllato; potrebbe essere necessario considerare diversi effetti. Il processo è illustrato nel diagramma di flusso della figura D24. La conformità in condizioni di lavoro normali implica la conformità in condizioni di lavoro controllate. Tuttavia, in condizioni di lavoro controllate, occorre dimostrare solamente la conformità ai VLE e ai LA relativi alla stimolazione dei nervi periferici.

I VLE contenuti nella tabella A1 dell'allegato II della direttiva relativa ai campi elettromagnetici per l'induzione magnetica esterna si applicano ai campi magnetici statici. Il movimento attraverso il gradiente di un campo magnetico statico induce campi elettrici a bassa frequenza all'interno del corpo. In tal caso, come base per valutare le esposizioni occorre utilizzare i VLE contenuti nelle tabelle A2 e A3 e i LA della tabella B2 dell'allegato II della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. Sono state pubblicate altre linee guida sulla limitazione dell'esposizione ai campi elettrici indotta dal movimento attraverso campi magnetici statici (ICNIRP, 2014), basate sulle migliori prove disponibili, che però nel momento in cui è stata redatta la presente guida non erano state incorporate nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici. I valori sono sintetizzati nella tabella D9.

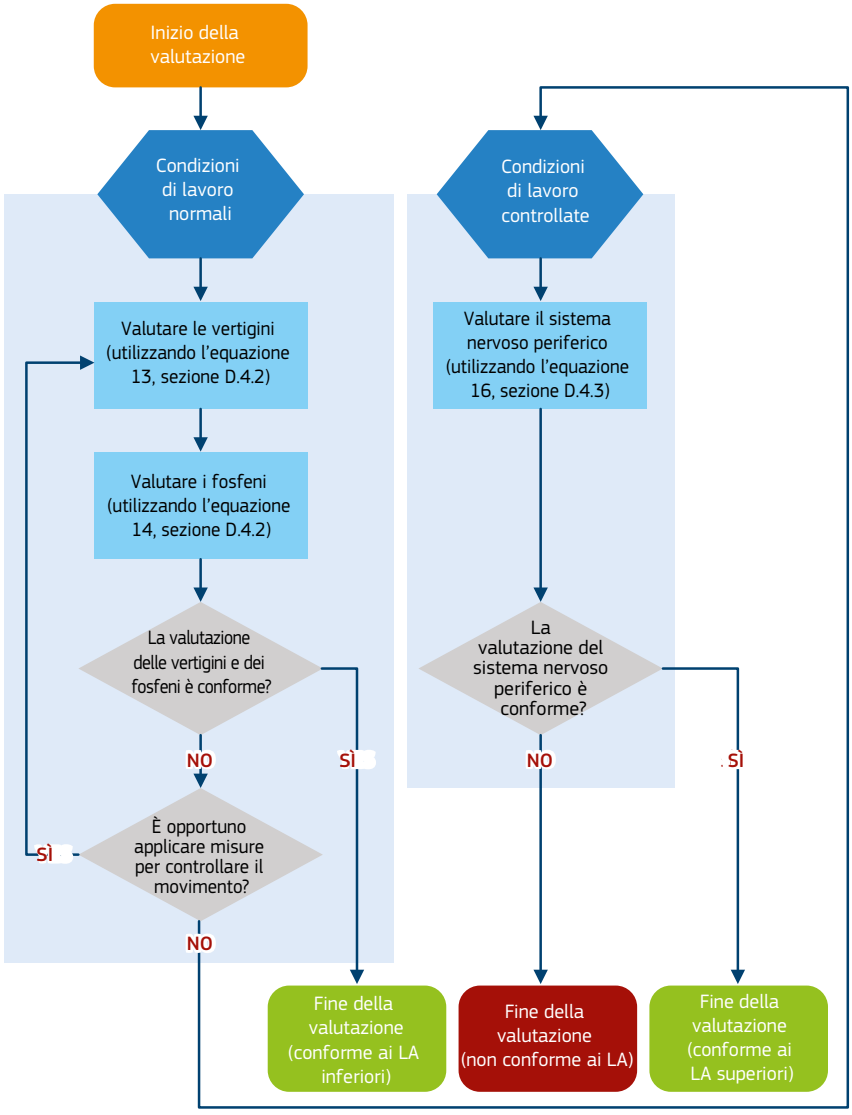
Le linee guida dell'ICNIRP non sono vincolanti e utilizzano una terminologia diversa da quella della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. Le restrizioni di base riguardano quantità che non devono essere superate e sono concettualmente equivalenti ai VLE della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. I livelli di riferimento sono ottenuti in maniera prudenziale dalle restrizioni di base, ma sono fissati in grandezze più facilmente valutabili. I livelli di riferimento sono concettualmente equivalenti ai livelli di azione utilizzati nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

Tabella D9 — Restrizioni di base e livelli di riferimento sulla limitazione dell'esposizione professionale indotta dal movimento attraverso campi magnetici statici (ICNIRP, 2014)

Frequenza [Hz]	Restrizioni di base Intensità del campo elettrico interno ($Vm^{-1}_{(picco)}$)		Livelli di riferimento Derivata temporale dell'induzione magnetica ($Ts^{-1}_{(picco)}$)	
	Effetti sensoriali[1]	Effetti sanitari[2]	Effetti sensoriali[1]	Effetti sanitari[2]
0-0,66	1,1	1,1	2,7	2,7
0,66-1	0,7/f	1,1	1,8/f	2,7

NB: 1 Restrizioni introdotte per ridurre al minimo la sensazione dei fosfeni nelle normali condizioni di lavoro.
2 Restrizioni introdotte per ridurre al minimo gli effetti sul sistema nervoso periferico in condizioni di lavoro controllate.
3 Per evitare vertigini dovute al movimento in campi magnetici statici, la variazione massima dell'induzione magnetica ΔB su un periodo di tre secondi non deve superare 2 T. In condizioni di lavoro controllate questo valore può essere superato (ICNIRP 2014).

Figura D24 — Processo per la valutazione della conformità nel caso del movimento dei campi magnetici statici



D.4.2 Condizioni di lavoro normali

In condizioni di lavoro normali, le restrizioni sull'esposizione derivante dal movimento in campi magnetici statici si basano su effetti sensoriali come vertigini, nausea e fosfeni. Lo spettro dei campi indotti dal movimento si estende fino a 25 Hz e dev'essere preso in considerazione nella selezione dei VLE relativi agli effetti sensoriali (allegato II, tabella A3 della direttiva relativa ai campi elettromagnetici) e delle restrizioni di base dell'ICNIRP (tabella D9). In generale è opportuno comparare le esposizioni con i LA inferiori (allegato II, tabella B2 della direttiva relativa ai campi elettromagnetici) e con i livelli di riferimento dell'ICNIRP (tabella D9).

Ridurre al minimo l'effetto di vertigini

Il verificarsi di effetti sensoriali come vertigini e nausea, dovuti a movimenti nel campo magnetico statico, può essere ridotto al minimo muovendosi il più lentamente possibile all'interno del campo. Pertanto per ridurre al minimo la probabilità di vertigini e nausea, la variazione dell'induzione magnetica ΔB su un periodo di tre secondi non deve superare 2 T.

$$|\Delta B|_{3s} \leq 2\ \mathrm{T} \qquad \textbf{Equazione 13}$$

Ridurre al minimo i fosfeni

Per ridurre al minimo la sensazione di fosfeni, occorre utilizzare i VLE relativi agli effetti sensoriali (allegato II, tabella A3) e le restrizioni di base (tabella D9) per l'intensità di campo elettrico interno E_i. Dal momento che l'intensità di campo elettrico interno non si può determinare facilmente, di solito è più opportuno valutare la conformità in base ai livelli di riferimento (tabella D9) e alla derivata temporale dei LA inferiori (allegato II, tabella B2).

Il campo elettrico indotto dal movimento attraverso un campo magnetico statico è non sinusoidale con uno spettro che si estende fino a 25 Hz. Pertanto occorre tener conto delle componenti della frequenza presenti utilizzando il metodo del picco ponderato (cfr. l'appendice D.3).

L'indice di esposizione per *dB/dt* è dato dalla seguente equazione basata su una funzione di ponderazione dipendente dalla frequenza e correlata alla fase:

$$EI^{phosphene}_{movement} = Maximum\left\{\left|\sum_{f=0}^{25\ Hz} \frac{|A_f|}{RL_f} * \cos\left(2\pi f\, t + \theta_f + \varphi_f\right)\right|\right\} \qquad \textbf{Equazione 14}$$

dove $|A_f|$ e θ_f sono l'ampiezza e la fase della componente spettrale alla frequenza f della derivata temporale dell'induzione magnetica *dB/dt* e RL_f è il livello di riferimento degli effetti sensoriali alla stessa frequenza. La fase φ_f (il cosiddetto angolo di fase del filtro) è una funzione della dipendenza della frequenza di RL_f e ha i valori di 90°, 180° e 90° sulle gamme di frequenza, rispettivamente, di 0-0,66 Hz, 0,66-8 Hz e 8-25 Hz, dove la dipendenza della frequenza di RL_f è di f^0, $1/f$ e f^0. I valori di fase della funzione di filtro per *dB/dt* sono definiti nell'appendice delle linee guida dell'ICNIRP 2010 (ICNIRP, 2010) e spiegati nell'appendice D.3.

Al momento di applicare la suddetta equazione per calcolare l'indice di esposizione per *dB/dt*, è necessario tener presente che i livelli di riferimento per i *dB/dt di picco* sono forniti solo al di sotto di 1 Hz. Al di sopra di 1 Hz sono forniti LA (allegato II, tabella B2) come valori efficaci (rms) di induzione magnetica, ma non come derivate temporali. È comunque possibile usare questi LA per calcolare l'RL_f equivalente per i *dB/dt di picco* superiori a 1 Hz:

$$\left(\frac{dB}{dt}\right)_{RL,peak} = 2\sqrt{2}\pi f B_{lowAL,rms} \qquad \textbf{Equazione 15}$$

dove $B_{lowAL,rms}$ è il valore efficace del LA inferiore per l'induzione magnetica alla frequenza *f* e $\left(\frac{dB}{dt}\right)_{RL,peak}$ è il RL_f convertito per il *dB/dt* di picco a tale frequenza.

D.4.3 Condizioni di lavoro controllate

Come si è detto nella precedente sezione D.4.2, il campo elettrico indotto comprende componenti con frequenze che giungono fino a 25 Hz; tale circostanza dev'essere presa in considerazione nella scelta dei pertinenti VLE relativi agli effetti sanitari (allegato II, tabella A2) e delle restrizioni di base più adeguate (tabella D9). Anche in questo caso sarà in generale più opportuno comparare le esposizioni con i LA superiori (allegato II, tabella B2) e con i livelli di riferimento relativi agli effetti sanitari (tabella D9).

Prevenzione della stimolazione dei nervi periferici

Per la prevenzione della stimolazione dei nervi periferici, sia le restrizioni di base dell'ICNIRP sia i VLE relativi agli effetti sanitari limitano l'intensità di campo elettrico interno E_i a 1,1 Vm^{-1}. I corrispondenti livelli di riferimento dell'ICNIRP e la derivata temporale dei LA superiori hanno un valore di 2,7 Ts^{-1}. Poiché sia il livello di riferimento che la derivata temporale del LA superiore sono costanti al di sopra della gamma di frequenza in questione, l'indice di esposizione si ottiene sommando le componenti spettrali alle frequenze fino a 25 Hz senza una ponderazione spettrale dell'ampiezza (la fase di filtro è posta a zero per tutte le componenti spettrali), ma tenendo conto delle fasi delle componenti spettrali di *dB/dt*:

$$EI^{PNS}_{movement} = \frac{1}{2,7} * Maximum \left\{ \left| \sum_{f=0}^{25\ Hz} |A_f| * \cos(2\pi f t + \theta_f) \right| \right\} \qquad \textbf{Equazione 16}$$

dove $|A_f|$ e θ_f sono l'ampiezza e la fase della componente spettrale dB/dt alla frequenza *f*. L'espressione tra parentesi nell'equazione 16 equivale a considerare il valore assoluto della forma d'onda dB/dt (pertanto tutti i valori di dB/dt sono positivi). L'indice di esposizione è dato allora dal valore di picco di questa forma d'onda diviso per 2,7 Ts^{-1}.

D.5 Considerazioni in materia d'incertezza

Lo scopo di una misurazione o di un calcolo è di determinare il «vero valore» [1] della grandezza in esame; qualsiasi deviazione è attribuibile all'incertezza.

La direttiva impone ai datori di lavoro di tenere conto dell'incertezza e di registrarla nell'ambito della valutazione generale dell'esposizione. Ai sensi dell'articolo 4, la «valutazione tiene conto delle incertezze riguardanti la misurazione o il calcolo, quali errori numerici, modellizzazione delle sorgenti, geometria del modello anatomico e proprietà elettriche dei tessuti e dei materiali, determinate secondo le buone prassi pertinenti».

Uno dei problemi più importanti che il datore di lavoro deve risolvere nello svolgimento della valutazione di conformità è quello di dimostrare la precisione delle misurazioni e/o dei calcoli

[1] Il vero valore è intrinsecamente associato all'incertezza in quanto costituisce una stima basata su conoscenze e dati attuali.

relativi a LA e VLE previsti dalla direttiva. Per raggiungere la sicurezza in tal senso occorre identificare le fonti di incertezza, quantificarne l'influenza e dimostrare che tale influenza rimane entro limiti accettabili.

Norme internazionali come la Guida ISO/IEC 98-3:2008 rappresentano una valida fonte di suggerimenti pratici in materia di misurazione dell'incertezza; Cenelec e altri organismi di normalizzazione hanno pubblicato norme che descrivono le varie opzioni di migliori prassi atte ad affrontare l'incertezza nella comparazione delle grandezze di esposizione elettromagnetica con i valori limite (cfr. l'appendice H).

Idealmente l'incertezza complessiva dovrebbe essere limitata rispetto alla differenza tra il valore misurato e/o calcolato e il LA o il VLE. Se l'incertezza è molto elevata, la valutazione di conformità o di non conformità di un valore di esposizione rispetto a un limite sarà meno affidabile; potrebbe quindi essere auspicabile ripetere la valutazione usando metodi più precisi e/o strumenti che riducano l'incertezza.

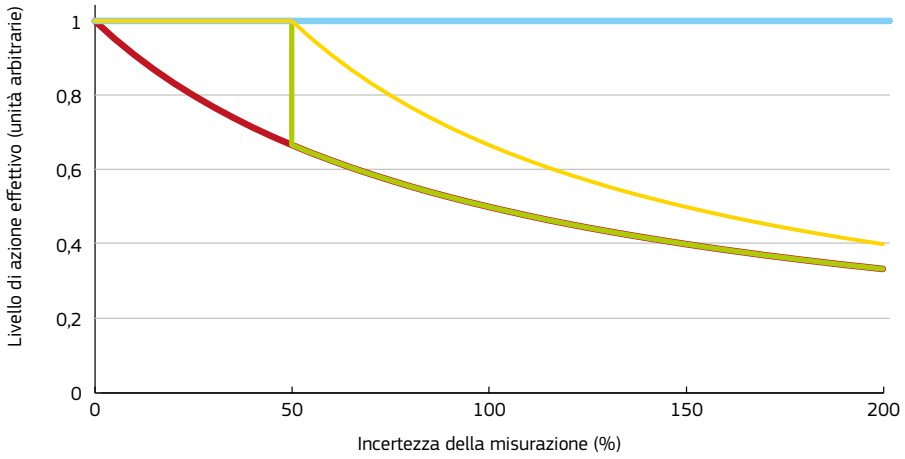
Per affrontare l'incertezza in una valutazione di conformità esistono due approcci generali riconosciuti, ognuno dei quali presenta punti di forza e di debolezza. Il primo approccio è la comparazione diretta o approccio del «rischio condiviso», in cui il valore misurato o calcolato viene comparato direttamente con i LA o i VLE. Il secondo approccio è quello additivo, in cui l'incertezza viene aggiunta al valore misurato o calcolato prima di compararlo con il LA o il VLE del caso. Entrambi i metodi comportano un'attenta valutazione dell'incertezza, ma il secondo, per sua natura, implica maggiore trasparenza.

È possibile usare combinazioni diverse dei due approcci, e la scelta di un approccio particolare dipende probabilmente da fattori quali prassi e usi nazionali o circostanze dell'esposizione. L'effetto dei diversi approcci è illustrato nella figura D25. Approcci differenti possono essere giustificabili qualora l'incertezza non sia eccessivamente ampia, sulla base del fatto che i LA e i VLE derivano da restrizioni che comprendono fattori di riduzione per garantire un margine di «sicurezza» sufficiente, tale da prevenire effetti sensoriali e sanitari.

D.5.1 Le incertezze riguardanti le misurazioni

L'incertezza in qualsiasi regime di misurazione deriva di solito da una combinazione di fattori, tra cui *l'errore sistematico* relativo alle caratteristiche dello strumento di misurazione e *l'errore casuale* che può derivare dal modo in cui la misurazione stessa viene effettuata. È importante notare che le potenziali fonti di errore possono essere identificate, così come è possibile quantificare l'incertezza massima associata a ciascuna fonte. In generale le stime quantitative dell'incertezza si effettuano in due modi. Possono essere derivate da una valutazione statistica di letture ripetute (valutazione di tipo A), oppure possono essere stimate usando una varietà di altre informazioni come l'esperienza passata, certificati di taratura, specifiche del fabbricante, informazioni pubblicate, calcoli e buon senso (valutazione di tipo B).

Figura D25 — Comparazione di approcci diversi per affrontare l'incertezza. La linea blu illustra l'effetto dell'incertezza ignorata. La linea rossa illustra l'effetto dell'applicazione dell'approccio additivo. La linea verde illustra un esempio di approccio del «rischio condiviso»: in questo caso il valore misurato è comparato direttamente a condizione che l'incertezza sia inferiore al 50 %; se l'incertezza supera questo valore si passa all'approccio additivo. La linea gialla illustra un approccio del «rischio condiviso» di tipo alternativo: quando l'incertezza supera il 50 % si applica un approccio additivo da quel punto in poi



Una volta identificate tutte le singole fonti di errore e quantificate le incertezze che ne derivano si può calcolare l'effetto cumulativo seguendo le regole prestabilite che governano la «propagazione dell'incertezza». Ciò consente di stimare l'incertezza complessiva associata a una misura che può essere espressa come «intervallo di fiducia». La percentuale di fiducia associata all'intervallo di fiducia si ottiene applicando un fattore di copertura *k* correlato a una curva di probabilità a campana. Un *k* uguale a 1 corrisponde a una fiducia del 68 %, un *k* = 2 al 95 %, un *k* = 3 al 99,7 %.

Valutare l'incertezza della misurazione può risultare complicato in molti ambienti di lavoro, in cui non esiste un unico approccio applicabile a tutte le situazioni. Esistono però varie buone pratiche comunemente accettate, come l'uso di strumenti che comportino una limitata incertezza di misurazione e siano tarati in maniera riconducibile alle norme (ciò riduce l'errore sistematico). È opportuno applicare tecniche di misurazione corrette: ripetere le misurazioni e calcolare la media durante la valutazione può ridurre l'errore casuale.

Molte norme di prodotto Cenelec adottano tendenzialmente un approccio ibrido per cui una misurazione può essere comparata direttamente con i valori limite, a condizione che non sia superato un determinato livello massimo di incertezza. Se tale livello massimo viene superato, l'incertezza è compresa direttamente nelle misurazioni o nei valori limite per rendere più severi i criteri di conformità e compensare l'incertezza eccessiva.

In generale i valori di incertezza massima consentiti nelle misurazioni dei campi elettromagnetici sono dello stesso ordine di grandezza dei valori di accuratezza e precisione ottenibili con i tipi di apparecchiature di misurazione e procedure di taratura comunemente in uso.

Le norme tecniche offrono utili fonti di informazione sulla combinazione di diversi elementi di incertezza allo scopo di produrre una stima complessiva. I bilanci di incertezza — che possono rappresentare un utile strumento nella valutazione dell'incertezza per l'esposizione ai campi elettromagnetici — vengono analizzati in varie norme di prodotto relative ai campi elettromagnetici. Un buon esempio è offerto dalla EN 50413, una norma di misurazione di default che può essere utilizzata in situazioni in cui non si disponga di norme specifiche per settore tecnologico o industriale.

Nell'applicazione di una gamma di incertezza ammissibile occorre garantire che l'esposizione del lavoratore non superi i LA o i VLE della direttiva. Come recita l'articolo 5 della direttiva «I lavoratori non sono esposti a valori superiori ai VLE relativi agli effetti sanitari e ai VLE relativi agli effetti sensoriali a meno che non sussistano le condizioni di cui all'articolo 10, paragrafo 1, lettera a) o c) o all'articolo 3, paragrafi 3 e 4. Allorché, nonostante i provvedimenti presi dal datore di lavoro i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali sono superati, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei VLE».

D.5.2 Incertezze riguardanti i calcoli dell'esposizione

Per quanto riguarda i calcoli dell'esposizione interna ed esterna, se i modelli non vengono elaborati correttamente le fonti di errore numerico possono essere numerose. Quindi è importante analizzare l'incertezza associata alla dosimetria. Le varie fonti di incertezza possono essere raggruppate nelle tre categorie descritte nelle seguenti sezioni.

D.5.2.1 Incertezze relative ai metodi numerici

Un esempio è quello degli errori associati al calcolo di una grandezza dosimetrica interna come il SAR. Il valore del SAR presuppone di calcolare correttamente il campo elettrico all'interno del corpo per quanto riguarda sia l'entità che la distribuzione del SAR. Se è necessario mediare un valore spaziale di picco su una massa specifica come una regione contigua di 10 g — come precisa l'allegato III della direttiva — qualora il SAR venga calcolato, per esempio, su una massa cubica, si introducono degli errori. Se le condizioni limite per la simulazione numerica non sono fissate in maniera corretta, si introducono errori nella soluzione tramite il riflesso artefattuale del campo elettromagnetico nel dominio computazionale. Inoltre la discretizzazione della soluzione, ossia la rappresentazione della situazione dell'esposizione in masse cubiche, può generare errori a catena con conseguenti gravi problemi per i calcoli della bassa frequenza.

D.5.2.2 Incertezze relative al modello del dispositivo elettromagnetico

Per simulare una situazione di esposizione, è necessario costruire un modello rappresentativo del dispositivo che produce il campo elettromagnetico. In questi casi è possibile introdurre errori nella soluzione se dimensioni, posizione, potenza, caratteristiche di emissione, eccetera, del dispositivo sono rappresentate in maniera scorretta. La posizione del dispositivo è particolarmente importante quando la sorgente del campo è vicina al corpo, poiché il campo prodotto da molti dispositivi si riduce rapidamente con l'aumentare della distanza.

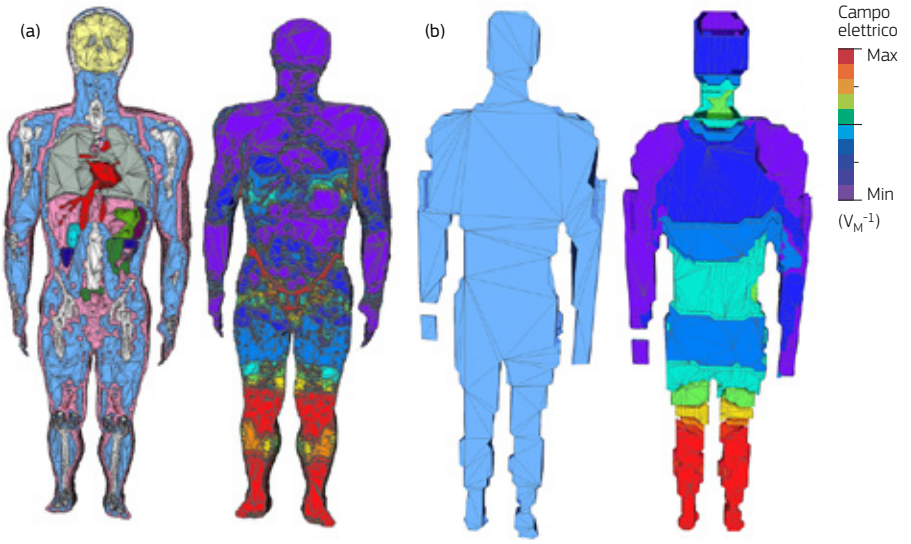
D.5.2.3 Incertezze relative al modello del corpo umano

Se il modello del corpo non è rappresentativo del lavoratore esposto in termini di anatomia, postura, eccetera, è possibile introdurre errori nei risultati. Per esempio, un modello semplice e omogeneo del corpo può produrre valori sensibilmente differenti di grandezze dosimetriche interne, come i campi elettrici indotti e i SAR, rispetto ai calcoli effettuati con modelli eterogenei anatomicamente realistici. Inoltre questi modelli umani semplici — se utilizzati in simulazioni numeriche — possono produrre fenomeni artificiali come la comparsa di un SAR massimo localizzato o di campi elettrici indotti all'interno del corpo (figura D26).

Tra le prassi raccomandate per attenuare le imprecisioni nel calcolo di grandezze dosimetriche segnaliamo:

- comparazioni di risultati ottenuti usando altri metodi numerici per la stessa situazione di esposizione. Se si ottengono risultati simili, ciò conferma la simulazione numerica usata per una particolare configurazione di esposizione;
- comparazioni di risultati numerici con misurazioni. Le simulazioni di grandezze di campo esterno come le intensità di campo elettrico e magnetico dovrebbero essere comparate con valori misurati, se questi esistono, per convalidare il modello della sorgente del campo elettromagnetico;
- comparazioni dei risultati di organizzazioni diverse (comparazioni interlaboratorio). Le comparazioni di risultati numerici con altri dati pubblicati per configurazioni di esposizione identiche o analoghe possono fornire ai valutatori un grado più elevato di fiducia nella validità dei risultati ottenuti;
- prove di convergenza. I metodi numerici usati per calcolare le grandezze dosimetriche interne nel corpo sono spesso di natura iterativa (per esempio il metodo FDTD, il metodo SPFD, il metodo FEM eccetera) e quindi solitamente convergono verso una soluzione. Se convergenza e stabilità di una soluzione sono poco soddisfacenti, è assai probabile che i risultati ottenuti dalla simulazione non siano precisi.

