

Progettazione:

SC Studio di Ingegneria
Michele R.G. Curtotti

STUDIO DI INGEGNERIA ING. MICHELE R.G. CURTOTTI
Viale II Giugno, 385 - 71016 San Severo (FG)
ing.curtotti@pec.it - studiocurtotti@gmail.it

Proponente:

INNOGY ITALIA S.p.A.

Via Francesco Restelli 31/1 - 20124 Milano

c.f e P.Iva 02590640211 - PEC innogy_italia@legalmail.it



PARCO EOLICO SAN SEVERO COMUNE DI SAN SEVERO

Autorizzazione Unica ai sensi della legge 387/03
del parco eolico nel comune di San Severo (FG)

COMMITTENTE: INNOGY ITALIA S.p.A.

Comune di San Severo (FG)

TAVOLA

R08

VpI CAMPI ELETTRICI ED ELETTROMAGNETICI

PROGETTO DEFINITIVO

DATA : Ottobre 2018

AGGIORN. : _____

SCALA : _____

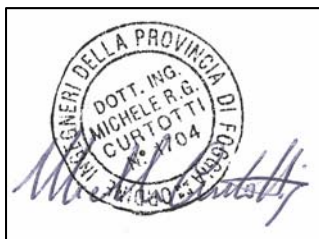
DIMENS. : A4

N° FOGLI : _____

COMMITTENTE:
INNOGY ITALIA S.p.A.



PROGETTAZIONE:
ing. Michele R.G. Curtotti



Questo elaborato è di proprietà dei progettisti ed è protetto a termini di legge

1 RADIAZIONI IONIZZANTI E NON IONIZZANTI

1.1 Radiazioni Non Ionizzanti (NIR – *Non Ionizing Radiations*): generalità

Un campo elettromagnetico è la propagazione nello spazio di campi elettrici e di campi magnetici variabili nel tempo¹. Ogni qual volta si verifica una variazione di campo elettrico o di campo magnetico si genera nello spazio un campo elettromagnetico che si propaga a partire dalla sorgente. Lo spettro elettromagnetico di un campo elettromagnetico è l'insieme di tutte le radiazioni con frequenza diversa, ognuna delle quali è generata da un campo elettromagnetico ad una determinata frequenza. In base alla frequenza le radiazioni generate da un campo elettromagnetico si distinguono in:

- **Radiazioni ionizzanti** – dette IR (*Ionizing Radiation*), con frequenze maggiori di 300 GHz (raggi ultravioletti, raggi X e raggi gamma) che per la loro elevata energia sono in grado di rompere i legami molecolari delle cellule e possono indurre mutazioni genetiche;
- **Radiazioni Non Ionizzanti** – dette NIR (*Non Ionizing Radiation*), generate da un campo elettromagnetico con frequenza compresa tra 0 e 300 GHz (pari a 3×10^{11} Hz); sono le radiazioni ultraviolette (UV), i campi elettromagnetici a radiofrequenza (RF) e quelli a frequenza di rete (50Hz). Queste radiazioni non sono in grado di rompere direttamente i legami molecolari delle cellule perché non possiedono energia sufficiente e producono principalmente effetti termici.

La componente principale di quelle che vengono definite radiazioni non ionizzanti è costituita dalle onde elettromagnetiche comprese nell'arco di frequenza 0-300 GHz; all'interno delle radiazioni non ionizzanti si distinguono per importanza applicativa i seguenti intervalli di frequenza:

- **Sorgenti di campi a bassa frequenza** (fino a 300 Hz), comunemente definiti come campi ELF (*Extremely Low Frequency*), dovute essenzialmente al sistema di produzione, distribuzione e utilizzo dell'energia elettrica (linee elettriche, cabine di trasformazione, elettrodomestici, etc.) che in Italia presenta una frequenza industriale costante pari a 50 Hz;
- **Sorgenti di campi a radio-frequenza** comunemente definiti come campi RF (*Radio Frequency* - fra i 100 kHz e i 300 MHz) dovute generalmente agli impianti di ricetrasmisione radio e tv;
- **Sorgenti di campi a Micro Onde o MO** (fra i 300 MHz e i 300 GHz) dovute agli impianti per cellulari o ai ponti radio che prevedono frequenze molto più alte, comprese tra 100 kHz e 300 GHz.

La terra, l'atmosfera e il sole da sempre generano un fondo elettromagnetico naturale, al quale si sono aggiunti, come conseguenza del progresso tecnologico, i campi prodotti dalle sorgenti legate all'attività antropica, campi che hanno provocato un notevole innalzamento di tale fondo naturale. Gli esseri viventi hanno da sempre convissuto con tali radiazioni, evolvendosi in modo da adattarsi ad esse, proteggersi o utilizzare al meglio questi agenti fisici.

Quando si parla di elettrosmog o inquinamento elettromagnetico ci si riferisce alla grande quantità di campi elettrici e magnetici generati da onde appartenenti alla sezione non ionizzante dello spettro

¹ Fonti:

1. ARPAT Toscana;
2. ARPA Friuli Venezia Giulia.

elettromagnetico. Le principali sorgenti sono rappresentate da emettitori e ripetitori radiotelevisivi e per la telefonia mobile, dalle linee elettriche di distribuzione e da tutti gli apparecchi alimentati da corrente elettrica, caratterizzati da un trend in continua espansione. Nell'ambito delle tematiche di tutela ambientale e di prevenzione sanitaria, il problema degli effetti biologici dei campi elettromagnetici è uno dei più attuali e più complessi sia per la difficoltà scientifica di ottenere un rapporto causa-effetto univoco, sia per la rilevanza sociale della rete di approvvigionamento energetico. In questo la tendenza del quadro legislativo nazionale è stato quello di imporsi come obiettivi non solo l'imposizione di limiti di esposizione per la protezione sanitaria dagli effetti acuti ed immediati, ma anche di ulteriori più bassi limiti a salvaguardia di eventuali effetti sanitari che potrebbero insorgere per esposizioni a lungo termine.

Le interazioni tra l'opera in progetto e questa componente ambientale sono essenzialmente di duplice natura. La costruzione di un parco eolico presuppone ovviamente un collegamento alla rete nazionale, necessario per trasferire l'energia generata all'interno dell'impianto stesso: questo trasporto comporta l'induzione di campi elettromagnetici lungo tale collegamento. Altro punto da considerare sono le possibili interferenze con le telecomunicazioni. L'interferenza elettromagnetica causata dagli impianti eolici è molto ridotta nei casi in cui il trasporto dell'energia prodotta avviene tramite l'utilizzo di linee di trasmissione esistenti. Diverso è il caso in cui le linee elettriche siano appositamente progettate e costruite, per il quale dovrà essere allegata una tavola riassuntiva del tracciato e delle caratteristiche fisiche dell'elettrodotto ed una relazione tecnica specialistica di calcolo del campo elettrico e del campo di induzione magnetica (corredata dai rispettivi diagrammi) che metta in luce il rispetto dei limiti della Legge n. 36/2001 e dei relativi Decreti attuativi. Gli Aerogeneratori possono anche essere fonte di interferenza elettromagnetica a causa della riflessione e della diffusione delle onde radio che investono la struttura, ovvero possono influenzare: le caratteristiche di propagazione delle telecomunicazioni (come qualsiasi ostacolo) e la forma del segnale ricevuto con eventuale alterazione dell'informazione. Una adeguata distanza degli aerogeneratori dalla sorgente del segnale potrà far sì che l'interferenza sia irrilevante.

L'avanzamento tecnologico nella progettazione degli impianti ha fatto sì, però, che ad oggi:

- i campi elettrici siano praticamente nulli per l'effetto schermante delle guaine metalliche e/o in pvc e del terreno sovrastante i cavi interrati;
- gli impianti eolici siano largamente compatibili con il limite di 100 μ T fissato dal D.P.C.M. del 23/04/92;
- le interferenze elettromagnetiche siano ormai un fenomeno ridotto dall'utilizzo di pale in materiali non conduttori (vetroresina, compositi) e limitato nell'area di 100 m dagli Aerogeneratori.

1.2 Collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale: generalità

I campi elettromagnetici a bassa frequenza vengono tipicamente generati da tutti i conduttori di alimentazione elettrica, che vanno dagli elettrodotti ad alta tensione fino ai cavi degli elettrodomestici. Per quanto riguarda le linee preposte alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica, esse sono classificabili in funzione della tensione di esercizio come:

- linee ad altissima tensione (380-220 kV), dedicate al trasporto dell'energia elettrica su grandi distanze;
- linee ad alta tensione (150-30 kV), per il trasporto e la distribuzione dell'energia elettrica;
- linee a media tensione (generalmente 20-10 KV), per la fornitura ad industrie, centri commerciali, grandi condomini etc.;
- linee a bassa tensione (220-380V), per la fornitura alle piccole utenze, come le singole abitazioni.

