

MONITORAGGIO DELL'INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO A BASSA FREQUENZA IN TOSCANA: CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO E STIMA DELLA POPOLAZIONE ESPOSTA.

Cinzia LICCIARDELLO (*), Roberto FOSSI (**),
Nicola ZOPPETTI (***), Nicola COLONNA (****)

(*) ARPAT, Settore Tecnico SIRA - via Porpora, 22 50144 Firenze. Tel: 055.320.6413

Fax: 055.320.6410 mail: c.licciardello@arpat.toscana.it

(**) ARPAT, Dipartimento Provinciale di Firenze - via Ponte alle Mosse, 211 50144 Firenze. Tel: 055.3206.565

Fax: 055.320.6218 mail: r.fossi@arpat.toscana.it

(***) IFAC - Via Panciatichi, 64 50127 Firenze. Tel: 055.4235.1 Fax: 055.4235351 mail: N.Zoppetti@ifac.cnr.it

(****) ARPAT, Dipartimento Provinciale di Pisa - via Vittorio Veneto, 27 56100 Pisa. Tel: 050.835.696

Fax: 050.835.670 mail: n.colonna@arpat.toscana.it

***Abstract** – Viene descritto un approccio integrato per la valutazione dell'inquinamento EM da linee ad Alta e Altissima tensione in Toscana, che attraverso un uso congiunto delle tecnologie GIS e di un software di modellazione appositamente sviluppato consente di ottenere, a partire da informazioni di dettaglio sulle singole linee messe a disposizione dai gestori, una stima del campo magnetico disperso in prossimità delle sorgenti. Il campo stimato viene poi utilizzato in attività di monitoraggio ambientale e nell'esecuzione di procedure autorizzative di nuovi tracciati.*

This paper describes a new approach to evaluate EM fields due to High-Voltage, 50Hz electric transmission lines; field-modelling software and GIS techniques are used, in conjunction with technical specifications of the lines, in order to compute magnetic field strength nearby.

The results are then used in environment preservation, and can be useful in defining new lines' best placements in order to minimize EM fields in sensitive areas.

Introduzione

Il monitoraggio dell'inquinamento causato dagli agenti fisici rientra tra le attività di protezione ambientale sulle quali si è riversato di recente il maggior interesse anche da parte del grande pubblico; oggetto di particolare interesse e attenzione è sicuramente tutto quanto riguarda l'inquinamento elettromagnetico, per le potenziali conseguenze sulla salute umana causate da una prolungata esposizione a campi di elevata intensità. Sebbene non sia al momento dimostrata la pericolosità di una prolungata esposizione ai valori di campo magnetico comunemente riscontrati in prossimità di impianti per la distribuzione di energia elettrica (OMS, 1998), si tende a considerare il cosiddetto “principio di precauzione” come motivo ispiratore della legislazione che, negli ultimi anni, ha introdotto limiti sempre più bassi. Allo stato attuale, la legislazione nazionale (L. 36 del 22 febbraio 2001 e DPCM 8 luglio 2003) definisce per campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati dagli elettrodotti i limiti riportati, e affida alle Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale la determinazione delle procedure di misura e valutazione dei livelli di campo.

	Intensità di campo elettrico (kV/m)	Intensità di campo magnetico (uT)
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione	Non definito	10
Obiettivo di qualità	Non definito	3

Figura 1 – Limiti di legge per esposizioni a lungo termine a campi elettrici e magnetici a 50Hz

Sotto la spinta di un'opinione pubblica non sempre ben informata, e in virtù di una sempre maggiore trasparenza sull'operato delle Pubbliche Amministrazioni che si occupano della protezione e della gestione dell'ambiente richiesta principalmente dalle associazioni ambientaliste, ciascuna Regione ha conferito alla propria Agenzia di Protezione Ambientale una serie di competenze specifiche.