Figura D26 — Distribuzione del campo elettrico indotto derivante dall'esposizione a un campo elettrico esterno a 50 Hz con (a) un modello umano eterogeneo di elevata qualità, risoluzione 2 mm; (b) un modello umano omogeneo di bassa qualità, risoluzione 16 mm. L'uso di modelli umani omogenei di bassa qualità e bassa risoluzione può introdurre errori nei valori calcolati



Nota bene: incertezza

Tutti i calcoli e le misurazioni sono soggetti a incertezze, che vanno sempre quantificate e prese in considerazione al momento di interpretare i risultati. L'approccio all'incertezza varia a seconda della legislazione e della prassi nazionale; spesso comporta un approccio del «rischio condiviso», benché alcune autorità possano esigere l'impiego di un approccio additivo.

APPENDICE E. EFFETTI INDIRETTI E LAVORATORI PARTICOLARMENTE A RISCHIO

La direttiva EMF impone ai datori di lavoro di prendere in considerazione, nelle valutazioni dei rischi, sia gli effetti indiretti sia i lavoratori particolarmente a rischio. Tuttavia, a parte le tre eccezioni elencate nella successiva tabella E1 (cfr. per ulteriori dettagli la sezione 6.2), la direttiva non offre livelli di azione (LA) o altri elementi di guida su quelle che possono definirsi condizioni di campo sicure. La presente appendice approfondisce ulteriormente le difficoltà che si incontrano nella definizione delle condizioni di campo sicure e offre altri elementi di guida ai datori di lavoro che devono valutare i rischi di tali situazioni.

Tabella E1 — LA previsti per gli effetti indiretti con riferimenti incrociati ad altri dettagli della presente guida

LA previsti per gli effetti indiretti	Sezione
Interferenza con dispositivi medici impiantabili attivi da parte di campi magnetici statici	6.2.1
Rischio di attrazione e propulsivo derivante da campi magnetici statici	6.2.1
Correnti di contatto generate da campi variabili nel tempo < 110 MHz	6.2.2

E.1 Effetti indiretti

Gli effetti indiretti si producono allorché un oggetto presente in un campo elettromagnetico diviene causa di un pericolo per la sicurezza o la salute. La direttiva EMF identifica cinque effetti indiretti che devono essere presi in considerazione in ogni valutazione dei rischi:

- interferenze con apparecchiature e dispositivi medici elettronici;
- rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici;
- innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori);
- accensione di atmosfere infiammabili;
- correnti di contatto.

È necessario prendere in considerazione anche qualsiasi altro effetto indiretto che potrebbe verificarsi (cfr. la sezione E.1.6).

In generale gli effetti indiretti si verificano soltanto in circostanze specifiche, la cui esistenza spesso si può agevolmente escludere in un particolare luogo di lavoro: ciò significa che il rischio è già minimo. Talvolta la situazione potrebbe essere diversa, e in tal caso sarà necessario effettuare una valutazione più dettagliata.

E.1.1 Interferenze con apparecchiature e dispositivi medici elettronici

I campi elettromagnetici possono provocare interferenze con il corretto funzionamento delle apparecchiature mediche elettroniche così come possono interferire con qualsiasi altra attrezzatura elettronica. Tuttavia, poiché tali attrezzature possono avere una funzione vitale per le cure mediche, le conseguenze delle interferenze possono essere gravi.

Dal 30 giugno 2001 tutte le attrezzature elettroniche mediche immesse sul mercato o messe in servizio nell'Unione europea devono rispettare i *requisiti essenziali* della direttiva concernente i dispositivi medici (93/42/CEE modificata). In realtà gran parte delle apparecchiature messe in servizio dopo il 1o gennaio 1995 sono conformi alla direttiva concernente i dispositivi medici.

I requisiti essenziali prevedono che i dispositivi devono essere progettati e fabbricati in modo da eliminare o ridurre al minimo i rischi connessi con condizioni ambientali ragionevolmente prevedibili, in particolare quelli connessi con i campi magnetici, le influenze elettriche esterne, le scariche elettrostatiche.

In pratica i fabbricanti ottengono la conformità ai requisiti essenziali della direttiva concernente i dispositivi medici fabbricando i propri prodotti nel rispetto di un'appropriata norma armonizzata. Per quanto riguarda l'immunità alle interferenze, la norma principale è la EN60601-1-2, benché anche norme particolari possano contenere prescrizioni in materia. Benché i requisiti essenziali per l'immunità ai campi elettromagnetici siano identiche nella direttiva concernente i dispositivi medici e nella direttiva per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative ai dispositivi medici impiantabili attivi (cfr. di seguito), l'interpretazione nelle norme armonizzate non lo è. Le versioni di EN60601-1-2, fino all'edizione 3 inclusa (2007) prescrivono che le funzioni essenziali dell'apparecchiatura non devono essere compromesse dall'esposizione a:

- campi magnetici a frequenza industriale fino 3 A/m (3,8 μT);
- intensità di campo elettrico fino a 3 V/m a frequenze da 80 MHz a 2,5 GHz (i campi a modulazione di ampiezza hanno di solito 1 kHz);
- per le apparecchiature di sostegno vitale l'immunità all'intensità di campo elettrico tra 80 MHz e 2,5 GHz è aumentata a 10 V/m.

Sulla base di questi valori è possibile valutare il potenziale di interferenza con le attrezzature mediche elettroniche.

L'edizione 4 (2014) di EN60601-1-2 affronta il problema della coerenza tra la direttiva concernente i dispositivi medici e la direttiva per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative ai dispositivi medici impiantabili attivi. Essa impone al fabbricante di prevedere ambienti adatti per l'uso e rende più rigorosi i livelli di immunità per i dispositivi da utilizzare nell'assistenza sanitaria domestica.

La norma ammette altresì che raggiungere questi obiettivi di immunità sarebbe difficile per le apparecchiature concepite per monitorare parametri fisiologici. Per tali apparecchiature ammette quindi un'immunità inferiore, considerando che saranno prevedibilmente utilizzate in ambienti a basso campo.

E.1.2 Rischi propulsivi di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici

In forti campi magnetici statici, gli oggetti ferromagnetici possono subire potenti forze attrattive, tali da muovere gli oggetti stessi. In determinate circostanze tale movimento può costituire un rischio propulsivo. Il rischio di movimento dipende da una serie di fattori, tra cui il gradiente del campo magnetico, la massa e la forma dell'oggetto e il materiale con cui è fabbricato.

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici prevede un LA di 3 mT per evitare il rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici nel campo periferico di forti sorgenti magnetiche statiche (> 100 mT).

E.1.3 Innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori)

È risaputo che in determinate circostanze campi elettromagnetici possono determinare l'innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori). Questo effetto dipende dalla presenza

nel luogo di lavoro di dispositivi elettro-esplosivi insieme a intensità di campo sufficienti a innescarli. Di conseguenza tale problema difficilmente si presenterà nella maggior parte dei luoghi di lavoro, ma alcuni datori di lavoro (per esempio nel settore della difesa) dovrebbero tenerne conto.

Dal momento che i dispositivi elettro-esplosivi possono costituire un rischio anche in assenza di forti campi elettromagnetici, il loro stoccaggio e uso sono di solito rigorosamente controllati, con limitazioni sulle attività che possono aver luogo in prossimità, compresa la generazione di campi elettromagnetici.

Una relazione tecnica europea (CLC/TR 50426) fornisce linee guida sulle valutazioni dei rischi di innesco di dispositivi a filo esplodente. La relazione indica alcuni metodi per valutare il rischio che il campo possa generare energia sufficiente per provocare un innesco.

Un'altra relazione tecnica europea che può tornare utile è la CLC/TR 50404 che fornisce linee guida sulla valutazione dei rischi e misure per evitare l'innesco di materiali esplosivi da parte dell'elettricità statica.

E.1.4 Incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili

È assodato che l'interazione di campi elettromagnetici con oggetti può provocare scintille che hanno la capacità di accendere atmosfere infiammabili. Dal momento che per tale effetto sono necessarie sia un'atmosfera infiammabile che intensità di campo sufficienti ad accenderla, è improbabile che tale problema si presenti nella maggior parte dei luoghi di lavoro, ma i datori di lavoro di alcuni settori dovrebbero tenerne conto.

Le atmosfere infiammabili possono essere a rischio di accensione da parte di una serie di sorgenti; pertanto, l'approccio consueto consiste nell'identificare le aree in cui tali atmosfere possono sussistere, ponendo poi limitazioni sulle attività che si possono svolgere in queste aree. Fra tali limitazioni rientrano di solito restrizioni alla generazione di campi elettromagnetici nell'area.

Una relazione tecnica europea (CLC/TR 50427) fornisce linee guida sulle valutazioni dei rischi di accensione involontaria di atmosfere infiammabili da parte di campi elettromagnetici a radiofrequenza. La relazione propone approcci per valutare l'energia che si può estrarre dal campo comparandola con l'energia richiesta per accendere diverse classi di materiali infiammabili.

Un'altra relazione tecnica europea che può tornare utile è la CLC/TR 50404 che fornisce linee guida sulla valutazione dei rischi e misure per evitare l'accensione di atmosfere infiammabili da parte dell'elettricità statica.

E.1.5 Correnti di contatto

Il contatto tra una persona e un oggetto conduttore in un campo elettromagnetico, in cui uno dei due sia collegato a terra e l'altro no, può generare un flusso di corrente a terra attraverso il punto di contatto. Ciò può provocare scosse o ustioni.

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici specifica i LA per la corrente di contatto miranti a evitare scosse dolorose. La persona che tocca l'oggetto può comunque percepire l'interazione con le correnti di contatto al di sotto dei LA. Benché ciò non sia pericoloso può essere comunque sgradevole; può essere ridotto al minimo seguendo i suggerimenti contenuti nella sezione 9.4.8.

E.1.6 Effetti indiretti non specificati

È necessario prendere in considerazione anche qualsiasi altro effetto indiretto che potrebbe verificarsi. Tra le interazioni da considerare ricordiamo:

- l'interazione di campi con schermature o parti metalliche nell'ambiente di lavoro, che può provocare riscaldamento e pericoli termici;
- l'interazione di campi con l'elettronica e i sistemi di comando nel luogo di lavoro, che può provocare interferenze e disfunzioni;
- l'interazione di campi con oggetti o componenti metallici indossati o portati vicino al corpo;
- l'interazione di campi con componenti o apparecchiature elettroniche indossate o portate vicino al corpo.

E.2 Lavoratori particolarmente a rischio

La direttiva relativa ai campi elettromagnetici identifica quattro gruppi di lavoratori che possono essere particolarmente sensibili ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici nel luogo di lavoro:

- lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (AIMD);
- lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili passivi;
- lavoratori con dispositivi medici portati sul corpo;
- lavoratrici in gravidanza.

I datori di lavoro devono essere consapevoli anche della possibilità di rischi particolari per gruppi di lavoratori ancora non specificati (cfr. la sezione E.2.5).

È possibile che tali lavoratori non siano adeguatamente protetti dai LA e dai VLE definiti dalla direttiva. Qualora i datori di lavoro individuino rischi potenziali per questi gruppi di lavoratori, si dovrebbero fornire informazioni nel quadro della formazione iniziale del personale e delle informazioni da dare ai visitatori del sito. In tale contesto bisognerebbe anche incoraggiare questi lavoratori a segnalare la propria situazioni ai responsabili del sito, affinché si possa effettuare una valutazione specifica dei rischi.

E.2.1 Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili attivi (AIMD)

E.2.1.1 Contesto

Esistono molti dispositivi attivi impiantabili negli esseri umani a scopi medici. Tra questi ricordiamo:

- stimolatori cardiaci,
- defibrillatori,
- impianti cocleari,
- impianti al tronco encefalico,
- protesi dell'orecchio interno,
- neurostimolatori,
- pompe per l'infusione di farmaci,
- codificatori della retina.

In generale i dispositivi dotati di connettori per collegarsi con il paziente a scopo sensoriale o di stimolazione sono normalmente più sensibili alle interferenze di quelli non dotati di connettori. I connettori infatti formano un circuito che può accoppiarsi con il campo elettromagnetico. Anche tra i dispositivi dotati di connettori, la sensibilità può variare

a seconda della funzione e dei meccanismi. I dispositivi progettati per captare segnali neurofisiologici all'interno del corpo sono probabilmente i più vulnerabili alle interferenze, in quanto sono progettati per essere sensibili alle minime variazioni di tensione sui connettori. L'interazione con i campi può facilmente generare tali variazioni di tensione, ma l'entità della tensione indotta dipende da lunghezza, tipo e posizione dei connettori all'interno del corpo. In generale i dispositivi dotati di un connettore singolo che possono formare un circuito effettivo di grandi dimensioni si accoppieranno con forza nel campo mentre i dispositivi bipolari sono di solito meno sensibili poiché formano circuiti effettivi molto più piccoli.

Gli stimolatori cardiaci di norma incorporano un interruttore *reed* (un tipo di interruttore magnetico) che può essere attivato da forti campi magnetici per trasferire il dispositivo da «modalità a richiesta» a «modalità di stimolazione». Alcuni AIMD sono progettati per captare radiofrequenze o segnali accoppiati induttivamente a fini di programmazione, mentre altri, come gli impianti cocleari, possono utilizzare gli accoppiamenti induttivi come parte della normale funzione. Tutti questi dispositivi sono progettati per essere sensibili ai campi esterni e di conseguenza sono vulnerabili a interferenze in presenza di campi specifici.

Dal 1° gennaio 1995 tutti gli AIMD immessi sul mercato nell'Unione europea devono rispettare i *requisiti essenziali* della direttiva 90/385/CEE (modificata) per il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative ai dispositivi medici impiantabili attivi: tra gli altri, il requisito che i dispositivi siano progettati e fabbricati in modo da eliminare o ridurre al minimo i rischi connessi con condizioni ambientali ragionevolmente prevedibili, in particolare quelli connessi con i campi magnetici, le influenze elettriche esterne, le scariche elettrostatiche.

In pratica i fabbricanti ottengono la conformità ai requisiti essenziali della direttiva AIMD fabbricando i propri prodotti nel rispetto di un'appropriata norma armonizzata. Tra le norme armonizzate pertinenti si annoverano l'EN45502-1 e la serie EN45502-2-X di norme particolari. I requisiti relativi all'immunità in queste norme derivano dai livelli di riferimento specificati nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio, senza però tener conto della media temporale per i campi a radiofrequenza e ipotizzando che il dispositivo sia impiantato secondo buone prassi mediche.

E.2.1.2 Guida alla valutazione

Approccio di base

Innanzi tutto occorre accertare quali apparecchiature e attività sono presenti nel luogo di lavoro, e se ci siano lavoratori che indossano AIMD. È opportuno osservare che non tutti i lavoratori dichiarano di indossare AIMD, e l'esperienza dimostra che fino al 50 % dei dipendenti tende a non fornire questa informazione per timore che possa influire sul loro lavoro. Il datore di lavoro dovrà tener conto di questa riluttanza al momento in cui richiede questo tipo di informazione.

Se sono presenti soltanto apparecchiature e attività elencate nella colonna 1 della tabella 3.2, di norma non saranno necessarie altre azioni, a meno che non si identifichi un lavoratore con un AIMD particolarmente vulnerabile (cfr. la parte successiva).

Se non è possibile identificare lavoratori portatori di AIMD, in genere non saranno necessarie altre azioni, ma i datori di lavoro devono continuare a vigilare nell'eventualità che nuovi lavoratori o visitatori indossino AIMD o che lavoratori già in loco siano portatori di AIMD.

Una volta identificati i lavoratori portatori di AIMD, il datore di lavoro deve raccogliere il maggior numero di informazioni possibile a proposito dei dispositivi. Il lavoratore deve collaborare in questo processo e, se possibile, occorre avvalersi dell'assistenza di un medico del lavoro e/o del medico curante del lavoratore in questione.

Se il dispositivo indossato dal lavoratore è più vecchio o il lavoratore è stato avvertito che il suo AIMD è stato applicato in modo tale che sarà particolarmente vulnerabile, sarà necessario effettuare una valutazione specifica. Questa dovrebbe basarsi sulle caratteristiche note del dispositivo.

In gran parte delle altre situazioni dovrebbe essere possibile effettuare una valutazione generale, come si afferma di seguito. Se da ciò risultasse che le normali attività lavorative potrebbero dar luogo a una condizione pericolosa, la soluzione più semplice in genere sarà adeguare la postazione di lavoro o le attività lavorative. Se questo si rivelasse difficile, il datore di lavoro potrebbe decidere di effettuare una valutazione specifica.

AIMD più vecchi

Impianti attivi più vecchi, precedenti al 1° gennaio 1995, potrebbero non vantare la stessa immunità alle interferenze da campi elettromagnetici dei dispositivi moderni. Non è chiaro quanti di questi dispositivi più vecchi siano ancora in circolazione. Le batterie che alimentano gli AIMD hanno una vita limitata e l'intero dispositivo e alcuni suoi elementi possono essere sostituiti insieme alle batterie. Per esempio è prassi normale con gli stimolatori cardiaci sostituire il generatore di impulsi insieme alle batterie, benché altri elementi come i connettori solitamente rimangono al proprio posto. Gli stimolatori cardiaci costituiscono ancora la maggioranza degli impianti e questo era certamente vero prima del 1995. È improbabile che sugli stimolatori cardiaci più vecchi influiscano i campi magnetici statici inferiori a 0,5 mT, campi elettrici a bassa frequenza inferiori a 2 kV/m, e campi magnetici a bassa frequenza inferiori a 20 μT.

Avvertenze speciali

Tutti i pazienti portatori di AIMD ricevono avvertenze generali per evitare situazioni che possano generare interferenze. Queste avvertenze devono essere seguite, ma non influiscono sulla valutazione dei rischi basata sull'approccio di valutazione generale riportato in appresso. Occasionalmente tuttavia ci sono i motivi medici per impiantare l'AIMD in una configurazione non standard o per utilizzare impostazioni non standard, il che può giustificare avvertenze speciali. Questo può anche verificarsi a causa delle condizioni cliniche del paziente. Se si ricevono avvertenze speciali, sarà necessario effettuare una valutazione specifica.

Valutazione generale

L'approccio della valutazione generale segue quello previsto dall'EN50527-1 e si basa sui requisiti relativi all'immunità delle norme armonizzate per gli AIMD. L'interferenza pertanto non dovrebbe verificarsi a condizione che i campi, diversi dai campi magnetici statici, non superino i valori istantanei dei livelli di riferimento della raccomandazione (1999/519/CE) del Consiglio. L'AIMD deve inoltre rimanere esente dall'influenza dei campi magnetici statici inferiori a 0,5 mT.

Valutazione specifica

In alcune situazioni potrebbe essere necessario effettuare una valutazione specifica. Ciò si verificherà probabilmente quando:

- i lavoratori sono portatori di AIMD più vecchi (cfr. sopra);
- ai lavoratori sono state comunicate avvertenze speciali;
- è difficile adeguare la postazione di lavoro o le attività lavorative per garantire che l'esposizione non superi i livelli di riferimento di cui alla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio.

Ulteriori informazioni sulle valutazioni specifiche sono contenute nell'allegato A dell'EN50527 1. Altre linee guida sono reperibili nel documento dell'associazione dell'Assicurazione tedesca contro gli infortuni BGI/GUV-I 5111.

E.2.2 Lavoratori portatori di dispositivi medici impiantabili passivi

Vari impianti medici possono essere metallici. Tra questi si annoverano protesi articolari, chiodi, piastre, viti, clip chirurgiche, clip per aneurisma, stent, protesi valvolari cardiache, anelli per annuloplastica, impianti contraccettivi e casi di AIMD e otturazione dentali.

Se questi dispositivi sono fatti con materiali ferromagnetici, possono subire effetti di torsioni e forze in presenza di forti campi magnetici statici. Dagli studi condotti finora non emergono indicazioni che induzioni magnetiche statiche di 0,5 mT o inferiori esercitino effetti sufficienti per creare pericoli per la salute (ICNIRP, 2009). Ciò è coerente con il LA specificato nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici per evitare interferenze con gli AIMD nei campi magnetici statici.

Nei campi variabili nel tempo, gli impianti metallici possono perturbare il campo elettrico indotto nel corpo creando regioni localizzate di forti campi. Inoltre gli impianti metallici potrebbero essere riscaldati induttivamente; le conseguenze sarebbero riscaldamento e lesioni termiche dei tessuti circostanti. Alla fine ciò può causare il guasto dell'impianto.

Ci sono pochi dati su cui basare una valutazione dei rischi cui sono esposti coloro che indossano impianti passivi. Un fattore da considerare è la frequenza dei campi elettromagnetici poiché la penetrazione del campo nel corpo diminuisce all'aumentare della frequenza, tanto che può esserci poca o nessuna interazione tra campi ad alta frequenza e la maggior parte degli impianti, che sono collocati entro una massa di tessuto circostante.

Il riscaldamento induttivo sufficiente a provocare lesioni termiche ai tessuti circostanti dipenderà dall'estrazione di una potenza sufficiente dal campo. Questo subirà l'influenza delle dimensioni e della massa dell'impianto nonché della forza e della frequenza del campo accessibile. Tuttavia, la conformità alla raccomandazione (1999/519/CE) del Consiglio dovrebbe fornire un'adeguata protezione, mentre campi più forti potrebbero essere giustificabili in alcune circostanze.

E.2.3 Lavoratori con dispositivi medici portati sul corpo

I dispositivi medici portati sul corpo rientrano nel campo di applicazione della direttiva concernente i dispositivi medici (93/42/CEE modificata). Pertanto, in mancanza di informazioni più specifiche, le considerazioni relative alla valutazione sono uguali a quelle dell'interferenza con altre attrezzature mediche elettroniche di cui si è parlato nella sezione E.1.1.

Tuttavia in generale i dispositivi portati sul corpo non dovrebbero essere più sensibili degli AIMD e i dispositivi che non sono programmati per captare parametri fisiologici potrebbero essere meno sensibili di alcuni AIMD. Pertanto è sempre consigliabile contattare il fabbricante per chiedere informazioni sull'immunità alle interferenze.

E.2.4 Lavoratrici in gravidanza

Sono stati segnalati effetti nocivi derivanti dall'esposizione materna a campi magnetici a bassa frequenza. Nel complesso tuttavia le prove di un'associazione tra tali effetti e l'esposizione a campi a bassa frequenza sono ritenute molto deboli (ICNIRP, 2010). Un gruppo di esperti ha dichiarato che lo sviluppo del sistema nervoso *in utero* potrebbe essere vulnerabile ai campi elettrici indotti variabili nel tempo (NRPB, 2004). Lo stesso gruppo ha concluso che la limitazione dell'intensità dei campi elettrici indotti a circa 20 mV/m dovrebbe fornire una protezione adeguata allo sviluppo del sistema nervoso *in utero*. È stato calcolato che questo risultato è possibile rispettando i livelli di riferimento per i campi a bassa frequenza specificati dalla raccomandazione (1999/519/CE) del Consiglio.

Vi sono prove inconfutabili che l'innalzamento della temperatura corporea della madre influisce negativamente sull'esito della gravidanza, e che il sistema nervoso centrale, apparentemente, è particolarmente vulnerabile. È stato concluso che la limitazione del SAR mediato su tutto il corpo a 0,1 W/kg nelle donne in gravidanza dovrebbe fornire una protezione adeguata (NRPB, 2004). Questa è simile al limite di base per l'esposizione alla radiofrequenza di 0,08 W/kg specificato nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio.

Pertanto per gran parte dei datori di lavoro un approccio pragmatico sarebbe quello di limitare l'esposizione delle lavoratrici in gravidanza, utilizzando i livelli di riferimento contenuti nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio. Ciò dovrebbe fornire una protezione adeguata sia alle alte che alle basse frequenze.

E.2.5 Lavoratori non specificati particolarmente a rischio

I datori di lavoro devono essere consapevoli che potrebbero esserci gruppi di lavoratori non specificati particolarmente a rischio, come lavoratori che assumono farmaci particolari per note patologie mediche.

APPENDICE F. ORIENTAMENTI SULLA RISONANZA MAGNETICA

La risonanza magnetica (RMI) è un'importante tecnologia medica divenuta essenziale per la diagnosi e la cura e rappresenta un prezioso strumento per la ricerca medica. È una tecnica ampiamente utilizzata nell'Unione europea con decine di milioni di scansioni ogni anno, e comporta l'esposizione deliberata di pazienti o volontari a forti campi elettromagnetici per generare immagini dettagliate tra cui la mappa del metabolismo cerebrale e la relativa attività. Benché complementare ad altre tecnologie per immagini come la tomografia computerizzata (TC), la RMI ha il vantaggio di non comportare l'esposizione a radiazioni ionizzanti e di non avere noti effetti di lungo periodo sulla salute.

L'esposizione di pazienti e volontari a campi elettromagnetici nello scanner non rientra nel campo di applicazione della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. La distribuzione del campo elettromagnetico nello scanner è dettata essenzialmente da considerazioni di efficienza e qualità dell'immagine della scansione. Inoltre i fabbricanti cercano di ridurre al minimo i campi di dispersione all'esterno dello scanner, riducendo così l'esposizione del personale che lavora intorno all'apparecchiatura. I campi magnetici statici possono superare i livelli di azione (LA) per gli effetti indiretti (cfr. il capitolo 6). Inoltre, in alcune circostanze, i lavoratori potrebbero comunque essere esposti a campi superiori a un valore limite di esposizione (VLE) (cfr. la tabella F1). Tuttavia la derivazione del VLE prevede un margine di sicurezza, per cui l'esposizione superiore al VLE può non produrre effetti nei lavoratori. Viene considerato sicuro esporre abitualmente pazienti e volontari a campi intensi all'interno di uno scanner RMI (ICNIRP 2004, 2009).