Tutti i conduttori di alimentazione elettrica, dagli elettrodotti ad alta tensione fino ai cavi degli elettrodomestici, producono campi elettrici e magnetici dello stesso tipo. La loro frequenza è sempre 50 Hz (60 Hz negli USA): a questa frequenza o, più in generale, quando l'esposizione ai campi elettromagnetici avviene a distanze dalla sorgente piccole rispetto alla lunghezza d'onda, il campo elettrico (Volt per metro o V/m) e quello magnetico (microTesla o μT) sono indipendenti; è così possibile trovare molto alto il campo elettrico e assente quello magnetico o viceversa. (1)

L'esposizione umana dipende non solo dall'intensità dei campi elettromagnetici generati, ma anche dalla distanza dalla sorgente: generalmente le intensità dei campi prodotti dalle sorgenti sopra menzionate decrescono rapidamente con la distanza (2). L'esposizione di una persona ai campi elettrici e magnetici a bassa frequenza è direttamente legata ai valori di alcune grandezze elettriche che si stabiliscono, per effetto di tali campi, all'interno del corpo umano: tali grandezze, dette grandezze interne, sono essenzialmente l'intensità del campo elettrico e soprattutto la densità di corrente interna.

L'esecuzione di prove di esposizione a campi elettrici e magnetici volte alla misura diretta di queste grandezze interne è però praticamente impossibile, perché tale misura richiederebbe l'uso di sonde invasive; essa è applicabile soltanto nello studio dell'esposizione di fantocci, utilizzati come modelli fisici per stabilire, con l'ausilio di modelli matematici, le correlazioni tra le grandezze interne e i campi esterni inducenti.

La verifica dell'esposizione di una persona ai campi elettrici e magnetici viene quindi condotta misurando le grandezze esterne, che caratterizzano tali campi inducenti (valori efficaci del campo elettrico e del campo magnetico) e risalendo alle grandezze interne per mezzo delle suddette correlazioni; le grandezze esterne vengono misurate in assenza del corpo esposto, adottando tutte le precauzioni necessarie per ridurre le influenze esterne, tenendo conto delle caratteristiche delle sorgenti e dell'ambiente di misura.

La misura dei campi elettrici e magnetici a bassa frequenza si verifica sempre nella regione di campo vicino reattivo, cioè a distanze dalle sorgenti inferiori alla lunghezza d'onda λ . Si osserva, infatti, che, anche ad una frequenza di 10 kHz, la lunghezza d'onda λ vale circa 30 km, valore molto elevato rispetto alle distanze di misura di interesse.

Nella regione di campo vicino reattivo non esiste, come già detto in precedenza, nessuna correlazione tra campo elettrico e campo magnetico: il primo dipende dalle tensioni presenti nell'impianto

o nell'apparecchiatura che produce tali campi, il secondo dalle correnti in essi circolanti, essendo tensioni e correnti quantità generalmente del tutto indipendenti.

A differenza quindi di quanto accade per i campi elettromagnetici ad alta frequenza, per i quali la misura viene generalmente condotta nella regione di campo lontano, per i campi a bassa frequenza la caratterizzazione completa deve prevedere in ogni caso la misura di entrambe le componenti: campo elettrico e campo magnetico.

Il campo elettrico prodotto da una linea aerea in un dato punto dipende in primo luogo dal livello di tensione e dalla distanza del punto dalla linea e in seconda istanza dalla configurazione della linea stessa. In particolare le linee di trasporto possono viaggiare in terna singola (una linea con i tre conduttori per le tre fasi) o in terna doppia (due linee di tre conduttori, ciascuna su di un'unica serie di tralicci). A parità di configurazione, ovviamente il campo elettrico cresce all'aumentare della tensione e diminuisce all'aumentare della distanza. I parametri legati alla configurazione che influenzano maggiormente il campo elettrico al suolo sono: l'altezza della linea, le distanze tra le fasi e la loro disposizione (particolarmente per le linee a doppia terna), le dimensioni del conduttore o del fascio di conduttori, la presenza o meno di funi di guardia: a parità di distanza dalla linea, il campo si riduce all'aumentare dell'altezza della linea, al diminuire della distanza tra le fasi, all'aumentare del bilanciamento delle fasi, al diminuire delle dimensioni del conduttore o del fascio di conduttori, al diminuire delle distanze delle eventuali funi di guardia dai conduttori.

Il campo elettrico prodotto dalle sorgenti prese in esame è facilmente schermato dalla maggior parte degli oggetti. Sono un buono schermo non solo tutti i conduttori (metalli), ma anche la vegetazione e le strutture murarie. Inoltre si ottiene una riduzione del campo anche quando lo schermo non è continuo, e addirittura "all'ombra" di oggetti conduttori come alberi, recinzioni, siepi, pali metallici etc.; per questo motivo non si è mai ritenuto che il campo elettrico generato da queste sorgenti possa produrre un'esposizione intensa e prolungata della popolazione.

A tutti i fini pratici del rischio, è quasi sempre rilevante il solo campo magnetico. Contrariamente infatti a quanto avviene per il campo elettrico, le linee in cavo interrato sono sorgenti di campo magnetico, in quanto le guaine dei cavi non costituiscono un'efficace schermatura a tale riguardo.

Il campo magnetico prodotto da una linea aerea in un dato punto dipende in primo luogo dal valore della corrente transitante in linea e dalla distanza del punto dalla linea e in seconda istanza dalla configurazione della linea stessa. A parità di configurazione, ovviamente il campo magnetico cresce all'aumentare della corrente e diminuisce molto rapidamente all'aumentare della distanza dalla linea. In prossimità di una linea di alta tensione (380 kV), ad una distanza di circa 30 metri, i valori del campo elettrico sono inferiori ad 1 kV/m, i valori del campo magnetico sono dell'ordine del μT .

I parametri legati alla configurazione che influenzano maggiormente il campo magnetico al suolo sono: l'altezza della linea, le distanze tra le fasi e la loro disposizione (particolarmente per le linee a doppia terna), la presenza o meno di funi di guardia: a parità di distanza dalla linea, il campo si riduce all'aumentare dell'altezza della linea, al diminuire della distanza tra le fasi, all'aumentare del bilanciamento delle fasi, al diminuire delle distanze delle eventuali funi di guardia dai conduttori. Va

sottolineato ancora che il campo magnetico prodotto dalle linee elettriche, dipendendo dalla corrente, che, a differenza della tensione, varia notevolmente al variare delle condizioni di carico delle linee stesse, può assumere valori assai diversi in diversi periodi di osservazione e deve essere quindi analizzato in termini statistici. Le condizioni di carico delle linee infatti non sono costanti, poiché sono legate alla richiesta di energia che varia durante le ore del giorno e i periodi dell'anno.

Le considerazioni relative alle linee aeree in merito all'influenza dei parametri geometrici e delle correnti si applicano qualitativamente anche alle linee in cavo interrato.

Con riferimento alle sottostazioni ad alta tensione, si osserva prima di tutto che, mentre per le linee, per effetto della geometria relativamente semplice, assimilabili generalmente a simmetrie bidimensionali, l'utilizzazione di modelli è agevole e porta a risultati molto attendibili, per le sottostazioni le geometrie molto più complesse portano a formulazione di modelli onerosi, non sempre accompagnate da risultati soddisfacenti. Anche se questi ultimi anni hanno visto notevoli sviluppi nel perfezionamento dei modelli numerici applicati alle sottostazioni, le misure dirette dei campi costituiscono ancora l'approccio più valido per la caratterizzazione elettromagnetica di questi impianti.

1.3 Calcolo dell'induzione magnetica (3)

Il modello normalizzato per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta in una sezione trasversale di una linea elettrica aerea è quello descritto nella norma CEI 211-4, che viene considerato applicabile anche alle linee in cavo interrato. Si tratta di un modello bidimensionale che applica la *Legge di Biot-Savart* per determinare l'induzione magnetica dovuta a ciascun conduttore percorso da corrente e quindi la legge di sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale, tenendo ovviamente conto delle fasi delle correnti, supposte simmetriche ed equilibrate.