Le leggi Regionali n.66 del 18 aprile 1995 (“Istituzione dell’Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana”) e 51/99 (“Disposizioni in materia di linee elettriche ed impianti elettrici”) provvedono a fissare gli obiettivi di qualità per le emissioni elettromagnetiche e a delegare all'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) i seguenti compiti:

- controlli ambientali sui campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati dalle infrastrutture di produzione e di distribuzione dell'energia elettrica e dagli impianti per le telecomunicazioni
- ausilio alle Province ed ai Comuni nelle attività di vigilanza e controllo per la valutazione di impatto ambientale relativa a nuovi tracciati di elettrodotti e a nuove installazioni di impianti per le telecomunicazioni

Per poter svolgere i compiti istituzionalmente ad essa affidati, ARPAT si è dotata di strumenti che consentono di effettuare il calcolo del campo elettrico e dell'induzione magnetica generati da elettrodotti, in modo da poter individuare su tutto il territorio situazioni di mancato rispetto dei limiti di legge per i livelli di campo, con particolare riguardo alle zone ad elevata densità abitativa e a edifici cosiddetti “sensibili” quali scuole e ospedali.

Grazie a questi strumenti, integrati con i tradizionali sistemi GIS di ausilio alla gestione del territorio già in uso presso l'Agenzia, è stato possibile realizzare un sistema per la gestione del monitoraggio dell'inquinamento elettromagnetico, che viene utilizzato per la stima del campo generato dalle linee ad alta e altissima tensione presenti nella Regione.

Banca dati degli elettrodotti

La già citata Legge 36 del 22 febbraio 2001 istituisce i catasti regionali delle sorgenti fisse di campo elettrico magnetico ed elettromagnetico (articolo 8 comma d). La regione Toscana ed il CNR hanno sviluppato ed implementato un prototipo di tale archivio per le sorgenti a frequenza industriale (Adreuccetti et al., 2003) ed i programmi di calcolo descritti nel seguito attingono a questa banca dati per ottenere le informazioni necessarie a modellare ciascun elettrodotto di interesse.

Grazie alle informazioni fornite dai gestori è stato possibile quindi rappresentare in archivio ciascuna linea con grande dettaglio. L'archivio degli elettrodotti è ospitato su un database relazionale, sul quale sono state definite otto tabelle; le prime quattro (**Gestori**, **Tipologie di linea**, **Tipi di sostegno**, **Punti di sospensione**) contengono al loro interno le definizioni delle varie tipologie di linee e di sostegni, mentre le altre (**Sostegni**, **Linee**, **Campate**, **Conduttori**) contengono la descrizione di dettaglio di ciascuna linea. In figura è riportato il diagramma UML dell'archivio.

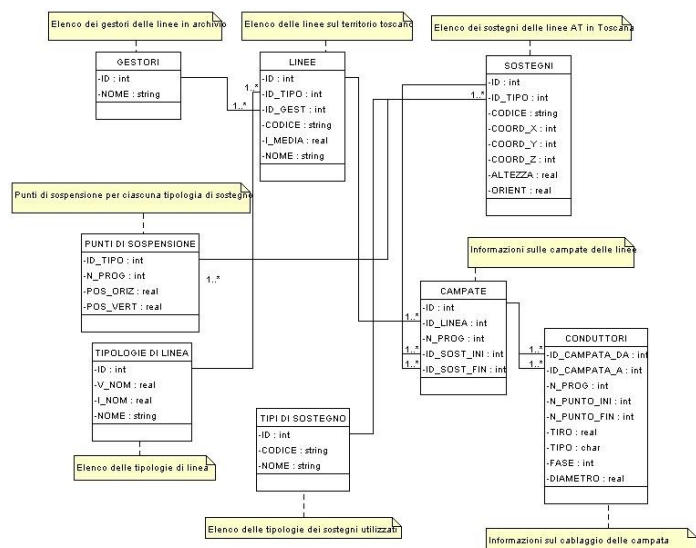


Figura 2 – Diagramma UML dell’archivio delle linee elettriche

Calcolo dell'induzione magnetica generata da elettrodotto

A 50 Hz il campo elettrico e quello magnetico possono essere considerati come agenti fisici del tutto indipendenti ed in particolare il primo è legato alla presenza di cariche libere sui conduttori mentre il campo magnetico è legato alle correnti che scorrono su di essi. Per vari motivi (primo fra tutti l'alta capacità schermante dei muri degli edifici nei confronti del campo elettrico) viene comunemente considerato come possibile agente patogeno il solo campo magnetico a cui dunque ci riferiremo nel seguito.

