

# La pianificazione territoriale in prossimità di elettrodotti: il SIT di Arpa Umbria

Strappini M.

Arpa Umbria Dipartimento Provinciale di Perugia, via Pievaiola 207/B-3 loc. San Sisto, 06132 Perugia,  
[m.strappini@arpa.umbria.it](mailto:m.strappini@arpa.umbria.it)

**Riassunto:** In seguito all'emanazione del D.M. del 29/05/08, nella progettazione di luoghi adibiti alla permanenza prolungata della popolazione in prossimità di elettrodotti, si deve rispettare l'obiettivo di qualità definito nel DPCM 08/07/03 che, in virtù del principio di precauzione, dovrebbe garantire la minimizzazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici. A questo scopo si fa riferimento ad una grandezza misurabile preventivamente che viene definita Distanza di Prima Approssimazione (DPA) e che introduce un vincolo ulteriore all'edificabilità; come risulta evidente se si osserva che la lunghezza totale delle linee elettriche in Umbria è di circa 1940 km (Terna e RFI) e se si tiene conto della conformazione orografica della regione si può comprendere quanto sia fondamentale la predisposizione di uno strumento intuitivo d'ausilio alle autorità competenti ed al cittadino privato per valutare preventivamente l'esistenza di vincoli all'edificabilità di aree in prossimità di elettrodotti e la potenziale esposizione della popolazione già residente. La realtà dei Comuni umbri, non molto popolosi (quasi tutti con meno di 40000 abitanti), inoltre è tale che le amministrazioni locali si affidano quasi totalmente alla consulenza tecnica di Arpa per la gestione di tutte le problematiche connesse sia agli aspetti ambientali che anche edilizi con conseguenti rallentamenti nell'iter burocratico già di per sé spesso macchinoso.

## 1. INTRODUZIONE

In convenzione con le Amministrazioni comunali e sulla base di accordi di programma specifici, Arpa Umbria si è proposta l'obiettivo di generare un Sistema Informativo Territoriale (SIT) mediante il quale, a partire dalla conoscenza della posizione geografica e dei dati tecnologici delle linee elettriche, valutare le DPA ed elaborare mappe vettoriali consentendo l'overlay topologico con le carte tecniche regionali (CTR) o con le ortofoto; in questo modo si possono discriminare gli insediamenti che si trovano all'interno delle DPA e che dovranno perciò essere sottoposti allo studio degli isovolumi di campo magnetico (le fasce di rispetto) e delle possibili intersezioni con essi.

Utilizzando poi la mappa delle DPA in combinazione con altri tematismi vettoriali si potranno ricavare altre informazioni e ad esempio costruire indicatori ambientali dell'esposizione della popolazione ai campi magnetici oppure utilizzarne i risultati per effettuare studi epidemiologici.

L'attività è completata da campagne di misura in continuo presso gli insediamenti che già si trovano in prossimità o all'interno delle DPA.

Il Progetto qui presentato è in fase sperimentale ed è stato attualmente già applicato per la pianificazione territoriale di alcuni Comuni della Provincia di Perugia (Gualdo Tadino, Gubbio e Spoleto) che, presentando caratteristiche ed esigenze differenti, hanno contribuito a far sì che potesse essere esplorata una notevole varietà di possibili applicazioni.

Il Progetto, che nasce allo scopo di diminuire i tempi di analisi e risposta alle singole esigenze, si è mostrato in realtà utile come strumento di pianificazione e si presta altrettanto bene come base per lo studio dell'esposizione ai campi elettromagnetici con contenuti costi di realizzazione grazie agli accorgimenti adottati tali da ottimizzare le risorse necessarie.

Nel seguito verrà descritta la procedura seguita quanto più dettagliatamente possibile in modo che l'esperienza di Arpa Umbria possa essere magari condivisa con le altre agenzie italiane.

## 2. DATI

La pianificazione territoriale in prossimità di elettrodotti necessita di alcuni strumenti previsionali mediante i quali valutare correttamente le DPA; nella pratica occorre determinare l'estensione di aree che si protendono lungo le linee elettriche e che possono influenzare la progettazione di nuovi edifici situati al loro interno. Per il calcolo della DPA si è fatto riferimento al D.Lgs. 29/05/2008 in cui è stabilito che è compito del gestore comunicarne l'estensione contestualmente ai dati necessari alla verifica del calcolo stesso.