Vengono assunte le seguenti schematizzazioni della linea:

- tutti i conduttori sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- le correnti sono considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori aerei o dei cavi e, nel caso dei conduttori aerei a fascio, negli assi centrali dei fasci, cioè negli assi dei cilindri aventi come generatrici gli assi dei subconduttori dei fasci;
- per le linee aeree non vengono considerate le correnti indotte nelle funi di guardia in quanto il loro effetto sull'induzione magnetica è ritenuto trascurabile; analogamente per le linee in cavo interrato non si tiene conto delle correnti indotte negli schermi;
- il suolo è considerato perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e quindi si trascurano le immagini dei conduttori rispetto al suolo, che alla frequenza industriale risultano a profondità molto elevate;

Il modello bidimensionale considerato, con le schematizzazioni sopra elencate, fornisce risultati del tutto accettabili per la maggior parte delle situazioni riscontrabili per le linee aeree e in cavo. In alcuni casi particolari (per esempio zone della campata in vicinanza dei sostegni, configurazioni particolari di linee, presenze di più linee con percorsi non paralleli) può risultare appropriato eseguire valutazioni con metodi più completi di tipo tridimensionale, assai più complessi, ma già sviluppati e trattati dalla letteratura tecnica.

L'algoritmo di calcolo, implementabile con codici relativamente semplici, considera in sintesi i seguenti passi:

- i valori efficaci e le fasi delle correnti sinusoidali sui conduttori sono rappresentati attraverso fasori (numeri complessi): I_i è il fasore della corrente i ; sul conduttore i ;
- con riferimento ad un generico punto di coordinate (x_p, y_p) sul piano ortogonale ai conduttori si calcolano i fasori delle componenti spaziali dell'induzione magnetica totale B_x e B_y attraverso le formule riportate nella Figura 1.1, nella quale è anche illustrato il significato dei simboli usati nelle formule stesse, con riferimento alle linee aeree e a quelle in cavo interrato; per queste ultime la profondità di posa dei cavi (coordinata del centro geometrico di ciascun cavo) va introdotta con il segno negativo; per semplicità e maggior chiarezza, gli schemi riportati si riferiscono a linee a semplice terna, ma ovviamente le formule sotto riportate valgono per linee a doppia terna, introducendo opportunamente i fasori delle correnti in modo da rappresentare la disposizione delle fasi;
- il valore efficace dell'induzione B magnetica viene ottenuto con la formula già sopra illustrata

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

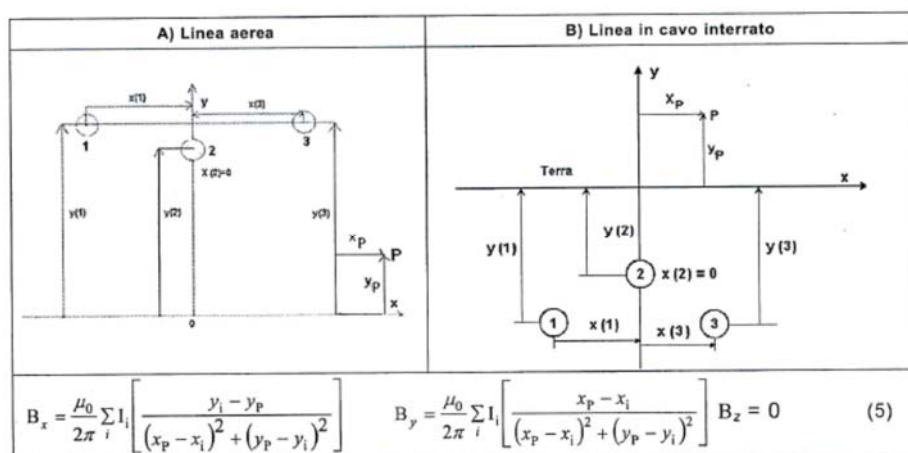


Figura 1.1 Schematizzazione delle linee aeree e in cavo interrato e formule per la determinazione dei fasori delle componenti spaziali dell'induzione magnetica

In alternativa all'utilizzazione del modello di calcolo normalizzato sopra descritto, che richiede l'uso di codici di calcolo, seppur relativamente semplici, si può ricorrere a formule analitiche approssimate, che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data distanza dal centro geometrico dei conduttori della linea elettrica. Tali formule derivano dalla considerazione che l'induzione magnetica generata da un sistema di conduttori di lunghezza infinita e tra di loro paralleli può essere espresso dalla scomposizione in serie della legge di Biot-Savart e che, per punti relativamente lontani dai conduttori, quali quelli di interesse per la valutazione delle fasce di rispetto a $3 \mu\text{T}$, lo sviluppo in serie può essere troncato al primo termine con un'approssimazione tanto più accettabile tanto più è elevata la distanza dai conduttori.

Consideriamo quindi alcune morfologie tipiche dei sistemi a bassa tensione, che rappresentano schematicamente i principali elementi tecnologici della produzione e del trasporto dell'energia elettrica: i cavi, monofase o polifase, raggruppati in coppie o terne.

Qui si vuole solo fornire un insieme di rapidi algoritmi che permettano di valutare con approssimazione accettabile il valore del vettore induzione magnetica in punti posti a distanza D dalla sorgente. Questo può essere di particolare importanza nelle valutazioni a priori, ad esempio quando si voglia valutare la variazione di induzione dovuta a modifiche o potenziamento degli impianti, o a una ricollocazione delle tratte, e la conseguente entità di una schermatura.

Le possibili sorgenti formate da linee elettriche rettilinee, possono essere di diversa natura: linee unifilari, linee bifilari e linee trifase, quest'ultime con disposizioni differenti dei conduttori. Si faccia attenzione al fatto che nelle formule che seguono, l'induzione magnetica B viene misurata in microtesla (μT).

In Figura 1.2 vengono riportate una linea unifilare (che rappresenta il caso di un conduttore a grande distanza dal conduttore di ritorno della corrente) e una linea bifilare (ad esempio linea di distribuzione fase-fase o fase-neutro).

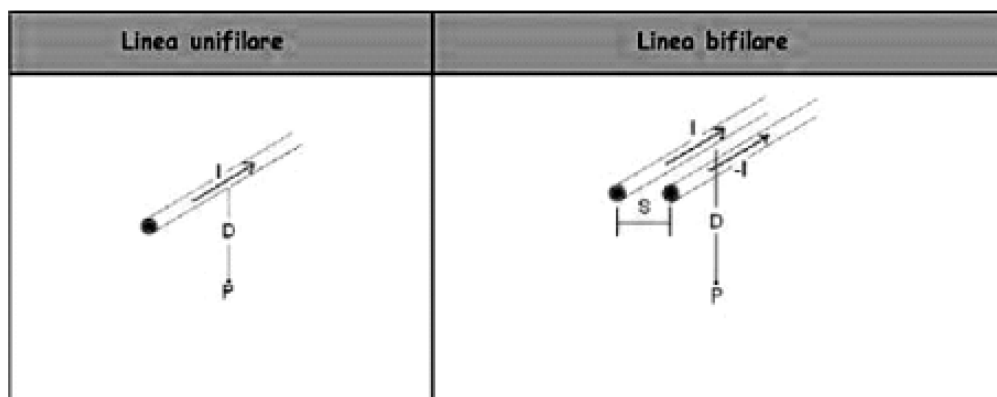


Figura 1.2 – Linea unifilare e bifilare.

Per la linea unifilare l'induzione magnetica generata nel punto P sarà data da:

$$B(\mu\text{T}) = 0,2 * \frac{I}{D}$$

Per la linea bifilare invece il campo di induzione magnetica generato nel punto P varrà:

$$B(\mu\text{T}) = 0,2 * \frac{I}{D} * \frac{S}{D}$$

Si nota che il campo magnetico generato dalle linee bifilari è inferiore a quello delle linee unifilari, a causa dell'effetto di riduzione del campo causato dalla presenza di conduttori vicini percorsi da correnti con fasi diverse.

Nel caso della linea unifilare, il campo magnetico decresce solo linearmente con la distanza D dalla sorgente; nel caso della linea bifilare, percorsa da correnti di intensità uguali, ma versi opposti, il decremento del campo è proporzionale al quadrato della distanza D , mentre cresce proporzionalmente al rapporto S/D , a parità di distanza dalla sorgente (S è la distanza fra i conduttori). In Figura 1.3 vengono riportati gli schemi dei sistemi trifase composti da conduttori rettilinei disposti tra di loro parallelamente e percorsi da una terna di correnti simmetrica ed equilibrata.

