

# **Definizione di un indicatore della percentuale di popolazione esposta a campi magnetici emessi da elettrodotti e applicazione in alcuni casi studio**

Adda S., Anglesio L., d'Amore G., Arpa Piemonte - Dipartimento Tematico Radiazioni Via Jervis 30, 10015 Ivrea (TO), [radiazioni@arpa.piemonte.it](mailto:radiazioni@arpa.piemonte.it)

*Il presente lavoro sviluppa una procedura per il popolamento dell'indicatore "percentuale di popolazione esposta a determinati intervalli di valori di campo magnetico generato da linee ad alta e altissima tensione".*

*La finalità è di ottenere una stima dei livelli di esposizione su una scala territoriale ampia, per poi elaborarla classificando la popolazione residente in intervalli di valori di campo magnetico definibili in base alle esigenze.*

*La metodica è stata orientata ad ottenere un parametro sintetico in grado di caratterizzare l'effettiva pressione delle linee ad alta tensione sulle aree analizzate, con l'obiettivo di fornire uno strumento di pianificazione, di valutazione dell'impatto di progetti di opere sulla rete elettrica, di valutazione dell'andamento storico dei livelli di esposizione, anche per eventuali studi relativi agli effetti sulla salute umana.*

## **INTRODUZIONE**

La valutazione dell'esposizione della popolazione a campi magnetici generati da alta tensione è un tema di interesse in campo ambientale e sanitario, in quanto un'informazione sintetica sui livelli di esposizione può essere uno strumento di pianificazione territoriale, di valutazione dello stato dell'ambiente, o una base-dati per uno studio epidemiologico.

Al fine di ottenere un'informazione sufficientemente sintetica per essere utilizzata in ambiti di macro-analisi come quelli sopra descritti, ma nello stesso tempo rispondente in modo adeguato alle reali condizioni di esposizione della popolazione, è opportuno individuare, costruire e popolare un indicatore. L'indicatore qui elaborato è la "percentuale di popolazione esposta a determinati intervalli di valori di campo magnetico generato da linee ad alta e altissima tensione".

La finalità è quindi quella di ottenere una stima dei livelli di esposizione su una scala territoriale ampia (da porzioni di un comune fino alla scala regionale), per poi elaborarla in funzione della popolazione residente nell'area in analisi.

La valutazione dei livelli di campo magnetico secondo le finalità sopra esposte non può essere portata a termine tramite misure, a causa del carattere troppo puntuale dell'informazione che se ne ricava e dell'eccessiva onerosità nel caso si consideri una scala territoriale sufficientemente ampia. E' peraltro non semplice anche una valutazione tramite modelli di calcolo analitico (basati sull'implementazione della legge di Biot-Savart), a causa della relativa complessità delle sorgenti e della sostanziale indisponibilità su una scala ampia dei dati di dettaglio necessari in input per questa tipologia di modelli.

Si è scelto quindi di procedere con un approccio di tipo statistico che, superando i dettagli delle singole situazioni espositive locali, consenta di determinare il parametro sintetico ricercato.

## **MATERIALI E METODI**

Il modello statistico per la stima degli intervalli di valori di campo magnetico in varie fasce di distanza dagli assi delle linee è quello descritto in (Adda et al., 2011).

Questo modello prevede una funzione di calcolo del campo magnetico medio lungo una campata, a varie distanze dalla linea, correlata ad un semplice parametro che caratterizza la geometria della linea, cioè la larghezza complessiva della testa del sostegno (distanza tra i conduttori più esterni,  $\Delta s$ ). Sulla base del valore medio del campo, si definisce quindi l'ampiezza dell'intervallo di output del modello, che è definita dalla dispersione dei dati sui quali il modello è stato costruito.

Oltre che dalle funzioni sopra citate, il modello è definito anche due correzioni successive, da applicarsi per stimare il campo medio su un piano posto ad un'altezza desiderata.