In Umbria il gestore con il maggior numero di linee in AT e AAT è il gestore Terna che si sta dotando di sistemi di precisione per fornire i dati richiesti. E' stato necessario effettuare istanze per

singolo Comune poiché la procedura di estrapolazione di questi dati necessitava di controllo da parte del gestore stesso.

Con tempistiche relativamente brevi il gestore Terna ha fornito i dati richiesti secondo il formato descritto nelle tabelle che seguono (tab.1, tab. 2 e tab.3):

Tabella 1 – Dati di riferimento per un tratto di linea elettrica transitante nel Comune di Spoleto

**linea 21333B1 Villavalle - Villanova Sost 198H - 201<sup>1</sup>**

Codice campata	Sostegno di inizio della campata	Sostegno di fine della campata	Parametro singolo conduttore
21333B1-198-H---	21333B1-198-I----S	21333B1-198-H----S	1900.09
21333B1-198-G---	21333B1-198-H----S	21333B1-198-G----S	1899.74
21333B1-198-F---	21333B1-198-G----S	21333B1-198-F----S	1809.96
21333B1-198-E---	21333B1-198-F----S	21333B1-198-E----S	1846.12
21333B1-198-D---	21333B1-198-E----S	21333B1-198-D----S	1840.37
21333B1-198-C---	21333B1-198-D----S	21333B1-198-C----S	1884.67
21333B1-198-B---	21333B1-198-C----S	21333B1-198-B----S	1876.23
21333B1-198-A---	21333B1-198-B----S	21333B1-198-A----S	1728.05
21333B1-199-----	21333B1-198-A----S	21333B1-199-----S	1766.68
21333B1-200-----	21333B1-199-----S	21333B1-200-----S	1757.25
21333B1-201-----	21333B1-200-----S	21333B1-201-----S	1755.8

Tabella 2 – Coordinate dei singoli tralicci per un tratto di linea elettrica transitante nel Comune di Spoleto

Codice SAP	Fuso UTM/WGS84	Coordinata Est Base sostegno	Coordinata Nord Base sostegno	Quota s.l.m. Base sostegno
21333B1-198-H----S	33	312601.61	4718445.82	440.95
21333B1-198-G----S	33	313025.88	4719164.07	427.54
21333B1-198-F----S	33	313006.35	4719400.58	428.16
21333B1-198-E----S	33	312959.5	4719945.1	479.91
21333B1-198-D----S	33	312910.03	4720490.75	504.59
21333B1-198-C----S	33	312863.77	4721003.14	558.83
21333B1-198-B----S	33	312625.92	4721600.44	603.14
21333B1-198-A----S	33	312703.28	4721923.34	528.76
21333B1-199-----S	33	313229.45	4721797.88	582.57
21333B1-200-----S	33	313635.76	4721700.9	544.13
21333B1-201-----S	33	314581.32	4721475.5	491.15

<sup>1</sup> Conduttore trinato Alluminio/Acciaio con diametro 31,5 mm, portata Norma CEI 11/60 di 2955A. Parametro conduttore calcolato con riferimento a temperatura media linea di 26,3°C.

Tabella 3 – Dimensioni dei tralicci per un tratto di linea elettrica transitante nel Comune di Spoleto

Codice SAP	Altezza conduttore basso/ laterale sx. (Altezza utile sostegno)	Altezza conduttore medio/ centrale	Distanza dall'asse linea conduttore medio/ centrale	Altezza conduttore alto/ laterale dx	Distanza dall'asse linea conduttore alto/ laterale dx	Distanza dall'asse linea conduttore basso/ laterale sx
21333B1-198-H	27.05	36.39	5.24	47.6	5.04	5.66
21333B1-198-G	25.61	34.92	6.78	43.24	6.63	8.29
21333B1-198-F	38.02	46.26	6.91	55.35	4.76	5.43
21333B1-198-E	39.6	47.8	6.86	56.94	4.77	5.49
21333B1-198-D	32.8	40.48	6.93	50.04	4.74	5.41
21333B1-198-C	32.89	42.22	7.73	53.17	5.17	6.19
21333B1-198-B	29.06	37.38	6.61	45.74	6.62	7.59
21333B1-198-A	42.05	50.36	-6.42	58.6	-6.54	-7.27
21333B1-199	33.27	34.2	-0.24	33.29	7.24	-7.81
21333B1-200	36.52	37.62	-0.17	36.65	7.22	-7.37
21333B1-201	28.94	30.12	-0.03	29.06	7.31	-7.39

