SMART DPI

INAIL

Prospettive, applicazione, gestione

2025

COLLANA **SALUTE E SICUREZZA**

SMART DPI

INAIL

Prospettive, applicazione, gestione

2025

Pubblicazione realizzata da

Inail
Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza

Autori
Maria Rosaria Fizzano[1], Alessandro Ledda[2], Rosaria Falsaperla[3], Ruggero Maialetti[1], Cinzia Frascheri[4], Fabrizio Marra[5], Cecilia Vivarelli[6]

Collaborazioni
Federico Pecoraro[7]

[1] Inail, Consulenza tecnica salute e sicurezza
[2] Inail, Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici
[3] Inail, Dipartimento medicina, epidemiologia, igiene del lavoro ed ambientale
[4] Giuslavorista, Dipartimento nazionale CISL Salute e Sicurezza sul Lavoro
[5] Sapienza Università
[6] Istituto Superiore Sanità
[7] Accredia

Per informazioni
Inail – Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza
Via Roberto Ferruzzi, 40 - 00143 Roma
ctss@inail.it
www.inail.it

© 2025 Inail

ISBN 978-88-7484-919-2

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nella pubblicazione, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.
Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

Tipolitografia Inail - Milano, maggio 2025

PREFAZIONE

I dispositivi di protezione individuale - DPI - sono dispositivi utilizzati come l'ultimo baluardo per la protezione di chi li indossa dalle conseguenze di un incidente. Il loro utilizzo è parte di una strategia che inizia dalla individuazione e valutazione dei rischi ed è solo successiva alla prioritaria implementazione di misure di prevenzione e misure di protezione collettiva volte a ridurre i rischi presenti.
Fra le più interessanti novità che coinvolgono i DPI, spicca senza dubbio l'applicazione delle tecnologie innovative, in particolare di quelle legate al cosiddetto internet of things (IoT).
L'utilizzo di DPI integrati con tecnologie di comunicazione nell'ambito delle soluzioni per tutela dei lavoratori apre a prospettive innovative in cui gli stessi DPI, tradizionalmente legati al concetto di protezione, evolvono verso l'avere un ruolo nel campo della prevenzione.
Infatti, proprio grazie all'impiego delle tecnologie IoT, è ipotizzabile per il futuro un ampliamento del ruolo dei DPI che li può portare a diventare parte "attiva" di un sistema di prevenzione, destinato a svilupparsi e a contribuire al miglioramento delle condizioni di lavoro. La possibilità di applicare sensori, in grado di ricevere e inviare segnali, apre a diverse prospettive sia per le aziende che per i lavoratori.
Ad esempio, tramite DPI "connessi" si potranno gestire le aree ad accesso controllato, evitando che vi entrino persone non autorizzate o che comunque non indossano gli opportuni dispositivi di protezione; parimenti può essere aumentato il livello di affidabilità dei sistemi di sicurezza previsti su un macchinario, ad esempio predisponendo la sua attivazione solo dopo rilevazione del DPI indossato.
Questi sistemi possono permettere di accedere alle informazioni relative allo stato di idoneità del DPI, alle istruzioni di uso e manutenzione del DPI stesso, a procedure e metodi di lavoro aziendali; nel caso di tag attivi, poi, possono essere introdotte funzionalità utilizzabili a vantaggio e sostegno del livello di sicurezza del lavoratore come, per esempio, la segnalazione del mancato o non corretto utilizzo dei DPI, il rilievo di parametri al fine di consentire un soccorso tempestivo in caso di incidente, la segnalazione diretta ed immediata della prossimità di un pericolo come macchinari in movimento.
Occorre tenere presente che il possesso di questi dati, che consentono di proteggere le persone da situazioni di rischio anche molto elevate, deve poter consentire modalità di intervento tempestive. Occorre considerare e riflettere anche sulle responsabilità connesse a tali opportunità di controllo e di azione per la tutela delle persone che lavorano.
L'aggiunta del tag deve sempre avvenire in modo che non sia modificata l'efficacia protettiva del DPI stesso. Questo sia nel caso che il tag venga apposto da uno degli operatori economici individuati nella catena di approvvigionamento (fabbricante, mandatario, importatore, distributore) o che ciò avvenga a cura del datore di lavoro,

il quale deve comunque garantire che il DPI mantenga inalterata la sua efficacia protettiva e che il tag non costituisca un ulteriore pericolo.
Inoltre, l'impiego di queste tecnologie nell'uso dei DPI deve avvenire nel pieno rispetto della riservatezza dei dati e non essere utilizzata per il tracciamento delle persone che li indossano.
Gli aspetti tecnici e tecnologici si sposano con le necessità organizzative e gestionali senza le quali l'impiego di questi sistemi può portare pochi vantaggi e molte difficoltà.
Di ciò si è occupata anche la normazione tecnica con la pubblicazione di un rapporto tecnico edito da UNI nel mese di aprile del 2022 con il titolo di UNI TR 11858:2022 "Tecnologie IoT nell'impiego dei DPI – Indicazioni relative all'integrazione di sistemi elettronici nella gestione e nell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuali".
Con questa pubblicazione, a cui partecipano una molteplicità di esperti coinvolti a vario titolo su questa interessante e innovativa tematica, si cerca di offrire una panoramica dello stato delle cose, delle questioni risolte e soprattutto di molte ancora da affrontare.
Lo sguardo da diversi punti di vista offerto da questo testo, si ritiene possa essere d'aiuto a tutti coloro che si accingono a gestire, anche con modalità innovative, la prevenzione e la protezione dei lavoratori nelle diverse realtà lavorative.

Il Coordinatore generale Ctss
Fabrizio Benedetti

INDICE

PREMESSA 7

1. DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE 9
1.1 DPI e SMART DPI 9
1.2 Il Regolamento UE 2016/425 – cenni 12
1.3 DPI e il d.lgs. 81/2208: criteri di scelta e uso 21

2. APPLICAZIONI DELLA TECNOLOGIA IOT AI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE PER LA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO 25
2.1 Concetti introduttivi 25
2.2 Panoramica di alcune delle principali tecnologie di IoT e Industria 4.0 27
2.3 Esempi applicativi della Tecnologia IoT per aumentare la sicurezza dei lavoratori 28
2.4 Sensoristica Wearable e Nanotecnologia 29

3. RISPETTO DEI RESS DA PARTE DI SMART DPI 33

4. PROBLEMATICHE PER L'ADOZIONE IN AZIENDA 35
4.1 Opportunità e necessarie tutele dell'IA nel lavoro 35
Priorità: Gestire il cambiamento

5. ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI 45
5.1 Normativa 45
5.2 Valutazione del rischio 49
5.3 Portatori di dispositivi medici impiantabili e indossabili 52
5.3. 1 Aspetti protezionistici e valutazione del rischio 52
5.3. 2 Lavoratori portatori di DMIA 54
5.3. 3 Lavoratori portatori di DMI 58
5.3. 4 Lavoratori con DMIA O DMI e portatori di DPI SMART 61

6. DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE CONTRO I RISCHI DI NATURA ELETTRICA 63
6.1 Premessa 63
6.2 L'innesco delle atmosfere esplosive 63
6.3 Lavori sotto tensione 69
6.4 Possibile impatto della IoT nell'uso dei DPI 74
6.4.1 Gestione della data di scadenza, della durata di utilizzo e dell'assegnazione ai portatori 75
6.4.2 Pianificazione e registrazione delle attività di manutenzione e dei controlli periodici 75

6.4.3 Verifica o stimolo all'effettivo corretto utilizzo 75
6.4.4 Gestione delle aree ad accesso controllato 76
6.4.5 Segnalazione pericoli imminenti 76
6.5 Esempi di applicazione di sensori contro i rischi di natura elettrica a DPI previsti contro rischi di natura non elettrica 78

BIBLIOGRAFIA 81

NORME CITATE 85

PREMESSA

Questa pubblicazione affronta diversi argomenti che interessano chi si accinge ad approfondire il tema dei DPI cosiddetti smart, ossia dei dispositivi di protezione individuale integrati con nuove tecnologie con la finalità di una maggiore sicurezza e una maggiore efficienza operativa.
Nasce da un'esperienza formativa in cui i temi approfonditi in questa pubblicazione sono stati affrontati in un breve ma intenso percorso formativo e successivamente si è deciso di pubblicare i contributi dei singoli relatori per produrre un testo che potesse rappresentarne gli atti.
Per questo motivo, gli argomenti trattati nei vari capitoli sono diversi e indipendenti tra loro; il linguaggio utilizzato non è omogeneo, talora ha sfumature più tecniche, talora è di tipo più giuridico.
Ogni capitolo affronta una tematica specifica, di rilievo per avere una visione completa di come l'evoluzione tecnologica sta modificando sia i prodotti che il ruolo dei DPI.
Nel primo capitolo - Dispositivi di protezione individuale – sono richiamati le definizioni e i principali obblighi legislativi in capo a chi fabbrica e a chi adotta DPI; nel secondo - Possibili applicazioni per il miglioramento della salute e sicurezza- si richiamano le potenzialità dei sistemi innovativi di protezione.
Nel terzo capitolo - Rispetto dei RESS da parte di smart DPI- si affronta il tema della certificazione dei dispositivi di tipo smart e, successivamente si affrontano i temi della gestione del cambiamento seguente all'implementazione dei sistemi smart nelle organizzazioni (capitolo quarto) e della valutazione del rischio, in particolare nel caso di presenza di portatori di dispositivi medici impiantabili e indossabili (capitolo cinque).
Infine, nel capitolo sesto, viene presentato il caso specifico dei DPI per la protezione da rischio elettrico.
Ogni capitolo può essere letto in modo indipendente, ma nel loro complesso, i capitoli offrono un'interessante opportunità di approfondimento e confronto incrociato tra normativa, evoluzione tecnologia e applicazioni.

1. DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

1.1 DPI e SMART DPI

Il termine “dispositivo di protezione individuale” (DPI) indica un dispositivo, un’attrezzatura o un equipaggiamento progettato per proteggere chi lo indossa o lo porta con sé da rischi a cui lo stesso soggetto è esposto.
I requisiti per la progettazione e la fabbricazione dei DPI messi a disposizione sul mercato, al fine di garantire la protezione della salute e della sicurezza degli utilizzatori, sono oggetto del Regolamento (UE) 2016/425 [1] che stabilisce anche le norme sulla libera circolazione dei DPI nell'Unione europea.

Definizione Regolamento UE 2016/425
«dispositivi di protezione individuale»

a) dispositivi progettati e fabbricati per essere indossati o tenuti da una persona per proteggersi da uno o più rischi per la sua salute o sicurezza;
b) componenti intercambiabili dei dispositivi di cui alla lettera a), essenziali per la loro funzione protettiva;
c) sistemi di collegamento per i dispositivi di cui alla lettera a) che non sono tenuti o indossati da una persona, che sono progettati per collegare tali dispositivi a un dispositivo esterno o a un punto di ancoraggio sicuro, che non sono progettati per essere collegati in modo fisso e che non richiedono fissaggio prima dell'uso.

L’applicazione delle tecnologie di interconnessione, ad esempio dell’internet of things, ai DPI sta portando alla presenza sul mercato di prodotti intelligenti, cosiddetti smart, dotati di sensori che sono in grado di inviare e ricevere segnali.
La grande novità dei DPI intelligenti è proprio quella di fondere l’elettronica con il DPI tradizionale, apportando una serie di funzionalità che vanno oltre la tradizionale protezione e offrendo possibilità del tutto nuove, specie dal punto di vista della prevenzione.

Una definizione dei sistemi di protezione individuale smart è specificata nel rapporto tecnico CEN/TR 17512:2020.

Definizione CEN/TR 17512:2020
«DPI Intelligenti»

I DPI intelligenti consistono nella combinazione di DPI tradizionali, che proteggono chi li indossa o li porta da uno o più rischi a cui è esposto, con materiali o parti intelligenti che rispondono in modo voluto e sfruttabile a segnali/input esterni o a modifiche dell'ambiente circostante.

Analoga definizione di «sistemi di protezione individuale smart» è specificata anche nella norma ISO 11610:2023. Va sottolineato che la presenza di parti elettroniche non rende automaticamente smart un DPI; potrebbero esserci altre modalità per rendere smart un DPI. In ogni caso la peculiarità di un DPI smart è la capacità di rispondere in modo voluto e sfruttabile a input esterni, permettendo in tal modo di avere informazioni circa per es. l'ambiente in cui si trova il portatore o la stessa persona che indossa il DPI. Questa caratteristica rende gli smart DPI ben distinti dai DPI tradizionali, in quanto alla funzione di protezione aggiunge la possibilità di agire sul fronte della prevenzione.

L'EU-Osha ha pubblicato il documento "Smart personal protective equipment: intelligent protection for the future" [2] che prende in esame i cambiamenti apportati dall'introduzione di dispositivi di protezione individuale (DPI) intelligenti nel luogo di lavoro. I DPI intelligenti associano sistemi tradizionali di protezione con materiali o componenti elettronici avanzati e possono registrare dati sull'utente, l'ambiente di lavoro o l'uso del dispositivo stesso. Benché tali nuove tecnologie promettano una sicurezza e un confort migliori per i lavoratori, vi sono ancora diversi problemi da risolvere per garantire che possano essere usati e accettati in ambito lavorativo. Nella seguente figura 1 è riportata la classificazione dei DPI smart proposta da EU-Osha.

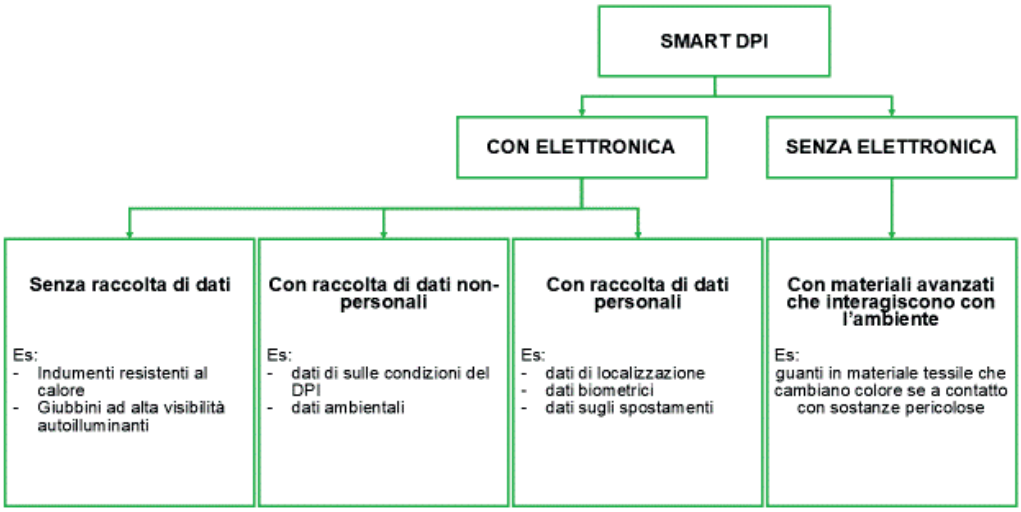


Figura 1: classificazione dei DPI smart proposta da EU-Osha

In molti casi queste nuove tipologie di DPI sono ancora oggetto di ricerca e perfezionamento; in qualche caso, invece, nuovi tipi di DPI sono già stati introdotti sul mercato e sono già stati redatti i relativi documenti normativi. Ad esempio, in Germania è stato pubblicato il rapporto tecnico DIN/TS 91418:2021[1] che specificatamente riguarda indumenti di segnalazione con illuminazione attiva.
Sono anche stati redatti alcuni documenti dal CEN:

- CEN/TR 17512: 2020 - smart garments – Terms and definitions;
- CEN/TR 17260: 2021 – guidelines for selection, use, care and maintenance of smart garments for protecting against heat and flame;
- EN 17673: 2022 - protecting against heat and flame – Requirements and test methods for garments with integrated smart textiles and no- textile elements.

[1] DIN/TS 91418:2021 - Warning clothing with active lighting in addition to DIN EN ISO 20471 and DIN EN 17353 - Equipment for active luminous warning clothing - Test methods and requirements.

1.2 Il Regolamento UE 2016/425 – cenni

Il Regolamento UE 2016/425 stabilisce i requisiti per la progettazione e la fabbricazione dei DPI che devono essere messi a disposizione sul mercato, al fine di garantire la protezione della salute e della sicurezza degli utilizzatori; il Regolamento stabilisce anche le norme sulla libera circolazione dei DPI nell'Unione.
I DPI sono messi a disposizione sul mercato solo se soddisfano i requisiti indicati nel Regolamento e non mettono a rischio la salute o la sicurezza delle persone, gli animali domestici o i beni.

Il Regolamento si applica a tutti i DPI, tranne a quelli esplicitamente esclusi. Gli esclusi sono indicati nell'art. 2:

a) progettati specificamente per essere usati dalle forze armate o nel mantenimento dell'ordine pubblico;
b) progettati per essere utilizzati per l'autodifesa, ad eccezione dei DPI destinati ad attività sportive;
c) progettati per l'uso privato per proteggersi da:
   - condizioni atmosferiche non estreme;
   - umidità e acqua durante la rigovernatura;
d) da utilizzare esclusivamente su navi marittime o aeromobili oggetto dei pertinenti trattati internazionali applicabili negli Stati membri;
e) per la protezione della testa, del viso o degli occhi degli utilizzatori, oggetto del Regolamento n. 22 della Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite concernente prescrizioni uniformi relative all'omologazione dei caschi e delle relative visiere per conducenti e passeggeri di motocicli e ciclomotori.

Il Regolamento classifica i DPI in tre categorie di rischio (Tabella 1), in base alla gravità del rischio da cui i DPI sono destinati a proteggere gli utilizzatori.

Categoria 1	comprende esclusivamente i seguenti rischi minimi: a) lesioni meccaniche superficiali; b) contatto con prodotti per la pulizia poco aggressivi o contatto prolungato con l'acqua; c) contatto con superfici calde che non superino i 50 °C; d) lesioni oculari dovute all'esposizione alla luce del sole (diverse dalle lesioni dovute all'osservazione del sole); e) condizioni atmosferiche di natura non estrema.	
Categoria 2	comprende i rischi diversi da quelli elencati nelle categorie I e III.	
Categoria 3	comprende esclusivamente i rischi che possono causare conseguenze molto gravi quali morte o danni alla salute irreversibili con riguardo a quanto segue: a) sostanze e miscele pericolose per la salute; b) atmosfere con carenza di ossigeno; c) agenti biologici nocivi; d) radiazioni ionizzanti; e) ambienti ad alta temperatura aventi effetti comparabili a quelli di una temperatura dell'aria di almeno 100 °C; f) ambienti a bassa temperatura aventi effetti comparabili a quelli di una temperatura dell'aria di – 50 °C o inferiore; g) cadute dall'alto; h) scosse elettriche e lavoro sotto tensione; i) annegamento; j) tagli da seghe a catena portatili; k) getti ad alta pressione; l) ferite da proiettile o da coltello; m) rumore nocivo.	

Tabella 1: categorie di rischio dei DPI

Indipendentemente dalla categoria di appartenenza, un DPI deve soddisfare i Requisiti essenziali di salute e di sicurezza (RESS), riportati nell'allegato II del Regolamento e il fabbricante deve produrre la documentazione riportata nell'allegato III dello stesso Regolamento (Tabella 2).

La documentazione tecnica deve comprendere almeno gli elementi seguenti:

a) una descrizione completa del DPI e dell'uso cui è destinato;

b) una valutazione dei rischi da cui il DPI è destinato a proteggere;

c) un elenco dei RESS applicabili al DPI;

d) disegni e schemi di progettazione e fabbricazione del DPI e dei suoi componenti, sottoinsiemi e circuiti;

e) le descrizioni e le spiegazioni necessarie alla comprensione dei disegni e degli schemi di cui alla lettera d) e del funzionamento del DPI;

f) i riferimenti delle norme armonizzate che sono state applicate per la progettazione e la fabbricazione del DPI. In caso di applicazione parziale delle norme armonizzate, la documentazione deve specificare le parti che sono state applicate;

g) se le norme armonizzate non sono state applicate o lo sono state solo parzialmente, la descrizione delle altre specifiche tecniche che sono state applicate al fine di soddisfare i RESS applicabili;

h) i risultati dei calcoli di progettazione, delle ispezioni e degli esami effettuati per verificare la conformità del DPI ai RESS applicabili;

i) relazioni sulle prove effettuate per verificare la conformità del DPI ai RESS applicabili;

j) una descrizione dei mezzi usati dal fabbricante durante la produzione del DPI per garantire la conformità del DPI fabbricato alle specifiche di progettazione;

k) una copia delle istruzioni e delle informazioni del fabbricante;

l) per i DPI prodotti come unità singole per adattarsi a un singolo utilizzatore, tutte le istruzioni necessarie per la fabbricazione di tali DPI sulla base del modello di base approvato;

m) per i DPI prodotti in serie in cui ciascun articolo è fabbricato per adattarsi a un singolo utilizzatore, una descrizione delle misure che devono essere prese dal fabbricante durante il montaggio e il processo di produzione per garantire che ciascun esemplare di DPI sia conforme al tipo omologato e ai RESS applicabili.

Tabella 2: elementi contenuti nella documentazione tecnica

Quindi, all'atto dell'immissione sul mercato dei DPI, i fabbricanti garantiscono che essi siano stati progettati e fabbricati conformemente ai RESS e redigono la "documentazione tecnica", eseguendo o facendo eseguire la pertinente procedura di valutazione della conformità, che ha lo scopo di dimostrare la conformità del DPI ai RESS applicabili. Se tale conformità viene dimostrata secondo la procedura appropriata, i fabbricanti redigono la dichiarazione di conformità UE a norma dell'art. 15 e appongono la marcatura CE di cui all'art. 16.

Una schematizzazione delle procedure da utilizzare ai fini della valutazione della conformità per ognuna delle categorie di rischio è riportata in figura 2.

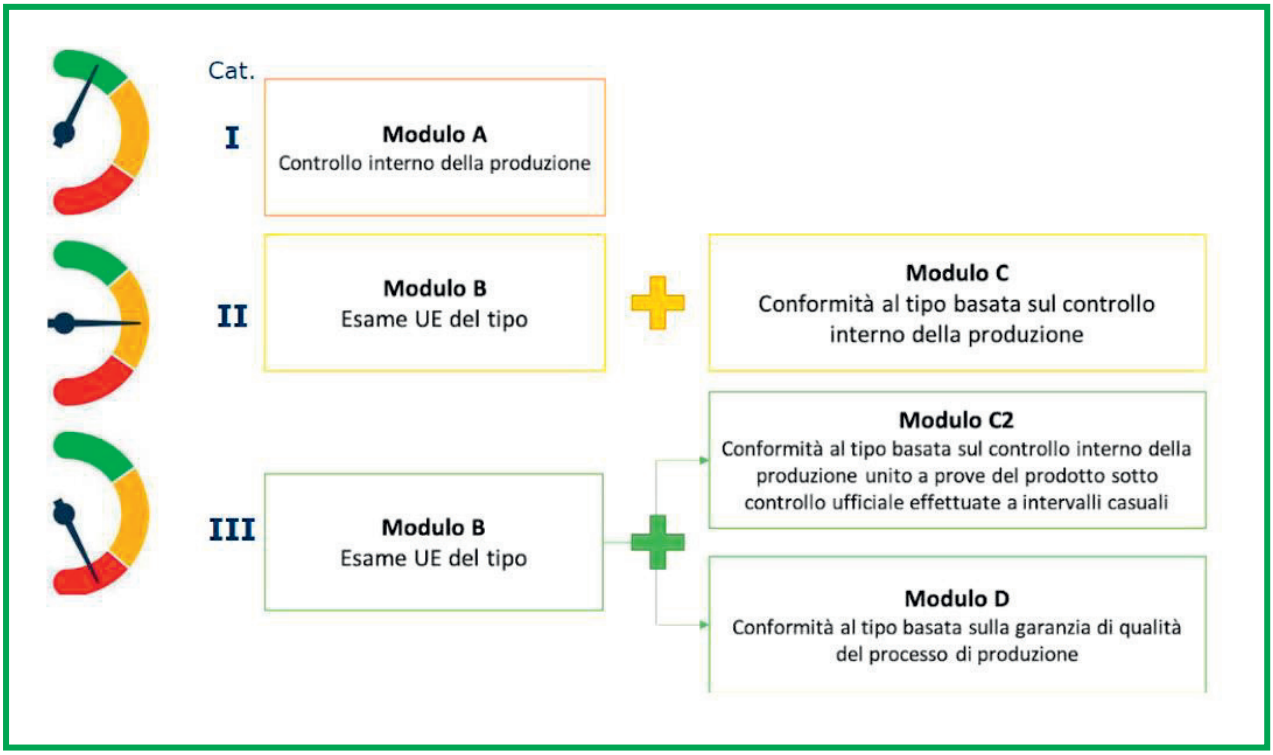


Figura 2: schema delle procedure di valutazione della conformità

I fabbricanti garantiscono che siano predisposte le procedure necessarie affinché la produzione in serie continui a essere conforme al Regolamento e tengono debitamente conto delle modifiche della progettazione o delle caratteristiche del DPI, nonché delle modifiche delle norme armonizzate o delle altre specifiche tecniche in riferimento alle quali è dichiarata la conformità del DPI.

L'art. 14 del Regolamento sancisce il principio della presunzione di conformità di un DPI.

> Regolamento UE 2016/425 – art. 14
> «Presunzione di conformità del DPI»
>
> Un DPI conforme alle norme armonizzate o alle parti di esse i cui riferimenti sono stati pubblicati nella Gazzetta ufficiale dell'Unione europea è considerato conforme ai requisiti essenziali di salute e di sicurezza di cui all'allegato II, contemplati da tali norme o parti di esse.

Se il fabbricante utilizza una o più norme armonizzate segue una corsia privilegiata per la dichiarazione di aver soddisfatto i RESS applicabili al DPI, poiché le norme armonizzate dichiarano esse stesse quali requisiti del Regolamento soddisfano: per ciascuna norma armonizzata, l'allegato ZA dichiara la conformità.
Se il fabbricante non utilizza una o più norme armonizzate, ma si riferisce ad altre specifiche tecniche (proprie o meno), avrà l'onere di fornire prova di conformità ai RESS applicabili dell'Allegato II, in quanto la specifica utilizzata è priva di «presunzione di conformità».