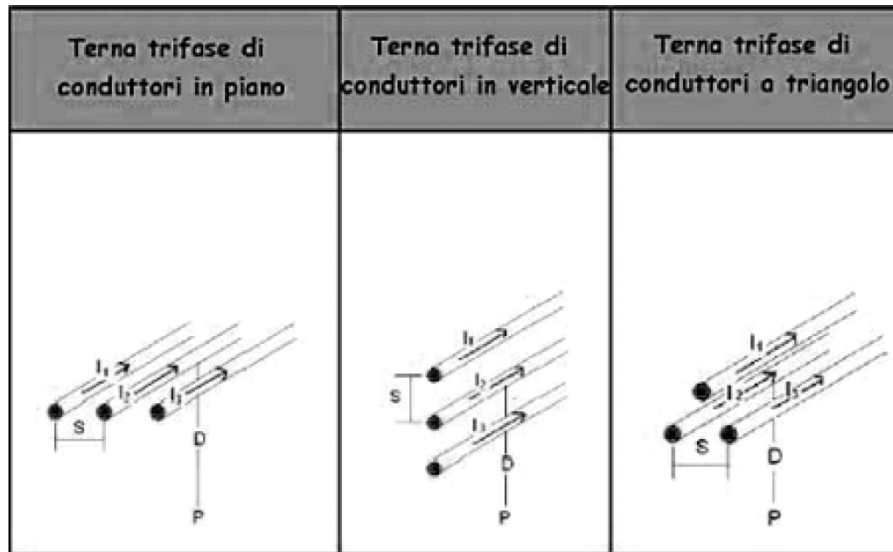


Figura 1.3 – Schemi dei sistemi trifase di conduttori rettilinei.

Per le terne trifase di conduttori in piano e di conduttori in verticale il campo di induzione magnetica nel punto P vale:

$$B(\mu T) = 0,2 * \sqrt{3} * \frac{I}{D} * \frac{S}{D}$$

Per le terne trifase di conduttori a triangolo l'induzione magnetica nel punto P è data da:

$$B(\mu T) = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{I}{D} * \frac{S}{D}$$

Si fa notare che la disposizione dei conduttori ai vertici di un triangolo equilatero è quella che, a parità di altre condizioni, minimizza il campo magnetico.

Per l'intero percorso della linea interrata, il calcolo verrà condotto utilizzando cautelativamente la modellizzazione di conduttori localmente rettilinei, orizzontali e paralleli, di forma cilindrica con diametro costante per ogni tratto descritto nello schema unifilare. Sempre a titolo cautelativo il calcolo della perturbazione elettromagnetica indotta dal tracciato interrato verrà effettuato trascurando qualsiasi tipo di schermatura elettromagnetica prodotta dai cavi stessi. Dal punto di vista magnetico il terreno verrà considerato perfettamente trasparente, mentre dal punto di vista elettrico risulta essere uno schermo tale da poter ritenere il campo elettrico quasi nullo.

Il calcolo del campo di induzione magnetica verrà eseguito considerando cautelativamente una intensità di corrente pari alla massima corrente di impiego, ovvero la massima corrente che può interessare la linea di trasporto nelle normali condizioni di utilizzo. Tuttavia, è opportuno sottolineare che gli impianti di produzione di energia da fonte eolica sono caratterizzati da produzione variabile in funzione della velocità del vento e quindi la potenza prodotta e di conseguenza la corrente che transita nelle linee, varia nel corso del normale funzionamento.

1.4 Interferenze con le comunicazioni: generalità

Pur non trattandosi di radiazioni emesse dall'impianto ma solo interferenze di questo con altri sistemi di onde, è opportuno, per completezza di trattazione, inserire in questa sede un sottoparagrafo riguardante le problematiche relative alle possibili interferenze dell'opera in oggetto con le telecomunicazioni. Esse possono riguardare sia apparati di trasmissione/ripetizione che apparecchi riceventi. Per gli apparecchi riceventi domestici, la distanza oltre la quale non si rilevano disturbi è dell'ordine di qualche decina di metri, mentre per i trasmettitori/ripetitori televisivi si ritiene che una distanza di alcuni chilometri sia sufficiente ad escludere qualsiasi disturbo. Nel caso invece dei collegamenti via radio, possono invece verificarsi interferenze anche se emettitore e ricevitore si trovano a grande distanza dal campo eolico: ciò può accadere, ad esempio, per comunicazioni caratterizzate da forte direzionalità, che possono subire significative interferenze se il campo eolico si trova nel lobo di trasmissione. In tal caso, sono necessari accorgimenti "posizionali" o nella scelta della frequenza che evitino l'interferenza [AA.VV., 1997].

In effetti, il parco eolico si comporta come un ostacolo nei confronti delle onde elettromagnetiche incidenti: fenomeni di riflessione, diffusione e diffrazione rendono l'installazione assimilabile ad una sorgente secondaria di emissioni, la cui "potenza" dipende da fattori quali forma e dimensioni dell'ostacolo in relazione alla lunghezza d'onda λ , proprietà dielettriche e conduttive delle strutture, posizione delle pale e delle strutture rispetto alla polarizzazione delle onde incidenti. Poiché poi l'impianto in funzione è in continuo movimento, (soprattutto la porzione relativa alle pale), il comportamento di questo campo secondariamente generato è piuttosto imprevedibile.

Per quanto riguarda il problema della rotazione, le interferenze elettromagnetiche con i servizi radio sono essenzialmente dovute alla generazione di effetti multi-direzionali che variano nel tempo. La presenza di un aereogeneratore introduce una seconda traiettoria di trasmissione tra trasmettitore e ricevitore. In effetti, ogni ostacolo (grandi edifici, alberi ed altre strutture), come già anticipato, è in grado di generare traiettorie multiple, ma è la variazione periodica nel tempo degli effetti multi-direzionali determinata dalle pale che provoca gli effetti più pesanti sulle trasmissioni radio. L'entità delle interferenze dipende dal tipo di telecomunicazione. Le trasmissioni più sensibili a questo tipo di interferenza periodica sono quelle televisive, poiché la componente video del segnale è anch'essa modulata in ampiezza [Chignell; Van Kats, Van Rees]. Infatti, l'interferenza si evidenzia come la sovrapposizione al segnale utile presente all'ingresso del televisore di una modulazione di ampiezza in cui il periodo è legato alla velocità di rotazione e al numero di pale della macchina, mentre la profondità è associata all'intensità del segnale riflesso, restando del tutto indipendente dal segnale diretto. La degradazione dell'immagine televisiva prodotta da interferenza di generatori eolici interviene quando sia superato il valore di soglia $m = 0,15$ per la profondità di modulazione. In tali condizioni l'interferenza si manifesta con variazioni periodiche della luminosità dell'immagine o, nei peggiori dei casi, con la perdita di sincronismo o ancora, quando il ritardo tra il segnale diretto e riflesso assume valori sensibili, con la presenza di contorni sfocati o sdoppiati.

Misure condotte dall'ENEL nel sito di Monte Arci (Oristano) hanno escluso interferenze con i radar. Per gli utenti televisivi sono state valutate le ipotetiche aree di interferenza. Problemi dovuti alla

riflessione delle onde si avvertono nei primi 100 metri mentre una stima, anche in questo caso molto conservativa, indica in un chilometro la distanza di sicurezza dai fenomeni di diffusione [ENEA, 2000].

La quantificazione di questi effetti può essere effettuata per via sperimentale, controllando attraverso rilevamenti eseguiti a varie distanze dagli Aerogeneratori, la qualità dell'immagine ricevuta, correlandola al livello del segnale riflesso o diffuso dalla struttura del generatore stesso. In alternativa, possono essere utilizzati modelli matematici predittivi per il calcolo dei livelli del segnale riflesso e diffuso dalle strutture in movimento. Questi permettono di individuare, in maniera conservativa, una zona di rispetto oltre la quale il rapporto tra segnale e disturbo è di entità tale da non incidere sulla qualità del radioservizio stesso.

1.5 Normativa di riferimento nel campo dell'inquinamento elettromagnetico

Il calcolo dei campi elettrico e magnetico è effettuato con riferimento ai metodi esposti nelle seguenti Guide Tecniche:

Procedure standardizzate di misura o calcolo

- Norma CEI 211-4, Milano, 1996 – “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”;
- Norma CEI 211-6, Milano, 2001 – “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana” (di cui al D.P.C.M. 08 luglio 2003, art. 5, comma 1, *n.d.r.*).