Tutti i dati sono stati digitalizzati ed inseriti nella banca dati del tool di simulazione WinELF descritto nel successivo paragrafo.

### 3. I TOOL DI SIMULAZIONE

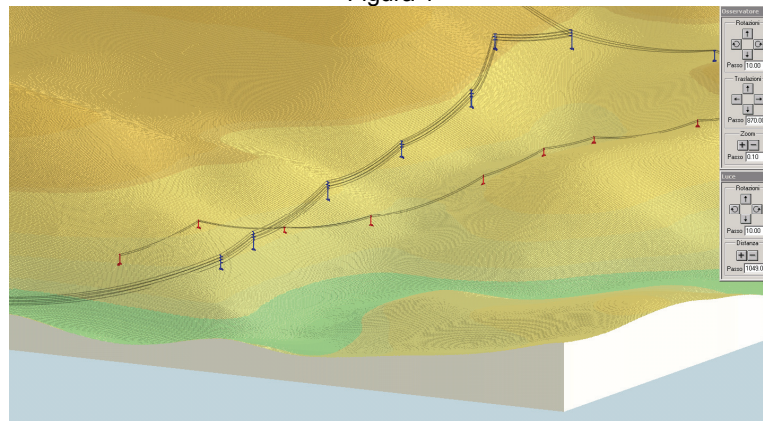
Il tool di simulazione usato nelle stime dei campi magnetici e per il calcolo delle DPA è il software WinELF<sup>2</sup>, che è in uso di Arpa Umbria e che è stato positivamente testato nel progetto di Interconfronto ELF 2007. WinELF è un prodotto della VECTOR s.r.l che lavora in un ambiente interattivo per l'analisi e la verifica di campi magnetici a bassa frequenza generati dalle linee di distribuzione elettrica. Grazie all'ambiente di modellazione l'utente può navigare sul layer, aggiungere nuove informazioni, modificare quelle esistenti, eseguire operazioni di analisi e verifica ed esportare i risultati in formati compatibili ad esempio con i GIS o con Google Earth. Per ottenere le prestazioni descritte, il tool si serve di un database misto, grafico e alfanumerico, ed è in grado di gestire informazioni aventi sia formato vettoriale che matriciale.

Il primo passaggio che si deve eseguire è il popolamento del data base partendo dall'inserimento delle coordinate dei singoli sostegni (nel sistema di riferimento prescelto) e poi per ogni traliccio, selezionare la geometria desiderata (ad esempio se terna semplice, doppia terna, pino, delta), inserire i parametri dimensionali delle mensole e le caratteristiche tecniche dei conduttori.

Secondo una filosofia a cascata si possono associare dunque i singoli sostegni così realizzati alla linea, al tronco, al tratto e alla campata corrispondente dando origine alla rappresentazione digitale dell'elettrodotto: a questo punto come output dell'applicativo di simulazione se ne può visualizzare il rendering 3D (fig. 1) e verificare la correttezza di quanto inserito (in questa fase è necessario porre attenzione alla corretta disposizione delle fasi).

<sup>2</sup> [www.vectorweb.it](http://www.vectorweb.it)

Figura 1



Esempio di rendering 3D degli elettrodotti nel software di simulazione WinEDT-WinELF

Accedendo alla sezione dedicata, selezionando l'area di ricerca e i tratti da analizzare, è poi possibile calcolare le DPA prodotte da ciascuna campata di ogni singolo elettrodotto così ricostruito.