> Le norme armonizzate sono emesse ai sensi dell'articolo 2, punto 1, lettera c), del regolamento (UE) n. 1025/2012.
> Sono norme europee emesse dagli organismi europei di normazione (CEN, CENELEC ed ETSI), preparate in base agli orientamenti generali adottati dalla Commissione Europea, su mandato della Commissione Europea, previa consultazione con gli Stati.
> Quando i loro riferimenti sono pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea (GUCE), conferiscono la conformità.

Per i DPI di categoria I la procedura di valutazione della conformità prevede il controllo interno della produzione. Il fabbricante, sotto la sua esclusiva responsabilità:

- predispone la documentazione tecnica descritta nell'allegato III;
- prende tutte le misure necessarie affinché il processo di fabbricazione e il suo controllo garantiscano la conformità del DPI alla documentazione tecnica e ai requisiti applicabili del Regolamento;
- appone la marcatura CE su ciascun esemplare di DPI;
- redige una dichiarazione di conformità e la tiene, insieme alla documentazione tecnica, a disposizione delle autorità nazionali per dieci anni dalla data di immissione sul mercato del DPI.

Per i DPI di categoria II e III la procedura di valutazione della conformità prevede l'esame UE del tipo, ossia un soggetto terzo, denominato organismo notificato, esamina il progetto tecnico del DPI al fine di verificare e poi certificare che esso soddisfi i requisiti del Regolamento. In sostanza l'organismo notificato valuta l'adeguatezza del progetto tecnico alle disposizioni applicabili delle norme armonizzate pertinenti o, qualora queste non siano state prese in considerazione, di altre specifiche tecniche. Questa fase prevede anche l'esame di un campione rappresentativo della produzione prevista; l'organismo notificato effettua o fa effettuare esami e prove sui campioni, per controllarne l'effettiva conformità alle norme armonizzate, o alle altre specifiche tecniche adottate dal fabbricante. L'organismo notificato redige una relazione di valutazione (che elenca le attività intraprese e specifica se il DPI soddisfa i RESS applicabili) e rilascia al fabbricante il Certificato di esame UE del Tipo. Il periodo di validità del Certificato, sia di nuova emissione che di rinnovato, non è superiore a cinque anni.
È onere del fabbricante informare l'organismo notificato di tutte le eventuali modifiche apportate al tipo omologato e di tutte le modifiche apportate alla documentazione tecnica che potrebbero incidere sulla conformità del DPI ai RESS applicabili o sulle condizioni di validità del certificato. Tali modifiche comportano una nuova approvazione sotto forma di supplemento del Certificato di esame UE del tipo originario.
Dall'altro lato l'organismo notificato segue l'evoluzione dello stato della tecnica e ha l'onere di valutare se il tipo di DPI omologato non è più conforme ai RESS applicabili. Nel caso l'evoluzione della tecnica sia tale da far richiedere ulteriori indagini sul DPI, ne informa il fabbricante.
Il fabbricante tiene a disposizione delle autorità nazionali una copia del Certificato di esame UE del Tipo, dei relativi allegati e supplementi, unitamente alla documentazione tecnica, per dieci anni dalla data di immissione sul mercato del DPI.

Nel caso di DPI di categoria II, la procedura di valutazione della conformità prevede anche il controllo interno della produzione.

Nel caso di DPI di categoria III, la procedura di valutazione della conformità prevede anch'essa il controllo interno della produzione ma unito a prove del prodotto sotto controllo ufficiale. Le prove per verificare la conformità del prodotto e l'omogeneità della produzione sono svolte dall'organismo notificato, almeno una volta l'anno, a intervalli e luoghi casuali stabiliti dallo stesso organismo notificato (sorveglianza). Se l'esito rivela una produzione non omogenea o un DPI non conforme al tipo descritto nel Certificato di esame UE del tipo o ai RESS applicabili, l'organismo notificato adotta le misure opportune secondo i difetti riscontrati e ne informa l'autorità di notifica. Al fabbricante viene rilasciata una relazione di prova che deve essere tenuta a disposizione delle autorità nazionali per dieci anni a decorrere dall'immissione sul mercato del DPI. Per i DPI di categoria III, durante il processo di fabbricazione, il fabbricante appone, sotto la responsabilità dell'organismo notificato, il numero d'identificazione di quest'ultimo e redige una dichiarazione scritta di Conformità UE che tiene a

disposizione delle autorità nazionali per dieci anni dalla data di immissione sul mercato del DPI.

Come alternativa, nel caso di DPI di categoria III, la procedura di valutazione della conformità può essere basata sulla garanzia di qualità del processo di produzione. In questo caso il fabbricante adotta un sistema di gestione per la qualità e tutti i criteri, i requisiti e le disposizioni adottati sono documentati in modo sistematico e ordinato sotto forma di procedure e istruzioni scritte.
Il fabbricante presenta una domanda di verifica del proprio sistema di qualità ad un organismo notificato di sua scelta, che effettua appositi audit.
L'audit prevede una visita di valutazione presso gli stabilimenti del fabbricante e vengono esaminati la documentazione tecnica del DPI al fine di verificare la capacità del fabbricante di individuare e soddisfare il RESS applicabili e di effettuare le prove necessarie atte a garantire la conformità del DPI a tali requisiti.
Il fabbricante si impegna ad adempiere gli obblighi derivanti dal sistema di gestione approvato e a far sì che tale sistema rimanga adeguato ed efficace. In caso di necessità di modifica del sistema di gestione, il fabbricante informa l'organismo notificato, il quale valuta le modifiche proposte e decide se il sistema di gestione modificato continuerà a soddisfare i requisiti o se sia necessaria una seconda valutazione.
Anche per questa procedura alternativa, su ogni singolo DPI conforme al tipo descritto nel Certificato di Esame UE del Tipo e che soddisfa i RESS applicabili, il fabbricante appone la marcatura CE e, sotto la responsabilità dell'organismo notificato, il numero d'identificazione di quest'ultimo e redige una dichiarazione di Conformità UE e la tiene a disposizione delle Autorità Nazionali per dieci anni dalla data di immissione sul mercato del DPI.

In tutte le procedure il fabbricante deve:

- ✓ produrre la **documentazione tecnica** prevista dall'allegato III del regolamento UE 2016/425;
- ✓ redigere la **Dichiarazione di Conformità, che** deve accompagnare il DPI o può essere reso disponibile ad es. tramite il sito web. Il contenuto è definito dall'Allegato IX del regolamento.

Nei casi in cui il fabbricante non sia stabilito nella UE, gli obblighi dei fabbricanti ricadono sugli operatori economici che il Regolamento individua negli importatori e nei distributori (artt. 12 e 13).
Tutti i DPI devono essere corredati dalle "Istruzioni e informazioni del fabbricante" (tabella 3). Queste devono essere comprensibili, complete e corrette ed essere redatte nella lingua del paese in cui il DPI viene utilizzato.

Nelle istruzioni deve essere indicato in che modo deve essere usato il DPI, per quanto tempo e in quali condizioni esso si mantiene efficace, nonché le modalità di pulizia, disinfezione e manutenzione. La manutenzione, in particolare, deve essere svolta dal fabbricante o da personale in possesso dei requisiti da questo indicati e può essere di tipo preventivo o di riparazione.
È necessario conoscere la scadenza o vita utile di un DPI e dei suoi componenti.

Le istruzioni fornite obbligatoriamente dal fabbricante con i DPI devono recare, oltre al nome e all'indirizzo del fabbricante, ogni informazione utile concernente:

a) le istruzioni di magazzinaggio, di impiego, di pulizia, di manutenzione, di revisione e di disinfezione. I prodotti per la pulizia, la manutenzione o la disinfezione consigliati dai fabbricanti non devono avere nell'ambito delle loro modalità di impiego alcun effetto nocivo per i DPI o per l'utilizzatore;
b) le prestazioni registrate durante le pertinenti prove tecniche effettuate per verificare i livelli o le classi di protezione dei DPI;
c) se del caso, gli accessori che possono essere utilizzati con i DPI e le caratteristiche dei pezzi di ricambio appropriati;
d) se del caso, le classi di protezione adeguate a diversi livelli di rischio e i corrispondenti limiti di utilizzo;
e) laddove applicabile, il mese e l'anno o il termine di scadenza dei DPI o di alcuni dei loro componenti;
f) se del caso, il tipo di imballaggio appropriato per il trasporto;
g) il significato delle eventuali marcature (cfr. il punto 2.12);
h) il rischio da cui il DPI è destinato a proteggere;
i) il riferimento al presente regolamento e, se del caso, i riferimenti ad altre normative di armonizzazione dell'Unione*;
j) il nome, l'indirizzo e il numero di identificazione dell'organismo notificato o degli organismi notificati coinvolti nella valutazione della conformità dei DPI*;
k) i riferimenti alla o alle pertinenti norme armonizzate utilizzate, compresa la data della o delle norme, o i riferimenti ad altre specifiche tecniche utilizzate*;
l) l'indirizzo internet dove è possibile accedere alla dichiarazione di conformità UE*

*Le informazioni di cui alle lettere i), j), k) e l) non devono essere contenute nelle istruzioni fornite dal fabbricante, se la dichiarazione di conformità UE accompagna il DPI.

Tabella 3: Contenuto delle istruzioni e informazioni del fabbricante

1.3 DPI e il d.lgs. 81/2208: criteri di scelta e uso

Ai fini del d.lgs. 81/2008 [3] si intende per dispositivo di protezione individuale qualsiasi attrezzatura destinata ad essere indossata e tenuta dal lavoratore allo scopo di proteggerlo contro uno o più rischi suscettibili di minacciarne la sicurezza o la salute durante il lavoro, nonché ogni complemento o accessorio destinato a tale scopo (art. 74).

Non costituiscono DPI:
a) gli indumenti di lavoro ordinari e le uniformi non specificamente destinati a proteggere la sicurezza e la salute del lavoratore;
b) le attrezzature dei servizi di soccorso e di salvataggio;
c) le attrezzature di protezione individuale delle forze armate, delle forze di polizia e del personale del servizio per il mantenimento dell'ordine pubblico;
d) le attrezzature di protezione individuale proprie dei mezzi di trasporto;
e) i materiali sportivi quando utilizzati a fini specificamente sportivi e non per attività lavorative;
f) i materiali per l'autodifesa o per la dissuasione;
g) gli apparecchi portatili per individuare e segnalare rischi e fattori nocivi.

I DPI devono essere impiegati quando i rischi non possono essere evitati o sufficientemente ridotti da misure tecniche di prevenzione, da mezzi di protezione collettiva, da misure, metodi o procedimenti di riorganizzazione del lavoro.

PRINCIPALI RIFERIMENTI LEGISLATIVI SUI DPI:

- d.lgs. 81/2008 (Titolo III – Capo II e Allegato VIII).
- regolamento (UE) 2016/425 - Sui dispositivi di protezione individuale e che abroga la direttiva 89/686/CEE del Consiglio. Riguarda progettazione, costruzione, immissione sul mercato dei DPI.
- d.lgs. 17/2019 - Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n. 2016/425 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 9 marzo 2016, sui dispositivi di protezione individuale e che abroga la direttiva 89/686/CEE del Consiglio.
- d.m. 2 Maggio 2001, come aggiornato dal decreto legge 21 ottobre 2021, n. 146. Art. 13 - Criteri per l'individuazione e l'uso dei dispositivi di protezione individuale (DPI).

L'art. 76 del d.lgs. 81/2008 stabilisce i requisiti che i DPI devono avere, delineando un percorso per la scelta e l'uso.

d.lgs. 81/2008 – art. 76
Requisiti dei DPI

1) I DPI devono essere conformi alle norme di cui al di cui al regolamento (UE) n. 2016/425.
2) … i DPI di cui al comma 1 devono inoltre:
   a) essere adeguati ai rischi da prevenire, senza comportare di per sé un rischio maggiore;
   b) essere adeguati alle condizioni esistenti sul luogo di lavoro;
   c) tenere conto delle esigenze ergonomiche o di salute del lavoratore;
   d) poter essere adattati all'utilizzatore secondo le sue necessità.

Tutti i DPI devono possedere i requisiti essenziali di salute e sicurezza (RESS) di cui al Regolamento UE 2016/425 (cfr. paragrafi precedenti). Tale prerogativa deve essere soddisfatta dal fabbricante o da un altro attore della catena di approvvigionamento che appone la marcatura CE.
In secondo luogo, i DPI devono essere adeguati ai rischi da prevenire e non devono essere essi stessi causa di un rischio maggiore. Uno dei primi passi da svolgere è valutare attentamente tutti i requisiti conferiti ai DPI dal fabbricante in fase di progettazione e confrontarli con quelli identificati nella fase di valutazione del rischio presente in azienda. Su questi temi, l'allegato VIII del d.lgs. 81/2008 riporta utili informazioni: indicazioni di carattere generale relative a protezioni particolari, elenco non esaustivo dei DPI disponibili, elenco delle attività delle attività e dei settori di attività per i quali può rendersi necessario mettere a disposizione DPI e indicazioni per la valutazione dei DPI.
Va inoltre tenuto presente che il DPI deve "essere adeguato alle condizioni esistenti sul luogo di lavoro". Questo punto richiede una valutazione delle caratteristiche necessarie a stabilire se il DPI è in grado di proteggere l'operatore dai rischi evidenziati nel documento di valutazione del rischio e richiede anche una valutazione delle caratteristiche e, se pertinenti, delle condizioni ambientali del luogo di lavoro. Ad esempio, occorre approfondire la necessità di campo visivo o di sentire segnali e verificare se il DPI scelto è adeguato.
Altro passo è tenere conto delle esigenze ergonomiche o di salute del lavoratore; questi aspetti sono correlati anche alla comodità di utilizzo e al comfort offerto dal

DPI e, quindi, correlati anche all'accettabilità del DPI proposto da parte di colui che lo indosserà.
Coinvolgere il lavoratore stesso, ad es. consultandolo in fase di scelta o intervistandolo, sono aspetti sempre più affrontati in modo approfondito e dettagliato nelle norme indirizzate ai datori di lavoro che si occupano di scelta.
In caso di rischi multipli che richiedono l'uso simultaneo di più DPI, questi devono essere tra loro compatibili e tali da mantenere, anche nell'uso simultaneo, la propria efficacia nei confronti del rischio e dei rischi corrispondenti.

Inoltre, i DPI devono poter essere adattati all'utilizzatore secondo le sue necessità. Ciò è di particolare interesse nel caso di portatori con esigenze particolari, ad esempio per una mano con quattro dita deve essere adattato un guanto con quattro dita.

L'art. 79 c.2 bis del d.lgs. 81/2008 riconduce i criteri per l'individuazione e uso dei DPI alla migliore pratica tecnologicamente disponibile, facendo riferimento all'edizione più aggiornata delle pertinenti norme tecniche. L'ente italiano di normazione UNI rende disponibile il download del white paper "Criteri di scelta e uso dei DPI" in cui sono riportati i riferimenti delle norme pertinenti più aggiornate [4].

2. APPLICAZIONI DELLA TECNOLOGIA IOT AI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE PER LA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO

2.1 Concetti introduttivi

L'evoluzione tecnologica dei Dispositivi di protezione individuale ha storicamente seguito il progresso dei materiali, puntando a incrementare le capacità di protezione, senza compromettere la comodità d'uso. Tuttavia, con l'avvento della quarta rivoluzione industriale (indicata anche come Industria 4.0), caratterizzata dalla crescente digitalizzazione e dall'adozione della tecnologia internet of things si è aperto un nuovo capitolo. I DPI, tradizionalmente concepiti per mitigare i danni conseguenti a incidenti, possono oggi essere trasformati in strumenti proattivi di prevenzione.

Questo cambiamento tecnologico è attualmente sostenuto da politiche europee, come quelle promosse attraverso i programmi Horizon ed EU Cordis, che incoraggiano l'integrazione dell'Industria 4.0 nei dispositivi di sicurezza per migliorare la protezione della salute e sicurezza dei lavoratori. Questi progetti mirano a sviluppare soluzioni di Information and communications technology (ICT) integrate per DPI intelligenti, con applicazioni specifiche, ad esempio, per vigili del fuoco e soccorritori in situazioni di emergenza.
Il concetto di internet of things si basa sulla capacità degli oggetti fisici di comunicare e collaborare attraverso connessioni digitali, facilitando una maggiore efficienza e sicurezza. Nell'ambito dell'Industria 4.0, l'IoT si integra con i sistemi cyber-fisici, creando una rete decentralizzata in grado di gestire dinamicamente le informazioni. Questa sinergia consente ai DPI di acquisire e trasmettere dati in tempo reale, monitorando le condizioni ambientali o fisiologiche del lavoratore e attivando azioni reattive in situazioni di pericolo. Ad esempio, sensori integrati possono rilevare la presenza di gas tossici o anomalie nei parametri vitali, informando immediatamente il lavoratore o le squadre di emergenza.

L'applicazione dell'IoT ai DPI offre numerosi vantaggi, tra cui il monitoraggio in tempo reale delle condizioni del portatore e delle condizioni ambientali, il tracciamento GPS per le emergenze, e la possibilità di fornire formazione attraverso simulazioni in realtà virtuale. La raccolta di big data da questi dispositivi consente inoltre un'analisi approfondita per prevenire incidenti futuri, migliorando l'efficacia dei sistemi di sicurezza sul lavoro. Tuttavia, l'adozione di queste tecnologie presenta anche sfide significative. La necessità di formazione per l'uso corretto dei dispositivi e il rispetto della privacy dei lavoratori sono questioni cruciali. Inoltre, il rischio di malfunzionamenti, l'affidabilità variabile delle comunicazioni wireless e i costi elevati dei dispositivi intelligenti possono rappresentare ostacoli alla loro implementazione diffusa. Non meno importante, l'emissione di campi elettromagnetici e la potenziale vulnerabilità ai cyberattacchi sono aspetti che richiedono una gestione attenta.
I DPI sono strumenti essenziali per mitigare i rischi residui dei lavoratori quando le misure collettive e ingegneristiche non sono sufficienti. Tra i dispositivi più comuni si annoverano quelli per la protezione delle vie respiratorie, degli occhi, del corpo e degli arti. L'integrazione delle tecnologie IoT nei DPI amplia le capacità di protezione, trasformandoli in strumenti intelligenti in grado di adattarsi alle condizioni di rischio variabili. Ad esempio, i DPI intelligenti possono utilizzare materiali avanzati che modificano le loro proprietà per assorbire urti o proteggere dal calore estremo, integrando sensori che monitorano costantemente lo stato del dispositivo e del lavoratore. La European agency for safety and health at work (EU-Osha) riconosce il potenziale rivoluzionario dei DPI intelligenti, ma sottolinea anche la necessità di affrontare le complessità legate alla loro adozione. In diversi documenti, l'agenzia analizza i benefici di questi strumenti, come l'aumento del livello di protezione e il miglioramento del comfort, ma evidenzia anche la necessità di garantire la conformità normativa e la protezione dei dati [2]. La EU-Osha enfatizza l'importanza di un approccio equilibrato che consideri tanto le opportunità quanto i limiti, promuovendo al contempo la ricerca per massimizzare i vantaggi della digitalizzazione senza trascurare le implicazioni etiche e pratiche.

DISCUSSION PAPER

SMART PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT: INTELLIGENT PROTECTION FOR THE FUTURE

Summary

Smart personal protective equipment (PPE) is becoming more and more common. Such products have been on display at trade fairs and in use for some time. Nevertheless, it is advisable to view the market with a fair degree of scepticism. Although some good products do already exist, smart PPE is a fast-moving area, and all participants are still learning to fully exploit the potential of smart PPE.

What is smart PPE?

PPE, such as safety shoes, ear plugs and protective eyewear, has always been important in protecting the wearer from one or many occupational safety and health (OSH) risks. If an activity carried out by a person — the wearer of the PPE — involves a certain risk that cannot be further reduced by other (collective technical or organisational) means, the use of PPE is essential to enable that person to do their job without or with less risk of injury. PPE must function reliably and provide a high level of protection. This principle of the hierarchy of prevention (2) has been successfully used for a long time (3).

Of course, research and development are carried out in the field of PPE. More and more often, one sees descriptions such as 'intelligent' or 'smart' applied to PPE. The level of protection can be increased by using enhanced materials or electronic components in smart PPE. Enhanced materials have new properties: knee protectors, for instance, are often inflexible and hinder normal movements; however, smart shock-absorbing material can be soft and flexible, allowing normal movement. When protection is needed, in the event of a shock, the smart material's properties change, and the shock-absorbing effect is revealed.

In most cases, the 'smart' part of smart PPE is electronics. In this case, smart PPE combines traditional PPE (e.g. a protective garment) with electronics, such as sensors, detectors, data transfer modules, batteries, cables and other elements.

A well-known example that has already been presented at trade fairs is smart protective garments for firefighters. Various sensors are integrated into the firefighters' garments. They measure body functions such as heart rate, blood pressure and

Smart PPE promises a higher level of protection and more comfort through the use of enhanced materials or electronic components. Sometimes it provides both, and sometimes it provides one of these aspects. What is crucial to understand is that **the *combination* of traditional PPE with smart elements forms this new type of PPE.** The smart elements increase the protection level, and thus they are an integral part of PPE. Consequently, every time the PPE is tested — be it a conformity assessment or a functionality test — the **smart PPE must be tested *as a whole*** by the relevant stakeholder, for example the manufacturer, the notified body, the relevant authority or the user.

(1) (Throughout the article the term "users" is understood to include both employers and employees.)

(2) https://oshwiki.eu/wiki/Hierarchy_of_prevention_and_control_measures

(3) For the use of PPE in the workplace, see Council Directive 89/656/EEC, last amendment on 31.10.2019 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:31989L0656).

Safety and health at work is everyone's concern. It's good for you. It's good for business. 1

Figura 3: Pubblicazione EU-Osha su smart DPI

2.2 Panoramica di alcune delle principali tecnologie di IoT e Industria 4.0

L'introduzione delle tecnologie IoT nei dispositivi di protezione individuale si inserisce in un panorama di innovazione orientata a garantire maggiore sicurezza, aumentare le performance dei lavoratori, ridurre i costi a lungo termine e migliorare l'efficienza operativa. L'obiettivo primario di queste applicazioni è fornire soluzioni integrate che combinino protezione e prevenzione in ambienti lavorativi caratterizzati da medio-elevati livelli di rischio.

Le innovazioni tecnologiche che stanno rivoluzionando il settore dei DPI si basano su una serie di principi e tecnologie cardine. Le comunicazioni wireless, come WiFi, Bluetooth e Radio frequency identification (RFID), costituiscono l'infrastruttura fondamentale per la trasmissione dei dati. Questi sistemi permettono ai dispositivi di raccogliere, elaborare e condividere informazioni in tempo reale, garantendo un flusso costante di dati tra lavoratori, macchinari e centri di controllo. L'integrazione di sensori biometrici consente il monitoraggio continuo di parametri fisiologici, mentre i tessuti intelligenti offrono proprietà avanzate, quali la capacità di adattarsi a condizioni ambientali variabili o di reagire a sollecitazioni fisiche. Questi progressi si combinano con metodologie visive innovative, come la Realtà Aumentata (AR) e la Realtà Virtuale (VR), che migliorano la percezione del rischio e facilitano la formazione dei lavoratori.

I sistemi di trasmissione wireless rappresentano una componente essenziale per l'efficacia dei DPI intelligenti. Le tecnologie come il Bluetooth e il suo standard Low Energy (BLE) offrono comunicazioni sicure ed efficienti a corto raggio, ideali per applicazioni locali. Il WiFi garantisce una connettività più ampia, mentre soluzioni avanzate come l'RFID e il protocollo Near Field Communication (NFC) si distinguono per la precisione nella trasmissione di dati a distanze ravvicinate. Per scenari più complessi, tecnologie a lungo raggio come lo Universal mobile telecommunications system (UMTS) e il Worldwide interoperability for microwave access (WiMax) permettono di mantenere la connessione anche in aree remote. La diversificazione delle tecnologie wireless consente di adattare i DPI a una varietà di contesti operativi, rendendoli strumenti flessibili e altamente performanti.

2.3 Esempi applicativi della Tecnologia IoT per aumentare la sicurezza dei lavoratori

Figura 4: Esempio di tecnologie di IoT e funzionalità applicabili ai DPI indossabili

I dispositivi di protezione individuale intelligenti, arricchiti dalle tecnologie IoT, rappresentano un passo avanti significativo nella sicurezza sul lavoro. Le loro funzionalità principali includono la localizzazione GPS per il tracciamento del lavoratore, la comunicazione in tempo reale con i supervisori, il monitoraggio continuo delle condizioni del portatore e delle caratteristiche ambientali del luogo di lavoro. Alcuni dispositivi integrano sistemi di riscaldamento o raffreddamento per regolare la temperatura interna in risposta alle condizioni esterne. Ulteriori innovazioni includono materiali luminescenti o segnalatori visivi per emergenze, oltre a meccanismi di arresto di emergenza per prevenire incidenti in prossimità di apparecchiature pericolose.

Le tecnologie IoT hanno aperto nuove frontiere per la sicurezza dei lavoratori. Numerosi sistemi avanzati sfruttano sensori (soprattutto con tecnologie di comunicazione RFId e Bluetooth) per monitorare l'uso dei DPI, abilitare o inibire l'accesso a zone a rischio e fornire allarmi in caso di anomalie. Questi sistemi possono verificare in tempo reale che l'operatore indossi i dispositivi previsti, registrando ogni evento in un log centralizzato. Altri utilizzi includono piattaforme di gestione delle informazioni sulla sicurezza fisica (PSIM) che raccolgono e analizzano dati da DPI e ambienti di lavoro per prevedere e prevenire situazioni pericolose. Ad esempio, i tessuti intelligenti con inchiostro conduttivo non solo possono condurre il segnale che per permettere di monitorare i parametri biometrici come la frequenza cardiaca e lo sforzo muscolare, ma possono anche trasmettere i dati a piattaforme esterne per una visione globale dello stato del lavoratore.