Una volta messo a punto il modello statistico per la valutazione degli intervalli di campo magnetico in determinate fasce di distanza dall'asse delle linee, il popolamento dell'indicatore "percentuale di popolazione esposta" è ottenibile sovrapponendo su GIS i dati sulle linee alla Carta Tecnica Regionale e/o al vettoriale delle aree edificate, insieme alle informazioni ISTAT georiferite (Nuckols et al., 2004).

Si percorrono di seguito i vari passaggi che portano a questo popolamento, analizzandone criticità e possibili soluzioni.

Per quanto riguarda l'applicazione del modello statistico per il calcolo del campo medio, nel caso in cui tra i dati delle linee siano a disposizione i parametri per l'applicazione del modello stesso (in particolare  $\Delta s$ ), si può procedere al calcolo del campo magnetico applicando direttamente le rette di regressione. Nello studio da noi effettuato, è stata anche elaborata una statistica dei valori più comuni di tali parametri per tipologia di linea, da utilizzare laddove non siano direttamente disponibili.

La correzione con la quota è un altro elemento che può essere determinato in base al livello di precisione voluto e alle informazioni disponibili. Ad esempio nel caso in cui si disponga dei dati di popolazione stratificati in funzione del piano fuori terra delle abitazioni, sarà possibile applicare le diverse correzioni necessarie a stimare l'esposizione alle varie quote.

Altro elemento da valutare per definire la correzione con la quota è quello relativo a campate in territorio collinare o montuoso, con forti dislivelli del terreno nell'ambito di una stessa campata. E' stata testata l'opportunità di calcolare una quota media del terreno lungo la campata, o in alternativa, di stimare la quota media dei recettori nel corridoio di interesse.

Il modello determina gli intervalli di valori di campo magnetico normalizzati rispetto alla corrente circolante nei conduttori, pertanto la stima della percentuale di popolazione esposta può essere effettuata con i valori di corrente ritenuti significativi, anche analizzando le serie storiche delle correnti.

Nel sovrapporre invece i dati ottenuti per il campo medio alla cartografia e ai dati sulla popolazione, si presenta la problematica relativa a come calcolare la popolazione residente nelle diverse fasce di distanza dall'asse della linea.

L'opzione scelta, in quanto ben utilizzabile a larga scala, è quella di sfruttare il vettore delle aree edificate, calcolando il rapporto tra la superficie edificata che cade all'interno di ogni fascia di distanza dall'elettrodotto per ciascuna sezione di censimento e la superficie edificata totale nella sezione di censimento stessa. Moltiplicando questo rapporto per la popolazione residente nella sezione, e sommando il risultato per tutte le sezioni lungo le campate analizzate, si ottiene una stima della popolazione residente in quella fascia di distanza.

$$Popolazione \cdot fascia = \sum_{N_{sez}} Popolazione \cdot sezione \cdot censimento \cdot \frac{Area \cdot edificata \cdot nella \cdot fascia}{Area \cdot sezione \cdot censimento}$$

A questo punto, l'indicatore può essere fornito come numero di persone esposte a valori medi di campo compresi in un intervallo fissato, oppure come percentuale di popolazione esposta in rapporto, ad esempio, alla popolazione totale dei comuni su cui la linea transita.

Sono stati quindi selezionati due casi studio, con caratteristiche che hanno permesso di affrontare alcuni punti legati alle specificità del territorio: il primo caso ha riguardato l'analisi della popolazione esposta lungo l'intero tracciato di una linea che transita prevalentemente in aree montane o collinari, il secondo caso ha previsto la valutazione per un singolo comune, in zona pianeggiante, a tratti densamente urbanizzata, e caratterizzata dalla compresenza di più linee (a 132kV e 220kV).

## **RISULTATI**

### **CASO STUDIO N.1: LINEA T223 PALLANZENO - MAGENTA**

#### *Scelta del caso*

Questa linea a 220kV in doppia terna è stata scelta come primo caso studio sulla base di una serie di considerazioni di seguito riassunte.