Il calcolo del campo magnetico è stato effettuato, cautelativamente, alla massima corrente di impiego, ovvero la massima corrente che può interessare la linea di trasporto prevista fra l'impianto di San Severo (località “Centoquaranta-Mezzanone”) e la sottostazione di utenza (SE di consegna), di progetto, da realizzarsi nelle vicinanze della Stazione RTN, ubicata nell'agro del Comune di San Severo (FG), nelle normali condizioni di esercizio. Tuttavia, è opportuno sottolineare che gli impianti di produzione di energia da fonte eolica sono caratterizzati da produzione variabile in funzione della velocità del vento e quindi la potenza prodotta e di conseguenza la corrente che transita nelle linee varia nel corso del normale funzionamento; ne consegue che le analisi qui riportate sono da considerarsi cautelative, in quanto riferite a valori massimi di corrente che si verificano per poche ore all'anno, in coincidenza con elevata intensità di risorsa eolica.

I riferimenti normativi presi in considerazione nella valutazione dell'impatto elettromagnetico sono quelli attualmente vigenti, ovvero quelli definiti dal D.P.C.M. 23 aprile 1992, dal D.P.C.M. 28 settembre 1995, dalla Legge del 22 febbraio 2001, n 36 ed i relativi Decreti attuativi (di cui in particolare il D.P.C.M. del 08 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, magnetici ed elettromagnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti” e il Decreto 29 maggio 2008 – “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”). La normativa principale di riferimento viene di seguito riportata:

Normativa nazionale

- **D.P.C.M. 28 settembre 1995** “Norme tecniche procedurali di attuazione del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992 relativamente agli elettrodotti” (*pubblicato su G.U.R.I. n. 232 del 4 ottobre 1995*) (**TESTO VIGENTE AL 26/11/2017**);
- **Legge del 22 febbraio 2001, n. 36** “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”² (*pubblicata su G.U.R.I. n. 55 del 7 marzo 2001*) (**TESTO VIGENTE AL 26/11/2017**) ed i relativi Decreti attuativi, quali:
- **D.P.C.M. 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, magnetici ed elettromagnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti” (*pubblicato su G.U.R.I. n. 200 del 29 agosto 2003*) (Decreto attuativo dell’art. 4, comma 2., lettera a), della Legge 22 febbraio 2001, n. 36);
- **D.P.C.M. 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” (*pubblicato su G.U.R.I. n. 199 del 28 agosto 2003*) (Decreto attuativo dell’art. 4, comma 2., lettera a), della Legge 22 febbraio 2001, n. 36);
- **Decreto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 29 Maggio 2008** “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti” (*pubblicato su G.U.R.I. n. 156 del 5 luglio 2008, S.O. n. 160*);
- **Decreto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 29 Maggio 2008** “Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell’induzione magnetica”, (*pubblicato su G.U.R.I. n. 153 del 2 luglio 2008*);
- **Decreto Legge 18 dicembre 2012 n. 179** “Ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese - Decreto Sviluppo”³ (convertito in legge con la Legge 17 dicembre 2012, n. 221 “Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 18 ottobre 2012, n. 179, recante ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese” (*pubblicata su G.U.R.I. n. 294 del 18 dicembre 2012, S.O. n. 208*);
- **Decreto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 2 dicembre 2014** “Linee guida, relative alla definizione delle modalita' con cui gli operatori forniscono all'ISPRA e alle ARPA/APPA i dati di potenza degli impianti e alla definizione dei fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tener conto della variabilita' temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore. (14A09740)” (*pubblicato su G.U.R.I. Serie Generale n.296 del 22 dicembre 2014*).

² L’art. 9. “Piani di risanamento”, comma 2., della Legge n. 36/2001 è stato modificato dall’art.1. “Interventi correttivi di finanza pubblica”, comma 28., della Legge 23 agosto 2004, n. 239 “Riordino del settore energetico, nonché delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia” (*pubblicata su G.U.R.I. n. 215 del 13 settembre 2004*).

³ Nella Sezione V, art. 14, sono contenute le disposizioni relative alle nuove tecnologie LTE ed alla misurazione e valutazione dei livelli di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico.

Normativa regionale

- 1) **L.R. (Puglia) 26 febbraio 2002** “Norme transitorie per la tutela dall'inquinamento elettromagnetico prodotto da sistemi di telecomunicazioni e radiotelevisivi operanti nell'intervallo di frequenza fra 0 Hz e 300 GHz.” (*pubblicata su B.U.R.P. n. 32 del 11 marzo 2002*) (In attesa dell’emanazione dei decreti attuativi della legge 22 febbraio 2001, n. 36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” nonché dei conseguenti adempimenti regionali, la L.R. 26 febbraio 2002: «*stabilisce le norme idonee ad assicurare, nel territorio regionale, la tutela dell’ambiente dall’inquinamento elettromagnetico connesso al funzionamento e all’esercizio degli impianti per telecomunicazione e radiotelevisivi, nel rispetto del regime transitorio di cui all’articolo 16 della legge medesima.*» (art. 1 “Finalità”, comma 1); sono pertanto soggetti alla presente legge «*tutti i sistemi fissi per telecomunicazioni e radiotelevisivi disciplinati dal decreto ministeriale 10 settembre 1998, n.381, operanti nell’intervallo di frequenza compresa tra 0 Hz e 300 GHz*» (art. 2 “Campi di applicazione”, comma 1), *n.d.r.*).

Legge del 22 febbraio 2001, n. 36

La Legge del 22 febbraio 2001, n. 36 “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”⁴ (*pubblicata su G.U.R.I. n. 55 del 7 marzo 2001*) ha lo scopo di dettare i principi fondamentali diretti a (art. 1 “Finalità della legge”):

- a) *assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione dagli effetti dell’esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ai sensi e nel rispetto dell’articolo 32 della Costituzione;*
- b) *promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine e attivare misure di cautela da adottare in applicazione del principio di precauzione di cui all’articolo 174, paragrafo 2, del trattato istitutivo dell’Unione Europea;*
- c) *assicurare la tutela dell’ambiente e del paesaggio e promuovere l’innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l’intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.*

La legge ha per oggetto «*gli impianti, i sistemi e le apparecchiature per usi civili, militari e delle forze di polizia, che possano comportare l’esposizione dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenze comprese tra 0 Hz e 300 GHz. In particolare, la presente legge si applica agli elettrodotti ed agli impianti radioelettrici, compresi gli impianti per telefonia mobile, i radar e gli impianti per radiodiffusione*» (art. 2 – “Ambito di applicazione”, comma 1). Ai fini dell’applicazione della presente legge si assumono le seguenti definizioni (art. 3 – “Definizioni”, comma 1):

⁴ L’art. 9. “Piani di risanamento”, comma 2., della Legge n. 36/2001 è stato modificato dall’art.1. “Interventi correttivi di finanza pubblica”, comma 28., della Legge 23 agosto 2004, n. 239 “Riordino del settore energetico, nonché delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia” (pubblicata su G.U.R.I. n. 215 del 13 settembre 2004).

- a) **esposizione:** «è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale»;
- b) **limite di esposizione:** «è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a)»;
- c) **valore di attenzione:** «è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge»;
- d) **obiettivi di qualità sono:**
- 1) «i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8»;
 - 2) «i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi»;
- e) **elettrodotto:** «è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione»;
- f) **esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici:** «è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici»;
- g) **esposizione della popolazione:** «è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici».

L'art. 4, comma 2, lettera a) della legge del 22 febbraio 2001, n. 36 prevede che con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro dell'ambiente di concerto con il Ministro della sanità, siano fissati i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione dalla esposizione della popolazione, nonché le tecniche di misurazione e di rilevamento dei livelli di emissioni elettromagnetiche.

D.P.C.M. 8 luglio 2003

Le disposizioni del **D.P.C.M. 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, magnetici ed elettromagnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti" (pubblicato su G.U.R.I. n. 200 del 29 agosto 2003) (Decreto attuativo dell'art. 4, comma 2., lettera a), della Legge 22 febbraio 2001, n. 36) «fissano limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti. Nel medesimo ambito, il presente

decreto stabilisce anche un obiettivo di qualità per il campo magnetico, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni» (art. 1 – “Campo di applicazione”, comma 1).

All'art. 3 – “Limiti di esposizione e valori di attenzione”, comma 1 fissa i limiti di esposizione per l'induzione magnetica e per il campo elettrico, intesi come valori efficaci: «Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci». Al comma 2 dello stesso articolo stabilisce invece che: «A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μT , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio».

«Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio» (art. 4 – “Obiettivi di qualità”, comma 1).

Tabella 1.2 – Limiti di esposizione, Valori di attenzione e Obiettivi di qualità per i campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, fissati dal D.P.C.M. 08 luglio 2003 agli artt. 3 e 4.