Anche altre tecnologie come la realtà aumentata e la realtà virtuale rappresentano strumenti utili e molto diffusi per migliorare la sicurezza e la formazione dei lavoratori. La realtà aumentata può ad esempio fornire informazioni in tempo reale durante l'esecuzione di compiti complessi, facilitando la comprensione di macchinari pericolosi. La realtà virtuale consente simulazioni sicure di scenari ad alto rischio, come incendi o incidenti industriali, permettendo ai lavoratori di acquisire competenze senza esporsi a pericoli reali. Queste tecnologie migliorano l'efficacia della formazione e aumentano la consapevolezza dei rischi, contribuendo a ridurre il numero di incidenti sul lavoro.

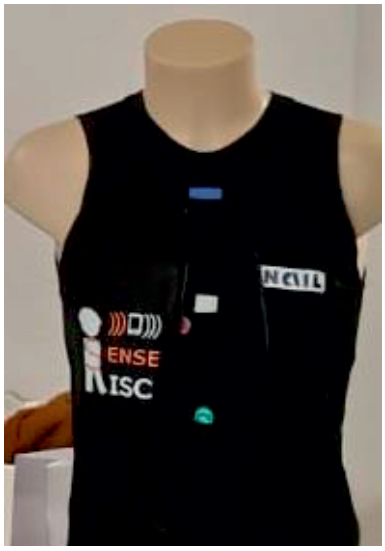


Figura 5: Il progetto SENSE RISC

L'integrazione dell'intelligenza artificiale (AI) nei DPI costituisce un'innovazione cruciale per l'Industria 5.0. Progetti come SENSE-RISC, sviluppato dall'Inail, dimostrano il potenziale dell'AI per migliorare la sicurezza applicando anche l'AI ai DPI. Questo dispositivo, dotato di sensori ambientali e biometrici, utilizza algoritmi di machine learning per adattarsi a condizioni variabili, identificando segnali di affaticamento o stress che potrebbero precedere un incidente. L'AI consente anche una personalizzazione avanzata dei DPI, migliorando la loro efficacia e adattabilità a diversi ambienti di lavoro. Tuttavia, è fondamentale integrare l'AI come supporto ai processi esistenti, evitando di sostituirli completamente.
L'adozione dell'AI nei DPI solleva questioni etiche rilevanti, come la tutela della privacy, la trasparenza nell'uso dei dati e la gestione dei pregiudizi algoritmici. La recente regolamentazione "AI ACT" del 2024, prima a livello globale, promuove un approccio uniforme per lo sviluppo e l'uso dei sistemi di AI nell'Unione Europea. Questo quadro normativo mira a garantire un equilibrio tra innovazione tecnologica e protezione dei diritti fondamentali, favorendo un'intelligenza artificiale antropocentrica e affidabile. La normativa europea e le linee guida internazionali sottolineano l'importanza di principi come inclusività, sostenibilità e responsabilità, assicurando che l'implementazione dell'AI avvenga in modo sicuro e conforme agli standard etici.
Le tecnologie IoT e AI applicate ai DPI rappresentano una svolta nella protezione dei lavoratori, offrendo soluzioni avanzate per la prevenzione degli incidenti e il monitoraggio delle condizioni lavorative. Va considerato tuttavia che l'adozione di queste innovazioni richiede una gestione attenta delle sfide etiche, tecniche e normative.

2.4 Sensoristica Wearable e Nanotecnologia

Con il termine tecnologia "wearable" si identifica l'insieme di quelle tecnologie finalizzate alla produzione di dispositivi elettrici e/o elettronici, di piccole dimensioni, integrati su indumenti o accessori indossabili, spesso costituiti da uno o più sensori e dotati di capacità computazionale. La loro funzione principale è quella di catturare dati semplici e/o complessi, elaborarli e condividerli.
I dispositivi indossabili, attualmente più diffusi sul mercato, si possono dividere in tre categorie:

- **Accessori Smart**: dispositivi con la possibilità di installare applicazioni o software di terze parti, ampliandone le funzionalità; essi operano tramite connessione a uno smart device, a sua volta connesso a internet (es. smartwatch non dotati di SIM);

- **Accessori Complessi**: dispositivi che lavorano parzialmente in modo indipendente, perché comunque connessi a un dispositivo e quindi ad internet (braccialetti per il fitness/ activity tracker); essi raccolgono dati e, in alcuni casi, comunicano tramite display; ma necessitano di scaricare i dati raccolti su un dispositivo connesso per poterli processare;
- **Smart Wearable**: dispositivi indipendenti, che non si appoggiano ad altri apparecchi, ma si connettono autonomamente a internet e hanno la possibilità di istallare APP e software di terze parti, con l'intento di espanderne le funzionalità (ad es. Smart Glass o tessuti smart); essi si stanno dimostrando strumenti molto utili per monitorare salute e stile di vita delle persone, con il vantaggio di essere poco intrusivi ed economici [5].

Lo sviluppo scientifico e la manipolazione dei materiali alla scala atomica grazie alla Nanotecnologia hanno permesso di sviluppare metodi e tecniche per modificare la materia su scala nanometrica (10^{-9} m) e studiare nuove interazioni della materia stessa.
È stato dimostrato che su tale scala, la materia non segue le leggi della fisica classica, bensì quelle della fisica quantistica, con la conseguenza che si presentano nuove proprietà e comportamenti, non osservabili a livello macroscopico. Un nano-sensore non si riferisce unicamente ad un dispositivo con dimensioni nell'ordine dei nanometri, ma rappresenta anche un dispositivo che sfrutta le proprietà dei nanomateriali per rilevare e misurare nuovi tipi di eventi su scala nanometrica, per poi poterli trasdurre a livello macroscopico [6]. Nuovi nanomateriali come il grafene e le strutture che ne derivano, ovvero nanoplacchette di grafene (GNP) o nanotubi di carbonio (CNT) [7], forniscono eccezionali capacità elettriche e meccaniche, che sono alla base di molte tipologie di materiali sviluppati e ingegnerizzati nell'ambito della sensoristica [8]. In letteratura possiamo vedere come dispositivi di dimensioni micrometriche, a base grafene, sono in grado di rilevare singoli eventi quando una molecola di gas si attacca o si stacca dalla superficie del grafene stesso [9].
Stampfer e co. hanno dimostrato che un singolo nanotubo di carbonio cambia la sua resistività in funzione della forza applicata [10]. Questo è uno dei tanti "strain sensors" a base di nanotubi di carbonio (CNTs), i quali sembrano essere adatti a superare alcune delle limitazioni delle tecnologie convenzionali, basate sul rilevamento di forza/spostamento su piccola scala, soprattutto grazie alle loro ristrette dimensioni e all'elevata sensibilità alla deformazione.
Cullinan e Culpepper, inoltre, hanno convalidato sperimentalmente un quadro teorico che chiarisce la piezoresistività intrinseca dei CNT, sulla base della loro chiralità (cioè il modo con cui i legami carbonio-carbonio si susseguono lungo la circonferenza del tubo), del diametro, e dell' "angolo di arrotolamento", vale a dire la direzione di arrotolamento della grafite in rapporto all'asse del tubo, dai cui valori è possibile preannunciare proprietà chimico-fisiche, quali la conducibilità elettrica. Tali caratteristiche hanno portato allo sviluppo di sensori piezoresistivi a base di CNTs [8].

Sulla scorta di quanto sin qui evidenziato si può affermare che il mercato dei sensori stia subendo un cambiamento assai rilevante, dovuto dalla necessità di utilizzare un gran numero di dispositivi di controllo, diversi e altamente sensibili, economici, piccoli, leggeri e non invasivi; questi inoltre devono garantire un'elevata produzione di massa e avere un protocollo di installazione e manutenzione semplice ed economico. Queste caratteristiche si riscontrano, attualmente, in una nuova tipologia di sensori, ovvero quelli tessili. Dovendo accompagnare le sollecitazioni ricevute dal tessuto, i sensori applicabili allo "Smart Textile", e soprattutto la circuiteria in questione, inizialmente sono stati prodotti a partire da fibre tessili conduttive in argento, rame, ottone ecc. incorporati in tessuti di cotone, poliestere, poliammide ecc., o utilizzati come rivestimenti sottili da poter applicare sui tessuti; la difficoltà maggiore di tale gamma risulta essere la capacità di ottenere contemporaneamente leggerezza, elasticità, flessibilità e piccoli spessori [9].
Attualmente l'attenzione si è spostata su un'altra tipologia, ovvero quella degli inchiostri conduttivi, anche detti "stretchable", ovvero estensibili elastici e flessibili, stampati sul tessuto e in grado di assorbire elasticamente le sollecitazioni meccaniche, mantenendo livelli di conduttività appropriati. Un prototipo sviluppato da Tamburrano e co. riguarda sensori di deformazione costituiti da un cammino percolativo di nanoplacchette di grafene (GNP), depositato attraverso spray coating su un tessuto in poliestere e integrato in un elastomero biocompatibile [10].
Rispetto alle fibre conduttive, attualmente, si sta utilizzando anche la stampa di vernici e/o inchiostro conduttivi su tessuto che mostra dei vantaggi significativi sia a livello di flessibilità, sia di comodità, sia a livello economico.
La novità, a livello tecnologico, si riscontra proprio nella possibilità di sensorizzare il tessuto attraverso la semplice stampa di un inchiostro, senza l'interposizione di strati intermedi, dimostrandosi piacevoli al tatto e confortevoli.
Nonostante ciò, le sfide tecnologiche sono tante, come ad esempio limitare l'inevitabile decadimento delle proprietà elettriche dei circuiti, dovuto a stress meccanici ripetuti o cicli di lavaggio. Altro problema è la tipologia di tessuto, quindi un substrato di stampa con rugosità, porosità ed instabilità dimensionale, che ostacola il conseguimento dei requisiti di accuratezza, relativi agli standard produttivi elettronici.
Un'alternativa soddisfacente è nata dalla funzionalizzazione e l'ingegnerizzazione, mediante nanoparticelle, di vernici ed inchiostri a base polimerica: ciò ha permesso di rendere utilizzabili questi ultimi come prototipi di sensori, applicabili su tessuto tramite tecniche differenti di stampa e con caratteristiche avanzate per il tipo di applicazione. Questi sembrano essere in grado di soddisfare i requisiti richiesti, e visti precedentemente, per lo sviluppo dei cosiddetti Tessuti Smart. Anche in questo caso esistono dei limiti da superare, come la dispersione e il controllo delle nanostrutture, la riproducibilità, l'affidabilità e la tossicità dei processi di produzione. Nonostante ciò, questa sembra essere un'ottima alternativa da perfezionare, garantendo caratteristiche probabilmente più soddisfacenti rispetto alla sensoristica convenzionale a partire dai costi stessi dei dispositivi e dei processi di produzione.

I principali campi dove possono essere applicate queste nuove tecnologie sono il settore medicale, mediante il monitoraggio, in tempo reale, dei parametri fisiologici dei pazienti; il settore sportivo per seguire gli andamenti prestazionali; il settore benessere tramite sistemi di controllo e quello della sicurezza sul lavoro per la gestione di rilevamento di possibili situazioni di pericolo, servizi di monitoraggio a distanza e di emergenza.
Sul mercato si trovano soluzioni di sensoristica modulare, di tipo fisico, chimico e per agenti biologici, che consentono la prevenzione e la mitigazione dei rischi tipici di alcuni ambiti lavorativi nel settore industriale e nelle attività di produzione e di processo.

3. RISPETTO DEI RESS DA PARTE DI SMART DPI

In Italia, il rapporto tecnico UNI TR 11858:2022 – Tecnologie IoT nell'impiego dei DPI – Indicazioni relative all'integrazione dei sistemi elettronici nella gestione e nell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale – approfondisce i vari aspetti da prendere in considerazione quando si introducono in azienda DPI di tipo smart. Nel rapporto sono descritti le caratteristiche funzionali e costruttive di questi sistemi, le loro possibili applicazioni nell'ambito della sicurezza, le modalità tramite cui i DPI possono essere corredati di tag (inclusione, compatibilità, personalizzazione) e i principali compiti di fabbricante, datore di lavoro e organismo notificato coinvolti nei processi di progettazione/utilizzo/certificazione del dispositivo. Sono poi approfonditi i temi relativi a informazione, formazione e addestramento, gestione dei dati acquisiti e valutazione del rischio legato all'utilizzo dei sistemi IoT.
Uno dei temi più delicati è quello del mantenimento dell'efficacia protettiva e, di conseguenza, della certificazione del DPI. Nella produzione di un DPI smart è fondamentale che l'aggiunta di un sensore non modifichi l'efficacia protettiva del DPI.
Allo stato attuale il sensore può essere integrato o aggiunto a qualunque DPI o dal fabbricante o da uno degli altri operatori economici (importatore, mandatario, distributore) oppure dallo stesso datore di lavoro.
In generale la figura che integra il sensore nel DPI, si fa anche carico di fornire le garanzie che il DPI mantenga inalterata la sua funzione protettiva.

Nel rapporto tecnico UNI TR 11858:2022 sono individuate tre principali modalità di costruzione di uno smart DPI e, per ognuna di esse, sono descritti i principali compiti e responsabilità dei diversi attori.

I DPI possono essere corredati da tag secondo una delle seguenti modalità:
- Inclusione;
- Compatibilità;
- Personalizzazione.

Nel caso della **modalità inclusione** il DPI è corredato da tag ad esso applicato o integrato dal fabbricante del DPI in fase di progettazione e produzione.
In questo caso, il fabbricante garantisce che il DPI soddisfa tutti i RESS; il DPI è corredato da tutte le necessarie istruzioni/informazioni necessarie all'uso e alla corretta gestione del DPI stesso all'interno delle informazioni del fabbricante.
Ad esempio, nel caso di tag non removibili (es. passivi) il fabbricante fornisce istruzioni per il lavaggio, la pulizia, la disinfezione garantendo che, se correttamente eseguite, queste non alterino il tag.
Le prove per la verifica del rispetto dei RESS sono effettuate sul DPI già corredato da tag e la dichiarazione di conformità rilasciata riguarda il DPI integrato. Va comunque

ricordato che le prove effettuate sul DPI valutano unicamente il DPI, non il funzionamento del tag che è garantito dal suo fabbricante.
Il datore di lavoro adotta il DPI senza apportare alcuna modifica, nel rispetto delle istruzioni del fabbricante.

Nel caso della **modalità compatibilità** il DPI è predisposto dal fabbricante per essere successivamente corredato da tag con specifiche caratteristiche. In pratica il fabbricante predispone uno o più alloggiamenti specifici destinati ad accogliere il tag, specificando le caratteristiche che ne consentono l'inclusione in una o più posizioni nel DPI. Esempio di alloggiamento specifico destinato ad accogliere un tag è una tasca.
In questo caso il fabbricante del DPI garantisce che esso possiede tutti i RESS e che i tag con le caratteristiche da lui indicate non alterano la natura del DPI.
Il datore di lavoro, nel momento in cui decide di integrare i tag nel DPI, ha necessità di tenere in conto le indicazioni del fabbricante del DPI e di acquisire la dichiarazione di conformità del tag.

Nel caso della **modalità personalizzazione** il DPI è personalizzato dal datore di lavoro che vi aggiunge tag con specifiche caratteristiche, rispondenti alle proprie esigenze di utilizzo.
In questo caso il datore di lavoro valuta le caratteristiche dei tag da applicare sui DPI, sviluppando un proprio progetto. A tale scopo è necessario che prenda contatto sia con il fabbricante del DPI che con quello del tag.
Dal fabbricante dei tag deve avere notizia sui materiali costruttivi e caratteristiche tecnico/operative del tag e accertarsi che esso sia idoneo per le varie fasi di utilizzo del DPI, comprese le fasi di pulizia, disinfezione, ecc.
Dal fabbricante del DPI deve ricevere rassicurazioni che l'inserimento/aggiunta del tag nella posizione da lui prevista non alteri l'efficacia della protezione del DPI e che il tag non costituisca un ulteriore rischio. Nel caso in cui il DPI richieda una certificazione, il fabbricante si rivolge ad un organismo notificato per valutare la necessità/eventualità di richiedere un riesame della certificazione.
Va comunque precisato che il fabbricante del DPI non è obbligato a rispondere, pertanto laddove non sia interpellato o, se interpellato, non risponde o risponde con un diniego, rimane responsabile della conformità dei RESS del DPI solo nel caso in cui la modifica/aggiunta del tag non comprometta la conformità del DPI alla legislazione vigente.

4. PROBLEMATICHE PER L'ADOZIONE DI SMART DPI IN AZIENDA

4.1 Opportunità e necessarie tutele dell'intelligenza artificiale nel lavoro Priorità: Gestire il cambiamento

Se nei riguardi del processo di modernizzazione che da tempo sta introducendo la digitalizzazione, le innovazioni tecnologiche e, più di recente, l'intelligenza artificiale nel nostro vivere quotidiano, vi è una sostanziale ampia e diffusa conoscenza, dichiarata dal 93% degli italiani, seppur nei soli termini dell'aver sentito parlare di Intelligenza artificiale (di seguito "IA"), che si riduce significativamente ad un 55% che afferma di riconoscere l'IA essere molto presente nella propria giornata, arrivando ad un 37% che sostiene in modo generalizzato di utilizzarla nel proprio lavoro [11]; è sul grado di consapevolezza, specie da parte delle nuove generazioni, di quanto tali tecnologie influiscano nel nostro agire quotidiano, fino a modificarne i comportamenti, che occorre indubbiamente interrogarsi.

Il rimanere affascinati, incuriositi, quand'anche molto soddisfatti delle prestazioni che, almeno una volta in questi ultimi anni più o meno tutti hanno sperimentato direttamente, avendo scelto o anche solo impattato, con le azioni realizzate da macchine/sistemi che utilizzano l'IA (e, quindi, algoritmi sempre più sofisticati) come i più conosciuti e diffusamente utilizzati assistenti virtuali domestici, se colma superficialmente, più o meno, una conoscenza dell'esistenza dello strumento e dell'utilizzo che se ne può fare, ignorando diffusamente il funzionamento dei sistemi che li supportano, il livello di "affidamento non-cosciente" rischia di essere molto alto. È, in effetti, purtroppo molto diffuso il fornire propri dati personali e, con questi, informazioni sulla propria persona, a piattaforme digitali delle quali non si conoscono proprietà, regole di utilizzo dei dati e finalità occulte di tracciamento della navigazione informatica da parte dell'utilizzatore.

A fronte, difatti, delle innumerevoli innovazioni tecnologiche e digitali oggi in uso, ma soprattutto dei molteplici modelli di IA utilizzati (è difatti importante già solo non confondere il processo da tempo avviatosi di digitalizzazione e l'uso più recente dell'IA), una prima basilare, ma rilevante, differenziazione è opportuno sapere che la si ha tra il raggruppamento dei modelli che vengono definiti a "sistema esperto", quelli di *machine learning* e i sistemi di IA "generativa".

Mentre i primi seguono la logica identificabile dell'if-then, in base alla quale producono effetti seguendo regole prestabilite e imposte dai programmatori, i secondi, pur programmati anch'essi con l'inserimento di input, sono in grado di produrre effetti combinando i dati a disposizione, rilevati in presa diretta, e immettendo nell'elaborazione anche quelli immagazzinati e processati in precedenza, determinando in questo modo una capacità riconducibile a un processo di "apprendimento" in evoluzione costante, che si sviluppa auto-alimentandosi e, pertanto, auto-rigenerandosi.

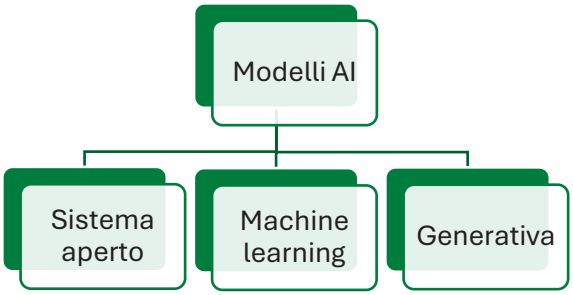


Figura 6: Modelli AI

Così, i sistemi che operano utilizzando modelli di machine-learning hanno alla base, non solo effetti di programmazione, ma anche di combinazione tra regole imputate e apprendimento. Se, quindi, un tradizionale software opererà secondo regole e parametri impostati dal programmatore che ne conoscerà e determinerà tutti gli output, l'operatività di un algoritmo che contempla meccanismi di machine learning, rielaborando costantemente i dati, immettendo sempre nuove informazioni immagazzinate e combinandole fra loro (imparando anche dagli errori e, pertanto, correggendosi autonomamente), produrrà output non conosciuti necessariamente da chi ha programmato il sistema. Si viene così a riconoscere alla macchina un'abilità tale da mostrare capacità riconducibili a quelle umane, elaborando ed utilizzando grandi quantità di dati, costantemente immessi e aggiornati, ma soprattutto acquisendo modalità di combinazione di questi, quali il ragionamento, l'apprendimento, la pianificazione e la creatività, caratteristiche che consentono all'Intelligenza artificiale, mediante algoritmi, appunto definibili "intelligenti", la comprensione dell'ambiente nel quale va ad operare, l'affinamento costante di quanto percepito (mediante strumenti diversificati e sempre più sensibili) e la produzione di soluzioni mirate a obiettivo/domande specifici. In questo modo il divario tra il perimetro (sempre più limitato) delle risposte e quello (sempre più in evoluzione) delle soluzioni, va ampliandosi in modo esponenziale.

Il livello raggiunto è tale che la comunità scientifica mondiale è giunta a definire due tipi di IA: una debole (weak AI) e una forte (strong AI). La prima, relativa a sistemi in grado di riprodurre alcune funzioni cognitive proprie dell'uomo, non raggiungendo però le capacità intellettive tipiche dell'essere umano (quindi, restando all'interno di un perimetro che comprende

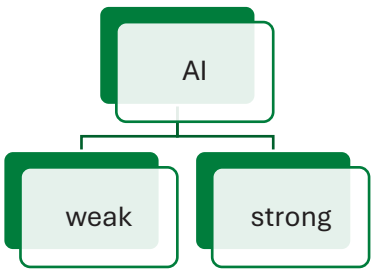


Figura 7: tipi di AI

ragionamenti logici solutivi di problemi, decisioni intraprese tra più possibili scelte...). La seconda, invece, identificata, appunto, come IA forte, comprende sistemi molto avanzati in grado di giungere a livelli riconducibili al poter essere definiti sapienti, quindi, con profondità e forme di auto-coscienza e auto-determinazione differenziate, basandosi pertanto su modelli che puntano a riprodurre le dinamiche di funzionamento del nostro cervello, emulando quanto avviene nelle reti neurali, riproducendone le strutture e il funzionamento in reti neurali artificiali (deep artificial neural networks). Perfezionando, difatti, i modelli di apprendimento, l'ulteriore passaggio evolutivo che già si sta attuando è il superamento del machine learning verso il deep learning, dove attraverso l'impiego dei sistemi di reti neurali artificiali il confronto tra la macchina e i processi mentali dell'uomo (nei quali sono svariate le dinamiche, le influenze e le variabili che intervengono) si assottiglia sempre di più. Un livello questo che ad oggi vede già nell'IA, classificata "generativa", un ulteriore step di avanzamento che pone a confronto l'intelligenza dimostrata dalle macchine di contrapposizione a quella umana. Le capacità di percepire, comprendere, ragionare, fino a giungere di esprimere emozioni, se prima erano patrimonio esclusivo degli esseri viventi, con gli umani sovraordinati agli animali, oggi le macchine "intelligenti" arrivano a livelli di autonomia e auto-consapevolezza altamente rilevanti. Processi che si stanno sviluppando con una velocità che ci pone in affanno e in condizione di rincorrere il progresso e le innovazioni tecnologiche che stanno avvenendo, di cui non siamo più gli esclusivi artefici.

A fronte, però, di uno scenario in costante e repentina evoluzione, dove le innovazioni tecnologiche e digitali stanno appunto registrando rapidissimi avanzamenti e raggiungendo risultati inimmaginabili, la questione centrale oggi non è sull'interrogarsi se tutto questo lo si debba attribuire più ad un determinismo sociale, anziché ad un determinismo tecnologico. Certo è che, pur lontani da qualsiasi forma di luddismo, indubbiamente anacronistica, quanto non solo sta realizzandosi attraverso sistemi che prevedono e anticipano le nostre richieste, conoscono i nostri gusti e preferenze, ci riconoscono e attuano quanto noi vogliamo, anche solo con l'uso dello sguardo, ma è quanto già negli obiettivi prossimi dei ricercatori volti al realizzare sistemi che anticipano, soddisfacendoli, nostri più profondi desideri (intento dichiarato dai vertici di una nota azienda di e-commerce di arrivare a breve a spedire a casa prodotti ritenuti desiderati dal cliente, prima che questo abbia formulato l'ordine), richiede interventi urgenti di diversa natura.

Il passaggio che sta avvenendo da quanto introdotto dall'Industria 4.0, alla fase evoluta rappresentata dall'Industria 5.0 (con uno sguardo già al prossimo passo verso la 6.0), porta con sé gli effetti di una consapevolezza e maturazione già da tempo in atto che, poggiando le basi su quanto reso possibile grazie al processo di innovazione tecnologica e digitale avviato e realizzato nella fase 4.0, oggi si pone quale obiettivo prioritario il valorizzare la «centralità della persona» (prospettiva human centric

approach), riportando ad asse centrale il protagonismo dell'uomo in rapporto alle macchine che, divenute o che diverranno sempre più intelligenti, vadano a migliorare (come poi sostanzialmente sta avvenendo) la vita degli esseri umani, anziché creare nuove forme di schiavitù, dipendenza, diseguaglianza e discriminazione. O, anche solo, evitare quelli che potremmo definire rischi di ritorno. Si è tutti consapevoli, difatti, che se il progresso tecnologico ci ha consegnato delle auto elettriche, offrendo il valore aggiunto, tra gli altri, dell'abbattimento dell'inquinamento acustico determinato dal rumore del motore, si è dovuti tornare indietro con l'introdurre dei segnali acustici di movimento perché si stava registrando un incremento degli investimenti dei pedoni a causa della non abitudine (processo umano molto più lento della tecnologia) al considerare i pericoli provenienti dalla strada e dal traffico, non anticipati dal rumore dei motori dei veicoli.