Primo dato interessante è il fatto che i valori di corrente in transito sono mediamente abbastanza alti: in alcuni anni la massima mediana su 24 ore è stata addirittura confrontabile con la Portata in Corrente in Servizio Normale.

Peraltro, nel Piano di Sviluppo di Terna è stata prevista la rimozione delle limitazioni di carico su questa linea, a testimonianza dell'esigenza di transito di carichi elevati su questa direttrice.

Questa linea ha lunghezza complessiva in territorio piemontese pari a 68,7km, e attraversa ampie aree non edificate, ma anche alcuni centri abitati.

Durante le campagne di misura degli ultimi anni, sono state identificate in tali aree alcune criticità in termini di livelli di esposizione in abitazioni o altre aree di possibile permanenza prolungata di popolazione.

Tenuto conto dell'impatto attuale della linea, è interessante definire il popolamento dell'indicatore, anche al fine di tenere sotto controllo l'evoluzione nel tempo dell'esposizione della popolazione, in vista del possibile aumento dei carichi in transito, ed anche in ragione del notevole sviluppo urbanistico nelle aree lungo la linea stessa.

In futuro, in base ai piani a lungo termine di sviluppo della rete, è possibile che tale linea sia sostituita da un collegamento aereo in corrente continua: data la grande variazione nell'esposizione della popolazione che un tale intervento comporta, sarà importante avere un termine oggettivo di confronto con la situazione degli anni precedenti.

Un ulteriore interesse di questo caso-studio è il transito della linea in aree montuose, con conseguente necessità di approfondire il metodo di valutazione delle quote a cui calcolare l'esposizione della popolazione.

#### *Valutazione della percentuale di popolazione esposta*

Una prima analisi dell'esposizione media è stata effettuata tenendo conto della mediana dei valori del parametro della retta di regressione (ampiezza sbracci di tutte le campate della linea), di un'altezza media dei conduttori da terra pari a 18m e di una corrente pari a 1000A. Gli intervalli di valori di campo magnetico così ricavati sono riportati nella tab. 1.

Tabella 1 - intervalli di valori di campo magnetico ricavati dal modello per la linea T223

Fasce distanza	Bmin ( $\mu$ T)	Bmax ( $\mu$ T)
Fascia -10 10	0	25,69
Fascia 10 30	2,84	6,84
Fascia 30-50	0,33	1,15
Fascia 50-70	0,21	0,57

La stima della popolazione residente nelle diverse fasce è stata effettuata sulla base dei dati georiferiti di censimento, intersecati con le aree edificate presenti (ricavate da vettoriale già in possesso di Arpa e da analisi della CTR aggiornata resa disponibile sul sito della Regione Piemonte).

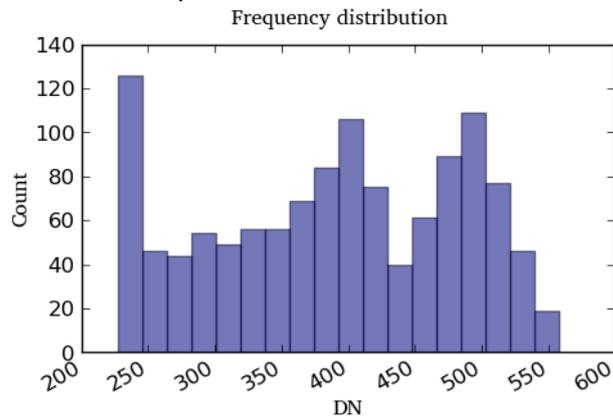
Considerando che, per come è definito il modello, la distribuzione della popolazione all'interno dei diversi intervalli di livelli di esposizione è di tipo gaussiano, si possono valutare le persone esposte all'interno di intervalli standardizzati, come nel caso sotto riportato (tab.2).