Limiti	Valore efficace di Induzione magnetica [μT]	Valore efficace di Campo elettrico [kV/m]
Limiti di esposizione (art. 3, comma 1) «Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti»	≤ 100	≤ 5
Valore di attenzione (art. 3, comma 2) «A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere» (mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)	10	-
Obiettivi di qualità (art. 4, comma 1) «Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz» (mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)	3	-

All'art. 5 – “Tecniche di misurazione e di determinazione dei livelli d'esposizione”, comma 1, è stabilito che: «Le tecniche di misurazione da adottare sono quelle indicate dalla norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6 prima edizione, «Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz-10 kHz, con riferimento all'esposizione umana» e successivi aggiornamenti». Per la determinazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità «il sistema agenziale APAT-ARPA dovrà determinare le relative procedure di misura e valutazione, con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio» (art. 5, comma 2). Per la verifica del rispetto delle disposizioni di cui agli articoli 3 e 4, «oltre alle misurazioni e determinazioni di cui al commi 1 e 2, il sistema agenziale APAT-ARPA può avvalersi di metodologie di calcolo basate su dati tecnici e storici dell'elettrodotto» (art. 5, comma 3).

L'art. 6 – “Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti” stabilisce inoltre che: «Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-60, che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV e alle regioni, per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV. I gestori provvedono a comunicare i dati per il calcolo e l'ampiezza delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti» (comma 1). «L'APAT, sentite le ARPA, definirà la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio» (comma 2).

Decreto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 29 maggio 2008

Il Decreto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 29 Maggio 2008

“Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti” (pubblicato su G.U.R.I. n. 156 del 5 luglio 2008, S.O. n. 160) all’art. 1 approva la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti riportata nell’Allegato – “Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”. Intento del documento è quello di «formulare una proposta metodologica che trovi piena applicabilità nel rispetto dei principi della L.Q. n. 36/01 e del D.P.C.M. 8 luglio 2003. La metodologia deve rivestire carattere di ampia generalità ed essere applicabile anche a casi particolari» (Par. 2 – “Introduzione”).

Il Par. 3 – “Oggetto e campo di applicazione”, parte 3.2 – “Oggetto e applicabilità” stabilisce che la metodologia, ai sensi dell’art. 6 comma 2 del D.P.C.M. 08 luglio 2003, ha lo scopo di «fornire la procedura da adottarsi per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e in progetto. I riferimenti contenuti nell’art. 6 del D.P.C.M. 8 luglio 2003 implicano che le fasce di rispetto debbano attribuirsi ove sia applicabile l’obiettivo di qualità “Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l’infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio” (art. 4).

La presente metodologia di calcolo si applica, quindi, agli elettrodotti esistenti o in progetto, con linee aeree o interrate. Sono escluse dall'applicazione della metodologia:

- le linee esercite a frequenze diverse da quella di rete (50 Hz);
- le linee definite di classe zero secondo il decreto interministeriale 21.03.88 n. 449;
- le linee definite di prima classe secondo il decreto interministeriale 2 1.03.88 n. 449;
- le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

In tutti questi casi le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dal Decreto Interministeriale n. 449/88 e dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991».

“La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti” prevede una procedura semplificata di valutazione con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (D.P.A.).

La determinazione della fascia di rispetto di una linea elettrica avviene quindi in primo luogo mediante il calcolo della D.P.A.. Tale distanza viene definita come “la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dal centro linea più della D.P.A. si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine secondarie è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra”. Le D.P.A. permettono, nella maggior parte delle situazioni, una valutazione esaustiva dell'esposizione ai campi magnetici.

Si evidenzia infine che le fasce di rispetto (comprese le correlate D.P.A.) non sono applicabili ai luoghi tutelati esistenti in vicinanza di elettrodotti esistenti. In tali casi, l'unico vincolo legale è quello del non superamento del valore di attenzione del campo magnetico (10 μ T da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio); solo ove tale valore risulti superato, si applicheranno le disposizioni dell'art. 9 della Legge 36/2001.

1.6 Metodologie di calcolo delle fasce di rispetto/D.P.A. (4)

Il sopracitato D.P.C.M. 8 luglio 2003, all'art. 6, prevede che il proprietario/gestore dell'elettrodotto comunichi alle autorità competenti l'ampiezza delle fasce di rispetto ed i dati utilizzati per il calcolo dell'induzione magnetica, che va eseguito, ai sensi del 5.1.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (G.U. n. 156 del 5 luglio 2008), sulla base delle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea, tenendo conto della presenza di eventuali altri elettrodotti. Detto calcolo delle fasce di rispetto va eseguito utilizzando modelli:

- bidimensionali (2D), se sono rispettate le condizioni di cui al § 6.1 della norma CEI 106-11 Parte I;
- tridimensionali (3D), in tutti gli altri casi.

Le dimensioni delle fasce di rispetto devono essere fornite con una approssimazione non superiore a 1,00 m. Al fine di agevolare la gestione territoriale ed il calcolo delle fasce di rispetto il Decreto introduce una procedura semplificata (§ 5.1.3), per il calcolo della D.P.A. ai sensi della CEI 106-11 che fa

riferimento ad un modello bidimensionale semplificato, valido per conduttori orizzontali paralleli, secondo il quale il proprietario/gestore deve:

- calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco di linea (la configurazione ottenuta potrebbe non corrispondere ad alcuna campata reale);
- proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- comunicare l'estensione rispetto alla proiezione al centro linea: tale distanza (D.P.A.) sarà adottata in modo costante lungo il tronco.

La determinazione della fascia di rispetto è finalizzata alla definizione del volume, attorno ai conduttori, al cui interno si potrebbe avere una induzione magnetica superiore a $3 \mu\text{T}$ e non all'individuazione della proiezione verticale al suolo di detto volume, come invece definito in maniera semplificata dalla procedura di calcolo della D.P.A..

Consideriamo il caso di cavi unipolari interrati posati a trifoglio, il cui schema di posa è indicato in Figura 1.4.

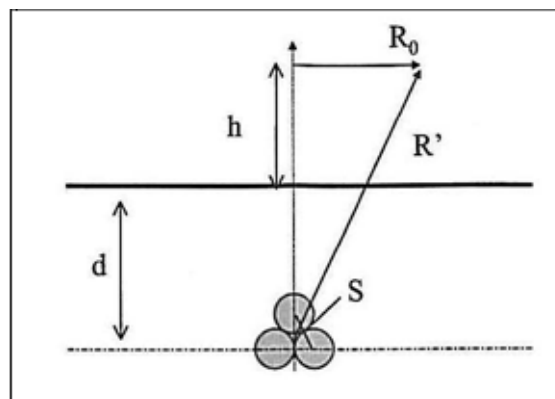


Figura 1.4 – Cavi unipolari interrati posati a trifoglio

R' rappresenta la distanza dal centro geometrico dei conduttori che corrisponde ad un valore di induzione magnetica B pari a $3 \mu\text{T}$. Risulterà:

$$R' = 0,286 \times \sqrt{S \times I}$$

La formula semplificata per il calcolo diretto della distanza R_0 dall'asse della linea a livello del suolo oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di $3 \mu\text{T}$ è la seguente:

$$R_0 = \sqrt{0,082 \times S \times I - d^2}$$

nella quale S rappresenta la distanza tra conduttori adiacenti e d la profondità di scavo.

Nel caso di cabine elettriche, ai sensi del § 5.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (G.U. n. 156 del 5 luglio 2008), la fascia di rispetto deve essere calcolata come segue:

- Cabine Primarie, generalmente la D.P.A. rientra nel perimetro dell'impianto (§ 5.2.2) in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro.
- Cabine Secondarie, nel caso di cabine di tipo box (con dimensioni mediamente di 4,0 m x 2,4 m, altezze di 2,4 m e 2,7 m ed unico trasformatore) o similari, la D.P.A., intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della CS, va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con

distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (x) (§ 5.2.1) applicando la seguente relazione:

$$\mathbf{D. P. A. = 0.40942 * x^{0.5241} * \sqrt{I}}$$

Per Cabine Secondarie differenti dallo standard “box” o similare sarà previsto il calcolo puntuale, da applicarsi caso per caso. Per Cabine Secondarie di sola consegna MT la D.P.A. da considerare è quella della linea MT entrante/uscente; qualora sia presente anche un trasformatore e la cabina sia assimilabile ad una “box”, la D.P.A. va calcolata con la formula di cui sopra (§ 5.2.1. del D.M. 29 maggio 2008). Nel caso di più cavi per ciascuna fase in uscita dal trasformatore va considerato il cavo unipolare di diametro maggiore.