Le possibili modalità di calcolo si differenziano sulla base dell'algoritmo con cui vengono composte le componenti dell'induzione magnetica per ciascuna fase e sono:

1. *Modalità coerente in fase*: la stima è eseguita supponendo nota e nulla la differenza di fase tra le linee dei diversi elettrodotti che contribuiscono localmente alla valutazione complessiva del campo prodotto. In questo caso vengono effettuati i calcoli in composizione vettoriale e solo al termine viene valutato il modulo del campo risultante
2. *Modalità incoerente RMS*: la stima è eseguita supponendo non nota la differenza di fase tra le linee dei diversi elettrodotti che contribuiscono localmente alla valutazione complessiva del campo prodotto, in questo caso vengono effettuati i calcoli sommando i contributi RMS di ciascuna linea.
3. *Modalità caso peggiore*: la stima è eseguita assumendo che la differenza di fase tra le linee dei diversi elettrodotti che contribuiscono localmente alla valutazione complessiva produca le condizioni peggiori.
4. *Modalità caso migliore*: la stima è eseguita assumendo che la differenza di fase tra le linee dei diversi elettrodotti che contribuiscono localmente alla valutazione complessiva produca le condizioni migliori.

In accordo alla norma tecnica CEI 211-10 si può inoltre scegliere, definendo i limiti del campo di valutazione, di realizzare diagrammi del campo magnetico bidimensionali - sul piano orizzontale o verticale - oppure spaziali.

Con opportune impostazioni dei parametri di visualizzazione e calcolo si possono ottenere le proiezioni al suolo degli isovolumi a 3 mT e le fasce di rispetto stesse.

Oltre al software di simulazione è stato utilizzato un applicativo GIS per gestire le mappe vettoriali nel formato ESRI shapefile più comunemente utilizzato dalle amministrazioni comunali. In questa trattazione inoltre si dimostra come con un comune software open source è possibile ottenere risultati ottimali per gli scopi richiesti.

La messa on-line di quanto inoltre predisposto che determina poi la semplice fruibilità delle mappe vettoriali viene eseguita mediante applicativi di tipo Web-GIS.

#### 4. CALCOLO DELLA DPA PER GLI ELETTRODOTTI

In seguito alla digitalizzazione degli elettrodotti si è proceduto al calcolo delle DPA che con il software WinELF è stato eseguito secondo i seguenti passi consecutivi e in modo ricorsivo:

- individuazione della campata di interesse
- selezione della campata di interesse e delle campate precedente e successiva
- selezione dei tratti di elettrodotto che eventualmente si trovano in prossimità della campata di interesse



- selezione dei parametri di calcolo (scala di colori, metodo di integrazione della catenaria e scelta del numero di divisioni per catenaria – tipicamente 20 divisioni – scelta del modello di calcolo – tipicamente coerente – definizione della corrente da utilizzare)
- selezione dell'area di calcolo
- selezione del tipo output: si è scelto il calcolo spaziale con passo di discretizzazione - nelle tre direzioni ortogonali - pari a 1 m.
- definizione delle isolinee da visualizzare: si è scelto di visualizzare le isolinee a  $3mT$
- definizione dell'output bidimensionale: si sceglie di visualizzare la proiezione al suolo dei massimi corrispondenti all'obiettivo di qualità.
- export delle isolinee in formato shapefile