È noto che un conduttore metallico rettilineo indefinito percorso da corrente genera un campo magnetico la cui intensità decresce linearmente con la distanza dal conduttore (legge di Biot-Savart). La modellazione di un elettrodotto con un fascio di conduttori rettilinei ed indefiniti, se da un lato consente di calcolare in modo semplice il campo magnetico (Norme CEI 211-6 e 211-4), d'altra parte è adatta a valutazioni di massima in quanto non permette di tenere conto di aspetti quali cambi di direzione della linea o dell'andamento curvilineo dei conduttori. Una linea reale infatti è costituita da più campate, ciascuna delimitata da due sostegni; in ciascuna campata ogni conduttore va a disporsi nello spazio secondo una curva caratteristica detta catenaria (Zoppetti, Andreuccetti, 2003), le cui caratteristiche dipendono dai parametri meccanici del conduttore e dalla geometria della campata stessa.

Il campo magnetico generato dall'intera linea viene quindi calcolato come somma dei contributi di ciascun conduttore; ciascun contributo è ottenuto integrando lungo la catenaria l'espressione del campo generato dal generico elemento infinitesimo di curva di lunghezza dl e percorso da corrente i . Ad esempio, per NR conduttori si utilizza l'espressione seguente, dove ciascun integrale può essere risolto numericamente utilizzando ad esempio il noto algoritmo di Simpson:

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=0}^{NR-1} \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l}$$

Figura 3 – Espressione dell'induzione magnetica generata da ciascun conduttore

Caratteristiche del programma di calcolo

Il programma utilizzato per il calcolo del campo magnetico generato da un elettrodotto è stato sviluppato presso IFAC-CNR, e tiene conto di una molteplicità di parametri (caratteristiche meccaniche dei conduttori, parametri di utilizzo della linea e conformazione del suolo (Andreuccetti et al., 2003)).

Uno dei punti di forza di questo strumento è dato dalla molteplicità dei domini di calcolo supportati. Allo stato attuale, il programma consente di calcolare i valori di campo magnetico:

- su grigliato regolare di punti (fissata una altezza sul terreno, viene calcolato il campo magnetico per ogni punto della griglia di coordinate E/N/Quota fornita in ingresso in formato testo)
- su sezioni di terreno (vengono calcolate le curve di isolivello relative a valori di campo magnetico ed altezza dal terreno specificate dall'utente)
- su piani verticali/orizzontali (il campo viene calcolato su ciascun piano specificato in ingresso (ad es., pareti o piani di edifici))
- lungo linee spezzate (il campo viene calcolato lungo la spezzata specificata in ingresso, ad esempio lungo una strada o lungo il perimetro di un giardino)

Il programma di calcolo è un'applicazione client-server che acquisisce dall'archivio delle sorgenti i dati necessari alla modellazione delle sorgenti di campo e restituisce il risultato dell'elaborazione in formato testo (valori di campo su grigliato, sezione o spezzata) o AutoCAD (calcolo su sezioni). L'unico parametro in ingresso che deve essere specificato dall'utente relativamente alla descrizione degli elettrodotti è la corrente che caratterizza ciascuna linea di interesse. Il valore di corrente viene scelto di volta in volta in base per esempio alle misure effettuate dai gestori nel corso dell'anno, con cadenza oraria (corrente media, minima, massima e 95mo percentile) oppure in base ai valori di

corrente imposti per i calcoli dalla legislazione vigente (DPCM 8 luglio 2003).

GIORNO	ORE	P (MW)	Q (MVAR)	kV	Grafico della corrente	Curva di durata	Corrente MAX nel periodo	Corrente media nel periodo	95 percentile
01/01/02	00.15.00	45	-35	413.30	79.73	1831.76	1831.76	560.40	1361.86
01/01/02	01.15.00	105	-34	415.15	153.67	1818.13	1831.76	560.40	1361.86
.....