Un esempio semplice, ma concreto, che ci fa comprendere la visione che intende perseguire l'Industria 5.0: dover porre a priorità la persona nel processo di modernizzazione in atto.
Data, quindi, la complessità del processo in corso, considerate le innumerevoli variabili in campo e, di certo, la rapidità con la quale le innovazioni tecnologiche e digitali si sviluppano, evolvono e richiedono continue modifiche alle modalità di interazione e utilizzo, per poter analizzare in modo puntuale ed efficace le opportunità che ciascuna offre, come anche le positività che dall'utilizzo possono maggior derivare, e così i pericoli e gli ostacoli che possono sorgere, tra gli indicatori di analisi più rilevanti, occorre sicuramente guardare al contesto nel quale le innovazioni vanno ad intervenire, gli obiettivi che mediante l'adozione/uso di queste si vogliono raggiungere e i soggetti chiamati all'interazione con queste. È sulla base di tale impostazione di analisi e valutazione che va affrontato, tra gli altri, il delicato, ma rilevante e attualissimo tema degli impatti delle innovazioni tecnologiche e digitali nei riguardi della prevenzione e sulle tutele, in materia di salute e sicurezza sul lavoro. Come non poter rilevare il valore aggiunto, già solo, che in tema di near mess, di reinserimenti lavorativi delle persone con disabilità, di interventi per l'armonizzazione tra prosecuzione dell'attività lavorativa e invecchiamento della popolazione, analisi a carattere preventivo e predittivo, dall'introduzione delle nuove tecnologie, tra cui l'IA, può indubbiamente derivarne. Di certo non permettendo, al contempo, che tali obiettivi e finalità di grande rilevanza (e urgenza) possano porre in secondo piano le necessarie garanzie di tutela della privacy degli occupati e del pieno diritto al rispetto delle salvaguardie di natura contrattuale.

A fronte di una copiosa produzione di documenti, di natura e finalità diverse – dal livello internazionale a quello locale – elaborati in un arco di tempo congruo, ma che ha visto una rilevante concentrazione in questi ultimi anni, nell'ambito del processo in corso delle "transizioni gemelle" (quella green e digitale, oggi sempre più associate a quella demografica, non meno rilevante), se tre sono gli assi cardine, tra loro

inscindibilmente connessi, sui quali ruotano le politiche d'intervento, "sostenibilità, resilienza e umano-centrismo", è nel passare dagli obiettivi e dai programmi di sistema (sicuramente determinanti per condividere principi e valori, garantire la spinta e tracciare le macro-azioni di sostegno), alla portata a terra, che si delinea la vera sfida. Che, su questi temi, non può che essere colta e realizzata all'insegna di un modello "win-win".

Il percorso fattivo da mettere in atto, pertanto, declinandolo sulla base dei contesti, degli obiettivi e delle popolazioni di riferimento, lo si può riassumere in un unico specifico mandato: "gestire il cambiamento". Già previsto quale primo obiettivo fondamentale, a carattere trasversale, indicato dalla Strategia europea 2021-2027, nella quale viene indicato di «anticipare e gestire i cambiamenti nel nuovo mondo del lavoro determinati dalle transizioni verde, digitale e demografica»[2], nella sintetica, ma indubbiamente evocativa, individuazione dei due key elements,– di natura concettuale, come anche operativa –, quali la "gestione" e il "cambiamento", si racchiude indubbiamente il programma da mettere in atto nel presente, guardando al futuro, al fine affrontare, con un rinnovato protagonismo da parte dell'essere umano, un mondo (quale quello del lavoro) in evoluzione e trasformazione profonde.

Perché se è fondamentale valutare (per giungere poi anche a regolare) le implicazioni che possono derivare prime fra tutti quelle sugli aspetti di tutela della privacy (comprese le eventuali ricadute sui rapporti di lavoro e contrattuali), nel caso di utilizzo di sistemi che, anche adottati a scopo di prevenzione, operano monitorando lo stato fisiologico o mentale dei lavoratori, così il livello di stress (attraverso la produzione di adrenalina e cortisolo), della glicemia nel sangue, l'affaticamento psico-fisico, la frequenza cardiaca, la postura, i movimenti del corpo, gli sforzi, fornendo quantità di dati a carattere sensibile, non si possono trascurare (come fino ad oggi avvenuto troppo di frequente) gli effetti sui lavoratori, derivanti dall'esposizione di questi – esplicita la Strategia europea sul punto – «alle radiazioni ottiche e ai campi elettromagnetici, nonché dei possibili effetti negativi sulla salute nel caso di apparecchi più potenti».

Valutazioni che, comunque, devono partire dall'acquisizione di certificazioni fornite dai produttori che, riferite ai singoli device, attestano il rispetto dei requisiti di sicurezza e salute per i lavoratori; tali indicazioni andrebbero integrate, con analisi specifiche svolte nel contesto di utilizzo e in riferimento allo svolgimento delle diverse mansioni coinvolte, considerando tutte le sorgenti in fase di irraggiamento, ancor più quando contemporaneo, ponendo particolare attenzione ai lavoratori particolarmente sensibili al rischio (la valutazione del rischio di questa categoria di lavoratori è trattata nel capitolo 5). Degno di nota, in questo senso, è sicuramente il Rapporto Tecnico, prodotto in UNI, dal titolo: "Tecnologie IoT nell'impiego dei DPI – Indicazioni relative all'integrazione di sistemi elettronici nella gestione e nell'utilizzo dei

[2] C. Frascheri - Gestire il cambiamento. Salute, sicurezza sul lavoro e transizione digitale- Edizioni Lavoro, Roma 2023.

dispositivi di protezione individuali (TR/UNI 11858:2022) riferito, come esplicitato, al tema dei dispositivi di protezione individuale (DPI), operanti in modalità internet of things (IoT), frutto dell'intenso lavoro svolto da una Commissione multidisciplinare e tripartita. Tra tutti gli aspetti di rilievo, si è ritenuto quanto mai fondamentale proprio sottolineare l'attenzione – a fronte dell'adozione di tali dispositivi di prevenzione – nei riguardi delle esposizioni alle diverse sorgenti da parte degli utilizzatori. Attenzione posta nell'RT (evidenziando sempre la volontà congiunta, quindi anche da parte datoriale, nei lavori della Commissione), non solo nel ribadire l'importanza della valutazione, secondo un approccio a matrice (dettato, come noto, dal d.lgs. 81/2008 s.m.), ma evidenziando tra i fattori trasversali da considerare, nel perimetro di analisi delle esposizioni alle radiazioni elettromagnetiche, tutte le tipicità degli operatori, soprattutto a partire dal fronte salute (come ad es. portatori di pace-maker, di protesi dotate di circuiti elettronici, portatori di clip vascolari, di protesi interne o dispositivi intrauterini…), non trascurando, per questo, i fattori trasversali, espressamente richiamati nell'art. 28 (comma 1. lett. a), tra cui, l'età, il genere e le tipologie contrattuali (elemento quest'ultimo che può incidere significativamente sulle tutele, le prevenzioni, protezioni e il livello di info-formazione garantita). Seppure generalmente attribuito a modello di origine e natura comunitaria, del sistema di relazioni a carattere partecipativo, nel caso specifico, nell'ambito della salute e sicurezza sul lavoro – introdotto sostanzialmente con l'emanazione della direttiva quadro 89/391/EU, artefice dell'avvio del "nuovo sistema prevenzionale", dapprima timidamente recepito nel nostro ordinamento con il d.lgs.626/1994, consolidatosi poi con il d.lgs. 81/2008 s.m., – se ne possono già, in verità, individuare i germogli, a partire dagli anni '70, a quanto previsto dallo Statuto dei Lavoratori, attraverso il dettato dell'art. 9. Espressione di un grande diritto "conquistato", nell'ottica dell'affermazione delle tutele dei lavoratori in campo prevenzionale, mediante interventi a carattere partecipato – considerati i vent'anni di anticipo sulla direttiva quadro europea – ritenuto solo dopo molti anni «Misura generale di tutela», (opportunamente differenziato, all'interno dell'art. 15, dalla mera «consultazione»), precursore di quella che sarebbe stata poi l'introduzione di una rappresentanza specifica in materia prevenzionale (quale l'RLS/RLST e il RLSSP). Oggi, trascorsi oltre cinquant'anni – pur non negando interventi che profondamente hanno novellato molte delle disposizioni previste dalla Legge 300/1970, tra cui proprio il dettato dell'art. 4, in tema di strumenti di controllo – è pur sempre a tale testo normativo che dobbiamo guardare per quanto concerne le regole vigenti riferibili agli interventi di innovazione tecnologica e digitale, in ambito lavorativo, in particolare a favore della prevenzione degli operatori. Ancorché significativamente modificato il dettato originario dell'articolo, dovuto sostanzialmente agli aggiornamenti introdotti dal processo di rilevante trasformazione dei rapporti di lavoro, previsto dalla Legge delega 183/2014, e declinato in innumerevoli decreti attuativi, tra cui l'81/2015 s.m. non si può negare che la centralità data all'interazione tra datore di lavoro e rappresentanti sindacali, seppur andata modificandosi, ha mantenuto una rilevanza sicuramente degna di nota. Certo, sul fronte di quanto (ad oggi) espressamente previsto dal dettato

dell'articolo, ma non meno alla luce del rafforzamento, nei decenni trascorsi, dell'importanza di un sistema di relazioni basate su di un modello partecipativo, nella gestione del lavoro, a partire dalla prevenzione (non negando, comunque, nella pratica aziendale, ancora molte ombre, e solo qualche luce). La conferma, difatti, del necessario «previo accordo collettivo stipulato dalla rappresentanza sindacale», al fine di poter installare, da parte del datore di lavoro, degli «impianti audiovisivi», ma soprattutto, degli «strumenti» dai quali derivi, in entrambi i casi, «anche la possibilità di controllo a distanza dell'attività dei lavoratori» (art. 4, co. 1), pur all'interno di specifiche deroghe previste, tra cui la sicurezza sul lavoro, nell'ambito di un sostanziale divieto, consolida indubbiamente un rinnovato riconoscimento alla rilevanza delle relazioni tra le Parti in ambito lavorativo, attribuendo alle rappresentanze un ruolo centrale, nel merito e nella gestione. Rinviando ad una più puntuale analisi giuridica del complesso disposto normativo, emerge tuttavia come, soprattutto oggi, alla luce del processo in atto di una modernizzazione tecnologico-digitale del lavoro, in costante repentina evoluzione, il sindacato sia chiamato (ma non meno i datori di lavoro) ad acquisire/possedere conoscenze specifiche sugli strumenti innovativi a disposizione, ma in particolare, sulle implicazioni ed effetti che un'eventuale installazione, riconducibile a «strumento di controllo» (seppur nel rispetto dei limiti previsti), potrebbe determinare sui lavoratori, comprese le conseguenze, a partire dai riflessi sul rapporto di lavoro, derivabili dall'utilizzo dei dati prodotti dal funzionamento degli strumenti installati, che la tecnologia digitale applicata porta ad essere sempre più copiosi e traccianti, frutto dei controlli effettuati.

Se poi nel primo comma il richiamo al ruolo determinante del sindacato è esplicito (e posto a priorità anche del possibile avallo da parte dell'organo di vigilanza, previsto in modo dichiarato solo in caso di mancato accordo tra le Parti), sulla base di quanto disposto nel novellato secondo comma, il ruolo del sindacato non viene meno, seppur dalla fedele lettura non emerge con l'evidenza che si rinviene nel primo comma. A fronte dell'assenza di vincoli, infatti, stabilita dal legislatore della riforma nei riguardi del datore di lavoro in merito all'adozione di «strumenti utilizzati (...) per rendere la prestazione lavorativa» (anche operativi, soprattutto ai fini di prevenzione, grazie a forme di digitalizzazione evoluta, quale l'IA), compresi quelli utilizzabili per la «registrazione degli accessi e delle presenze» (riferibili anche solo all'entrata in zone pericolose in azienda, all'avvio di mezzi/apparecchiature e/o nel caso di utilizzo di dispositivi), le rappresentanze, seppur in modo indiretto, si troverebbero comunque ad essere coinvolte in modo attivo, richiedendo a quest'ultime conoscenze o impegno nell'acquisirle (considerata la rilevanza delle questioni in essere), nei riguardi degli effetti derivabile da tali "strumenti di lavoro", sugli utilizzatori. Va, in effetti, considerato che oltre alla prevista rielaborazione della valutazione del rischio, con l'avvio a carico del datore di lavoro del conseguente processo di consultazione delle rappresentanze specialistiche (RLS/RLST), obbligo persistente, disposto dal d.lgs. 81/2008 s.m., in parallelo al non richiesto necessario previo accordo con le rappresentanze

(così il comma 2, a differenza del comma 1 dell'art.4, Legge 300/70), quest'ultime è evidente che (anche all'insegna di uno spirito collaborativo/ partecipativo) non dovrebbero "subire", in modo acritico, l'unilaterale classificazione, da parte del datore di lavoro, degli strumenti che andrebbe ad adottare. Pur, difatti, quest'ultimo presumibilmente più orientato (quando non diversamente evidente) a ricondurre tutti gli strumenti in via di installazione, a "strumenti di lavoro", anziché tra quelli "di controllo", evitando così di dover giungere ad un accordo sindacale (o, in mancanza, ad un atto autorizzativo amministrativo), l'opportuna richiesta di confronto da parte delle rappresentanze dovrebbe avere lo scopo (seppur non legislativamente previsto) del verificare congiuntamente, non solo la natura e le finalità dell'adozione degli "strumenti di lavoro" (accertandosi non essere, diversamente, "strumenti di controllo"), ma in particolare gli impatti che sulla base dell'utilizzo potrebbero derivare per i lavoratori, chiarendo i termini di gestione dei dati ottenuti, sempre considerate le potenzialità offerte dalle tecnologie digitali in uso. A tale riguardo, il fronte sicuramente innovativo aperto con quanto disposto nel terzo comma, sempre dell'art. 4, dello Statuto dei lavoratori, creando per la prima volta un collegamento stretto tra le disposizioni in materia di salute e sicurezza sul lavoro e quelle relative alla tutela della privacy (al di là del necessario aggiornamento tra quanto ancora letteralmente indicato, risalente al 2003, e le nuove regole introdotte nel 2016), impone indubbiamente alle rappresentanze, a partire da quelle aziendali (così come anche, di certo, da parte del datore di lavoro e/o dei suoi collaboratori), la necessaria, e forse anche urgente, acquisizione di conoscenze e competenze specifiche, tali da consentire di essere nelle più adeguate condizioni (nel rispetto dei ruoli) di cogliere le opportunità che vanno sempre più concretizzandosi, svolgendo a pieno un ruolo di protagonismo nei confronti delle innovazioni tecnologiche e digitali, applicabili a favore della prevenzione, avviando percorsi congiunti e partecipati ai fini dell'adozione e utilizzo degli strumenti, nel pieno rispetto di tutte le tutele in campo, ad iniziare da quelle riconducibili ai lavoratori. Riassunte dal legislatore, ma non per questo contraibili ed in pratica sintetizzabili, in «adeguate informazioni delle modalità d'uso degli strumenti e di effettuazione dei controlli», garantendo il trattamento dei dati all'insegna dei principi cardine della privacy, quali la liceità, correttezza, trasparenza, esattezza, minimizzazione, integrità e riservatezza. Per tutto questo, già solo alla luce di tali sintetiche analisi e considerazioni, è evidente come la via da percorrere, in modo congiunto, tra le Parti in campo, passi necessariamente dal rendere agito quanto posto a priorità da parte della Strategia europea 2021-2027, sintetizzabile nel preciso mandato: «anticipare e gestire i cambiamenti».

Ma se il luddismo dei primi anni del secolo scorso, oggi, anche da parte di alcuni estremisti è superato, considerata la sempre più ampia compenetrazione delle innovazioni tecnologiche e digitali nella nostra quotidianità, e ancor più dell'Intelligenza Artificiale nei processi produttivi e nei sistemi organizzativi, l'urgenza di non perdere la rotta, abdicando la titolarità del governo delle cose alle macchine e agli agenti

evoluti, è quanto mai prioritaria. Il nuovo paradigma che si va delineando con l'Industria 5.0, guardando già alla sua prossima evoluzione (vedi Industria 6.0) nel ritornare e rafforzare, in una visione evoluta, l'approccio umano-centrico, oggi anche sostenibile e resiliente, deve perseguire la sottile, ma necessaria, linea del cogliere le opportunità che la transizione in essere inevitabilmente offre e offrirà, superando le barriere e abbattendo gli ostacoli che irrompono nel rapporto tra utilizzatori e innovazioni. "Gestire il cambiamento" deve, quindi, rappresentare la modalità corretta d'approccio. Non essere, quindi, promotori di nuove forme di schiavitù e discriminazione, asserviti all'IA, anche se per ricevere maggiori tutele, specie sul fronte della salute e sicurezza sul lavoro, ma artefici del cambiamento a favore di un miglioramento continuo, che parte dalla prevenzione, attraverso il governo partecipato e consapevole delle potenzialità offerte dal progresso.

5. ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI

5.1 Normativa

Le disposizioni specifiche per la protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici sono state introdotte nel capo IV del titolo VIII del d.lgs. 81/2008 [3], modificato nel 2016 dal d.lgs.159/2016 [12] in attuazione della direttiva 2013/35/UE [13].
La direttiva deriva il suo approccio protezionistico dalle Linee Guida (LG) dell'ICNIRP - International commission on non ionizing radiation protection, il cui compito è indagare i rischi sanitari che potrebbero essere associati alle diverse forme di NIR, sviluppare linee guida internazionali per la definizione dei relativi limiti di esposizione, trattare ogni aspetto relativo alla protezione dalle NIR.
All'interno delle LG l'ICNIRP stabilisce due livelli di protezione differenti, per la popolazione e per i lavoratori, introducendo fattori aggiuntivi per quanto riguarda la popolazione in considerazione della potenziale presenza di soggetti più fragili.
Lo schema seguente riporta l'evoluzione delle LG dell'ICNIRP (figura 8).

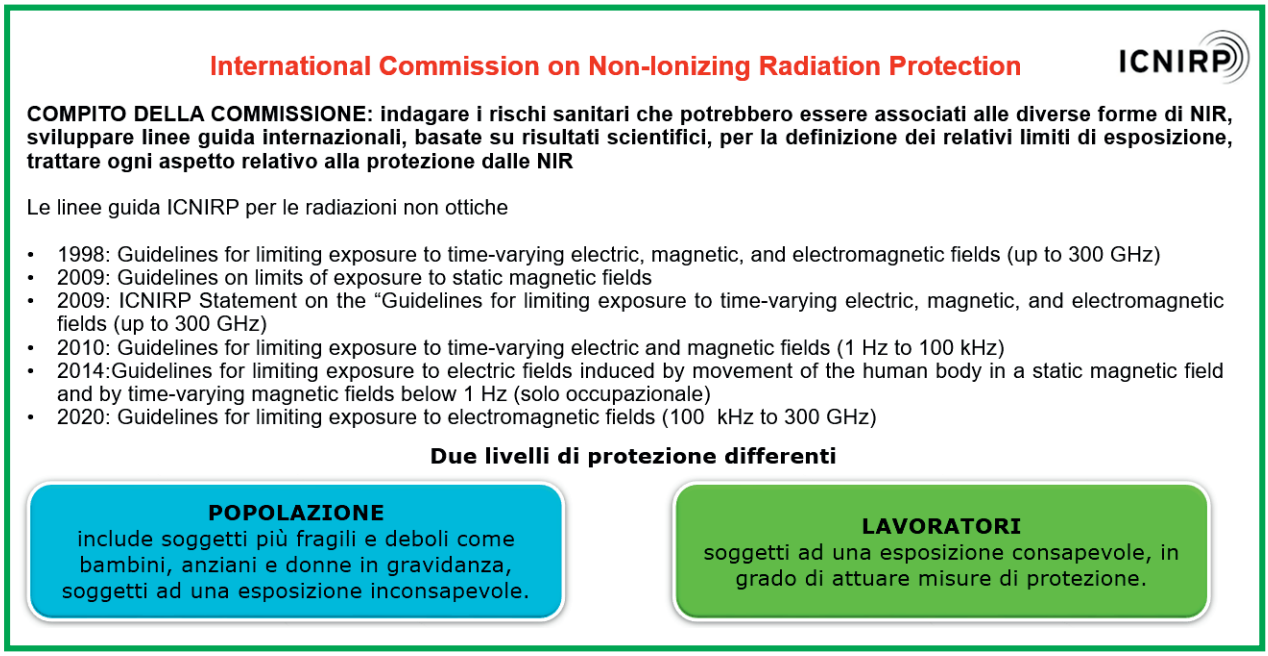


Figura 8 – Evoluzione delle Linee Guida ICNIRP

Relativamente ai meccanismi di interazione, l'ICNIRP distingue tra effetti diretti ed effetti indiretti. Gli effetti indiretti non derivano da un'interazione diretta dei campi elettromagnetici con i soggetti esposti. Di particolare interesse in questa sede sono quelli dovuti a fenomeni di interferenza dei campi elettromagnetici esterni con il funzionamento di apparecchiature e dispositivi medici impiantabili o indossabili attivi. Altri

effetti indiretti come vedremo sono descritti nel d.lgs. 81/2008 e sono di interesse specifico in relazione allo scenario espositivo.

Gli effetti diretti, al contrario, derivano dall'interazione diretta dei campi con i sistemi biologici. Per quanto riguarda i campi variabili nel tempo gli effetti diretti si distinguono in effetti non termici ed effetti termici. I primi consistono nella stimolazione elettrica di nervi, muscoli e organi sensoriali e possono manifestarsi nell'intervallo di frequenza 1 Hz - 10 MHz, mentre gli effetti termici, consistenti nel riscaldamento generalizzato o localizzato dei tessuti, sono di interesse nell'intervallo di frequenza 100 kHz – 300 GHz (figura 9). L'intervallo di frequenza 100 kHz-10 MHz rappresenta una zona di sovrapposizione all'interno della quale entrambi gli effetti devono essere tenuti in considerazione.

Figura 9 – Schematizzazione degli effetti diretti in funzione della frequenza

Gli effetti diretti sono effetti a soglia la cui prevenzione si basa sul rispetto di valori limite di esposizione (le cosiddette restrizioni di base nelle LG ICNIRP) raccomandati dall'ICNIRP in termini delle grandezze dosimetriche di base, proprie dell'interazioni bioelettromagnetiche. Si tratta di grandezze interne al soggetto esposto, non misurabili nell'ambiente espositivo, adatte a correlare l'effetto biologico con l'intensità del campo esterno, e sono il campo elettrico interno (valori limite istantanei) per gli effetti non termici e il tasso di assorbimento di energia per unità di massa di tessuto corporeo (SAR) per gli effetti termici (valori limite mediati nel tempo).

Di particolare interesse, soprattutto per le ricadute in ambito occupazionale, sono le LG ICNIRP del 2009 sui campi magnetici statici [14] e quelle del 2010 sui campi elettrici e magnetici a frequenze inferiori a 10 MHz [15].
Entrambe le Linee Guida, oltre ad aggiornare i limiti di esposizione sulla base dello stato dell'arte delle conoscenze scientifiche, introducono una novità rilevante distinguendo i possibili effetti tra sensoriali (quali nausea, fosfeni, vertigini, sapore metallico) e sanitari (effetti sulla salute) e introducendo, per la prima volta, un principio di flessibilità. Quest'ultimo consiste nella possibilità di superamento dei limiti di esposizione per la protezione dagli effetti sensoriali, riconosciuti come minori in quanto non costituiscono un rischio per la salute, con la eventualità del verificarsi di tali effetti a condizione che ne siano controllate le conseguenze per la sicurezza.
Gli effetti sensoriali secondo l'ICNIRP costituiscono infatti sintomi transitori di disturbo, si manifestano a livelli di esposizione più bassi, ed i relativi limiti sono quindi

più restrittivi di quelli fissati per la protezione dagli effetti sanitari, al di sopra dei quali potrebbero insorgere effetti avversi sulla salute. In ambito occupazionale l'insorgenza di effetti sensoriali potrebbe implicare o meno rischi per la sicurezza in funzione del tipo di attività svolta dal lavoratore e dell'ambiente in cui essa viene svolta.

Per quanto riguarda l'esposizione ai campi elettrici statici, l'ICNIRP ritiene che i dati sperimentali a disposizione non forniscano una base sufficiente per la definizione di limiti di esposizione.

Relativamente al campo magnetico statico i valori limite sono espressi direttamente in termini della Induzione Magnetica esterna, ovvero di una grandezza direttamente misurabile. Come detto, le LG del 2009 hanno aggiornato i limiti di esposizione identificando la soglia di 8 T per gli effetti sanitari in quanto la letteratura scientifica non fornisce evidenze di effetti negativi sulla salute irreversibili o gravi fino a tale valore. Possibili effetti sensoriali, principalmente dovuti al movimento nel campo magnetico statico, possono manifestarsi se si supera il valore limite di 2T.

Una trattazione più approfondita degli effetti derivanti dal movimento di un operatore all'interno del campo magnetico statico, oggetto delle LG ICNIRP pubblicate nel 2014 [16], esula dagli scopi della presente pubblicazione e non verrà pertanto presa in considerazione.

Nel caso dei campi variabili al contrario, la verifica della conformità ai limiti di esposizione (restrizioni di base) non può essere effettuata tramite misurazioni dirette ma richiede complesse valutazioni mediante software dedicati.
A livello operativo la conformità ai limiti di esposizione è verificata se si rispettano dei valori di grandezze misurabili nell'ambiente espositivo (campo elettrico, magnetico, densità di potenza) i cosiddetti livelli di riferimento, che garantiscono la massima protezione in quanto dedotti dai limiti di esposizione in condizioni di massimo accoppiamento del campo con l'individuo esposto. Considerato il carattere conservativo dei livelli di riferimento non è vero il viceversa, ovvero un superamento dei livelli di riferimento non implica necessariamente un superamento delle restrizioni di base. Quanto detto è schematizzato nella figura 10.