Tabella 2 - Percentuale di popolazione esposta nei diversi intervalli di valori di campo magnetico

Intervallo di campo magnetico ( $\mu$ T)	% di popolazione sui residenti nel corridoio di 70m
0 – 0,5	28,6
0,5 – 3,0	30
3,0 – 10,0	31,8
>10	9,6

Quello sopra riportato costituisce un primo popolamento dell'indicatore, che però non tiene conto delle peculiarità del tracciato di linea, lungo il quale i dislivelli del terreno, anche nell'arco di una singola campata, sono molto elevati. Questo è evidente nell'analizzare la distribuzione delle quote del terreno in una delle aree edificate prese in considerazione (fig. 1).

Figura 1 - distribuzione delle quote del terreno in una delle aree edificate lungo la T223



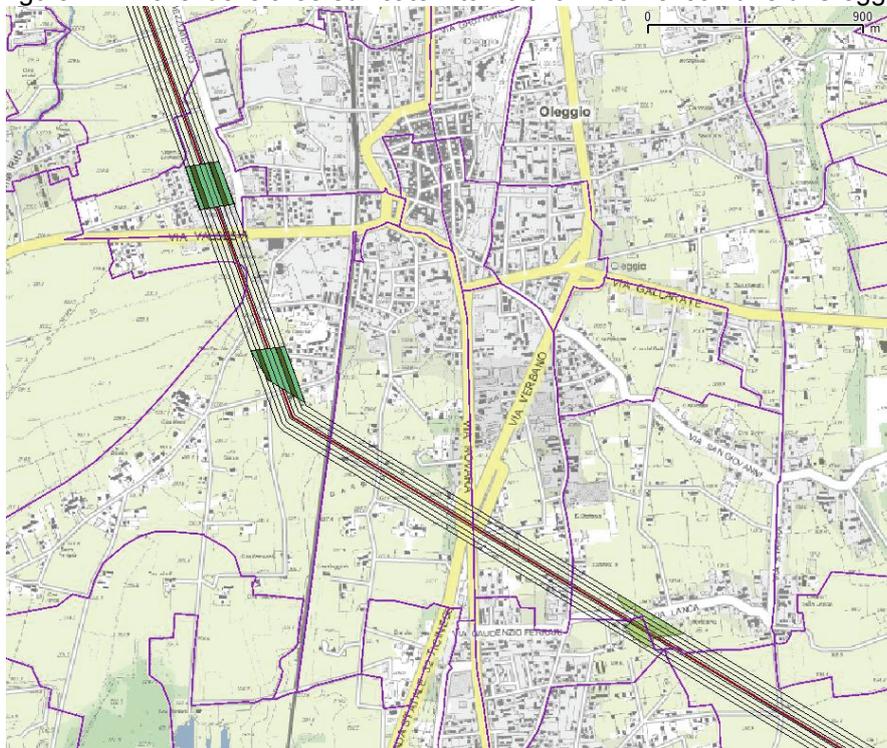
Pertanto è stata effettuata anche un'analisi campata per campata.

A livello di singole campate, il ragionamento seguito è analogo a quello sopra esposto, calcolando però i valori di esposizione a livello dei conduttori sulla base delle caratteristiche specifiche degli sbracci per quella campata, e calcolando poi l'opportuna correzione con la quota sulla base di una procedura definita secondo i principi sotto elencati.

Per ogni area edificata (e per le campate di linea corrispondenti), sono stati analizzati i dati di quota del terreno con passo di campionamento 10m, ed è stata calcolata la media di tali valori lungo ogni campata in un'ampiezza pari al corridoio di (70+70)m a cavallo dell'asse della linea. Il dislivello per il calcolo della correzione con la quota è stato quindi ricavato sottraendo alla quota del conduttore più basso la quota media del terreno.

Nella fig. 2 è possibile vedere l'analisi delle aree edificate nelle sezioni di censimento in corrispondenza delle diverse fasce di distanza per il comune di Oleggio (NO).