Il valore dell'RMI come tecnologia essenziale nel settore sanitario è ampiamente riconosciuto e l'articolo 10 della direttiva relativa ai campi elettromagnetici concede una deroga condizionale all'obbligo di rispettare i valori limite di esposizione. Questi orientamenti sono stati elaborati in consultazione con le parti interessate del settore RMI per offrire assistenza pratica — in caso di necessità — ai datori di lavoro che devono ottenere la conformità a queste condizioni. Gli operatori sanitari che offrono servizi RMI hanno accesso a esperti in materia di radiografia, radiologia e fisica medica che dovrebbero essere tutti consultati per ottenere la conformità. I fabbricanti e gli istituti di ricerca hanno a disposizione esperti con lo stesso tipo di competenze e devono a loro volta consultarli.

F.1 Progettazione e costruzione di apparecchiature RMI

Gli scanner RMI sono progettati per generare un complesso ambiente elettromagnetico all'interno della cavità dell'apparecchiatura, con tre componenti principali:

- campi magnetici statici — la maggioranza dei sistemi usati in ambito clinico opera a 1,5 o 3 T, benché i sistemi aperti preferiti per procedure di intervento operino normalmente a induzioni magnetiche inferiori (0,2-1 T); un ridotto numero di scanner a campo elevato — usati essenzialmente a fini di ricerca — opera fino a 9,4 T;
- campi magnetici gradiente a bassa frequenza — gli scanner usano tre gradienti ortogonali che vengono accesi e spenti in rapida successione per generare informazioni posizionali relative ai segnali RM misurati. Si tratta di forme d'onda pulsate complesse che variano a seconda del tipo di scansione effettuata. Le forme d'onda pulsate equivalgono a frequenze nella regione 0,5-5 kHz;
- campi a radiofrequenza applicati alla frequenza Larmor, che dipende dalla induzione magnetica statica (62-64 MHz e 123-128 MHz per scanner da 1,5 T e rispettivamente 3 T).

Tabella F1 — Comparazione delle esposizioni dei lavoratori derivanti dalla RMI con valori limite ed effetti che ne derivano

Esempio di esposizione dei lavoratori*	Valori limite	Effetti segnalati
Campo magnetico statico		
1,0 T, 1,5 T, 3,0 T, 7,0 T	2 T, 8 T	Vertigini in assenza di movimento
< 2 m/s equivalente a <3 T/s 0,3 V/m (pk) nel cervello oppure 2 V/m (pk) nel corpo	0,05 V/m (rms) (VLE relativi agli effetti sensoriali) 0,8 V/m (rms) (VLE relativi agli effetti sanitari)	Vertigini e nausea
Campi gradiente		
100-1500 Hz Limitate dai valori del sistema nervoso periferico del paziente che corrispondono a valori stimati per dB/dt e campi elettrici indotti rms nel cervello e nel tronco In normali posizioni del paziente < 40 T/s (rms) = 4 V/m nel cervello < 40 T/s (rms) = 8 V/m nel tronco Nelle peggiori posizioni accessibili per i lavoratori in intervento < 120 T/s (pk) = 8 V/m nel cervello < 40 T/s (pk) = 2 V/m nel tronco	0,8 V/m (rms)	Formicolio, dolore o contrazione muscolare se vengono superati i limiti della modalità controllata per il sistema nervoso periferico. I lavoratori RMI non hanno mai segnalato effetti sul sistema nervoso centrale; risultano segnalazioni dagli operatori TMS a valori > 500 T/s oppure > 50 100 V/m
Campi a radiofrequenza		
42, 64, 128, 300 MHz Il SAR riferito a tutto il corpo, limitato a < 4 W/kg in isocentro, corrisponde a un SAR riferito a tutto il corpo < 0,4 W/kg per metà all'interno < 0,1 W/kg all'apertura	0,4 W/kg	Sensazioni di calore e sudore a esposizioni > 2 W/kg

* Dati forniti da COCIR. Ulteriori dati sull'esposizione dei lavoratori sono reperibili in Stam, 2014.

Tutti gli scanner RMI destinati alla diagnosi e/o alla terapia di esseri umani e immessi sul mercato o messi in servizio nell'Unione europea a partire dal 30 giugno 2001 devono rispettare i *requisiti essenziali* della direttiva concernente i dispositivi medici (93/42/CEE), tra cui il requisito generale di non compromettere la sicurezza e la salute degli utilizzatori ed eventualmente di terzi. I fabbricanti hanno l'obbligo di scegliere soluzioni di progettazione e costruzione che tengano conto del progresso tecnologico ed eliminino o riducano i rischi nella misura del possibile. Per aiutare i fabbricanti a ottenere la conformità ai requisiti essenziali e su mandato della Commissione europea, il Comitato europeo di normazione elettrotecnica (Cenelec) ha pubblicato una norma di prodotto per le apparecchiature di risonanza magnetica destinate alla diagnosi medica (EN60601-2-33).

La versione attuale della norma EN60601-2-33 comprende l'obbligo per i fabbricanti di fornire informazioni sulla distribuzione spaziale dei campi (informazioni normalmente reperibili nei manuali degli scanner). Queste informazioni sono disponibili per tutti i sistemi RM e dovrebbero servire a tutti i datori di lavoro per identificare le aree in cui i VLE possono essere superati. Inoltre gli scanner devono fornire informazioni sull'output del gradiente e sul tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) a radiofrequenza prima di iniziare ciascuna scansione. Gli scanner devono anche essere dotati di salvaguardie che proteggano dalle esposizioni eccessive. È possibile che gli obblighi menzionati in questo paragrafo non si applichino alle apparecchiature più vecchie (le cosiddette apparecchiature «ereditate»).

F.2 L'esposizione del lavoratore durante la RMI nel settore sanitario

Gli scanner RMI sono progettati per generare campi forti ma rigorosamente controllati all'interno della cavità dello scanner, riducendo al minimo i campi di dispersione all'esterno della superficie occupata dall'apparecchiatura. Pertanto i campi si riducono molto rapidamente con la distanza dall'apertura dello scanner, generando solitamente alti gradienti spaziali del campo vicino allo scanner e campi assai più deboli a distanze maggiori. Le prove disponibili fanno pensare che soltanto il lavoro all'interno della cavità dello scanner o nelle immediate vicinanze dell'apertura genererà esposizioni superiori ai VLE.

Poiché l'esposizione dei lavoratori che non hanno bisogno di avvicinarsi all'apertura dello scanner sarà sempre conforme, non è necessario valutarla. La valutazione dell'esposizione per i lavoratori che devono avvicinarsi all'apertura o entrare nella cavità dello scanner sarà complessa. Richiede infatti una conoscenza dettagliata della distribuzione spaziale dei campi all'interno e all'esterno dello scanner oltre a una comprensione del modo in cui il personale si muove in relazione allo scanner mentre svolge il proprio lavoro; ciò dipende molto da tipo di mansioni da adempiere. Inoltre le valutazioni, in linea di principio, dovrebbero basarsi su tecniche di modellizzazione numerica, per poter comparare direttamente le esposizioni con i VLE. Queste valutazioni vanno al di là della capacità di gran parte delle istituzioni che svolgono procedure di routine con la RMI.

Per fornire informazioni sulle esposizioni dei lavoratori derivanti da una serie di procedure tipiche e diversi tipi di apparecchiature, la Commissione europea ha finanziato una valutazione in quattro impianti di risonanza magnetica di paesi diversi. Questo progetto dettagliato ha valutato i movimenti e le posizioni del personale durante le diverse procedure, oltre alla mappatura dei campi e alla dosimetria computazionale (Capstick e al., 2008). I risultati di questo studio e di altri precedenti (riveduti in Stam, 2008) sono di tipo informativo, benché le conclusioni dettagliate debbano essere trattate con una certa cautela. I risultati riguardano la precedente direttiva relativa ai campi elettromagnetici e utilizzano diverse metriche di esposizione. Inoltre sono limitati a un numero relativamente ridotto di scanner e di scenari di esposizione. Le analisi recenti dimostrano che i VLE possono essere superati in alcune circostanze (Stam, 2014; McRobbie, 2012).

I dati relativi alle misurazioni per i campi gradiente devono essere trattati con particolare cautela giacché in molti casi i livelli di azione dell'attuale direttiva relativa ai campi elettromagnetici sono meno restrittivi di quelli discussi nei precedenti studi sull'esposizione. In generale, la comparazione con i livelli di azione dà luogo a una prudente valutazione relativa all'uso dei VLE, così che quest'ultima è preferibile, ma generalmente richiede una certa esperienza in materia di dosimetria computazionale complessa.

F.2.1 Esposizione relativa ai VLE

F.2.1.1 Campi magnetici statici

Per tutti gli scanner a basso campo (che operano a meno di 2 T) e la maggioranza di procedure di routine con scanner che operano al di sopra di 2 T, le esposizioni a campi magnetici statici saranno conformi ai VLE sensoriali. Per tutte le altre procedure che utilizzano scanner che operano fino a 8 T, le esposizioni a campi magnetici statici saranno conformi ai VLE relativi a effetti sanitari.

F.2.1.2 Movimento attraverso campi magnetici statici

Il movimento attraverso i forti campi magnetici statici prodotti da scanner RMI induce nei tessuti del corpo campi elettrici che possono superare i VLE specificati nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici. A velocità di movimento normali, questo avviene soltanto nella cavità dello scanner e a breve distanza dall'apertura (generalmente a non più di 1 m sulla base delle informazioni disponibili). Si tratta di un problema particolare durante la preparazione del paziente, che può comportare complessi movimenti rotatori della testa dell'operatore.

F.2.1.3 Campi gradiente

Per la maggioranza delle procedure di routine l'esposizione al campo gradiente non supererà né i VLE relativi agli effetti sensoriali né i VLE relativi agli effetti sanitari. Tuttavia, per una numero abbastanza limitato di procedure, se i lavoratori devono avvicinarsi all'apertura dello scanner (normalmente a meno di 1 m), potrebbe verificarsi il superamento del VLE, mentre per un numero assai ridotto i VLE probabilmente saranno superati, soprattutto se il lavoratore dovrà piegarsi nello scanner. Le esposizioni effettive dipenderanno da una serie di fattori, tra cui il numero di gradienti simultaneamente attivi e le caratteristiche del gradiente; con *l'imaging* ad alta velocità che solitamente genera esposizioni superiori. La tabella F2 illustra esempi di procedure che rientrano in ciascuna categoria.

F.2.1.4 Campi a radiofrequenza

I VLE a radiofrequenza sono mediati nel tempo su un periodo di sei minuti e le esposizioni saranno generalmente conformi quando un lavoratore deve piegarsi in uno scanner (per esempio per monitorare un paziente), a condizione che questo duri soltanto pochi minuti. Spesso anche esposizioni più lunghe sono conformi.

F.3 Deroga in materia di RMI

Il valore della RMI come tecnologia essenziale nel settore sanitario è ampiamente riconosciuto e l'articolo 10 della direttiva EMF concede una deroga non discrezionale, ma condizionale, all'obbligo di rispettare i valori limite di esposizione. La deroga si applica alle esposizioni dei lavoratori connesse all'installazione, al controllo, all'uso, allo sviluppo e alla manutenzione degli apparecchi per la risonanza magnetica (RMI) o alla ricerca correlata purché siano soddisfatte le condizioni seguenti:

i) la valutazione del rischio effettuata conformemente all'articolo 4 ha dimostrato che i VLE sono superati;

ii) tenuto conto dello stato dell'arte, sono state applicate tutte le misure tecniche e/o organizzative;

iii) le circostanze giustificano debitamente il superamento del VLE;

iv) si è tenuto conto delle caratteristiche del luogo di lavoro, delle attrezzature di lavoro o delle procedure di lavoro;

v) il datore di lavoro dimostra che i lavoratori sono sempre protetti dagli effetti nocivi per la salute e dai rischi per la sicurezza, assicurando in particolare che siano seguite le istruzioni per l'uso in condizioni di sicurezza fornite dal fabbricante ai sensi della direttiva 93/42/CEE del Consiglio concernente i dispositivi medici.

Tabella F2 — Rischio di superamento dei VLE rilevanti relativi all'esposizione al campo gradiente durante diverse indagini RMI

Rischio di superamento dei VLE	Procedura
Alto	Collocamento del guidafilo (scansione in tempo reale) Tecniche di intervento come la RMI cardiovascolare interventistica RMI funzionale (stimolazione fisica del paziente all'interno dello scanner) Aggiustamento degli elettrodi dell'EEG (attività di ricerca)
Medio	Anestesia generale (stretto monitoraggio delle condizioni del paziente durante la scansione) Test cardiaco sotto sforzo (stretto monitoraggio delle condizioni del paziente durante la scansione) Pulizia /controllo delle infezioni all'interno dello scanner (nessuna scansione) Sostegno psicologico al bambino durante la scansione (l'operatore rimane all'esterno dello scanner ma entro 1 m dall'apertura)
Basso	Scansioni di routine (il personale non è presente nella stanza dello scanner) Biopsia (il paziente non è nello scanner/nessuna scansione) Somministrazione manuale dell'agente di contrasto (nessuna scansione)

Occorre osservare che la deroga si applica soltanto in relazione ai VLE, allo scopo di prevenire gli effetti diretti dei campi elettromagnetici sugli esseri umani. Altri pericoli possono insorgere dal funzionamento di apparecchiature RMI che potrebbero dar luogo a rischi per la sicurezza con esiti potenzialmente gravi. Gli operatori devono garantire che questi siano gestiti in maniera adeguata. Questi altri pericoli possono includere interferenze con:

- dispositivi medici impiantabili attivi o passivi,
- dispositivi medici portati sul corpo,
- attrezzature mediche elettroniche,
- impianti medici o cosmetici.

Altri pericoli comprendono inoltre:

- rischio propulsivo derivante dal movimento di materiali ferromagnetici in un forte campo magnetico,
- rumore,
- elio liquido.

F.4 Rispettare le condizioni della deroga

Questa sezione offre orientamenti ai datori di lavoro per valutare la loro conformità alle condizioni della deroga.

F.4.1 Valutazioni del rischio per determinare l'eventuale superamento dei VLE

Il capitolo 5 offre orientamenti specifici sulla valutazione dei rischi nell'ambito della direttiva relativa ai campi elettromagnetici. L'apparecchiatura per la risonanza magnetica si avvale di campi forti per produrre immagini e pertanto c'è spesso il rischi di un superamento dei VLE. Tuttavia, generalmente l'intensità di campo elettrico supererà i VLE soltanto all'interno dello scanner o molto vicino all'apertura (cfr. la sezione F.1) e la maggior parte delle procedure

RMI (secondo le stime il 97 % circa) non prevede la presenza di personale in queste posizioni durante la scansione.

Poiché la valutazione delle esposizioni generalmente va al di là della capacità di gran parte delle istituzioni che svolgono procedure di routine con la RMI, è accettabile fare riferimento ai dati pubblicati e alle informazioni disponibili sull'esposizione prevista di cui sono corredati i sistemi di scanner.

Per valutare il rischio sarà fondamentale determinare se il personale deve accedere alle aree in cui i VLE possono essere superati (solitamente entro 1 m dall'apertura). Durante le operazioni di routine e la cura del paziente, gli operatori vi accedono, ma solitamente non quando il sistema effettua la scansione. Se il personale deve avvicinarsi entro 1 m dall'apertura, i movimenti lenti dovrebbero essere sufficienti a mantenere i campi elettrici indotti dal movimento al di sotto dei VLE rilevanti. L'esame della tabella F2 e dei dati sull'esposizione pubblicati (cfr. la sezione F.2) dovrebbe aiutare i datori di lavoro a decidere quali possibili procedure potrebbero dar luogo a esposizioni — derivanti dai campi gradiente — che superino i VLE.

Se possibile il personale deve evitare di accedere alla cavità dello scanner (cfr. la sezione F6.4). Si noti tuttavia che quando il personale deve accedere alla cavità dello scanner per attività quali il controllo delle infezioni, i campi gradiente e i campi a radiofrequenza sono disabilitati, per cui è necessario considerare soltanto le esposizioni derivanti dal campo magnetico statico. Come si è detto nella sezione F.2, per gli scanner che operano con induzioni magnetiche fino a 8 T, i VLE relativi agli effetti sanitari non saranno superati. Se si adottano misure per informare i lavoratori e scongiurare rischi per la sicurezza, è accettabile superare temporaneamente i VLE relativi agli effetti sensoriali.

F.4.2 Applicazione di misure tecniche e organizzative che rispecchino lo stato dell'arte

F.4.2.1 Misure tecniche

Le misure tecniche destinate a limitare i campi all'interno della cavità dello scanner sono inerenti alla sua progettazione e costruzione, insieme alle modalità operative tese a limitare l'output. I fabbricanti sviluppano e migliorano continuamente le proprie apparecchiature, ivi comprese le misure tese a limitare i campi per garantire il rispetto delle prescrizioni sancite dalla direttiva concernente i dispositivi medici. Sulla base di queste prescrizioni di conformità, al momento della fabbricazione e dell'installazione, le misure tecniche incorporate negli scanner rappresentano lo stato dell'arte. La modifica di post-installazione dell'apparecchiatura di RM sarebbe tecnicamente complessa e di solito richiederebbe una rivalutazione per quanto riguarda la conformità alla direttiva concernente i dispositivi medici, che generalmente va al di là della capacità delle istituzioni operative.

In linea di principio sarebbe possibile scegliere parametri operativi (come le caratteristiche del gradiente o l'intensità del campo a radiofrequenza) per ridurre le esposizioni quando il personale dev'essere presente nella cavità o vicino all'apertura dello scanner. In pratica tuttavia la selezione dei parametri operativi dello scanner è regolata essenzialmente da esigenze e procedure cliniche che comportano che il personale debba piegarsi nello scanner (per esempio procedure di intervento); spesso si tratterà di procedure che richiedono scansioni veloci con conseguenti alte esposizioni. È pertanto improbabile che vi sia un sufficiente margine di manovra per ridurre le esposizioni mediante questo approccio, ma laddove possibile, i radiografi devono selezionare scansioni più lente ed esposizioni derivanti da radiofrequenze inferiori se è probabile che il personale si avvicini allo scanner. Tuttavia, la selezione delle impostazioni corrette per lo scanner deve sempre avvenire alla luce di criteri clinici.

F.4.2.2 Misure organizzative

I datori di lavoro che operano gli scanner RMI devono seguire le raccomandazioni fornite nelle sezioni F5 e F6 qui di seguito.

F.4.3 Circostanze che giustificano debitamente il superamento dei VLE

Le circostanze che giustificano debitamente il superamento dei VLE dipendono da particolari applicazioni. Per la diagnosi e il trattamento, la necessità di effettuare particolari procedure sarà sempre una questione di pertinenza clinica. Laddove le procedure coinvolgano lavoratori che accedono all'area intorno all'apertura identificata sulla pianta (cfr. la seguente sezione F5.3), il datore di lavoro deve consultare i professionisti sanitari competenti per vedere se esistono altri mezzi accettabili per raggiungere lo scopo auspicato, tenendo conto delle esigenze cliniche e della sicurezza del paziente.

I fabbricanti devono tener conto di simili considerazioni al momento di organizzare il proprio lavoro, soprattutto della necessità di garantire che l'apparecchiatura generi immagini della qualità adeguata all'uso clinico. Gli istituti di ricerca devono seguire un processo analogo a quello adottato nelle cure dirette dei pazienti, tenendo conto della qualità dei dati ottenuti e della sicurezza dei volontari.

F.4.4 Caratteristiche del luogo di lavoro, delle apparecchiature di lavoro o delle prassi lavorative

I datori di lavoro devono osservare il contenuto della precedente sezione F1 e seguire le raccomandazioni fornite nelle seguenti sezioni F5 e F6.

F.4.5 Protezione dei lavoratori e uso sicuro

Come risulta dalla sezione F.1, le apparecchiature RMI conformi alla norma EN60601-2-33 incorporano misure di salvaguardia per proteggere da esposizioni eccessive. Tuttavia, se vengono superati i VLE vi è il rischio che i lavoratori più sensibili ai campi possano subirne gli effetti. Per questo motivo è importante che i lavoratori cui viene richiesto di accedere all'area ad accesso controllato (cfr. la sezione F5.1) ricevano informazioni sulle possibili conseguenze dell'esposizione, per poterle riconoscere qualora si verifichino e adottare le azioni necessarie a limitare l'esposizione in maniera adeguata. Tutti questi eventi devono essere segnalati al direttore dell'unità o alla persona responsabile che deve adottare le azioni adeguate.

Gli scanner RMI sono componenti complesse e altamente tecniche dell'apparecchiatura medica o di ricerca e gli operatori ricevono una formazione molto ampia. Le apparecchiature incorporano numerosi sistemi di sicurezza che comprendono misure di salvaguardia per proteggere da esposizioni eccessive, nonché sistemi di allarme automatici. Dal momento che i datori di lavoro dispongono di sistemi per garantire che gli operatori utilizzino le apparecchiature secondo le istruzioni del fabbricante e prestino attenzione ai sistemi di allarme automatici, l'apparecchiatura dovrebbe essere sicura per i pazienti e i lavoratori ai sensi della direttiva concernente i dispositivi medici (93/42/CEE).

F.4.6 Lavoratrici in gravidanza

Quando una lavoratrice annuncia di essere incinta, il datore di lavoro deve rivedere la propria valutazione dei rischi per accertare che sia adatta allo scopo. Se occorre apportare alcuni cambiamenti, è necessario effettuare una valutazione dei rischi specifica. Ulteriori orientamenti sono contenuti nel capitolo 5 e nell'appendice E della presente guida.

F.5 Organizzazione dell'impianto RMI

Le istituzioni possono ridurre al minimo l'esposizione del lavoratore adottando un approccio articolato all'organizzazione degli impianti RMI e in particolare suddividendo l'area a seconda dell'entità dei campi che probabilmente si incontreranno. Ciò facilita la restrizione di accesso

alle aree in cui il rischio di esposizione superiore ai VLE è più alto. In generale gran parte degli impianti RMI è dotata già di un sistema di restrizioni di accesso basato su altri pericoli (cfr. l'elenco a punti contenuto nella sezione F.3). L'approccio descritto di seguito si basa sulle proposte di buone prassi pubblicate altrove e sviluppa gli approcci esistenti nel contesto della direttiva EMF.

F.5.1 Area ad accesso controllato

L'EN60601-2-33 definisce il concetto di area ad accesso controllato e specifica che un'area di questo tipo sarà necessaria per qualsiasi apparecchiatura RMI che generi un campo di dispersione superiore a 0,5 mT all'esterno della sua copertura fissata in modo permanente, o che non sia conforme al livello di interferenza elettromagnetica specificato dalla norma EN60601-1-2. Di conseguenza la designazione di «Area ad accesso controllato» è già una pratica corrente nel settore sanitario.

Nell'area ad accesso controllato esiste un rischio di interferenza con i dispositivi medici impiantabili attivi e altre apparecchiature mediche. Ci sono anche rischi di attrazione dei materiali ferromagnetici o di torsioni su tali materiali.

L'accesso all'area dovrà essere soggetto a restrizioni, possibilmente tramite una porta ad accesso controllato, indicata con segnalazioni appropriate. Saranno necessarie disposizioni organizzative per controllare l'accesso all'area (cfr. la seguente sezione F6).

F.5.2 Locale dello scanner

L'accesso al locale dello scanner dev'essere limitato ai lavoratori che devono essere presenti per esigenze operative. Coloro che accedono al locale vi possono rimanere soltanto per il periodo necessario all'adempimento delle proprie mansioni.

Il gradiente spaziale del campo magnetico è al suo livello massimo nell'area più prossima all'apertura dello scanner. I campi gradiente in quest'area possono essere così forti da creare un rischio di superamento dei VLE durante il funzionamento dello scanner. Quest'area pertanto dev'essere identificata su una pianta esposta nel locale dello scanner. L'area identificata sarà definita in base al campo più restrittivo tra il campo a gradiente spaziale e quello a gradiente commutato, solitamente su indicazione del fabbricante. Qualora queste specifiche informazioni non siano disponibili (se si tratta di un vecchio scanner, per esempio) si dovrebbe di default identificare un'area entro un raggio di 1 m dall'apertura (misurato dall'asse centrale) che dovrebbe essere adeguata. La pianta dovrebbe avvertire i lavoratori sui principali rischi cui sono esposti quando lavorano in quest'area. I lavoratori non devono accedere all'area identificata a meno che non sia necessario per l'adempimento delle loro mansioni, e non devono rimanere nell'area più a lungo del necessario. Il personale che deve accedere all'area identificata deve muoversi con sufficiente lentezza per evitare gli effetti nocivi.

F.5.3 Struttura del locale dello scanner

Il locale dello scanner dev'essere progettato in modo da evitare, per quanto possibile, che il personale debba lavorare in prossimità dell'apparecchiatura. Pertanto le apparecchiature per l'anestesia e le altre apparecchiature trasportabili devono essere collocate il più lontano possibile dallo scanner, a condizione che ciò sia compatibile con le buone prassi mediche. Allo stesso modo, la somministrazione di farmaci e agenti di contrasto dev'essere automatizzata, se possibile, anche se ciò potrebbe non essere sempre una procedura sicura: occorre seguire il parere medico. L'infusione manuale è spesso considerata un'alternativa più sicura per i pazienti giovani o molto malati, ma la decisione spetta sempre al personale medico.

F.6 Organizzazione del lavoro

F.6.1 Area ad accesso controllato

All'area ad accesso controllato si applicano disposizioni organizzative appropriate che devono essere documentate. Un membro del personale in posizione gerarchica superiore, come il tecnico di radiologia responsabile, è responsabile della supervisione diretta delle attività lavorative nell'area.

Il personale medico e i visitatori che si trovano nell'area ad accesso controllato devono essere soggetti alla supervisione continua di un lavoratore RM.

Un elemento fondamentale delle disposizioni sarà lo screening per l'identificazione dei soggetti a rischio per la presenza di impianti attivi o passivi, o di altri fattori di rischio come body piercing o tatuaggi ad alto contenuto di ferro. Si tratta in pratica degli stessi criteri di screening utilizzati per i pazienti e gli operatori.

