



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente
Regione Autonoma Valle d'Aosta
Sezione Agenti Fisici – Area NIR

AOSTA: CITTA' SICURA ANCHE NEI 50 Hz



**MISURE E VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AI CAMPI
ELETTRICO E MAGNETICO A 50 Hz GENERATI DA
ELETTRODOTTI NEL COMUNE DI AOSTA**



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente
Regione Autonoma Valle d'Aosta
Sezione Agenti Fisici – Area NIR

AOSTA: CITTA' SICURA ANCHE NEI 50 Hz

MISURE E VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTRICO E MAGNETICO A 50 Hz GENERATI DA ELETTRODOTTI NEL COMUNE DI AOSTA

L'amministrazione comunale di Aosta ha dato incarico all'A.R.P.A., con deliberazione di Giunta Comunale n. 310 del 25/08/06 e successiva determinazione dirigenziale n. 1393 del 21/09/06, di condurre una campagna di misure, su tutto il territorio della città, dei livelli di campo elettrico e magnetico generati alla frequenza di rete di 50 Hz. Questi campi vengono generati dal mantenimento in tensione e dal passaggio della corrente negli impianti di distribuzione, trasporto e trasformazione dell'energia elettrica.

Una prima fase relativa alle misure effettuate negli edifici siti sul territorio interessato dal passaggio degli elettrodotti ad alta tensione, $V > 35$ kV, e la successiva valutazione dell'esposizione della popolazione residente è già stata conclusa (documento A200700350 inviato in data 29/11/2007 prot. n. 8371). Nel presente documento verrà illustrata l'attività relativa alle misure effettuate per l'individuazione dei livelli di campo magnetico generati dalla distribuzione finale dell'energia elettrica alle utenze ($V < 35$ kV).

1 L'energia elettrica e la generazione del campo elettromagnetico a bassa frequenza

Nella società odierna l'utilizzo dell'energia elettrica è ormai abituale e insito in una moltitudine di attività. Esiste una complessa rete di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica che parte dalle centrali di produzione ed arriva alle utenze attraverso diverse modalità. Con gli elettrodotti ad alta ed altissima tensione ($V > 35$ kV e $V > 300$ kV) l'energia viene trasportata per lunghi tratti di territorio senza possibilità di un utilizzo immediato. Nelle cabine di trasformazione primaria l'energia passa dagli elettrodotti ad alta tensione a quelli a media tensione (35 kV $> V > 1000$ V). Tali linee si diramano per tratti più brevi e più interni al territorio abitato. Infine nelle cabine di trasformazione secondarie l'energia elettrica viene trasformata in modo tale da poter essere trasportata fino ai contatori all'interno degli edifici, dove avviene poi la distribuzione nell'impianto elettrico domestico (bassa tensione: $V < 1000$ V).

Le grandezze elettriche rilevanti ai fini della valutazione dell'esposizione ai campi elettrico e magnetico generati dagli elettrodotti sono: la tensione applicata e la corrente transitante. La rete italiana, come quelle europee, è gestita con regime sinusoidale alla frequenza di 50 Hz. Il prodotto dei valori efficaci della tensione di linea e della corrente transitante fornisce la potenza elettrica della linea. Non esiste una relazione stabilita univocamente tra le due grandezze, ma in generale gli elettrodotti a tensione maggiore sono progettati per il trasporto a lunga distanza di ingenti flussi di energia e quindi sono percorsi da correnti elevate, benchè la scelta di utilizzare tensioni elevate porti, a parità di potenza, ad avere correnti minori e quindi minori perdite per effetto Joule.

Il trasporto, la distribuzione e l'utilizzo di energia elettrica comportano la generazione di campo elettrico e magnetico nell'ambiente intorno ai conduttori, più precisamente le parti in tensione generano campo elettrico e il flusso di corrente genera un campo magnetico. La generazione di tali campi non è utile al funzionamento degli apparati, si tratta di un effetto non voluto la cui intensità è anche legata alla geometria e alle dimensioni della sorgente. Questi due campi, nella vicinanza degli elettrodotti, sono indipendenti tra loro: dalla misura e valutazione dell'uno non si può risalire all'individuazione dell'altro.

Oltre alla rete di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica, anche gli impianti domestici, e in generale tutte le apparecchiature funzionanti con l'energia elettrica, generano i campi elettrico e magnetico. I campi generati dagli elettrodomestici, che sono sorgenti di dimensioni limitate nello spazio, possono essere molto intensi a ridosso delle apparecchiature ma si attenuano rapidamente allontanandosi dalla sorgente: già a distanze di 50 cm o 1 m i valori diventano di intensità trascurabile.

Per quanto riguarda la rete di media e bassa tensione la grandezza fisica misurata e per la quale si sono effettuate le valutazioni di esposizione nello studio in oggetto è il **campo magnetico** generato dal passaggio della corrente elettrica nei conduttori. Il **campo elettrico** per questa tipologia di impianti viene generato solo nelle immediate vicinanze dei conduttori ed è in ogni caso già in parte schermato dalle protezioni dei cavi stessi. Anche nel caso di elettrodotti aerei in fili nudi a media tensione, il valore del campo elettrico sotto i conduttori risulta trascurabile rispetto ai limiti normativi.

2 Normativa vigente e valori di riferimento

La normativa vigente riferita alla protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici generati da elettrodotti, è la seguente:

- Legge n. 36 del 22/02/01: “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.” (Gazzetta Ufficiale n. 55 del 7 marzo 2001),

con relativo decreto applicativo, previsto dall'art. 4,:

- DPCM 08/07/03 “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.” (Gazzetta Ufficiale n. 200 del 29 agosto 2003)

I livelli di riferimento previsti dal suddetto decreto applicativo sono descritti in Tabella 1:

Tabella 1. Riferimenti normativi

Tipo di campo	Limiti di esposizione	Valori di attenzione	Obiettivi di qualità
Elettrico	5000 V/m	Non previsto	Non previsto
Magnetico	100 μT	10 μT	3 μT

- **Limiti di esposizione:** sono i valori che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione della popolazione.

- **Valori di attenzione:** non devono mai essere superati nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza di persone non inferiore a quattro ore giornaliere.
- **Obiettivi di qualità:** da rispettare nella progettazione di nuovi elettrodotti e nella progettazione di nuovi insediamenti abitativi, di nuove aree gioco per l'infanzia, di nuovi ambienti scolastici e in generale di luoghi adibiti a permanenza di persone non inferiore a quattro ore giornaliere in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti sul territorio.

Il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità sono da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio della rete.

I limiti di esposizione sono stati introdotti a tutela della salute umana contro l'insorgenza degli effetti acuti, immediatamente conseguenti all'esposizione, mentre i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità hanno l'intento di tutelare la popolazione da eventuali effetti sulla salute a lungo termine.

La legge quadro n. 36/01 introduce, inoltre, il concetto di **fasce di rispetto per gli elettrodotti**, all'interno delle quali "non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore". Nel DPCM 08/07/03, vengono definiti i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto: esse sono le fasce circostanti l'elettrodotto soggette al superamento dell'obiettivo di qualità, calcolato tenendo conto di una portata in corrente dell'elettrodotto pari a quella in servizio normale come definita dalla norma CEI 11-60. La metodologia con cui si devono calcolare tali fasce è tuttora in fase di definizione, ma è provvisoriamente in vigore una nota del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del 15 novembre 2004, prot. DSA/2004/25291 che indica la procedura da seguire.

3 Strumentazione utilizzata per l'effettuazione dei rilievi

La strumentazione utilizzata per effettuare le misure è la seguente:

Misuratore di campo elettrico e magnetico ENERTECH Consultants. mod. EMDEXII

Risposta in frequenza: 40 – 800 Hz

Intervallo misura: Campo elettrico 10 – 15 000 V/m ; Induzione magnetica 0,01 – 300 μT

Indeterminazione associata alla singola misura: ± 1 %.

Misuratore di campo elettrico e magnetico ENERTECH Consultants. mod. EMDEX LITE

Risposta in frequenza: 40 – 800 Hz

Intervallo misura: Induzione magnetica 0,01 – 70 μT

Indeterminazione associata alla singola misura: ± 2 %.

Sistema LINDA

accessorio per l'acquisizione automatica delle misure di campo magnetico in funzione della distanza - da accoppiare al misuratore EMDEXII

Indeterminazione associata alla singola misura: ± 2 %.

La data di taratura degli strumenti sopra elencati è il 28/08/2006.

4 Attività svolte e analisi dei risultati

A.R.P.A. ha articolato l'indagine descritta in questa relazione in attività di misura diverse tra loro, legate dall'intento di descrivere in modo completo i valori di campo magnetico presenti sul territorio comunale e nel contempo approfondire le situazioni in cui risaltasse la possibilità per le persone residenti di una esposizione anomala rispetto ai valori di esposizione media che si riscontrano normalmente in ambiente di vita.

Le attività svolte sono le seguenti:

1. Misure lungo il reticolo cittadino.
2. Misure presso cabine di trasformazione secondarie MT/BT.
3. Misure interne ad edifici nei pressi di elettrodotti a media e bassa tensione.

Tutte le misure effettuate nelle attività sopra descritte sono state eseguite secondo quanto suggerito dalla norma CEI 211-6, data di pubblicazione 2001-01.