Figura 2 - Analisi delle aree edificate intorno alla linea nel comune di Oleggio



In viola i confini delle sezioni di censimento, in verde le aree edificate, in rosso la linea in analisi.

Gli intervalli di valori di campo magnetico ricavati per ciascuna area identificata (sulla base della campata corrispondente) sono stati calcolati per una corrente pari alla media dei valori di massima mediana su 24 ore nell'arco di 6 anni (888,75 A).

Con un'analisi delle distribuzioni di popolazione negli intervalli di campo simile a quella già fatta nel caso semplificato, è stato possibile ricavare l'indicatore in modo maggiormente corrispondente alle reali condizioni di esposizione.

Tabella 4 - Percentuale di popolazione esposta nei diversi intervalli di valori di campo magnetico (corrente 888.75 A)

Intervallo di campo magnetico ( $\mu\text{T}$ )	% popolazione esposta tra i residenti nel corridoio (70+70)m
0 – 0,5	40,85
0,5 – 3,0	43,19
3,0 – 10,0	9,34
>10	6,62

Il calcolo effettuato campata per campata differisce rispetto a quello fatto con i parametri medi in quanto la popolazione si concentra maggiormente nell'intervallo tra 0.5 e 3  $\mu\text{T}$ , mentre diminuisce nell'intervallo tra 3 e 10  $\mu\text{T}$ .

La differenza non è però sostanziale, tenuto conto del fatto che l'indicazione così ottenuta è ricavata in condizioni di massima esposizione nell'arco dell'anno (circa 889 A contro i 1000 del calcolo approssimato). Da ciò si evince che la correzione con la quota effettuata campata per campata non porta a differenze apprezzabili nei risultati quando si ragiona in termini di popolazione totale esposta lungo tutto il tracciato, anche se le differenze a livello di singola campata possono essere consistenti.

La distribuzione dell'esposizione si porta verso gli intervalli più bassi di campo se si lavora con le correnti medie nell'arco degli anni (media delle mediane su 24 ore in un anno – anni analizzati 2010-2011: 500 A), come visibile nella tab.5.

Tabella 5 - Percentuale di popolazione esposta nei diversi intervalli di valori di campo magnetico (corrente 500 A)

Intervallo di campo magnetico ( $\mu\text{T}$ )	% popolazione esposta tra i residenti nel corridoio (70+70)m
0 – 0,5	61,27
0,5 – 3,0	27,91
3,0 – 10,0	9,22
>10	1,61

Risulta in questo caso che più dell'89% della popolazione è esposta a valori inferiori a 3 $\mu\text{T}$ , con una netta prevalenza degli esposti al di sotto degli 0.5 $\mu\text{T}$ , mentre nel caso precedente la percentuale era di circa l'84%, con la popolazione equamente distribuita nei due sottointervalli.

I risultati del modello sono stati validati per questa linea tramite confronto con misure. Il controllo è stato effettuato in punti a campione lungo la linea dove erano disponibili rilevazioni di campo e dati di carico della linea nel periodo di misura. Dal confronto tra il campo misurato (normalizzato alla corrente) e l'intervallo di output del modello, è risultato che tutte le misure ricadono nell'intervallo definito dal modello.

## CASO STUDIO N.2: CITTA' DI PIANEZZA (TO)

### Scelta del caso

Nel territorio del comune di Pianezza transitano diverse linee ad alta ed altissima tensione. Alcune di queste, in particolare, interessano aree densamente urbanizzate o in via di espansione edilizia: le T216 Rosone - Grugliasco e T217 Martinetto - Moncalieri a 220kV, le T919/920 a 132kV, la T584 Avigliana – San Gillio a 132kV.

Le linee T216-T217 e T919/920 sono peraltro interessate a future modifiche nell'ambito dei piani di razionalizzazione della rete 220kV di Torino e della rete 132kV a nord-ovest di Torino.