Occorre prevedere anche disposizioni per il controllo dell'accesso al di fuori del normale orario di lavoro (per esempio l'accesso del personale di pulizia, di sicurezza, dei vigili del fuoco e del personale addetto alla manutenzione dell'edificio).

Lo screening dovrà estendersi anche agli oggetti introdotti nell'area per garantire che gli articoli ferromagnetici siano contrassegnati con la dicitura «idoneo per la RM» (*MR Safe*) o «compatibile con la RM a determinate condizioni» (*MR Conditional*) a seconda dei casi. Il controllo deve avvenire in base alle procedure locali.

F.6.2 Formazione del personale

I membri del personale che devono lavorare nell'area ad accesso controllato devono seguire una formazione sulla sicurezza in relazione alle apparecchiature RMI. La formazione deve riguardare:

- i possibili effetti del movimento in un forte campo magnetico statico;
- gli effetti dei gradienti di campo commutati potenti;
- gli effetti dei campi a radiofrequenza;
- il rischio propulsivo di oggetti derivante dall'attrazione di materiali ferromagnetici e rischi di torsioni su tali materiali;
- il rischio di interferenza con i dispositivi medici impiantabili attivi;
- il rischio di interferenza con apparecchiature mediche elettroniche;
- l'importanza delle restrizioni di accesso e dello screening di persone od oggetti che accedono all'area ad accesso controllato;
- l'importanza di muoversi lentamente intorno allo scanner e al suo interno;
- la distribuzione spaziale dei campi intorno allo scanner;
- altri pericoli, tra cui il rumore e i gas criogenici;
- le procedure di evacuazione nel caso dello spegnimento anomalo di un magnete superconduttore;
- la procedure nelle situazioni di emergenza.

Di norma la formazione dev'essere adattata all'impianto specifico e quindi fornita all'interno dell'azienda da persone che possiedono le conoscenze e l'esperienza adeguate. Gli organismi professionali europei competenti probabilmente saranno chiamati a fornire ulteriori orientamenti sui bisogni formativi.

Se altri lavoratori, come i membri del personale di pulizia, di sicurezza, dei vigili del fuoco e del personale addetto alla manutenzione dell'edificio devono accedere all'area ad accesso controllato, dovranno ricevere un'adeguata formazione di sensibilizzazione per quanto riguarda le aree cui devono accedere, anche se non così dettagliata come quella destinata al personale RM.

F.6.3 Locale dello scanner

Il personale che deve accedere all'area intorno all'apertura identificata sulla pianta dovrà muoversi con sufficiente lentezza affinché gli effetti transitori siano accettabili. Sulla restrizione del movimento in campi magnetici statici sono stati pubblicati orientamenti aggiuntivi (ICNIRP, 2014) che vengono trattai più in dettaglio nella sezione D.4. Il personale dovrà essere consapevole degli effetti dei campi a gradiente e di quanto sia importante non avvicinarsi all'interno dell'area identificata sulla pianta, se non è indispensabile ai fini della procedura svolta; il personale inoltre non dovrà rimanere nell'area più a lungo del necessario.

In caso di scansione attiva con la presenza di lavoratori vicino o all'interno del cilindro, questi possono subire gli effetti della stimolazione dei nervi periferici. Gli scanner moderni sono progettati in modo da limitare la stimolazione dei nervi periferici per la maggior parte delle persone, ma gli individui più sensibili possono comunque subire alcuni effetti e devono conoscere i sintomi in modo da poter adottare le azioni necessarie a limitare tali effetti. Se i lavoratori avvertono degli effetti derivanti dall'esposizione, questi devono essere segnalati ai dirigenti dell'impianto che, se necessario, dovranno aggiornare la valutazione dei rischi e le misure di prevenzione.

Gli effetti diretti sui lavoratori potrebbero generare rischi per la sicurezza di altri. Per esempio le vertigini o i disturbi visivi subiti dai lavoratori in seguito a un movimento rapido attraverso un campo statico potrebbero influire sulla capacità di fornire cure appropriate al paziente.

F.6.4 Accesso allo scanner

Il personale deve ricevere istruzioni di non entrare nella cavità dello scanner a meno che non sia assolutamente necessario. L'ingresso nella cavità dello scanner, per esempio per pulirlo o per offrire sostegno psicologico al paziente, dev'essere ridotto al minimo necessario per portare a termine la mansione. Il personale deve chiedersi se la procedura sia necessaria o se sia possibile raggiungere lo stesso obiettivo senza entrare. Il personale che non conosce gli effetti del movimento in forti campi magnetici statici può essere esposto a un rischio più elevato.

In molti casi approcci semplici come il controllo a distanza (per esempio utilizzando uno specchio) possono essere utilizzati per il monitoraggio dei pazienti durante le scansioni o l'ispezione della cavità dello scanner. Allo stesso modo strumenti con manici lunghi potrebbero essere adatti per alcune procedure di pulizia. L'uso ragionevole di questi approcci ridurrà al minimo la necessità che questi lavoratori entrino nello scanner.

Se è indispensabile che il personale entri nello scanner, i campi gradiente e a radiofrequenza devono essere disabilitati, a meno che non siano strettamente necessari. Se i campi gradiente sono necessari devono, se possibile, essere limitati a un unico gradiente e a una lenta velocità di acquisizione di scansioni per limitare l'entità delle esposizioni. Allo stesso modo, se sono necessari campi a radiofrequenza, devono essere tenuti alla potenza minima necessaria per raggiungere l'obiettivo.

F.7 La RMI nell'ambiente della ricerca

È noto che nell'ambiente della ricerca il lavoro è meno di routine e necessariamente il lavoratore opera più vicino allo scanner. Tuttavia, in generale dovrebbe essere possibile seguire i principi generali delineati in precedenza per la scansione dei pazienti adeguandoli, se necessario, al fine di soddisfare le prescrizioni specifiche della ricerca. Consigli dettagliati sul funzionamento in condizioni di sicurezza della RMI nell'ambiente della ricerca sono stati elaborati dalla International Society of Magnetic Resonance in Medicine (Calamante e al., 2014).

APPENDICE G. DISPOSIZIONI DI ALTRI TESTI DELL'UNIONE EUROPEA

G.1 Base giuridica della legislazione europea

Il diritto europeo è fondato su tre trattati fondamentali:

- il trattato sull'Unione europea (TUE);
- il trattato sul funzionamento dell'Unione europea (TFUE);
- il trattato che istituisce la Comunità europea dell'energia atomica.

Il TFUE (precedentemente noto come trattato di Roma) fornisce la base legislativa delle direttive discusse di seguito.

G.2 Direttive in materia di sicurezza e salute

Il TFUE fissa l'obiettivo di fissa l'obiettivo di promuovere il miglioramento dell'ambiente di lavoro, per proteggere la sicurezza e la salute dei lavoratori. Per favorire il raggiungimento di questo obiettivo, prevede l'introduzione di direttive che fissino prescrizioni minime.

G.2.1 Direttiva quadro

Nel 1989 è stata introdotta in questo settore, come direttiva generale, la direttiva quadro (89/391/CEE). La direttiva quadro fissa i principi generali di prevenzione e protezione dei lavoratori in relazione agli infortuni sul lavoro e alle malattie professionali. Impone alcuni obblighi ai datori di lavoro in relazione a:

- valutazione dei rischi (cfr. il capitolo 5);
- prevenzione dei rischi (cfr. il capitolo 9);
- disposizioni in materia di pronto soccorso, lotta antincendio, evacuazione dei lavoratori e azioni nel caso di pericolo grave e immediato;
- tenere elenchi degli infortuni;
- informazione, partecipazione e formazione dei lavoratori;
- sorveglianza sanitaria secondo gli usi e le prassi nazionali;
- protezione dei gruppi particolarmente a rischio.

La direttiva quadro impone inoltre alcuni obblighi ai lavoratori, per:

- utilizzare in modo corretto le attrezzature, le sostanze e l'attrezzatura di protezione individuale;
- segnalare immediatamente al datore di lavoro qualsiasi situazione che possa costituire un pericolo grave e immediato così come qualsiasi difetto rilevato nei sistemi di protezione;
- contribuire assieme al datore di lavoro all'attuazione delle misure in materia di protezione della sicurezza e della salute.

La direttiva quadro prevede l'introduzione di singole direttive, che forniscono ulteriori dettagli sul modo per raggiungere gli obiettivi della direttiva quadro in situazioni specifiche. La direttiva

relativa ai campi elettromagnetici è soltanto una delle molte direttive che integrano le prescrizioni generali della direttiva quadro. Alcune di queste altre direttive potrebbero avere una certa rilevanza per le attività con i campi elettromagnetici e sono brevemente trattate di seguito. Per informazioni definitive su una qualsiasi di queste direttive, si prega di fare riferimento alle direttive stesse, alla legislazione attuativa nazionale e a qualsiasi guida ufficiale reperibile.

G.2.2 Direttiva relativa ai requisiti minimi di sicurezza e di salute per l'uso delle attrezzature di lavoro da parte dei lavoratori durante il lavoro

La direttiva relativa ai requisiti minimi di sicurezza e di salute per l'uso delle attrezzature di lavoro da parte dei lavoratori durante il lavoro (2009/104/CE) obbliga i datori di lavoro a garantire che le attrezzature di lavoro messe a disposizione dei lavoratori siano sicure e adeguate al luogo di lavoro in cui devono essere usate. La direttiva inoltre impone ai datori di lavoro l'obbligo di garantire il mantenimento in buone condizioni delle attrezzature di lavoro affinché durante il loro uso esse rimangano a un livello tale da soddisfare i requisiti previsti. Il datore di lavoro deve effettuare verifiche e/o collaudi al fine di assicurarne l'installazione corretta e il buon funzionamento, e deve metterne a verbale i risultati.

Quando l'uso di una determinata attrezzatura di lavoro può presentare rischi specifici, il datore di lavoro prende le misure necessarie affinché l'uso dell'attrezzatura di lavoro sia riservato ai lavoratori all'uopo incaricati e in caso di riparazione, trasformazione o manutenzione, i lavoratori interessati siano qualificati in maniera specifica per svolgere detti compiti.

I datori di lavoro provvedono affinché i lavoratori dispongano di informazioni relative alle condizioni di impiego delle attrezzature di lavoro, alle situazioni anormali prevedibili e ai rischi cui sono esposti. I lavoratori devono ricevere una formazione adeguata.

G.2.3 Direttiva relativa alle prescrizioni minime di sicurezza e di salute per i luoghi di lavoro

La direttiva 89/654/CEE relativa alle prescrizioni minime di sicurezza e di salute per i luoghi di lavoro obbliga i datori di lavoro a offrire un luogo di lavoro sicuro, pulito e soggetto a regolare manutenzione.

G.2.4 Direttiva recante le prescrizioni minime per la segnaletica di sicurezza e/o di salute sul luogo di lavoro

Ai sensi della direttiva 92/58/CEE recante le prescrizioni minime per la segnaletica di sicurezza e/o di salute sul luogo di lavoro, il datore di lavoro deve prevedere l'esistenza di una segnaletica di sicurezza e/o di salute quando i rischi non possono essere evitati o limitati. I lavoratori e i loro rappresentanti devono ricevere istruzioni in merito al significato della segnaletica e alle azioni da adottare allorché la segnaletica è esposta.

Le prescrizioni minime per la segnaletica sono riportate dettagliatamente negli allegati alla direttiva.

G.2.5 Direttiva concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute sul lavoro delle lavoratrici gestanti, puerpere o in periodo di allattamento

Ai sensi della direttiva 92/85/CEE concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute sul lavoro delle lavoratrici gestanti, puerpere o in periodo di allattamento, i datori di lavoro devono valutare i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione a una serie di agenti fisici, biologici e chimici, comprese le radiazioni non ionizzanti. Le lavoratrici gestanti, puerpere o in periodo di allattamento e

le lavoratrici che potrebbero trovarsi in una di queste situazioni sono informate dei risultati della valutazione e di tutte le misure da adottare. Qualora i risultati della valutazione segnalino l'esistenza rischi, il datore di lavoro deve evitarli modificando le condizioni di lavoro, assegnando la lavoratrice in questione ad altre mansioni o dispensandola dal lavoro.

La direttiva inoltre accorda tutela alle lavoratrici in gravidanza, in base all'indicazione medica, affinché queste non siano obbligate a svolgere un lavoro notturno, concede il diritto al congedo di maternità e garantisce protezione dal licenziamento connesso alla gravidanza o al congedo di maternità.

G.2.6 Direttiva relativa alla protezione dei giovani sul lavoro

La direttiva 94/33/CE relativa alla protezione dei giovani sul lavoro istituisce un sistema di protezione per tutte le persone di età inferiore a 18 anni. Fatte salve alcune eccezioni, gli Stati membri devono vietare il lavoro dei bambini soggetti a obblighi scolastici a tempo pieno (e in ogni caso che non abbiano ancora compiuto 15 anni).

I datori di lavoro devono effettuare una valutazione dei rischi che tenga conto in modo particolare dei rischi dovuti a mancanza di esperienza, assenza di consapevolezza dei rischi esistenti o virtuali e al fatto che lo sviluppo dei giovani non è ancora completato. I datori di lavoro devono attuare le misure necessarie per la protezione della sicurezza e della salute dei giovani. La valutazione deve essere effettuata prima che i giovani comincino il loro lavoro e ad ogni modifica di rilievo delle condizioni di lavoro. I giovani lavoratori e i loro rappresentanti devono essere informati dell'esito della valutazione e delle misure adottate.

G.2.7 Direttiva relativa alle prescrizioni minime in materia di sicurezza e salute per l'uso da parte dei lavoratori di attrezzature di protezione individuale durante il lavoro

Ai sensi della direttiva (89/656/CEE) relativa alle prescrizioni minime in materia di sicurezza e salute per l'uso da parte dei lavoratori di attrezzature di protezione individuale durante il lavoro, i datori di lavoro devono garantire che le attrezzature di protezione individuale siano impiegate quando i rischi non possono essere evitati o sufficientemente evitati da mezzi tecnici od organizzativi. Le attrezzature di protezione individuale devono essere conformi alle disposizioni dell'UE in materia di progettazione e costruzione e devono:

- essere adeguate ai rischi, senza comportare di per sé un rischio maggiore;
- rispondere alle condizioni esistenti sul luogo di lavoro;
- tener conto delle esigenze ergonomiche e di salute del lavoratore;
- poter essere adattate, a seconda della necessità, all'utilizzatore.

Le attrezzature di protezione individuale debbono essere fornite a titolo gratuito ai lavoratori, assicurandone il buon funzionamento e le condizioni igieniche. Il datore di lavoro deve effettuare una valutazione per accertarne l'idoneità e, se necessario, la compatibilità con le altre attrezzature di protezione individuale.

I lavoratori devono essere adeguatamente formati nell'uso di qualsiasi attrezzatura di protezione individuale loro assegnata.

G.3 Direttive sui prodotti

Il TFUE vieta restrizioni quantitative sul commercio tra gli Stati membri dell'Unione europea o misure che abbiano simili effetti. La giurisprudenza ha stabilito che le restrizioni alla libera circolazione dei prodotti nell'Unione europea possono essere giustificate soltanto sulla base della non conformità a «*requisiti essenziali*». Questo a sua volta ha indotto la necessità di definire l'espressione «*requisiti essenziali*» e a standardizzare la valutazione di conformità.

Tali questioni sono state inizialmente affrontare con l'adozione del *nuovo approccio* alla regolamentazione dei prodotti, che ha sancito i seguenti principi:

- l'armonizzazione legislativa dovrebbe limitarsi ai requisiti essenziali che i prodotti immessi sul mercato UE devono soddisfare per beneficiare della libera circolazione all'interno dell'UE;
- le specifiche tecniche dei prodotti che rispettano i requisiti essenziali vengono definite in norme armonizzate;
- i prodotti fabbricati nel rispetto delle norme armonizzate godono di una presunzione di conformità ai corrispondenti requisiti essenziali;
- l'applicazione di norme armonizzate o di altro tipo rimane volontaria e il fabbricante può sempre applicare altre specifiche tecniche per soddisfare i requisiti, assumendosi però l'onere di dimostrare che tali specifiche tecniche rispondono alle esigenze dei requisiti essenziali.

Il nuovo approccio adesso è stato sostituito dal nuovo quadro legislativo, che ha riveduto e consolidato alcuni aspetti del sistema precedente.

Questo sistema della legislazione dei prodotti consente di regolamentare ampi gruppi di prodotti che condividono requisiti essenziali. Fino a oggi nell'ambito di questo sistema sono state approvate 27 direttive, ma per la sicurezza dei campi elettromagnetici nel luogo di lavoro sono rilevanti soltanto alcune, che vengono trattate di seguito.

G.3.1 Materiale elettrico

Il materiale elettrico messo a disposizione sul mercato dell'Unione europea è oggetto delle prescrizioni della direttiva 2006/95/CE «bassa tensione». La direttiva è stata rifusa nel 2014, allorché gli Stati membri hanno dovuto introdurre una legislazione nazionale per attuare la nuova direttiva 2014/35/UE «bassa tensione» entro il 20 aprile 2016. Salvo specifiche eccezioni, le direttive bassa tensione si applicano al materiale elettrico che opera a corrente alternata tra 50 e 1 000 V oppure a corrente continua tra 75 e 1 500 V.

Ai sensi delle direttive bassa tensione, il materiale elettrico non deve compromettere, in caso di installazione e di manutenzione non difettose e di utilizzazione conforme alla sua destinazione, la salute e la sicurezza delle persone e degli animali domestici o dei beni. Di particolare rilevanza per questa guida, c'è la disposizione in base alla quale è prevista l'adozione di misure tecniche al fine di garantire che il materiale non produca radiazioni che possano causare un pericolo.

G.3.2 Macchine

Le macchine messe a disposizione sul mercato dell'Unione europea sono oggetto delle prescrizioni della direttiva «Macchine» (2006/42/CE). In termini generali, la direttiva si applica a qualsiasi insieme di parti o di componenti, di cui almeno uno mobile, equipaggiato o destinato ad essere equipaggiato di un sistema di azionamento. Eccezion fatta per le macchine per il sollevamento, le attrezzature azionate esclusivamente dalla forza umana o animale non rientrano nel campo d'applicazione della direttiva. Vi sono varie esclusioni e aggiunte a questo ampio campo d'applicazione.

La direttiva macchine ha lo scopo di garantire che le macchine non rappresentino un rischio per la sicurezza e la salute. Esistono specifiche disposizioni per garantire che le emissioni indesiderabili di radiazioni siano eliminate o ridotte a livelli che non producono effetti negativi sulle persone. Le emissioni di radiazioni non ionizzanti durante la regolazione, il funzionamento e la pulitura devono essere ridotte a livelli che non producono effetti negativi sulle persone.

I fabbricanti delle macchine devono corredare le istruzioni che accompagnano la macchina con informazioni sui rischi residui. Essi inoltre hanno l'obbligo di fornire informazioni sulle probabili emissioni di radiazioni non ionizzanti se queste possono provocare danni alle persone, per esempio ai portatori di dispositivi medici impiantabili.

G.3.3 Apparecchiature radio

Le apparecchiature radio immesse sul mercato dell'Unione europea sono oggetto delle prescrizioni della direttiva 1999/5/CE riguardante le apparecchiature radio e le apparecchiature terminali di telecomunicazione. Tuttavia, a partire dal 13 giugno 2016, questa direttiva sarà abrogata e sostituita con la direttiva 2014/53/UE sulle apparecchiature radio. In virtù del regime transitorio, le apparecchiature radio conformi alla direttiva 1999/5/CE potranno comunque essere immesse sul mercato fino al 13 giugno 2017. La direttiva sulle apparecchiature radio si applica a tutte le apparecchiature progettate per trasmettere, emettere e/o ricevere intenzionalmente onde radio al fine di radiocomunicazione e/o radiodeterminazione (utilizzando onde radio per determinare la posizione, la velocità o altre caratteristiche di un oggetto oppure informazioni relative a tali proprietà). La direttiva riguardante le apparecchiature radio e le apparecchiature terminali di telecomunicazione ha un campo di applicazione più ampio e, per esempio, include anche qualsiasi apparecchiatura per le connessioni a una rete pubblica.

Per quanto riguarda la salute e la sicurezza, entrambe le direttive incorporano le stesse prescrizioni delle direttive bassa tensione (cfr. la sezione G.3.1) ma senza alcuna restrizione sui limiti di tensione.

G.3.4 Apparecchiature mediche

Le apparecchiature elettroniche mediche immesse sul mercato dell'Unione europea sono soggette alle prescrizioni della direttiva 93/42/CEE concernente i dispositivi medici o della direttiva 90/385/CEE relativa ai dispositivi medici impiantabili attivi. Entrambe le direttive sono trattate più dettagliatamente nelle sezioni E2.1.1 (direttiva sui dispositivi medici impiantabili attivi) e E2.3 (direttiva sui dispositivi medici).

G.3.5 Dispositivi di protezione individuale

I dispositivi di protezione individuale immessi sul mercato dell'Unione europea sono oggetto delle prescrizioni della direttiva 89/686/CE relativa ai dispositivi di protezione individuale. Fatte salve specifiche esclusioni, si intende per dispositivo di protezione individuale qualsiasi dispositivo o articolo destinato a essere indossato o tenuto da una persona affinché essa sia protetta nei confronti di uno o più rischi che potrebbero metterne in pericolo la salute e la sicurezza.

Ai sensi della direttiva relativa ai dispositivi di protezione individuale questi ultimi possono essere immessi sul mercato e in servizio soltanto se assicurano la salute e la sicurezza degli utilizzatori, quando siano trattati debitamente e utilizzati conformemente all'impiego. I dispositivi di protezione individuale non devono compromettere la salute e la sicurezza di altre persone, di animali domestici o di beni.

G.3.6 Sicurezza generale dei prodotti

Lo scopo della direttiva 2001/95/CE relativa alla sicurezza generale dei prodotti è di garantire la sicurezza dei prodotti destinati ai consumatori. Se tali prodotti rientrano nell'ambito del nuovo approccio o delle direttive del nuovo quadro legislativo, le prescrizioni della specifica direttiva solitamente avranno la precedenza rispetto a quelle della direttiva relativa alla sicurezza generale dei prodotti. Benché lo scopo della direttiva relativa alla sicurezza generale dei prodotti sia di proteggere i consumatori, essa si applica ai prodotti acquistati per essere utilizzati da un'azienda, a condizione che il prodotto sia destinato all'uso dei consumatori.

La direttiva relativa alla sicurezza generale dei prodotti prevede che questi non presentino alcun rischio, oppure presentino unicamente rischi minimi, compatibili con l'impiego del prodotto e considerati accettabili (nell'osservanza di un livello elevato di tutela della salute e della sicurezza). Queste disposizioni si applicano in tutte le condizioni di uso ragionevolmente prevedibili, compresa l'installazione, la messa in servizio, l'installazione e la manutenzione.

G.3.7 Compatibilità elettromagnetica

Le apparecchiature che possono generare perturbazioni elettromagnetiche o subirne gli effetti e vengono immesse sul mercato o messe in servizio nell'Unione europea sono soggette alle prescrizioni della direttiva 2004/108/CE relativa alla compatibilità elettromagnetica. La

direttiva è stata rifusa di recente con la nuova direttiva 2014/30/UE relativa alla compatibilità elettromagnetica che entrerà in vigore il 20 aprile 2016; la direttiva vigente sarà abrogata a partire dalla stessa data. Qualsiasi attrezzatura immessa sul mercato prima del 20 aprile 2016 e conforme alla direttiva 2004/108/CE potrà continuare a essere messa a disposizione sul mercato dopo tale data. Ci sono eccezioni specifiche al campo di applicazione delle direttive, tra cui le apparecchiature che rientrano nel campo di applicazione della direttiva riguardante le apparecchiature radio e le apparecchiature terminali di telecomunicazione (cfr. G3.3) e le apparecchiature aeronautiche. Le prescrizioni sulla compatibilità elettromagnetica per gli aeromobili sono trattate dal regolamento (CE) n. 216/2008, mentre i veicoli a quattro e più ruote sono trattati dal regolamento (CE) n. 661/2009.

La direttiva relativa alla compatibilità elettromagnetica non contiene alcuna disposizione che riguarda specificamente la tutela della salute e della sicurezza delle persone. Tuttavia prevede la limitazione delle perturbazioni elettromagnetiche per evitare interferenze con altre apparecchiature, e la necessità che l'apparecchiatura disponga di un livello di immunità alle perturbazioni, ossia l'idoneità dell'apparecchiatura a funzionare nell'ambiente previsto senza deterioramento in presenza di una perturbazione Queste prescrizioni possono avere implicazioni per la sicurezza in relazione ad alcuni effetti indiretti.

G.4 Raccomandazione del Consiglio europeo

Per proteggere la popolazione, il Consiglio dell'Unione europea ha approvato una raccomandazione relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (raccomandazione1999/519/CE). La raccomandazione fornisce un quadro per proteggere i cittadini dagli effetti negativi certi sulla salute, che possono derivare dall'esposizione ai campi elettromagnetici. Non contempla la protezione dei lavoratori.

La raccomandazione del Consiglio non è vincolante ma fissa un sistema di limiti di base, grandezze che non devono essere superate e che sono concettualmente equivalenti ai VLE utilizzati nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

Poiché i limiti di base sono fissati essenzialmente in termini di grandezze interne nel corpo che non possono essere facilmente misurate, la raccomandazione del Consiglio fissa anche un sistema di livelli di riferimento definiti in termini di grandezze di campo esterno che possono essere valutate più facilmente. I livelli di riferimento si ottengono dai limiti di base utilizzando approcci conservativi così che, a condizione che il livello di riferimento non sia superato, i limiti di base corrispondenti non saranno superati. Tuttavia, poiché la derivazione dei livelli di riferimento si basa sulle ipotesi peggiori, è spesso possibile superare i livelli di riferimento e comunque non superare i limiti di base. Da questo punto di vista i livelli di riferimento sono concettualmente equivalenti ai livelli di azione utilizzati nella direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

Nell'applicare i sistemi dei limiti di base e dei livelli di riferimento, agli Stati membri è stato raccomandato di considerare i rischi e i vantaggi delle tecnologie che producono campi elettromagnetici. Agli Stati membri è stato altresì raccomandato di fornire informazioni alla popolazione per promuovere e valutare le ricerche pertinenti agli effetti sanitari dei campi elettromagnetici.