4.1 Misure lungo il reticolo cittadino

Sono state eseguite misure di campo magnetico lungo tutti i marciapiedi e le aree pedonali del territorio comunale al fine di ricavare l'esposizione nelle vie della città ed individuare possibili situazioni da approfondire, si ricorda che la maggiore parte degli elettrodotti asserviti alla distribuzione in media e bassa tensione viene interrata.

Tale attività è stata eseguita in due stagioni differenti, autunno/inverno e primavera/estate in modo da tener conto di eventuali variazioni di carico delle linee dovute al periodo stagionale. Inoltre tutte le misure sono state effettuate nella fascia oraria dalle 10 alle 13 perchè generalmente è considerata di alto carico.

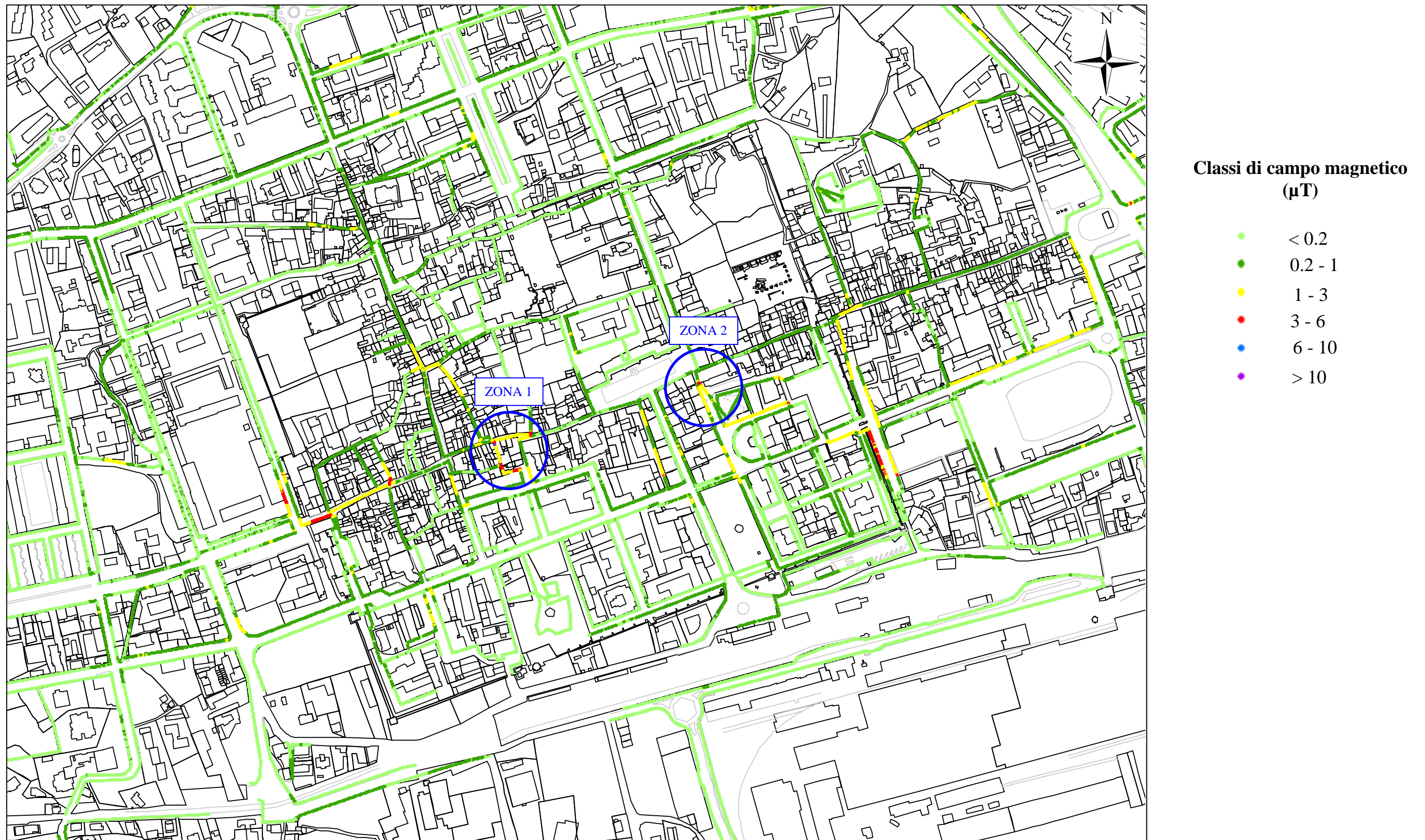
I rilievi sono stati eseguiti con il sistema di misura LINDA, in cui si associa il misuratore di campo ad una ruota tarata in modo da acquisire i valori di campo magnetico in funzione del percorso seguito. I dati di campo magnetico in funzione dei percorsi di misura vengono successivamente inseriti sulla planimetria del territorio cittadino fornita dall'amministrazione comunale. Le misure sono eseguite ad un'altezza dal piano di calpestio di circa 90 cm e con una frequenza di campionamento di 1.5 sec. Il misuratore associa una coordinata puntuale alla misura di campo ogni 30 cm circa, quindi l'operatore, spingendo la ruota tarata, deve camminare cercando di mantenere una velocità costante che consenta l'acquisizione uniforme dei valori di campo. I risultati ottenuti si riportano in planimetria suddivisi in classi di valori di campo magnetico associati a colori differenti, classi individuate in modo da descrivere in maniera chiara le variazioni dell'andamento del campo magnetico misurato. Tale classificazione è di seguito riportata in Tabella 2:

Tabella 2. Classi di campo magnetico espresse in μT

Colore	Classi di campo magnetico (μT)
Verde chiaro	≤ 0.2
Verde scuro	0.2-1.0
Giallo	1.0-3.0
Rosso	3.0-6.0
Blu	6.0-10
Viola	> 10

I risultati ottenuti da tale attività sono riportati nelle due planimetrie dell'**ALLEGATO 1**.

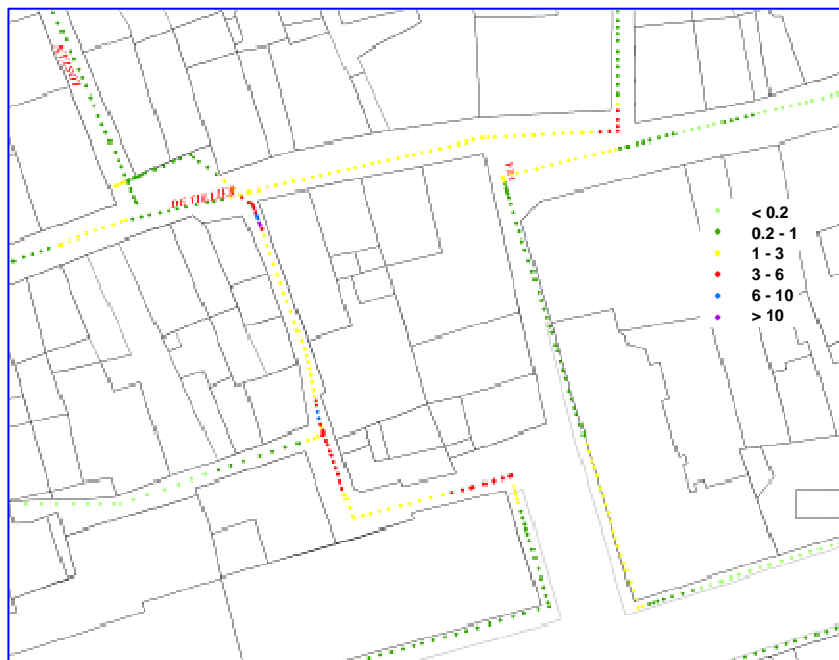
A titolo esemplificativo si riporta in Figura 1 la parte della planimetria relativa al centro storico di Aosta.

Figura 1. Centro storico di Aosta: misure di campo magnetico espresse in μT 

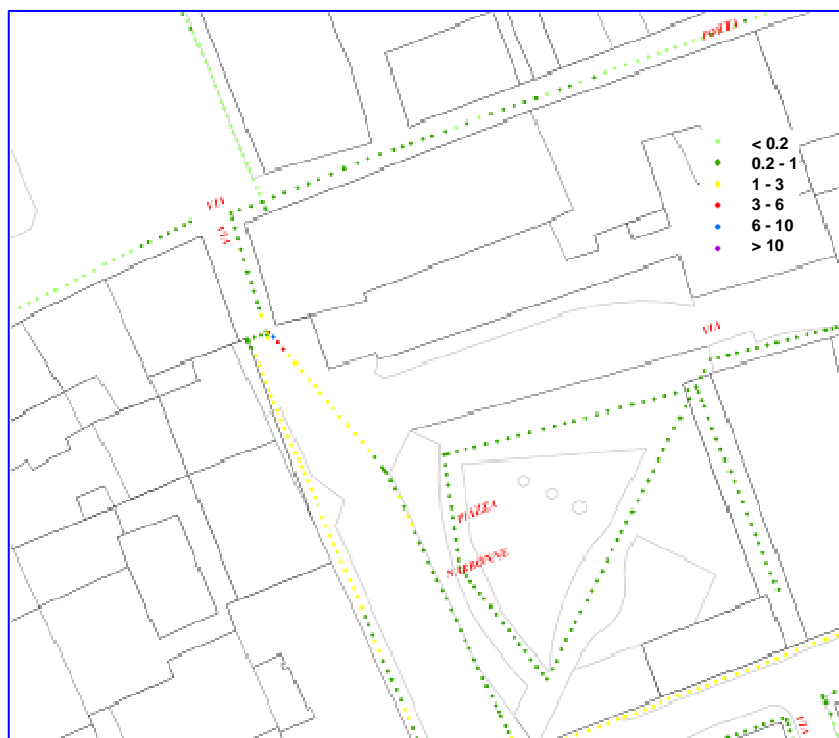
Scala 1:5000

Si riportano di seguito nella Figura 2 le planimetrie delle zone 1 e 2 cerchiata in blu nella Figura 1 in cui si evidenziano gli alti livelli di campo magnetico misurati.

Figura 2. Zone ad alti livelli di campo magnetico misurati



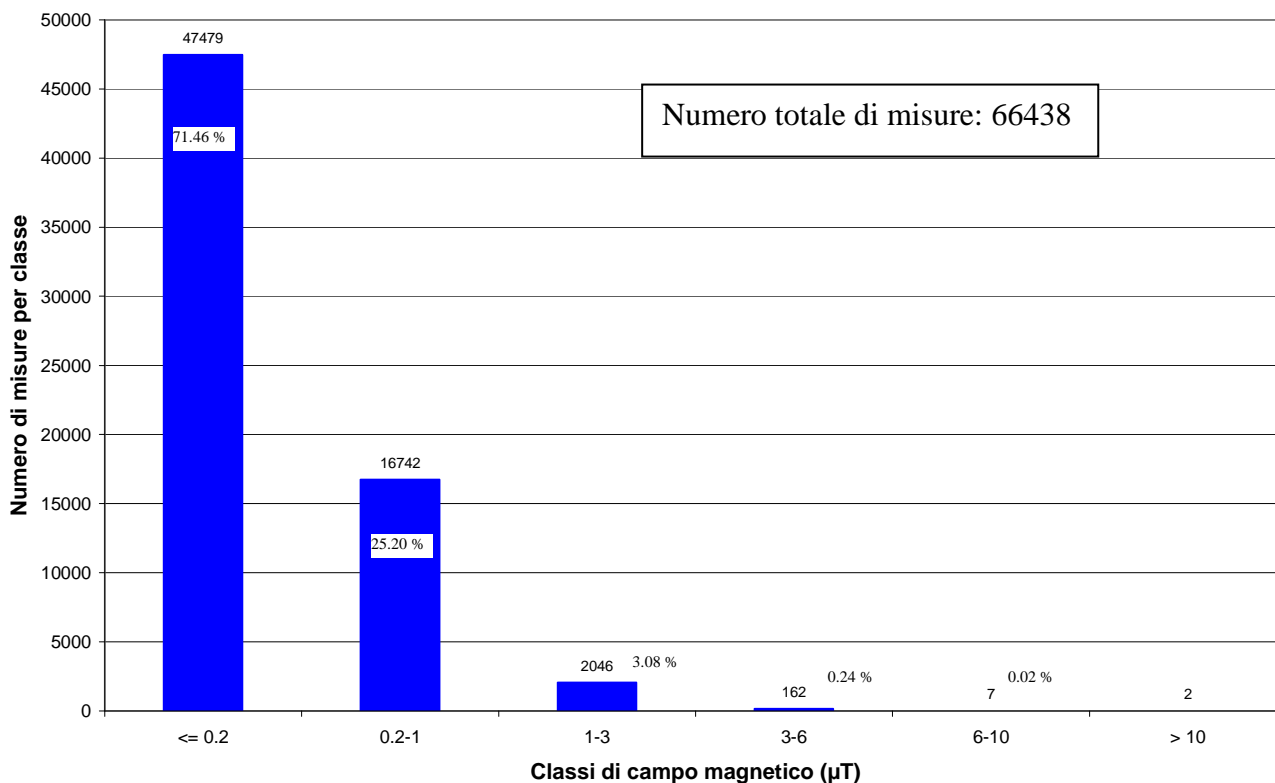
Zona 1, scala 1: 1000



Zona 2, scala 1:1000

Nel Grafico 1 viene riassunta la distribuzione dei valori di misura rilevati nella prima sessione di indagine, effettuata nella stagione autunno2006/inverno 2007, in funzione delle classi di valori di campo magnetico. Vengono indicati, inoltre, i valori percentuali rispetto al totale delle misure effettuate in tale sessione.

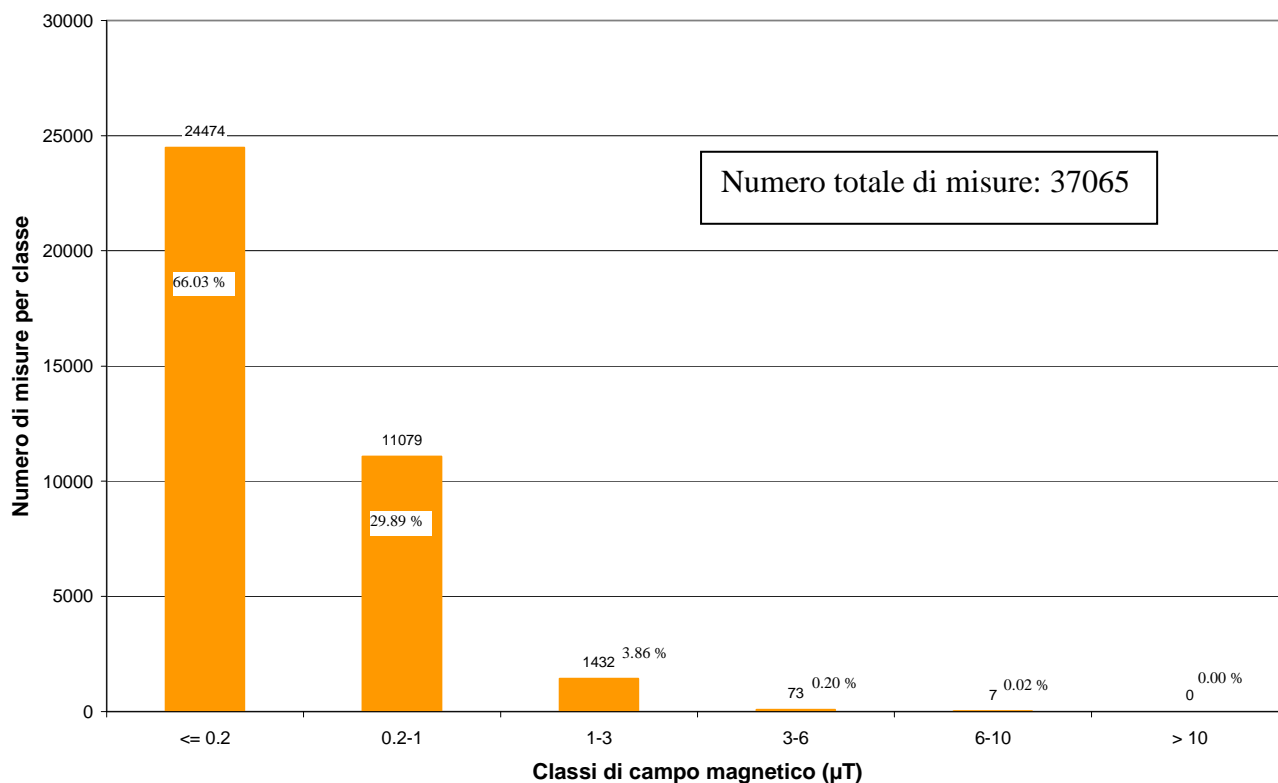
Grafico 1. Numero di misure per classe di campo magnetico, percorso autunno/inverno.



Come si può osservare dal Grafico 1 il 71.5 % dei rilievi ha fornito un valore di campo magnetico inferiore a $0.2 \mu\text{T}$, limite di taratura degli strumenti utilizzati. Il 25 % dei valori misurati è compreso tra 0.2 e $1 \mu\text{T}$, il 3 % è compreso tra 1 e $3 \mu\text{T}$, lo 0.26 % delle misure risulta maggiore di $3 \mu\text{T}$ ma inferiore a $10 \mu\text{T}$ e una percentuale irrilevante rispetto al numero totale di misure risulta maggiore di $10 \mu\text{T}$. Questi dati confermano che nella maggior parte del reticolo cittadino si risente debolmente della presenza dei cavi a media e bassa tensione per la distribuzione finale dell'energia elettrica. Il rilievo, però, in alcune zone, di un elevato valore di campo magnetico, a circa un metro sul livello del suolo, ha permesso l'individuazione di situazioni localizzate di possibili criticità all'interno di edifici.

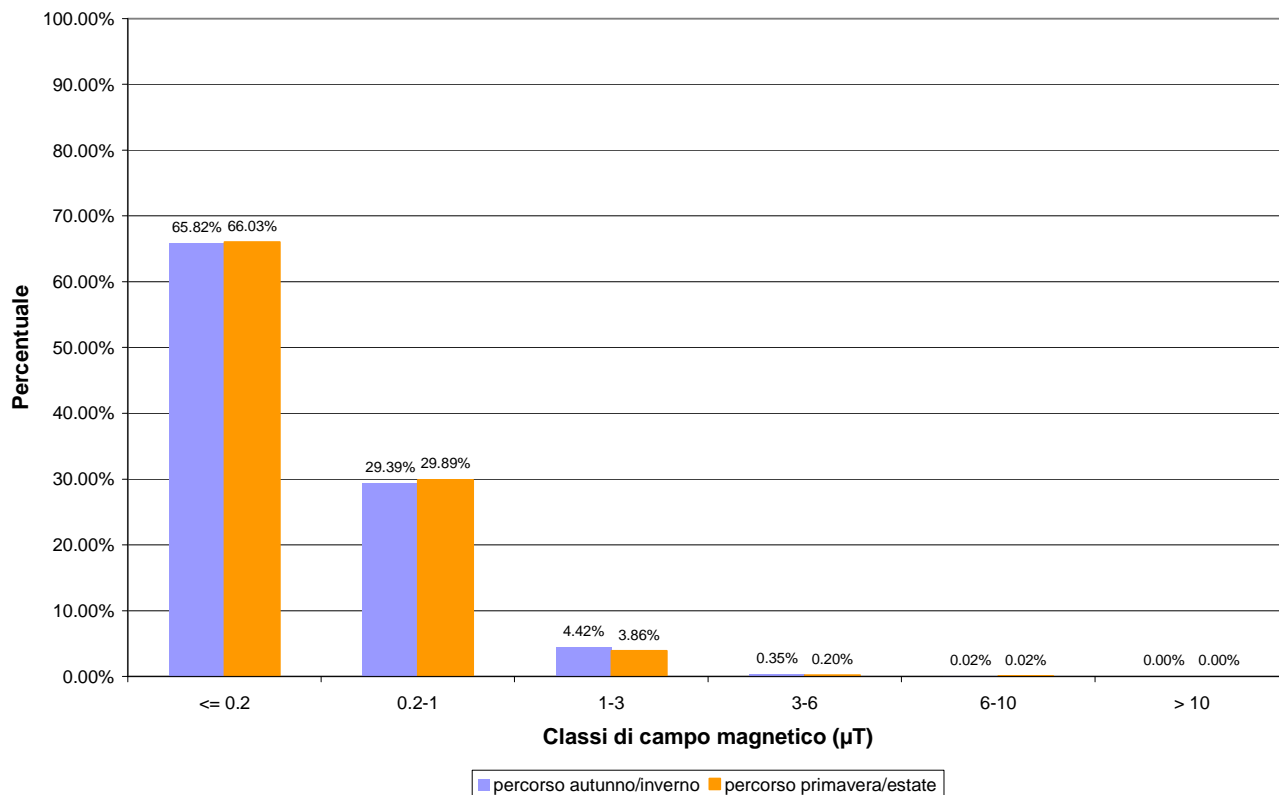
La seconda sessione di misure, nel periodo primavera/estate 2007, è stata effettuata in un numero minore di percorsi escludendo alcune zone di scarso passaggio i cui valori rilevati nella prima sessione ricadono nella classe inferiore di valori di campo magnetico; inoltre sono state escluse alcune vie secondarie in cui non erano stati rilevati valori significativi nella prima misura.

La distribuzione dei valori ricavati in questa seconda sessione di misure su reticolo cittadino è riportata nel Grafico 2: anche in questo caso si riportano i valori percentuali rispetto al totale delle misure effettuate.

Grafico 2. Numero di misure per classe di campo magnetico, percorso primavera/estate.

Il numero di punti rilevati nel periodo primavera/estate risulta circa il 55 % rispetto al numero di punti rilevati nella sessione di misure autunno/inverno.

Sono stati elaborati ulteriormente i dati acquisiti nei due periodi di misura in modo da essere confrontabili: precisamente sono stati esclusi dalla prima serie di misure i percorsi che non sono stati ripetuti nel secondo periodo. Il risultato di tale elaborazione è riportato nel Grafico 3 in forma percentuale:

Grafico 3. Confronto sessioni di misura su reticolo cittadino.

L'osservazione del Grafico 3 mostra che le differenze tra il periodo autunno/inverno e quello primavera/estate sono limitate sostanzialmente alle classi di valori da 1 a 6 μT , rimanendo in ogni modo di modesta entità. Ciò può indicare che, per quanto riguarda la distribuzione finale dell'energia elettrica, non vi sono variazioni rilevanti dei carichi di corrente, e di conseguenza dell'esposizione al campo magnetico, per i luoghi o gli edifici interessati dalla rete di distribuzione medesima. Questa affermazione è valida tenendo conto del fatto che i rilievi sono stati eseguiti, per entrambe le sessioni di misura, nelle medesime fasce orarie.

4.2 Misure prolungate nel tempo presso cabine di trasformazione MT/BT

Sono state eseguite misure prolungate nel tempo in vicinanza di cabine elettriche di trasformazione secondarie, cioè da media a bassa tensione, per verificare gli andamenti temporali giornalieri o settimanali della distribuzione dell'energia elettrica.

Le cabine di trasformazione MT/BT sono impianti complessi della rete di distribuzione e difficilmente modellizzabili rispetto alle linee. Inoltre, localmente, possono generare forti campi magnetici disuniformi. Risulta quindi fondamentale l'esecuzione di misure, puntuali e prolungate nel tempo, per acquisire tutte le informazioni necessarie alla valutazione dell'impatto elettromagnetico da esse generato.

Inizialmente per ogni intervento sono state eseguite alcune misure puntuali nell'intorno della cabina da monitorare, in base al loro risultato e alle condizioni del luogo, si è scelto il punto più significativo in cui posizionare lo strumento per il rilievo in continuo dei valori di campo magnetico. Lo strumento è sempre stato posizionato in esterno, in una custodia di plastica per evitarne il danneggiamento da agenti atmosferici. La minima distanza tra strumento e parete della cabina è stata di circa 10 cm. Il tempo di campionamento è stato impostato a 2 minuti e lo strumento è stato lasciato in misura per circa due settimane.

La variabilità della corrente transitante negli elettrodotti di media e bassa tensione è molto pronunciata perchè è legata alla richiesta di energia elettrica delle utenze. Di conseguenza anche l'andamento del campo magnetico da essi generato varia fortemente. Durante la giornata o la settimana, però, gli andamenti della corrente presentano una certa ripetibilità. A seconda che la zona di interesse sia una via commerciale, un quartiere residenziale o una zona industriale, sono chiaramente visibili momenti della giornata o giorni della settimana con una maggior richiesta di energia rispetto ad altri. Tutto ciò si rispecchia nell'andamento del campo magnetico. Il monitoraggio è stato eseguito per alcune cabine nei due diversi periodi stagionali, per altre a diversa distanza dalla cabina stessa per valutare la variabilità spaziale del campo magnetico generato.

I singoli interventi sono riportati nelle schede dell'**ALLEGATO 2**.

Si mostrano di seguito in Figura 3 i punti delle cabine presso le quali sono state effettuati i monitoraggi.

Figura 3. Cabine di trasformazione MT/BT monitorate sul territorio del comune di Aosta



scala 1:25000

I dati ottenuti sono stati elaborati ricavando le medie nei singoli giorni e per ogni giorno la singola media notturna. Inoltre sono state ricavate anche le mediane giornaliere e notturne perchè tale parametro è quello indicato dalla normativa vigente per il confronto delle misure con i limiti di legge. La verifica legale del rispetto dei limiti di esposizione non è l'obiettivo primario della presente attività, che si prefigge di valutare l'esposizione media della popolazione. Ciò non di meno, il confronto dei valori misurati con i riferimenti normativi costituisce un approfondimento conoscitivo.

Si riporta di seguito la Tabella 3 con riassunti i valori delle medie di tutte le misure e le medie delle sole misure notturne (viene considerato orario notturno quello che va dalle 10 di sera alle 6 del mattino successivo) ed i massimi delle mediane giornaliere e notturne ricavate per ogni cabina controllata. Si ricorda che il valore di attenzione è definito in 10 μT , mentre l'obiettivo di qualità ha valore di 3 μT , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio della rete.

Tabella 3. Valori medi e mediane giornaliere e notturne massime, in prossimità di cabine di trasformazione MT/BT, valori espressi in μT

PUNTO DI MISURA	Media totale	Mediana giornaliera massima	Media notturna	Mediana notturna massima
Dipartimento Industria V.le dei Partigiani autunno/inverno	4.68	5.25	4.15	4.41
Dipartimento Industria V.le dei Partigiani primavera/estate	4.84	5.9	4.2	4.51
Scuola Einaudi c.so XXVI Febbraio autunno/inverno	1.28	1.45	0.93	1.04
Scuola Einaudi c.so XXVI Febbraio primavera/estate	1.32	1.47	1.01	1.17
Condominio V.le Europa autunno/inverno	1.04	1.18	0.85	0.92
Condominio V.le Europa primavera/estate	0.98	1.05	0.86	0.89
Abitazione in costruzione Via Seigneurs de Quart – 10 cm	37.82	43.9	41.28	48.97
Abitazione in costruzione Via Seigneurs de Quart – 50 cm	3.66	4.1	4.07	4.33
Abitazione in costruzione Via Seigneurs de Quart – 100 cm	1.34	1.44	1.44	1.59
Via 1° Maggio, area CAS – 10 cm	9.35	10.87	6.23	6.20
Via 1° Maggio, area CAS – 60 cm	2.33	2.67	1.56	1.51
Via 1° Maggio, area CAS – 100 cm	0.95	1.16	0.65	0.64

I valori della Tabella 3 sono stati riportati anche in formato grafico: precisamente nell'istogramma del Grafico 4 si riportano i valori medi di tutte le misure e le medie delle misure notturne delle cabine in cui il monitoraggio è stato effettuato in due periodi stagionali differenti. Invece nel Grafico 5 si riporta l'istogramma dei valori medi e medie notturne dei monitoraggi effettuati a diverse distanze dalla parete delle cabine.

Grafico 4. Cabine di trasformazione MT/BT: valori medi totali e notturni in stagioni differenti.

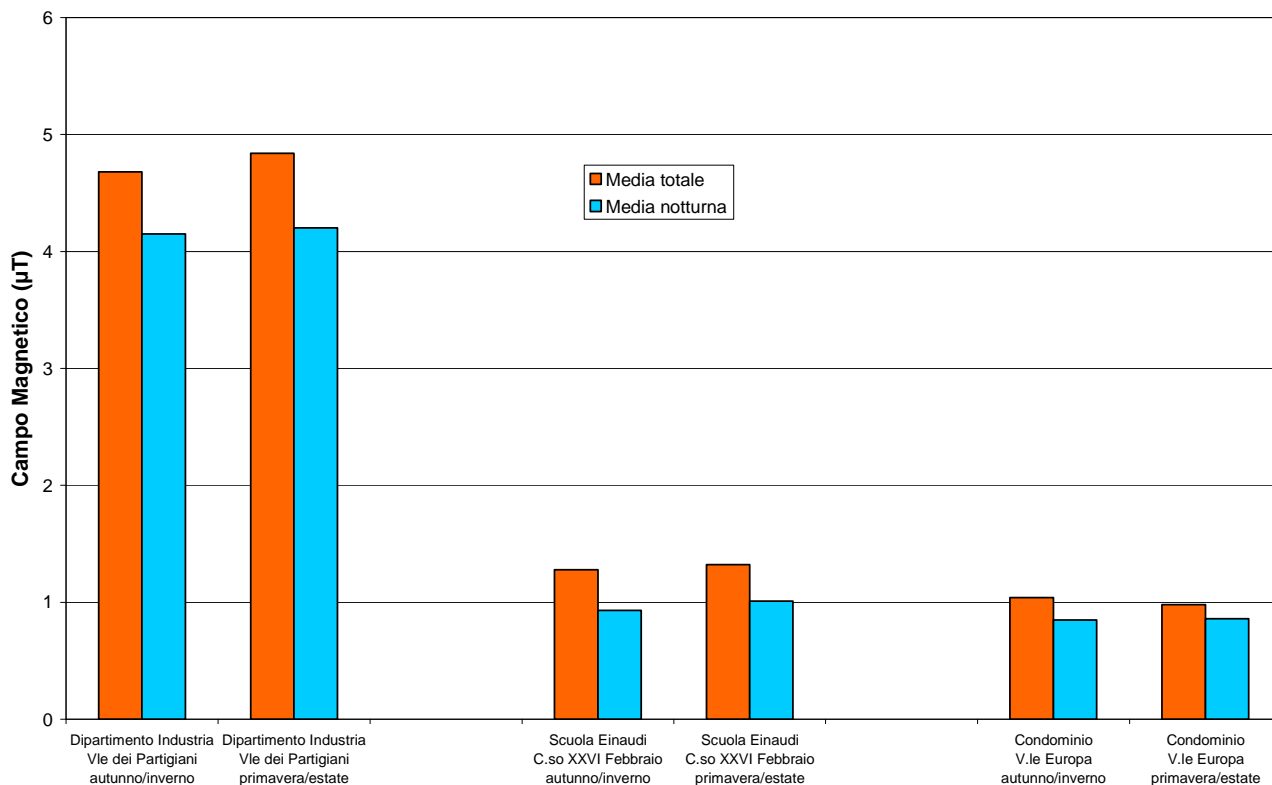
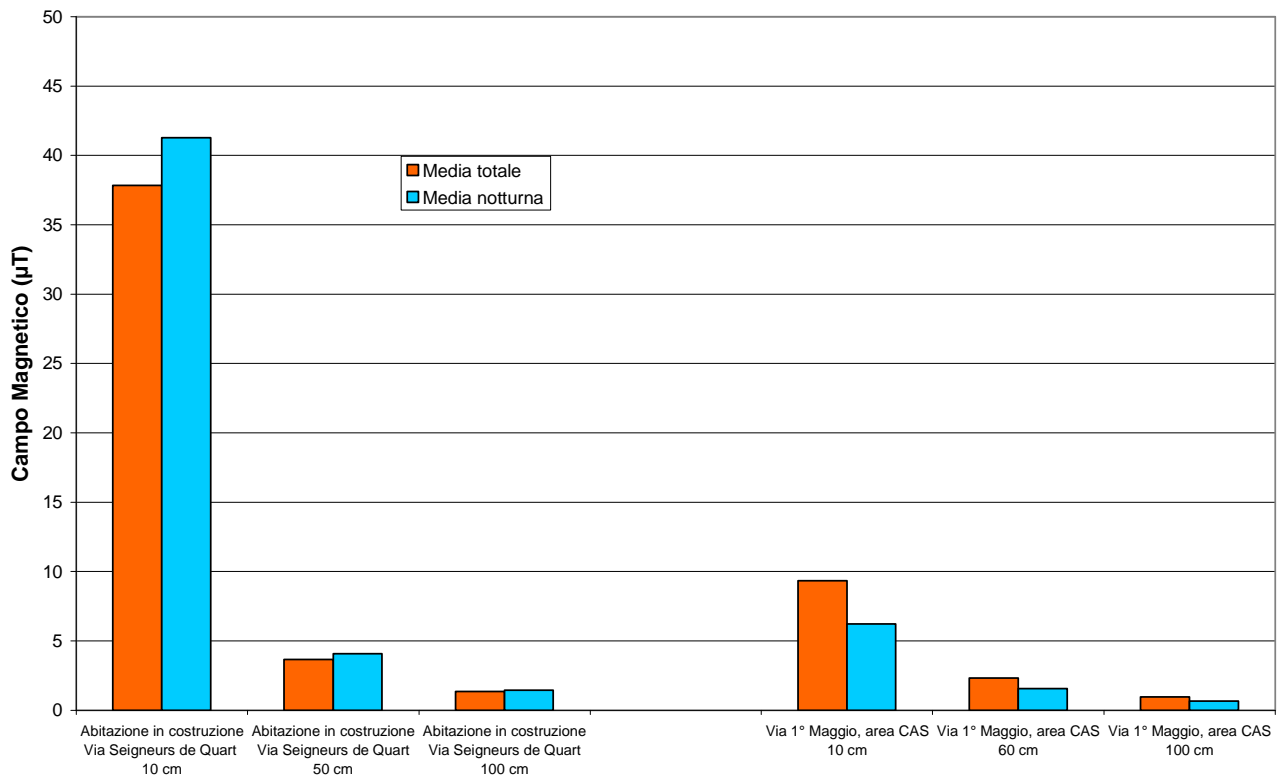


Grafico 5. Cabine di trasformazione MT/BT: valori medi totali e notturni, misure a distanza diversa dalla parete della cabina.



Generalmente la media delle sole ore notturne è inferiore alla media di tutte le misure, questo ad indicare una minor richiesta di energia elettrica di notte quando le attività industriali, dei servizi e domestiche si riducono. Questa tendenza non è rispettata dalla cabina sita in via Seigneurs de Quart. Essendo tale zona esclusivamente residenziale, tale fenomeno potrebbe essere attribuito ad esempio all'allacciamento dell'illuminazione pubblica.

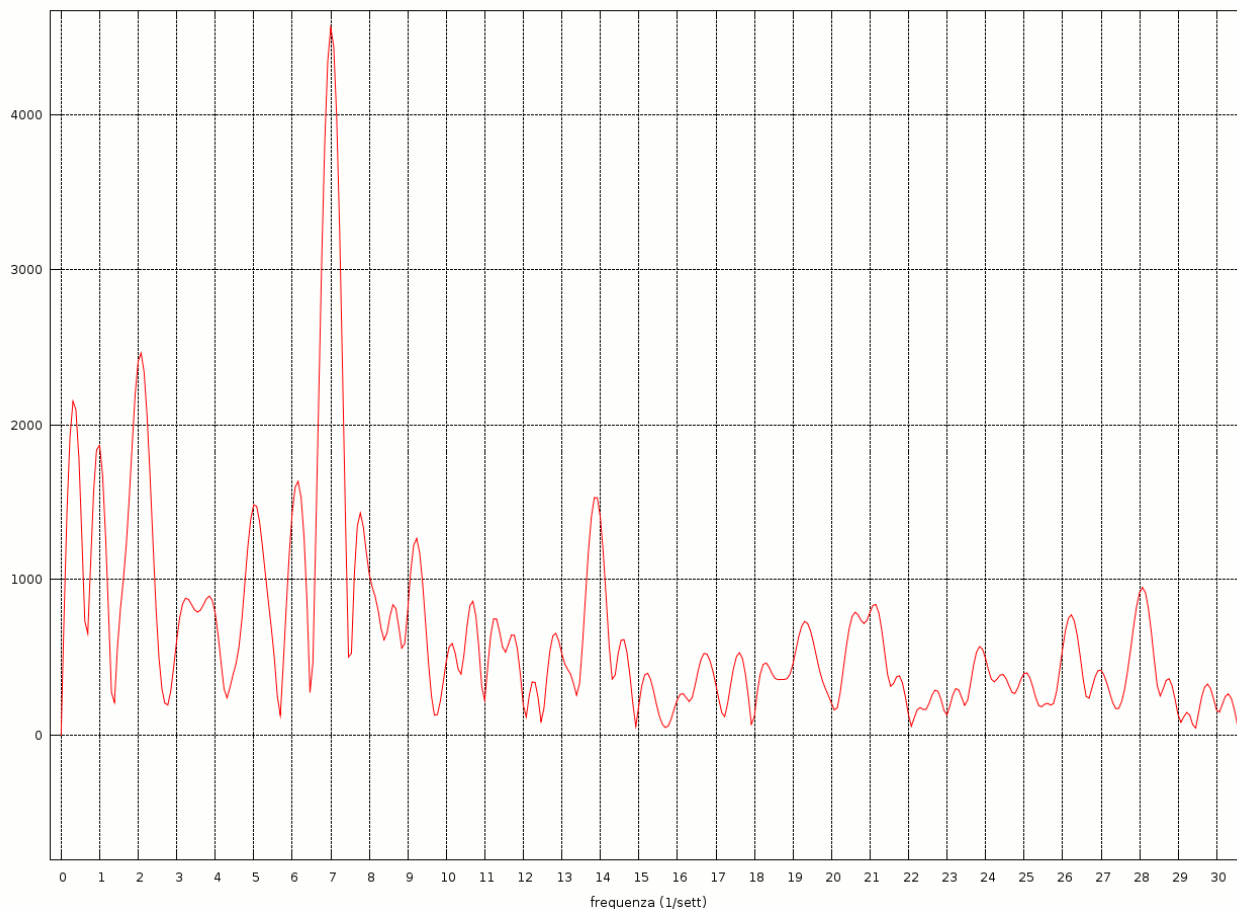
Le misure presso le cabine hanno anche evidenziato come tali impianti possano essere sorgenti localizzate di forti campi magnetici: ad esempio nella cabina in via Seigneurs de Quart i valori medi si attestavano intorno a 40 µT e si sono raggiunte mediane nelle 24 ore di 44 µT, abbondantemente superiori al valore di attenzione di 10 µT. Inoltre sono stati misurati valori istantanei di campo magnetico, vedi scheda dell'Allegato 2, di circa 80 µT. Tali valori si avvicinano al limite di esposizione (100 µT) che rappresenta un limite da non superare in alcun caso.

Pur senza raggiungere valori così alti anche nelle cabine di via 1° Maggio e al Dipartimento dell'Industria le mediane si avvicinavano al valore di attenzione di 10 µT.

Un'ulteriore elaborazione delle misure del campo magnetico presso le cabine di trasformazione MT/BT, che può essere di supporto per l'individuazione di andamenti ricorrenti, è rappresentata dall'analisi delle periodicità degli andamenti temporali dei dati acquisiti (trasformata di Fourier). A titolo di esempio si riporta nel Grafico 6 il risultato di tale operazione eseguita sulla misura effettuata dal 6 al 20 agosto presso la cabina sita nell'edificio del Dipartimento dell'Industria in viale dei Partigiani.

(L'elaborazione è stata effettuata in collaborazione con il Dott. Henri Diemoz, area UV ARPA)

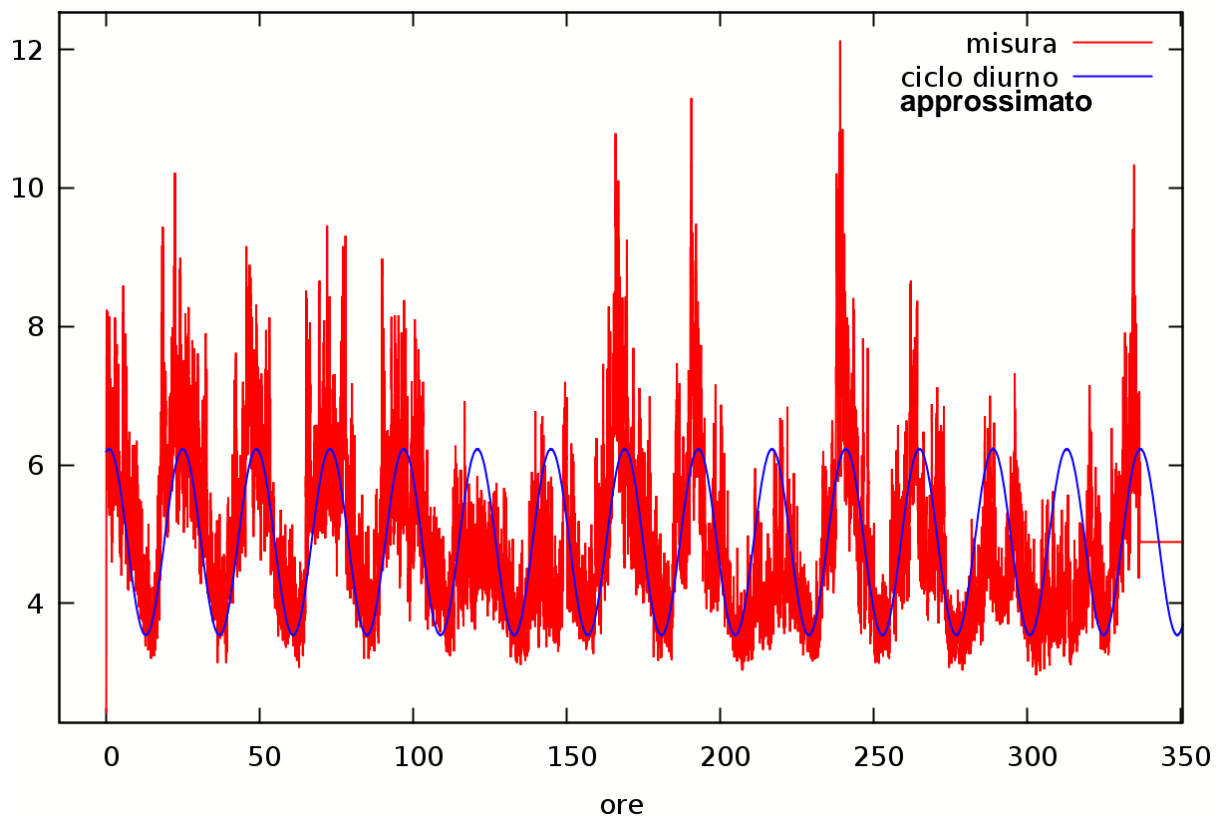
Grafico 6. Analisi della periodicità dell'andamento temporale del campo magnetico presso la cabina al Dipartimento dell'Industria (6 - 20 agosto 2007)



Il picco marcatissimo in corrispondenza del valore 7 (7 volte alla settimana) indica un chiaro andamento ripetitivo giornaliero: l'aumento nel periodo diurno e l'abbassamento nel periodo notturno.

È stato anche ricavato il segnale sinusoidale teorico che meglio approssima il segnale reale nell'ambito giornaliero. La sovrapposizione dei due segnali è riportata nel Grafico 7.

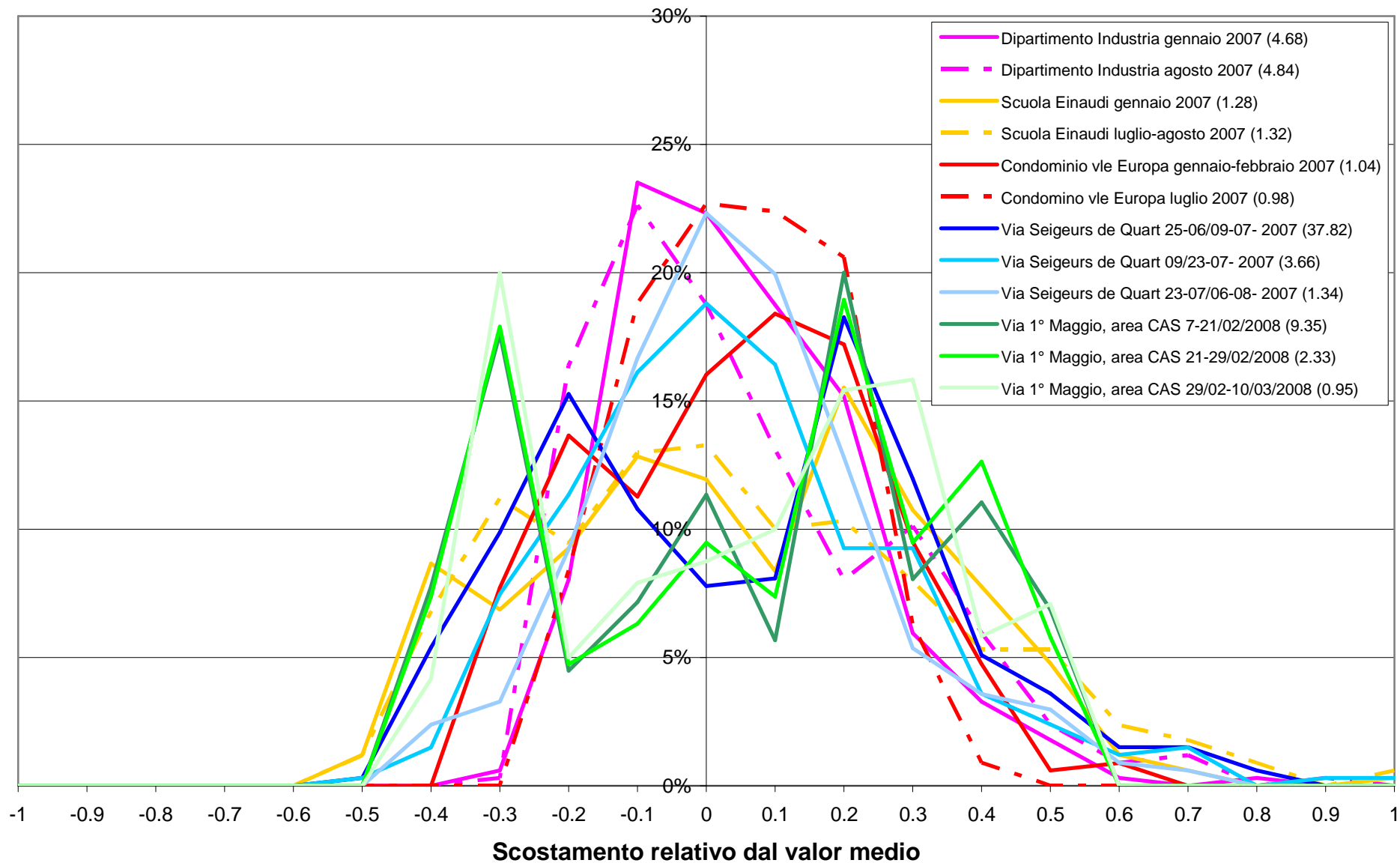
Grafico 7. Segnale sinusoidale ricavato dalla trasformata di Fourier, misure presso la cabina del Dipartimento dell'Industria (6 - 20 agosto 2007)