Per le T919/920 è previsto lo smantellamento del tratto in transito nel territorio di Pianezza: il popolamento dell'indicatore costituisce in questo caso un interessante elemento di valutazione dei benefici di questo intervento.

Per la linea T216 è previsto un intervento di interrimento per un tratto (nei comuni di Pianezza, Collegno e Rivoli) non ancora ben identificato.

Il popolamento dell'indicatore potrà essere utile come elemento di conoscenza per definire i progetti di riequilibrio e l'effettivo tratto da passare in cavo.

In tutti i casi sopra elencati, i livelli di esposizione misurati negli anni sono risultati spesso relativamente elevati ( $>2\mu\text{T}$ ), ed è stato valutato anche un superamento del valore di attenzione di  $10\mu\text{T}$  come massima mediana su 24 ore nell'arco di un anno.

#### *Valutazione della percentuale di popolazione esposta*

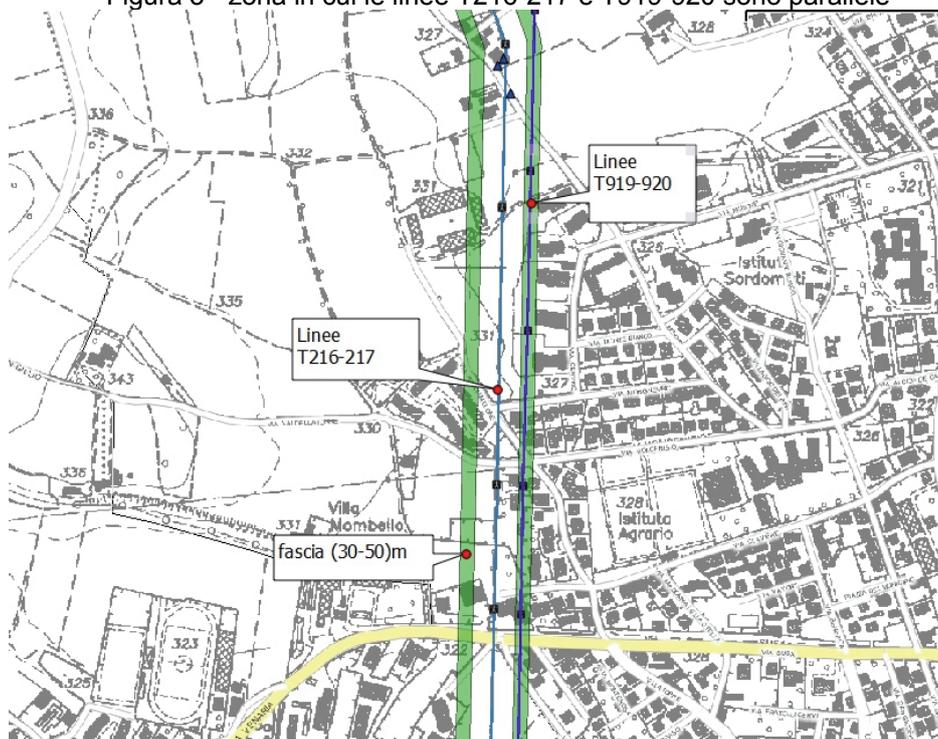
Per questo caso-studio, visti i risultati riscontrati per il caso precedentemente analizzato, l'applicazione del modello è stata effettuata considerando un parametro  $\Delta s$  medio su ciascuna tratta di linea interessata da aree edificate, nonché una correzione con la quota anch'essa basata su un dislivello medio tra conduttori e aree in cui la popolazione si trova esposta.

Tale dislivello medio, in assenza di informazioni sul numero di piani fuori terra delle abitazioni ed eventuale distribuzione della popolazione tra i vari piani, è stato stimato considerando tutta la popolazione esposta ad una quota leggermente superiore a quella del piano terra (circa 2,5m). Questa scelta è stata fatta in quanto sono presenti nell'area molte abitazioni a 2/3 piani fuori terra.