La raccomandazione del Consiglio invita inoltre la Commissione europea a contribuire alla protezione della popolazione. La Commissione è stata invitata ad adoperarsi per stabilire le norme europee a sostegno del sistema di protezione già descritto, a incoraggiare la ricerca per studiare gli effetti a lungo e a breve termine dell'esposizione ai campi elettromagnetici, promuovere il raggiungimento di un consenso internazionale in materia e occuparsi delle materie oggetto della presente raccomandazione.

Il sistema di protezione descritto dalla raccomandazione del Consiglio è stato diffusamente adottato come quadro di protezione della popolazione. In particolare i livelli di riferimento specificati dalla raccomandazione del Consiglio sono stati utilizzati come base per la gestione dell'esposizione di molte aree accessibili al pubblico. Inoltre i livelli di riferimento sono stati utilizzati per informare lo sviluppo di norme per l'immunità elettromagnetica di dispositivi medici impiantabili attivi.

APPENDICE H.
NORME EUROPEE E INTERNAZIONALI

Le norme tecniche sui campi elettromagnetici sono state elaborate da organismi come la Commissione elettrotecnica internazionale (CEI), il Comitato europeo di normazione elettrotecnica (Cenelec) e altre autorità di normalizzazione.

Il Cenelec ha già elaborato una serie di norme sull'esposizione professionale concernenti la valutazione dei campi elettromagnetici. Queste norme tuttavia erano state elaborate per stabilire la conformità rispetto alla precedente direttiva relativa ai campi elettromagnetici. Di conseguenza le norme del 2013 o precedenti non dovrebbero essere impiegate per valutare la conformità alla vigente direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

Alcune norme esistenti consentono però di valutare la conformità rispetto alla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio. Ai sensi dell'articolo 4, paragrafo 6, della direttiva relativa ai campi elettromagnetici, i datori di lavoro non hanno l'obbligo di effettuare la valutazione dell'esposizione nei luoghi di lavoro aperti al pubblico per i quali sia già stata effettuata una valutazione tale da dimostrare la conformità alla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio. Tale clausola è valida a condizione che le esposizioni cui sono sottoposti i lavoratori siano le stesse vigenti per la popolazione e siano esclusi rischi per la salute e la sicurezza.

Il Cenelec pubblica anche norme di prodotto armonizzate a varie direttive sui prodotti (cfr. la sezione G.3). Gli elenchi delle norme armonizzate a ciascuna direttiva sui prodotti sono pubblicati nella sezione imprese del sito web della Commissione europea. Fabbricanti e fornitori possono utilizzare tali norme per dimostrare la conformità ai requisiti di sicurezza in materia di campi elettromagnetici. Quando un'apparecchiatura è destinata al pubblico ed è conforme ai livelli di sicurezza più rigorosi richiesti per tali apparecchiature, allora, a condizione che nessun'altra apparecchiatura sia in uso, il luogo di lavoro è considerato conforme alla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio.

Come si è detto, le norme di volta in volta elaborate rientrano in generale in una delle due seguenti tipologie: norme sull'emissione e norme sull'esposizione.

- Le norme di emissione riguardano le emissioni generate dall'apparecchiatura e consentono ai fabbricanti di dimostrare che il campo emesso da un prodotto non supera un certo limite. Tale limite è costituito di solito dai LA o dai VLE della direttiva relativa ai campi elettromagnetici, oppure dai valori indicati nella raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio. È importante notare che queste valutazioni si basano sul presupposto che le apparecchiature siano usate conformemente alla loro destinazione. Se l'apparecchiatura non viene usata conformemente alla sua destinazione, la valutazione può non essere valida.

- Le norme di valutazione dell'esposizione offrono generalmente uno strumento standardizzato per valutare le esposizioni in particolari settori e per particolari tipi di tecnologia. Le valutazioni condotte sul luogo di lavoro dovrebbero esaminare il modo in cui l'apparecchiatura è usata e coprire tutti gli aspetti del lavoro svolto con l'apparecchiatura, comprese la pulizia e la manutenzione.

In generale, le norme sull'emissione mirano a garantire che l'esposizione complessiva all'emissione prodotta da un'apparecchiatura sia talmente bassa che l'uso, anche in prossimità di altri dispositivi che emettano campi elettromagnetici, non provochi un superamento dei limiti di esposizione.

Si noti che queste norme si riferiscono alla valutazione di singole apparecchiature, mentre la direttiva relativa ai campi elettromagnetici riguarda l'esposizione dei lavoratori a tutte le sorgenti. È possibile che l'esposizione a più di una sorgente di per sé appena conforme produca un'esposizione personale combinata superiore a un LA o a un VLE. In generale, tuttavia, i campi elettromagnetici diminuiscono rapidamente con la distanza; pertanto,

ove le apparecchiature, siano ampiamente distanziate, i campi che ne risultano saranno normalmente conformi.

Il Cenelec sta attualmente elaborando nuove norme tecniche miranti a garantire la conformità all'attuale direttiva relativa ai campi elettromagnetici. Tali norme verranno pubblicate non appena saranno state approvate, ma probabilmente ci vorrà del tempo prima che venga completata una serie esauriente di norme. Tuttavia, chiunque abbia necessità di effettuare una valutazione dovrebbe accertare la disponibilità di una norma corrispondente all'attuale direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

Nell'ambito del Cenelec il lavoro sullo sviluppo di nuove norme per la valutazione dell'esposizione viene portato avanti dal comitato tecnico CLC/TC106X: Campi elettromagnetici nell'ambiente umano. I progressi nell'elaborazione delle nuove norme possono essere seguiti nella sezione TC106X del sito del Cenelec.

APPENDICE I. RISORSE

I.1 Consultive/regolamentari

I.1.1 Unione europea

Paese	Organizzazione	Sito web
Austria	Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz	www.bmask.gv.at/site
Belgio	Servizio pubblico federale Occupazione, lavoro e dialogo sociale	www.employment.belgium.be
Bulgaria	Centro nazionale di sanità pubblica e analisi	ncphp.government.bg/en
Cipro	Ministero del Lavoro e della sicurezza sociale	www.mlsi.gov.cy
Croazia	Ministero del Lavoro e del sistema pensionistico	www.mrms.hr
Danimarca	Autorità danese per l'ambiente di lavoro	www.at.dk
Estonia	Ispettorato estone del lavoro	www.ti.ee
Finlandia	Ministero della Salute e degli affari sociali	www.riskithaltuun.fi
Francia	Ministère du travail, de l'emploi, e du dialogue social	www.travail.gouv.fr
Germania	Ministero federale del Lavoro e degli affari sociali	www.bmas.bund.de
Grecia	Ministero del Lavoro e degli affari sociali	www.mathra.gr
Irlanda	Autorità competente per la salute e la sicurezza	www.hsa.ie
Italia	Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro	www.inail.it
Lettonia	Ispettorato statale del lavoro della Repubblica di Lettonia	www.vdi.gov.lv
Lituania	Ufficio del lavoro, ministero della Sicurezza sociale e del lavoro	www.socmin.lt/en
Lussemburgo	Inspection du travail e des mines	www.itm.lu/de/home.html
Malta	Autorità competente per la sicurezza e la medicina del lavoro	www.ohsa.org.mt
Paesi Bassi	Istituto nazionale per la Sanità pubblica e l'ambiente (RIVM)	www.rivm.nl
Polonia	Istituto centrale per la tutela del lavoro	www.ciop.pl
Portogallo	Autoridade para as Condições de Trabalho	www.act.gov.pt
Regno Unito	"Servizio per la sanità e la sicurezza Sanità pubblica, Inghilterra"	"www.hse.gov.uk www.gov.uk/government/organisations/public-health-england"
Repubblica ceca	Ministero del Lavoro e degli affari sociali	www.mpsv.cz/cs
Romania	Istituto nazionale di ricerca e sviluppo sulla sicurezza sul lavoro	www.protectiamuncii.ro
Slovacchia	Ministero del Lavoro, degli affari sociali e della famiglia	www.employment.gov.sk/en
Slovenia	Ministero del Lavoro, della Famiglia e degli Affari sociali	www.gov.si
Spagna	Istituto nazionale per la sicurezza e l'igiene sul lavoro	www.meyss.es
Svezia	Autorità svedese per l'ambiente di lavoro	www.av.se
Ungheria	Istituto di nazionale di ricerca radiobiologica	www.osski.hu

I.1.2 Organizzazioni internazionali

Organizzazione	Sito web
Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti	www.icnirp.de
Organizzazione mondiale della sanità	www.who.int
Confederazione europea dei sindacati	www.etuc.org
Alleanza europea per la salute pubblica	www.epha.org
Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro	osha.europa.eu
Commissione internazionale di medicina del lavoro	www.icohweb.org

I.2 Associazioni di categoria

Organizzazione	Sito web
Consiglio dei datori di lavoro europei delle industrie metalmeccaniche e affini	www.ceemet.org
Associazione dei costruttori europei di autoveicoli	www.acea.be
Euro Chlor	www.eurochlor.org
Rete europea dei gestori dei sistemi di trasmissione di energia elettrica — ENTSO-E	www.entsoe.eu
Comitato europeo di coordinamento dell'industria radiologica, elettromedica e informatica nel settore sanitario (COCIR)	www.cocir.org
Sindacato dell'industria dell'elettricità — Eurelectric	www.eurelectric.org

I.3 Documenti di orientamento nazionale

Paese	Documenti
Belgio	Ordinanza n. 7 relativa alle prescrizioni minime di sicurezza e di salute sul luogo di lavoro, Gazzetta ufficiale n. 88, 1999
Danimarca	Decreto n. 559 su «La prestazione lavorativa» Decreto n. 513 che modifica il decreto n. 559 su «La prestazione lavorativa» Ikke-ioniserende stråling, Vejledning om ikke-ioniserende stråling med frekvenser under 300 GHz D.6.1.1, Maj 2002 At-Vejledning, Arbejdsstedets Indretning — A.1.8, Gravide og ammendes arbejdsmiljø
Estonia	Töökeskkonna füüsikaliste ohutegurite piirnormid ja ohutegurite parameetrite mõõtmise kord
Finlandia	Toimintamalli RF-kenttien aiheuttamissa tapaturmaisissa ylialtistumistilanteissa, Tommi Alanko, Harri Lindholm, Soile Jungewelter, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen (2013), ISBN 978-952-261-349- 3 (PDF, FI), ISBN 978-952-261-393-6 (PDF, EN) Sydäntahdistimen häiriötön toiminta työympäristön sähkömagneettisissa kentissä, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen, Tommi Alanko, Harri Lindholm (2012), ISBN 978-952-261-212-0 (print) ISBN 978-952-261-213-7 (pdf, FI), ISBN 978-952-261-295-3 (pdf, EN) Turvallinen työskentely tukiasemien lähellä, Tommi Alanko, Maila Hietanen (2006), ISBN (vihko) 951-802-707-2, ISBN (PDF) 951-802-708-0 Sähkömagneettiset kentät työympäristössä — Opaskirja työntekijöiden altistumisen arvioimiseksi, Maila Hietanen, Patrick von Nandelstadh, Tommi Alanko, ISBN 951-802-614-9, ISSN 1458-9311 Työntekijöiden altistuminen tukiasemien radiotaajuisille kentille, Tommi Alanko, Maila Hietanen, Patrick von Nandelstadh (2006), ISBN 951-802-667-X, ISSN 1458-9311 Sydäntahdistinpotilaan työhön paluun tukeminen — Sähkömagneettisten häiriöriskien hallinta, Maria Tiikkaja, Maila Hietanen, Tommi Alanko ja Harri Lindholm (2012), ISBN 978-952-261-204-5 (nid.) ISBN 978-952-261-205-2 (PDF)
Francia	Hygiène e sécurité du travail no 233 Décembre 2013 (Saldatura a resistenza) INRS, Exposition des travailleurs aux risques dus aux champs électromagnétiques, Guide d'évaluation des risques
Germania	BGV B11, Unfallverhütungsvorschrift, Elektromagnetische Felder BGR B11, Berufsgenossenschaftliche Regel, Elektromagnetische Felder BGI 5011, Beurteilung magnetischer Felder von Widerstandsschweißeinrichtungen BGI/GUV-I 5111, Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder IFA Report 4/2013, Elektromagnetische Felder an handgeführten Mittelfrequenz-/Inverter-Punktschweißzangen IFA-Report 5/2011, Elektromagnetische Felder an Anlagen, Maschinen und Geräten IFA-Report 2/2009, Electromagnetic fields at handheld spot-welding guns Hannah Heinrich (2007). Assessment of non-sinusoidal, pulsed, or intermittent exposure to low frequency electric and magnetic fields, *Health Physics*, 92, (6) BMAS-Forschungsbericht FB 400-E, Electromagnetic fields at workplace, ISSN 0174-4992
Grecia	Μετρησεις στατικου μαγνητικου πεδιου στα πλαισια της ασφαλειας προσωπικου στους χωρους του πυρηνικου μαγνητικου συντονισμου (NMR), 5 Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014

Lettonia	Atgādne par elektromagnētisko lauku, Aktualizēts 2011.gada jūnijā
Lituania	Norme di igiene lituane (HN) 110: 2001, Il campo elettromagnetico con frequenza da 50 Hz nei luoghi di lavoro. Valori ammissibili dei parametri e requisiti di misurazione e lavoro n. 660/174 del 21 dicembre 2001 Norme di igiene lituane (HN) 80: 2011, Il campo elettromagnetico nei luoghi di lavoro e nell'ambiente in cui viviamo. Valori ammissibili dei parametri e dei requisiti di misurazione nella zona di radiofrequenza da 10 kHz a 300 GHZ, approvati per ordine del ministro della Salute e n. V-199 del 2 marzo 2011. Norme per determinare i livelli ammessi di intensità di campo elettrostatico nei luoghi di lavoro approvati per ordine del ministro della Salute e n. 28 del 18 gennaio 2001.
Lussemburgo	Conditions d'exploitation pour les émetteurs d'ondes électromagnétiques à haute fréquence, ITM-CL 179.4
Polonia	EU Directive, ICNIRP Guidelines and Polish Legislation on Electromagnetic Fields, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 12(2), 125–136 Exposure of Workers to Electromagnetic Fields. A Review of Open Questions on Exposure Assessment Techniques, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 15(1), 3–33
Romania	Monitorul oficial al Romaniei anul 175 (XIX) — Nr. 645, Vineri, 21 septembrie 2007

I.4 Documenti di orientamento per l'industria

Organizzazione	Documento di orientamento
Euro Chlor	Electromagnetic Fields in the Chlorine Electrolysis Units: Health Effects, Recommended Limits, Measurement Methods and Possible Prevention Actions. HEALTH 3. Terza edizione, 2014

APPENDICE J. GLOSSARIO E ABBREVIAZIONI

J.1 Glossario

A prova di avaria	Una componente a prova di avaria è tale per cui l'eventuale guasto non aumenta il pericolo, ossia garantisce una condizione di sicurezza. In modalità di guasto, il sistema è reso non operativo o non pericoloso.
Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP)	Organismo composto da esperti scientifici indipendenti che si propone di diffondere informazioni e consulenza sui potenziali pericoli per la salute derivanti dall'esposizione alle radiazioni non ionizzanti.
Controllo tecnico	Misure di sicurezza che fanno parte della progettazione tecnica e che dovrebbero essere utilizzate come il principale metodo per ridurre l'esposizione alle radiazioni. Uno strumento fisico per evitare l'accesso alle radiazioni.
Corrente di contatto	La corrente elettrica che fluisce al contatto tra un individuo e un oggetto conduttore caricato dal campo elettromagnetico.
Densità di corrente	La corrente elettrica o il flusso di carica elettrica attraverso un mezzo conduttore, come un tessuto, per unità di area della sezione trasversale. Unità di grandezza: ampere per metro quadro. Simbolo: A/m^2
Densità di potenza	Potenza della radiazione incidente sull'unità di area di una superficie (Wm^{-2})
Deroga	La revoca parziale di una legge o di un regolamento in particolari circostanze
Dielettrico	Un isolante elettrico che può essere polarizzato con l'applicazione di un campo elettrico
Dipolo	Un'antenna composta da un conduttore filare con il cavo connettore al centro.
Dispositivi a filo esplodente	Un detonatore che utilizza la corrente elettrica per vaporizzare un filo: la scossa e il calore che ne derivano innescano la detonazione del materiale esplosivo circostante.
Dosimetria	Il calcolo o la valutazione della deposizione di energia nel corpo umano
Elettrolisi industriale	Un processo utilizzato su larga scala in cui la corrente elettrica stimola una reazione chimica altrimenti non spontanea
Evento ragionevolmente prevedibile	Il verificarsi di un evento che, in determinate circostanze, può essere previsto in modo sufficientemente accurato, e la cui probabilità o frequenza non è bassa né molto bassa
Fattore di rischio	Il prodotto della probabilità che si verifichi un evento pericoloso e dell'esito o del pericolo che ne deriva come risultato
Fosfeni	Lampi di luce percepiti da una persona senza che la luce sia incidente agli occhi
Frequenza	Il numero di cicli per tempo unitario di un'oscillazione. Simbolo: f unità di misura: Hz
Indice di esposizione	L'esposizione osservata divisa per il valore limite. Se l'indice di esposizione è inferiore a uno, l'esposizione è conforme
Induzione	L'induzione (elettromagnetica) è la produzione di tensione attraverso un conduttore elettrico esposto a un campo magnetico variabile nel tempo
Interblocco (cfr. interblocco di sicurezza)	Un dispositivo meccanico, elettrico o d'altro tipo, il cui scopo è di prevenire il funzionamento delle apparecchiature in determinate condizioni
Interblocco di sicurezza	Un dispositivo meccanico, elettrico o d'altro tipo, il cui scopo è di prevenire il funzionamento delle apparecchiature in determinate condizioni
Ispezione con particelle magnetiche	Un metodo per rilevare incrinature e altri difetti in un materiale magnetico utilizzando la potenza magnetica e i campi magnetici
Joule	L'unità di misura dell'energia, equivalente al lavoro svolto esercitando la forza di un newton per una distanza di un metro. Simbolo: J
Lunghezza d'onda	La distanza tra punti simili su cicli successivi di un'onda. Unità di misura: metro; simbolo: m

Misure amministrative	Misure di sicurezza diverse dalle misure tecniche, quali: il controllo principale, la formazione in materia di sicurezza e i cartelli di pericolo.
Norma di prodotto	Documento che specifica le caratteristiche essenziali di un prodotto consentendo l'uniformità della fabbricazione e l'interoperabilità
Norma tecnica	Documento che specifica un approccio standardizzato a un processo
Ortogonale	Ad angolo retto (90 gradi)
Pericolo	Una cosa che può provocare un danno a persone, patrimonio o ambiente.
Radiazione di radiofrequenza	Una radiazione elettromagnetica spesso definita come una radiazione con frequenze tra 100 kHz e 300 GHz
Radiazione elettromagnetica	La radiazione elettromagnetica è una forma di radiazione che ha componenti del campo elettrico e magnetico, che possono essere descritte come onde che si propagano alla velocità della luce. In alcune circostanze si può ritenere che la radiazione elettromagnetica esista sotto forma di particelle chiamate fotoni.
Radiazioni non ionizzanti	Radiazioni che non producono ionizzazione nel tessuto biologico. Tra gli esempi si annoverano le radiazioni ultraviolette, la luce, i raggi infrarossi e le radiazioni di radiofrequenza
Ricetrasmettitori	Un dispositivo di comunicazione portatile bidirezionale che opera su bande di frequenza non autorizzate. La dizione più formale è quella di ricetrasmettitore portatile
Rischio	La probabilità di lesione o danno
Risonanza magnetica	Una tecnica medica di generazione di immagini che utilizza i campi magnetici e i campi elettromagnetici ad alta frequenza per produrre immagini dettagliate del corpo
Sinusoidale	Variante in modo tale da poter essere rappresentato dalla funzione trigonometrica seno
Spettro elettromagnetico	Lo spettro elettromagnetico è la gamma di tutte le possibili frequenze della radiazione elettromagnetica. Lo spettro varia dalle onde corte come i raggi x, a radiazioni visibili, fino alle radiazioni a maggiore lunghezza d'onda delle microonde, della televisione e delle onde radio.
Tensione	L'unità di misura della differenza di potenziale elettrico, simbolo: V
Trasmissione	Il passaggio della radiazione attraverso un mezzo. Se non tutta la radiazione è assorbita, quella che attraversa si considera trasmessa. Dipende dalla lunghezza d'onda, dalla polarizzazione, dall'intensità di radiazione e dal materiale trasmittente
Watt	L'unità di energia, equivalente a un joule di energia al secondo Simbolo: W
Wi-Fi	Un sistema per collegare apparecchiature elettroniche come i computer a una rete di comunicazione locale utilizzando la comunicazione di radiofrequenza.

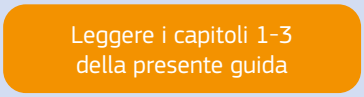
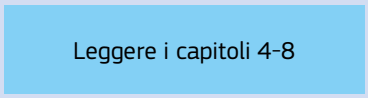
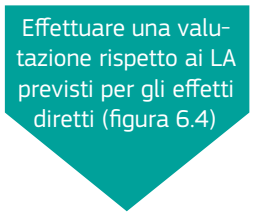
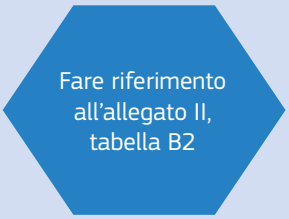
J.2 Abbreviazioni

AIMD	Dispositivo medico impiantabile attivo
AM	Modulazione di ampiezza
BSS	Norme fondamentali di sicurezza
Cenelec	Comitato europeo di normazione elettrotecnica
DECT	Sistema digitale europeo di telecomunicazioni senza filo
DVD	Disco digitale versatile
EI	Indici di esposizione
ELF	Frequenza estremamente bassa
EMF	Campi elettromagnetici
ERP	Potenza effettiva (o equivalente) irradiata
FD	Differenze finite
FDTD	Differenze finite nel dominio del tempo

FEM	Metodo degli elementi finiti
HF	Alta frequenza
ICNIRP	Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti
IR	Infrarossi
LA	Livello di azione
LF	Bassa frequenza
MF	Media frequenza
MFR	Norma delle frequenze multiple
OiRA	Strumento interattivo online per la valutazione dei rischi
RC	Resistore-capacità
RF	Radiofrequenza
RFID	Identificazione a radiofrequenza
RMI	Risonanza magnetica
RMN	Risonanza magnetica nucleare
RMS	Valore efficace (valore quadratico medio)
SA	Assorbimento specifico
SAR	Tasso di assorbimento specifico di energia
SHF	Banda centimetrica
SNC	Sistema nervoso centrale
SPFD	Metodo delle differenze finite nel potenziale scalare
STD	Shaped time domain
TETRA	Apparecchiature radio terrestri collegate
TI	Tecnologie dell'informazione
TV	Televisione
UHF	Frequenza ultra alta
UV	Ultravioletti
VHF	Altissima frequenza
VLE	Valore limite di esposizione
VLF	Bassissima frequenza
WBSAR	Valore del SAR mediato su tutto il corpo
WLAN	Rete locale senza fili
WPM	Metodo del picco ponderato

J.3 Simboli del diagramma di flusso

Tabella J3 — Simboli del diagramma di flusso utilizzati nella guida

Simbolo	Descrizione	Significato in questa guida
	Fine	Indica l'inizio e la fine della procedura
	Decisione	Pone una domanda per guidare l'utente indicando la scelta tra due percorsi alternativi, contrassegnati con sì e no
	Processo	Indica il processo da intraprendere per procedere
	Connettore di fine pagina	Utilizzati per collegarsi a un altro diagramma di flusso. Sono contrassegnati con colori diversi per indicare i punti di ingresso e di uscita.
	Preparazione	Indica all'utente che deve intraprendere il lavoro preparatorio per questa sezione del diagramma di flusso. Fa riferimento a una casella contrassegnata con un colore diverso.

APPENDICE K. BIBLIOGRAFIA

K.1 Capitolo 5 — Valutazione dei rischi nell'ambito della direttiva relativa ai campi elettromagnetici

Forschungs Bericht 400-E, Electromagnetic fields at workplaces — A new scientific approach to occupational health and safety. ISSN 0174-4992.

Occupational Health and Safety Management Systems — Guidelines for the implementation of OHSAS 18001. PHSAS 18002:2000.

K.2 Capitolo 9 — Misure di protezione e prevenzione

ISO (International Organization for Standarization) (2011) Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Registered safety signs. ISO7010.

Melton, G., and Shaw, R. (2014), *Electromagnetic fields in the welding environment*, RR1018, HSE, London.

K.3 Capitolo 11 — Rischi, sintomi e sorveglianza sanitaria

Alanko, T., Lindholm, H., Jungewelter, S., Tiikkaja, M., and Hietanen, M. (2014), *Operating model for managing accidental overexposure to RF- fields*, Helsinki, Finnish Institute of Occupational Health. ISBN 978-952-261-393-6.

K.4 Appendice D — Valutazione dell'esposizione

De Santis, V., Chen, X.L., Laakso, I., and Hirata, A. (2013), «On the issues related to compliance of LF pulsed exposures with safety standards and guidelines», *Phys Med Biol*, Vol. 58, pagg. 8597-8607.

Heinrich, H. (2007), «Assessment of non-sinusoidal, pulsed, or intermittent exposure to low frequency electric and magnetic fields», *Health Phys*, Vol. 92, n. 6, pagg. 541-546.