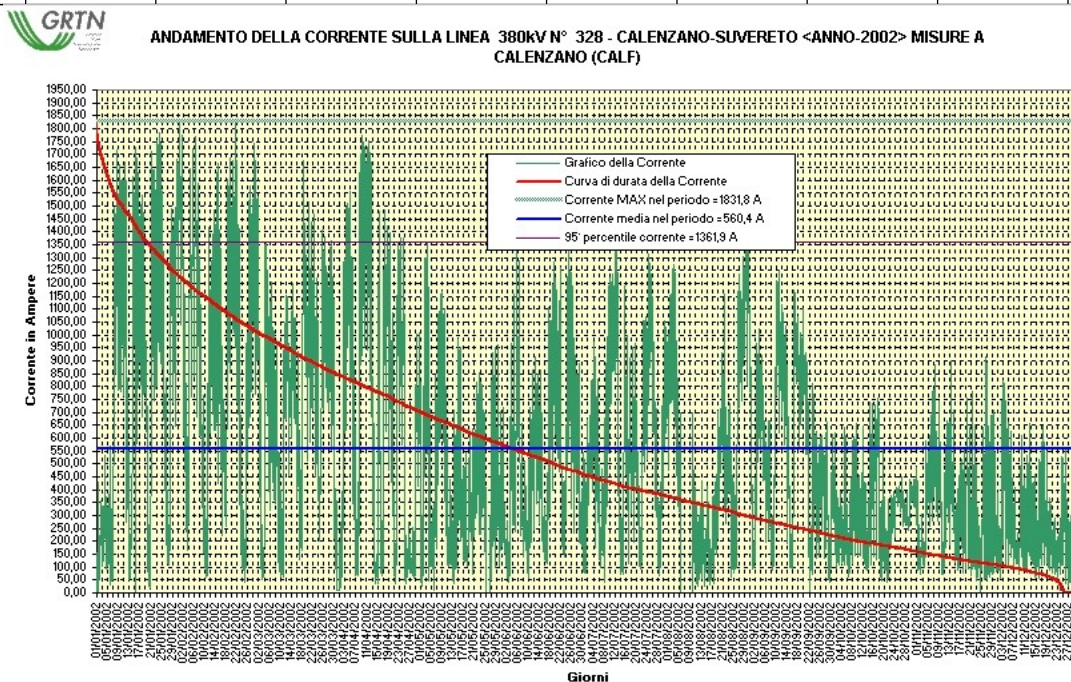


Figura 4 – Correnti misurate dai gestori e grafico dell'andamento annuale delle correnti

Validazione del programma di calcolo

Nella fase di validazione del programma di calcolo sono state effettuati rilievi lungo alcune linee ad alta tensione: in ambito urbano (linee a 132 kV n.407, n.409 S.Lorenzo a Greve-Rifredi/Casellina-Rifredi in provincia di Firenze e linea 521 Porta a Mare-Filettole in provincia di Pisa) e in ambito extraurbano in prossimità di abitazioni civili (linea 314 La Spezia-Acciaiuolo), sia con dati altimetrici da CTR 1:10.000 che da CTR 1:2.000 ove disponibili. In tutti i casi è stato registrato un buon accordo tra i valori indicati dalle simulazioni e le misure effettuate sul campo, come illustrato dai grafici riportati in fig.5.

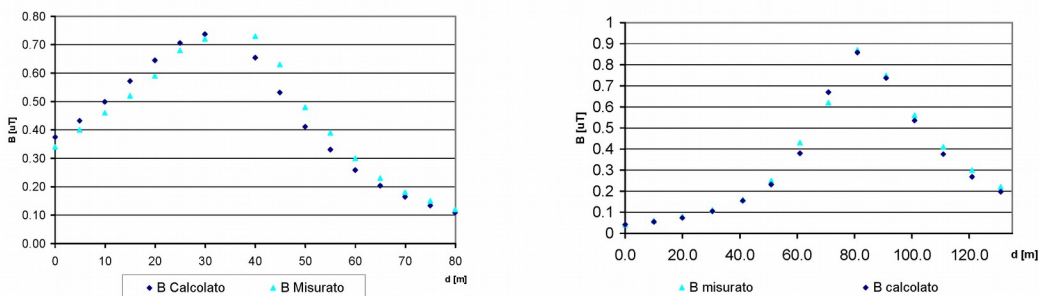


Figura 5 – Confronto tra campo simulato e misure sul territorio

Il programma Pleia è uno strumento versatile che ARPAT impiegherà quanto prima nelle attività istituzionali di monitoraggio dell'inquinamento elettromagnetico e nelle procedure di valutazione di impatto ambientale (VIA) relative alle linee AT. A titolo esemplificativo, si riportano nel presente lavoro alcuni possibili utilizzi del programma di calcolo integrato con strumenti di analisi di tipo GIS.