Anche in questo caso è stata calcolata la popolazione residente in varie fasce di distanza dall'asse delle linee con il metodo messo a punto per il primo caso-studio.

Nel distribuire la popolazione nei vari intervalli di campo, si è poi tenuto conto della sovrapposizione dei campi generati dalle linee che insistono sulla stessa area, come ad esempio il tratto in cui le linee T216 e 217 viaggiano sugli stessi sostegni, parallelamente alle T919-920 (fig. 3). Per farlo, è stata valutata la distanza tra le linee, e verificato in quale fascia di distanza della prima vanno a cadere le fasce della seconda: a scopo di chiarimento, nella figura 10 si vede come la fascia (30-50)m della linea T216-217 (in verde) contenga la fascia (-10 – 10)m della T919-920. La popolazione residente nella fascia 30-50 è stata pertanto divisa in due parti: ad una parte è stato assegnato l'intervallo di campo definito dalla sola sorgente T216-217 (i residenti a sinistra della linea nell'immagine), mentre all'altra parte è stato assegnato un intervallo di campo dato dalla composizione dei campi generati dalle due linee (cautelativamente la somma).

Figura 3 - zona in cui le linee T216-217 e T919-920 sono parallele



Per quanto riguarda i carichi di corrente considerati, anche in questo caso la valutazione è stata effettuata a partire dai dati di massima mediana su 24 ore nell'arco dei vari anni.

I risultati delle valutazioni hanno portato a stimare che circa il 9% della popolazione di Pianezza risiede in corridoi di 50m (per le linee 132kV) o 70m (per le linee 220kV) dall'asse delle linee presenti. Su questo 9% (pari a 995 persone), la distribuzione dei valori di esposizione è la seguente:

Tabella 6 - Percentuale di popolazione esposta nei diversi intervalli di valori di campo, in rapporto alla popolazione residente intorno alle linee

Intervallo di campo magnetico ( $\mu\text{T}$ )	% popolazione esposta tra i residenti nei corridoi intorno alle linee
0 – 0,5	61,5
0,5 – 3,0	27,8
3,0 – 10,0	10,5
>10	0,18

Prendendo in considerazione invece l'intera popolazione del Comune di Pianezza, l'esposizione ai campi magnetici risulta così distribuita

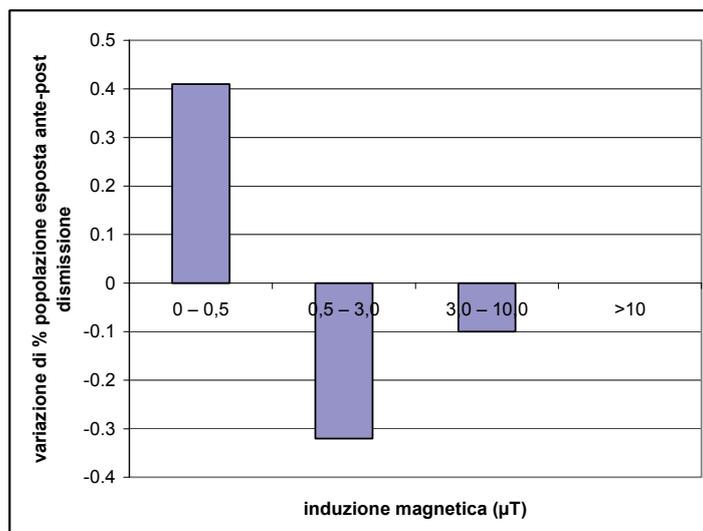
Tabella 7 - Percentuale di popolazione esposta nei diversi intervalli di valori di campo, in rapporto alla popolazione complessiva di Pianezza (11'236 abitanti)

Intervallo di campo magnetico ( $\mu\text{T}$ )	Numero di persone	% popolazione esposta sul totale dei residenti nel comune di Pianezza
0 – 0,5	10853	96,59
0,5 – 3,0	276	2,46
3,0 – 10,0	105	0,94
>10	2	0,02

Questa analisi porta ad un risultato che è anche confermato dalle misure effettuate negli anni in Pianezza: la distribuzione dei dati di misura istantanei è in effetti simile a quella della tabella 9. In termini di massima mediana su 24 ore, si riscontra effettivamente la misura di un caso di superamento del valore di attenzione ( $10\mu\text{T}$ ) in una abitazione, coerentemente con il numero di persone esposte calcolato (pari a 2).