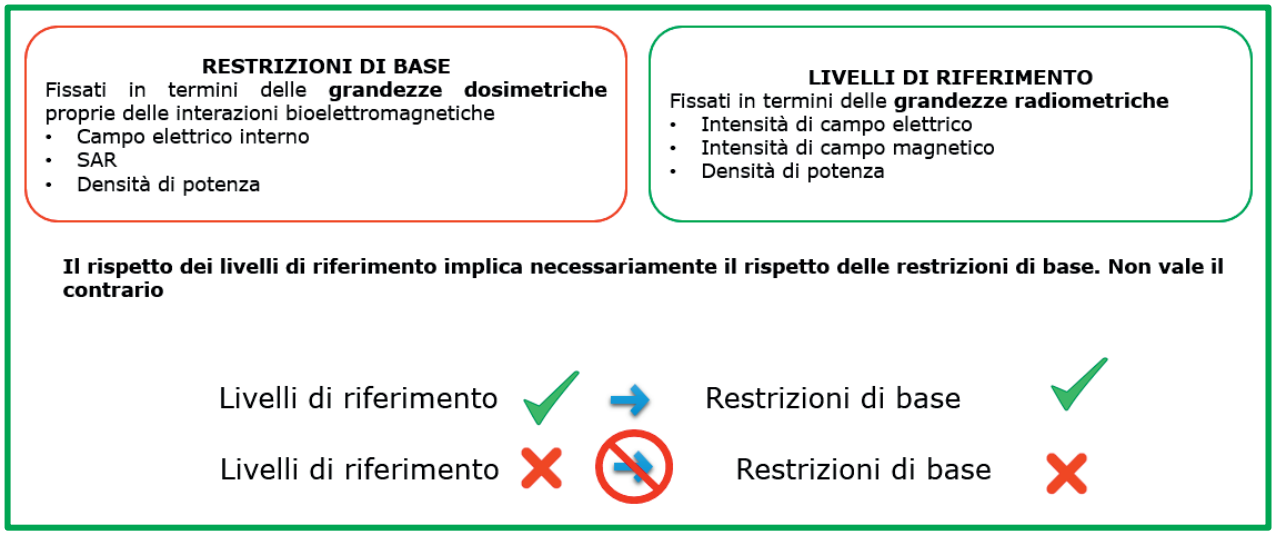


Figura 10 – Livelli di riferimento vs Restrizioni di base

La base scientifica, la filosofia, ed i limiti di esposizione delle linee guida ICNIRP sono stati integralmente recepiti dall'Unione Europea che li ha introdotti nella legislazione comunitaria mediante due atti distinti: la Direttiva 2013/35/UE per quanto riguarda la protezione dei lavoratori (già menzionata) e la Raccomandazione del Consiglio 1999/519/CE [17] del luglio 1999 per quel che riguarda la protezione della popolazione. La Tabella 4 riassume la differente nomenclatura adottata per esprimere i valori limite di esposizione.

	Limiti in termini delle grandezze dosimetriche	Limiti in termini di grandezze radiometriche
Linee Guida ICNIRP	Restrizioni di base	Livelli di riferimento
Raccomandazione 1999/519/CE	Limiti di base	Livelli di riferimento
Direttiva 2013/35/UE	VLE (Valori limite di esposizione)	LA (Livelli di azione)
D.lgs 81/2008	VLE (Valori limite di esposizione)	VA (Valori di azione)

Tabella 4 – Nomenclatura adottata per esprimere i limiti di esposizione

Coerentemente con la direttiva 2013/35/UE, anche l'approccio protezionistico introdotto nel capo IV del titolo VIII del d.lgs. 81/2008 è basato sulle LG dell'ICNIRP.
Come specificato nell'articolo 206 (campo di applicazione), le disposizioni del capo IV riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti biofisici diretti e agli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici. Non riguardano al contrario la protezione da eventuali effetti a lungo termine e i rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione.
Il fatto che le prescrizioni del d.lgs. 81/2008 non si applichino alla protezione da ipotetici effetti a lungo termine è coerente con il razionale della direttiva 2013/35/UE che,

nel preambolo, afferma "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".
In linea con la logica dell'ICNIRP e in accordo con la direttiva 2013/35/UE anche il capo IV introduce restrizioni differenti per la protezione dagli effetti sensoriali e da quelli sanitari attraverso un doppio sistema di Valori limite di esposizione (VLE) e di Valori di azione (VA).
Gli effetti sensoriali possono manifestarsi a livelli di esposizione più bassi ed i relativi limiti sono quindi generalmente più restrittivi ma flessibili rispetto a quelli stabiliti per la protezione dagli effetti sanitari, per i quali sono imposti limiti più elevati ma rigidi (a meno delle condizioni previste dall'articolo 212 - Deroghe). La normativa prevede pertanto la possibilità di superare i limiti di esposizione per la protezione dagli effetti sensoriali e la eventualità del verificarsi di tali effetti a condizione che ne siano controllate le conseguenze sulla capacità di lavorare in modo sicuro (rischi per la sicurezza).
La condizione di sperimentare effetti sensoriali assume in ogni caso carattere di eccezionalità "ove giustificato dalla prassi o dal processo" e deve essere accompagnata dall'adozione di specifiche e ulteriori misure di protezione da parte del datore di lavoro.

Per quanto riguarda gli effetti indiretti, un elenco è fornito nell'articolo 207 e sono i seguenti:

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

Si precisa che i VLE stabiliti per gli effetti diretti non proteggono dai rischi per gli effetti indiretti in particolare per quanto riguarda fenomeni di interferenza con dispositivi medici impiantabili e indossabili attivi che possono verificarsi per livelli di campo estremamente bassi, anche inferiori a quelli fissati per i VA.

5.2 Valutazione del rischio

L'articolazione dell'articolo 209 prevede che nella valutazione dei rischi il datore di lavoro possa utilizzare, almeno in prima istanza, riferimenti operativi quali la Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE della Commissione europea [18], le pertinenti norme tecniche europee e del Comitato elettrotecnico italiano (CEI), le specifiche buone prassi individuate o emanate dalla

Commissione consultiva permanente di cui all'articolo 6 del d.lgs. 81/2008, le informazioni reperibili presso banche dati dell'Inail o delle regioni. La valutazione del rischio deve tenere conto anche delle informazioni sull'uso e sulla sicurezza rilasciate dai fabbricanti o dai distributori delle attrezzature, ovvero dei livelli di emissione indicati in conformità alla legislazione europea, ove applicabili alle condizioni di esposizione sul luogo di lavoro o sul luogo di installazione (articolo 209 comma 1).
Il richiamo alle informazioni fornite dal fabbricante evidenzia l'importanza dei manuali tecnici di istruzione e uso delle apparecchiature, la cui consultazione diventa rilevante anche in riferimento alla eventuale indicazione di misure di protezione per i lavoratori, in particolare per quanto riguarda i soggetti sensibili, quali i portatori di dispositivi medici impiantabili e indossabili attivi e le donne in gravidanza. Come vedremo più avanti, le indicazioni dei fabbricanti sono rilevanti anche nel caso di utilizzo di DPI smart da parte dei lavoratori portatori di dispositivi medici.

La valutazione del rischio si complica qualora non sia possibile stabilire con certezza il rispetto dei VLE sulla base di informazioni facilmente accessibili, condizione che comporta la necessità di effettuare misurazioni o calcoli (articolo 209 comma 2). Questa articolazione del processo di valutazione dei rischi è finalizzata a supportare le imprese, soprattutto le piccole e medie (PMI), per le quali il percorso delineato permette di evitare, in gran parte delle condizioni espositive, gravosi oneri connessi alle misure e/o alla dosimetria per la valutazione dei VLE. Citato implicitamente attraverso il richiamo alle banche dati, assume rilevanza il Portale agenti fisici (PAF) (http://www.portaleagentifisici.it/).
La sezione campi elettromagnetici, oltre alla banca dati in continuo aggiornamento, contiene infatti materiale informativo sulla descrizione del rischio, materiale didattico, un elenco delle norme di legge e tecniche applicabili, linee guida, articoli di letteratura e contributi scientifici e tecnici pertinenti prevalentemente la descrizione di interventi di valutazione e riduzione del rischio.

Portale agenti fisici

Tra il materiale disponibile sul Portale sono anche le versioni italiana e inglese dei tre volumi della Guida non vincolante di cui all'articolo 14 della direttiva 2013/35/UE anch'esse, come già detto, indicate dal decreto quale possibile supporto operativo per la valutazione del rischio https://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_documentazione.php?lg=IT

Tra le fonti informative è di interesse anche il documento del Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, redatto in collaborazione con l'Inail e l'ISS, "Indicazioni operative sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro. Titolo VIII - d.lgs. n. 81/2008" [19], consultabile al link:
https://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_normativa.php?lg=IT

Nella gestione dei rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici in ambito occupazionale occorre distinguere tra esposizioni "professionali" e "non professionali" in quanto alle due categorie si applicano requisiti di protezione differenti.
In base alla Legge 22 febbraio 2001, n.36 [20], "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", per esposizione dei lavoratori si intende "ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" (art.3, comma 1, lettera f). Sono quindi da intendersi come "esposizioni di carattere professionale" quelle strettamente correlate e necessarie alla specifica mansione assegnata.
Per le esposizioni di carattere non professionale si applicano criteri di protezione più restrittivi in particolare i requisiti previsti dai due DPCM 8/7/2003 [21, 22] applicativi della Legge quadro (valevoli per la popolazione generale) che dovrebbero garantire, in generale, l'assenza di effetti su qualsiasi soggetto esposto, anche con controindicazioni specifiche (soggetti sensibili), fermo restando l'obbligo in tali casi di effettuare una valutazione specifica.
I decreti stabiliscono differenti valori limite sui campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ovvero il limite di esposizione (definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione); il valore di attenzione (definito quale misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine, da rispettare nei luoghi adibiti a permanenze prolungate) e l'obiettivo di qualità (definito ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi).

Come precisato nei due decreti, a tutela delle esposizioni a campi generati da sorgenti non riconducibili agli elettrodotti o ai sistemi di telecomunicazioni fissi, nel range 0 Hz - 300 GHz si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella Raccomandazione 1999/519/CE (figura 11).

Figura 11 – DPCM 8 luglio 2003 per la protezione della popolazione

Si evidenzia che il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità stabiliti nel DPCM 8/7/2003 relativo agli impianti di telecomunicazione fissi sono stati aggiornati a 15 V/m dalla Legge n.214 del 30/12/2023.

Le restrizioni stabilite per la popolazione assumono dunque rilevanza anche nei luoghi di lavoro, in relazione a tutti i lavoratori esposti non per motivi professionali e ai soggetti particolarmente sensibili al rischio. In particolare, in questa categoria rientrano i portatori di dispositivi medici, impiantabili o indossabili, attivi o passivi, e le donne in gravidanza. Come descritto nel paragrafo successivo, sebbene con opportune precisazioni, in generale questi lavoratori sono adeguatamente tutelati se sono rispettati i requisiti di protezione stabiliti per la popolazione ovvero, nel caso in esame, i requisiti stabiliti dalla Raccomandazione 1999/519/CE.
Una delle azioni prioritarie da intraprendere pertanto - come richiamato dalle norme di buona tecnica e dalle buone prassi, è che le aree di superamento dei livelli di riferimento per la popolazione siano opportunamente segnalate.

5.3 Portatori di dispositivi medici impiantabili e indossabili

5.3.1 Aspetti protezionistici e valutazione del rischio

Come definito dal Regolamento (UE) 2017/745 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 aprile 2017, relativo ai dispositivi medici (MDR) [23], per Dispositivo medico impiantabile attivo (DMIA) si intende "dispositivo medico attivo (dispositivo che si

basa su energia elettrica o fonte di energia diversa da quella prodotta direttamente dal corpo umano o dalla gravità), destinato ad essere impiantato, interamente o parzialmente, mediante intervento chirurgico o medico, nel corpo umano". Esempi di DMIA sono:

- stimolatori cardiaci
- defibrillatori
- impianti cocleari
- impianti al tronco encefalico
- protesi dell'orecchio interno
- neurostimolatori
- pompe per l'infusione di farmaci
- codificatori della retina

Per i Dispositivi medici indossabili (DMI) non esiste una definizione specifica all'interno dell'MDR, ma essi rientrano nella definizione generale di dispositivo medico. Esempi di DMI sono:

- misuratori di glicemia;
- microinfusori di farmaci (e.g. insulina);
- apparecchi acustici;
- sistemi di monitoraggio dell'attività cardiaca;
- protesi articolari esterne;
- esoscheletri

Tutti i DMIA ed i DMI che vengono immessi sul mercato devono rispettare i requisiti generali di sicurezza e prestazione (General safety and performance requirements - GSPR) indicati nell'appendice I del Regolamento 2017/745. Secondo l'approccio adottato dall'Unione Europea, questi requisiti sono volutamente di carattere generale, in modo da garantirne l'applicabilità e validità su tempi lunghi. I contenuti tecnici sono invece rimandati a norme tecniche che, pur non vincolanti, se seguite dal fabbricante in fase di progettazione e realizzazione del dispositivo, ne garantiscono la presunzione di conformità ai requisiti generali del Regolamento (norme tecniche armonizzate).
Per quanto riguarda i campi elettromagnetici, il Regolamento 2017/745 stabilisce che i dispositivi medici 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, elettrici ed elettromagnetici esterni, e con le scariche elettrostatiche. Questo requisito include la necessità di prevenire possibili effetti di interferenza causati da campi elettromagnetici a cui il dispositivo può essere esposto, effetti rilevanti ai fini della valutazione dei rischi dei lavoratori portatori di DMIA o DMI.
Ne consegue, quindi, che il primo passo per poter capire se un dispositivo medico, in presenza di un campo elettromagnetico, può presentare malfunzionamenti, è la conoscenza dei requisiti di immunità elettromagnetica che questo dispositivo deve

rispettare prima di poter essere immesso sul mercato. Questi sono definiti all'interno delle norme tecniche armonizzate cui possono riferirsi i fabbricanti in applicazione dei requisiti generali di sicurezza e prestazione del Regolamento. La compatibilità elettromagnetica per DMIA e DMI è affrontata in standard separati, che indicano quindi diversi livelli di immunità.

5.3.2 Lavoratori portatori di DMIA

Gli standard tecnici che definiscono i requisiti minimi per la compatibilità elettromagnetica dei DMIA appartengono alle famiglie EN 45502 ed ISO 14708. Queste due famiglie differiscono per ente di normazione che le ha promulgate e per aree geografiche nelle quali hanno validità, ma, sostanzialmente sono equivalenti in termini di prescrizioni fornite. Sono strutturate in una norma generale (detta anche "orizzontale"), valida cioè per tutti i DMIA, ovvero la EN 45502-1 e la ISO 14708-1 e più norme particolari (dette anche "verticali"), specifiche per le diverse tipologie di dispositivo (EN 45502-2-X, e ISO 14708-X). Questi standard coprono tutti gli aspetti legati alla sicurezza ed all'efficacia del dispositivo, dalle proprietà meccaniche, alla sicurezza elettrica e alla compatibilità elettromagnetica. Per quanto riguarda pacemaker (PM) e defibrillatori impiantabili (ICD), che rappresentano i DMIA più diffusi, i requisiti minimi per la compatibilità elettromagnetica sono definiti all'interno di uno standard dedicato, lo standard ISO 14117. Tutte queste norme tecniche hanno un razionale comune: i livelli di immunità ed i relativi metodi di prova sono stati scelti per garantire il corretto funzionamento dei DMIA in presenza di campi elettromagnetici (CEM) che possono essere ragionevolmente incontrati nella nostra vita quotidiana. Il riferimento per definire queste condizioni di esposizione ragionevolmente prevedibili è la Raccomandazione Europea 1999/519/CE, che definisce i valori massimi di CEM (da 0 Hz a 300 GHz) a cui può essere esposta la popolazione generale, sulla base delle raccomandazioni presenti nella Linea Guida ICNIRP del 1998. Questo approccio permette quindi di assumere, come già anticipato in precedenza, che i rischi per un paziente portatore di un DMIA possono essere considerati accettabili, se sono rispettati i requisiti stabiliti dalla Raccomandazione 1999/519/CE per la popolazione generale.
Sui luoghi di lavoro, tuttavia, i valori limite indicati nella Raccomandazione possono essere superati e i VA e i VLE previsti dal Capo IV, come già detto, non garantiscono un'adeguata protezione dei portatori di DMIA.
La normativa, pur evidenziando la necessità di adottare adeguate precauzioni e misure protettive per il lavoratore con DMIA, non fornisce indicazioni tecniche per implementare tali misure. È quindi compito del datore di lavoro individuare i potenziali rischi e mettere in atto misure di protezione specifiche in grado di mitigarli.
Per quanto riguarda i portatori di DMIA in generale e gli stimolatori cardiaci in particolare, quale supporto operativo i datori di lavoro possono riferirsi all'approccio descritto da specifiche norme (50527-1:2016, EN 50527-2-1:2016, EN 50527-2-2:2018).

Tali norme tecniche suggeriscono di effettuare una prima analisi dei rischi semplificata basata sul presupposto che i DMIA funzionino correttamente, sebbene con opportune precisazioni, qualora non siano superati i livelli di riferimento stabiliti dalla Raccomandazione 1999/519/CE. Si assume infatti che l'esposizione del paziente sia limitata a campi di un ordine di grandezza che è probabile trovare nell'ambiente "normale", ovvero dovuti alle più comuni sorgenti ambientali. Allo stesso tempo le norme evidenziano però in modo chiaro che questa analisi semplificata non sempre è sufficiente per affrontare in modo adeguato la molteplicità e complessità di situazioni espositive che si possono incontrare in ambiente di lavoro, e può quindi essere necessario effettuare valutazioni più approfondite (come, ad esempio, nel caso dei sistemi RFID - Radio Frequency IDentification).
Da un punto di vista pratico le norme CENELEC propongono, in prima istanza, un'analisi dei rischi semplificata seguita, se necessario, da una più approfondita valutazione del rischio.
L'analisi semplificata delineata nella norma generale EN50527-1 presuppone l'iniziale identificazione delle sorgenti potenzialmente interferenti con il DMIA, sorgenti che devono poi essere confrontate con quelle riportate in una tabella (tabella 1 della norma), che elenca gli ambienti di lavoro e le apparecchiature considerate automaticamente conformi, purché vengano rispettate le indicazioni riportate nella colonna "Eccezione e Note". Se tutte le sorgenti individuate rientrano nella tabella e sono utilizzate come specificato nella stessa, il processo di valutazione del rischio può essere considerato concluso e non sono necessarie ulteriori azioni.
Ad esempio, per i telefoni cellulari e per i telefoni senza fili, indipendentemente dal luogo di utilizzo, la valutazione del rischio, a meno di indicazioni particolari (tabella 1 "Eccezioni e Note"), presuppone come unica misura precauzionale il mantenimento di una distanza di sicurezza di 15 cm.
Se sul luogo di lavoro sono presenti sorgenti diverse da quelle riportate nella tabella 1, o il loro utilizzo non è conforme a quanto indicato nella tabella stessa, lo sforzo di valutazione può essere comunque ridotto verificando se il lavoratore con DMIA abbia già lavorato nella sua mansione attuale senza effetti clinicamente significativi (comportamento precedentemente non influenzato, paragrafo 5.1.3 di EN50527-1. La norma specifica in ogni caso che tale approccio non offre margini di sicurezza e non è quindi consigliabile adottarlo a meno che si possa escludere la probabilità di interazioni gravi, ossia clinicamente significative. Le stesse considerazioni si possono estendere al caso in cui siano disponibili dati storici di assenza di influenze sul DMIA in relazione alla sorgente in esame.
L'approccio delineato dalla norma è di carattere probabilistico e indirizzato all'analisi dei rischi per il paziente: è necessario valutare non solo la probabilità di interferenza sul dispositivo, ma anche la probabilità che le conseguenze abbiano rilevanza clinica per il lavoratore. Entrambi questi fattori contribuiscono alla definizione del rischio complessivo associato ad una particolare condizione di esposizione e l'esito della valutazione può prevedere la possibilità di un rischio residuo per il paziente purché

questo non comporti effetti clinicamente significativi. Nel caso in cui nessuno degli approcci semplificati risponda alle peculiarità del luogo di lavoro, è necessario procedere ad una valutazione specifica, seguendo uno dei due approcci, clinico e non clinico, riportati nell'Allegato A della norma, anch'esso di carattere normativo.

Sono proposti due possibili approcci alternativi:

- Approccio non clinico: si basa sul confronto tra i livelli di esposizione presenti sul luogo di lavoro e i livelli di immunità del dispositivo. I livelli di esposizione possono essere determinati per via diretta, tramite misure sperimentali, o indirettamente, attraverso calcoli o informazioni fornite dal costruttore della apparecchiatura sorgente. È importante sottolineare che la valutazione dei livelli di esposizione deve essere effettuata su base istantanea, senza alcuna media temporale (media su 6 minuti per frequenze superiori ai 100 kHz), in quanto possibili effetti interferenti sul DMIA dipendono dai valori istantanei di campo e non dai valori mediati. Coerentemente con i presupposti protezionistici della norma, qualora non vengano superati i livelli di riferimento per la popolazione (Raccomandazione 1999/519/CE) e in assenza di avvertenze specifiche, non è necessaria una ulteriore valutazione di conformità. In caso contrario, occorre effettuare la valutazione della compatibilità del DMIA con i livelli di esposizione ottenuti e individuare le aree dove consentire l'esposizione transitoria o a lungo termine del lavoratore, in funzione della rilevanza clinica degli effetti dell'interferenza. Se le conseguenze dell'interferenza sono clinicamente accettabili per brevi periodi di permanenza ma non per periodi prolungati, il lavoratore può transitare nell'area ma non sostarvi o lavorarci. Viceversa potrà lavorare in aree dove non si prevedono conseguenze anche per esposizioni prolungate. In ogni caso gli sarà negato l'accesso ad aree in cui le conseguenze di possibili interferenze siano clinicamente rilevanti.
- Approccio clinico: si basa sul monitoraggio del funzionamento del DMIA in condizioni di esposizione reali o simulate in laboratorio. Nel caso particolare dei pacemaker, è possibile utilizzare un holter 24h per registrare il funzionamento del dispositivo durante l'intera giornata lavorativa. Tale approccio potrebbe non individuare un margine di sicurezza a meno di effettuare un test provocativo (aumento dei livelli di esposizione fino all'induzione di un'interferenza sul DMIA) e deve essere adottato sotto la supervisione medica.

La figura 12 riassume il percorso delineato dalla norma generale EN50527-1.

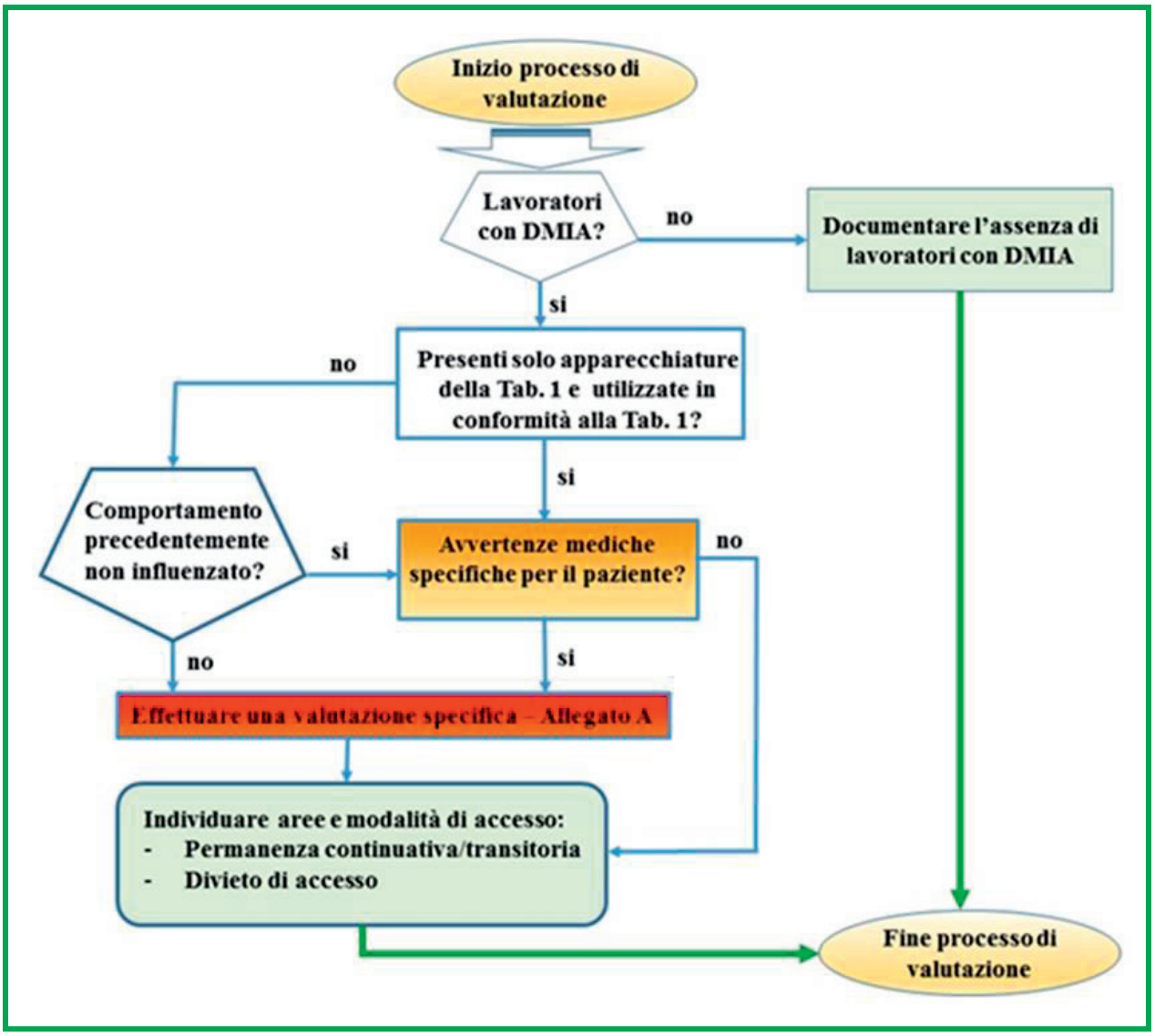


Figura 12 - Procedura di valutazione del rischio per portatori di DMIA ispirata alla norma EN 50527-1.