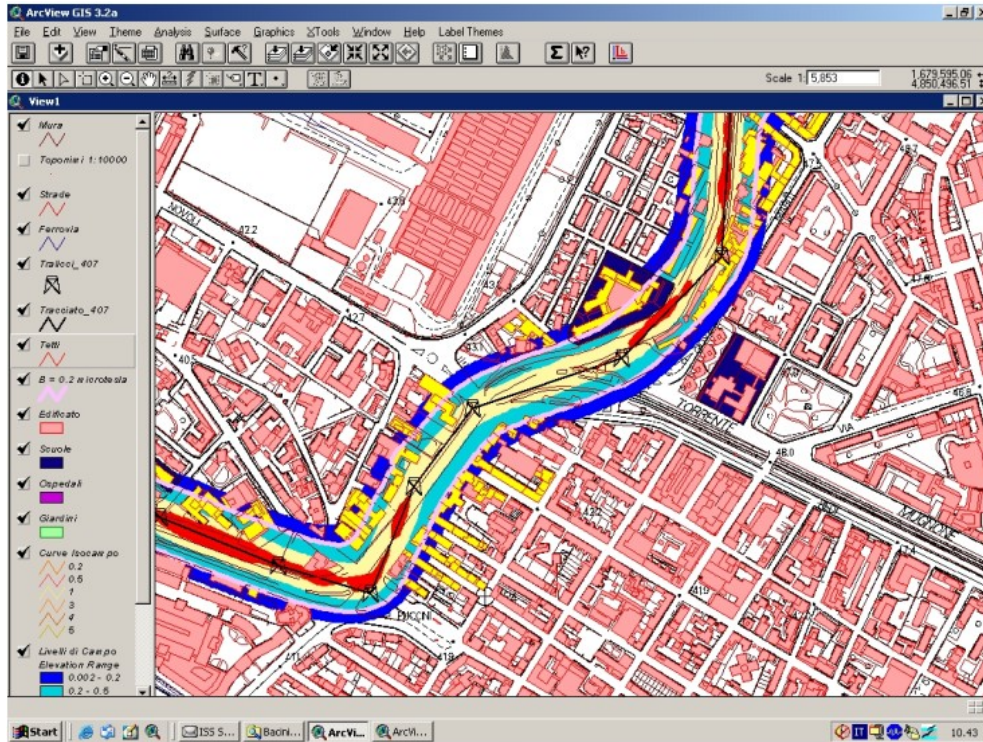


Figura 6 - Classificazione del territorio e monitoraggio di siti "sensibili" (Calcolo su grigliato): si evidenziano alcuni edifici esposti a livelli di campo magnetico al di sopra dei limiti di legge