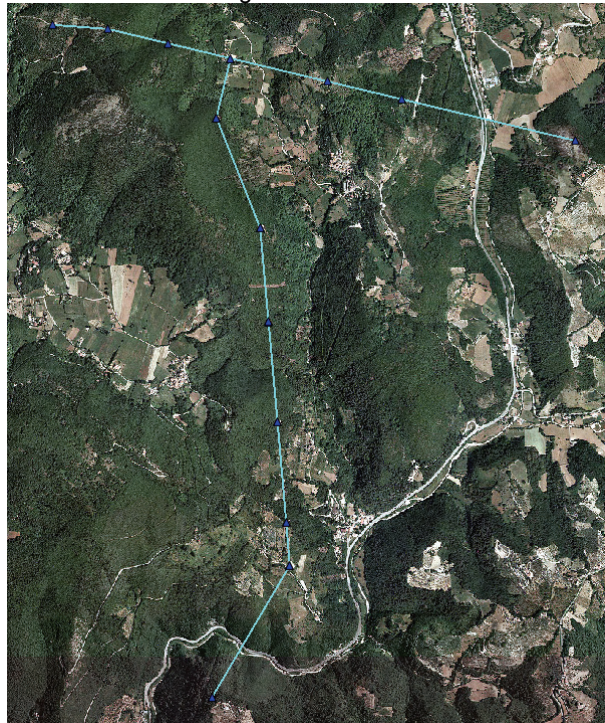
L'insieme dei file esportati per ciascuna campata è stato poi importato (secondo il sistema di riferimento impostato) nel GIS open-source QuantumGis<sup>3</sup>: in questo modo con semplici operazioni di *spatial analysis* è stato possibile unire le DPA delle singole campate in un'unica mappa vettoriale per ciascun elettrodotto, sovrapporla alla cartografia ed effettuare le interrogazioni dei dati.

L'algoritmo appena descritto si è rivelato ottimale al calcolo della DPA poiché l'output bidimensionale è ottenuto in modo non indiretto ovvero dalla proiezione al suolo delle fasce di rispetto che in questo modo sono state sempre calcolate e rese disponibili lungo tutta la linea e non solo in corrispondenza del singolo traliccio.

## 5. RISULTATI

In (fig.2) è riportato un esempio dell'output grafico che rappresenta gli elettrodotti inseriti nel data base del tool di simulazione in accordo ai dati dichiarati dai gestori per calcolare la DPA totale.

Figura 2

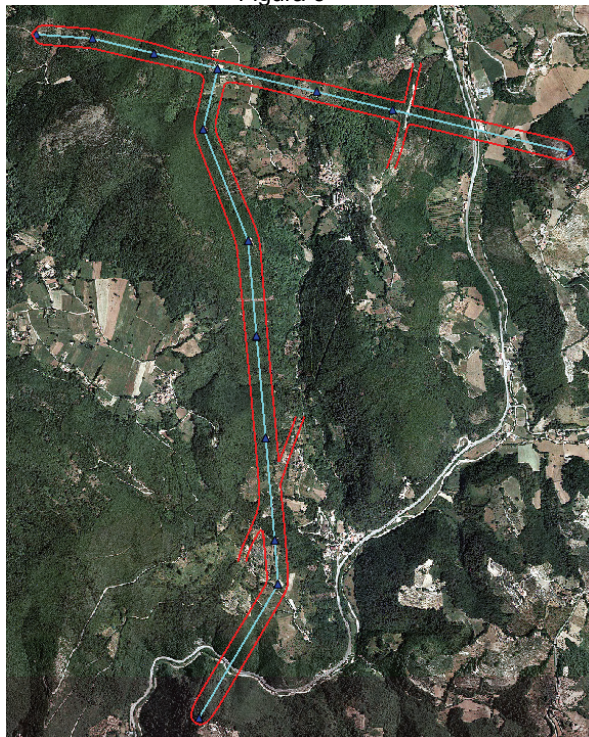


Esempio di un tratto di elettrodotto digitalizzato nel software di simulazione WinEDT-WinELF. Il file ottenuto può essere importato nel GIS

<sup>3</sup> [www.qgis.org/](http://www.qgis.org/)

In (fig. 3) è invece riportato un esempio di calcolo delle DPA in un caso complesso ovvero un incrocio fra una linea ad AT e una ad AAT. In rosso è rappresentata la DPA ottenuta come proiezione al suolo dell'isovolume di campo magnetico a 3mT. Le mappe così generate sono consultabili interattivamente accedendo al sito web dell'Agenzia.