Tra gli approcci non clinici di interesse rientra quello basato sulla sperimentazione in vitro introdotto nella norma EN 50527-2-1 relativa ai pacemaker, ampiamente usato in ambito di ricerca per verificare la compatibilità elettromagnetica di dispositivi medici impiantabili attraverso test/misurazioni effettuate su simulatori di tronco/cuore (fantocci), ovvero contenitori non-conduttivi riempiti con soluzione salina (0.9% NaCl), muniti di supporti regolabili per il dispositivo medico e per i cateteri, per consentire di simulare diverse condizioni di impianto e di riprodurre più realmente possibile la reale condizione di esposizione in vivo. In figura 13 sono riportati differenti configurazioni di simulatori.

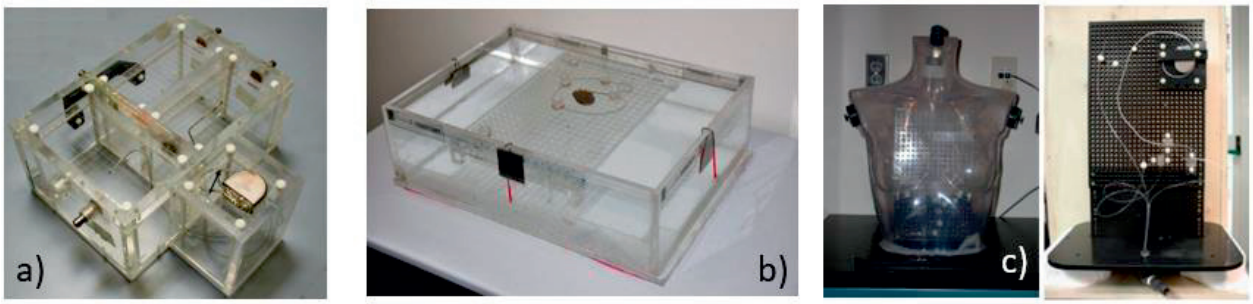


Figura 13 – Differenti tipologie di simulatori tronco/cuore utilizzate nei test in vitro:
a) simulatore di cuore tricamerale; b) simulatore di torace umano; c) simulatore antropomorfo.

Indipendentemente dal percorso seguito, il processo di valutazione del rischio deve comunque terminare, con l'individuazione delle aree di accesso (continuativo/ transitorio) o di interdizione per il lavoratore. Un eventuale esito di questo processo potrebbe pertanto anche comportare la modifica della mansione lavorativa.

5.3.3 Lavoratori portatori di DMI

Passando ai Dispositivi medici indossabili (DMI), la definizione di "dispositivi indossabili" copre una gamma molto ampia di oggetti e tecnologie, in un mercato che è in continua evoluzione: smartwatches, misuratori dell'attività fisica, cerotti sensorizzati, tessuti integrati con sensori, occhiali e cuffie per realtà virtuale, esoscheletri, sono solo alcuni dei dispositivi che rientrano in questa definizione.
Ad oggi non esiste, da un punto di vista normativo, una definizione di " dispositivo indossabile". Nel 2016 la Commissione Europea, all'interno di un documento sulle nuove opportunità di sviluppo in ambito tecnologico per i paesi dell'Unione [24], ha proposto una possibile definizione di dispositivo indossabile intelligente: un dispositivo dotato di sensoristica che possa essere indossato e capace di rilevare segnali di interesse, prelevati dalla persona che lo indossa o dall'ambiente circostante. Questi dispositivi possono avere capacità di memorizzare i dati rilevati, controllare il funzionamento di altri dispositivi e possono comunicare informazioni direttamente attraverso una propria connettività wireless o attraverso altri dispositivi (e.g. uno smartphone).
Naturalmente, molte di queste soluzioni sono espressamente dedicate al fitness e alla cura della persona, e non rientrano nella definizione di dispositivo medico. Per capire se uno dispositivo indossabile risulta effettivamente anche un dispositivo medico (per quanto riguarda la regolamentazione europea) è necessario analizzare la destinazione d'uso prevista dal fabbricante per il dispositivo stesso e confrontarla con la definizione di dispositivo medico presente nel Regolamento Europeo dei Dispositivi Medici (MDR 2017/745).
Come già anticipato, gli standard tecnici che garantiscono la presunzione di conformità ai requisisti essenziali del MDR per i DMI sono diversi rispetto a quelli dei DMIA,

discussi nel precedente paragrafo. In particolare, per i DMI, la famiglia di standard di riferimento è la EN 60601. Lo standard per la sicurezza di base e le prestazioni essenziali dei DMI in presenza di CEM è l'EN 60601-1-2. In modo analogo a quanto visto per i DMIA, per specifiche classi e tipologie di dispositivo, esistono standard particolari di prodotto (EN 60601-2-XX o EN 80601-2-XX) che possono definire condizioni di esposizione ai CEM più restrittive rispetto a quanto previsto nella norma generale EN 60601-1-2, in considerazione delle caratteristiche, del livello di rischio o dell'ambiente di utilizzo previsto dal fabbricante per il dispositivo.
La norma generale, applicabile a tutti gli elettromedicali, prevede sia test di immunità condotta che radiata. Nel caso specifico dei DMI, si applicano solamente i test radiati, dal momento che i test condotti devono essere effettuati per i dispositivi alimentati a rete o che prevendono cavi paziente di lunghezza superiore ad 1 m. Per quanto riguarda le prove di immunità radiate, che prendono in considerazione sorgenti di CEM che operano nell'intervallo di frequenze compreso tra 80 MHz e 2,7 GHz, lo standard EN 60601-1-2 definisce i livelli minimi di immunità ai CEM in base all'ambiente di utilizzo in cui il dispositivo dovrà operare secondo le indicazioni fornite dal fabbricante. Specificamente, vengono identificati tre possibili scenari:

- Utilizzo in ambiente clinico-ospedaliero (es. ospedale, casa di cura, ...) – livello minimo di immunità al campo elettrico = 3 V/m;
- Utilizzo in ambiente domestico (casa, cinema, ristoranti, ...) – livello minimo di immunità al campo elettrico = 10 V/m;
- Utilizzo in ambienti speciali (es. aree militari, impianti industriali con particolari sorgenti elettromagnetiche, ecc.) – livello minimo di immunità al campo elettrico da definire caso per caso.

Il termine "speciale" non significa che questi ambienti siano insoliti, ma solo che il dispositivo è pensato per essere impiegato in ambienti caratterizzati da CEM sostanzialmente diversi rispetto a quelli che si possono trovare in ambienti sanitari o domestici. Per i dispositivi che operano in questi ambienti, è compito del fabbricante stabilire i livelli minimi di immunità ai CEM, sulla base di una analisi dei rischi che tenga conto delle caratteristiche di funzionamento del dispositivo stesso, del livello di pericolosità di un eventuale suo malfunzionamento e delle particolari sorgenti di CEM che si possono trovare nel l'ambite di utilizzo.
Nel caso dei DMI, la loro stessa natura implica che questi si muovano con il paziente e che quindi sperimentino tutte le condizioni di esposizione ai CEM che il paziente stesso sperimenta nel corso della sua vita quotidiana È quindi ragionevole assumere che per i DMI i livelli di immunità minimi debbano almeno essere quelli previsti per i dispositivi medici ad uso domestico (i.e. 10 V/m). In aggiunta a questo livello di immunità base, sono previsti limiti più stringenti a particolari frequenze, corrispondenti a quelle utilizzate dei più diffusi sistemi di comunicazione mobile [25]. Anche i limiti in termini di campo magnetico sono dati solo per frequenze specifiche, corrispondenti a quelle che tipicamente possono essere incontrare nei normali ambienti di vita quotidiana.

Ad oggi non esiste nessun standard tecnico che affronti in modo specifico la valutazione del rischio per lavoratori portatori di DMI. In altre parole, per i DMI non esiste uno standard equivalente all'EN 50527-1 per i DMIA. Tuttavia, lo stesso standard EN 50527-1 può essere preso come riferimento per condurre questa valutazione in modo efficace e formalmente corretto. I differenti livelli di immunità previsti per DMI e DMIA non permettono di considerare immediatamente sicure le sorgenti riportate nella tabella 1 della EN 50527-1 anche per i DMI. Tuttavia, è possibile utilizzare lo stesso razionale con cui la tabella è stata costruita e confrontare i valori del campo misurati sul posto di lavoro con i livelli di test di immunità specificati nello standard tecnico EN 60601-1-2. Nell'effettuare questo confronto è importante ricordare che i livelli di immunità richiesti ai DMI non sono stati scelti sulla base di un legame con i limiti per l'esplosione umana, e questo genera una importante criticità: il minimo livello di immunità al campo elettrico richiesto ai DMI (10 V/m) nell'intervallo di frequenza 80 MHz-2,7 GHz è più basso rispetto ai limiti stabiliti dalla Raccomandazione 1999/519/CE. Questo implica che, anche in condizioni in cui i livelli di riferimento per la popolazione siano rispettati, il corretto funzionamento del dispositivo non è garantito.

Nel processo di valutazione dei rischi, particolare attenzione deve essere data alle sorgenti che operano in bande di frequenza che richiedono test a frequenze e livelli di campo specifici. Inoltre, bisogna considerare eventuali limiti più stringenti stabiliti negli standard specifici per la particolare tipologia di DMI (ad esempio, EN 80601-2-XX o EN 60601-2-XX), se applicabili. Se i valori di campo elettromagnetico misurati in ambiente di lavoro sono inferiori ai livelli di test di immunità indicati nello standard e la distanza da qualsiasi sorgente RF è maggiore di quella utilizzata dal produttore durante i test EMC (tipicamente 30 cm, se non indicato diversamente nel manuale del dispositivo), il rischio per il lavoratore può essere considerato accettabile. Altrimenti, il corretto funzionamento del dispositivo non può essere garantito, e una valutazione più approfondita è necessaria. Questa valutazione deve essere effettuata con un'analisi caso per caso, in base alle caratteristiche del dispositivo medico e alle condizioni di esposizione ai CEM. Anche per questa analisi specifica, l'approccio generale descritto per i DMIA può essere esteso ai DMI: in particolare, la valutazione del rischio specifica può essere effettuata seguendo i due possibili metodi investigativi precedentemente menzionati: metodi clinici (o in vivo) e metodi non clinici.
Indipendentemente dal metodo di indagine seguito, se il processo di valutazione identifica condizioni di rischio inaccettabili, sarà necessario definire aree di accesso limitato o interdette per il lavoratore con il DMI. Un possibile risultato di questo processo potrebbe portare, anche in questo caso, alla modifica del ruolo lavorativo e alla conseguente riallocazione del lavoratore.

5.3.4 Lavoratori con DMIA O DMI e portatori di DPI SMART

L'introduzione nell'ambiente di lavoro di DPI smart basati sull'utilizzo di campi elettromagnetici richiede sempre, da parte del datore di lavoro, un aggiornamento della valutazione dei rischi. Attualmente, la maggior parte dei DPI smart utilizza tecnologie già ampiamente diffuse e utilizzate in altri ambiti, sia lavorativi che di vita quotidiana, come trasmettitori Bluetooth, tag e lettori RFID (Radio Frequency IDentification), sistemi di comunicazione 5G, ecc. Queste tecnologie sono progettate per essere fruibili dalla popolazione generale e, nella quasi totalità dei casi, rispettano i limiti indicati dalla Raccomandazione 1999/519/CE.
Di conseguenza, non introducono alcun rischio aggiuntivo per i lavoratori non particolarmente sensibili al rischio elettromagnetico. L'aggiornamento della valutazione dei rischi comporta quindi unicamente l'inserimento del DPI smart tra le sorgenti elettromagnetiche presenti nell'ambiente di lavoro, senza la necessità di ulteriori approfondimenti. Tuttavia, se l'utilizzo del DPI smart dovesse comportare il superamento dei limiti previsti dalla Raccomandazione 1999/519/CE, eventualità decisamente remota, sarà necessario effettuare misurazioni o altre verifiche per dimostrare che i limiti della Direttiva 2013/35/UE non siano superati.

Un'analisi più dettagliata potrebbe essere necessaria per valutare i rischi connessi all'esposizione di lavoratori portatori di dispositivi medici. Nel caso di dispositivi medici impiantabili passivi, come placche metalliche o protesi, l'unico rischio correlato all'esposizione ai campi elettromagnetici è il potenziale riscaldamento indotto. Tuttavia, questo rischio non sussiste alla luce delle basse potenze impiegate nei DPI smart. Come unica misura precauzionale, potrebbe essere opportuno verificare che la presenza della protesi non alteri il comportamento o le prestazioni del DPI smart.

Per i lavoratori portatori di DMIA o DMI, invece, potrebbero essere necessari approfondimenti specifici, seguendo le indicazioni operative riportate negli standard tecnici della famiglia EN 50527. Se la tecnologia utilizzata dal DPI smart rientra tra quelle elencate nella tabella 1 della norma EN 50527-1 (ad esempio dispositivi Bluetooth, Wi-Fi o di comunicazione mobile) e vengono rispettati i criteri di utilizzo indicati, i rischi per il lavoratore possono essere considerati accettabili, concludendo così la valutazione.

Nel caso di tecnologie non incluse tra le sorgenti elencate nella tabella 1 (ad esempio tag e trasmettitori RFID-Radio Frequency IDentification/NFC–Near Field Communication), sarà necessario considerare le indicazioni fornite dal fabbricante del DMIA o del DMI e, eventualmente, dal fabbricante del DPI smart nei rispettivi manuali d'uso, per individuare le distanze di sicurezza da mantenere tra i due dispositivi. Tipicamente, per le tecnologie impiegate nei DPI smart, tali distanze sono dell'ordine di qualche decina di centimetri. In questi casi, potrebbe essere sufficiente adottare soluzioni operative che garantiscano il rispetto di tale distanza.

6. DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE CONTRO I RISCHI DI NATURA ELETTRICA

6.1 Premessa

Contrariamente a quanto si possa pensare, l'utilizzo di dispositivi di protezione individuali (DPI) contro i rischi di natura elettrica in ambito lavorativo è limitato ad alcune fattispecie ben precise, considerate dal d.lgs. 81/08 (di seguito TU). Nella maggior parte dei casi, infatti, i rischi sono gestiti mediante la realizzazione a regola d'arte degli impianti o degli apparecchi elettrici, mediante procedure e formazione per il loro corretto utilizzo e l'attuazione di tutte quelle misure necessarie a controllare e mantenere nel tempo le condizioni di sicurezza iniziali [26]. In altri le procedure di lavoro consentono di mantenere i lavoratori a sufficiente distanza da eventuali parti attive non protette o porre gli stessi impianti fuori tensione e in sicurezza, consentendo di operare in condizioni di rischio accettabile. Tuttavia, i cosiddetti "lavori sotto tensione", di cui all'art. 82 del TU, possono essere eseguiti solamente alle condizioni previste da tale articolo, che rinvia operativamente alle indicazioni tecniche e procedurali delle norme tecniche che, per alcuni metodi di lavoro, prevedono espressamente l'impiego di DPI contro il rischio elettrico; inoltre, per la protezione dall'innesco delle atmosfere esplosive, l'allegato L del TU richiede di dotare i lavoratori di idonei DPI per ridurre la possibilità di produzione di scariche elettrostatiche.

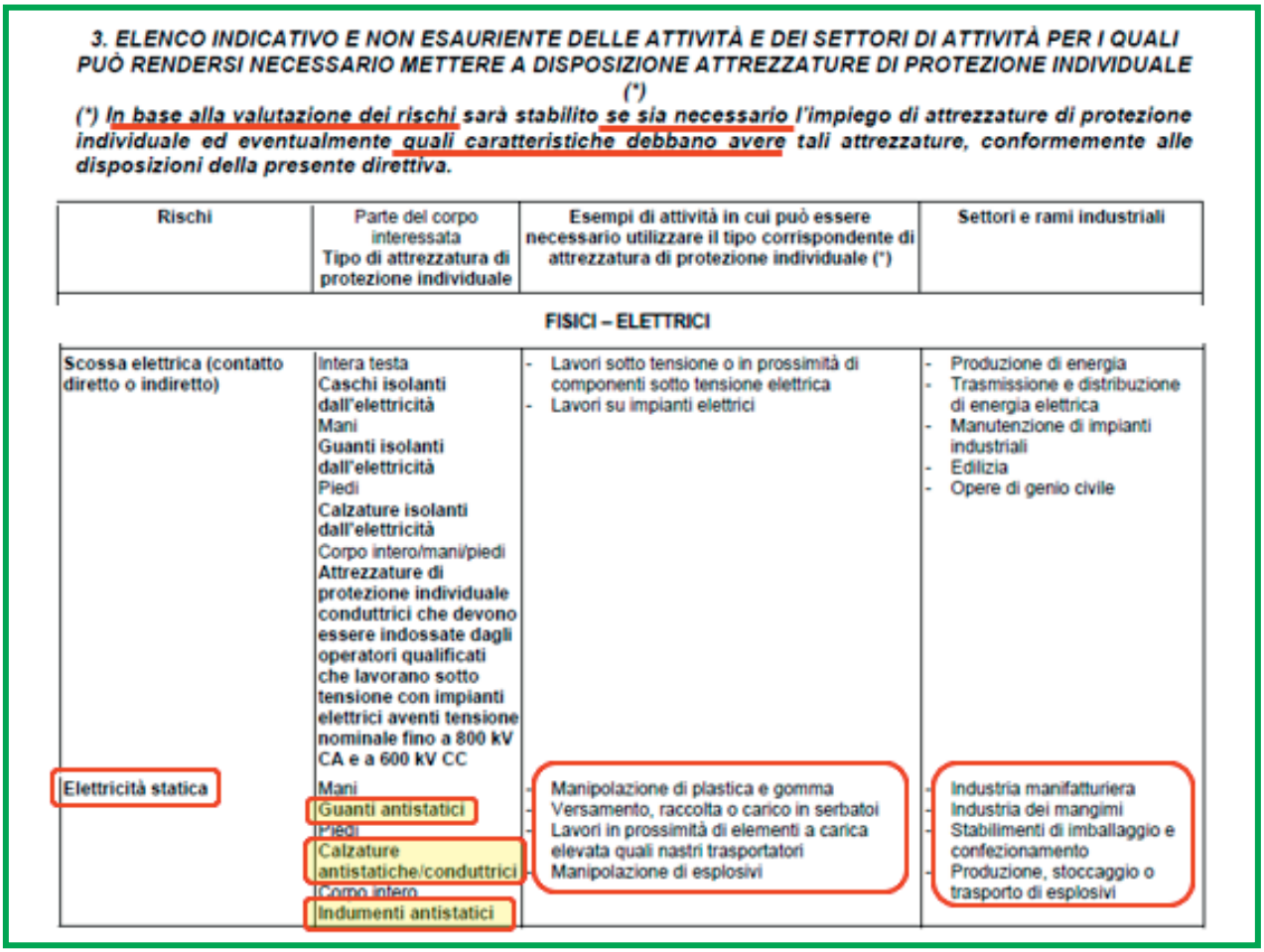
Qui vengono esaminati i DPI previsti nei lavori sotto tensione e quelli impiegabili nelle aree con presenza di atmosfere esplosive per evitare l'accumulo di cariche elettrostatiche sulle persone, che potrebbero essere causa di innesco elettrico. Per due di essi sarà confrontata l'applicabilità di alcune funzioni connesse alla tecnologia IoT, in base a quanto previsto dal rapporto tecnico UNI 11858:2022. Si farà cenno, infine, all'impiego di un dispositivo per la protezione contro il rischio elettrico applicabile a DPI aventi differente funzione.

6.2 L'innesco delle atmosfere esplosive

Questo rischio deve essere valutato e gestito quando, in base alla natura dell'attività svolta, alle caratteristiche degli impianti e delle sostanze utilizzate, ai processi seguiti e alle loro eventuali interazioni, nel luogo di lavoro sono presenti zone in cui si possono formare, delle miscele con l'aria di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori o nebbie o polveri combustibili nelle quali, a condizioni atmosferiche, in presenza di innesco, potrebbe verificarsi l'esplosione della miscela; oppure, in caso di fabbricazione, manipolazione o deposito di materiali esplosivi. Tenendo anche conto di quanto prescritto al titolo XI del TU, il datore di lavoro deve innanzitutto cercare di

prevenire la formazione di atmosfere esplosive; se la natura dell'attività non lo consente, a seguito di un'adeguata valutazione del rischio, si devono adottare tutte le misure tecniche ed organizzative necessarie ad evitare l'accensione delle atmosfere esplosive e ad attenuarne gli eventuali danni conseguenti. In particolare, devono essere individuate le zone in cui si possono formare atmosfere esplosive e ne deve esser determinata l'estensione; tali zone devono essere classificate in base alla probabilità e alla durata della presenza dell'atmosfera esplosiva, secondo quanto previsto dalle norme CEI EN 60079-10-1 (per gas, vapori, nebbie) e CEI EN 60079-10-2 (per le polveri); per tali aree devono essere applicate le prescrizioni dell'Allegato L. Ad esito della valutazione deve poi essere redatto uno specifico documento sulla protezione contro l'esplosione.

Per la prevenzione dei rischi di accensione, conformemente a quanto indicato al punto 2.3 dell'Allegato L del TU, si tiene conto anche delle scariche elettrostatiche che possono provenire dai lavoratori o dall'ambiente di lavoro, che agiscono come elementi portatori di carica o generatori di carica [27]. A tal fine I lavoratori devono esser "dotati di adeguati indumenti di lavoro fabbricati con materiali che non producono scariche elettrostatiche che possano causare l'accensione di atmosfere esplosive". Questi indumenti sono di fatto dei DPI, come indicato dalla tabella 3 dell'allegato VIII del TU che, per la protezione dagli effetti dell'elettricità statica in determinati settori e rami industriali e per alcune attività, prevede espressamente l'uso di specifici DPI (qui chiamati attrezzature di protezione individuale), in particolare, le calzature antistatiche o conduttrici, gli indumenti antistatici e i guanti antistatici. Nella tabella è specificato che l'effettiva necessità di adozione e le caratteristiche dei DPI sono oggetto di valutazione dei rischi.



3. ELENCO INDICATIVO E NON ESAURIENTE DELLE ATTIVITÀ E DEI SETTORI DI ATTIVITÀ PER I QUALI PUÒ RENDERSI NECESSARIO METTERE A DISPOSIZIONE ATTREZZATURE DI PROTEZIONE INDIVIDUALE (*)

(*) In base alla valutazione dei rischi sarà stabilito se sia necessario l'impiego di attrezzature di protezione individuale ed eventualmente quali caratteristiche debbano avere tali attrezzature, conformemente alle disposizioni della presente direttiva.

Rischi	Parte del corpo interessata Tipo di attrezzatura di protezione individuale	Esempi di attività in cui può essere necessario utilizzare il tipo corrispondente di attrezzatura di protezione individuale (*)	Settori e rami industriali
	FISICI – ELETTRICI		
Scossa elettrica (contatto diretto o indiretto)	Intera testa Caschi isolanti dall'elettricità Mani Guanti isolanti dall'elettricità Piedi Calzature isolanti dall'elettricità Corpo intero/mani/piedi Attrezzature di protezione individuale conduttrici che devono essere indossate dagli operatori qualificati che lavorano sotto tensione con impianti elettrici aventi tensione nominale fino a 800 kV CA e a 600 kV CC	- Lavori sotto tensione o in prossimità di componenti sotto tensione elettrica - Lavori su impianti elettrici	- Produzione di energia - Trasmissione e distribuzione di energia elettrica - Manutenzione di impianti industriali - Edilizia - Opere di genio civile
Elettricità statica	Mani Guanti antistatici Piedi Calzature antistatiche/conduttrici Corpo intero Indumenti antistatici	- Manipolazione di plastica e gomma - Versamento, raccolta o carico in serbatoi - Lavori in prossimità di elementi a carica elevata quali nastri trasportatori - Manipolazione di esplosivi	- Industria manifatturiera - Industria dei mangimi - Stabilimenti di imballaggio e confezionamento - Produzione, stoccaggio o trasporto di esplosivi

Figura 14: d.lgs. 81/08, allegato VIII, tabella 3

A tal fine si può fare riferimento al rapporto tecnico CEI CLC/TR 60079-32-1, che dedica un intero capitolo all'analisi dei fenomeni elettrostatici sulle persone e alla scelta e all'impiego dei relativi DPI nei luoghi con pericolo di esplosione. Il documento indica quali sono i principali meccanismi che determinano l'accumulo di cariche elettrostatiche sul corpo di una persona isolata da terra. Nel momento in cui la persona tocca una parte metallica, eventualmente collegata a terra, si può verificare la scarica elettrica nel punto di contatto; se l'energia sviluppata durate la scarica supera l'energia minima di innesco (MIE) dell'atmosfera esplosiva, si verifica l'esplosione. Per evitare ciò, si deve consentire il drenaggio continuo a terra delle cariche che tenderebbero ad accumularsi sulla persona, attraverso alcuni DPI e cioè calzature, indumenti e guanti. Tra questi, dovendo drenare a terra le cariche, i più importanti sono ovviamente le calzature. Il rapporto tecnico le classifica in base ad un valore di resistenza elettrica, la "leakage resistance" (lr), definita come resistenza espressa in ohm tra un elettrodo a contatto con la superficie da misurare e la terra. Le calzature che hanno un valore lr < 100 kΩ sono definite "conduttive". Quelle che hanno un valore 100 kΩ ≤ lr < 100 MΩ di sono definite "dissipative". Quelle che hanno un valore 100 MΩ ≤ lr sono definite "isolanti".