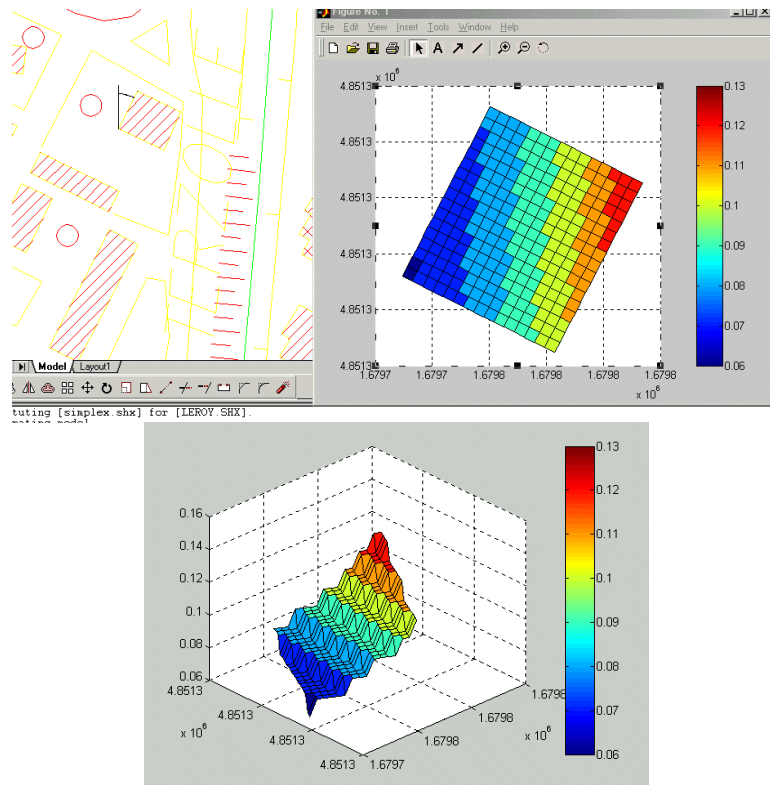


Figura 7 – Livelli di campo calcolati per un'abitazione civile (calcolo su piano orizzontale)

Bibliografia

Andreuccetti D., D'Amore G., Licitra G. (2003), "Il catasto delle sorgenti di campi elettromagnetici", *Atti del Convegno "Dal monitoraggio degli agenti fisici sul territorio alla valutazione dell'esposizione ambientale"* (presentazione orale)

Zoppetti N., Andreuccetti D. (2003), "Modellazione dei conduttori di un elettrodotto aereo: la catenaria", *Report Tecnico IFAC N. TR/AEL/08.03 ISSN 1120-2823*

DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI, (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", *GU n. 200 del 29-8-2003*

Andreuccetti D., Zoppetti N., Conti R., Fanelli N., Giorgi A., Rendina R. (2003), "Magnetic Fields from Overhead Power Lines: Advanced Prediction Techniques for Environmental Impact Assessment and Support to Design", *Proceedings of 2003 IEEE Power Tech Conference, June 23th-26th, Bologna.*

Zari A., Di Bella G., Novella A., Licitra G., Giusti G., Silvi A.M. (2002), "La simulazione dell'impatto ambientale dei campi elettromagnetici. Studio sulla città di Livorno", *MondoGIS - Settembre/Ottobre 2002*

Filoscia U., Ottavi C.M., Sessa M., Polesi R., Prignani P., Veca G.M. (2002), "Valutazione, mediante l'uso di algoritmi e dati cartografici standard, dei campi generati in ambiente urbano da antenne di radiodiffusione e da linee ad alta tensione", *Atti della IV Conferenza di MondoGIS,*

Di Bella G., Novella A., Licitra G., Zari A., Silvi A.M. (2001), "L'impatto ambientale delle sorgenti radioelettriche: la tecnologia GIS come ausilio all'attività di controllo", *Atti della III Conferenza di MondoGIS*

ANPA, CTN_AGF (2001), "Standard per la realizzazione delle banche dati delle sorgenti di inquinamento elettromagnetico (alte e basse frequenze)"

Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, elettromagnetici", *GU n. 55 del 7 marzo 2001*

ANPA, RTICTN_AGF (2001), "Rassegna dei modelli per il rumore, i campi elettromagnetici e la radioattività ambientale"

Norma CEI 211-6 (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"

ANPA, RTICTN_AGF (2000), "Rassegna di indicatori e indici per il rumore, le radiazioni non ionizzanti e la radioattività ambientale"

ANPA, RTI CTN_AGF (2000), "Rassegna degli effetti derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici"

ORGANIZZAZIONE MONDIALE DELLA SANITÀ (1998), Promemoria n. 205 – "Campi e salute pubblica: campi a frequenza estremamente bassa (ELF)"

ORGANIZZAZIONE MONDIALE DELLA SANITÀ (1998), Promemoria n. 182 – "Campi elettromagnetici e salute pubblica: Proprietà fisiche ed effetti sui sistemi biologici"

Norma CEI 211-4 (1996), "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche"