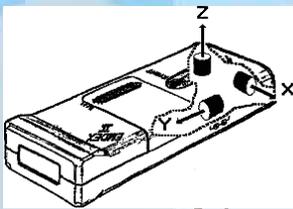


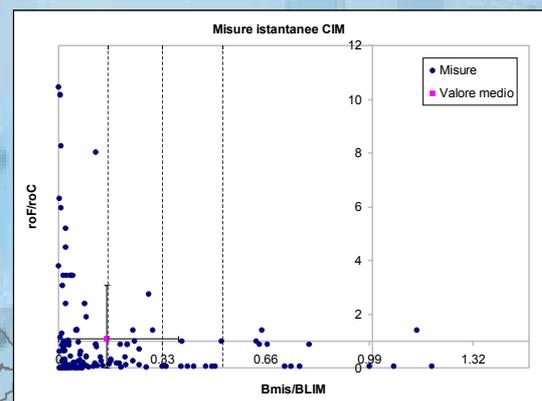
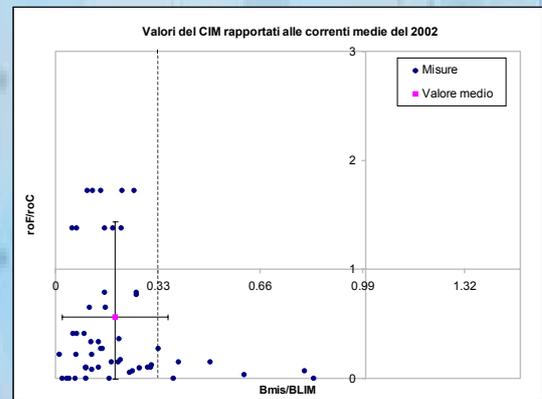
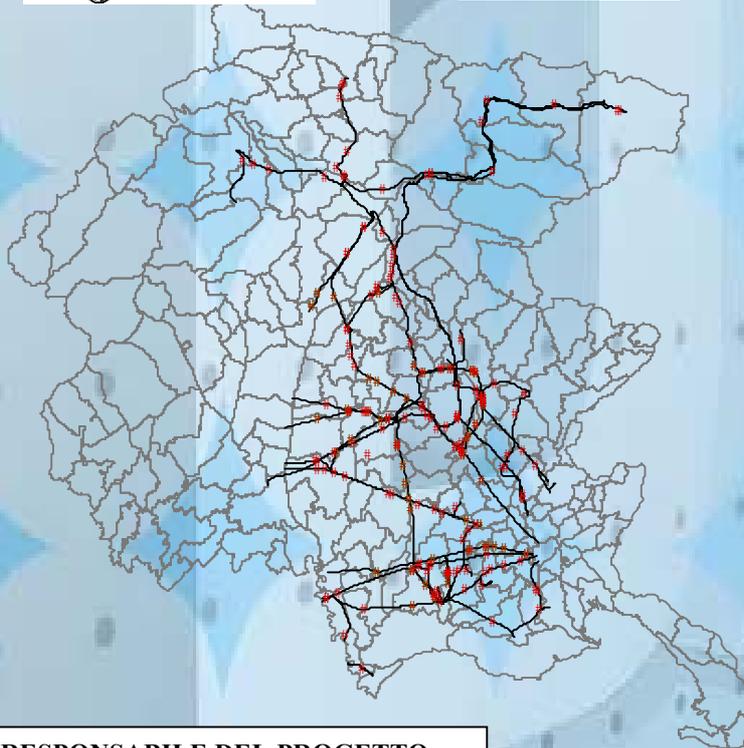


# Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia

## ELETTRODOTTI SUL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI UDINE FASE MISURE



$$\beta \equiv \text{sg}|\rho_F - \rho_C| \frac{B_{\text{mis}}}{B_{\text{LIM}}}$$



### RESPONSABILE DEL PROGETTO

Renato Villalta

### REFERENTE

Anna Bampo

### ESECUZIONE MISURE ED ELABORAZIONE DATI:

Massimiliano Benes  
Francesco Montanari  
Moreno Comelli  
Mauro Moretuzzo  
Giancarlo Menotti

# 1 Sommario

1	Sommario .....	1
2	Quadro normativo di riferimento .....	2
3	I campi elettrico e magnetico .....	4
4	La scelta dei punti di misura .....	5
4.1	La scelta spaziale dei punti di misura .....	5
4.2	La scelta dell'intervallo temporale .....	7
4.3	Verifica della applicabilità della legge di proporzionalità espressa dalla equazione (1) .....	9
5	Scelta del metodo di misura .....	9
5.1	Gestione dei casi complessi .....	10
5.1.1	linee che afferiscono alla medesima sbarra di trasformazione: .....	10
5.1.2	linee completamente indipendenti: .....	11
6	Fase di esecuzione delle misure .....	12
6.1	Misure presso scuole, asili e luoghi adibiti all'infanzia .....	12
6.2	Misure in abitazioni o pertinenze private .....	14
6.3	Problema delle linee scariche .....	15
7	La fase di richiesta dati ai gestori .....	15
8	Descrizione della strumentazione impiegata .....	15
8.1	EMDEX .....	16
8.1.1	Risoluzione dello strumento .....	16
8.1.2	Risposta in frequenza .....	17
8.2	PMM 8053 .....	17
8.2.1	Opzioni di visualizzazione .....	17
8.2.2	Specifiche tecniche .....	18
8.2.3	Sonda EHP-50A .....	18
8.3	PMM 8055S .....	19
8.3.1	Sonda HP-050 .....	20
8.4	Interconfronto tra gli strumenti .....	21
9	Informatizzazione della campagna di misure .....	22
9.1	Il database <i>misure.shp</i> .....	22
9.2	Georeferenziazione dei punti di misura .....	23
10	Analisi dei dati .....	26
10.1	Modalità di fornitura dei dati da parte dei vari gestori delle linee .....	26
10.1.1	GRTN .....	26
10.1.2	Enel Distribuzione .....	27
10.1.3	RFI e Caffaro Energia .....	27
10.1.4	Caffaro .....	27
10.2	Stato attuale della fornitura dati .....	27
10.3	L'indicatore di pressione $\beta$ .....	31
10.4	Analisi dei dati mediante l'indicatore $\beta$ .....	32
10.5	Rappresentazione grafica delle misure sul $\beta$ piano .....	34
11	Conclusioni .....	45
12	ALLEGATI .....	47
13	Bibliografia .....	47

## 2 Quadro normativo di riferimento

Il D.P.C.M. 08.07.2003 "*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*", vista la legge del 22 febbraio 2001, n. 36 "*Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*", e, in particolare, l'art. 4, comma 2, lettera a), fissa i limiti di esposizione ed i 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 decreto stabilisce anche un obiettivo di qualità per il campo magnetico, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni.

Nella legge quadro vengono fornite le seguenti definizioni:

- *limite di esposizione*: è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione (cioè al ricevitore), 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;
- *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 adibite a permanenze prolungate. Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine;
- *obiettivi di qualità*: sono i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali; i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico definiti dallo Stato ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi medesimi;
- *elettrodotto*: è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

Nel decreto vengono imposti i seguenti limiti di legge:

- art3, comma 1: 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  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci;
- art3, 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 di 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  $\mu\text{T}$ , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio;

- art.4, comma 1: nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree di 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  $\mu\text{T}$  per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

La grandezza rappresentativa dell'esposizione della popolazione risulta, quindi, la mediana dei valori efficaci di campo di induzione magnetica, nelle 24 ore, nelle normali condizioni di esercizio (abbreviata con NCE).

Il DPCM prosegue, all'art. 5, comma 1, indicando come tecniche di misurazione quelle indicate nella 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 umana*".

Tale norma indica, effettivamente, le tecniche di misurazione descrivendole però soltanto nei tratti più generali. Non compare, infatti, un'indicazione sulla durata di esecuzione delle misure o sulle altezze cui effettuare le misure, come invece indicato nella corrispondente norma CEI 211-7 per le alte frequenze.

Poiché all'art. 5, comma 2, del DPCM, si legge che, per la determinazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento 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, l'ARPA-FVG ha inviato, in data 31/03/2004 con Prot. n. 5007/2004/TQ/RD/106, un documento di richiesta di chiarimenti al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, che non ha avuto ancora riscontro (Allegato 1). In attesa, quindi, di indicazioni in merito o della pubblicazione di linee guida applicative al DPCM, sono state adottate delle norme di buona tecnica per l'esecuzione delle misure, ampiamente descritte nel prosieguo.

All'Allegato 1 si rimanda anche per la definizione proposta delle NCE e per la determinazione delle *fasce di rispetto* di cui all'art. 6, comma 1, del DPCM.

All'art. 8, inoltre, viene abrogato il DPCM del 23 aprile 1992 "*Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz)*"

*negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno" in cui venivano fissate delle distanze di rispetto da qualunque conduttore della linea.*

La norma CEI 211-4 "*Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche*" fornisce l'inquadramento fisico-matematico per il calcolo dei campi elettrico e magnetico.

### **3 I campi elettrico e magnetico**

Prima di procedere con la trattazione, viene qui inserita una breve parentesi descrittiva della natura fisica di tali campi.

Il campo elettrico viene generato dalla differenza di potenziale o tensione cui si trovano i conduttori della linea rispetto a terra. La sua unità di misura è il V/m (Volt al metro). E' possibile che, se una linea è scarica, si misuri solo il suo campo elettrico e non il campo magnetico. Se invece anche il campo elettrico misurato sotto una linea è nullo, significa che è disattivata. Tale metodo di indagine è stato impiegato nel corso delle misure per verificare lo stato di attivazione delle linee. Quando una linea è attiva, il valore del suo campo elettrico è pressoché costante in quanto la tensione di esercizio non è soggetta a variazioni sostanziali.

Il campo di induzione magnetica (d'ora in avanti abbreviato con CIM) viene generato dalla corrente che circola nei conduttori delle linee ed è quindi tanto più intenso quanto più elevato è il valore di tale corrente. Il vettore CIM viene ottenuto dal vettore campo magnetico moltiplicandolo per la permeabilità magnetica del mezzo (in questo caso l'aria). La sua unità di misura è il  $\mu\text{T}$  (micro-Tesla). Poiché la corrente è alternata a 50 Hz, anche il CIM è variabile nel tempo con una frequenza di 50 Hz (lo stesso vale per il campo elettrico). Gli strumenti di misura sono già concepiti per fornire il valore efficace del CIM.

Il CIM ed il campo elettrico non sono tra di loro legati da relazioni semplici, come avviene ad esempio per le alte frequenze nella zona di campo lontano.

Il CIM risulta polarizzato ellitticamente in ogni punto dello spazio attorno ad una linea per cui, in un dato istante il vettore che descrive il CIM presenta generalmente tre componenti. Per la sua misura servono perciò degli strumenti isotropi cioè in grado di misurare separatamente le tre componenti e fornire la risultante. Gli strumenti impiegati per l'esecuzione delle misure, descritti più avanti, sono effettivamente di questo tipo. La forma del CIM e del campo elettrico in una sezione verticale ortogonale all'asse della linea si presenta come in Figura1:

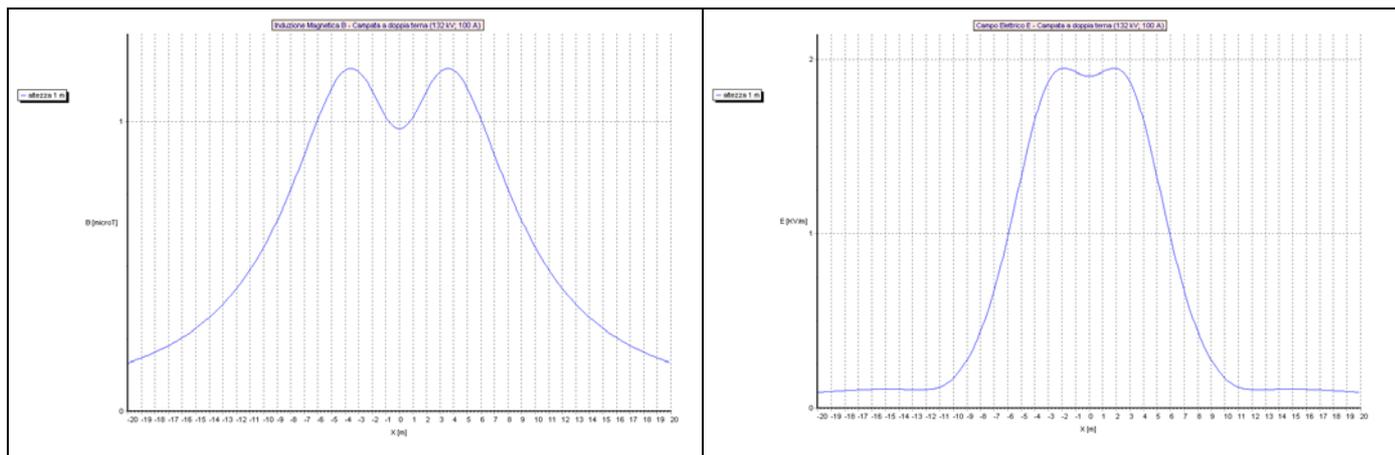


Figura 1: Andamento del campo di induzione magnetica e del campo elettrico in funzione della distanza dalla linea.

Bisogna infine aggiungere che, mentre il campo magnetico risulta difficilmente schermabile e quindi attraversa inalterato i tradizionali materiali da costruzione, il campo elettrico viene quasi completamente abbattuto dai muri delle costruzioni.

## 4 La scelta dei punti di misura

### 4.1 La scelta spaziale dei punti di misura

La scelta dei punti di misura da effettuare sul territorio della provincia di Udine è stata compiuta sulla base della ricognizione dei siti sensibili (abitazioni, luoghi di lavoro o di ricreazione, ospedali, ecc.) nonché delle priorità individuate nella fase di lavoro precedente. E' stata fatta, cioè, sfruttando il contenuto informativo dei corridoi a  $0.2 \mu\text{T}$  individuati sulla Carta Tecnica Regionale (CTR) nelle fasi precedenti del presente lavoro. Tali corridoi sono stati ottenuti imponendo tutta una serie di ipotesi semplificative, e comunque cautelative, per la cui descrizione si rimanda alla documentazione già prodotta. Tali corridoi, una volta sovrapposti alla CTR, hanno permesso di individuare un certo numero di edifici. Per cui le misure presso tali edifici, evidenziati su tutto il territorio provinciale, sono state condotte in base alla seguente scala di priorità:

- edifici scolastici, asili o luoghi adibiti all'infanzia;
- edifici collocati nelle immediate vicinanze di una linea od in zone particolarmente rappresentative: ad esempio nel punto di franco minimo di una campata;
- edifici più alti rispetto ad altri, nei pressi di una linea.

Il CIM presenta, approssimativamente, una *simmetria cilindrica* attorno all'asse della linea per cui punti corrispondenti situati specularmente da una parte e dall'altra della linea sono soggetti agli stessi valori di campo. In realtà, nel caso di disposizione asimmetrica dei conduttori sui tralicci (ed es. due da una parte ed uno dall'altra), saranno più esposti quei punti collocati dalla parte con il maggior numero di conduttori. Per l'esecuzione delle misure sono stati quindi preferiti tali punti più

esposti. Viene da sé che nei punti specularmente corrispondenti il valore del CIM risulterà minore od uguale. Aumentando ancora di un passo il grado di approfondimento della presente trattazione, bisogna aggiungere che, dato che i conduttori non sono paralleli al terreno, risulteranno più esposti quei punti situati centralmente alla campata, nei pressi del franco minimo. Sono stati quindi prescelti per le misure tali punti, ritenendo che per tutti quelli più lontani il valore di CIM risulta essere sicuramente inferiore.

Inoltre, è possibile affermare che il CIM, in prima approssimazione, manifesta una *simmetria traslazionale* lungo la linea, presenta cioè una ripetibilità della situazione riscontrata presso un punto di una campata in punti corrispondenti presso campate precedenti e successive. Assumendo cioè che le campate siano pressoché simili tra di loro, anche i valori di CIM avranno la stessa ripetibilità alle varie campate. E' quindi possibile ritenere che punti situati alla stessa distanza dalla linea e dai tralicci, possono risentire approssimativamente dello stesso valore di CIM in campate diverse. Volendo essere più precisi, è possibile che effettivamente le campate differiscano tra di loro: alcune possono essere più alte rispetto al suolo, altre più basse.

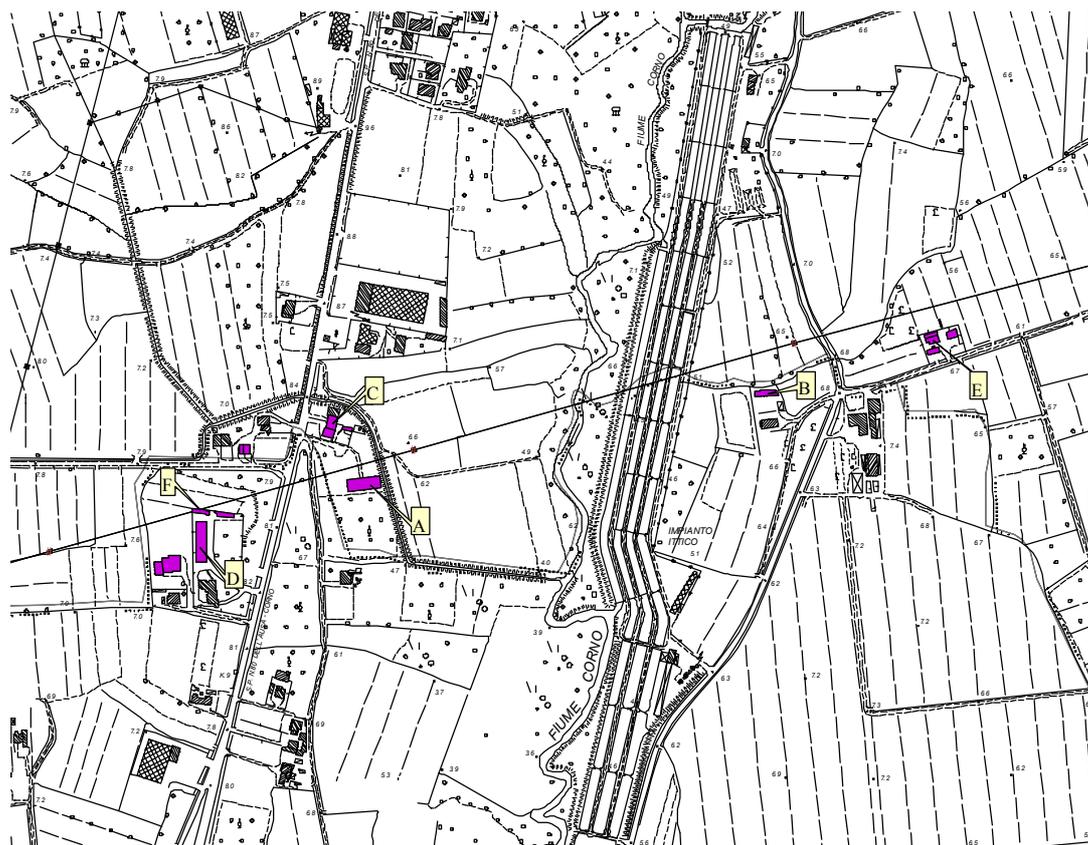


Figura 2: i punti A, B e C sono equivalenti, così come i punti D ed E. Il punto F è invece il più sfavorito.

Riunendo i due concetti di simmetria cilindrica ed traslazionale, rimangono quindi individuati lungo le linee dei *punti equivalenti*. Per l'esecuzione delle misure sono stati scelti i punti più esposti lungo la linea tra tutti i punti equivalenti. Inoltre, una misura effettuata per un dato

punto, sulla base della scala di priorità illustrata, risulta valida, in prima approssimazione, anche per tutti gli altri punti equivalenti.

In tutti i casi, i punti di misura sono da intendersi nel senso che punti più distanti dall'asse della linea risentono sicuramente di valori di CIM inferiori (si veda la Figura 1). Sono stati, quindi, scelti punti di misura nelle vicinanze delle linee ritenendo con ciò di aver dato un'indicazione relativa anche dei livelli di campo presenti in tutte le zone più distanti.

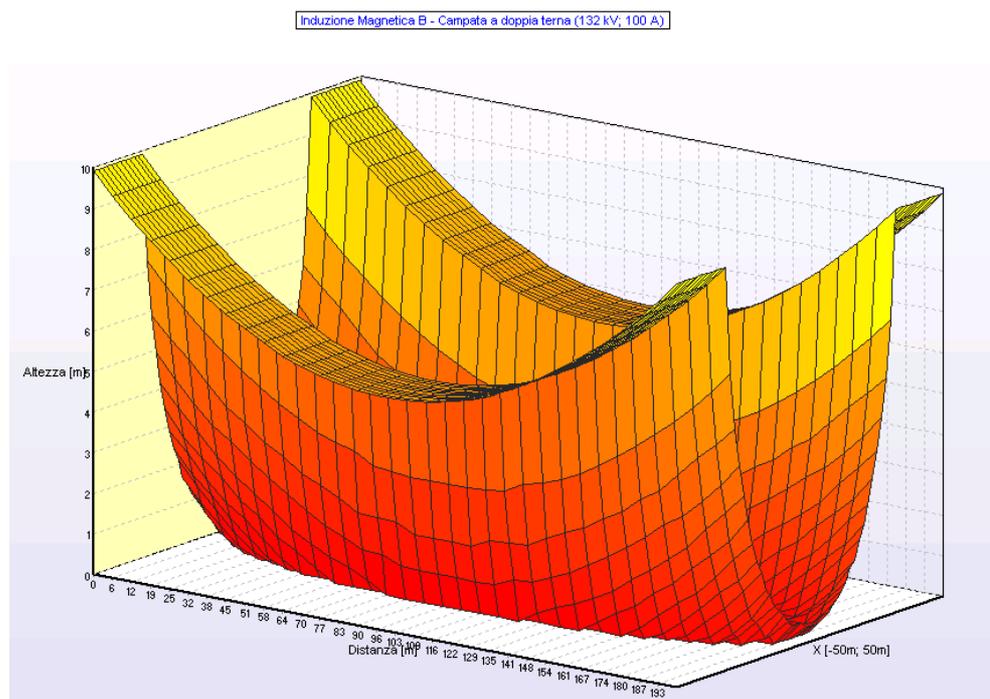


Figura 3: andamento del campo limite a  $0.2 \mu\text{T}$  del CIM lungo una linea, viene evidenziata la simmetria cilindrica attorno all'asse della linea.

In Figura 3 viene riportato, a titolo di esempio, il campo limite a  $0.2 \mu\text{T}$  del CIM lungo una linea si noti la simmetria cilindrica attorno all'asse della linea stessa.

#### 4.2 La scelta dell'intervallo temporale

Una volta scelto il punto di misura, l'esecuzione delle misure può essere condotta con due modalità tra loro complementari:

- a) misura sul lungo periodo (maggiore di 24 ore);
- b) misura sul breve periodo o a *spot* (dell'ordine dei 15 minuti).

Nel caso a), un simile tipo di misura, condotta mediante centralina di monitoraggio in continuo, permette di estrarre direttamente il dato di interesse: il valore di CIM efficace mediano sulle 24 ore. Rimane, comunque, la necessità di chiedere all'ente gestore delle linee una

dichiarazione che in quelle 24 ore sussistevano effettivamente le NCE. Può anche essere cautelativo chiedere al gestore la massima delle mediane sulle 24 ore riscontrata dallo storico, ad esempio dell'anno antecedente a quello di esecuzione delle misure. Questo allo scopo di rapportarsi a questa situazione cautelativa. L'inconveniente di tale tecnica di misura è la durata stessa della misura che deve protrarsi per più giorni. Tenendo conto dei tempi di trasporto, di posizionamento e del fatto che la centralina deve essere ospitata da un privato in un luogo sicuro da atti vandalici, nonché dei tempi di ritiro, si può stimare il tempo di misura in una settimana per punto di misura. Deve, inoltre, essere garantita l'insolazione delle celle fotovoltaiche che l'alimentano, impedendo quindi le misure al chiuso o in periodi caratterizzati da condizioni atmosferiche avverse. Effettivamente l'impiego di centraline di monitoraggio diventa indispensabile nel caso siano stati individuati dei *punti critici*, cioè di potenziale superamento dei limiti di legge, evidenziati dalla campagna di screening preliminare effettuata mediante le misure a spot.

Nel caso b), le misure a spot consistono in misure molto più veloci: da effettuarsi per la durata di 15 minuti nel punto di misura prescelto. Possono venire effettuate mediante uno strumento portatile in grado di memorizzare i valori di CIM con un tempo di campionamento selezionabile. In un secondo momento viene effettuata la richiesta dati all'ente gestore che comprende i seguenti due punti:

- corrente circolante al momento della misura;
- corrente mediana nella 24 ore nelle NCE (può essere assunta, come indicato nell'Allegato 1, la maggiore delle mediane dello storico dei dati di corrente per l'anno antecedente a quello di esecuzione delle misure).

In tal modo, applicando la legge di Biot-Savart, che esprime una proporzionalità diretta tra CIM (B) e corrente (I), è possibile impostare la seguente proporzione:

$$\left. \begin{array}{l} B_{mis} \propto I_{mis} \\ B_{M,24h}^N \propto I_{M,24h}^N \end{array} \right\} \Rightarrow B_{M,24h}^N = B_{mis} \frac{I_{M,24h}^N}{I_{mis}} \quad (1)$$

in cui  $B_{mis}$  è il valore del CIM misurato nel corso dei 15 minuti,  $I_{mis}$  è la corrente corrispondente circolante in quei 15 minuti,  $B_{M,24h}^N$  è il valore di CIM nelle NCE come mediana più cautelativa valutata sulla base dello storico dell'anno antecedente a quello di esecuzione delle misure,  $I_{M,24h}^N$  è la corrente corrispondente fornita dal gestore.

La (1) risulta valida per uno specifico punto di misura, fisso nello spazio rispetto alla linea elettrica e nel caso di linee singole, siano queste nella configurazione a terna semplice che a doppia terna ottimizzata.

### 4.3 Verifica della applicabilità della legge di proporzionalità espressa dalla equazione (1)

Prima di partire con la campagna di misure è stata fatta una verifica della validità del modo di operare riassunto nell'equazione (1). E' stata, quindi, eseguita una acquisizione prolungata dei valori di CIM mediante una centralina di monitoraggio in continuo (la PMM8055 descritta più avanti) in un preciso punto di misura nei pressi della linea a 380 kV, 21-356 Panais-Redipuglia, nel Comune di Cervignano del Friuli, frazione di Strassoldo. Una volta richiesti ed ottenuti i dati di corrente dall'ente gestore è stato possibile verificare la validità della (1).

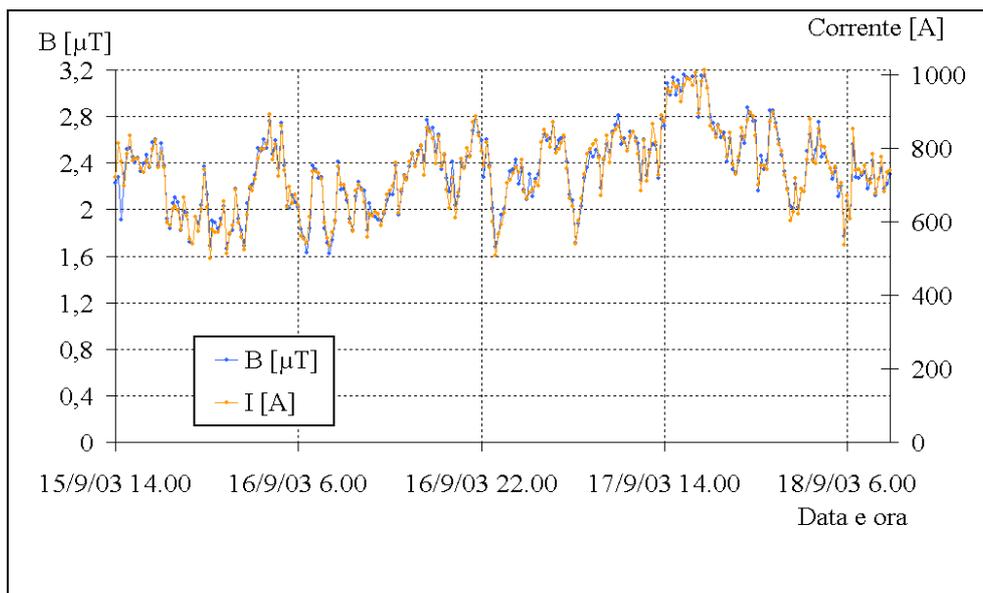


Figura 4: andamento dei valori di CIM e di corrente.

In Figura 4 viene riportato il confronto tra i valori di CIM e di corrente per il periodo di misura. L'analisi visiva del diagramma mette in evidenza la corrispondenza tra i due andamenti, a supporto della validità della (1). Un'analisi analitica più dettagliata, tenendo conto anche degli errori di misura, ha portato allo stesso risultato. Tale elaborazione, comunque, esula dallo scopo della presente trattazione.

## 5 Scelta del metodo di misura

Vista l'estensione territoriale della campagna di misure ed il cospicuo numero di linee elettriche coinvolte, si è optato per una campagna di misure di screening mediante misure a spot di tipo b). Impiegando, invece, la centralina di monitoraggio solamente per due casi ritenuti maggiormente a rischio di superamento. Lo scopo della campagna di misure è, quindi, quello di fornire delle indicazioni su dove ulteriormente collocare, in futuro, delle centraline di monitoraggio in continuo. La procedura adottata dagli operatori per l'esecuzione delle misure a spot e quindi per la copertura dell'intero territorio provinciale può venire descritta come segue:

- sincronizzazione dello strumento di misura con l'orologio dell'ente gestore;

- screening veloce da parte dell'operatore spostandosi nella zona di misura per l'individuazione del punto di maggiore esposizione;
- collocazione dello strumento su cavalletto e supporto in materiale dielettrico a 1.5 m di altezza rispetto al suolo o più in basso nel caso di misure in luoghi adibiti all'infanzia;
- impostazione del tempo di acquisizione a 1.5 secondi;
- esecuzione della misura con operatore distante dallo strumento per una durata di 15 minuti (supponendo di suddividere le ore in quattro intervalli, bisogna effettuare la misura in uno di questi);
- nel caso delle linee gestite da GRTN, misura a cavallo del quarto d'ora: un minuto prima ed uno dopo, facendo attenzione che non si manifestino degli sbalzi apprezzabili del valore di CIM misurato (nel caso si manifestino è necessario aspettare il quarto d'ora successivo);
- nel caso di valori bassi del CIM (inferiori a  $0.05 \mu\text{T}$ ), verifica dello stato di attivazione della linea mediante misura del campo elettrico;
- scaricamento dei dati su PC portatile in formato ASCII per la successiva elaborazione.

## 5.1 Gestione dei casi complessi

Per casi complessi s'intendono quei casi che si discostano dalla linea singola ovvero:

- intersezioni di più linee;
- linee parallele supportate o meno dagli stessi tralicci.

I casi complessi possono essere a loro volta suddivisi in due categorie:

- linee che afferiscono alla medesima sbarra di trasformazione;
- linee completamente indipendenti, cioè che non afferiscono alla medesima sbarra di trasformazione.

### 5.1.1 linee che afferiscono alla medesima sbarra di trasformazione:

in tal caso si può ritenere che le tensioni R delle due linee siano in fase tra di loro così come le S e le T, mentre le correnti delle due linee variano a seconda dell'intensità dei carichi e la loro fase relativa a seconda del tipo di carichi (induttivi o capacitivi). Lo sfasamento tra le correnti di tipo R delle due linee (e lo stesso vale per le S e T) è, quindi, dovuto ai rispettivi fattori di potenza  $\cos\varphi$ , che sono prevedibilmente contenuti entro le imposizioni del rifasamento:  $\cos\varphi < 0.9$  (come previsto dal provvedimento del Comitato Interministeriale dei Prezzi n. 11/1978 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale 5/6/1978). Sul lungo periodo le correnti delle due linee non dovrebbero essere sfasate per più di  $\cos\varphi = 0.9$  rispetto alle proprie tensioni. La misura presso tali casi potrebbe venire condotta ancora a spot e, in un secondo momento andrebbero chiesti ai gestori, oltre ai dati di

corrente e tensione, anche i valori di potenza attiva P e reattiva Q da cui ricavare il fattore di potenza in base alla relazione:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{Q}{P}\right) \quad (2)$$

e quindi capire l'entità degli sfasamenti tra le correnti al momento della misura. A tal riguardo si aggiunge che correnti in fase danno un contributo massimo al CIM, mentre correnti in controfase danno un contributo minimo al CIM. Occorre, inoltre, tener presente che il Gestore Enel Distribuzione non dispone dei valori di P e Q che sono invece disponibili presso GRTN. La soluzione è comunque quella di optare per un monitoraggio in continuo di quei punti presso simili casi complessi per i quali si è riscontrato un valore di CIM prossimo ai limiti di legge. Da tale monitoraggio è possibile estrarre il valore del CIM mediano sulle 24 ore con il supporto successivo della sussistenza o meno delle NCE, senza passare per i valori di corrente e neppure per P e Q. In effetti, nel caso di linee che afferiscono alla medesima sbarra di trasformazione, vista la necessità del rifasamento, difficilmente le due correnti riescono a disporsi nella condizione di antifase per cui difficilmente le misure vengono eseguite in condizioni di sottostima del CIM. Sulla base delle misure di screening effettuate sul territorio provinciale è stato individuato un punto critico nelle vicinanze di due linee a 380 kV che corrono parallele supportate dagli stessi tralicci (21-356 Planais-Redipuglia e 21-347 Planais-Salgareda). Nelle immediate vicinanze è stata individuata una abitazione il cui proprietario si è mostrato disponibile ad accettare sul suo terreno una centralina di monitoraggio con cui sono state fatte ulteriori indagini.

#### 5.1.2 linee completamente indipendenti:

se le linee sono indipendenti, è effettivamente possibile che le due correnti assumano una configurazione di fase relativa qualsiasi e quindi anche tale da generare un campo mitigato. Poiché l'abbattimento del campo tramite riarrangiamento delle fasi può essere dell'ordine del 60% [1], si può assumere che le misure a spot condotte in questi casi siano da ritenersi critiche quando si superano i 4  $\mu\text{T}$  per la valutazione del valore di attenzione e gli 1.2  $\mu\text{T}$  per la valutazione del rispetto dell'obiettivo di qualità. In tutti i casi di questo tipo si deve ritenere di procedere ad un'indagine successiva mediante centralina di monitoraggio. Non sono stati rilevati casi di questo tipo nel corso dello studio in provincia di Udine. Poiché il variare della fase relativa dipende dalla tipologia dei carichi, è da ritenersi che, mediante un monitoraggio in continuo, si registri prima o poi anche la situazione peggiore dal punto di vista del CIM.

## 6 Fase di esecuzione delle misure

### 6.1 Misure presso scuole, asili e luoghi adibiti all'infanzia

E' stata fatta particolare attenzione all'individuazione dei luoghi frequentati dall'infanzia. A tale scopo è stato sfruttato il database messo a punto dall'ARPA FVG per il monitoraggio del radon nelle scuole. In tale database risultano georeferenziati su CTR tutti gli asili e le scuole in cui è stato collocato un dosimetro radon. E' stato costruito attorno a tale punto un buffer circolare del raggio di 100 metri. Tutti i buffer così ottenuti sono stati intersecati con i corridoi di rispetto dei 0.2  $\mu$ T. Sono risultati coinvolti in questo modo un certo numero di buffer nei pressi dei quali sono state effettuate le misure. In Allegato 2 viene riportata una tabella comprendente tutti i punti di misura. In tale tabella vengono evidenziate in grassetto tutte le misure effettuate nelle vicinanze di tali luoghi sensibili. Nel progetto *misure.apr*, elaborato in ambiente GIS-ArcView e presentato nel CD-ROM allegato, è stato inserito il file *buffer\_scuole\_100m.shp*. Il numero di siti che sono stati indagati in questo modo ammonta a 8 così ripartiti:

- 6 siti vicino a linee a 132 kV;
- 1 sito a Gemona presso una linea a 220 kV;
- 1 sito a Pontebba presso due linee RFI a 66 kV.

Per tali siti occorre fare, comunque, le seguenti precisazioni:

- la linea di Gemona al momento della misura era probabilmente caricata molto poco, visti i valori di campo rilevati;
- si segnala il caso particolarmente del complesso scolastico di Pasian di Prato come più sfavorito tra tutti quelli indagati: si tratta degli edifici più vicini alle linee, inoltre il giardino dell'asilo è collocato proprio in corrispondenza dell'asse della linea;
- il complesso scolastico di Latisana è vicino a due linee a 132 kV una delle quali è risultata abbastanza carica al momento della misura (0.82  $\mu$ T).

Per tutti questi casi ed in generale per tutti gli asili ed edifici scolastici presso le linee si consiglia di procedere ad un ulteriore monitoraggio in continuo da effettuare a più riprese nel tempo anche per tener conto del costante aumento negli anni dei carichi che interessano le linee.

La situazione ambientale rilevata non sembra comunque indicare un potenziale superamento dei valori di attenzione né dell'obiettivo di qualità. Si attende, comunque, la fornitura dei dati richiesti ai gestori per completare tale analisi ai sensi di legge.



Figura 5: territorio regionale con indicazione delle scuole della provincia di Udine distanti meno di 100 metri dai corridoi a 0.2  $\mu$ T.

<b>COMUNE</b>	<b>INDIRIZZO</b>	<b>DENOMINAZIONE</b>
Udine	Via Baldasseria media, 21	Nido Baldasseria
Udine	Via Baldasseria media, 25	Scuola Elementare M.B. Alberti
Ampezzo	Viale della Maina, 29	Scuola Elementare
Ampezzo	Via della Maina, 29	Scuola media
Gemona del Friuli	Via San Marco, 10	Scuola dell'Infanzia
Latisana	Zona tempio	Liceo scientifico E.L.Mantin
Pasian di Prato	Via L. da Vinci, 10	E.Frunch
Pasian di Prato	Via L. da Vinci	ENAIP
Pontebba	Via della Pace, 21	Scuola materna
Pontebba	Via Zardini, 29	Scuola elementare
Pontebba	Via Zardini, 27	Scuola media
San Giorgio di Nogaro	Via Carnia	Scuola dell'infanzia
Verzegnis	Via santo stefano, 1	Scuola elementare

Tabella 1: elenco e descrizione delle scuole individuate in Figura 5.

## 6.2 Misure in abitazioni o pertinenze private

La mappatura dell'intera provincia mediante il metodo a spot, ha permesso di condurre anche una sorta di indagine esplorativa del territorio. Tale indagine ha permesso di evidenziare la presenza di edifici o luoghi nei quali sarebbe opportuno approfondire la fase analitica. La difficoltà principale incontrata per l'esecuzione delle misure nelle pertinenze private è stata quella della reperibilità e della disponibilità dei proprietari degli immobili. In una ipotetica fase successiva di misure di monitoraggio, da effettuare sulla base dello screening condotto, sarebbe auspicabile l'interessamento diretto di quelle amministrazioni comunali che ritengono necessario un intervento specifico di misura sulla base delle criticità evidenziate dal presente lavoro e dal contenuto del CD-ROM allegato. In altre parole, le amministrazioni comunali, sulla base della dislocazione dei punti di misura e dei valori misurati presentati in *measure.shp*, possono ritenere necessario di attivarsi per individuare sul territorio di propria competenza quei luoghi che possono risultare a rischio di superamento dei valori di attenzione o degli obiettivi di qualità (anche per le future costruzioni o le previsioni del piano regolatore) e quindi richiedere all'ARPA FVG di effettuare dei monitoraggi più mirati. In effetti, non è stato possibile individuare sulla CTR luoghi a permanenza non inferiore alle quattro ore quali, luoghi di lavoro all'aperto, nuovi edifici o molte pertinenze esterne di edifici esistenti. Per cui, anche in questi casi le amministrazioni comunali, sulla base del presente lavoro e delle informazioni raccolte con la campagna di misure, possono ritenere opportuno di attivarsi per localizzare e descrivere all' ARPA FVG tali luoghi al fine di programmare una successiva attività di misura e monitoraggio. A titolo di esempio si riportano tre casi riscontrati sul territorio:

- nel comune di Bagnaria Arsa, un allevamento di cani, in frazione Campolonghetto, non segnalato su CTR, si trova proprio sotto una linea a 380 kV (21-356) in cui sono stati registrati dei valori significativi di CIM (13.42  $\mu$ T);
- nel comune di Campolongo al Torre, esiste una cava di ghiaia non riconoscibile da CTR i cui lavoratori (probabilmente non professionalmente esposti) lavorano per più di quattro ore giornaliere sotto la linea a 380 kV (21-356) in cui sono stati registrati dei valori significativi di CIM (13.24  $\mu$ T);
- nel comune di Torviscosa, una Cabina Primaria di proprietà privata è abitata (anche le cabine primarie rientrano nella definizione degli elettrodotti) e l'accesso a tale sito non è stato possibile durante l'esecuzione dell'attuale screening.

Bisogna, inoltre, aggiungere che durante la campagna di screening possono essere sfuggiti quei casi di linee particolarmente scariche al momento della misura come descritto al paragrafo successivo.

### **6.3 Problema delle linee scariche**

L'effettuazione delle misure è avvenuta a totale insaputa degli enti gestori per cui è possibile incontrare sul territorio delle linee scariche. Sono state probabilmente misurate in un momento di inattività o di bassa attività le linee a 220 kV con valori molto bassi di CIM ad esempio la linea 22-195 Somplago-Buia, che insiste sul territorio dei comuni di Buia, Gemona del Friuli, Trasaghis, Bordano e Cavazzo Carnico. Al momento dell'ottenimento dei dati dei gestori sarà possibile effettivamente riscontrare un potenziale stato di inattività delle linee, oppure effettuare le debite proporzioni con la mediana cautelativa nelle NCE. Nel primo caso ed in tutti i casi che si riveleranno essere di questo tipo sarà opportuno ripetere le misurazioni.

## **7 La fase di richiesta dati ai gestori**

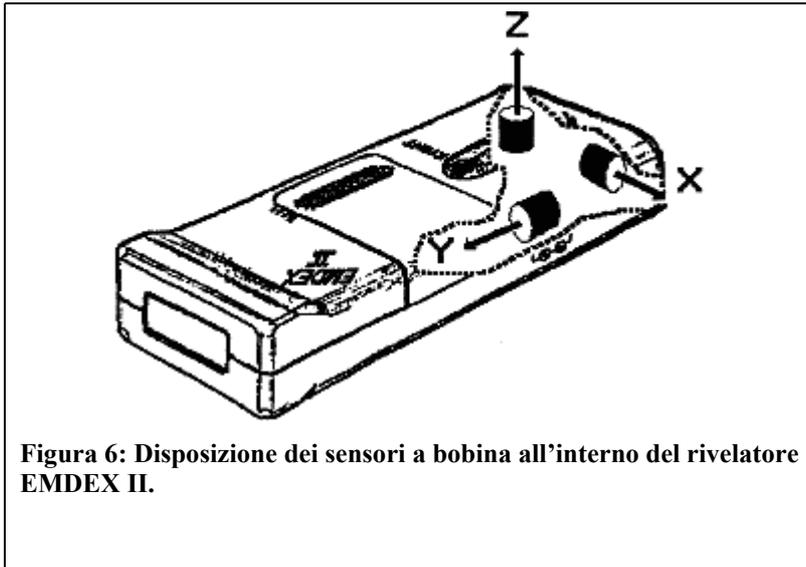
In Allegato 3 vengono riportate le richieste dati effettuate ai gestori delle linee, redatte e spedite dopo l'esecuzione delle misure. Una prima richiesta è stata fatta a completamento delle misure presso circa la metà delle linee (comprese le AAT), seguita da una seconda richiesta a completamento della campagna di misure inerente la metà mancante. Le richieste prevedono la fornitura da parte dei gestori delle correnti circolanti nelle linee al momento delle misure e la corrente mediana nelle 24 ore nelle NCE. Questo allo scopo di poter effettuare la proporzione di cui alla equazione (1). All' art 5, comma 4, del DPCM 08.07.2003 si prevede che gli esercenti forniscano agli organi di controllo, secondo modalità fornite dagli stessi, con frequenza trimestrale, 12 valori per ciascun giorno, corrispondenti ai valori medi delle correnti registrati ogni 2 ore nelle NCE. Sono stati effettuati due incontri con i gestori (il primo verbale è riportato in Allegato 4) per la determinazione della modalità di trasferimento dati. Alla data di presentazione del presente lavoro non sono ancora pervenuti i dati richiesti.

## **8 Descrizione della strumentazione impiegata**

Le sonde di campo magnetico sono essenzialmente costituite da delle bobine di filo elettricamente schermato, sono usate in combinazione con un voltmetro che rileva la forza elettromotrice indotta dalla componente di campo ortogonale alla sonda. Per risalire al valore efficace di campo totale servono quindi tre misure lungo tre orientamenti ortogonali. I misuratori di campo magnetico triassiali impiegati forniscono direttamente il valore efficace del campo.

Per misure a lungo termine è più adatto uno strumento che registri le letture in un sistema di immagazzinamento dati a intervalli di tempo prefissati. L'equivalenza e l'affidabilità delle misure del campo magnetico sono assicurate dalla taratura SIT od equivalente SIT (come richiesto dalla norma CEI 211-6). Per l'esecuzione delle misure sono stati impiegati tre tipologie di strumenti descritte come nel seguito.

## 8.1 EMDEX



EMDEX (Electric and Magnetic Field Digital Exposure System) è un sistema hardware e software per la misura, la memorizzazione e l'analisi di campi elettrici e magnetici a frequenza industriale prodotto dalla Enertech Consultants. È costituito da un misuratore di campo (EMDEX II), e dal sistema di software EMCALC.

Tramite i pulsanti di controllo l'operatore può stabilire:

- se registrare i dati o semplicemente visualizzare le misure sul display;
- la frequenza di campionamento (scelta pari a 1.5 secondi);
- l'ampiezza di banda di frequenza (è stata scelta la modalità broadband).

Alla fine della misura i dati vengono trasferiti, tramite comunicazione su porta seriale, su di un computer dotato dell'apposito software per la memorizzazione a lungo termine. I dati vengono salvati in un file in formato ASCII che li rende disponibili su qualunque piattaforma per analisi successive. Nel corso di una misura è possibile segnare un particolare punto con l'immissione di un MARKER, ossia di un marcatore di evento: questi, progressivamente numerati, vengono riportati con una breve descrizione nei file salvati su PC, per essere eventualmente utilizzati in una successiva analisi dati. Alla fine di una misura, l'invio di uno STOP manda lo strumento in stand-by con risparmio di batteria. In questo modo è possibile effettuare più misure distinte in successione, senza dover scaricare ogni volta i dati su PC.

### 8.1.1 Risoluzione dello strumento

L'intervallo di misura è compreso tra 0.01 e 300  $\mu\text{T}$ , con un'accuratezza tipica di  $\pm 3\%$ , nel caso peggiore di  $\pm 10\%$ .

Induzione magnetica [ $\mu\text{T}$ ]	Risoluzione [ $\mu\text{T}$ ]
0.01-1.1	0.01
0.8-17.8	0.02
12.8-300	0.32

**Tabella 2: Risoluzione dello strumento al variare dell'induzione.**

### 8.1.2 Risposta in frequenza

Le specifiche tecniche dello strumento riportano, per una misura in modalità broadband, una variazione di  $\pm 30\%$  su tutto l'intervallo di frequenze (da 40 a 800 Hz), Nella figura seguente è visualizzata la risposta in frequenza:

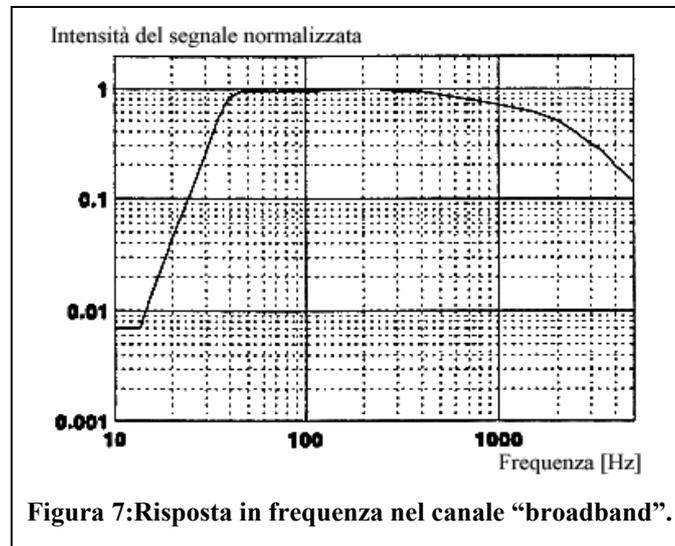


Figura 7: Risposta in frequenza nel canale "broadband".

## 8.2 PMM 8053



Figura 8: Il PMM 8053.

Il PMM 8053 è un misuratore di campi elettrici e magnetici. È utilizzato con una sonda esterna, connessa tramite fibra ottica. In questo modo si evitano effetti di accoppiamento con l'operatore che risultano importanti soprattutto nel caso di misure di campo elettrico.

### 8.2.1 Opzioni di visualizzazione

Tramite la pulsantiera ed il display l'operatore può selezionare diverse modalità di visualizzazione dei dati. In modalità "ABS/%" vengono mostrate le componenti vettoriali del campo misurato in valore assoluto o in percentuale. In modalità "MIN-MAX/AVG" (o "MIN-MAX/RMS") vengono visualizzati i valori massimo e minimo oltre al valore medio espresso come media aritmetica (o quadratica) trascinata della lettura. E' stata impiegata la modalita AVR.

In modalità "PLOT" i dati sono acquisiti e visualizzati sul display in funzione del tempo. In modalità "DATA logger" i dati vengono immagazzinati in un file, che potrà poi essere trasportato su PC.

### 8.2.2 Specifiche tecniche

Il rivelatore è progettato per lavorare nell'intervallo di frequenze tra 5 Hz e 40 GHz, con un range di misura di campo magnetico tra 10 nT e 10 mT ed un'accuratezza dell'1%. Nella memoria interna è possibile immagazzinare fino a 8100 misure.

Al momento di effettuare una misura si fissa lo SPAN, valore che indica la frequenza massima dello spettro entro cui lo strumento effettua la misura:

SPAN	Tempo di acquisizione	Risoluzione [Hz]
100 Hz	4.1 s	0.24
200 Hz	2.0 s	0.49
500 Hz	0.8 s	1.22
<b>1kHz</b>	<b>0.4 s</b>	<b>2.44</b>
2 kHz	0.2 s	4.88
10 kHz	40.96 ms	24.41
100 kHz	4.096 ms	244.14

**Tabella 3: Valori selezionabili dello SPAN, e corrispondenti tempi di acquisizione e risoluzioni.**

La frequenza minima misurabile corrisponde a circa l'1.2% dello SPAN (in ogni caso non è mai inferiore a 5 Hz): per misure a 50 Hz si sceglie lo SPAN a 1 kHz, che garantisce una maggiore sensibilità tra quelli possibili ( $<0.2 \mu\text{T}$ ) e garantisce la misura dai 12 Hz in su.

La misura viene effettuata in due modalità: WIDEBAND, in cui vengono misurate le componenti relative a tutto lo spettro (Span) selezionato. L'intervallo di campionamento può essere fissato in 1, 2, 3, 6, 10, 15, o 30 minuti, oppure la media (trascinata) viene effettuata sugli ultimi 32 campionamenti. Il rivelatore può essere utilizzato con più sonde. I parametri di taratura sono memorizzati in un chip contenuto nella testa della sonda. Il riconoscimento della sonda e la lettura della curva di taratura avvengono al momento dell'accensione dello strumento o al momento dell'innesto della sonda.

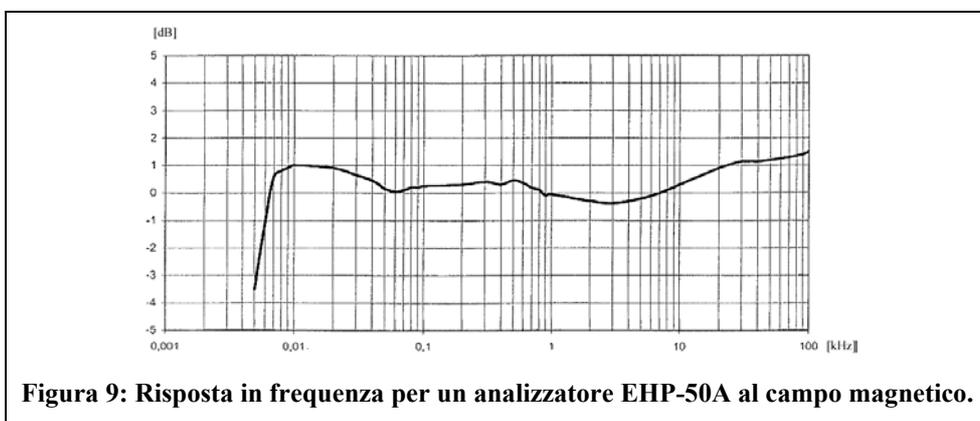
### 8.2.3 Sonda EHP-50A

Il rivelatore PMM 8053, per le misure di campi a frequenza industriale, ha bisogno di una sonda di tipo EHP-50A: è un sensore-analizzatore isotropico di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza, di cui sono riportate nella tabella successiva le specifiche tecniche.

<b>Campo di frequenza</b>	5 Hz – 100 kHz
<b>Portata</b>	10 nT – 10 mT
<b>Risoluzione</b>	1 nT
<b>Sensibilità</b>	10 nT
<b>Errore assoluto</b>	±0.8 dB (=9.6%)
<b>Piattezza (40 Hz – 10 kHz)</b>	±0.5 dB (=5.9%)
<b>Isotropicità</b>	±1 dB (=12.2%)
<b>Errore totale (massimo)</b>	16.6%

**Tabella 4: Specifiche tecniche della sonda EHP-50A.**

Nelle figura seguente è riportata la risposta in frequenza per le misure di campo magnetico:



### 8.3 PMM 8055S

Il sistema PMM 8055S è stato utilizzato per il monitoraggio continuo controllato da remoto dei campi elettromagnetici. La centralina, alimentata da batterie interne, è collegata a due celle fotovoltaiche che consentono l'autonomia in normali condizioni di insolazione.

La centralina ha un'autonomia di una settimana in assenza di luce; all'esaurimento della carica i dati raccolti rimangono in memoria.



**Figura 10: Centralina PMM 8055S dotata di sonda HP-050.**

<b>Campo di frequenza</b>	5 Hz – 40 GHZ
<b>Campo di lavoro</b>	(10±0.1)nT-(10±0.1)mT
<b>Campo misurato</b>	X, Y, Z, totale, massimo e medio (trascinato su 1 e 6 minuti)
<b>Campionamento</b>	1 misura/s
<b>Intervallo di memorizzazione</b>	5, 10, 15, 30s, 1, 2, 6 minuti
<b>Memoria</b>	256 kB

**Tabella 5: Specifiche tecniche della centralina PMM 8055S.**

### 8.3.1 Sonda HP-050

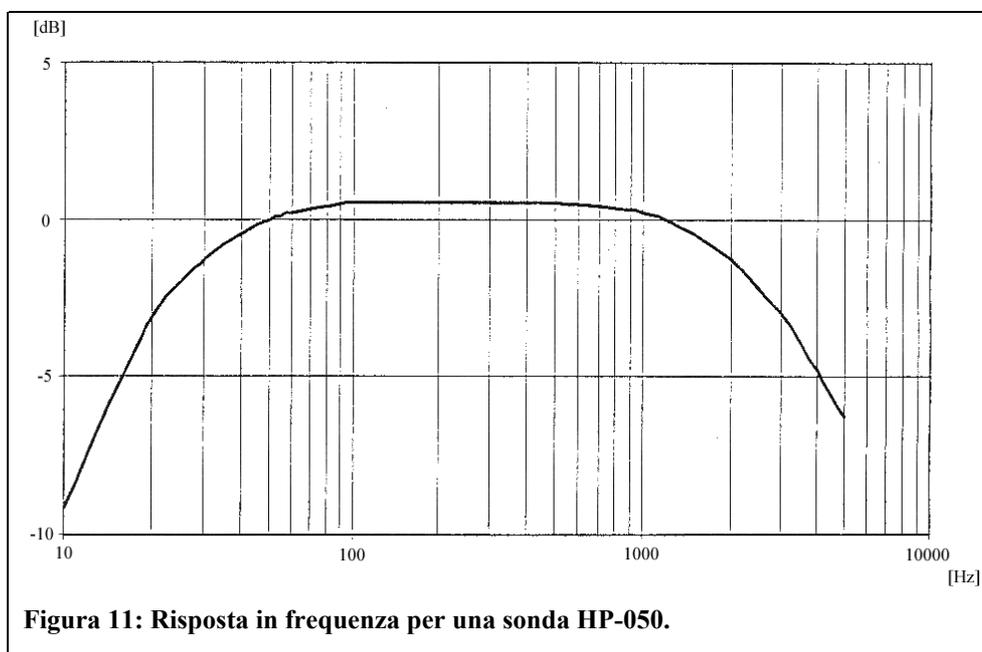
La centralina è utilizzata con una sonda di tipo HP-050, di cui vengono qui riportate le specifiche tecniche:

<b>Campo di frequenza</b>	10 Hz – 5 kHz
<b>Portata</b>	10 nT – 40 μT
<b>Risoluzione</b>	1 nT

<b>Sensibilità</b>	10 nT
<b>Errore assoluto @ 50 Hz 200 nT 25 °C</b>	±0.4 dB (=4.7%)
<b>Piattezza (40 Hz – 1 kHz)</b>	±1 dB (=12.2%)
<b>Isotropicità @ 50 Hz 200 nT</b>	±0.3 dB (=3.5%)
<b>Errore totale (massimo)</b>	13.5%

**Tabella 6: Specifiche tecniche della sonda HP-050.**

Viene riportato infine il grafico che visualizza la risposta in frequenza della sonda:



#### 8.4 Interconfronto tra gli strumenti

L'EMDEX II è sicuramente da preferirsi per misure con bassi valori di campo per la migliore sensibilità, inoltre, essendo più maneggevole, è utile per uno screening preliminare della zona e per l'individuazione veloce dei punti di posizionamento di una centralina o per l'esecuzione di una misura a lungo termine.

Diventa molto meno affidabile per quanto riguarda le misure di campo elettrico, nel qual caso richiede, oltre all'installazione dell'apposito software, una sonda esterna non isotropa (un condensatore piano). Per cui, per le misure del campo elettrico si è optato per l'impiego del PP8053. Le centraline PMM8055S vengono invece preferite nel caso di misure prolungate.

## 9 Informatizzazione della campagna di misure

### 9.1 Il database *misure.shp*

La fase di raccolta dati sul territorio ha richiesto lo sviluppo di un struttura informatica dedicata all'archiviazione, raccolta ed organizzazione degli stessi. Al fine di soddisfare le richieste di aggiornabilità, modificabilità, portabilità, fruibilità dei dati per la loro elaborazione, è stato sviluppato un supporto in ambiente GIS-ArcView del tipo *shape-file*. In tal modo è stato possibile includere anche l'attuale fase di misure nella struttura preesistente sviluppata nelle fasi precedenti al presente lavoro. In tal modo è stato anche possibile georeferenziare tutti i punti di misura effettuati. Tale database, nominato *misure.shp*, presenta i seguenti campi che è possibile descrivere nel dettaglio come segue:

CAMPO	DESCRIZIONE
SHAPE	Campo riservato di ArcView di tipo Point
ID	Campo riservato di ArcView
CODE	Codice riservato
COMUNE	Comune in cui sono state fatte le misure
ID_ARPA	Numero progressivo della misura
INDIRIZZO	Indirizzo del punto di misura, nel caso di edifici descrizione del luogo di misura: terrazzo, piano abitazione, orientamento rispetto alla linea.
I_E	Luogo di esecuzione della misura: Interno= in proprietà privata, Esterno=sul suolo pubblico
S_M	Punto di misura Simulato/Misurato cioè ottenuto da simulazione oppure da misura
DATA_I	Data inizio misura
DATA_F	Data fine misura
H_B_I	Ora inizio misura per l'induzione magnetica
H_B_F	Ora fine misura per l'induzione magnetica
H_E	Ora misura per il campo elettrico
BMIS	Valore misurato di induzione magnetica nel caso di misura a spot, oppure valore di induzione magnetica mediana sulle 24 h nel caso di misura lunga, scegliendo la finestra temporale più cautelativa nel caso di misure della durata superiore alle 24 h.
EMIS	Valore di campo elettrico misurato
IMIS	Corrente fornita dal gestore circolante al momento della misura o corrispondente al valore di induzione magnetica mediana sulle 24 ore scelto come più cautelativo
IMN	Corrente mediana nelle normali condizioni di esercizio fornita dal gestore
IP	Portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-60
BMN	Valore di induzione magnetica mediana sulle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio calcolato da IMN
BP	Valore di induzione magnetica corrispondente alla condizione di portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-60
OPERATORE	Nominativo dell'operatore che ha eseguito la misura
QP	Quota Piede dell'edificio nel caso di misure in edifici oppure quota del suolo nel caso di misure esterne
QMIS	Quota della sonda
TIPOLOGIA	Tipologia di elettrodotto o di cabina di trasformazione

CODICE	Codice del traliccio, linea, nome tratta o codice cabina trasformazione
NOTE	note varie, ad es. tipo di misura: se a spot oppure prolungata sulle 24 h Es.: Misura a spot con Emdex ora 13:45 file ZELLINA.A09.
BMEDIO	Valore di induzione magnetica media valutato sullo stesso periodo su cui è stata valutata BMIS.
BMAX	Valore massimo di induzione magnetica valutato su tutta la durata della misura.
DATA_BM	Data cui corrisponde il valore di induzione magnetica mediana sulle 24 ore scelto come più cautelativo
h_BM	Ora cui corrisponde il valore di induzione magnetica mediana sulle 24 ore scelto come più cautelativo (basta prendere un'ora qualsiasi in cui compare il valore di BM, meglio se prossimo o coincidente con il quarto d'ora).
PV	Provincia in cui si trova il Comune in cui sono state fatte le misure
Sigmab	DEV.ST (da Excel) valutata nello stesso intervallo in cui sono state valutati BMEDIO e BMAX.
BETA	Valore dell'indicatore di pressione $\beta$

Tabella 7: descrizione dei campi dei database *misure.shp*, *misure con i.shp* e *misure senza i.shp*.

Il file *misure.shp* viene fornito nel CD-ROM allegato. In ambiente ArcView (*misure.apr*) è possibile selezionare un singolo punto di misura od un gruppo di punti, magari appartenenti ad uno stesso comune per accedere a tutte le informazioni di cui sopra.

## 9.2 Georeferenziazione dei punti di misura

Tutti i punti di misura, eseguiti secondo le modalità descritte ai paragrafi precedenti, sono stati georeferenziati in ambiente GIS-ArcView. Si tratta di 216 punti di misura. La campagna di misure è stata condotta iniziando dalle linee a carico maggiore (220-380 kV) presso le quali sono state eseguite delle misurazioni anche nelle pertinenze private e, in due casi, si è fatto ricorso anche ad una centralina di monitoraggio in continuo. Si è poi proceduto con una caratterizzazione, tramite misure, di tutte le rimanenti linee a 132 kV. Ne è conseguita una copertura pressoché omogenea dell'intero territorio della provincia di Udine e, facendo riferimento al concetto di punto equivalente, ne è risultata una caratterizzazione di tutte le linee AT-AAT su tutto il territorio da loro attraversato. Nelle seguenti figure viene riportata la copertura dell'intero territorio effettuata con i punti di misura e per le tre zone della provincia di Udine; Sud, Centro e Nord.

Si tratta di una rappresentazione grafica della campagna di misure, tutte le informazioni quantitative sono contenute nel database *misure.shp*.



Figura 12: copertura dell'intero territorio provinciale con i 216 punti di misura.

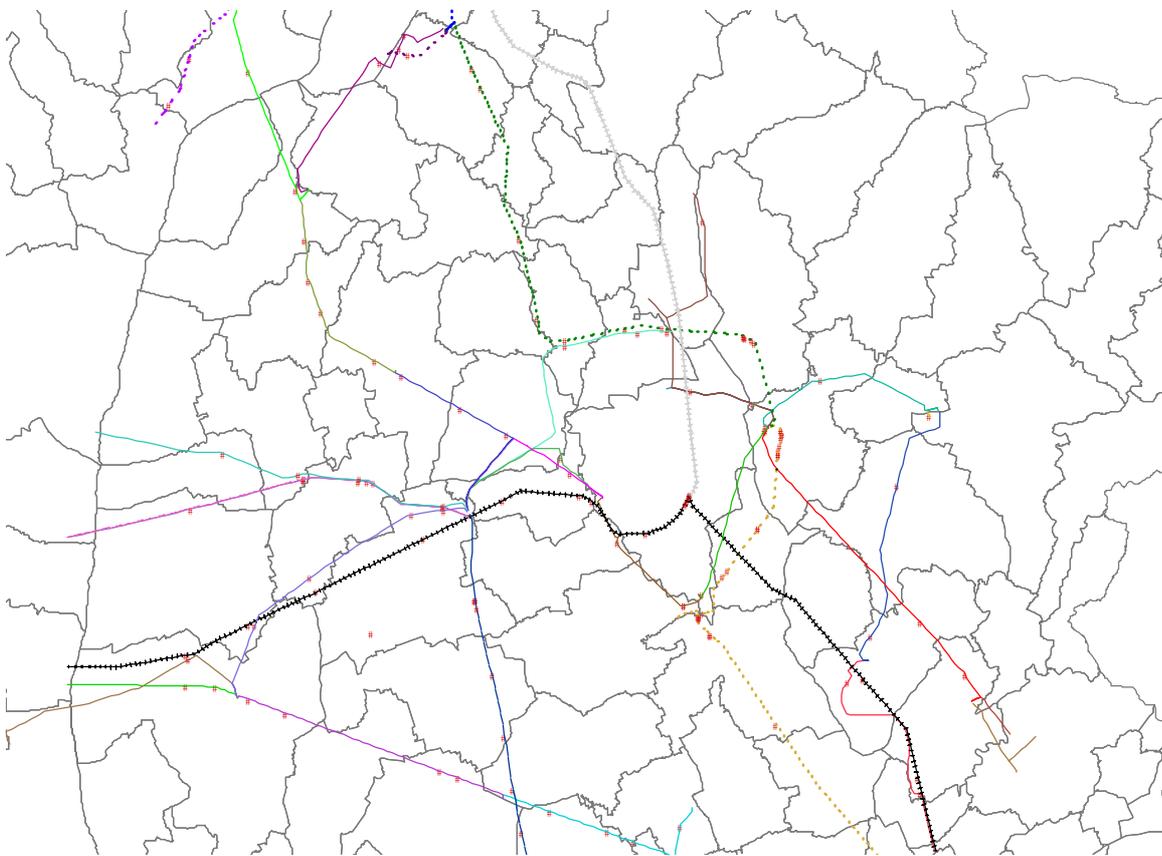
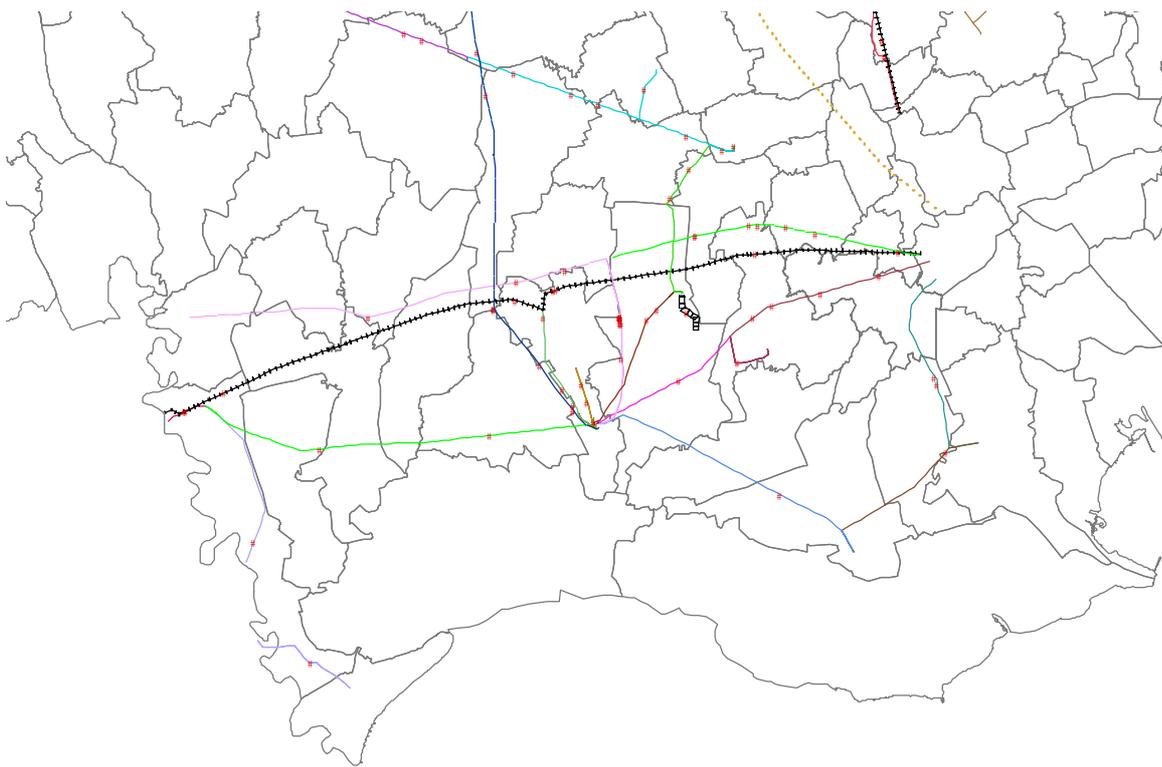


Figure 13 e14: disposizione dei punti di misura nel territorio Sud e Centro della provincia di Udine.

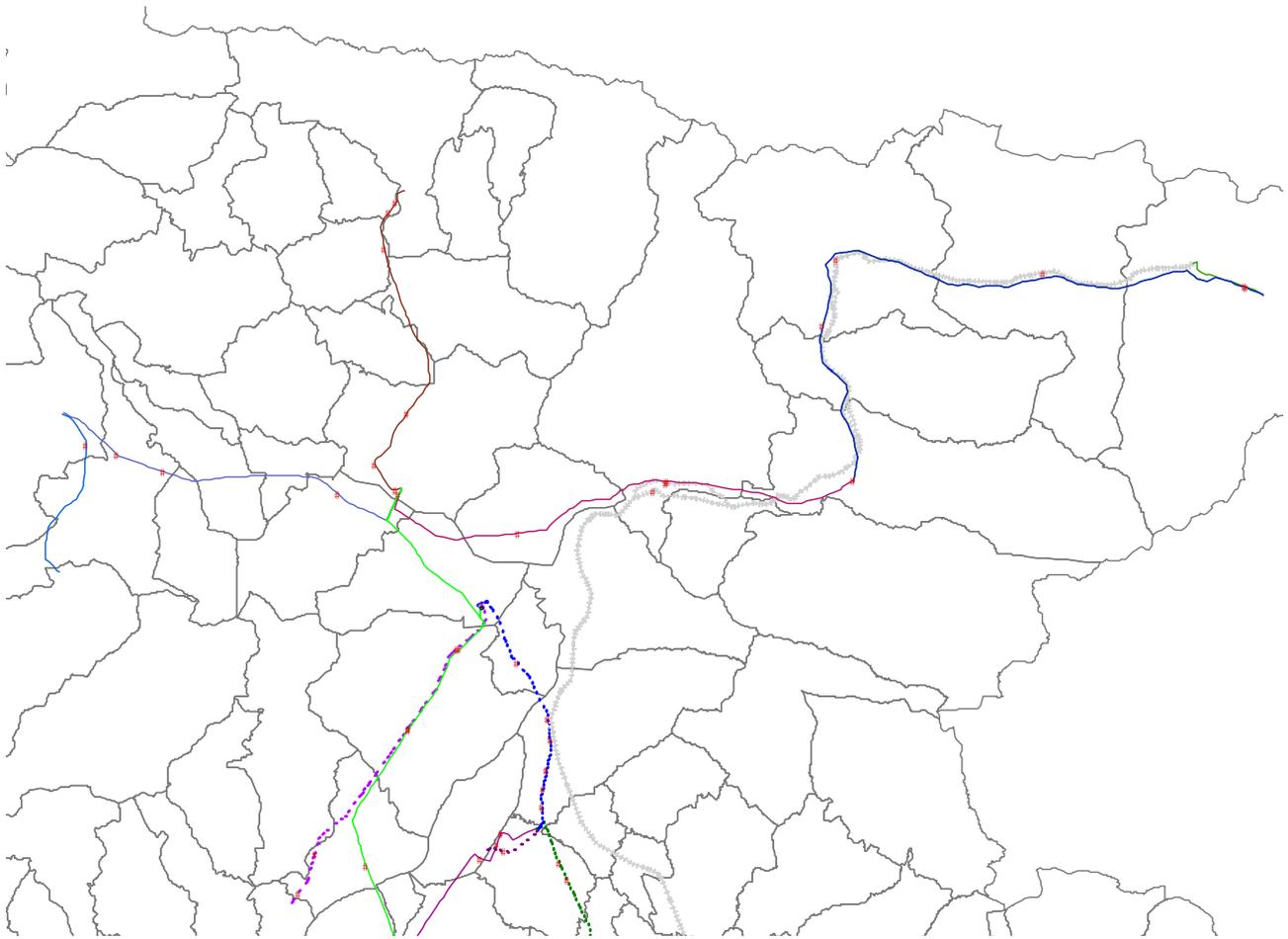


Figura 15 : disposizione dei punti di misura nel territorio Nord della provincia di Udine.

## 10 Analisi dei dati

### 10.1 Modalità di fornitura dei dati da parte dei vari gestori delle linee

Sul territorio della provincia di Udine sono presenti i seguenti gestori delle linee:

- GRTN
- Enel Distribuzione
- RFI
- Caffaro
- Caffaro Energia

Attualmente, ogni gestore presenta le proprie peculiari modalità di rilevazione e fornitura dei dati di corrente, come emerge dal verbale riportato in Allegato 4 e come descritto in dettaglio ai paragrafi successivi.

#### 10.1.1 GRTN

Effettua un monitoraggio delle correnti con campionamento di 15 minuti. Misura e registra, per le linee AAT (220-380 kV), nonché per alcune linee AT (132 kV), i valori efficaci di tensione

concatenata, potenza attiva e reattiva. In base alle relazioni dell'elettrotecnica estrae quindi il valore della corrente circolante nella linea. Dispongono di uno storico delle letture.

#### 10.1.2 Enel Distribuzione

Da una valutazione dei consumi fornisce la corrente circolante nella linea come media dei 15 minuti successivi a quelli di esecuzione delle misure. Non dispone di misurazioni della potenza attiva e reattiva. Gestisce la maggior parte delle linee a 132 kV. Dispongono di uno storico delle letture.

#### 10.1.3 RFI e Caffaro Energia

Prima dell'esecuzione delle misure è necessario contattare tale gestore per accertarsi della presenza di un sistema di monitoraggio delle correnti sulle linee. Non dispongono di uno storico delle letture.

#### 10.1.4 Caffaro

Al momento della misura viene contattato il personale Caffaro per una lettura in tempo reale dei valori di corrente. Non dispongono di uno storico delle letture.

Tenendo conto di questi vincoli sono state impostate le procedure di misura di cui ai paragrafi precedenti nonché le richieste dati riportate in Allegato 3.

### 10.2 Stato attuale della fornitura dati

Allo stato attuale non è ancora pervenuta all'ARPA FVG la totalità dei dati di corrente richiesti. Questo aspetto rappresenta una seria limitazione all'analisi delle misure effettuate per la verifica del rispetto del valore di attenzione e degli obiettivi di qualità di cui al DPCM 08.07.2003. Si sottolinea, tuttavia, l'attuale difficoltà a reperire i dati dai gestori, nonostante le prescrizioni previste dalla normativa vigente.

Poiché in molti casi non sono ancora pervenuti i dati di corrente al momento della misura, nonché le mediane cautelative nelle NCE, volendo, comunque, dare una prima interpretazione ai valori di CIM riscontrati sul territorio si è scelto di fare riferimento cautelativamente alla metà dei valori di legge ottenendo le seguenti quantificazioni estratte dal file *measure.shp*:

- a) sono stati rilevati 76 punti di misura con un valore di CIM maggiore od uguale a  $1.5 \mu\text{T}$  rappresentati in Figura 16 (file *magg1\_5.shp* nel CD-ROM allegato);
- b) sono stati rilevati 23 punti di misura con un valore di CIM maggiore od uguale a  $5 \mu\text{T}$  rappresentati in Figura 17 (file *magg5.shp* nel CD-ROM allegato). Tali punti sono stati rilevati esclusivamente in prossimità di linee AAT;

- c) sono stati rilevati 7 punti di misura con un valore di CIM maggiore od uguale a 10  $\mu$ T rappresentati in Figura 18 (file *magg10.shp* nel CD-ROM allegato). Tali punti sono stati rilevati esclusivamente in prossimità di linee AAT;

Dall'analisi delle tabelle e dei file di misura sopra elencati si evince che le linee a maggior impatto ambientale sono le linee AAT (220 kV e 380 kV) rispetto alle linee AT (132 kV).

Naturalmente si attendono i dati di corrente dai gestori prima di trarre qualsivoglia conclusione di rispetto o meno dei limiti di legge. Si anticipa comunque la previsione di un potenziale superamento dei valori di attenzione nei casi b) e soprattutto c) sopra elencati. Si fa, inoltre, presente che i risultati delle misure effettuate, sulla base del concetto di punto equivalente, possono essere adeguatamente estesi, per considerazioni qualitative, anche a quei luoghi, o comuni, che non presentano delle misurazioni sul proprio territorio in prossimità delle linee (si veda la Tabella 10). Alcuni comuni possono anche ritenere di approfondire le indagini nei casi a) di potenziale superamento dell'obiettivo di qualità soprattutto per le nuove costruzioni o previsioni di piano regolatore nei pressi di elettrodotti. Si ribadisce, a tal proposito, che i corridoi di rispetto dei 0.2  $\mu$ T qui presentati non sono assimilabili alle fasce di rispetto di cui all'art. 6, comma 1, del DPCM 08.07.2003.

Vengono fornite nelle seguenti figure delle rappresentazioni grafiche dei punti di misura per i casi a), b) e c):

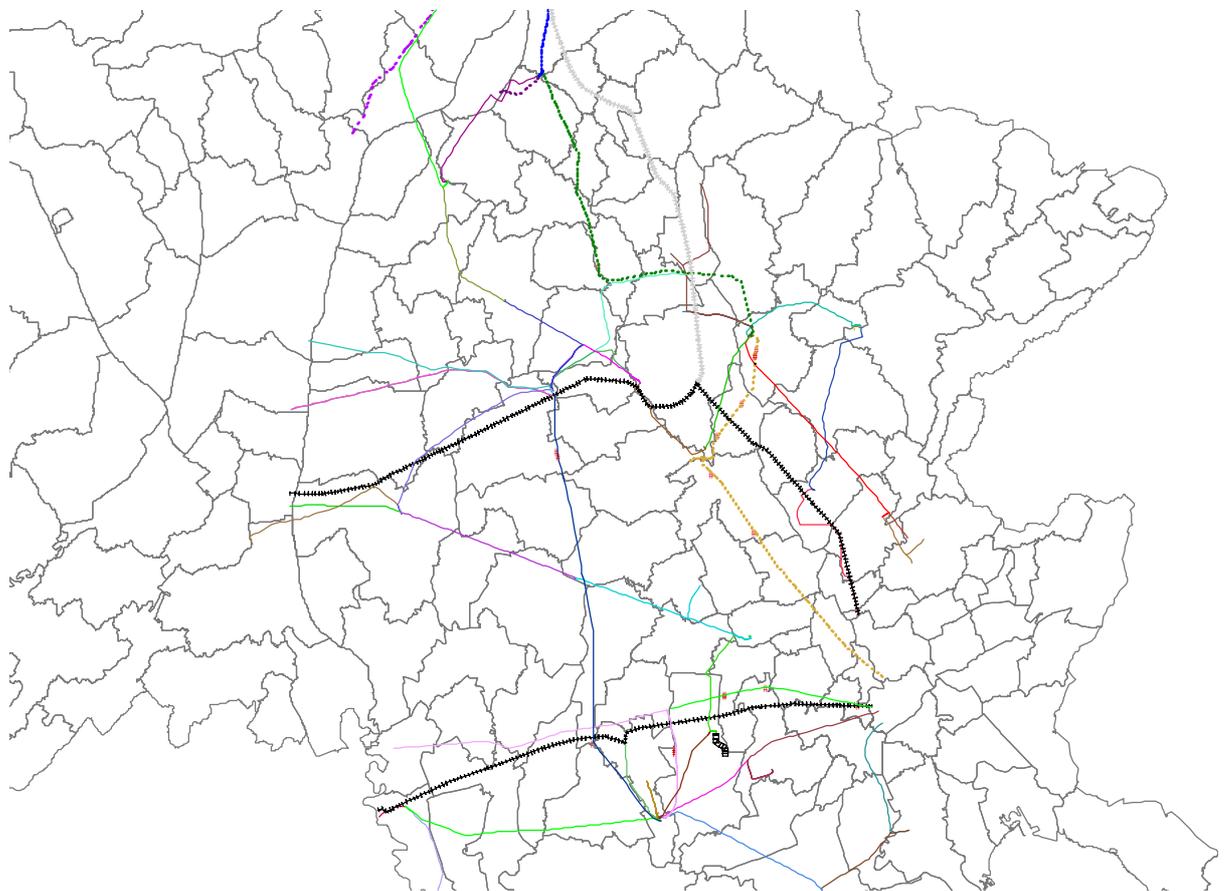
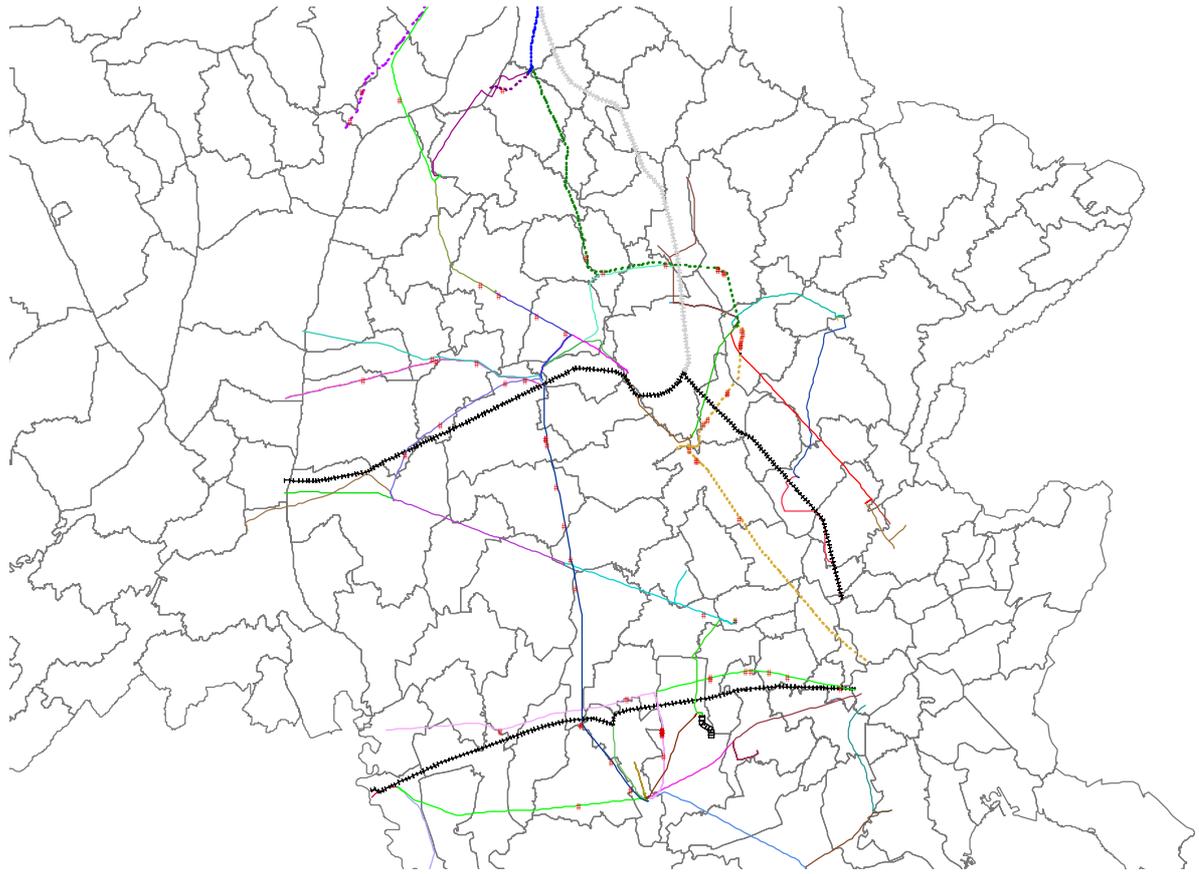


Figure 16 e 17: ubicazione punti di misura con valori di CIM maggiori di 1.5  $\mu$ T e 5 $\mu$ T.

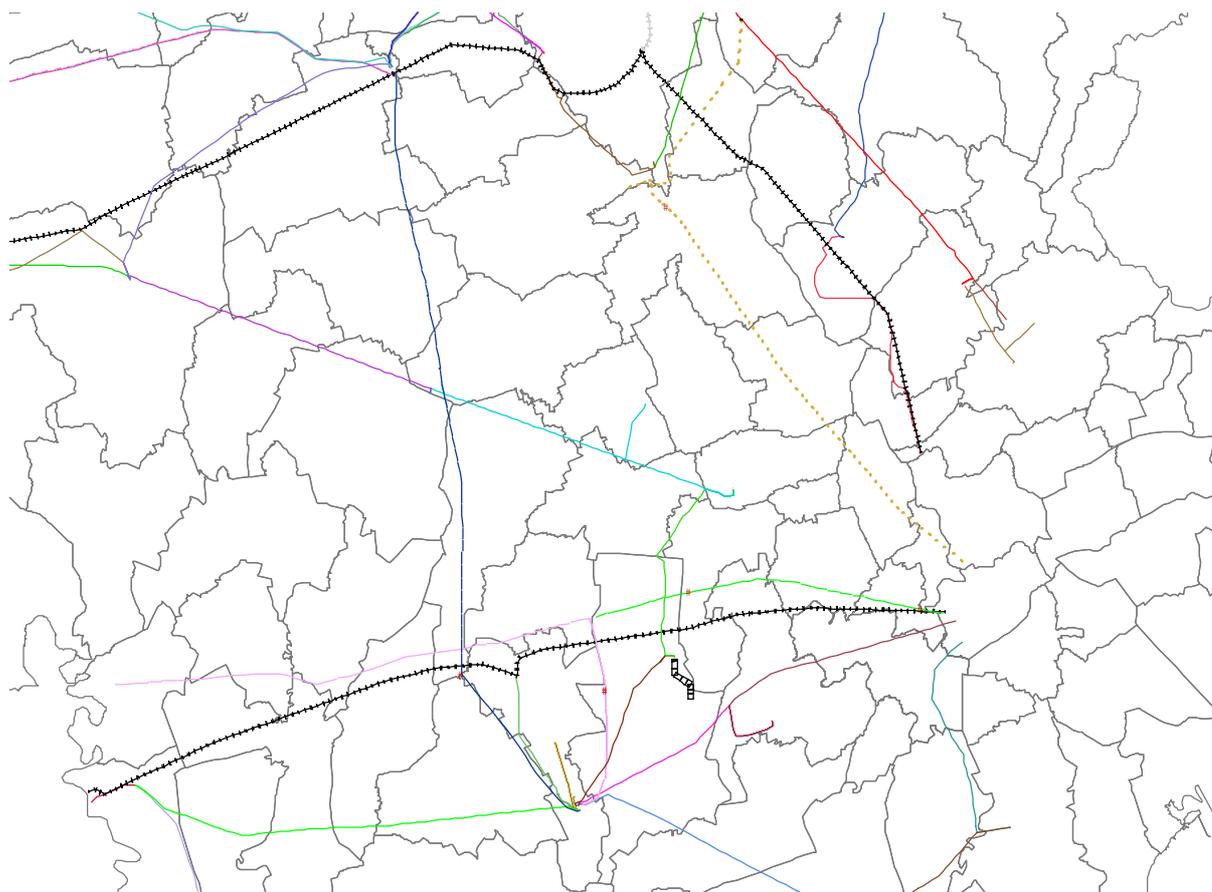


Figura 18: ubicazione punti di misura con valori di CIM maggiori di 10  $\mu\text{T}$

Preliminarmente è possibile fornire delle indicazioni sulla base delle correnti medie per l'anno 2002 in possesso dell'ARPA FVG, per 56 punti di misura, sempre applicando la (1) con tale valore di corrente al posto della mediana nelle NCE (per un'analisi più dettagliata si rimanda al par. 10.5), ottenendo le seguenti considerazioni:

- a) sono stati rilevati 28 punti di misura con un valore di CIM maggiore od uguale a 1.5  $\mu\text{T}$  (file *magg1\_5\_2002.shp* nel CD-ROM allegato);
- b) sono stati rilevati 9 punti di misura con un valore di CIM maggiore od uguale a 3  $\mu\text{T}$  (file *magg\_3\_2002.shp* nel CD-ROM allegato).
- c) sono stati rilevati 3 punti di misura con un valore di CIM compreso tra 5 e 9  $\mu\text{T}$  (file *magg\_5\_2002.shp* nel CD-ROM allegato).

Si fa presente inoltre che il valore medio di corrente è generalmente più cautelativo della corrente mediana [2].

### 10.3 L'indicatore di pressione $\beta$

Allo scopo di fornire ugualmente una descrizione della pressione esercitata dagli elettrodotti AT-AAT sul territorio della provincia di Udine, è stato messo a punto un apposito indicatore, definito come segue:

$$\beta \equiv \text{sg}|\rho_F - \rho_C| \frac{B_{\text{mis}}}{B_{\text{LIM}}} \quad (3)$$

in cui:

$\rho_F$ : è la densità di abitanti che rimane associata ad una linea ed è data dal numero di persone che risiedono entro i corridoi di rispetto degli 0.2  $\mu\text{T}$  diviso per la superficie occupata da tali corridoi entro i confini comunali;

$\rho_C$ : è la densità di abitanti di un dato comune ottenibile dal rapporto tra il numero di abitanti di un comune per la sua estensione superficiale;

$\text{sg}|\rho_F - \rho_C|$ : fornisce il segno della differenza ( $\rho_F - \rho_C$ ). Tale funzione assume valori positivi se  $\rho_F > \rho_C$  cioè se la densità di abitanti che ricade in una data fascia è maggiore della densità di abitanti presente nell'intero territorio comunale. Viceversa assume valori negativi se  $\rho_F < \rho_C$  cioè se la densità di persone esposte nel corridoio di rispetto degli 0.2  $\mu\text{T}$  è inferiore alla densità di persone del territorio comunale.

Il segno (+ o -) assunto da  $\beta$  permette quindi di stabilire se sono esposte più o meno persone del resto del territorio comunale. Può accadere che delle linee abbiano un percorso isolato, tale da interessare poche o nessuna abitazioni e quindi  $\beta$  sarà negativo. Può invece accadere che una linea intersechi il territorio comunale passando proprio sopra una zona densamente popolata e quindi  $\beta$  sarà positivo.

Per avere un'indicazione dell'entità dell'esposizione di suddetta popolazione, la funzione  $\text{sg}$  viene moltiplicata per il rapporto tra il valore efficace del CIM misurato,  $B_{\text{mis}}$ , ed il limite di legge,  $B_{\text{LIM}}$ :

Poiché il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità sono intesi come valori mediani sulle 24 ore nelle NCE, anche  $B_{\text{mis}}$  dovrebbe essere valutato in queste condizioni.

L'indicatore  $\beta$  va attribuito ad ogni punto di misure eseguito presso una data linea di un dato comune della provincia di Udine.

La peculiarità dell'indicatore  $\beta$  è quella di essere un indicatore *relativo*, dato che effettua un confronto della  $\rho_F$  con la  $\rho_C$  e dei livelli di CIM misurati  $B_{mis}$  con i limiti di legge  $B_{LIM}$ . Il confronto dei vari  $\beta$  che vengono valutati viene infatti eseguito con il valore unitario di  $\beta$ .

Inoltre, il riferimento alla densità di popolazione esposta indica quali comuni presentano un attraversamento del loro territorio, da parte delle linee elettriche, in zone densamente popolate.

Una ricchezza di informazioni maggiore è costituita dall'abbinamento dell'indicatore relativo  $\beta$  con l'indicatore di stato *assoluto* già presentato nella fase III al paragrafo 2. Si può ritenere che i due indicatori siano tra loro complementari nella descrizione dello scenario ambientale presente sul territorio provinciale, uno in termini relativi, l'altro in termini assoluti.

L'accesso alle informazioni derivanti dalla campagna di misure può avvenire direttamente presso il database *misure.shp* dove, comune per comune, si ha l'indicazione dei valori di campo rilevati e riscalati sulla base dei dati richiesti ai gestori finora pervenuti e sulla base della corrente media per il 2002.

Un ulteriore contenuto informativo può essere, invece, raggiunto mediante una valutazione ed una rappresentazione grafica dell'indicatore  $\beta$ , con lo scopo di avere una visione d'insieme dell'intero territorio provinciale.

Nella trattazione che segue, vista la mancanza attuale della completezza dei dati di corrente richiesti ai gestori, vengono fatte le seguenti scelte in modo da estrarre il maggior numero di informazioni possibili dalla campagna di misure:

- nel caso in cui sia pervenuta la corrente al momento della misura, viene fatta la proporzione con la corrente media per il 2002 ed il confronto con i limiti di legge;
- nel caso di totale assenza dei dati di corrente vengono considerate le misure a spot e confrontate cautelativamente con la metà dei limiti di legge (1.5  $\mu T$  per gli obiettivi di qualità e 5  $\mu T$  per il valore di attenzione).

Le osservazioni che verranno estratte richiederanno ulteriori indagini ed il confronto con le mediane per avere validità ai sensi del DPCM 08.07.2003.

#### 10.4 Analisi dei dati mediante l'indicatore $\beta$

Si può scegliere di rappresentare il valore di  $\beta$ , associato ad ogni punto di misura, su di un piano cartesiano in cui in ascissa viene indicato il rapporto  $\frac{B_{mis}}{B_{LIM}}$  ed in ordinata il rapporto  $\frac{\rho_F}{\rho_C}$ .

E' poi possibile disegnare due rette definite come segue:

- come il luogo dei punti del piano tali che  $\frac{B_{mis}}{B_{LIM}} = 1$  cioè quei punti in cui è stato misurato esattamente il valore di attenzione;
- come il luogo dei punti del piano tali che  $\frac{\rho_F}{\rho_C} = 1$  cioè quei punti tali che la popolazione che ricade nel corridoio degli 0.2  $\mu T$  ha la stessa densità del territorio comunale.

Nella figura seguente viene illustrato graficamente quanto esposto.

Sul  $\beta$ -piano è, inoltre, possibile tracciare la retta definita come il luogo dei punti del piano tali che  $\frac{B_{mis}}{B_{LIM}} = \frac{3}{10}$ , ovvero quella linea per cui a sinistra viene rispettato l'obiettivo di qualità di  $3\mu T$  mentre a destra viene superato. Allo stesso modo, per la valutazione dei dati privi di dati di corrente verranno tracciate le linee degli 1.5 e 5  $\mu T$  in luogo di quelle corrispondenti ai 3 e 10  $\mu T$ .

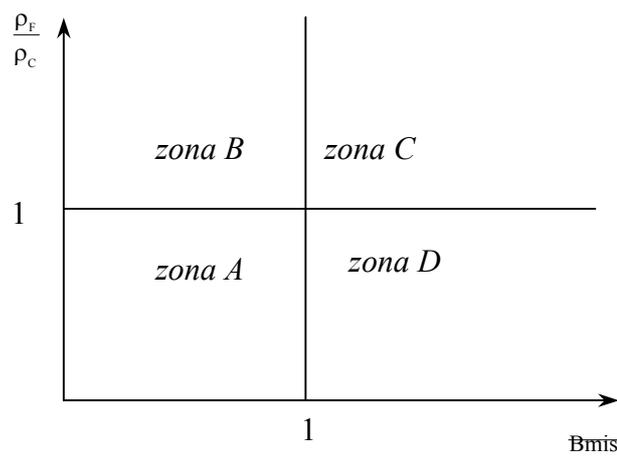


Figura 19:  $\beta$ -piano con la suddivisione in quattro zone.

Le due rette, quella orizzontale e quella verticale, definite all'inizio del paragrafo suddividono il piano in quattro quadranti. In ognuna di questi l'indicatore  $\beta$  assume dei valori tra loro ben distinti. Sempre con riferimento alla figura di cui sopra, rimangono individuate cioè le seguenti quattro zone:

*zona A:*  $\beta$  è negativo quindi  $\beta < 0$ , inoltre  $\frac{B_{mis}}{B_{LIM}} < 1$  e  $\frac{\rho_F}{\rho_C} < 1$  cioè sono rispettati i limiti di legge prescelti per la valutazione per una densità di popolazione inferiore a quella comunale ( $-1 < \beta < 0$ );

*zona B:*  $\beta$  è positivo quindi  $\beta > 0$ , inoltre  $\frac{B_{mis}}{B_{LIM}} < 1$  e  $\frac{\rho_F}{\rho_C} > 1$  cioè sono rispettati i limiti di legge prescelti per la valutazione per una densità di popolazione superiore a quella comunale ( $0 < \beta < 1$ );

*zona C*: cioè  $\beta$  è positivo quindi  $\rho_F > \rho_C$ , inoltre  $B_{mis} > B_{LIM}$  cioè sono superati i limiti di legge prescelti per la valutazione per una densità di popolazione superiore a quella comunale ( $\beta > 1$ );

*zona D*: cioè  $\beta$  è negativo quindi  $\rho_F < \rho_C$ , inoltre  $B_{mis} > B_{LIM}$  cioè sono superati i limiti di legge prescelti per la valutazione per una densità di popolazione inferiore a quella comunale ( $\beta < -1$ );

Mediante l'indicatore di pressione  $\beta$  è possibile rappresentare graficamente la situazione ambientale di un dato comune, area o territorio più estesi. Visivamente, i punti di misura, a seconda delle zone A, B, C o D in cui ricadono, forniscono le informazioni sull'entità dell'esposizione della popolazione. Per definizione, nell'equazione (3), si è implicitamente supposto che tutta la popolazione  $\rho_F$  sia esposta al valore  $B_{mis}$ , tale ipotesi è cautelativa. Inoltre è possibile, riferendosi a possibili scenari futuri, con l'aumento di  $\rho_F$ , seguire tale andamento osservando la migrazione dei punti nel  $\beta$  piano. Analogamente, un'altra campagna di misure ripetuta in futuro permetterà di visualizzare l'evoluzione temporale della situazione ambientale per mezzo della migrazione dei punti nel  $\beta$  piano.

Per una descrizione delle proprietà matematiche dell'indicatore  $\beta$  si rimanda all'Allegato 5.

### **10.5 Rappresentazione grafica delle misure sul $\beta$ piano**

Nel seguente  $\beta$  piano vengono rappresentati i punti di misura effettuati su tutto il territorio provinciale presso le linee AAT (220-380 kV) a maggiore impatto ambientale. E' stato fatto un confronto della corrente al momento della misura con la corrente media del 2002 (ove pervenuta). Tale elaborazione è stata possibile in quanto, ad oggi, sono state le uniche linee per le quali sono pervenuti i dati di corrente da parte dei gestori. Bisogna, comunque, aggiungere che si tratta delle linee più importanti per quel che riguarda l'esposizione della popolazione.

Dall'osservazione del diagramma riportato in Figura 20, si evincono le seguenti considerazioni in riferimento alla corrente media per il 2002:

- la maggior parte dei punti è in zona A cioè sono rispettati i 10  $\mu T$  per una densità di popolazione inferiore a quella dei comuni;
- alcuni punti sono in zona B cioè sono rispettati i 10  $\mu T$  per una densità di popolazione superiore a quella dei comuni;
- non ci sono punti nelle zone C e D e quindi non sono superati i 10  $\mu T$ ;
- in zona A alcuni punti superano i 3  $\mu T$  per una densità di popolazione inferiore a quella dei comuni.

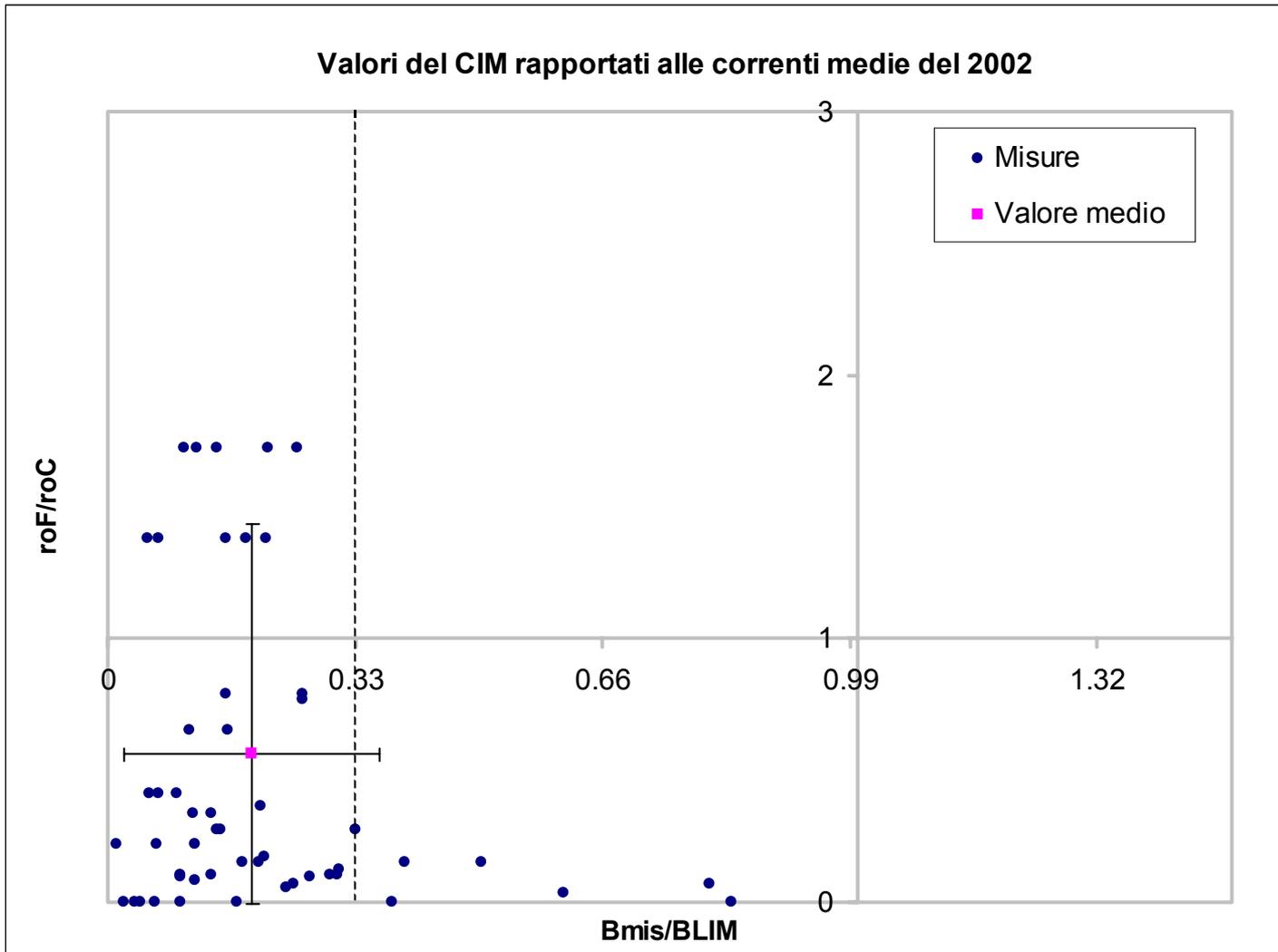


Figura 20:  $\beta$ -piano per le misure rapportate alla corrente media del 2002.

E' possibile estrarre, inoltre, sulla base dei concetti riportati in Appendice 5, il valore medio di  $\beta$  ottenendo:

$$\beta = -0.19$$

Tale valore è rappresentato graficamente dal punto rosso della figura 20, può essere descritto in base alle sue coordinate come segue:

$$(0.19 \pm 0.17, 0.57 \pm 0.87)$$

in cui sono stati aggiunti anche i valori delle deviazioni standard.

Tale valore può essere interpretato nel seguente modo: per i punti di misura per cui sono pervenuti i dati di corrente istantanei, si ha che una parte del territorio provinciale con una densità di popolazione inferiore a quella dei comuni è risultata esposta nel 2002 ad un valore medio di  $1.9 \mu\text{T}$  più o meno le rispettive deviazioni standard ricavate come in Allegato 5.

Nel seguente  $\beta$  piano vengono invece riportati i punti di misura effettuati presso le linee AT (132 kV) a minore impatto ambientale e per le AAT per le quali non sono disponibili i dati di corrente. Per un'analisi cautelativa preliminare le misure vengono confrontate con la metà dei limiti di legge:

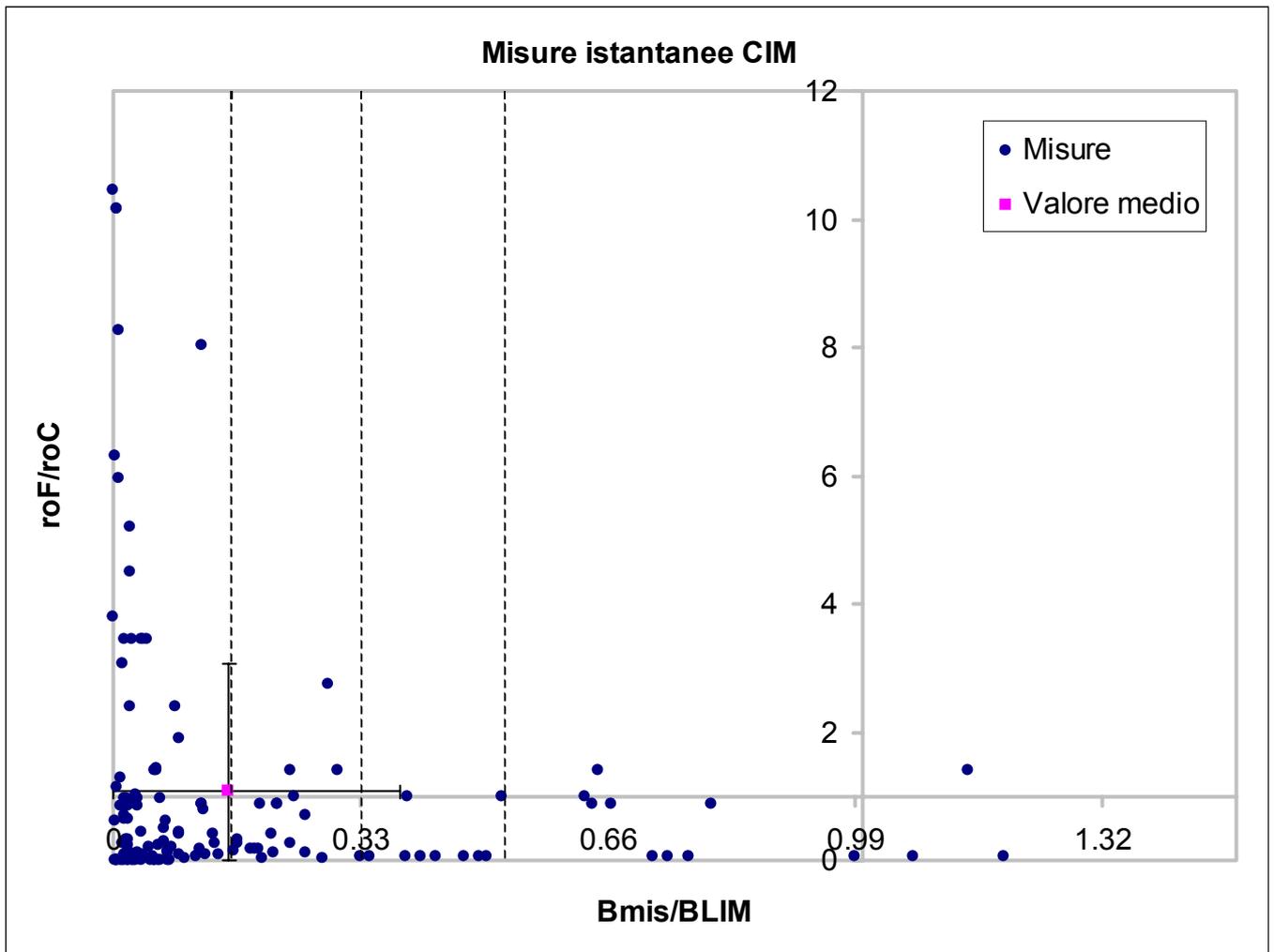


Figura 21:  $\beta$ -piano per le misure per le quali non sono pervenuti i dati di corrente.

Dall'osservazione del diagramma riportato in Figura 21, si evincono le seguenti considerazioni:

- la maggior parte dei punti è in zona A cioè sono rispettati i  $10 \mu\text{T}$  per una densità di popolazione inferiore a quella dei comuni;

- alcuni punti sono in zona B cioè sono rispettati i 10  $\mu\text{T}$  per una densità di popolazione superiore a quella dei comuni;
- ci sono punti nelle zone C e D e quindi sono superati i 10  $\mu\text{T}$ ;
- in zona A, alcuni punti superano gli 1.5  $\mu\text{T}$ , i 3  $\mu\text{T}$  ed anche i 5  $\mu\text{T}$  per una densità di popolazione inferiore a quella dei comuni.

E' possibile estrarre inoltre, sulla base dei concetti riportati in Appendice 5, il valore medio di  $\beta$  ottenendo:

$$\beta = 0.15$$

Tale valore è rappresentato graficamente dal punto rosso della figura 21, può essere descritto in base alle sue coordinate come segue:

$$( 0.15 \pm 0.23, 1.07 \pm 2.00 )$$

in cui sono stati aggiunti anche i valori delle deviazioni standard.

Tale valore può essere interpretato nel seguente modo: per i punti di misura si ha che una parte del territorio provinciale con una densità di popolazione comparabile a quella dei comuni è risultata esposta a dei valori istantanei pari a 1.5  $\mu\text{T}$ , più o meno le rispettive deviazioni standard ricavate come in Allegato 5.

Sulla base dell'elaborazione statistica presentata, si può concludere che la situazione ambientale del territorio della provincia di Udine per effetto degli elettrodotti è caratterizzata da:

- una bassa densità di popolazione esposta a valori di CIM compresi entro gli obiettivi di qualità;
- una bassa densità di popolazione esposta a valori di CIM compresi tra gli obiettivi di qualità ed i valori di attenzione;
- un' alta densità di popolazione esposta a valori di CIM inferiore agli obiettivi di qualità;
- dei casi particolari di potenziale superamento dei valori di attenzione caratterizzati sia da alta (Pavia di Udine) che da bassa densità di popolazione (Torviscosa).

Nel seguito vengono riportati in forma tabellare tutti i punti di misura suddivisi per Comune con l'indicazione delle linee coinvolte ed il corrispettivo indicatore  $\beta$ . Nelle note vengono elencati dei suggerimenti o la spiegazione dei casi particolari. Le amministrazioni comunali possono riferirsi

anche a questo strumento per l'interpretazione della propria situazione ambientale e per decidere eventuali ulteriori misure o simulazioni per le nuove costruzioni, nella logica dell'obiettivo di qualità. Tale strumento si trova anche il formato informatico nel CD-ROM allegato nel progetto ArcView *measure.apr* sottoforma di *shape-file: misure con i.shp e misure senza i .shp*.

COMUNE	CODICE LINEA	BETA	NOTE
AIELLO DEL FRIULI	ENEL 356	-0.31	
AIELLO DEL FRIULI	ENEL 356	-0.30	
BAGNARIA ARSA	ENEL 795	-0.17	
BAGNARIA ARSA	ENEL 356	-0.38	
BAGNARIA ARSA	ENEL 356	-0.83	
BASILIANO	ENEL 321	-0.50	
BASILIANO	ENEL 321	-0.18	
BASILIANO	ENEL 321	-0.20	
BASILIANO	ENEL 321	-0.40	
BORDANO	ENEL 195		Non ci sono persone nel corridoio
BUIA	ENEL 196	-0.14	
BUIA	ENEL 196	-0.11	
CAMPOLONGO AL TORRE	ENEL 356	-0.80	
CARLINO	ENEL 321	-0.15	
CARLINO	ENEL 321	-0.33	
CARLINO	ENEL 321	-0.14	
CASTIONS DI STRADA	ENEL 321	-0.24	
CERVIGNANO DEL FRIULI	ENEL 356	-0.31	
COLLOREDO DI MONTE ALBANO	ENEL 196	-0.26	
COSEANO	ENEL 361 e 704	-0.06	
COSEANO	ENEL 361 e 704	-0.07	
COSEANO	ENEL 361 e 704	-0.09	
COSEANO	ENEL 361 e 704	-0.10	
FLAIBANO	ENEL 704		Non ci sono persone nel corridoio
GEMONA DEL FRIULI	ENEL 195	0.19	
GEMONA DEL FRIULI	ENEL 195	0.16	
GEMONA DEL FRIULI	ENEL 195	0.07	
GEMONA DEL FRIULI	ENEL 195	0.21	
GEMONA DEL FRIULI	ENEL 195	0.05	
GONARS	ENEL 795	-0.12	
LESTIZZA	ENEL 321	-0.14	
LESTIZZA	ENEL 321	-0.10	
MERETO DI TOMBA	ENEL 265 e 719	-0.02	
MERETO DI TOMBA	ENEL 361 e 704	-0.03	
MERETO DI TOMBA	ENEL 361 e 704	-0.12	
MERETO DI TOMBA	ENEL 361 e 704	-0.07	
MERETO DI TOMBA	ENEL 361 e 704	-0.01	
MORTEGLIANO	ENEL 321	-0.21	
PAGNACCO	ENEL 196	-0.16	
PAGNACCO	ENEL 196	-0.26	
POCENIA	ENEL 347	-0.20	
POVOLETTO	ENEL 196	0.15	
POVOLETTO	ENEL 196	0.12	
POVOLETTO	ENEL 196	0.10	

POVOLETTO	ENEL 196	0.22	
POVOLETTO	ENEL 196	0.25	
SAN GIORGIO DI NOGARO	ENEL 321	-0.61	
SAN GIORGIO DI NOGARO	ENEL 347	-0.16	
SAN GIORGIO DI NOGARO	ENEL 347	-0.11	
TAVAGNACCO	ENEL 196	-0.27	
TAVAGNACCO	ENEL 196	-0.10	
TORVISCOSA	Caffaro I1=44A I2=78A	0.04	
TORVISCOSA	ENEL 347-356	-0.25	
TRASAGHIS	ENEL 265 e 719	-0.04	
TRASAGHIS	ENEL 265 e 719	-0.04	
TRASAGHIS	ENEL 265 e 719	-0.06	

Tabella 8: valori di  $\beta$  per i punti di misura per le linee per le quali è stato fatto il confronto con la corrente media per il 2002, i dati vengono raccolti per comune e viene anche fornita l'indicazione della linea in questione

COMUNE	CODICE LINEA	BETA	NOTE
AMARO	ENEL 573	-0.03	
AMPEZZO	ENEL 743	0.12	
AQUILEIA	ENEL 404		Non ci sono persone nel corridoio
BASILIANO	148 Meduno		dati linea non pervenuti
BASILIANO	ENEL 421	-0.12	
BASILIANO	ENEL 361	-0.20	
BASILIANO	ENEL 704		Non ci sono persone nel corridoio
BASILIANO	ENEL 421	-0.21	
BASILIANO	RFI 20000	-0.08	
BICINICCO	ENEL 732		Non ci sono persone nel corridoio
BUIA	ENEL 186	-0.17	
BUIA	ENEL 403	0.09	
BUIA	ENEL 403		Non ci sono persone nel corridoio
CAMPOFORMIDO	ENEL 552	0.01	
CARLINO	ENEL 734	-0.21	
CARLINO	ENEL 737		Non ci sono persone nel corridoio
CASTIONS DI STRADA	ENEL 732	-0.06	
CASTIONS DI STRADA	ENEL 732	-0.06	
CERCIVENTO	ENEL 416	0.01	
CERCIVENTO	ENEL 416	0.04	
CERVIGNANO DEL FRIULI	ENEL 356	-0.26	
CERVIGNANO DEL FRIULI	RFI 40000	-0.01	
CERVIGNANO DEL FRIULI	ENEL 725-733	-0.04	
CERVIGNANO DEL FRIULI	ENEL 733	-0.02	
CERVIGNANO DEL FRIULI	ENEL 733	-0.02	
CHIUSAFORTE	ENEL 708	0.00	
CIVIDALE DEL FRIULI	ENEL 410		Non ci sono persone nel corridoio
CODROIPO	RFI 20000	-0.07	
CODROIPO	ENEL 420	-0.12	
CODROIPO	ENEL 731	-0.03	
CODROIPO	ENEL 731	-0.06	
CODROIPO	ENEL 578	-0.02	
CODROIPO	ENEL 578	-0.01	
FAGAGNA	ENEL 717	0.29	
FAGAGNA	ENEL 718	-0.28	
FIUMICELLO	ENEL 423	-0.08	
FIUMICELLO	ENEL 423	-0.05	

FIUMICELLO	ENEL 424	-0.05	
FORGARIA NEL FRIULI	ENEL 719	-0.26	
FORGARIA NEL FRIULI	ENEL 265	-0.17	
FORGARIA NEL FRIULI	ENEL 265	-0.24	
GONARS	ENEL 732	-0.16	
GONARS	ENEL 732		Non ci sono persone nel corridoio
LATISANA	RFI 50000	0.00	
LATISANA	RFI 50000	0.02	
LATISANA	ENEL 307	0.08	
LATISANA	ENEL 407-304	0.03	
LATISANA	ENEL 407	-0.03	
MALBORGHETTO VALBRUNA	RFI 10000	0.00	
MANZANO	ENEL 745		Non ci sono persone nel corridoio
MANZANO	ENEL 436		Non ci sono persone nel corridoio
MANZANO	RFI30000		Non ci sono persone nel corridoio
MANZANO	ENEL 428		Non ci sono persone nel corridoio
MARTIGNACCO	ENEL 717	-0.19	
MARTIGNACCO	ENEL 717	-0.19	
MERETO DI TOMBA	ENEL 421	-0.34	
MERETO DI TOMBA	RFI 20000		Non ci sono persone nel corridoio
MOGGIO UDINESE	RFI 10000	-0.01	
MOGGIO UDINESE	ENEL 573	0.01	
MOGGIO UDINESE	RFI 10000	0.00	
OSOPPO	ENEL 403	-0.07	
PAGNACCO	ENEL 814	-0.01	
PALMANOVA	ENEL 795	-0.12	
PALMANOVA	ENEL 795	-0.18	
PASIAN DI PRATO	ENEL 566	-0.07	
PASIAN DI PRATO	ENEL 671	-0.03	
PASIAN DI PRATO	RFI 20000	0.03	
PASIAN DI PRATO	RFI 20000	0.05	
PASIAN DI PRATO	RFI 20000	0.04	
PAVIA DI UDINE	ENEL 292	0.65	
PAVIA DI UDINE	ENEL 292	0.30	
PAVIA DI UDINE	ENEL 292	0.06	
PAVIA DI UDINE	ENEL 292	0.06	
PAVIA DI UDINE	ENEL 292	1.14	
PAVIA DI UDINE	ENEL 292	0.24	
PONTEBBA	RFI 10000	0.01	
PONTEBBA	ENEL 708	0.00	
POVOLETTO	ENEL 799	-0.04	
POVOLETTO	ENEL 796-799		Non ci sono persone nel corridoio
POZZUOLO DEL FRIULI	ENEL 552	-0.04	
POZZUOLO DEL FRIULI	ENEL 552	-0.02	
PRADAMANO	ENEL 292	-0.52	
PRADAMANO	ENEL 292	-0.39	
PRADAMANO	ENEL 292	-0.24	
PRADAMANO	ENEL 292	-0.63	
PRECENICCO	ENEL 734	-0.12	
PREMARIACCO	ENEL 428		Non ci sono persone nel corridoio
REMANZACCO	ENEL 402	-0.02	
REMANZACCO	ENEL 402	-0.02	
REMANZACCO	ENEL 292	-0.20	

REMANZACCO	ENEL 292	-0.12	
REMANZACCO	ENEL 292	-0.12	
REMANZACCO	ENEL 292	-0.22	
REMANZACCO	ENEL 292	-0.80	
REMANZACCO	ENEL 292	-0.22	
REMANZACCO	ENEL 292	-0.64	
REMANZACCO	ENEL 745	0.02	
REMANZACCO	ENEL 735	0.06	
REMANZACCO	ENEL 292	-0.67	
RIVE D'ARCANO	ENEL 718	-0.13	
RIVE D'ARCANO	ENEL 718	-0.09	
RUDA	ENEL 733	-0.02	
RUDA	ENEL 733	-0.06	
SAN DANIELE DEL FRIULI	ENEL 718	-0.14	
SAN DANIELE DEL FRIULI	ENEL 403	-0.07	
SAN DANIELE DEL FRIULI	ENEL 719	-0.07	
SAN GIORGIO DI NOGARO	RFI 40000	-0.01	
SAN GIORGIO DI NOGARO	RFI 50000	-0.02	
SAN GIORGIO DI NOGARO	RFI 40000	-0.01	
SAN GIORGIO DI NOGARO	ENEL 737	-0.02	
SAN GIORGIO DI NOGARO	ENEL 737	-0.02	
SAN GIORGIO DI NOGARO	ENEL 795	-0.05	
SAN GIORGIO DI NOGARO	ENEL 417	0.00	
SAN GIORGIO DI NOGARO	ENEL 417-429	0.01	
SAN GIOVANNI AL NATISONE	ENEL 745	-0.02	
SAN GIOVANNI AL NATISONE	ENEL 436	-0.06	
SAN GIOVANNI AL NATISONE	RFI30000		Non ci sono persone nel corridoio
SEDEGLIANO	RFI 20000	-0.07	
SEDEGLIANO	ENEL 421		Non ci sono persone nel corridoio
SEDEGLIANO	ENEL 361		Non ci sono persone nel corridoio
SOCCHIEVE	ENEL 706	-0.02	
SOCCHIEVE	ENEL 706	-0.03	
SUTRIO	ENEL 416	0.02	
TALMASSONS	ENEL 578	-0.01	
TALMASSONS	ENEL 578	-0.06	
TARVISIO	ENEL 781	0.00	
TARVISIO	ENEL 708		Non ci sono persone nel corridoio
TAVAGNACCO	ENEL 814	-0.02	
TAVAGNACCO	ENEL 814	-0.04	
TOLMEZZO	ENEL 416	-0.02	
TOLMEZZO	ENEL 719-706	-0.02	
TOLMEZZO	ENEL 416	-0.02	
TOLMEZZO	ENEL 416	-0.03	
TORVISCOSA	ENEL 795	-0.09	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.72	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.49	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.39	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.43	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.47	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.50	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.41	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.99	

TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.74	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.11	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.77	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-1.07	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-0.33	
TORVISCOSA	356-347 doppia terna	-1.19	
TORVISCOSA	ENEL 795	-0.14	
TORVISCOSA	ENEL 725		Non ci sono persone nel corridoio
UDINE	ENEL 796-799	-0.10	
UDINE	RFI 20000	-0.02	
UDINE	RFI 20000	-0.09	
UDINE	RFI 30000	-0.04	
UDINE	RFI 20000	-0.03	
UDINE	RFI 20000	-0.01	
UDINE	RFI 20000	-0.02	
UDINE	ENEL 292	-0.02	
UDINE	ENEL 735	-0.03	
VERZEGNIS	ENEL 706	0.01	

Tabella 9: valori di  $\beta$  per i punti di misura per le linee per le quali non sono pervenuti i dati di corrente, i dati vengono raccolti per comune e viene anche fornita l'indicazione della linea in questione

A titolo di esempio si riportano nel seguito dei casi guida per l'interpretazione delle tabelle di cui sopra:

- il comune di Udine presenta una situazione ambientale con una densità di popolazione presso le linee inferiore a quella comunale e con dei valori di CIM nel rispetto dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità (rimarcando comunque il fatto che tale conclusione deve attendere la fornitura dei dati per assumere piena ufficialità);
- il comune di Gemona del Friuli presenta una situazione ambientale caratterizzata da una densità di popolazione presso le linee maggiore di quella comunale con dei valori di CIM prossimi ma nel rispetto degli obiettivi di qualità (facendo comunque riferimento ai valori di corrente media per il 2002 ed attendendo i dati richiesti ai gestori);
- il comune di Pavia di Udine presenta un punto "anomalo" rispetto al resto della campagna di misure: un punto con  $\beta$  positivo ed un potenziale superamento dei valori di attenzione (11.42  $\mu$ T), sempre nell'attesa dei dati di corrente dai gestori.

Sono rimasti esclusi dalla campagna di misure i comuni descritti nella seguente tabella. Nelle note viene data indicazione su come procedere in questi casi:

COMUNE	INDICAZIONI
<b>ARTA TERME</b>	Fare riferimento alle misure di Sutrio e Cercinvento
<b>ARTEGNA</b>	Fare riferimento alle misure di Gemona del Friuli e Buia
<b>ATTIMIS</b>	Non ci sono linee AT/AAT
<b>BERTIOLO</b>	Fare riferimento alle misure di Codroipo e Talmassons
<b>BUTTRIO</b>	Fare riferimento alle misure di Manzano e Premariacco

CAMINO AL TAGLIAMENTO	Non ci sono linee AT/AAT
CASSACCO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>CAVAZZO CARNICO</b>	Fare riferimento alle misure di Verzegnis, Amaro, Bordano e Trasaghis
<b>CHIOPRIS-VISCONI</b>	Fare riferimento alle misure di San Giovanni al Natisone
COMeglians	Non ci sono linee AT/AAT
<b>CORNO DI ROSAZZO</b>	Fare riferimento alle misure di San Giovanni al Natisone
<b>DIGNANO</b>	Fare riferimento alle misure di Flaibano
<b>DOGNA</b>	Fare riferimento alle misure di Pontebba e Chiusaforte
DRENCHIA	Non ci sono linee AT/AAT
<b>ENEMONZO</b>	Fare riferimento alle misure di Socchieve e Verzegnis
FAEDIS	Non ci sono linee AT/AAT
FORNI AVOLTRI	Non ci sono linee AT/AAT
FORNI DI SOPRA	Non ci sono linee AT/AAT
FORNI DI SOTTO	Non ci sono linee AT/AAT
GRIMACCO	Non ci sono linee AT/AAT
LAUCO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>LIGNANO SABBIAORO</b>	Fare riferimento alle misure di Latisana
LIGOSULLO	Non ci sono linee AT/AAT
LUSEVERA	Non ci sono linee AT/AAT
MAGNANO IN RIVIERA	Non ci sono linee AT/AAT
<b>MAJANO</b>	Fare riferimento alle misure di San Daniele del Friuli e Osoppo
MARANO LAGUNARE	Non ci sono linee AT/AAT
<b>MOIMACCO</b>	Fare riferimento alle misure di Remanzacco e Cividale del Friuli
MONTENARS	Non ci sono linee AT/AAT
<b>MORUZZO</b>	Fare riferimento alle misure di Pagnacco
<b>MUZZANA DEL TURGNANO</b>	Fare riferimento alle misure di Pocenia, San Giorgio di Nogaro e Carlino
NIMIS	Non ci sono linee AT/AAT
OVARO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>PALAZZOLO DELLO STELLA</b>	Fare riferimento alle misure di Pocenia, Latisana e Precenicco
<b>PALUZZA</b>	Fare riferimento alle misure di Cercinvento e Sutrio
PAULARO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>PORPETTO</b>	Fare riferimento alle misure di San Giorgio di Nogaro e Torviscosa
PRATO CARNICO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>PREONE</b>	Fare riferimento alle misure di Socchieve
PREPOTTO	Non ci sono linee AT/AAT
PULFERO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>RAGOGNA</b>	Fare riferimento alle misure di Forgaria nel Friuli e San Daniele del Friuli
RAVASCLETTO	Non ci sono linee AT/AAT
RAVEO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>REANA DEL ROIALE</b>	Fare riferimento alle misure di Povoletto, Udine e Tavagnacco
RESIA	Non ci sono linee AT/AAT
RESIUTTA	Non ci sono linee AT/AAT

RIGOLATO	Non ci sono linee AT/AAT
RIVIGNANO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>RONCHIS</b>	Fare riferimento alle misure di Pocenia
SAN LEONARDO	Non ci sono linee AT/AAT
SAN PIETRO AL NATISONE	Non ci sono linee AT/AAT
<b>SAN VITO AL TORRE</b>	Fare riferimento alle misure di Pavia di Udine
SAN VITO DI FAGAGNA	Non ci sono linee AT/AAT
SANTA MARIA LA LONGA	Non ci sono linee AT/AAT
SAURIS	Non ci sono linee AT/AAT
SAVOGNA	Non ci sono linee AT/AAT
STREGNA	Non ci sono linee AT/AAT
TAIPANA	Non ci sono linee AT/AAT
<b>TAPOGLIANO</b>	Fare riferimento alle misure di Pavia di Udine e Campolongo al Torre
TARCENTO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>TEOR</b>	Fare riferimento alle misure di Pocenia e Latisana
<b>TERZO D'AQUILEIA</b>	Fare riferimento alle misure di Aquileia
TORREANO	Non ci sono linee AT/AAT
TREPO CARNICO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>TREPO GRANDE</b>	Fare riferimento alle misure di Buia e Colloredo di Monte Albano
TRICESIMO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>TRIVIGNANO UDINESE</b>	Fare riferimento alle misure di Pavia di Udine
VARMO	Non ci sono linee AT/AAT
VENZONE	Non ci sono linee AT/AAT
<b>VILLA SANTINA</b>	Fare riferimento alle misure di Verzegnis e Socchieve
VILLA VICENTINA	Non ci sono linee AT/AAT
VISCO	Non ci sono linee AT/AAT
<b>ZUGLIO</b>	Fare riferimento alle misure di Tolmezzo e Sutrio

Tabella 10: elenco dei comuni privi di punti di misura.

In tabella 10 vengono evidenziati in grassetto i comuni privi di misure ma attraversati da linee elettriche AT/AAT. E' possibile fare riferimento ai comuni segnalati nelle indicazioni, sulla base dei punti equivalenti, per estrarre le informazioni sul grado di esposizione ai CIM.

Molti comuni non sono attraversati da linee AT/AAT.

Oltre alle linee AT/AAT, previste dalla convenzione, è stata misurata pure, una linea a 66 kV, di proprietà RFI, che attraversa il territorio provinciale da Udine a Tarvisio. Poiché attraversa dei territori densamente popolati, sono state delle misure presso tale linea nei comuni di Malborghetto Valbruna, Pontebba e Moggio Udinese. Sulla base del principio dei punti equivalenti è possibile ricondursi a queste misure per i seguenti comuni attraversati dalla linea in questione:

TARVISIO

DOGNA

CHIUSAFORTE

RESIUTTA

VENZONE  
GEMONA  
ARTEGNA  
MAGNANO IN RIVIERA  
TARCENTO  
TRICESIMO  
REANA DEL ROIALE  
TAVAGNACCO  
UDINE

## 11 Conclusioni

E' stata affrontata la problematica dell'esecuzione di misure di campo di induzione magnetica presso linee AT/AAT di un territorio di notevole estensione come la provincia di Udine. Scartata la possibilità di effettuare ovunque misure mediante centraline di monitoraggio in continuo, tranne che per un paio di punti, la scelta è ricaduta sull'esecuzione di misure a spot. In questo modo la campagna di misure ha assunto i connotati di un'indagine preliminare del territorio per l'individuazione di eventuali punti critici da analizzare in un secondo tempo mediante un monitoraggio prolungato nel tempo. Tale indagine potrà venire condotta sulla base dei punti di misura riportati in *misure.shp* e con il contributo delle singole amministrazioni comunali per la descrizione del territorio e per l'accesso ai siti critici.

I punti di misura sono stati scelti a partire dai corridoi di rispetto degli  $0.2 \mu\text{T}$ , costruiti nella fase II del presente progetto. Tali corridoi non possono essere elevati al ruolo di fasce di rispetto di cui all'art. 6, comma 1, del DPCM 08.07.2003. Per la determinazione di tali fasce è, infatti, necessario uno studio particolareggiato e focalizzato sul particolare sito di interesse. Inoltre, per la determinazione dei punti di misura, sono stati applicati i concetti di simmetria cilindrica, traslazionale e di punto equivalente che hanno permesso di ricoprire l'intero territorio provinciale mediante tecniche di estrapolazione delle informazioni.

E' stato implementato un apposito database informatico che contiene tutti i punti di misura georeferenziati con l'indicazione del luogo di misura, nonché del valore misurato e dei dati di corrente. Tale database è lo strumento principale per impostare, da parte delle amministrazioni, la ricerca dei punti critici, che può avvenire sulla base di specifiche ipotesi cautelative e di conoscenza del territorio. Si suggerisce, a tal scopo, di concentrare l'attenzione sulle linee AAT (220-380 kV): a maggiore impatto ambientale, sulle aree adibite all'infanzia e sulle aree ad alta densità di popolazione interessate da elettrodotti. Le amministrazioni comunali possono fare anche

riferimento, per un'analisi incrociata, all'indicatore assoluto di stato e all'indicatore relativo di pressione  $\beta$  riportato comune per comune nelle tabelle 8,9 e 10.

L'indicatore di pressione  $\beta$  segnala la presenza di una densità di popolazione maggiore o minore di quella comunale nei pressi delle linee ed il livello di esposizione della popolazione. Ad esempio, se ad un comune, per una data linea, è associato un indicatore  $\beta$  pari a 0.4 significa che un'area più densamente popolata del resto del territorio comunale è esposta a 4  $\mu$ T come mediana nelle 24 ore nelle NCE. Oppure, se ad un comune, per una data linea, è associato un indicatore  $\beta$  pari a - 0.2 significa che una parte del territorio meno popolata del resto del comune è esposta a 2  $\mu$ T.

Sulla base dell'elaborazione statistica presentata, si può concludere che la situazione ambientale del territorio della provincia di Udine per effetto degli elettrodotti è caratterizzata da:

- una bassa densità di popolazione esposta a valori di CIM compresi entro gli obiettivi di qualità;
- una bassa densità di popolazione esposta a valori di CIM compresi tra gli obiettivi di qualità ed i valori di attenzione;
- una alta densità di popolazione esposta a valori di CIM inferiore agli obiettivi di qualità;
- alcuni casi particolari di potenziale superamento dei valori di attenzione caratterizzati sia da alta (Pavia di Udine) che da bassa densità di popolazione (Torviscosa).

Non è ancora pervenuta all'ARPA FVG, da parte dei gestori, la totalità dei dati di corrente delle linee misurate per cui, è consigliabile, sulla base del presente lavoro di screening, procedere, per interessamento delle amministrazioni comunali, ad un monitoraggio continuo dei siti che sono risultati o risulteranno potenzialmente critici per un superamento dei limiti di legge.

Bisogna, inoltre, tenere presente il fatto che i carichi di corrente cui sono soggette le linee elettriche possono aumentare per effetto della domanda crescente negli anni, il presente lavoro, dunque, ha una valenza limitata nel tempo.

Solo un monitoraggio costante sul territorio può garantire il continuo controllo della situazione ambientale.

## 12 ALLEGATI

Vengono di seguito riportati i seguenti allegati:

- ALLEGATO 1: Quesito al legislatore;
- ALLEGATO 2: Tabelle con i punti di misura;
- ALLEGATO 3: Lettere di richiesta dati ai gestori;
- ALLEGATO 4: Verbale riunione con i gestori;
- ALLEGATO 5: Appendice Matematica.

## 13 Bibliografia

[1] *Calcolo previsionale dei campi elettromagnetici generati da elettrodotti*, Roberto Turri, Maurizio Albano-Giornata di studio: Elettrodotti e Territorio-nuove tecnologie per ridurre l'inquinamento elettromagnetico Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana-Padova 22 novembre 2000;

[2] M. Benes, M. Comelli, A. Drigo, C. Giovani, F. Montanari, R. Villalta, "*Strumenti per una mappatura degli elettrodotti: database, software di simulazione e monitoraggio*", Comunicazione orale, pag 21 Atti del Convegno Nazionale – Dal Monitoraggio degli agenti fisici sul territorio alla valutazione dell'esposizione ambientale, 29-31 Ottobre 2003, Villa Gualino, Torino.

Palmanova, 25.06.2003

Consulente Fisico  
*dott. Massimiliano Benes*

---

Consulente Fisico  
*dott. Francesco Montanari*

---

Referente  
*dott.ssa Anna Bampo*

---

Responsabile del progetto  
*dott. Renato Villalta*

---