1.7 Stima degli impatti

1.7.1 Fase di costruzione

Durante questa fase l'impatto sarà nullo in quanto nessuna delle attività previste in fase di cantiere genererà campi elettromagnetici.

1.7.2 Fase di esercizio

La società Innogy Italia S.p.A. intende realizzare nel Comune di San Severo (FG), alle località "Centoquaranta" e "Mezzanone", una centrale per la produzione di energia elettrica da fonte eolica costituita da n. 12 aerogeneratori ad asse orizzontale di grande taglia; l'energia elettrica prodotta da ciascun aerogeneratore viene trasformata da *bassa a media tensione* per mezzo del trasformatore installato a bordo navicella e, quindi, trasferita al quadro MT posto a base torre e sito internamente alla struttura di sostegno tubolare.

Gli aerogeneratori del parco eolico sono tra loro collegati mediante una rete di cavidotti, alla tensione di 30 kV.

Il dimensionamento di massima per la sezione dei cavi MT è stato effettuato sulla base delle caratteristiche dei cavi unipolari del tipo **ARE4H1RX 18/30 kV** con conduttore di alluminio, con isolamento XPLE, per posa interrata in piano ed adottando un opportuno fattore di sicurezza.

Le terne di cavi elettrici saranno posate in scavo (cavidotti interrati) secondo le prescrizioni CEI che prevedono, nel caso di una singola terna di cavi, uno scavo di circa 1,20 m di profondità per una larghezza di circa 0,60 m.

La stima dei campi magnetici ed elettrici è stata effettuata ipotizzando l'impiego di cavi unipolari a trifoglio direttamente interrati ad un 1,20 m. circa di profondità, rispetto al piano di campagna.

Le simulazioni effettuate consentono di trarre le seguenti conclusioni:

Ciascun aerogeneratore avrà una potenza di 4,5 MW, la potenza complessiva dell'impianto è quindi di 54,00 MW; per l'intero percorso della linea interrata il calcolo è stato condotto utilizzando, cautelativamente, la modellizzazione di conduttori localmente rettilinei, orizzontali e paralleli, di forma cilindrica, con diametro costante per ogni tratto descritto nello schema unifilare.

Sempre a titolo cautelativo il calcolo della perturbazione elettromagnetica, indotta dal tracciato interrato, è stato effettuato trascurando qualsiasi tipo di schermatura elettromagnetica prodotta dai cavi stessi.

Dal punto di vista magnetico il terreno è stato considerato perfettamente trasparente mentre dal punto di vista elettrico risulta essere uno schermo tale da poter ritenere il campo elettrico quasi nullo:

A) Sottocampo A (n. 7 aerogeneratori, cavo MT in uscita da CS1 verso SE):

$$I_{\text{fase}} = \frac{P}{V \times \sqrt{3}} = \frac{31.5 \times 10^6}{30 \times 10^3 \times 1.73} = 607 \text{ A}$$

B) Sottocampo B (n. 5 aerogeneratori, cavo MT in uscita da CS2 verso SE):

$$I_{\text{fase}} = \frac{P}{V \times \sqrt{3}} = \frac{22.5 \times 10^6}{30 \times 10^3 \times 1.73} = 434 \text{ A}$$

Considerando un terreno con resistività termica $R=1,5^\circ \text{ Cm/W}$ (in fase di progettazione esecutiva sarà effettuata una misura di resistività termica del terreno lungo il tracciato dei cavidotti in modo tale da effettuare una correzione del valore se questo risultasse più elevato), considerata la situazione più gravosa ovvero quella relativa al cavidotto MT nel caso (A), è stata scelta una terna di cavi unipolari posati a trifoglio di sezione 630 mm^2 (tratto da CS1 a SE).

La simulazione è stata eseguita considerando una intensità di corrente pari al limite termico massimo del cavo, direttamente interrato a 20° C , come indicato nella norma CEI 11-17 (5), pari a 619 A, ponendoci in questa condizione a titolo cautelativo.

- **Campo di induzione magnetica:** in corrispondenza dell'asse dello scavo il valore massimo risulta essere (nel caso più sfavorevole, a livello del suolo) pari a circa $9 \mu\text{T}$: è, pertanto, sempre rispettato sia il valore massimo di esposizione di $100 \mu\text{T}$ (indicato dal D.P.C.M. 08 luglio 2003) che il valore di attenzione di $10 \mu\text{T}$;

R' (che rappresenta la distanza dal centro geometrico dei conduttori alla quale corrisponde un valore di induzione magnetica B pari a $3 \mu\text{T}$) risulta essere pari a 1,76 m;

R_0 (che rappresenta la distanza dall'asse della linea a livello del suolo oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di $3 \mu\text{T}$) risulta essere pari a 1,46 m;

Quindi, il valore obiettivo di $3 \mu\text{T}$ risulta essere garantito a partire da circa 1,46 m. dall'asse dello scavo; si tenga presente che il cavidotto si sviluppa, per l'intero tracciato, lungo gli assi viari esistenti e che, quindi (come richiesto dallo stesso D.P.C.M. 08 luglio 2003 - art. 4 commi 1 e 2), verrà garantito il valore obiettivo «*in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze (...)*».

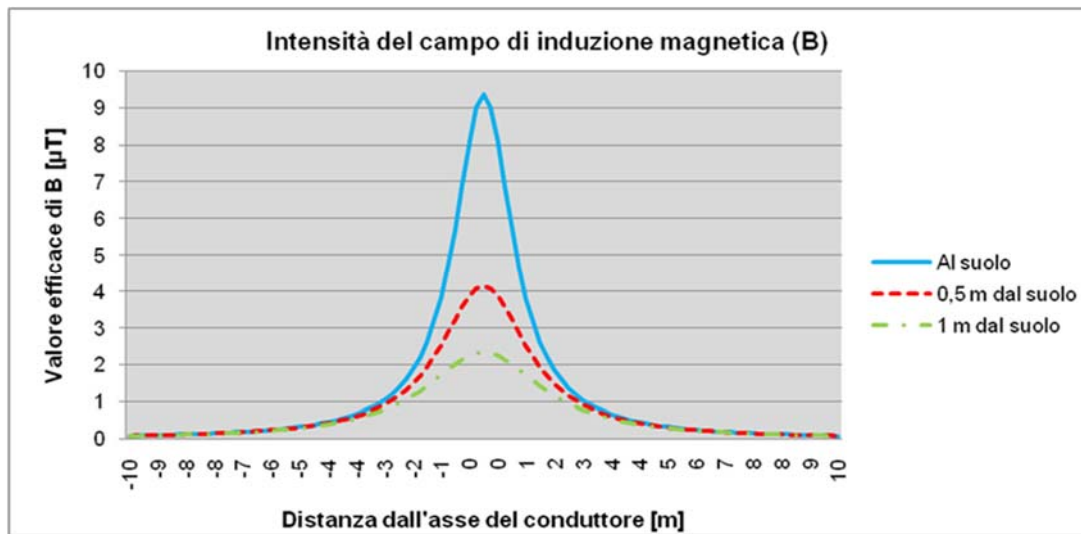


Figura 1.5 Valore efficace dell'intensità di induzione magnetica.

- **Campo elettrico:** il campo elettrico risulta essere trascurabile in considerazione della tipologia di linea in cavo interrato, per l'effetto schermante del terreno e dello schermo metallico del cavo.

SOTTOSTAZIONE AT/MT

Nella sottostazione elettrica sarà effettuata la trasformazione dell'energia prodotta, da media ad alta tensione ovvero da 30 a 150 kV.

La SE è costituita da un trasformatore AT/MT di potenza adeguata, da tutte le apparecchiature AT per la protezione dell'impianto e la misura delle tensioni e correnti, da tutte le apparecchiature elettriche di protezione e misura dell'impianto MT, apparecchiature BT per i servizi ausiliari e le relative strutture di tipo sostegno (monoblocco in cemento armato vibrato) oltre agli edifici di controllo e comando.

In generale, i contributi maggiori al campo elettromagnetico intorno ad una sottostazione derivano dalle linee di potenza entranti e uscenti dalla stessa; il valore del campo elettromagnetico dovuto ai trasformatori diminuisce rapidamente con la distanza; oltre la recinzione della sottostazione, i campi elettromagnetici prodotti dagli equipaggiamenti posti all'interno della stessa sono tipicamente indistinguibili dai livelli del fondo ambientale.

L'ARPA di Rimini ha effettuato nel 1994 delle misure in alcune cabine primarie (6):

- il campo elettrico misurato lungo il perimetro di recinzione di cabine primarie è risultato sempre inferiore a 5 V/m (si ricorda che il limite di legge per il campo elettrico è fissato a 5 kV/m).
- Il livello di induzione magnetica è sempre risultato minore di 0,2 µT, valore che soddisfa ampiamente l'obiettivo di qualità di 3 µT.