Il rapporto fornisce delle tabelle con valori tipici della MIE per le diverse sostanze infiammabili. Nei casi in cui si ritiene possibile la presenza o la formazione di atmosfere esplosive con MIE inferiore a 10 mJ, il rapporto raccomanda l'utilizzo almeno di calzature dissipative. In presenza di sostanze particolarmente reattive, definite "very sensitive explosives", (MIE inferiore o uguale a 1 mJ) sono richieste calzature conduttive. L'impiego di calzature conduttive è invece sconsigliato per l'uso generale, perché una resistenza di valore eccessivamente ridotto in serie al corpo umano, come quella offerta dalle calzature conduttive, non fornisce alcuna protezione contro la folgorazione in caso di eventuali contatti con parti in tensione.

Individuate le caratteristiche di resistenza che devono avere le calzature nelle zone classificate per la presenza di atmosfere esplosive, il datore di lavoro deve accertarsi che quelle impiegate dai lavoratori soddisfino quei requisiti. La norma tecnica di prodotto che si utilizza è la UNI EN ISO 20345, che fornisce i requisiti di base e facoltativi per le calzature di sicurezza. La norma classifica le calzature con proprietà elettriche specifiche per l'utilizzo in atmosfere esplosive in "parzialmente conduttive" e "antistatiche" in base alla resistenza misurata tra portatore e suolo (Ω). Le prime hanno resistenza non superiore a 100 kΩ e quindi possono soddisfare i requisiti del rapporto tecnico per i very sensitive explosives. Le calzature antistatiche hanno resistenza maggiore di 100 kΩ e minore o uguale a 1000 MΩ, pertanto soddisfano solo parzialmente i requisiti del rapporto tecnico per le atmosfere esplosive con MIE minore di 10 mJ. La zona di mancata rispondenza al requisito è quella indicata in giallo in figura 15.

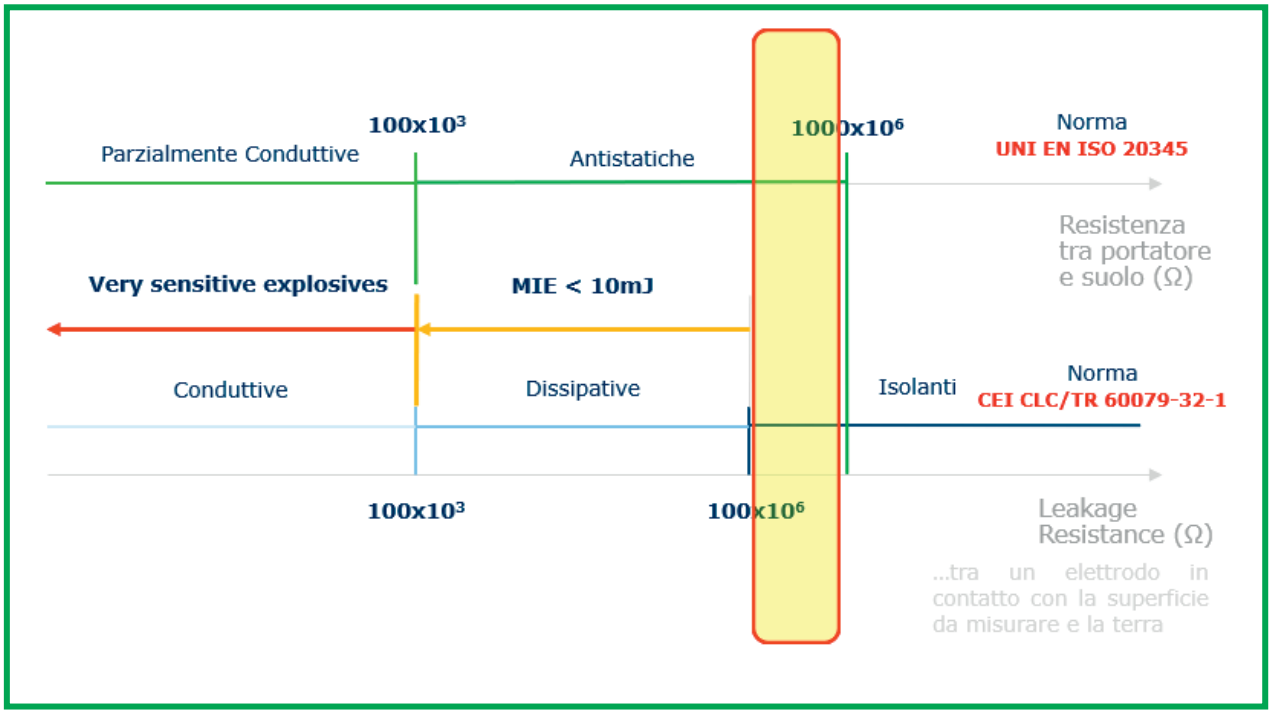


Figura 15: confronto tra le caratteristiche richieste per le calzature dal rapporto tecnico CEI CLC/TR 60079-32-1 e quelle definite dalla norma UNI EN ISO 20345

Stanti la disomogeneità delle definizioni, dei metodi di misura delle resistenze e degli intervalli di valori delle stesse resistenze individuati dalla norma e dal rapporto tecnico, il datore di lavoro, per soddisfare i requisiti previsti per le calzature dissipative dal rapporto CEI CLC/TR 60079-32-1, può richiedere le calzature antistatiche conformi alla norma UNI EN ISO 20345 e:

- specificare al fabbricante un valore di resistenza compatibile
- verificare il valore della resistenza mediante prove di accettazione
- richiedere scarpe con l'ulteriore requisito "ESD" (R≤100MΩ) secondo CEI EN 61340-5-1 (il requisito è però considerato dalla norma ai fini della protezione dei dispositivi elettronici e non per la protezione delle persone).

Per completare il quadro, si rileva che nella valutazione della possibilità di drenare a terra le cariche accumulate elettrostaticamente va considerata anche la variabilità della resistenza del pavimento. La resistenza delle calzature, inoltre, dipende anche dalle condizioni di utilizzo e contaminazione dell'ambiente e per tali motivi sono raccomandate misure di resistenza da eseguire ad intervalli regolari e frequenti, con strumentazione di misura commercialmente disponibile[2]. Infine, nella valutazione si deve tener conto non solo della MIE della miscela che può originare l'atmosfera esplosiva, ma anche della probabilità di formazione e della durata prevedibile di tale atmosfera, e quindi della classificazione dell'area.
In merito agli indumenti antistatici e ai guanti antistatici, benché entrambi richiamati dalla tabella 3, Allegato VIII del d.lgs. 81/08, le riflessioni che si possono fare sono diverse rispetto a quelle fatte per le calzature. Infatti, nonostante i moderni indumenti realizzati in fibre sintetiche possano caricarsi elettrostaticamente in maniera piuttosto veloce, essi non costituiscono in molti casi una fonte di innesco, a condizione che chi li indossi sia opportunamente collegato a terra mediante calzature idonee. Per ciò che concerne l'abbigliamento, in generale, il rapporto tecnico CEI CLC/TR 60079-32-1 raccomanda che questo sia di taglia adeguata e non venga né indossato, né rimosso nelle aree dove maggiore potrebbe essere il rischio connesso alla presenza di atmosfere esplosive (zone classificate 0, 1, 20 e 21). Lo stesso documento specifica poi alcune situazioni in cui, in base alla combinazione della probabilità di formazione e durata dell'atmosfera pericolosa, al tipo di attività svolta in quell'area, al valore della minima energia di innesco associata all'atmosfera esplosiva, possono esser "richiesti", "raccomandati" o "non richiesti" indumenti con almeno un valore di resistenza R<2,5 GΩ (figura 16). Il rapporto definisce questi indumenti come "dissipative clothing". In presenza di ambienti classificati per la presenza di atmosfere esplosive, la scelta dell'indumento adeguato è più facile per il datore di lavoro rispetto a quella delle calzature, perché il rapporto tecnico individua come dissipative clothing quelli conformi

[2] I valori numerici di resistenza riportati in questo paragrafo, pur essendo espressamente tratti dalle indicazioni del rapporto tecnico e delle norme tecniche richiamate, hanno semplicemente un significato indicativo. Ai fini operativi, è necessario considerare oltre ai valori numerici, anche le definizioni puntuali di tali parametri e le diverse condizioni di misura specificate dalle norme, non richiamati in questo articolo.

alla norma EN 1149-5. Pertanto, ove previsto, è sufficiente ottenere la dichiarazione di conformità alla norma da parte del fabbricante.

<table>
<tr><th>Classificazione della zona</th><th>Probabilità di carica</th><th>0,02 mJ ≤ MIE ≤ 0,20 mJ</th><th>0,20 mJ < MIE</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Zona 0</td><td>Alta</td><td rowspan="4">Richiesto</td><td>Richiesto</td></tr>
<tr><td>Bassa</td><td rowspan="2">Raccomandato</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Zona 1</td><td>Alta</td></tr>
<tr><td>Bassa</td><td rowspan="3">Non richiesto</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Zona 2</td><td>Alta</td><td>Raccomandato</td></tr>
<tr><td>Bassa</td><td>Non richiesto</td></tr>
<tr><td>Zone 20, 21 o 22</td><td>-</td><td colspan="2">Non richiesto</td></tr>
</table>

Figura 16: indicazioni del rapporto tecnico CEI CLC/TR 60079-32-1 per l'impiego di "dissipative clothing".

Considerazioni analoghe valgono per i guanti, per i quali si può ancora far riferimento alle indicazioni riportate in figura 3. In questo caso, per uso generale, ove richiesti, il rapporto tecnico prevede l'impiego dei cosiddetti "guanti dissipativi", per i quali la resistenza da considerare per le misure ha un valore compreso tra 100 kΩ e 100 MΩ. La norma di prodotto applicabile è la UNI EN 16350.

6.3 Lavori sotto tensione

Tali lavori sono regolati come segue dall'art. 82 del TU, che però non li definisce:

> d.lgs. 81/2008 art. 82
>
> 1. È vietato eseguire lavori sotto tensione. Tali lavori sono tuttavia consentiti nei casi in cui le tensioni su cui si opera sono di sicurezza, secondo quanto previsto dallo stato della tecnica o quando i lavori sono eseguiti nel rispetto delle seguenti condizioni:
>   a) le procedure adottate e le attrezzature utilizzate sono conformi ai criteri definiti nelle norme tecniche.
>   b) per sistemi di categoria 0 e I purché l'esecuzione di lavori su parti in tensione sia affidata a lavoratori riconosciuti dal datore di lavoro come idonei per tale attività secondo le indicazioni della pertinente normativa tecnica;
>   c) per sistemi di II e III categoria purché:
>   1) i lavori su parti in tensione siano effettuati da aziende autorizzate, con specifico provvedimento del Ministero del lavoro, della salute e delle politiche sociali, ad operare sotto tensione;
>   2) l'esecuzione di lavori su parti in tensione sia affidata a lavoratori abilitati dal datore di lavoro ai sensi della pertinente normativa tecnica riconosciuti idonei per tale attività.
>
> ...(omissis)...

Le aziende autorizzate a svolgere lavori sotto tensione su sistemi di II e III categoria[3] sono ad oggi solamente due, e di tali lavori non si parlerà oltre nel presente articolo. Per i lavori sotto tensione nei sistemi di categoria 0 o I[4] si applica la Norma CEI 11-27, che li definisce come "lavori in cui un lavoratore deve entrare in contatto con le parti attive in tensione o deve raggiungere l'interno della zona di lavoro sotto tensione con parti del suo corpo o con attrezzi, con equipaggiamenti o con dispositivi che vengono da lui maneggiati". L'estensione D_L della "zona di lavoro sotto tensione" è riportata nella tabella A1 della norma (figura 17), in funzione del livello di tensione, così come l'estensione delle altre zone definite dalla norma (non ulteriormente considerate in questo articolo). Dalla tabella A1 si vede che, per impianti in categoria 0 e I, la distanza D_L è nulla: i lavori sotto tensione sono solo quelli per i quali è previsto il contatto con la parte attiva.
La norma considera tre diversi metodi per i lavori sotto tensione in sistemi di categoria 0 e I, indicando come metodo maggiormente diffuso il "lavoro a contatto", detto

[3] Oltre 1000 V, in corrente alternata, e 1500 V, in corrente continua.
[4] Fino a 1000 V, in corrente alternata, e 1500 V, in corrente continua.

anche “lavoro con guanti isolanti". Con tale metodo l’operatore, le cui mani sono protette dal punto di vista elettrico con guanti isolanti, esegue il proprio lavoro a contatto con le parti attive in tensione, usando eventualmente anche attrezzi, equipaggiamenti o dispositivi, isolati o isolanti. La norma prescrive che per la protezione dal rischio elettrico siano indossati i seguenti DPI: guanti isolanti, visiera di protezione, elmetto isolante, idoneo vestiario che non lasci scoperte parti del tronco e degli arti. Inoltre, è previsto che si realizzi la condizione di doppio livello di protezione isolante in serie nel circuito ideale tra parti attive e terra in cui è inserito il corpo umano.

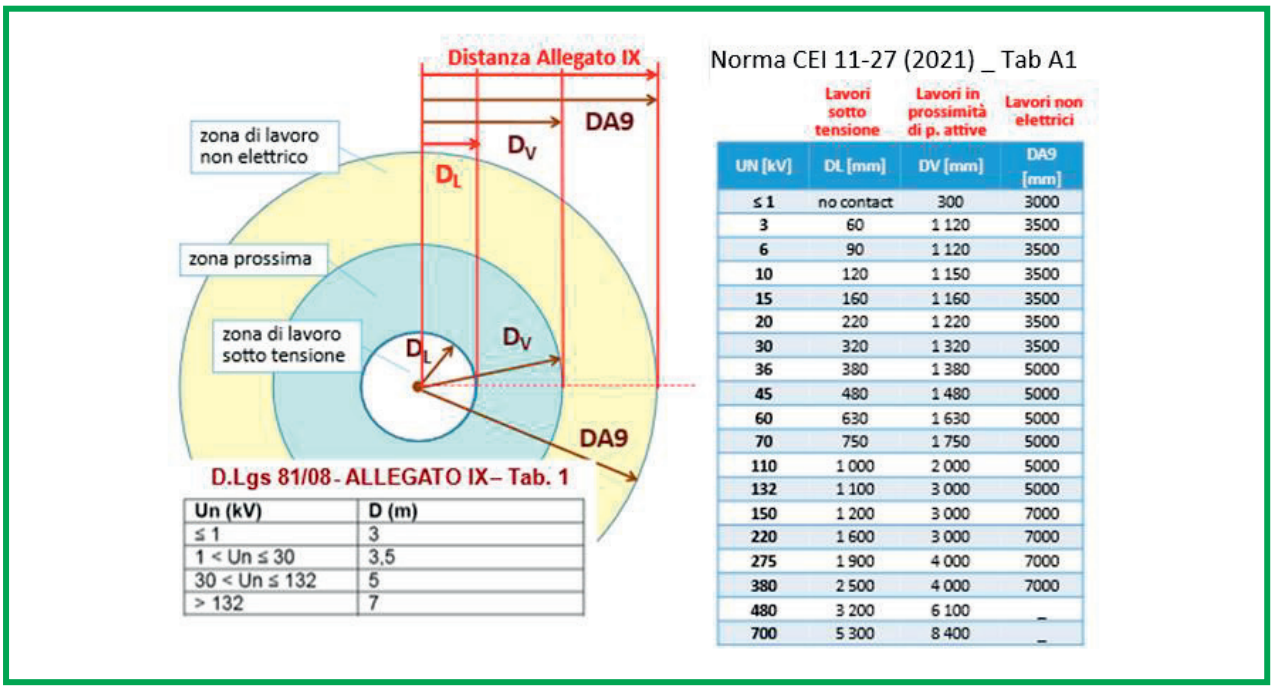


Figura 17: estensione delle zone definite dalla norma CEI 11-27 in funzione della tensione e confronto con le distanze definite dall’allegato IX del TU

Il primo livello è costituito necessariamente dai guanti isolanti. Il secondo livello è costituito dall’uso di almeno uno tra i dispositivi isolanti o isolati disponibili, come attrezzi isolati, tappeti isolanti, tronchetti (stivaletti) isolanti ai piedi, e cosi via.

Anche in questo caso, i DPI vengono scelti in base alle condizioni operative previste per il lavoro e alla conseguente valutazione dei rischi [28]. Essendo previsto il contatto con parti attive in tensione, sicuramente devono fornire un’adeguata protezione contro la folgorazione[5]. Ove non sia possibile escludere a priori il verificarsi di corto

[5] Folgorazione: effetti patofisiologi che si verificano al passaggio di corrente attraverso il corpo umano quando questo entra simultaneamente in contatto con due parti tra cui è presente una tensione, ad esempio il terreno ed un conduttore di una linea elettrica in tensione. Gli effetti di questo passaggio dipendono da parametri soggettivi quali il percorso della corrente attraverso il corpo, gli organi interessati, lo stato di salute e la sensibilità individuale, e da parametri oggettivi quali la durata del passaggio e l’intensità della corrente. I DPI contro la folgorazione devono pertanto garantire un adeguato isolamento e mantenere le correnti che possono attraversare la persona a valori ritenuti sufficientemente bassi, specificati dalle norme (non superiori ad alcuni mA), nelle condizioni di utilizzo previste.

circuiti o archi elettrici[6], anche tali rischi devono esser presi in considerazione nella scelta.
Nel Regolamento (UE) n. 2016/425 i DPI contro la folgorazione (indicata nel Regolamento con l'espressione "scosse elettriche") e per i lavori sotto tensione sono espressamente menzionati tra i DPI di III categoria, che comprende esclusivamente rischi specificamente indicati, che possono causare conseguenze molto gravi, tra cui la morte, o danni alla salute irreversibili. I dispositivi isolanti per la protezione contro le scosse elettriche devono rispettare tutti i requisiti essenziali di sicurezza (RES) di carattere generale previsti dall'Allegato II più quelli supplementari specifici previsti al punto 3.8.1[7].

I DPI più importanti per i lavori sotto tensione in sistemi di categoria 0 o I sono i "guanti isolanti". Possono essere utilizzati come protezione diretta (nei lavori a contatto) o secondaria (in abbinamento ad attrezzi isolanti). Possono essere realizzati in gomma, lattice, mescole elastomeriche o materiale plastico. La norma di prodotto applicabile è la CEI EN 60903, che ne considera sostanzialmente due tipi: i guanti isolanti da utilizzare con sopraguanto per protezione meccanica e i guanti isolanti "composite", con protezione meccanica inclusa (sottoposti a prove specifiche per l'abrasione, il taglio, la perforazione e lo strappo).
I guanti isolanti sono classificati in 6 classi di protezione (00, 0, 1, 2, 3 e 4), a seconda della tensione di utilizzo raccomandata, da 500 V a.c. a 36.000 V a.c.. Per impianti con tensioni nominali fino a 1000 volt in corrente alternata e 1500 volt in corrente continua si utilizzano i guanti di classe 0. La classe viene assegnata dopo aver effettuato una prova dielettrica con tensione determinata in base alla classe, aver misurato la corrente di prova, che deve essere inferiore a quella indicata dalla norma, e aver superato la prova di tenuta. Diversamente da quanto visto per i DPI per la protezione dall'innesco per scarica elettrostatica delle atmosfere esplosive, non viene considerato il valore di resistenza. La classificazione prevede inoltre l'eventuale ulteriore suddivisione in 4 classi, in base ad alcune proprietà speciali di resistenza: A (acido), H (olio), Z (ozono), R (A + H + Z), C (temperatura molto bassa). L'appartenenza ad una di tali classi indica che i guanti garantiscono la protezione elettrica anche dopo essere stati a contatto con determinate sostanze chimiche o esposti ad agenti esterni.

[6] Arco elettrico: passaggio di corrente negli isolanti attraverso canali di particelle ionizzate per effetti termici o per effetto della tensione. Durante i lavori sotto tensione può esser generato dalla ionizzazione dell'isolante causata dall'energia sviluppata a seguito di un corto circuito. L'energia sviluppata dall'arco è elevatissima e le temperature possono raggiungere valori dell'ordine dei 10.000°. Gli effetti nocivi sono dovuti l calore, onde di pressione, proiezione di frammenti o metallo fuso, rumore. I DPI contro l'arco elettrico devono pertanto fornire un'adeguata protezione termica, ma anche una protezione meccanica contro la proiezione di particelle incandescenti liquide e solide.
[7] Regolamento (UE) n.2016/425, Allegato II, art. 3.8. Protezione dalle scosse elettriche _ 3.8.1. Dispositivi isolanti: *I DPI destinati a proteggere tutto il corpo o parte di esso dagli effetti della corrente elettrica devono possedere un grado di isolamento adeguato ai valori di tensione ai quali l'utilizzatore può essere esposto nelle condizioni prevedibili di impiego più sfavorevoli. … la corrente di fuga, misurata attraverso … sia quanto più bassa possibile e in ogni caso inferiore a un valore convenzionale massimo … I tipi di DPI destinati esclusivamente ad attività o interventi su impianti elettrici sotto tensione o che possono essere sotto tensione devono recare l'indicazione, ripetuta anche sulla confezione, della classe di protezione o della tensione di impiego, del numero di serie e della data di fabbricazione. All'esterno dell'involucro protettivo dei DPI si deve inoltre prevedere uno spazio sul quale si possano segnare successivamente la data di messa in servizio e le date delle prove o dei controlli da effettuare periodicamente….*

Nella marcatura, oltre a quanto previsto in generale dal Regolamento europeo 2016/425, è richiesto di riportare:

- Il simbolo del doppio triangolo (IEC 60417-5216:2002-10), che indica l'idoneità all'impiego nei lavori sotto tensione
- Il simbolo specifico che indica la protezione meccanica (nel caso di guanti di tipo composite)
- La lettera che indica le proprietà speciali, ove presenti

Figura 18: a sinistra, simbolo del doppio triangolo, indicante l'utilizzabilità del DPI nei lavori sotto tensione, a destra il simbolo della protezione meccanica per i guanti di tipo "composite".

La norma fornisce indicazioni sui contenuti da riportare nelle istruzioni, in merito alle modalità di conservazione, controlli da effettuare prima di ogni utilizzo, manutenzione dopo l'uso, controlli periodici. I guanti devono essere conservati nelle loro custodie o imballi, senza comprimerli, piegarli ed esporli a fonti di calore, ozono e luce diretta. Prima di ogni utilizzo è necessario controllare i guanti visivamente e gonfiare con aria per verificare eventuali perdite. Dopo l'uso è necessario pulirli e asciugarli accuratamente e riporli nella propria custodia per la conservazione. Ogni 6 mesi devono essere sottoposti a controllo periodico mediante ispezione visiva, tenuta a pressione, test dielettrici, per le classi 1, 2, 3 e 4, solo ispezione visiva, tenuta a pressione per le classi 00 e 0, per le quali i test dielettrici sono solo facoltativi. Spesso, passati 6 mesi dalla data di fabbricazione, o da quella dell'ultimo controllo, si procede direttamente alla sostituzione del DPI.

Le calzature isolanti devono rispondere alla norma CEI EN 50321-1, per gli specifici requisiti contro la folgorazione, e alla norma UNI EN ISO 20345 per gli altri requisiti generali di sicurezza. La norma CEI EN 50321-1 definisce le "calzature a isolamento elettrico", che hanno lo scopo di proteggere chi le indossa contro la folgorazione, evitando il passaggio di correnti pericolose attraverso il corpo tramite i piedi. Sono previste anche le "soprascarpe a isolamento elettrico", che hanno lo stesso scopo delle precedenti, ma che sono previste per essere indossate su calzature esistenti. Analogamente ai guanti isolanti, sono classificate in 6 classi, in base alla tensione di nominale degli impianti per i quali ne è previsto l'uso. Anche per le calzature isolanti è necessario riportare nella marcatura il simbolo del doppio triangolo, per indicare la possibilità di impiego nei lavori sotto tensione. Nella marcatura deve inoltre essere

disponibile uno spazio in cui annotare la data del primo utilizzo e dei controlli periodici. Anche per le scarpe isolanti la norma fornisce le indicazioni per i contenuti da riportare nelle istruzioni. Per le calzature isolanti è previsto un controllo periodico, secondo le indicazioni fabbricante, da effettuare mediante esame a vista approfondito ed eventuale prova di tensione (se sono presenti danni rilevabili mediante esame a vista). Ogni 12 mesi è richiesta la sostituzione del DPI o, in alternativa, un controllo periodico con prova di tensione).

Nei lavori impiantistici di tipo generale, in base alla valutazione dei rischi, può essere previsto l'impiego di elmetti per la protezione del capo contro urti e cadute di oggetti. Quelli rispondenti alla norma EN 397 hanno come requisiti minimi la resistenza all'urto, alla penetrazione di oggetti, alla fiamma; tra quelli opzionali la resistenza alle alte/basse temperature e agli schizzi di metallo fuso. Nei lavori sotto tensione, si devono impiegare gli "elmetti isolanti" rispondenti anche alla norma CEI EN 50365, definiti come elmetto di sicurezza che protegge chi lo indossa dal passaggio di correnti pericolose attraverso la testa. La protezione, prevista dalla precedente edizione della norma solo per impianti con tensione nominale fino a 1000 volt in corrente alternata e 1500 volt in corrente continua, è stata estesa fino alla tensione di 17000 volt in corrente alternata dalla edizione pubblicata nel 2024[8]. Previsto anche in questo caso il simbolo del doppio triangolo.

Per la protezione degli occhi da schegge, spruzzi o polveri sono richieste essenzialmente delle "visiere" conformi alla norma EN 166. Ove previsto l'impiego in lavori sotto tensione con possibile innesco di archi elettrici, la protezione deve essere ampliata facendo riferimento al "campo di utilizzo n.8" della norma, per proteggere l'operatore da particelle ad alta velocità ad elevate temperature, schizzi di metalli fusi e solidi incandescenti, nonché da gocce e schizzi di liquidi. Le visiere devono essere dotate di mentoniera e accessori per il montaggio sull'elmetto.