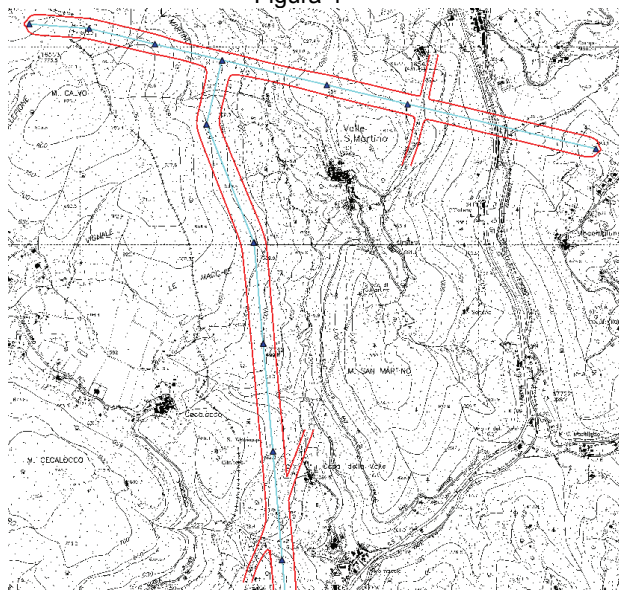
Figura 3



Esempio di un tratto di elettrodotto e della corrispondente DPA ottenuta in modo diretto. Il file ottenuto può essere importato nel GIS

In (fig. 4) è riportata come esempio la DPA calcolata per gli stessi tratti di linea e l'overlay topologico con le carte tecniche regionali (CTR).

Figura 4



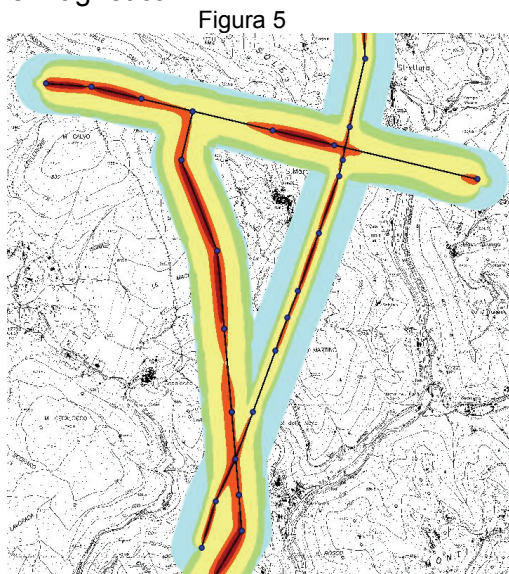
Esempio di un tratto di elettrodotto e della corrispondente DPA ottenuta in modo diretto. Il file ottenuto è stato importato nel GIS creando un overlay topologico sulla CTR

Come ulteriore applicazione sono state eseguite anche simulazioni bidimensionali del campo magnetico degli elettrodotti al fine di poter fornire all'utente informazioni complementari e anche per poter sviluppare, in futuro, studi epidemiologici sulla popolazione residente. Il procedimento

utilizzato è simile a quello adottato nella definizione delle mappe delle DPA: per mezzo del software WinELF si calcola il valore di campo magnetico, su un piano orizzontale ad un'altezza di 1.5 m dal suolo seguendo l'andamento del terreno, prodotto da ciascuna campata di ogni elettrodotto. In questo caso però si dovrà scegliere quale corrente si vorrà utilizzare, in funzione dell'informazione che se ne vuole trarre, se quella mediamente circolante o la portata in corrente in servizio normale.

Mediante il modello di calcolo scelto l'andamento della catenaria viene simulato come integrazione di elementi finiti di conduttore assimilabili a segmenti rettilinei: scegliendo questa opzione il modello è molto vicino alla situazione reale.

A ciascun intervallo di campo magnetico viene associato un colore che permette intuitivamente di valutare il livello di induzione magnetica<sup>4</sup>:



Esempio di un tratto di elettrodotto e del calcolo del campo magnetico ad 1.5 m dal suolo eseguito con WinELF. Il file ottenuto è stato importato nel GIS creando un overlay topologico sulla CTR

## 6. MONITORAGGIO IN CONTINUO

Ad ulteriore supporto di questo sistema informativo sono state realizzate attività di misura in continuo presso alcuni edifici particolarmente esposti che si trovano in prossimità delle linee analizzate e che in alcuni casi sono all'interno della DPA.