In Tabella 1.3 sono riportati invece, i valori del campo elettrico e del campo magnetico rilevato a seguito di misurazioni effettuate dall'ASL su campi funzionanti.

Tabella 1.3 – Valori di intensità di campo elettrico e magnetico rilevati.

Luogo di misura	Valore di intensità di Campo elettrico [V/m]	Valore di intensità di Induzione magnetica [μ T]
Porta ingresso sottostazione	350	0,7
Interno alla sottostazione	179	4,2
Vicino ad una linea ad alta tensione a 150 kV	435	0,3
Piedi di una turbina eolica	2	0,6
Periferia dell'impianto	0	0,1

La misura è stata effettuata su una zona dove sono presenti due campi eolici, uno della potenza di 25,2 MW con 42 aerogeneratori, il secondo della potenza di 24,0 MW con 40 aerogeneratori (cioè potenze e numero degli aerogeneratori di gran lunga superiori a quelli previsti per il progetto in esame), ponendo la soglia ad un'altezza di 1,5 metri dal piano di calpestio e posizionata vicino la porta di ingresso della sottostazione, all'interno di essa, vicino ad una linea ad alta tensione a 150 kV, ai piedi di una turbina eolica e alla periferia degli impianti.

Si noti che solo il valore misurato all'interno della sottostazione è risultato superiore a 3 μ T mentre tutte le altre misure sono risultate inferiori a tale valore.

Si consideri inoltre che la sottostazione verrà realizzata in corrispondenza di una Stazione AT esistente (380 kV denominata "San Severo") e di una linea AT esistente (linea RTN 380 kV "Rotello-San Severo") quindi in un sito già oggetto di intervento industriale e soggetto a campi elettromagnetici che non aumenteranno con la nuova realizzazione della SE (essendo, in misura preponderante, dipendenti dalle linee di potenza entranti ed uscenti dalla sottostazione stessa mentre il campo elettromagnetico, dovuto ai trasformatori, misurato oltre le recinzioni, è in genere indistinguibile dai livelli di fondo dell'ambiente).

Anche Enel ha pubblicato i risultati di alcune simulazioni condotte per la valutazione della distanza di prima approssimazione da linee e cabine elettriche (4).

Come si può osservare dalla Figura 1.6, che fa riferimento ad una Cabina di trasformazione AT/MT, la D.P.A. è interna alla cabina se sono rispettate le seguenti distanze, dal perimetro interno, non interessato dalle fasce di rispetto delle linee in ingresso-uscita:

- 14 m. dall'asse delle sbarre di AT in aria;
- 7 m. dall'asse delle sbarre di MT in aria.

Pertanto, per la SE di progetto (150/30 kV) si può ragionevolmente porre il confine dell'impianto quale fascia di rispetto in quanto, già a 14,0 m. dall'asse delle sbarre AT, in aria il livello di induzione magnetica è inferiore a quello definito come obiettivo di qualità.

Considerando che all'interno di tale fascia di rispetto non sono presenti, né previste, attività o edifici con destinazione d'uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso specifico che comporti una permanenza di persone superiore alle quattro ore giornaliere⁵, si può ritenere che dal punto di vista elettromagnetico tale SE non rappresenta un pericolo per la salute pubblica.

⁵ Questo parametro temporale è stato desunto dalle prescrizioni stabilite dal Regolamento Regionale (Puglia) 4 ottobre 2006, n. 16. L'art. 10: "Criteri per la redazione della relazione d'impatto ambientale per la valutazione integrata" della medesima legge, infatti, fa

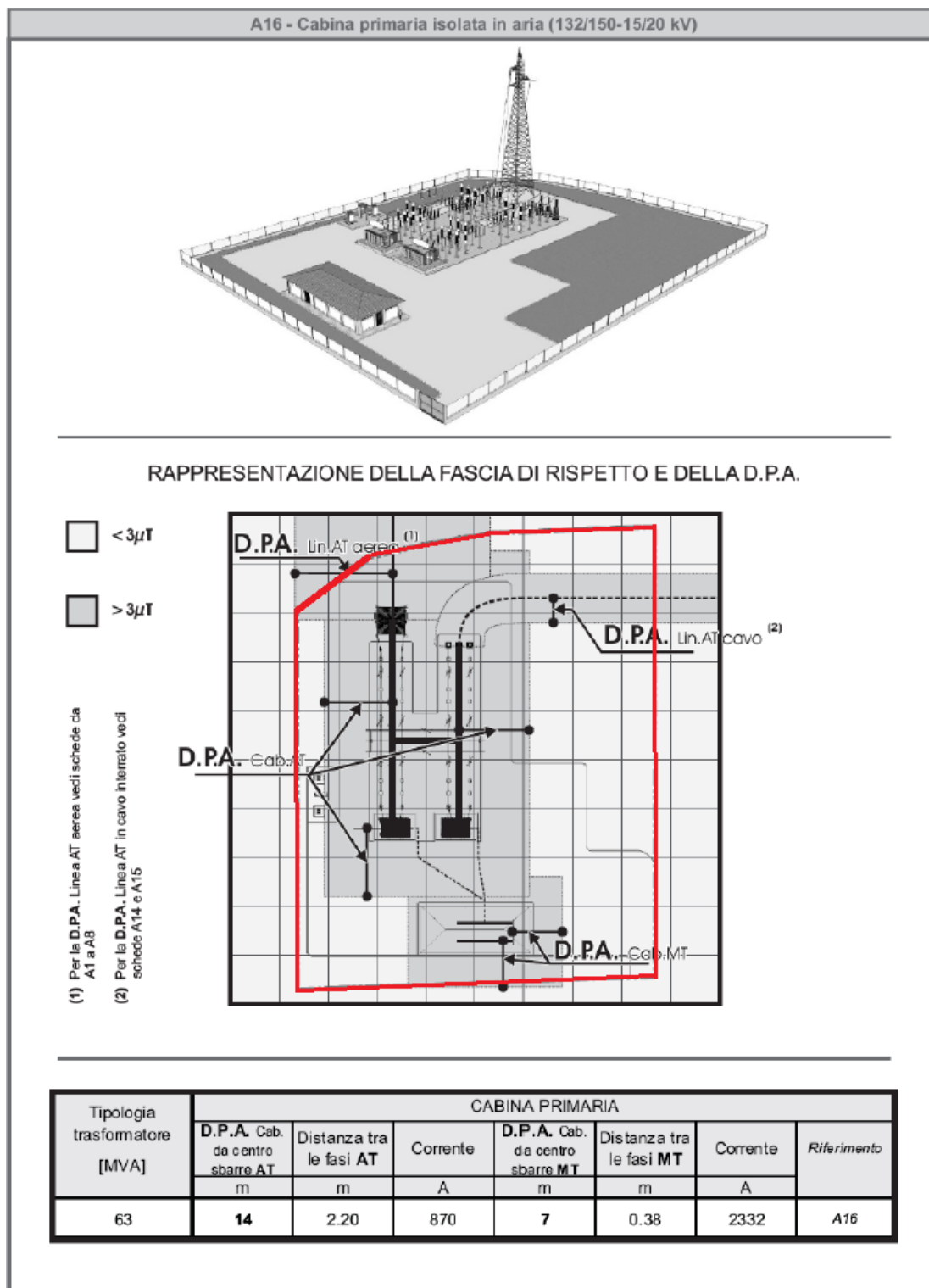


Figura 1.6 – D.P.A. per una Cabina di trasformazione AT/MT.

esplicito riferimento alla necessità di condurre un'analisi dell'impatto su una porzione di territorio assai ampia. In questa porzione sarà necessario individuare tutti i possibili Ricettori in cui sia possibile una "permanenza della popolazione superiore a 4h al giorno".

Bibliografia

1. Norma CEI 211-4: "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici. 1996";
2. Norma CEI 211-6: "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione" (2001);
3. Norma CEI 106-11: "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6)-Parte 1: linee elettriche aeree e in cavo". (2006);
4. Enel distribuzione spa: "Linea guida per l'applicazione del §5.1.3 dell'allegato al DM 29.05.08 - Distanza di prima approssimazione da linee e cabine elettriche";
5. Norma CEI 11-17: "Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione di energia elettrica- Linea in cavo";
6. Bevitori Paolo, "Inquinamento Elettromagnetico- Aspetti tecnici sanitari e normativi" Maggioli Editore, 1997.