Un'altra analisi condotta è lo studio della distribuzione, rispetto al valore medio, dei campioni registrati durante ogni monitoraggio prolungato. Nel Grafico 8 sono riportati gli andamenti di tali distribuzioni: sull'asse delle ascisse è riportato lo scostamento relativo dal valore medio, sulle ordinate l'occorrenza relativa dell'evento. Nella legenda tra parentesi sono indicati i valori medi dei monitoraggi, corrispondenti al luogo e periodo indicati, espressi in μT .

Si nota una grande variabilità nella forma delle distribuzioni, ma si identificano chiaramente due andamenti opposti corrispondenti a rilievi eseguiti presso cabine in aree ben caratterizzate della città. Il primo è centrato rispetto al valore medio. Nel secondo è presente un picco elevato al di sopra della media e uno al di sotto di essa, mentre la ricorrenza del valore medio è piuttosto bassa. Questo secondo andamento si riscontra presso la cabina di Via 1° Maggio (area CAS), che alimenta una zona prevalentemente artigianale e destinata a servizi: si ha un andamento del campo magnetico piuttosto stabile al di sopra della media che caratterizza le ore lavorative ed uno altrettanto stabile, ma sotto la media, che caratterizza le ore notturne. Al contrario, cabine che alimentano aree a destinazione prevalentemente residenziale, ad esempio quella sita in un condominio di Viale Europa, presentano una distribuzione generalmente abbastanza stretta e centrata intorno al valore medio, ad indicare variazioni ridotte o comunque non "polarizzate" in specifici orari.

Tra le due tipologie estreme vi è una grande varietà di andamenti, più o meno raccolti o dispersi e più o meno centrati rispetto alla media, ad indicare alimentazioni di utenze non omogenee tra loro. L'elemento comune, però, è una spiccata asimmetria nelle code della distribuzione, a prescindere dalla soglia di rilevabilità del sensore o dal suo rumore interno. Nei monitoraggi eseguiti il campo magnetico, e quindi la corrente che lo determina, non scendeva mai sotto il 40% del valore medio. Invece il campo magnetico cresceva oltre il 100% della media con occorrenza bassa ma non nulla. Ciò significa che il consumo di corrente può presentare picchi verso l'alto piuttosto significativi ma non picchi verso il basso. Questo comportamento indica che l'assorbimento dell'energia elettrica, in assenza di guasti, non scende mai al di sotto di una soglia minima, ma non presenta, nei limiti costruttivi dell'impianto, una soglia massima.

Grafico 8. Distribuzione dei valori di campo magnetico intorno alla media per ogni serie di misure

4.3 Misure interne ad edifici nei pressi di elettrodotti a media e bassa tensione

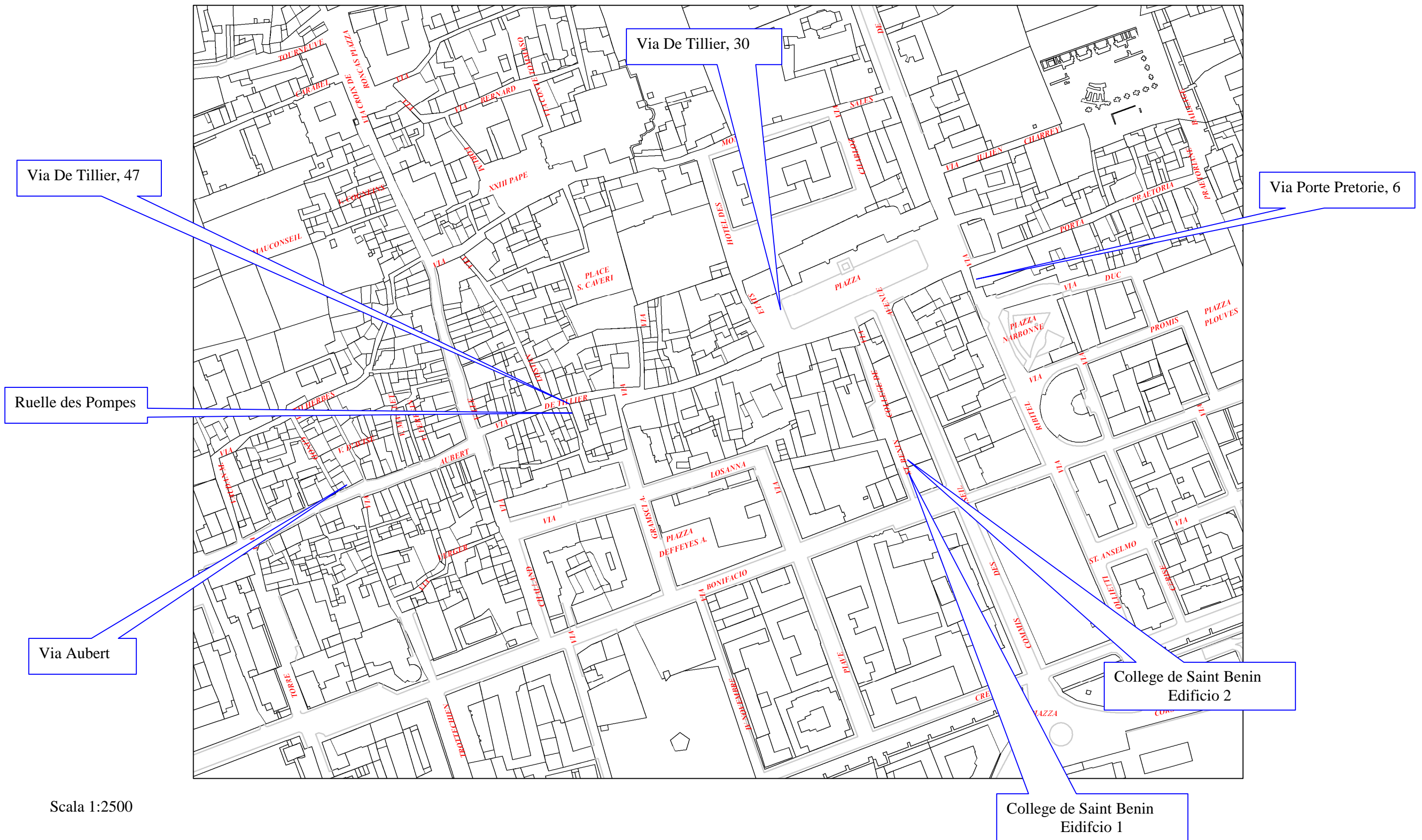
A seguito delle misure effettuate lungo il reticolo cittadino e di sopralluoghi sul territorio comunale, sono stati individuati alcuni edifici in prossimità di linee a media e bassa tensione all'interno dei quali si è ritenuto di dover eseguire misure, sia puntuali che prolungate nel tempo, per approfondire la valutazione dell'esposizione dei residenti. Le misure puntuali sono state eseguite in numero variabile a seconda della posizione della linea rispetto all'edificio (linea che si sviluppa lungo tutto il perimetro del fabbricato, oppure solo su di un lato, linea aerea, ecc.). Le misure continuative nel tempo sono state effettuate nel punto in cui è stato rilevato il valore massimo riscontrato con le misure precedenti.

Per quanto riguarda gli elettrodotti aerei a media tensione, i valori misurati sono risultati tutti dell'ordine di grandezza del limite inferiore di rilevabilità dello strumento ($0.01 \mu\text{T}$) e non è stato ritenuto significativo continuare nelle valutazioni.

Per quanto riguarda invece le linee a bassa tensione, i singoli interventi sono descritti nelle schede dell'**ALLEGATO 3**.

Si mostrano di seguito in Figura 4 i punti degli edifici presso le quali sono stati effettuati gli interventi.

Figura 4. Edifici oggetto di intervento nel centro storico di Aosta



Scala 1:2500

In Tabella 4 sono riassunti i valori delle medie totali e notturne ed anche i valori massimi delle medie giornaliere e notturne ricavate dai monitoraggi prolungati per ogni edificio controllato. Come già detto, sono riportati oltre alle medie anche i valori delle medie perché questo è il parametro indicato nella normativa di riferimento per la valutazione del rispetto dei limiti.