Con questo criterio, sono stati effettuati numerosi monitoraggi in continuo della durata di circa una settimana ciascuno in modo da comprendere sia giorni feriali che festivi. In alcuni casi sono state anche eseguite misure in discreto i cui valori sono stati poi confrontati con le condizioni di funzionamento della linea corrispondenti.

In (fig. 6) sono riportati due dei punti in cui è stato effettuato il monitoraggio in continuo al fine di evidenziare i criteri di scelta dei punti di misura mentre in (fig. 7) è riportato il relativo andamento di campo magnetico rilevato in uno dei due punti.

Per ciascun giorno di misura è inoltre stata estrapolata la mediana di campo magnetico il cui valore è stato confrontato con il valore di attenzione definito nel DPCM 08/07/2003.

<sup>4</sup> 0< $\mu$ T<0.2 celeste; 0.2< $\mu$ T<0.4: verde; 0.4< $\mu$ T<3: giallo; 3< $\mu$ T<10: arancione;  $\mu$ T >10: rosso.

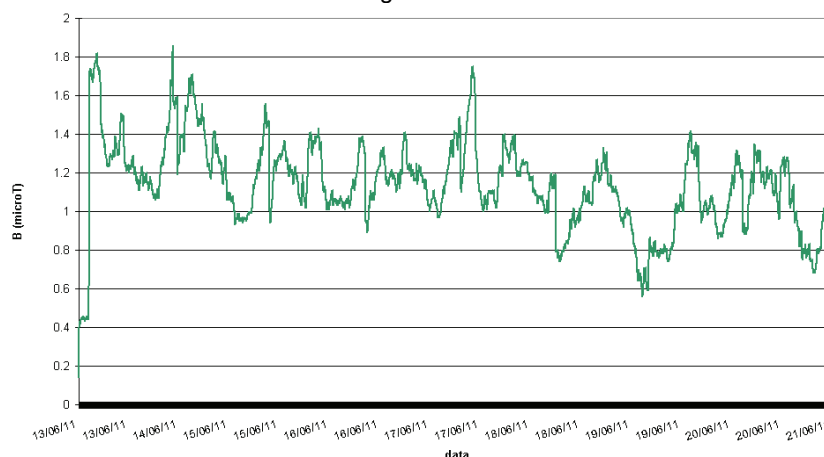


Figura 6



Esempio di due punti di misura individuati e presso cui sono state eseguite le misure in continuo.

Figura 7



Esempio di misura presso uno dei punti cui sono state eseguite le misure in continuo

## 7. CONCLUSIONI

L'introduzione della normativa sulle fasce di rispetto in prossimità di elettrodotti ha prodotto inevitabilmente effetti nell'ambito urbanistico oltre che ambientale; Arpa Umbria ha attivato un Progetto per la realizzazione di un SIT interattivo (disponibile accedendo al sito web dell'Agenzia) con la finalità di accrescerne e migliorarne le informazioni e i vantaggi tipici.

Il progetto è stato applicato ad alcuni Comuni nel cui territorio sono presenti degli elettrodotti ad AT o AAT e per ciascuno di questi è stato realizzato un tematismo vettoriale, da sovrapporre a ortofoto, CTR o piani regolatori, in cui sono rappresentate le DPA degli elettrodotti ed è stata analizzata la situazione presente mediante misurazioni di campo magnetico nei punti più vicini alle linee elettriche.

Il tematismo delle DPA consente di avere una visualizzazione immediata e interattiva dell'edificabilità o meno di un'area ma permetterebbe, se integrata opportunamente utilizzando ad esempio le sezioni censuarie e dati sulla popolazione residente, anche di eseguire valutazioni statistiche mediante indicatori di esposizione ed eventualmente studi sugli effetti a lungo termine.

I risultati ottenuti, in un ottimo rapporto costi/benefici e in relazione alla possibilità di un ampliamento a livello nazionale, mostrano l'utilità di quanto realizzato sia dal punto di vista dell'Amministrazione comunale nei propri compiti di controllo e vigilanza, sia da quello dell'Arpa per la comunicazione ai cittadini potenzialmente esposti, sia ai progettisti o imprese che intendono edificare in prossimità di un elettrodotto.