Un'applicazione di quanto sin qui ricavato è stata utilizzata per valutare l'effetto della prevista dismissione (e smantellamento) della linea T919-920. In fig.4 è riportata la variazione della percentuale di popolazione esposta nelle diverse classi tra prima e dopo la dismissione. Si riscontra uno spostamento di parte della popolazione verso la classe di esposizione più bassa, tranne che per gli esposti a più di  $10\mu\text{T}$ . In effetti, il superamento del valore di attenzione misurato in Pianezza è dovuto ad un'altra linea.

Figura 4 – variazione della popolazione esposta nelle diverse classi di valori di campo a seguito della dismissione della linea T919-920



## CONCLUSIONI

Il lavoro svolto ha permesso di implementare una metodologia per il popolamento dell'indicatore di esposizione, definendo sia il modello teorico per il calcolo semplificato dei livelli di campo generati dalle linee (di tipo statistico), sia gli strumenti ed i metodi per l'analisi dei dati geografici (quote del terreno, aree edificate, ecc.) e di popolazione tramite l'utilizzo del programma open source Quantum GIS, e la creazione di specifici applicativi (Visual Basic e macro di Excel) per le diverse valutazioni.

L'analisi di due casi studio ha poi permesso di affrontare alcuni punti legati alle specificità del territorio: il primo caso ha riguardato l'analisi della popolazione esposta lungo l'intero tracciato di una linea che transita prevalentemente in aree montane o collinari, il secondo caso ha previsto la valutazione per un singolo comune, in zona pianeggiante, a tratti densamente urbanizzata, e caratterizzata dalla compresenza di più linee (a 132kV e 220kV).

Una volta messo a punto il modello, è stato possibile valutare l'esposizione della popolazione per diverse condizioni di carico delle linee, ricavate da un'analisi dello storico delle correnti, aspetto questo particolarmente utile nell'ottica di uno studio epidemiologico.

I risultati trovati sono stati confermati per entrambi i casi studio dall'analisi delle misurazioni effettuate sul territorio negli ultimi anni, sia in termini di conferma della validità del modello statistico, sia in termini di distribuzioni attese dei livelli di esposizione.

L'indicatore ottenuto è caratterizzato da una buona sintesi e facilità di interpretazione, permettendo un'analisi chiara dello stato di un territorio che risulta di estrema utilità non solo per eventuali studi epidemiologici, o per l'informazione alla popolazione, ma anche nella pianificazione di nuove opere di rete elettrica o di modifiche dell'esistente, ai fini di una valutazione più precisa di quanto queste incidano sul territorio.

## Bibliografia

S.Adda, A.Patera, L.Anglesio, G.d'Amore, "Valutazione a larga scala dell'esposizione della popolazione a campi magnetici generati da elettrodotti: costruzione di un indicatore a livello regionale" – Atti del Convegno AIRP 2011

J.R. Nuckols, M.H. Ward, and L. Jarup, "Using Geographic Information Systems for Exposure Assessment in Environmental Epidemiology Studies", *Environ Health Perspect.* 2004 June; 112(9): 1007–1015.

S.Poli, F.Trotti, R.Ugolini, S.Adda, G.d'Amore, S.Facta, "Popolamento dell'indicatore di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici (ELF/RF): strumenti, procedure, esempi", RTI CTN\_AGF 2/2005