Tabella 4. Valori medi e medie giornaliere e notturne massime all'interno di edifici, valori espressi in μT

PUNTO DI MISURA	Media totale	Mediana giornaliera massima	Media notturna	Mediana notturna massima
Via De Tillier, angolo Ruelle des Pompes, 1° piano	2.08	1.79	0.97	0.96
Rulle des Pompes n. 1, 2° piano	1.65	1.29	0.69	0.75
Via De Tillier, angolo via Quintane, 1° piano Dal 22/11/2007 al 06/12/2007	1.95	2.14	1.47	1.92
Via De Tillier, angolo via Quintane, 1° piano Dal 20/12/2007 al 10/01/2008	2.16	2.63	1.82	2.09
Via Porta Pretoria, angolo Pzza Narbonne, 1° piano	5.58	7.11	7.12	7.53
Via College de Saint Benin, 1° edificio, 1° piano	2.05	2.68	1.60	2.00
Via College de Saint Benin, 2° edificio, 1° piano	0.66	0.77	0.50	0.56
Via Aubert, entrata Via Ginod 2° piano	0.47	0.63	0.31	0.42

Il confronto tra i dati riportati in Tabella 4 e i limiti normativi definiti nel DPCM 08/07/03, evidenzia che in quattro edifici i valori massimi misurati non raggiungono il minimo valore di riferimento normativo, l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$. In due situazioni i valori sono dell'ordine di grandezza di tale obiettivo, mentre in un caso esso viene ampiamente superato, anche se non si raggiunge il valore di attenzione di $10 \mu\text{T}$.

5 Considerazioni conclusive

“Aosta: città sicura anche nei 50 Hz” è un progetto di valutazione dell'esposizione ai campi elettrico e magnetico generati dagli elettrodotti sul territorio comunale di Aosta. Lo scopo principale è mappare, tramite misure ambientali di campo, il territorio e in seguito valutare attraverso misure specifiche puntuali le eventuali situazioni critiche.

È stata conclusa, e già documentata con relazione inviata in data 29/11/2007 prot. n.8371, la parte riguardante le misure e valutazioni effettuate per il territorio e la popolazione interessati dal passaggio degli elettrodotti ad alta tensione. Tali elettrodotti sono tre e tutti con tensione di esercizio pari a 132 kV. Essi si estendono in tratto aereo soprattutto lungo la parte collinare del comune, frazioni di Arpuilles, Entrebin, Seyssinod e Signayes; l'unico tratto che attraversa la parte più bassa e densamente abitata della città è interrato, mentre la linea aerea che parte dalla cabina primaria di via Mont Emilius esce dal comune attraversando zone industriali scarsamente edificate. Per gli elettrodotti ad alta tensione sono disponibili tutti i dati tecnici e di carico di corrente transitante sia nei periodi di misura che negli anni precedenti: risulta quindi possibile effettuare preventivamente delle valutazioni sulla porzione di territorio e sulle abitazioni da monitorare. Nonostante alcune abitazioni si trovino molto vicine al percorso delle linee, precisamente all'interno delle attuali fasce di rispetto perchè edificate prima della loro introduzione, le misure e valutazioni non hanno fornito risultati di superamento di limiti normativi.

La parte di lavoro descritta e analizzata nella presente relazione e nei suoi allegati riguarda le misure e valutazioni sugli impianti di media e bassa tensione che si sviluppano in modo più ramificato e denso sul territorio. Nella maggior parte dei casi le linee sono interrate e quindi non chiaramente individuabili. Anche le cabine di trasformazione MT/BT sono spesso ubicate all'interno degli edifici e quindi non visibili. È attualmente in costruzione e popolamento il catasto regionale degli elettrodotti, all'interno del quale saranno dichiarate dai proprietari tutte le linee e cabine esistenti sul territorio regionale. Al momento dell'effettuazione dell'attività descritta in questa relazione il proprietario ha fornito le posizioni solo di alcune cabine di trasformazione MT/BT. I gestori degli impianti, inoltre, non sono in possesso dei dati storici delle correnti transittanti. A causa di ciò risulta difficile effettuare stime preventive, calcolare fasce di rispetto ed individuare a priori eventuali situazioni critiche da approfondire. L'attività svolta è stata quindi articolata in tre diverse fasi dalla combinazione delle quali descrivere nel modo più completo possibile l'esposizione della popolazione del comune di Aosta al campo magnetico generato dalla rete di distribuzione elettrica MT/BT.

- In primo luogo si sono eseguite misure su tutto il reticolo cittadino lungo i marciapiedi e le vie pedonali. Tale operazione ha permesso sia di valutare l'esposizione delle persone quando si muovono sul territorio comunale, che di individuare eventuali situazioni da controllare.
- Sono contemporaneamente stati eseguiti anche monitoraggi prolungati in diverse stagioni o a diverse distanze in prossimità di cabine di trasformazione secondarie, cioè media/bassa tensione, al fine di caratterizzare l'intensità e l'andamento del campo generato da queste sorgenti.
- Infine a seguito di queste due indagini si sono individuati edifici in cui effettuare misure puntuali e monitoraggi prolungati nel tempo per valutare l'esposizione media e verificare l'eventuale superamento di limiti normativi.

Non sono state trovate situazioni da approfondire per quanto riguarda l'eventuale esposizione dovuta a linee aerea a media tensione; ciò può essere spiegato dal fatto che la corrente circolante in tali linee è relativamente bassa e che questa tipologia di elettrodotti si estende, per quanto riguarda il territorio di Aosta, soprattutto in zone scarsamente edificate.

Le misure lungo il reticolo cittadino hanno evidenziato che le zone della città caratterizzate da valori più elevati si trovano nel centro storico. Questo può essere dovuto ad alcuni fattori : le linee sono più vecchie, i vincoli di tipo urbanistico ed archeologico fanno sì che la posa avvenga spesso mediante staffatura alle facciate degli edifici anziché essere sotterranea. Proprio nel centro storico, quindi, si sono effettuati i controlli in alcuni edifici adibiti sia ad abitazione che a negozio o uffici: la caratteristica che unifica tutti gli interventi è la presenza di cavi di bassa tensione attestati all'esterno sui muri degli edifici stessi. Nonostante i muri degli edifici presi in considerazione abbiano sovente spessori che si avvicinano al metro, all'interno si risente sicuramente della presenza dei cavi esterni. In particolare in una abitazione si è misurata una mediana giornaliera di campo magnetico di 7.53 μT , valore non molto distante dal valore di attenzione di 10 μT .

Le misure presso le cabine di trasformazione MT/BT hanno evidenziato come tali impianti possano essere sorgenti localizzate di forti campi magnetici. In una cabina è stata misurata una mediana massima di quasi 44 μT , valore nettamente superiore al valore di attenzione (10 μT) e sono anche stati misurati valori istantanei di circa 80 μT , quindi vicini al limite di esposizione: 100 μT .

Alla luce delle misure e delle valutazioni effettuate rimangono alcuni elementi da approfondire in futuro da parte di ARPA e da valutare nella gestione del territorio da parte dell'amministrazione comunale.

- Per quanto riguarda le linee di alta tensione e quelle di media tensione aeree, ARPA riceve dai gestori i carichi di corrente che in esse fluiscono. In tal modo può effettuare eventuali interventi di misura del campo magnetico allo scopo di verificare il rispetto del valore di attenzione. L'amministrazione comunale dovrà garantire il mantenimento delle fasce di rispetto per questi tipi di elettrodotti, in base alla direttiva ministeriale per il calcolo delle fasce. (Dovrebbe, inoltre, essere imminente la pubblicazione di un decreto applicativo della L.Q. 36/01 in cui verrà specificata la metodologia definitiva di calcolo delle fasce di rispetto per tutti gli elettrodotti, in sostituzione dell'attuale metodologia provvisoria: questo consentirà di inserire tali fasce nei piani regolatori.)
- Le cabine di trasformazione MT/BT possono essere una sorgente critica di campo magnetico perché localmente possono generare alti livelli, prossimi anche al limite di esposizione di 100 μT . Nel caso specifico della cabina individuata presso un edificio in costruzione, ARPA dovrà valutare, alla chiusura dei lavori con il ripristino definitivo dei luoghi, i livelli di campo magnetico generati in funzione delle destinazioni d'uso dei locali. Poiché nel passato le cabine MT/BT venivano realizzate all'interno degli edifici, l'amministrazione comunale dovrebbe chiedere ai gestori della rete di fornire l'indicazione della localizzazione di tutte le cabine installate sul proprio territorio al fine di valutare eventuali situazioni critiche che potrebbero essere oggetto di indagini di approfondimento.
- In un contesto urbano, il contributo all'esposizione dovuto agli impianti di bassa tensione è spesso preponderante su quello dovuto all'alta tensione. Benché non siano stati individuati superamenti di valori di riferimento normativo, nel centro storico di Aosta vi sono alcune realtà impiantistiche della rete di distribuzione elettrica e di alimentazione dell'illuminazione pubblica che generano livelli di campo magnetico elevati all'interno di abitazioni. ARPA ripeterà regolari monitoraggi nell'abitazione in cui sono stati rilevati valori prossimi al valore di attenzione. L'amministrazione comunale in occasione di futuri interventi di manutenzione o rifacimento, sia degli edifici stessi che dell'ambiente urbano circostante, potrà adottare scelte che portino ad una riduzione del campo magnetico nell'ottica di minimizzare l'esposizione della popolazione come previsto dall'art. 8 comma 6 della legge quadro n. 36 del 22/02/2001.

Dott.ssa Bottura Valeria
P.I. Noemi Carta
Dip. Ing. Leo Cerise
Assistente Tecnico Erik Imperial

VISTO
Ing. Marco Cappio Borlino
Responsabile Area NIR – Sezione Agenti Fisici

Dott. Giovanni Agnesod
Direttore Tecnico