HVBG (2001), Accident Prevention Regulation Electromagnetic Fields. BGVB11
http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/v-b11.pdf

ICNIRP (1998), «Linee guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo ed a campi elettromagnetici (fino a 300GHz)», Health Phys, Vol. 74, n. 4, pagg. 494-522.

ICNIRP (2010), «Linee guida per la limitazione dell'esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (1 Hz-100 kHz)», *Health Phys*, Vol. 99, n. 6, pagg. 818-836.

ICNIRP (2014), «ICNIRP guidelines for limiting exposure to electric fields induced by movement of the human body in a static magnetic field and by time-varying magnetic fields below 1 Hz», *Health Phys*, Vol. 106, n. 3, pagg. 418-425.

ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).

Jokela, K. (2000), «Restricting exposure to pulsed and broadband magnetic fields», *Health Phys*, Vol. 79, n. 4, pagg. 373-88.

K.5 Appendice E — Effetti indiretti e lavoratori particolarmente a rischio

Associazione dell'Assicurazione tedesca contro gli infortuni (2012) Beeinflussung von implantaten durch elektromagnetische felder. BGI/GUV-I 5111.

NRPB (2004), «Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300GHz)», *Documents of the NRPB*, Vol. 15, N. 3.

K.6 Appendice F — Risonanza magnetica

Calamante, F., Faulkner, WH Jr, Ittermann, B., Kanal, E., Kimbrell, V., Owman, T., Reeder, S.B., Sawyer, A.M., Shellock, F.G.and van den Brink, J.S. on behalf of the ISMRM Safety Committee (2014), «MR system operator: minimum requirements for performing MRI in human subjects in a research setting», *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, doi:10.1002/jmri.24717.

Capstick, M., McRobbie, D., Hand, J., Christ, A., Kühn, S., Hansson Mild, K., Cabot, E., Li, Y., Melzer, A., Papadaki, A., Prüssmann, K., Quest, R., Rea, M., Ryf, S., Oberle, M., and Kuster, N. (2008), «An investigation into occupational exposure to electromagnetic fields for personnel working with and around medical magnetic resonance imaging equipment», Project Report VT/2007/017.

Cenelec (2010), Apparecchi elettromedicali — Parte 2-33: Prescrizioni particolari per la sicurezza e le prestazioni fondamentali relative agli apparecchi a risonanza magnetica per diagnostica medica. EN60601-2-33.

ICNIRP (2004), «Medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients», *Health Phys*, Vol. 87, pagg. 197 216.

ICNIRP (2009), «Amendment to the ICNIRP "statement on medical magnetic resonance (MR) procedures: protection of patients"» *Health Phys*, Vol. 97, n. 3, pagg. 259-261.

McRobbie, DW (2012), «Occupational exposure in MRI», *Br J Radiol*, Vol. 85, pagg. 293-312.

MRI Working Group (2008), *Using MRI safely — practical rules for employees*, RIVM, Bilthoven, Netherlands.

Stam, R. (2008), *The EMF Directive and protection of MRI workers*, RIVM Report 610703001/2008, RIVM, Bilthoven, Netherlands.

Stam, R. (2014), «The revised electromagnetic fields directive and worker exposure in environments with high magnetic flux densities», *Ann Occup Hyg*, Vol. 58, n. 5, pagg. 529 541.

APPENDICE L. DIRETTIVA 2013/35/UE

I

(Atti legislativi)

DIRETTIVE

DIRETTIVA 2013/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO

del 26 giugno 2013

sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE

IL PARLAMENTO EUROPEO E IL CONSIGLIO DELL'UNIONE EUROPEA,

visto il trattato sul funzionamento dell'Unione europea, in particolare l'articolo 153, paragrafo 2,

vista la proposta della Commissione europea,

previa trasmissione del progetto di atto legislativo ai parlamenti nazionali,

visto il parere del Comitato economico e sociale europeo [1],

previa consultazione del Comitato delle regioni,

deliberando secondo la procedura legislativa ordinaria [2],

considerando quanto segue:

(1) a norma del trattato, il Parlamento europeo e il Consiglio possono adottare, mediante direttive, disposizioni minime per promuovere miglioramenti, in particolare, dell'ambiente di lavoro, al fine di garantire un più elevato livello di protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori. È necessario che tali direttive evitino di imporre vincoli amministrativi, finanziari e giuridici tali da ostacolare la creazione e lo sviluppo di piccole e medie imprese.

(2) L'articolo 31, paragrafo 1, della Carta dei diritti fondamentali dell'Unione europea sancisce che ogni lavoratore ha diritto a condizioni di lavoro sane, sicure e dignitose.

(3) A seguito dell'entrata in vigore della direttiva 2004/40/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 29 aprile 2004, sulle disposizioni minime di salute e di sicurezza relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) [3], i soggetti interessati, in particolare quelli del settore medico, hanno manifestato serie preoccupazioni sul potenziale impatto dell'attuazione di tale direttiva sull'utilizzazione di procedure mediche basate sulla diagnostica per immagini. Sono state inoltre espresse preoccupazioni in merito all'impatto della direttiva su talune attività industriali.

(4) La Commissione ha esaminato attentamente gli argomenti dei soggetti interessati e, dopo alcune consultazioni, ha deciso di riconsiderare in modo approfondito alcune disposizioni della direttiva 2004/40/CE, sulla base di nuove informazioni scientifiche fornite da esperti di fama internazionale.

(5) La direttiva 2004/40/CE è stata modificata dalla direttiva 2008/46/CE del Parlamento europeo e del Consiglio [4], con l'effetto di posporre di quattro anni i termini per il recepimento della direttiva 2004/40/CE, e successivamente dalla direttiva 2012/11/UE del Parlamento europeo e del Consiglio [5], con l'effetto di posporre tali termini per il recepimento al 31 ottobre 2013. Ciò è avvenuto al fine di consentire alla Commissione di presentare una nuova proposta e ai co-legislatori di adottare una nuova direttiva basata su dati più recenti e precisi.

(6) La direttiva 2004/40/CE dovrebbe essere abrogata e dovrebbero essere adottate misure più adeguate e proporzionate per la protezione dei lavoratori dai rischi collegati ai campi elettromagnetici. Tale direttiva non affrontava il problema degli effetti a lungo termine, compresi i possibili effetti cancerogeni dell'esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici che variano nel tempo, per i quali non si dispone attualmente di prove scientifiche concludenti in grado di stabilire una relazione causale. La presente direttiva mira a trattare tutti gli effetti biofisici

[1] GU C 43 del 15.2.2012, pag. 47.
[2] Posizione del Parlamento europeo dell'11 giugno 2013 (non ancora pubblicata nella Gazzetta ufficiale) e decisione del Consiglio del 20 giugno 2013.
[3] GU L 159 del 30.4.2004, pag. 1.
[4] GU L 114 del 26.4.2008, pag. 88.
[5] GU L 110 del 24.4.2012, pag. 1.

diretti e gli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici, non solo al fine di assicurare la salute e la sicurezza di ciascun lavoratore considerato individualmente, ma anche a creare per tutti i lavoratori nell'Unione una piattaforma minima di protezione, evitando nel contempo possibili distorsioni della concorrenza.

(7) La presente direttiva non affronta le ipotesi di effetti a lungo termine derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici, dal momento che non si dispone attualmente di prove scientifiche accertate dell'esistenza di una relazione causale. È tuttavia opportuno che, qualora tali prove scientifiche accertate emergano, la Commissione valuti gli strumenti più adeguati per affrontare tali effetti e, per mezzo della sua relazione sull'attuazione pratica della presente direttiva, riferisca in merito al Parlamento europeo e al Consiglio. Nel fare ciò, la Commissione dovrebbe tener conto, in aggiunta al contributo appropriato ricevuto dagli Stati membri, dei più recenti studi disponibili e delle nuove conoscenze scientifiche derivanti dai dati in tale ambito.

(8) Dovrebbero essere stabilite prescrizioni minime, lasciando quindi agli Stati membri la facoltà di mantenere o di adottare disposizioni più favorevoli in materia di protezione dei lavoratori, in particolare fissando valori inferiori per i livelli di azione (LA) o i valori limite di esposizione (VLE) per i campi elettromagnetici. L'attuazione della presente direttiva non dovrebbe tuttavia giustificare un regresso rispetto alla situazione esistente in ciascuno Stato membro.

(9) È opportuno che un sistema di protezione contro i campi elettromagnetici si limiti a definire, senza entrare troppo nel dettaglio, gli obiettivi da raggiungere, i principi da rispettare e i valori fondamentali da utilizzare onde permettere agli Stati membri di applicare le prescrizioni minime in modo equivalente.

(10) Al fine di proteggere i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici è necessario effettuare un'efficace ed efficiente valutazione dei rischi. Tale obbligo dovrebbe tuttavia essere proporzionale alla situazione esistente sul luogo di lavoro. È quindi opportuno definire un sistema di protezione in grado di raggruppare rischi diversi in un modo semplice, che contempli una graduazione, così da risultare facilmente comprensibile. Di conseguenza, il riferimento a un certo numero di indicatori e di situazioni standard, da fornire tramite orientamenti pratici, può utilmente aiutare i datori di lavoro a rispettare i propri obblighi.

(11) Gli effetti indesiderati sul corpo umano dipendono dalla frequenza del campo elettromagnetico o della radiazione cui esso è esposto. È quindi opportuno che i sistemi di limitazione dell'esposizione dipendano da modelli di frequenza e di esposizione, per proteggere adeguatamente i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici.

(12) La riduzione dell'esposizione ai campi elettromagnetici può essere realizzata in maniera più efficace attraverso l'applicazione di misure preventive fin dalla progettazione delle postazioni di lavoro, nonché dando la priorità al momento della scelta delle attrezzature, dei procedimenti e dei metodi di lavoro, alla riduzione dei rischi alla fonte. Disposizioni relative alle attrezzature e ai metodi di lavoro contribuiscono quindi alla protezione dei lavoratori che ne fanno uso. È tuttavia necessario evitare la duplicazione delle valutazioni, nel caso in cui le attrezzature di lavoro rispettino i requisiti del pertinente diritto dell'Unione sui prodotti, che stabilisce livelli più rigorosi di sicurezza rispetto a quelli previsti dalla presente direttiva. Ciò consente in molti casi una semplificazione delle valutazioni.

(13) È opportuno che i datori di lavoro si adeguino ai progressi tecnici e alle conoscenze scientifiche per quanto riguarda i rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici, in vista del miglioramento della sicurezza e della protezione della salute dei lavoratori.

(14) Poiché la presente direttiva è una direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE del Consiglio, del 12 giugno 1989, concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro [1], quest'ultima si applica al settore dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici fatte salve disposizioni più rigorose e/o specifiche contenute nella presente direttiva.

(15) Le grandezze fisiche, i VLE e i LA di cui alla presente direttiva sono basati sulle raccomandazioni della Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP) e dovrebbero essere considerati in conformità dei concetti sviluppati dall'ICNIRP, salvo che la presente direttiva non disponga diversamente.

(16) Al fine di assicurare che la presente direttiva resti aggiornata, dovrebbe essere delegato alla Commissione il potere di adottare atti conformemente all'articolo 290 del trattato sul funzionamento dell'Unione europea per apportare modifiche puramente tecniche agli allegati della presente direttiva che riflettano l'adozione di regolamenti e direttive nel settore dell'armonizzazione tecnica e della standardizzazione e del progresso tecnico, delle modifiche delle più pertinenti norme o specifiche e delle nuove scoperte scientifiche concernenti i rischi derivanti dai campi elettromagnetici, e inoltre adeguare i LA. È di particolare importanza che durante i lavori preparatori la Commissione svolga adeguate consultazioni, anche a livello di esperti. Nella preparazione e nell'elaborazione degli atti delegati la Commissione dovrebbe provvedere alla contestuale, tempestiva e appropriata trasmissione dei documenti pertinenti al Parlamento europeo e al Consiglio.

[1] GU L 183 del 29.6.1989, pag. 1.

(17) Qualora divenisse necessario apportare modifiche di natura puramente tecnica agli allegati, la Commissione dovrebbe operare in stretta collaborazione con il Comitato consultivo per la salute e la sicurezza sul luogo di lavoro istituito dalla decisione del Consiglio del 22 luglio 2003 ([1]).

(18) In casi eccezionali, qualora lo richiedano imperativi motivi d'urgenza, come possibili rischi imminenti per la salute e la sicurezza dei lavoratori derivanti dalla loro esposizione ai campi elettromagnetici, dovrebbe essere data la possibilità di ricorrere alla procedura d'urgenza per gli atti delegati adottati dalla Commissione.

(19) Conformemente alla dichiarazione politica congiunta degli Stati membri e della Commissione sui documenti esplicativi del 28 settembre 2011 ([2]), gli Stati membri si sono impegnati ad accompagnare, in casi debitamente motivati, la notifica delle loro misure di recepimento con uno o più documenti che chiariscano il rapporto tra gli elementi di una direttiva e le parti corrispondenti degli strumenti nazionali di recepimento. Per quanto riguarda la presente direttiva, il legislatore ritiene che la trasmissione di tali documenti sia giustificata.

(20) Un sistema comprendente VLE e LA, ove applicabile, dovrebbe essere considerato come uno strumento volto a facilitare il raggiungimento di un alto livello di protezione contro gli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza che possono derivare dall'esposizione ai campi elettromagnetici. Tuttavia, un siffatto sistema può entrare in conflitto con specifiche condizioni in talune attività, quali l'uso della tecnica della risonanza magnetica nel settore medico. È pertanto necessario tenere conto di tali condizioni particolari.

(21) Tenuto conto delle specificità delle forze armate e per consentirne un funzionamento e un'interoperabilità effettivi, anche in esercitazioni militari internazionali congiunte, è opportuno che gli Stati membri siano in grado di attuare sistemi di protezione equivalenti o più specifici, ad esempio norme concordate a livello internazionale, come gli standard NATO, purché si evitino effetti nocivi per la salute e rischi per la sicurezza.

(22) È opportuno che i datori di lavoro siano tenuti ad assicurare che i rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro siano eliminati o ridotti al minimo. È tuttavia possibile che, in casi specifici e in circostanze debitamente giustificate, i VLE stabiliti nella presente direttiva siano superati solo in via temporanea. In tal caso i datori di lavoro dovrebbero prendere le misure necessarie per ripristinare quanto prima il rispetto dei VLE.

(23) Un sistema in grado di garantire un elevato livello di protezione dagli effetti nocivi per la salute e dai rischi per la sicurezza che possono derivare dall'esposizione ai campi elettromagnetici dovrebbe tenere debito conto degli specifici gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari ed evitare i problemi d'interferenza ovvero effetti sul funzionamento di dispositivi medici quali protesi metalliche, stimolatori cardiaci e defibrillatori, impianti cocleari e di altro tipo o dispositivi medici portati sul corpo. I problemi di interferenza, in particolare per quanto riguarda gli stimolatori cardiaci, possono verificarsi a livelli inferiori rispetto ai LA e dovrebbero pertanto essere oggetto di adeguate precauzioni e misure protettive,

HANNO ADOTTATO LA PRESENTE DIRETTIVA:

CAPO I

DISPOSIZIONI GENERALI

Articolo 1

Oggetto e ambito di applicazione

1. La presente direttiva, che è la ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE, stabilisce prescrizioni minime di protezione dei lavoratori contro i rischi per la loro salute e la loro sicurezza che derivano, o possono derivare, dall'esposizione ai campi elettromagnetici durante il lavoro.

2. L'ambito di applicazione della presente direttiva include tutti gli effetti biofisici diretti e gli effetti indiretti noti, provocati dai campi elettromagnetici.

3. I valori limite di esposizione (VLE) stabiliti nella presente direttiva riguardano soltanto le relazioni scientificamente accertate tra effetti biofisici diretti a breve termine ed esposizione ai campi elettromagnetici.

4. L'ambito di applicazione della presente direttiva non include le ipotesi di effetti a lungo termine.

La Commissione tiene sotto osservazione i più recenti sviluppi scientifici. Qualora emergano dati scientifici accertati in merito agli effetti a lungo termine ipotizzati, la Commissione valuta un'adeguata risposta politica, compresa, se del caso, la presentazione di una proposta legislativa che riguardi tali effetti. Mediante la relazione sull'attuazione pratica della presente direttiva di cui all'articolo 15, la Commissione tiene informati il Parlamento europeo e il Consiglio in materia.

5. La presente direttiva non riguarda i rischi derivanti dal contatto con conduttori sotto tensione.

6. Fatte salve le disposizioni più rigorose o più specifiche contenute nella presente direttiva, la direttiva 89/391/CEE continua ad applicarsi integralmente all'intero settore di cui al paragrafo 1.

Articolo 2

Definizioni

Ai fini della presente direttiva s'intende per:

a) «campi elettromagnetici», campi elettrici statici, campi magnetici statici e campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo con frequenze sino a 300 GHz;

([1]) GU C 218 del 13.9.2003, pag. 1.
([2]) GU C 369 del 17.12.2011, pag. 14.

b) «effetti biofisici diretti», effetti provocati direttamente nel corpo umano dalla presenza di un campo elettromagnetico, tra cui:

i) effetti termici, quali il riscaldamento dei tessuti attraverso l'assorbimento di energia dai campi elettromagnetici nel tessuto;

ii) effetti non termici, quali la stimolazione di muscoli, nervi od organi sensoriali. Questi effetti possono essere dannosi per la salute mentale e fisica dei lavoratori esposti. Inoltre la stimolazione degli organi sensoriali può comportare sintomi temporanei quali vertigini o fosfeni che possono generare disturbi temporanei o influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari e che pertanto possono influire negativamente sulla capacità di un lavoratore di lavorare in modo sicuro (rischi per la sicurezza); nonché

iii) correnti attraverso gli arti;

c) «effetti indiretti», effetti provocati dalla presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico che possono divenire la causa di un rischio per la sicurezza o la salute, quali:

i) interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo);

ii) rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici;

iii) innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori);

iv) incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche; nonché

v) correnti di contatto;

d) «valori limite di esposizione (VLE)», valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare gli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e l'elettrostimolazione dei tessuti;

e) «VLE relativi agli effetti sanitari», VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a effetti nocivi per la salute, quali il riscaldamento termico o la stimolazione del tessuto nervoso o muscolare;

f) «VLE relativi agli effetti sensoriali», VLE al di sopra dei quali i lavoratori potrebbero essere soggetti a disturbi temporanei delle percezioni sensoriali e a modifiche minori delle funzioni cerebrali;

g) «livelli di azione (LA)», livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE o, eventualmente, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate nella presente direttiva.

Nell'allegato II si usa la seguente terminologia in materia di livelli di azione:

i) per i campi elettrici, per «LA inferiori» e «LA superiori» s'intendono i livelli connessi a misure specifiche di protezione o prevenzione stabilite nella presente direttiva, nonché

ii) per i campi magnetici, per «LA inferiori» s'intendono i livelli connessi ai VLE relativi agli effetti sensoriali e per «LA superiori» i livelli connessi ai VLE relativi agli effetti sanitari.

Articolo 3

Valori limite di esposizione e livelli di azione

1. Le grandezze fisiche concernenti l'esposizione ai campi elettromagnetici sono indicate nell'allegato I. I VLE relativi agli effetti sanitari, i VLE relativi agli effetti sensoriali e i LA sono riportati negli allegati II e III.

2. Gli Stati membri dispongono che il datore di lavoro assicuri che l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici sia limitata ai VLE relativi agli effetti sanitari e ai VLE relativi agli effetti sensoriali di cui all'allegato II, per gli effetti non termici, e di cui all'allegato III, per gli effetti termici. Il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari e dei VLE relativi agli effetti sensoriali deve essere dimostrato ricorrendo alle pertinenti procedure di valutazione dell'esposizione di cui all'articolo 4. Qualora l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi il VLE, il datore di lavoro adotta misure immediate in conformità dell'articolo 5, paragrafo 8.

3. Ai fini della presente direttiva, ove sia dimostrato che i pertinenti LA di cui agli allegati II e III non sono superati, si considera che il datore di lavoro rispetta i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali. Qualora l'esposizione superi i LA, il datore di lavoro adotta misure in conformità dell'articolo 5, paragrafo 2, a meno che la valutazione effettuata in conformità dell'articolo 4, paragrafi 1, 2 e 3, dimostri che non sono superati i pertinenti VLE e che possono essere esclusi rischi per la sicurezza.

In deroga al primo comma, l'esposizione può superare:

a) i LA inferiori per i campi elettrici (allegato II, tabella B1), ove giustificato dalla prassi o dal processo, purché non siano superati i VLE relativi agli effetti sensoriali (allegato II, tabella A3), oppure

i) non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari (allegato II, tabella A2);

ii) siano evitate eccessive scariche di scintille e correnti di contatto (allegato II, tabella B3) attraverso le misure specifiche di protezione di cui all'articolo 5, paragrafo 6, nonché

iii) siano state fornite ai lavoratori informazioni sulle situazioni di cui all'articolo 6, lettera f);

b) i LA inferiori per i campi magnetici (allegato II, tabella B2), ove giustificato dalla prassi o dal processo, compreso nella testa e nel tronco, durante il turno di lavoro, purché non siano superati i VLE relativi agli effetti sensoriali (allegato II, tabella A3), oppure

i) il superamento dei VLE relativi agli effetti sensoriali sia solamente temporaneo;

ii) non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari (allegato II, tabella A2);

iii) siano adottate misure in conformità dell'articolo 5, paragrafo 9, in caso di sintomi temporanei, ai sensi della lettera a) di tale paragrafo, nonché

iv) siano state fornite ai lavoratori informazioni sulle situazioni di cui all'articolo 6, lettera f).

4. In deroga ai paragrafi 2 e 3, l'esposizione può superare:

a) i VLE relativi agli effetti sensoriali (allegato II, tabella A1) durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla prassi o dal processo, purché:

i) il loro superamento sia solamente temporaneo;

ii) non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari (allegato II, tavola A1);

iii) siano state prese misure specifiche di protezione in conformità dell'articolo 5, paragrafo 7;

iv) siano adottate misure in conformità dell'articolo 5, paragrafo 9, in caso di sintomi temporanei, ai sensi della lettera b) di tale paragrafo, nonché

v) siano state fornite ai lavoratori informazioni sulle situazioni di cui all'articolo 6, lettera f);

b) i VLE relativi agli effetti sensoriali (allegato II, tabella A3 e allegato III, tabella A2) durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla prassi o dal processo, purché:

i) il loro superamento sia solamente temporaneo;

ii) non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari (allegato II, tabella A2 e allegato III, tabelle A1 e A3);

iii) siano adottate misure in conformità dell'articolo 5, paragrafo 9, in caso di sintomi temporanei ai sensi della lettera a) di tale paragrafo, nonché

iv) siano state fornite ai lavoratori informazioni sulle situazioni di cui all'articolo 6, lettera f).

CAPO II

OBBLIGHI DEL DATORE DI LAVORO

Articolo 4

Valutazione dei rischi e identificazione dell'esposizione

1. Nell'assolvere gli obblighi di cui all'articolo 6, paragrafo 3, e all'articolo 9, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE, il datore di lavoro valuta tutti i rischi per i lavoratori derivanti da campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e, se del caso, misura o calcola i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori.

Fatti salvi l'articolo 10 della direttiva 89/391/CEE e l'articolo 6 della presente direttiva, tale valutazione può essere resa pubblica su richiesta, in conformità della pertinente legislazione dell'Unione o nazionale. In particolare, qualora nel corso di tale valutazione siano trattati i dati personali dei lavoratori, la pubblicazione rispetta la direttiva 95/46/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 ottobre 1995, relativa alla tutela delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali, nonché alla libera circolazione di tali dati ([1]) e le leggi nazionali degli Stati membri che recepiscono tale direttiva. A meno che non sussista un interesse pubblico prevalente alla divulgazione, le autorità pubbliche in possesso di una copia della valutazione possono respingere una richiesta di accesso alla valutazione o di pubblicazione della stessa, qualora tale divulgazione pregiudichi la tutela degli interessi commerciali del datore di lavoro, compresi quelli relativi alla proprietà intellettuale. I datori di lavoro possono rifiutare di divulgare o pubblicare la valutazione alle medesime condizioni, in conformità della pertinente legislazione dell'Unione o nazionale.

2. Ai fini della valutazione di cui al paragrafo 1 del presente articolo, il datore di lavoro individua e valuta i campi elettromagnetici sul luogo di lavoro, tenendo conto delle pertinenti guide pratiche di cui all'articolo 14 e di altre norme od orientamenti pertinenti stabiliti dallo Stato membro interessato, incluse banche dati sull'esposizione. In deroga agli obblighi incombenti sul datore di lavoro a norma del presente articolo, il datore di lavoro ha inoltre diritto di tener conto, se del caso, dei livelli di emissione e di altri dati appropriati relativi alla sicurezza forniti per le attrezzature dal fabbricante o dal distributore, in conformità del pertinente diritto dell'Unione, inclusa la valutazione dei rischi, ove applicabile alle condizioni di esposizione sul luogo di lavoro o sul luogo di installazione.

3. Se non è possibile stabilire con certezza il rispetto dei VLE sulla base di informazioni facilmente accessibili, la valutazione dell'esposizione è effettuata sulla base di misurazioni o calcoli. In tal caso la valutazione tiene conto delle incertezze riguardanti la misurazione o il calcolo, quali errori numerici, modellizzazione delle sorgenti, geometria del modello anatomico e proprietà elettriche dei tessuti e dei materiali, determinate secondo le buone prassi pertinenti.

([1]) GU L 281 del 23.11.1995, pag. 31.

4. La valutazione, la misurazione e il calcolo di cui ai paragrafi 1, 2 e 3 del presente articolo sono programmati ed effettuati da servizi o persone competenti a intervalli idonei, tenendo conto degli orientamenti forniti a norma della presente direttiva e alla luce in particolare delle disposizioni relative alle competenze richieste (persone o servizi) e alla consultazione e alla partecipazione dei lavoratori di cui agli articoli 7 e 11 della direttiva 89/391/CEE. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione o calcolo dei livelli di esposizione sono conservati in una forma rintracciabile idonea a consentirne la successiva consultazione, secondo la legislazione e la prassi nazionali.