Infine, per la protezione del corpo intero contro gli effetti dell'arco elettrico si utilizzano le norme della serie CEI EN 61482, che considerano i requisiti di protezione dall'arco sia per gli "indumenti", cioè per singoli capi di abbigliamento, costituiti da strati singoli o multipli di materiale, sia per "sistemi di abbigliamento" cioè per gruppi di indumenti ai quali è stata attribuita una specifica classe di protezione dall'arco, a seguito di prove. Le norme di questa serie fanno riferimento a due distinti metodi di prova, secondo standard europei o nordamericani. La norma CEI EN 61482-1-2, definisce due classi di protezione dall'arco (APC), in base al valore di corrente impiegato durante la prova eseguito con metodo europeo. Gli indumenti vengono sottoposti agli effetti dell'arco, in condizioni definite, per un tempo definito e la temperatura sulla superficie interna degli stessi non deve raggiungere il valore di 50°. Gli

[8] L'edizione del giugno 2004 della norma definiva unicamente la classe 0 di isolamento per gli elmetti isolanti. L'edizione pubblicata ad aprile 2024 individua 4 classi di isolamento (00, 0, 1, 2). La nuova edizione sostituisce completamente la precedente, che rimane applicabile fino al 04-12-2026.

indumenti classificati APC 1, hanno superato la prova con corrente di prova pari a 4 kA, mentre quelli classificati APC 2 hanno superato la prova con corrente di prova di 7 kA. La scelta di questo tipo di DPI deve essere fatta in maniera consapevole, ad esito di una valutazione dei rischi che consenta di stabilire in base alle caratteristiche degli impianti, dei luoghi di lavoro, delle attrezzature impiegate la possibilità che si verifichi l'arco e possibilmente l'energia da esso sviluppata. Nella marcatura degli indumenti protettivi contro gli effetti termici dell'arco sono previsti, tra l'altro l'indicazione del livello di protezione termica fornito dal DPI e il simbolo indicante la protezione contro l'effetto termico dell'arco elettrico (IEC 60417- 6353:2016-02).

Figura 19: simbolo indicante la protezione contro l'effetto termico dell'arco elettrico.

6.4 Possibile impatto della IoT nell'uso dei DPI

Nei precedenti paragrafi si è visto che l'impiego di DPI per la protezione da rischi di natura elettrica è richiesto anche dal TU, direttamente o indirettamente (tramite il rimando alle norme tecniche), solo in due casi: in presenza di atmosfere esplosive, per consentire il continuo drenaggio a terra delle cariche elettriche e nei lavori sotto tensione eseguiti con il metodo "a contatto"[9]. Per ciascuno dei due casi sono stati passati in rassegna i dispositivi utilizzabili, ne sono state descritte le principali caratteristiche, le modalità di scelta e di impiego. Con riferimento a due specifici DPI, le calzature dissipative e i guanti isolanti (per sistemi di categoria 0 o 00), appartenenti ai due differenti casi, si vuole ora analizzare il possibile impatto della tecnologia IOT sull'uso dei DPI contro i rischi di natura elettrica; a tal fine si considererà quanto previsto dal capitolo 7 del rapporto tecnico UNI 11858:2022, che richiama le possibili diverse applicazioni di questa tecnologia, sia per favorire la gestione dei DPI da parte dell'azienda, sia per favorirne il corretto utilizzo da parte dei lavoratori (definiti portatori). Si riportano pertanto, di seguito, alcuni degli impieghi espressamente indicati dal rapporto tecnico, verificandone qualitativamente l'applicabilità ai due tipi di DPI.

[9] Per completezza, si rileva che la Norma CEI 11-27 prevede la possibilità di utilizzare DPI isolanti anche durante lo svolgimento di "*lavori in prossimità di parti attive*", per proteggere le parti del corpo che potrebbero entrare in contatto con tali parti attive, solo in alternativa all'installazione di impedimenti. I lavori in prossimità di parti attive sono regolamentati dall'art. 83 del TU, che rimanda alle pertinenti norme tecniche.

6.4.1 Gestione della data di scadenza, della durata di utilizzo e dell'assegnazione ai portatori

Per entrambi i tipi di DPI le tecnologie IoT consentono in generale di migliorare la gestione di tutti gli aspetti relativi all'approvvigionamento, alla sostituzione al termine del ciclo di vita, nonché l'assegnazione ai portatori, consentendone l'automatizzazione.

6.4.2 Pianificazione e registrazione delle attività di manutenzione e dei controlli periodici

In questo caso sussiste una differenza tra le operazioni da considerare a carico dell'azienda, come ad esempio lo svolgimento di misure periodiche di resistenza, per le calzature dissipative, per le quali una programmazione e segnalazione automatizzata delle scadenze può facilitarne la gestione e quelle operazioni, affidate direttamente ai portatori dei DPI, come il controllo dei guanti isolanti prima di ogni impiego o la pulizia al termine dell'uso, che si basano essenzialmente su delle procedure standard di impiego e sull'addestramento all'uso (per i guanti isolanti in bassa tensione non è prevista l'esecuzione periodica di test dielettrici).

6.4.3 Verifica o stimolo all'effettivo corretto utilizzo

Nel caso dei lavori sotto tensione, si deve tener conto dei requisiti di istruzione, esperienza e caratteristiche personali che deve possedere il soggetto in grado di eseguirli, che deve essere una persona esperta (PES) o una persona avvertita (PAV) e aver ottenuto l'idoneità ai lavori sotto tensione secondo quanto previsto dall'art. 6.3.1.5 della norma CEI 11-27. Tali requisiti dovrebbero esser sufficienti a creare una consapevolezza del rischio ed una familiarità con il corretto uso dei guanti isolanti, da rendere inutile ogni altra verifica o stimolo.
Nel caso dell'impiego di calzature dissipative per l'accesso in zone con atmosfere potenzialmente esplosive, ferma restando l'informazione e la formazione specifica prevista dall'art. 294-bis del TU per i lavoratori destinati ad entrare in tali aree, la verifica dell'effettivo utilizzo può essere associata alla gestione delle attività descritte al punto successivo, specie in caso di possibili interferenze con personale di altre aziende.

6.4.4 Gestione delle aree ad accesso controllato

Una volta classificate e delimitate le aree con possibile formazione di atmosfere esplosive, la realizzazione di accessi obbligati tramite varchi può consentirne la gestione automatizzata dell'accesso solamente a lavoratori in possesso di dispositivi in grado di dialogare con dei sistemi di controllo Iot disposti in corrispondenza dei varchi; ciò, dopo aver trasferito al sistema informazioni in merito al possesso dei necessari requisiti autorizzativi (in relazione, ad esempio, al possesso di formazione, informazioni, attrezzature specifiche, DPI, ecc.). Proprio i DPI con applicazione IoT possono consentire lo scambio di informazioni con il sistema di gestione degli accessi.
Nel caso dei lavori sotto tensione le aree di lavoro cambiano di volta in volta, a seconda della parte di impianto interessata dai lavori, ed inoltre l'accesso a tali aree è gestito mediante le procedure della norma CEI 11-27.
Attivazione di un macchinario solo con DPI indossato (spegnimento in assenza)

Il funzionamento di macchinari o impianti che possono originare la formazione di aree con atmosfere esplosive può esser subordinato all'accesso nelle zone classificate di sole persone che indossino calzature dissipative, applicando la tecnologia IOT ai DPI, con un meccanismo analogo a quello descritto per le aree ad accesso controllato. Non si vede una possibile applicazione analoga per i lavori sotto tensione.

Accesso a istruzioni d'uso e manutenzione, a procedure e metodi di lavoro.
Per entrambi i tipi di DPI, considerati la formazione e l'addestramento all'uso specifici da parte dei portatori, si ritiene tale funzionalità non necessaria.

6.4.5 Segnalazione pericoli imminenti

Nel caso dei lavori sotto tensione non si verificano condizioni di pericolo imminente che non siano state già pianificate e gestite a priori.
In aree con possibile formazione di atmosfere esplosive, fenomeni come ad es. fuoriuscite di gas, o cattivi funzionamenti di macchinari, che potrebbero determinare il manifestarsi della condizione di pericolo devono essere segnalati tempestivamente, eventualmente con diverse intensità del segnale in relazione al livello di rischio. Sistemi in grado di comunicare tra loro, come ad esempio calzature dissipative in grado di trasmettere e ricevere informazioni attraverso le applicazioni di tecnologie IoT e sistema di controllo e gestione dei macchinari, possono consentire di ottenere questa tempestività.

IMPIEGHI	DPI	
	Calzature dissipative (atm. potenzialmente esplosive)	Guanti Isolanti (lavori sotto tensione)
Data di scadenza Durata di utilizzo Assegnazione ai portatori	Applicabile	Applicabile
Manutenzione o controlli periodici	Applicabili per la parte relativa ad es. alle misure di resistenza (gestibili dall'azienda)	Poco applicabile (in BT)
Garantirne l'effettivo utilizzo	Non necessario se attuato il punto seguente	Non necessario
Gestione delle aree ad accesso controllato	Applicabile	Non applicabile/Non necessario
Attivazione di un macchinario solo con DPI indossato (spegnimento in assenza)	Applicabile (es. nastri trasportatori, impianti per movimentazione fluidi infiammabili)	Non applicabile/Non necessario
Accesso a istruzioni d'uso e manutenzione, a procedure e metodi di lavoro	Non necessario	Non necessario
Segnalazione pericoli imminenti	Applicabile (es. fuoriuscite di gas)	Non necessario

Tabella 5: applicazioni delle tecnologie IoT ai DPI per la protezione da rischio elettrico

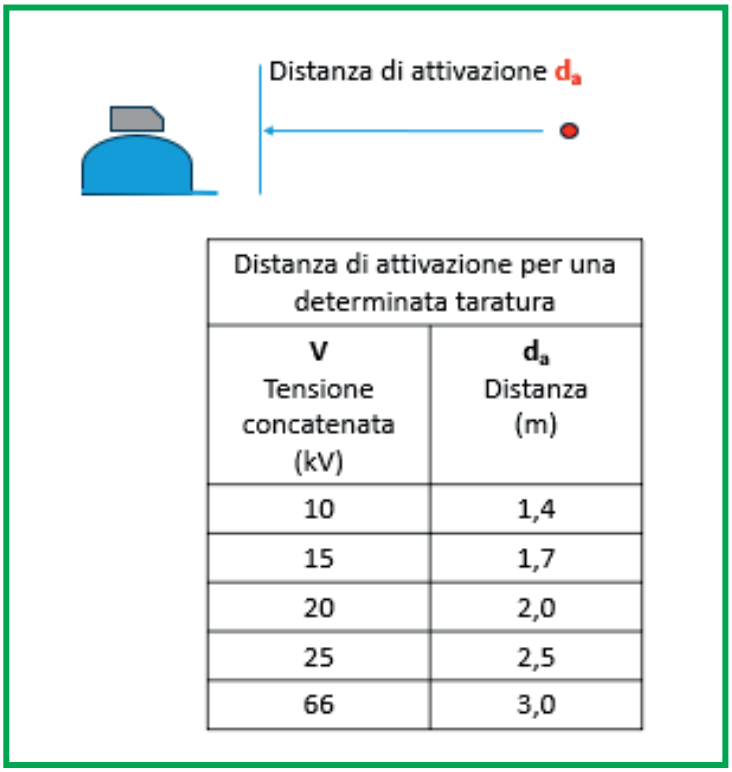
A conclusione di questa semplice analisi qualitativa, non esaustiva, si osserva che allo stato attuale, l'applicazione di tecnologie IoT a DPI quali le calzature dissipative, utilizzabili in aree in cui è possibile la formazione di atmosfere esplosive, potrebbe risultare maggiormente efficace rispetto alla loro applicazione a DPI quali i guanti isolanti, impiegabili nei lavori sotto tensione. Nell'impiego di tali tecnologie si deve tuttavia verificare che l'energia necessaria al funzionamento del dispositivo IoT non costituisca essa stessa una fonte di innesco dell'atmosfera esplosiva. In entrambi i casi, è fondamentale che l'applicazione delle tecnologie IoT ai DPI considerati non ne modifichi l'efficacia protettiva, come specificato al paragrafo 5.1 del rapporto tecnico UNI 11858:2022[10].

[10] Si veda, in proposito, il capitolo 3 della presente pubblicazione.

6.5 Esempi di applicazione di sensori contro i rischi di natura elettrica a DPI previsti contro rischi di natura non elettrica

A margine della trattazione fino ad ora effettuata, si osserva che in tutte le attività che possono portare i lavoratori ad operare vicino[11] a parti attive non protette, a meno che le stesse non siano già gestite con le modalità dei lavori sotto tensione di cui all'art. 82 del TU, è sempre necessario adottare le misure di prevenzione e protezione previste dall'art. 83. o dall'art. 117 (se le stesse sono svolte in cantiere) del TU. Tali misure, che fanno sostanzialmente riferimento alle norme tecniche applicabili ed in particolare alla norma CEI 11-27, prevedono o la messa fuori tensione e in sicurezza delle parti attive non protette, secondo specifiche procedure, oppure l'adozione di ostacoli, dispositivi di protezione collettivi e procedure in grado di garantire il distanziamento dalle parti attive e/o evitare il contatto con esse. Tali misure sono ovviamente subordinate ad un'accurata analisi preventiva dell'area di lavoro, volta ad accertare l'eventuale presenza di linee elettriche con parti attive non protette, interferenti con l'attività da svolgere. In questo quadro normativo si viene a collocare un particolare dispositivo elettronico, già diffuso sul mercato e impiegato da aziende che operano nel settore della distribuzione elettrica, individuabile come "rilevatore personale di tensione". Si tratta di un sensore di campo elettrico, di forma e dimensioni tali da consentirne l'applicazione ad un elmetto di protezione mediante alcuni accessori, come ad esempio delle slitte adesive. Il dispositivo è alimentato a batterie e, opportunamente tarato, consente di rilevare l'avvicinamento del lavoratore che indossa l'elmetto ad elementi in tensione. Infatti, la presenza di conduttori attivi in tensione determina nei punti dello spazio ad essi circostante la presenza di un campo elettrico E, il cui valore aumenta all'aumentare della tensione del conduttore (V) e diminuisce al diminuire della distanza da questo (d). Fissato un certo valore di taratura per E, al di sopra del quale si può attivare un segnale acustico, questo valore corrisponde a diverse coppie V-d_a, (la distanza di attivazione d_a cresce al crescere della tensione del conduttore). Quando, durante l'avvicinamento del sensore al conduttore in tensione viene percepito il valore di campo elettrico di taratura, il sensore si attiva e inizia ad emettere un allarme acustico intermittente, che aumenta di frequenza ed intensità al diminuire della distanza dal conduttore.

[11] Le distanze limite al di sotto delle quali ricorre tale condizione sono definite nella tabella 1 dell'allegato IX del TU.



Distanza di attivazione per una determinata taratura	
V Tensione concatenata (kV)	**d_a** Distanza (m)
10	1,4
15	1,7
20	2,0
25	2,5
66	3,0

Figura 20: esempio di taratura di un PVD

Tra le maggiori criticità connesse all'impiego del dispositivo vi è la difficoltà di individuare un valore di taratura adeguato, in relazione ai valori di tensione di tutte le linee che possono essere contemporaneamente presenti in un'area di lavoro. Al momento, il dispositivo è impiegato essenzialmente nell'ambito dei "lavori fuori tensione" in media tensione, come dispositivo di sicurezza aggiuntivo rispetto a quanto già previsto dalle citate legislazione e normativa vigenti; tuttavia, il suo impiego estensivo può risultare migliorativo delle condizioni di sicurezza in tutti i lavori che possono portare ad operare vicino a parti attive non protette di linee o impianti elettrici, in particolare nei lavori in elevazione[12]. L'inail promuove l'impiego di tali dispositivi, che risultano inseriti nel modello OT23 - 2025, tra gli interventi utili alla riduzione del tasso di tariffa secondo l'art. 23 delle Modalità per l'applicazione delle Tariffe, approvate con decreto interministeriale del 27.02.2019. Il dispositivo nelle sue versioni attualmente più diffuse, non costituisce un sistema IoT e non è una parte di un sistema IoT[13]. Non è un DPI ma viene applicato ad un DPI la cui funzione principale, nel caso specifico, non è quella di protezione contro il rischio elettrico[14], ma contro gli urti e le cadute di oggetti. Anche in questo caso, nell'impiego dell'elmetto al quale il dispositivo viene applicato, è necessario accertare il mantenimento dell'efficacia protettiva originale del DPI.

[12] Ferme restando le prescrizioni legislative e le indicazioni della normativa tecnica, il dispositivo fornisce un livello di sicurezza aggiuntiva in caso di errore nell'attuazione delle procedure di messa fuori tensione o nell'analisi preliminare della presenza di linee interferenti durante lo svogimento di lavori all'aperto. Risulta evidentemente inapplicabile e inutile nello svolgimento dei "lavori sotto tensione".
[13] Si veda in proposito il capitolo 3 e il punto 4.1.1 del rapporto tecnico UNI 11858:2022.
[14] Gli elmetti isolanti sono richiesti nei lavori sotto tensione, nei quali il dispositivo non è impiegabile.

BIBLIOGRAFIA

[1] Regolamento (UE) 2016/425 del Parlamento europeo e del Consiglio del 9 marzo 2016 sui dispositivi di protezione individuale e che abroga la direttiva 89/686/CEE del Consiglio. GUE L 81/51 del 31.3.2016.

[2] European agency for safety and health at work (OSHA): Discussion paper: Smart personal protective equipment: intelligent protection for the future, (2020) http://osha.europa.eu.

[3] Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n.81 - Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

[4] UNI – Criteri di scelta ed uso dei DPI www.uni.com.

[5] A. Rinaldi, Design innovazione e tecnologie smart per il benessere e la salute, Università degli studi di Firenze, 2012-2014.

[6] I. Gualandi, et al., «Textile Organic Electrochemical Transistors as a Platform for Wearable Biosensors,» Scientific Reports, 2016.

[7] M. Catrysse et al., «Towards the Integration of Textile Sensors in a Wireless Monitoring Suit,» Sensors and Actuators A Physical 114(2):302-311, September 2004.

[8] Michael A. Cullinan and Martin L. Culpepper «Carbon nanotubes as piezoresistive microelectromechanical sensors: Theory and experiment,» Physical Review, vol. 82., n. 11, 2010.

[9] P. T. Gibbs, «Wearable Conductive Fiber Sensors for Multi-Axis Human Joint Angle Measurements,» Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation volume, vol. 2, 2005.

[10] A. Rinaldi, A. Tamburrano, M. S. Sarto, «Graphene Nanoplatelets-Based Smart Textile for Kinesthetic Monitoring,» 2017 IEEE Sensors, pp. 1-3, 2017.

[11] Osservatori Politecnico Milano https://www.osservatori.net/

[12] Decreto legislativo 1 agosto 2016, n.159: "Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE". Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.192 del 18-08-2016.

[13] 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). Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea 2013; L179:1–21.

[14] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys. 2009, 96, 504-514.

[15] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Phys. 2010, 99, 818–836.

[16] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (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. 2014, 106(3):418-425.

[17] Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea 1999/519/CE relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici con frequenza da 0 Hz a 300 GHz. G.U. Comunità Europee 30 luglio 1999, L 199/62.

[18] Commissione Europea, "Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relative ai campi elettromagnetici", 2014 - Volume 1: Guida pratica

http://www.portaleagentifisici.it/fo_campi_elettromagnetici_documentazione.php?lg=IT

[19] Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, Decreto Legislativo 81/2008 Titolo VIII, Capo IV e s.m.i. sulla prevenzione e protezione dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici: Indicazioni operative. In collaborazione con Inail e ISTITUTO SUPERIORE di SANITÀ - Documento approvato dall'Area Prevenzione e Sanità Pubblica della Commissione Salute il 20/06/2019

[20] Legge quadro 22 febbraio 2001, n. 36 Sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Gazzetta ufficiale n. 55 del 7 marzo 2001.

[21] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti". Gazzetta Ufficiale n. 200 del 29 agosto 2003.

[22] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz". Gazzetta Ufficiale n. 199 del 28 agosto 2003.

[23] Regolamento (UE) 2017/745 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 aprile 2017, relativo ai dispositivi medici, che modifica la direttiva 2001/83/CE, il Regolamento (CE) n. 178/2002 e il Regolamento (CE) n. 1223/2009 e che abroga le direttive 90/385/CEE e 93/42/CEE del Consiglio.

[24] Smart Wearables: Reflection and Orientation Paper. EUROPEAN COMMISSION Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. Brussels 28/11/2016 CNECT A3.

[25] Vivarelli C, Censi F, Calcagnini G, Falsaperla R, Mattei E. Risk Assessment for Workers with Wearable Medical Devices Exposed to Electromagnetic Fields. Health Phys. 2024 Aug 1;127(2):269-275.

[26] R. Maialetti, P. Panaro, 2019, Il quadro generale della legislazione per la protezione dal rischio elettrico _ Portale conoscere il rischio, Inail _ pagine web nell'area tematica relativa al rischio elettrico: https://www.inail.it/cs/internet/docs/quadro_legislazione_protezione_rischio_elettrico_pdf_2443085397704.pdf?section=attivita.

[27] Le cariche elettrostatiche _ Rivista Tuttonormel _ Febbraio 2024

[28] G.L. Amicucci, F. Di Tosto, F. Fiamingo, M.T. Settino _ I Lavori su impianti elettrici in bassa tensione _ Inail - 2018.

NORME CITATE

- CEN/TR 17512:2020: Personal protective equipment - Smart garments - Terms and definitions.
- UNI EN ISO 11610:2023: Indumenti di protezione - Vocabolario
- CEN/TR 17260: 2021: Guidelines for selection, use, care and maintenance of smart garments for protecting against heat and flame;
- EN 17673: 2022: Protecting against heat and flame - requirements and test methods for garments with integrated smart textiles and no- textile elements.
- UNI TR 11858:2022: Tecnologie IoT nell'impiego dei DPI - Indicazioni relative all'integrazione dei sistemi elettronici nella gestione e nell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale.
- EN 45502-1:2015: Implants for surgery - Active implantable medical devices - Part 1: General requirements for safety, marking and for Information to be provided by the manufacturer. 2015.
- ISO 14708-1:2014: Implants for surgery - Active implantable medical devices - Part 1: General requirements for safety, marking and for information to be provided by the manufacturer. 2014.
- -SO 14117:2019: Active implantable medical devices - Electromagnetic compatibility - EMC test protocols for implantable cardiac pacemakers, implantable cardioverter defibrillators and cardiac resynchronization devices; 2019.
- EN 50527-1:2016: Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices - Part 1: General. 2016.
- EN 50527-2-1:2016: Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices - Part 2-1: Specific assessment for workers with cardiac pacemakers.
- EN 50527-2-2:2018: Procedure for the assessment of the exposure to electromagnetic fields of workers bearing active implantable medical devices Part 2-2: Specific assessment for workers with cardioverter.
- EN 60601-1-2: 2015 + A1:2021: Medical electrical equipment part 1: general requirements relating to basic safety and essential performance-collateral standard: electromagnetic compatibility-requirements and tests. 2021.
- CEI EN 60079-10-1:2023-10: Atmosfere esplosive Parte 10-1: Classificazione dei luoghi - Atmosfere esplosive per la presenza di gas.

- CEI EN 60079-10-2:2016-10: Atmosfere esplosive. Parte 10-2: Classificazione dei luoghi-Atmosfere esplosive per la presenza di polveri combustibili.
- CEI CLC/TR 60079-32-1: 2016-04: Atmosfere esplosive Parte 32-1: Pericoli da fenomeni elettrostatici – Guida.
- UNI EN ISO 20345:2024: Dispositivi di protezione individuale - Calzature di sicurezza.
- CEI EN IEC 61340-5-1: 2024-08: Elettrostatica Parte 5-1: Protezione di dispositivi elettronici dai fenomeni elettrostatici - Prescrizioni generali.
- EN 1149-5:2018: Indumenti di protezione - Proprietà elettrostatiche - Parte 5: Requisiti prestazionali dei materiali e di progettazione.
- UNI EN 16350:2014: Guanti di protezione - Proprietà elettrostatiche.
- CEI 11-27: 2021-09: Lavori su impianti elettrici.
- CEI EN 60903: 2005-05: Lavori sotto tensione - Guanti di materiale isolante.
- CEI EN 50321-1: 2019-03: Lavori sotto tensione - Calzature di protezione dielettrica. Parte 1: Calzature e sovrastivali isolanti.
- UNI EN 397:2013: Elmetti di protezione per l'industria
- CEI EN 50365: 2024-04: Lavori sotto tensione - Elmetti isolanti da utilizzare su impianti di media e bassa tensione.
- UNI EN 166:2004: Protezione personale degli occhi - Specifiche
- CEI EN IEC 61482-1-1: 2020-02: Lavori sotto tensione - Indumenti protettivi contro l'effetto termico dell'arco elettricoParte 1-1: Metodi di prova - Metodo 1: Determinazione delle prestazioni (ELIM, ATPV e/o EBT) di materiali per vestiario e di indumenti di protezione con il metodo dell'arco aperto.
- CEI EN 61482-1-2: 2015-07: Lavori sotto tensione - Indumenti di protettivi contro l'effetto termico dell' arco elettrico. Parte 1-2: Metodi di prova - Metodo 2: Determinazione della classe di protezione dall'arco per il materiale e per gli indumenti utilizzando un arco chiuso e diretto (box di prova).
- CEI EN 61482-2: 2022-03: Lavori sotto tensione - Indumenti protettivi contro l’effetto termico dell’arco elettrico. Parte 2: Prescrizioni.

Inail - Direzione centrale pianificazione e comunicazione
piazzale Giulio Pastore, 6 - 00144 Roma
dcpianificazione-comunicazione@inail.it
www.inail.it

ISBN 978-88-7484-919-2