5. In occasione della valutazione dei rischi a norma dell'articolo 6, paragrafo 3, della direttiva 89/391/CEE, il datore di lavoro presta particolare attenzione ai seguenti elementi:

a) i VLE relativi agli effetti sanitari, i VLE relativi agli effetti sensoriali e i LA di cui all'articolo 3 e agli allegati II e III della presente direttiva;

b) la frequenza, il livello, la durata e il tipo di esposizione, inclusa la distribuzione nel corpo del lavoratore e nello spazio del luogo di lavoro;

c) eventuali effetti biofisici diretti;

d) eventuali effetti sulla salute e la sicurezza dei lavoratori esposti a rischi particolari, segnatamente coloro che recano dispositivi medici impiantati attivi o passivi (quali stimolatori cardiaci) o dispositivi medici portati sul corpo (quali le pompe insuliniche) e le lavoratrici incinte;

e) eventuali effetti indiretti;

f) l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;

g) informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria di cui all'articolo 8;

h) informazioni fornite dal fabbricante delle attrezzature;

i) altre informazioni disponibili pertinenti relative a salute e sicurezza;

j) sorgenti multiple di esposizione;

k) esposizione simultanea a campi di frequenza diversa.

6. Non è necessario che la valutazione dell'esposizione sia effettuata nei luoghi di lavoro aperti al pubblico se è già stata effettuata una valutazione in conformità delle disposizioni relative alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici, se sono rispettate le restrizioni ivi specificate per i lavoratori e se sono esclusi i rischi per la salute e la sicurezza. Si ritiene che tali condizioni siano soddisfatte solo qualora le attrezzature destinate al pubblico siano utilizzate conformemente alla loro destinazione e alla normativa dell'Unione sui prodotti, che stabilisce livelli di sicurezza più rigorosi rispetto a quelli previsti dalla presente direttiva, e non sia utilizzata nessun'altra attrezzatura.

7. Il datore di lavoro deve essere in possesso di una valutazione dei rischi a norma dell'articolo 9, paragrafo 1, lettera a), della direttiva 89/391/CEE e precisare quali misure devono essere adottate a norma dell'articolo 5 della presente direttiva. La valutazione dei rischi può includere i motivi per cui il datore di lavoro ritiene che la natura e l'entità dei rischi connessi con i campi elettromagnetici non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata. La valutazione dei rischi è regolarmente aggiornata, in particolare se vi sono stati notevoli mutamenti che potrebbero averla resa obsoleta, oppure se i risultati della sorveglianza sanitaria di cui all'articolo 8 mostrano che essa è necessaria.

Articolo 5

Disposizioni miranti a eliminare o a ridurre i rischi

1. Tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare la produzione di campi elettromagnetici alla fonte, il datore di lavoro adotta le misure necessarie per garantire che i rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro siano eliminati o ridotti al minimo.

La riduzione dei rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici si basa sui principi generali di prevenzione di cui all'articolo 6, paragrafo 2, della direttiva 89/391/CEE.

2. Sulla base della valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, qualora i pertinenti LA di cui all'articolo 3 e agli allegati II e III siano superati, a meno che la valutazione effettuata a norma dell'articolo 4, paragrafi 1, 2 e 3 dimostri che i pertinenti VLE non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza, il datore di lavoro definisce e attua un programma d'azione che deve includere misure tecniche e/o organizzative intese a prevenire esposizioni superiori ai VLE relativi agli effetti sanitari e ai VLE relativi agli effetti sensoriali, che tenga conto in particolare:

a) di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione ai campi elettromagnetici;

b) della scelta di attrezzature che emettano campi elettromagnetici meno intensi, tenuto conto del lavoro da svolgere;

c) delle misure tecniche per ridurre l'emissione dei campi elettromagnetici, incluso se necessario l'uso di dispositivi di sicurezza, schermatura o di analoghi meccanismi di protezione della salute;

d) di misure appropriate di delimitazione e di accesso, quali segnali, etichette, segnaletica al suolo, barriere, al fine di limitare o controllare l'accesso;

e) in caso di esposizione a campi elettrici, delle misure e procedure volte a gestire le scariche di scintille e le correnti di contatto mediante strumenti tecnici e mediante la formazione dei lavoratori;

f) degli opportuni programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei sistemi, dei luoghi e delle postazioni di lavoro;

g) della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro;

h) della limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione; nonché

i) della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuale.

3. Sulla base della valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, il datore di lavoro definisce e attua un programma d'azione che comprenda misure tecniche e/o organizzative intese a prevenire qualsiasi rischio per i lavoratori esposti a rischi particolari e qualsiasi rischio dovuto a effetti indiretti di cui all'articolo 4.

4. Oltre a fornire le informazioni di cui all'articolo 6 della presente direttiva, il datore di lavoro, a norma dell'articolo 15 della direttiva 89/391/CEE, adatta le misure di cui al presente articolo alle esigenze dei lavoratori esposti a rischi particolari e, se del caso, alle valutazioni dei rischi individuali, in particolare per quanto riguarda i lavoratori che hanno dichiarato di essere muniti di dispositivi medici impiantati attivi o passivi, quali gli stimolatori cardiaci, o dispositivi medici portati sul corpo (quali le pompe insuliniche) o le lavoratrici incinte che hanno informato il datore di lavoro della loro condizione.

5. Sulla base della valutazione dei rischi di cui all'articolo 4, i luoghi di lavoro in cui è probabile che i lavoratori siano esposti a campi elettromagnetici che superino i LA sono indicati con un'apposita segnaletica a norma degli allegati II e III e della direttiva 92/58/CEE del Consiglio, del 24 giugno 1992, recante le prescrizioni minime per la segnaletica di sicurezza e/o di salute sul luogo di lavoro (nona direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) [1]. Le aree in questione sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato in maniera opportuna. Nel caso in cui l'accesso a tali aree sia adeguatamente ristretto per altri motivi e i lavoratori siano informati sui rischi derivanti dai campi elettromagnetici, non è necessario installare segnaletica e restrizioni di accesso specifici per i campi elettromagnetici.

6. Nel caso in cui trovi applicazione l'articolo 3, paragrafo 3, lettera a), sono adottate misure di protezione specifiche, quali la formazione dei lavoratori a norma dell'articolo 6 e l'uso di strumenti tecnici nonché la protezione individuale, per esempio la messa a terra degli oggetti di lavoro, il collegamento dei lavoratori con gli oggetti di lavoro (collegamento equipotenziale) nonché, se del caso e a norma dell'articolo 4, paragrafo 1, lettera a), della direttiva 89/656/CEE del Consiglio, del 30 novembre 1989, relativa alle prescrizioni minime in materia di sicurezza e salute per l'uso da parte dei lavoratori di attrezzature di protezione individuale durante il lavoro (terza direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1 della direttiva 89/391/CEE) [2], l'impiego di scarpe isolanti, guanti e indumenti protettivi.

7. Nel caso in cui trovi applicazione l'articolo 3, paragrafo 3 *bis*, lettera a), sono adottate misure di protezione specifiche, quali il controllo dei movimenti.

8. I lavoratori non sono esposti a valori superiori ai VLE relativi agli effetti sanitari e ai VLE relativi agli effetti sensoriali a meno che non sussistano le condizioni di cui all'articolo 10, paragrafo 1, lettera a) o c) o all'articolo 3, paragrafi 3 e 4. Allorché, nonostante i provvedimenti presi dal datore di lavoro in applicazione della presente direttiva, i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali sono superati, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei VLE. Il datore di lavoro individua e registra le cause del superamento dei VLE relativi agli effetti sanitari e dei VLE relativi agli effetti sensoriali e modifica di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento. Le misure di protezione e prevenzione modificate sono conservate in una forma rintracciabile idonea per consentirne la successiva consultazione, secondo la legislazione e la prassi nazionali.

9. Nel caso in cui trovi applicazione l'articolo 3, paragrafi 3 e 4, nel caso in cui sia segnalata dal lavoratore la comparsa di sintomi temporanei, il datore di lavoro aggiorna, se necessario, la valutazione dei rischi e le misure di prevenzione. I sintomi temporanei possono comprendere:

a) percezioni ed effetti sensoriali nel funzionamento del sistema nervoso centrale nella testa causati da campi magnetici che variano nel tempo; nonché

b) effetti di campi magnetici statici, quali vertigini e nausea.

Articolo 6

Informazione e formazione dei lavoratori

Fatti salvi gli articoli 10 e 12 della direttiva 89/391/CEE, il datore di lavoro garantisce che i lavoratori che potrebbero essere esposti ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro e/o i loro rappresentanti ricevano le informazioni e la formazione necessarie in relazione al risultato della valutazione dei rischi di cui all'articolo 4 della presente direttiva, con particolare riguardo:

a) alle misure adottate in applicazione della presente direttiva;

b) all'entità e al significato dei VLE e dei LA, nonché ai possibili rischi associati e alle misure preventive adottate;

c) agli eventuali effetti indiretti dell'esposizione;

d) ai risultati della valutazione, della misurazione o del calcolo dei livelli di esposizione ai campi elettromagnetici effettuati a norma dell'articolo 4 della presente direttiva;

e) alle modalità per individuare e segnalare gli effetti negativi dell'esposizione per la salute;

f) alla possibilità di sintomi e sensazioni temporanei dovuti a effetti nel sistema nervoso centrale o periferico;

[1] GU L 245 del 26.8.1992, pag. 23.
[2] GU L 393 del 30.12.1989, pag. 18.

g) alle circostanze alle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria;

h) alle procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione;

i) ai lavoratori esposti a rischi particolari di cui all'articolo 4, paragrafo 5, lettera d bis), e all'articolo 5, paragrafi 3 e 4, della presente direttiva.

Articolo 7

Consultazione e partecipazione dei lavoratori

La consultazione e la partecipazione dei lavoratori e/o dei loro rappresentanti hanno luogo in conformità dell'articolo 11 della direttiva 89/391/CEE.

CAPO III

DISPOSIZIONI VARIE

Articolo 8

Sorveglianza sanitaria

1. Ai fini della prevenzione e della diagnosi precoce di qualunque effetto negativo per la salute imputabile all'esposizione a campi elettromagnetici, un'adeguata sorveglianza sanitaria è effettuata a norma dell'articolo 14 della direttiva 89/391/CEE. La documentazione medica e la relativa disponibilità sono garantite in conformità del diritto e/o delle prassi nazionali.

2. Conformemente alle legislazioni e prassi nazionali, i risultati della sorveglianza sanitaria sono conservati in forma idonea per consentirne la consultazione in un momento successivo nel rispetto delle prescrizioni in materia di riservatezza. I singoli lavoratori hanno, su richiesta, accesso ai loro dati medici personali.

Nel caso in cui un lavoratore segnali effetti indesiderati o inattesi sulla salute oppure in cui sia rilevata un'esposizione superiore ai VLE, il datore di lavoro garantisce che un controllo medico o una sorveglianza sanitaria individuale adeguati siano fornite al lavoratore o ai lavoratori interessati, conformemente alla legislazione e alla prassi nazionali.

La possibilità di sottoporsi a tale controllo o sorveglianza è messa a disposizione durante le ore scelte dal lavoratore e i relativi costi non sono a carico di quest'ultimo.

Articolo 9

Sanzioni

Gli Stati membri prevedono l'applicazione di sanzioni adeguate in caso di violazione della normativa nazionale adottata ai termini della presente direttiva. Le sanzioni devono essere effettive, proporzionate e dissuasive.

Articolo 10

Deroghe

1. In deroga all'articolo 3, ma fatto salvo l'articolo 5, paragrafo 1, si applicano le seguenti disposizioni:

a) l'esposizione può superare i VLE se è connessa all'installazione, al controllo, all'uso, allo sviluppo, alla manutenzione degli apparecchi per la risonanza magnetica (RMI) per i pazienti nel settore sanitario o alla ricerca correlata, purché siano soddisfatte tutte le condizioni seguenti:

i) la valutazione del rischio effettuata conformemente all'articolo 4 ha dimostrato che i VLE sono superati;

ii) tenuto conto dello stato dell'arte, sono state applicate tutte le misure tecniche e/o organizzative;

iii) le circostanze giustificano debitamente il superamento del VLE;

iv) si è tenuto conto delle caratteristiche del luogo di lavoro, delle attrezzature di lavoro o delle pratiche di lavoro, e

v) il datore di lavoro dimostra che i lavoratori sono sempre protetti dagli effetti nocivi per la salute e dai rischi per la sicurezza, assicurando in particolare che siano seguite le istruzioni per l'uso in condizioni di sicurezza fornite dal fabbricante ai sensi della direttiva 93/42/CEE del Consiglio, del 14 giugno 1993, concernente i dispositivi medici [1];

b) gli Stati membri possono autorizzare l'attuazione di un sistema di protezione equivalente o più specifico per il personale che lavora presso impianti militari operativi o che partecipa ad attività militari, ivi compreso a esercitazioni militari internazionali congiunte, purché si evitino gli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza;

c) gli Stati membri possono autorizzare, in circostanze debitamente giustificate e soltanto per il periodo in cui rimangano tali, il superamento temporaneo dei VLE in settori specifici o per attività specifiche che esulino dall'ambito di applicazione delle lettere a) e b). Ai fini della presente disposizione per «circostanze debitamente giustificate» si intendono circostanze che soddisfino le seguenti condizioni:

i) la valutazione del rischio effettuata conformemente all'articolo 4 ha dimostrato che i VLE sono superati;

ii) tenuto conto dello stato dell'arte, sono state applicate tutte le misure tecniche e/o organizzative;

iii) si è tenuto conto delle caratteristiche del luogo di lavoro, delle attrezzature di lavoro o delle pratiche di lavoro, e

iv) il datore di lavoro dimostra che i lavoratori sono sempre protetti contro gli effetti nocivi per la salute e i rischi per la sicurezza, avvalendosi in particolare di norme e orientamenti comparabili, più specifici e riconosciuti a livello internazionale.

[1] GU L 169 del 12.7.1993, pag. 1.

2. Gli Stati membri informano la Commissione in merito a ogni deroga ai sensi del paragrafo 1, lettere b) e c), e indicano la relativa giustificazione nella relazione di cui all'articolo 15.

Articolo 11

Modifiche tecniche degli allegati

1. Alla Commissione è conferito il potere di adottare atti delegati conformemente all'articolo 12 riguardo alle modifiche degli allegati o quelle di natura puramente tecnica, al fine di:

a) tener conto dell'adozione di regolamenti e direttive in materia di armonizzazione tecnica e standardizzazione riguardanti la progettazione, la costruzione, la fabbricazione o la realizzazione di attrezzature e/o luoghi di lavoro;

b) tener conto del progresso tecnico, dell'evoluzione delle norme o specifiche più pertinenti e delle nuove conoscenze scientifiche relative ai campi elettromagnetici;

c) adeguare i LA qualora esistano nuovi dati scientifici e purché i datori di lavoro continuino a essere vincolati dai VLE esistenti menzionati negli allegati II e III.

2. Alla Commissione è conferito il potere di adottare atti delegati conformemente all'articolo 12, al fine di inserire nell'allegato II gli orientamenti dell'ICNIRP per limitare l'esposizione ai campi elettrici indotti dal movimento del corpo umano in un campo magnetico statico e da campi magnetici che variano nel tempo al di sotto di 1 Hz, non appena essi siano disponibili.

3. Qualora, in caso di modifiche di cui ai paragrafi 1 e 2, imperativi motivi d'urgenza lo richiedano, la procedura di cui all'articolo 13 si applica agli atti delegati adottati ai sensi del presente articolo.

Articolo 12

Esercizio della delega

1. Il potere di adottare atti delegati è conferito alla Commissione alle condizioni stabilite nel presente articolo.

2. Il potere di adottare atti delegati di cui all'articolo 11 è conferito alla Commissione per un periodo di cinque anni a decorrere dal 29 giugno 2013. La Commissione elabora una relazione sulla delega di poteri al più tardi nove mesi prima della scadenza del periodo di cinque anni. La delega di potere è tacitamente prorogata per periodi di identica durata, a meno che il Parlamento europeo o il Consiglio non si oppongano a tale proroga al più tardi tre mesi prima della scadenza di ciascun periodo.

3. La delega di potere di cui all'articolo 11 può essere revocata in qualsiasi momento dal Parlamento europeo o dal Consiglio. La decisione di revoca pone fine alla delega di potere ivi specificata. Gli effetti della decisione decorrono dal giorno successivo alla pubblicazione della decisione nella *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* o da una data successiva ivi specificata. Essa non pregiudica la validità degli atti delegati già in vigore.

4. Non appena adotta un atto delegato, la Commissione ne dà contestualmente notifica al Parlamento europeo e al Consiglio.

5. L'atto delegato adottato ai sensi dell'articolo 11 entra in vigore solo se né il Parlamento europeo né il Consiglio hanno sollevato obiezioni entro il termine di due mesi dalla data in cui esso è stato loro notificato, o se, prima della scadenza di tale termine, sia il Parlamento europeo che il Consiglio hanno informato la Commissione che non intendono sollevare obiezioni. Tale termine è prorogato di due mesi su iniziativa del Parlamento europeo o del Consiglio.

Articolo 13

Procedura d'urgenza

1. Gli atti delegati adottati ai sensi del presente articolo entrano in vigore immediatamente e si applicano finché non siano sollevate obiezioni conformemente al paragrafo 2. La notifica dell'atto delegato al Parlamento europeo e al Consiglio illustra i motivi del ricorso alla procedura d'urgenza che devono riguardare la salute e la protezione dei lavoratori.

2. Il Parlamento europeo o il Consiglio possono sollevare obiezioni a un atto delegato secondo la procedura di cui all'articolo 12, paragrafo 5. In tal caso, la Commissione abroga l'atto immediatamente a seguito della notifica della decisione con la quale il Parlamento europeo o il Consiglio hanno sollevato obiezioni.

CAPO IV

DISPOSIZIONI FINALI

Articolo 14

Guida pratica

Al fine di agevolare l'attuazione della presente direttiva, la Commissione mette a disposizione guide pratiche non vincolanti almeno sei mesi prima del 1º luglio 2016. Tali guide devono riferirsi, in particolare, alle questioni seguenti:

a) la determinazione dell'esposizione tenendo conto delle norme europee o internazionali appropriate, ivi compresi:

— i metodi di calcolo per la valutazione dei VLE,

— la media spaziale dei campi elettrici e magnetici esterni,

— orientamenti per il trattamento delle incertezze di misurazione e di calcolo,

b) orientamenti per la dimostrazione della conformità in relazione a tipi particolari di esposizione non uniforme in situazioni specifiche, sulla base di una dosimetria consolidata;

c) la descrizione del «metodo del picco ponderato» per i campi di bassa frequenza e della sommatoria dei campi multi-frequenza per i campi di alta frequenza;

d) l'effettuazione della valutazione del rischio e, per quanto possibile, la messa a disposizione di tecniche semplificate, tenendo conto in particolare delle esigenze delle PMI;

e) le misure intese a evitare o ridurre i rischi, incluse misure specifiche di prevenzione, in funzione del livello di esposizione e delle caratteristiche del luogo di lavoro;

f) la definizione di procedure di lavoro documentate nonché di misure specifiche di informazione e di formazione per i lavoratori esposti a campi elettromagnetici nel corso di attività correlate alla RMI e rientranti nell'ambito di applicazione dell'articolo 10, paragrafo 1, lettera a);

g) la valutazione delle esposizioni nella gamma di frequenza compresa tra 100 kHz e 10 MHz qualora si debba tenere conto degli effetti termici e non termici;

h) orientamenti sui controlli medici e sulla sorveglianza sanitaria da fornire da parte del datore di lavoro in conformità dell'articolo 8, paragrafo 2.

La Commissione opera in stretta collaborazione con il Comitato consultivo per la salute e la sicurezza sul luogo di lavoro. Il Parlamento europeo è tenuto informato.

Articolo 15

Riesame e relazioni

Tenendo conto dell'articolo 1, paragrafo 4, la relazione sull'attuazione pratica della presente direttiva è redatta in conformità con l'articolo 17 *bis* della direttiva 89/391/CEE.

Articolo 16

Recepimento

1. Gli Stati membri mettono in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla presente direttiva entro il 1º luglio 2016.

Quando gli Stati membri adottano tali disposizioni, queste contengono un riferimento alla presente direttiva o sono corredate di un siffatto riferimento all'atto della pubblicazione ufficiale. Le modalità di effettuazione di tale riferimento sono decise dagli Stati membri.

2. Gli Stati membri comunicano alla Commissione il testo delle disposizioni essenziali di diritto interno adottate nel settore disciplinato dalla presente direttiva.

Articolo 17

Abrogazione

1. La direttiva 2004/40/CE è abrogata a decorrere dal 29 giugno 2013.

2. I riferimenti alla direttiva abrogata si intendono fatti alla presente direttiva e si leggono secondo la tavola di concordanza che figura all'allegato IV.

Articolo 18

Entrata in vigore

La presente direttiva entra in vigore il giorno della pubblicazione *nella Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*.

Articolo 19

Destinatari

Gli Stati membri sono destinatari della presente direttiva.

Fatto a Bruxelles, il 26 giugno 2013

Per il Parlamento europeo	*Per il Consiglio*
Il presidente	*Il presidente*
M. SCHULZ	A. SHATTER

ALLEGATO I

GRANDEZZE FISICHE CONCERNENTI L'ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Le seguenti grandezze fisiche sono utilizzate per descrivere le esposizioni ai campi elettromagnetici:

L'intensità di campo elettrico (E) è una quantità vettoriale che corrisponde alla forza esercitata su una particella carica indipendentemente dal suo movimento nello spazio. È espressa in volt per metro (Vm^{-1}). È necessario operare una distinzione fra il campo elettrico ambientale e il campo elettrico presente nel corpo (in situ) a seguito dell'esposizione al campo elettrico ambientale.

La corrente attraverso gli arti ($I_{L)}$ è la corrente che attraversa gli arti di una persona esposta a campi elettromagnetici nella gamma di frequenza compresa tra 10 MHz e 110 MHz a seguito del contatto con un oggetto in un campo elettromagnetico o del flusso di correnti capacitive indotte nel corpo esposto. È espressa in ampere (A).

La corrente di contatto (I_C) è una corrente che compare quando una persona entra in contatto con un oggetto in un campo elettromagnetico. È espressa in ampere (A). Una corrente di contatto in stato stabile si produce quando una persona è in contatto continuo con un oggetto in un campo elettromagnetico. Nel momento in cui si stabilisce tale contatto, può verificarsi una scarica di scintille con correnti transitorie associate.

La carica elettrica (Q) è la grandezza impiegata per la scarica di scintille ed è espressa in coulomb (C).

L'intensità di campo magnetico (H) è una grandezza vettoriale che, insieme all'induzione magnetica, specifica un campo magnetico in qualunque punto dello spazio. È espressa in ampere per metro (Am^{-1}).

L'induzione magnetica (B) è una grandezza vettoriale che determina una forza agente sulle cariche in movimento. È espressa in tesla (T). Nello spazio libero e nei materiali biologici l'induzione magnetica e l'intensità del campo magnetico sono intercambiabili in base alla seguente equivalenza: intensità di campo magnetico (H) pari a 1 Am^{-1} = induzione magnetica (B) pari a $4\pi\ 10^{-7}$ T (approssimativamente 1,25 microtesla).

Densità di potenza (S). Questa grandezza si impiega nel caso delle frequenze molto alte, per le quali la profondità di penetrazione nel corpo è modesta. Si tratta della potenza radiante incidente perpendicolarmente a una superficie, divisa per l'area della superficie in questione; è espressa in watt per metro quadrato (Wm^{-2}).

Assorbimento specifico di energia (SA). Si definisce mediante l'energia assorbita per unità di massa di tessuto biologico e si esprime in joule per kilogrammo (Jkg^{-1}). Nella presente direttiva, il termine si impiega per limitare gli effetti derivanti da esposizioni a microonde pulsate.

Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR). Si tratta del valore mediato, su tutto il corpo o su alcune parti di esso, del tasso di assorbimento di energia per unità di massa del tessuto corporeo ed è espresso in watt per kilogrammo (Wkg^{-1}). Il SAR riferito a tutto il corpo è una misura ampiamente accettata per porre in rapporto gli effetti termici nocivi all'esposizione alle radiofrequenze (RF). Oltre al valore del SAR mediato su tutto il corpo, sono necessari anche valori locali del SAR per valutare e limitare la deposizione eccessiva di energia in parti piccole del corpo conseguenti a particolari condizioni di esposizione, quali ad esempio il caso di un individuo esposto a RF dell'ordine di pochi MHz (ad esempio provenienti da riscaldatori dielettrici), e di individui esposti nel campo vicino di un'antenna.

Tra le grandezze sopra citate, possono essere misurate direttamente l'induzione magnetica (B), la corrente di contatto (I_C), la corrente attraverso gli arti (I_L), l'intensità di campo elettrico (E), l'intensità di campo magnetico (H) e la densità di potenza (S).

ALLEGATO II

EFFETTI NON TERMICI

VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE E LIVELLI DI AZIONE NELLA GAMMA DI FREQUENZA COMPRESA TRA 0 Hz E 10 MHz

A. VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE)

I VLE inferiori a 1 Hz (Tabella A1) sono limiti per i campi magnetici statici su cui non incide il tessuto corporeo.

I VLE per le frequenze comprese tra 1 Hz e 10 MHz (tabella A2) sono limiti per i campi elettrici indotti nel corpo dall'esposizione a campi elettrici e magnetici che variano nel tempo.

VLE per un'induzione magnetica esterna da 0 a 1 Hz

Il VLE relativo agli effetti sensoriali è il VLE applicabile in condizioni di lavoro normali (tabella A1) ed è correlato alle vertigini e ad altri effetti fisiologici connessi a disturbi dell'organo dell'equilibrio umano e risultanti principalmente dal movimento in un campo magnetico statico.

Il VLE relativo agli effetti sanitari in condizioni di lavoro controllate (tabella A1) è applicabile su base temporanea durante il turno di lavoro, ove giustificato dalla prassi o dal processo, purché siano state adottate misure di prevenzione quali il controllo dei movimenti e l'informazione dei lavoratori.

Tabella A1

VLE per un'induzione magnetica esterna (B_0) compresa tra 0 e 1 Hz

	VLE relativi agli effetti sensoriali
Condizioni di lavoro normali	2 T
Esposizione localizzata degli arti	8 T
	VLE relativi agli effetti sanitari
Condizioni di lavoro controllate	8 T

VLE relativi agli effetti sanitari per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 10 MHz

I VLE relativi agli effetti sanitari (tabella A2) sono correlati alla stimolazione elettrica di tutti i tessuti del sistema nervoso centrale e periferico all'interno del corpo, compresa la testa.

Tabella A2

VLE relativi agli effetti sanitari per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 10 MHz

Gamma di frequenza	VLE relativi agli effetti sanitari
1 Hz ≤ f < 3 kHz	1,1 Vm^{-1} (picco)
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	3,8 $\times 10^{-4}$ f Vm^{-1} (picco)

Nota A2-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Nota A2-2: i VLE relativi agli effetti sanitari per il campo elettrico interno sono valori di picco spaziali per l'intero corpo del soggetto esposto.

Nota A2-3: i VLE sono valori di picco in termini temporali che sono pari ai valori efficaci (RMS) moltiplicati per $\sqrt{2}$ per i campi sinusoidali. Nel caso dei campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione effettuata in conformità dell'articolo 4 si basa sul metodo del picco ponderato (filtraggio nel dominio del tempo), spiegato nella guida pratica di cui all'articolo 14, ma possono essere applicate altre procedure di valutazione scientificamente provate e validate, purché conducano a risultati approssimativamente equivalenti e comparabili.

VLE relativi agli effetti sensoriali per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 400 Hz

I VLE relativi agli effetti sensoriali (tabella A3) sono correlati agli effetti del campo elettrico sul sistema nervoso centrale nella testa, cioè fosfeni retinici e modifiche minori e transitorie di talune funzioni cerebrali.

Tabella A3

VLE relativi agli effetti sensoriali per un'intensità di campo elettrico interno compresa tra 1 Hz e 400 Hz

Gamma di frequenza	VLE relativi agli effetti sensoriali
1 Hz ≤ f < 10 Hz	0,7/f Vm^{-1} (picco)
10 Hz ≤ f < 25 Hz	0,07/f Vm^{-1} (picco)
25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz	0,0028 f Vm^{-1} (picco)

Nota A3-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Nota A3-2: i VLE relativi agli effetti sensoriali per il campo elettrico interno sono valori di picco spaziali nella testa del soggetto esposto.

Nota A3-3: i VLE sono valori di picco in termini temporali che sono pari ai valori efficaci (RMS) moltiplicati per √ 2 per i campi sinusoidali. Nel caso dei campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione effettuata in conformità dell'articolo 4 si basa sul metodo del picco ponderato (filtraggio nel dominio del tempo), spiegato nella guida pratica di cui all'articolo 14, ma possono essere applicate altre procedure di valutazione scientificamente provate e validate, purché conducano a risultati approssimativamente equivalenti e comparabili.

B. LIVELLI DI AZIONE (LA)

Per indicare i livelli di azione (LA) si utilizzano le grandezze fisiche e i valori seguenti, il cui valore quantitativo è stabilito in modo da garantire, tramite una semplificazione della valutazione, il rispetto dei pertinenti VLE, o in corrispondenza dei quali devono essere adottate le pertinenti misure di protezione o di prevenzione di cui all'articolo 5:

— LA (E) inferiori e LA (E) superiori per l'intensità di campo elettrico (E) di campi elettrici che variano nel tempo, come indicato nella tabella B1,

— LA (B) inferiori e LA (B) superiori per l'induzione magnetica (B) di campi magnetici che variano nel tempo, come indicato nella tabella B2,

— LA(I_C) per la corrente di contatto, come indicato nella tabella B3,

— LA(B_0) per l'induzione magnetica di campi magnetici statici, come indicato nella tabella B4.

I LA corrispondono ai valori del campo elettrico e magnetico calcolati o misurati sul luogo di lavoro in assenza del lavoratore.

Livelli di azione (LA) per esposizione a campi elettrici

I LA inferiori (tabella B1) per un campo elettrico esterno si basano sulla limitazione del campo elettrico interno al di sotto dei VLE (tabelle A2 e A3) e sulla limitazione delle scariche di scintille nell'ambiente di lavoro.

Al di sotto dei LA superiori, il campo elettrico interno non supera i VLE (tabelle A2 e A3) e si evitano fastidiose scariche di scintille, purché siano prese le misure di protezione di cui all'articolo 5, paragrafo 6.

Tabella B1

LA per esposizione a campi elettrici compresi tra 1 Hz e 10 MHz

Gamma di frequenza	Intensità di campo elettrico LA(E) inferiori [Vm^{-1}] (RMS)	Intensità di campo elettrico LA(E) superiori [Vm^{-1}] (RMS)
1 ≤ f < 25 Hz	$2{,}0 \times 10^4$	$2{,}0 \times 10^4$
25 ≤ f < 50 Hz	$5{,}0 \times 10^5/f$	$2{,}0 \times 10^4$
50 Hz ≤ f < 1,64 kHz	$5{,}0 \times 10^5/f$	$1{,}0 \times 10^6/f$

Gamma di frequenza	Intensità di campo elettrico LA(E) inferiori [Vm^{-1}] (RMS)	Intensità di campo elettrico LA(E) superiori [Vm^{-1}] (RMS)
1,64 ≤ f < 3 kHz	$5,0 \times 10^5/f$	$6,1 \times 10^2$
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Nota B1-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Nota B1-2: i LA (E) inferiori e i LA (E) superiori sono i valori efficaci (RMS) dell'intensità di campo elettrico che sono uguali ai valori di picco divisi per √ 2 per i campi sinusoidali. Nel caso di campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione effettuata in conformità dell'articolo 4 si basa sul metodo del picco ponderato (filtraggio nel dominio del tempo), spiegato nella guida pratica di cui all'articolo 14, ma possono essere applicate altre procedure di valutazione scientificamente provate e validate purché conducano a risultati approssimativamente equivalenti e comparabili.

Nota B1-3: i LA rappresentano i valori massimi calcolati o misurati nello spazio occupato dal corpo del lavoratore. Ciò comporta una valutazione dell'esposizione prudente e una conformità automatica ai VLE in tutte le condizioni di esposizione non uniformi. Al fine di semplificare la valutazione della conformità ai VLE, effettuata ai sensi dell'articolo 4, in specifiche condizioni non uniformi, nella guida pratica di cui all'articolo 14 saranno stabiliti criteri relativi alla media spaziale dei campi misurati, sulla base di una dosimetria consolidata. Qualora si tratti di una sorgente molto localizzata, distante pochi centimetri dal corpo, il campo elettrico indotto è determinato caso per caso mediante dosimetria.

Livelli di azione (LA) per esposizione a campi magnetici

I LA inferiori (tabella B2) per le frequenze al di sotto di 400 Hz sono derivati dai VLE relativi agli effetti sensoriali (tabella A3) e per le frequenze al di sopra di 400 Hz sono derivati dai VLE relativi agli effetti sanitari per il campo elettrico interno (tabella A2).

I LA superiori (tabella B2) derivano dai VLE relativi agli effetti sanitari per un campo elettrico interno correlato alla stimolazione elettrica dei tessuti nervosi periferici e autonomi nella testa e nel tronco (tabella A2). L'osservanza dei LA superiori assicura che non siano superati i VLE relativi agli effetti sanitari ma, se l'esposizione della testa supera i LA inferiori per esposizioni fino a 400 Hz, sono possibili effetti correlati a fosfeni retinici e a modifiche minori e transitorie dell'attività cerebrale. In tal caso, si applica l'articolo 5, paragrafo 6.

I LA per l'esposizione degli arti derivano dai VLE sul campo elettrico interno per gli effetti sanitari relativi alla stimolazione elettrica dei tessuti negli arti, tenendo conto del fatto che il campo magnetico presenta un accoppiamento più debole negli arti che nel corpo intero.

Tabella B2

LA per esposizione a campi magnetici compresi tra 1 Hz e 10 MHz

Gamma di frequenza	Induzione magnetica LA (B) inferiori [μT] (RMS)	Induzione magnetica LA (B) superiori [μT] (RMS)	Induzione magnetica LA per esposizione arti a campo magnetico localizzato [μT] (RMS)
1 ≤ f < 8 Hz	$2,0 \times 10^5/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
8 ≤ f < 25 Hz	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
25 ≤ f < 300 Hz	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
300 Hz ≤ f < 3 kHz	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Nota B2-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Nota B2-2: i LA inferiori e superiori sono i valori efficaci (RMS) uguali ai valori di picco divisi per √ 2 per i campi sinusoidali. Nel caso di campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione effettuata in conformità dell'articolo 4 si basa sul metodo del picco ponderato (filtraggio nel dominio del tempo), spiegato nelle guide pratiche di cui all'articolo 14, ma possono essere applicate altre procedure di valutazione scientificamente provate e validate purché conducano a risultati approssimativamente equivalenti e comparabili.

Nota B2-3: i LA per esposizione a campi magnetici rappresentano i valori massimi nello spazio occupato dal corpo del lavoratore. Ciò comporta una valutazione dell'esposizione prudente e una conformità automatica ai VLE in tutte le condizioni di esposizione non uniformi. Al fine di semplificare la valutazione della conformità ai VLE, effettuata ai sensi dell'articolo 4, in specifiche condizioni non uniformi, nella guida pratica di cui all'articolo 14 saranno stabiliti criteri relativi alla media spaziale dei campi misurati, sulla base di una dosimetria consolidata. Qualora si tratti di una sorgente molto localizzata, distante pochi centimetri dal corpo, il campo elettrico indotto è determinato caso per caso mediante dosimetria.

Tabella B3

I LA per corrente di contatto I_C

Frequenza	LA (I_C) corrente di contatto stazionaria [mA] (RMS)
fino a 2,5 kHz	1,0
2,5 ≤ f < 100 kHz	0,4 f
100 kHz ≤ f ≤ 10 000 kHz	40

Nota B3-1: f è la frequenza espressa in kilohertz (kHz).

Livelli di azione (LA) per induzione magnetica di campi magnetici statici

Tabella B4

LA per induzione magnetica di campi magnetici statici

Rischi	LA(B_0)
Interferenza con dispositivi impiantati attivi, ad esempio stimolatori cardiaci	0,5 mT
Rischio di attrazione e propulsivo nel campo periferico di sorgenti ad alta intensità (> 100 mT)	3 mT

ALLEGATO III

EFFETTI TERMICI

VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE E LIVELLI DI AZIONE NELLA GAMMA DI FREQUENZA COMPRESA TRA 100 kHz e 300 GHz

A. VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE (VLE)

I VLE relativi agli effetti sanitari per le frequenze comprese tra 100 kHz e 6 GHz (tabella A1) sono limiti relativi a energia e potenza assorbite per unità di massa di tessuto corporeo derivanti da un'esposizione a campi elettrici e magnetici.

I VLE relativi agli effetti sensoriali per le frequenze comprese tra 0,3 e 6 GHz (tabella A2) sono limiti relativi all'energia assorbita in una piccola massa di tessuto all'interno della testa derivante da esposizione a campi elettromagnetici.

I VLE relativi agli effetti sulla salute per frequenze superiori a 6 GHz (tabella A3) sono limiti relativi alla densità di potenza di un'onda elettromagnetica incidente sulla superficie corporea.

Tabella A1

VLE relativi agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici di frequenza compresa tra 100 kHz e 6 GHz

VLE relativi agli effetti sanitari	Valori SAR mediati ogni periodo di sei minuti
VLE relativo allo stress termico su tutto il corpo espresso come SAR mediato nel corpo	0,4 Wkg^{-1}
VLE relativo allo stress termico localizzato nella testa e nel tronco espresso come SAR localizzato nel corpo	10 Wkg^{-1}
VLE relativo allo stress termico localizzato negli arti espresso come SAR localizzato negli arti	20 Wkg^{-1}

Nota A1-1: la massa adottata per mediare il SAR localizzato è pari a 10 g di tessuto contiguo; il SAR massimo ottenuto in tal modo costituisce il valore impiegato per la stima dell'esposizione. Si intende che tali 10 g di tessuto rappresentino una massa di tessuto contiguo con proprietà elettriche approssimativamente omogenee. Nello specificare una massa contigua di tessuto, si riconosce che tale concetto può essere utilizzato nella dosimetria computazionale ma può presentare difficoltà per le misurazioni fisiche dirette. Può essere utilizzata una geometria semplice, quale una massa cubica o sferica di tessuto.

VLE relativi agli effetti sensoriali per frequenze comprese tra 0,3 GHz e 6 GHz

Questo VLE relativo agli effetti sensoriali (tabella A2) è connesso alla prevenzione degli effetti uditivi provocati da esposizioni della testa a microonde pulsate.

Tabella A2

VLE relativi agli effetti sensoriali per esposizione a campi elettromagnetici di frequenze comprese tra 0,3 e 6 GHz

Gamma di frequenza	Assorbimento specifico localizzato di energia (SA)
$0,3 \leq f \leq 6$ GHz	10 $mJkg^{-1}$

Nota A2-1: la massa adottata per mediare l'SA localizzato è pari a 10 g di tessuto.

Tabella A3

VLE relativi agli effetti sanitari per esposizione a campi elettromagnetici di frequenze comprese tra 6 GHz e 300 GHz

Gamma di frequenza	VLE relativo agli effetti sanitari correlati alla densità di potenza
$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300$ GHz	50 Wm^{-2}

Nota A3-1: la densità di potenza è mediata su una superficie esposta di 20 cm^2. Le massime densità di potenza nello spazio, mediate su una superficie di 1 cm^2, non devono superare di 20 volte il valore di 50 Wm^{-2}. Le densità di potenza da frequenze comprese tra 6 e 10 GHz devono essere mediate su un periodo di sei minuti. Oltre 10 GHz la densità di potenza è mediata su un periodo di $68/f^{1,05}$ minuti (dove f è la frequenza in GHz) per compensare la graduale diminuzione della profondità di penetrazione con l'aumento della frequenza.

B. LIVELLI DI AZIONE (LA)

Per indicare i livelli di azione (LA) si utilizzano le grandezze fisiche e i valori seguenti, il cui valore quantitativo è stabilito in modo da garantire, tramite una valutazione semplificata, la conformità ai pertinenti VLE, o in corrispondenza dei quali devono essere adottate le pertinenti misure di protezione o di prevenzione di cui all'articolo 5:

— LA(E) per intensità di campo elettrico (E) di campi elettrici che variano nel tempo, come indicato nella tabella B1,

— LA(B) per induzione magnetica (B) di campi magnetici che variano nel tempo come indicato nella tabella B1,

— LA(S) per densità di potenza delle onde elettromagnetiche come indicato nella tabella B1,

— LA(I_C) per la corrente di contatto, come indicato nella tabella B2,

— LA(I_L) per la corrente attraverso gli arti, come indicato nella tabella B2.

I LA corrispondono ai valori del campo calcolati o misurati sul posto di lavoro in assenza del lavoratore, intesi come valore massimo nello spazio occupato dal corpo o di parti specifiche di questo.

Livelli di azione (LA) per esposizione a campi elettrici e magnetici

LA(E) e LA(B) derivano dai valori SAR o dai VLE di densità di potenza (tabelle A1 e A3) basati sulle soglie relative agli effetti termici interni causati dall'esposizione a campi elettrici e magnetici (esterni).

Tabella B1

LA per esposizione a campi elettrici e magnetici compresi tra 100 kHz e 300 GHz

Gamma di frequenza	Intensità di campo elettrico LA(E) [Vm^{-1}] (RMS)	Induzione magnetica LA (B) [μT] (RMS)	Densità di potenza LA(S) [Wm^{-2}]
100 kHz ≤ f < 1 MHz	$6,1 \times 10^2$	$2,0 \times 10^6/f$	—
1 ≤ f < 10 MHz	$6,1 \times 10^8/f$	$2,0 \times 10^6/f$	—
10 ≤ f < 400 MHz	61	0,2	—
400 MHz ≤ f < 2 GHz	$3 \times 10^{-3}\ f^{½}$	$1,0 \times 10^{-5}\ f^{½}$	—
2 ≤ f < 6 GHz	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	—
6 ≤ f≤ 300 GHz	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	50

Nota B1-1: f è la frequenza espressa in Hertz (Hz).

Nota B1-2: $[LA(E)]^2$ e $[LA(B)]^2$ devono essere mediati su un periodo di sei minuti. Per gli impulsi RF la densità di potenza di picco, mediata sulla durata dell'impulso, non supera di 1 000 volte il valore rispettivo di LA(S). Per campi multifrequenza l'analisi è basata sulla sommazione, come indicato nella guida pratica di cui all'articolo 14.

Nota B1-3: LA(E) e LA(B) rappresentano i valori massimi calcolati o misurati nello spazio occupato dal corpo del lavoratore. Ciò comporta una valutazione dell'esposizione prudente e una conformità automatica ai VLE in tutte le condizioni di esposizione non uniformi. Al fine di semplificare la valutazione della conformità ai VLE, effettuata ai sensi dell'articolo 4, in specifiche condizioni non uniformi, nella guida pratica di cui all'articolo 14 saranno stabiliti criteri relativi alla media spaziale dei campi misurati, sulla base di una dosimetria consolidata. Qualora si tratti di una sorgente molto localizzata, distante pochi centimetri dal corpo, la conformità ai VLE è determinata caso per caso mediante dosimetria.

Nota B1-4: la densità di potenza è mediata su una superficie esposta di 20 cm^2. Le massime densità di potenza nello spazio, mediate su una superficie di 1 cm^2, non devono superare di 20 volte il valore di 50 Wm^{-2}. Le densità di potenza da frequenze comprese tra 6 e 10 GHz devono essere mediate su un periodo di sei minuti. Oltre 10 GHz la densità di potenza è mediata su un periodo di $68/f^{1,05}$ minuti (dove f è la frequenza in GHz) per compensare la graduale diminuzione della profondità di penetrazione, con l'aumento della frequenza.

Tabella B2

LA per le correnti di contatto stazionarie e le correnti indotte attraverso gli arti

Gamma di frequenza	Corrente di contatto stazionaria LA(I_C) [mA] (RMS)	Corrente indotta attraverso qualsiasi arto LA(I_L) [mA] (RMS)
100 kHz ≤ f < 10 MHz	40	—
10 MHz ≤ f ≤ 110 MHz	40	100

Nota B2-1: $[AL(I_L)]^2$ deve essere mediata su un periodo di sei minuti.

ALLEGATO IV

Tavola di concordanza

Direttiva 2004/40/CE	La presente direttiva
Articolo 1, paragrafo 1	Articolo 1, paragrafo 1
Articolo 1, paragrafo 2	Articolo 1, paragrafi 2 e 3
Articolo 1, paragrafo 3	Articolo 1, paragrafo 4
Articolo 1, paragrafo 4	Articolo 1, paragrafo 5,
Articolo 1, paragrafo 5	Articolo 1, paragrafo 6,
Articolo 2, lettera a)	Articolo 2, lettera a)
—	Articolo 2, lettera b)
—	Articolo 2, lettera c)
Articolo 2, lettera b)	Articolo 2, lettere d), e) e f)
Articolo 2, lettera c)	Articolo 2, lettera g)
Articolo 3, paragrafo 1	Articolo 3, paragrafo 1
Articolo 3, paragrafo 2	Articolo 3, paragrafo 1
—	Articolo 3, paragrafo 2
Articolo 3, paragrafo 3	Articolo 3, paragrafi 2 e 3
—	Articolo 3, paragrafo 4
Articolo 4, paragrafo 1	Articolo 4, paragrafo 1
Articolo 4, paragrafo 2	Articolo 4, paragrafi 2 e 3
Articolo 4, paragrafo 3	Articolo 4, paragrafo 3
Articolo 4, paragrafo 4	Articolo 4, paragrafo 4
Articolo 4, paragrafo 5, lettera a)	Articolo 4, paragrafo 5, lettera b)
Articolo 4, paragrafo 5, lettera b)	Articolo 4, paragrafo 5, lettera a)
—	Articolo 4, paragrafo 5, lettera c)
Articolo 4, paragrafo 5, lettera c)	Articolo 4, paragrafo 5, lettera d)
Articolo 4, paragrafo 5, lettera d)	Articolo 4, paragrafo 5, lettera e)
Articolo 4, paragrafo 5, lettera d), punto i)	—
Articolo 4, paragrafo 5, lettera d), punto ii)	—
Articolo 4, paragrafo 5, lettera d), punto iii)	—

Direttiva 2004/40/CE	La presente direttiva
Articolo 4, paragrafo 5, lettera d), punto iv)	—
Articolo 4, paragrafo 5, lettera e)	Articolo 4, paragrafo 5, lettera f)
Articolo 4, paragrafo 5, lettera f)	Articolo 4, paragrafo 5, lettera g)
—	Articolo 4, paragrafo 5, lettera h)
—	Articolo 4, paragrafo 5, lettera i)
Articolo 4, paragrafo 5, lettera g)	Articolo 4, paragrafo 5, lettera j)
Articolo 4, paragrafo 5, lettera h)	Articolo 4, paragrafo 5, lettera k)
—	Articolo 4, paragrafo 6
Articolo 4, paragrafo 6	Articolo 4, paragrafo 7
Articolo 5, paragrafo 1	Articolo 5, paragrafo 1
Articolo 5, paragrafo 2, parte introduttiva	Articolo 5, paragrafo 2, parte introduttiva
Articolo 5, paragrafo 2, lettere da a) a c)	Articolo 5, paragrafo 2, lettere da a) a c)
—	Articolo 5, paragrafo 2, lettera d)
—	Articolo 5, paragrafo 2, lettera e)
Articolo 5, paragrafo 2, lettere da d) a g)	Articolo 5, paragrafo 2, lettere da f) a i)
—	Articolo 5, paragrafo 4
Articolo 5, paragrafo 3	Articolo 5, paragrafo 5
—	Articolo 5, paragrafo 6
—	Articolo 5, paragrafo 7
Articolo 5, paragrafo 4	Articolo 5, paragrafo 8
—	Articolo 5, paragrafo 9
Articolo 5, paragrafo 5	Articolo 5, paragrafo 3
Articolo 6, parte introduttiva	Articolo 6, parte introduttiva
Articolo 6, lettera a)	Articolo 6, lettera a)
Articolo 6, lettera b)	Articolo 6, lettera b)
—	Articolo 6, lettera c)
Articolo 6, lettera c)	Articolo 6, lettera d)
Articolo 6, lettera d)	Articolo 6, lettera e)
—	Articolo 6, lettera f)

Direttiva 2004/40/CE	La presente direttiva
Articolo 6, lettera e)	Articolo 6, lettera g)
Articolo 6, lettera f)	Articolo 6, lettera h)
—	Articolo 6, lettera i)
Articolo 7	Articolo 7
Articolo 8, paragrafo 1	Articolo 8, paragrafo 1
Articolo 8, paragrafo 2	—
Articolo 8, paragrafo 3	Articolo 8, paragrafo 2
Articolo 9	Articolo 9
—	Articolo 10
Articolo 10, paragrafo 1	Articolo 11, paragrafo 1, lettera c)
Articolo 10, paragrafo 2, lettera a)	Articolo 11, paragrafo 1, lettera a)
Articolo 10, paragrafo 2, lettera b)	Articolo 11, paragrafo 1, lettera b)
Articolo 11	—
—	Articolo 12
—	Articolo 13
—	Articolo 14
—	Articolo 15
Articolo 13, paragrafo 1	Articolo 16, paragrafo 1
Articolo 13, paragrafo 2	Articolo 16, paragrafo 2
—	Articolo 17
Articolo 14	Articolo 18
Articolo 15	Articolo 19
Allegato	Allegato I; allegato II e allegato III
—	Allegato IV

KE-04-15-140-IT-N

La direttiva 2013/35/UE stabilisce le disposizioni minime di sicurezza relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici. La presente guida pratica è stata elaborata per aiutare i datori di lavoro, in particolare nelle piccole e medie imprese (PMI), a capire che cosa sia necessario fare per conformarsi alla direttiva, ma può essere utile anche per i lavoratori, i rappresentanti dei lavoratori e le autorità di regolamentazione degli Stati membri. Essa è costituita da due volumi e da una guida specifica per le PMI.

Il volume 1 della guida pratica fornisce consigli per l'esecuzione della valutazione del rischio ed altre informazioni sulle opzioni disponibili nel caso in cui i datori di lavoro debbano adottare ulteriori misure di protezione o di prevenzione.

Il volume 2 presenta dodici studi di casi che spiegano ai datori di lavoro come effettuare le valutazioni ed illustrano alcune delle misure di prevenzione e di protezione che potrebbero scegliere ed applicare. Gli studi di casi sono presentati nel contesto di luoghi di lavoro comuni, ma sono stati svolti sulla base di situazioni di lavoro reali.

La Guida per le PMI offre assistenza per una valutazione iniziale dei rischi derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro. In base ai suoi risultati, la valutazione aiuta a decidere se è necessario adottare ulteriori misure in conformità alla direttiva relativa ai campi elettromagnetici.

La presente pubblicazione è disponibile in formato elettronico in tutte le lingue ufficiali dell'UE.

È possibile scaricare le pubblicazioni o abbonarsi gratuitamente sul sito
http://ec.europa.eu/social/publications
Per ricevere aggiornamenti periodici sulla direzione generale per l'Occupazione, gli affari sociali e l'inclusione è necessario iscriversi per ricevere gratuitamente la newsletter Social Europe e-newsletter ai seguenti indirizzi
http://ec.europa.eu/social/e-newsletter
https://www.facebook.com/socialeurope
https://twitter.com/EU_Social

Ufficio delle pubblicazioni

doi:10.2767/18647
ISBN 978-92-79-45901-6