

**Cavo 132 kV Elettra GLT
Misure di campo elettrico e magnetico
in bassa frequenza
- Relazione Tecnica -**

Redatto da: G. Pangerc	Responsabile delle misure: G. Pangerc	Data: febbraio 2006
Revisione n.: 0	Pagg. 59 + copertina	File: Elettra132kV2005.doc

SOMMARIO

1	LUOGO E DATA DELLE MISURE.....	2
2	SCOPO DELLE MISURE.....	2
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
4	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	3
5	TECNICA DI MISURA.....	6
6	RICOGNIZIONE DELLE SORGENTI DI CAMPO	7
7	REGISTRAZIONE DEI CARICHI	10
8	ANALISI ARMONICA.....	12
9	INCERTEZZA DI MISURA.....	13
10	RISULTATI DELLE MISURE	14
	10.1 Via dell'Istria.....	14
	10.2 Padriciano paese	29
	10.3 Padriciano, strada dei campi di golf	44
11	CONCLUSIONI	48
	APPENDICE 1 – Curve di carico nell'arco delle 24 ore e analisi statistica	52
	APPENDICE 2 – Definizione delle “condizioni normali di esercizio”	56
	APPENDICE 3 – Cavo 132 kV: calcolo teorico di induzione magnetica senza e con schermatura.....	58

1 LUOGO E DATA DELLE MISURE

- Via dell'Istria fra i n. civici 166 e 176, comprese le pertinenze esterne della scuola dell'infanzia "G. Pollitzer" di Via dell'Istria 170: 2 dicembre 2005, ora: 9.40÷ 11.30
- Padriciano paese, comprese alcune pertinenze private e luoghi di sosta: 14 dicembre 2005, ora: 8.35 ÷ 10.15
- Padriciano, strada dei campi di golf: 14 dicembre 2005, ora: 10.30 ÷ 11.15

2 SCOPO DELLE MISURE

Le misure sono state pianificate allo scopo di valutare l'impatto ambientale, in termini di induzione magnetica^(*) e campo elettrico, nelle zone attraversate dal cavo 132 kV di proprietà Elettra GLT.

Le misure di campo elettrico sono state eseguite a puro scopo dimostrativo, in quanto è noto che il campo elettrico generato dai cavi isolati è, al loro esterno, praticamente nullo e quindi non sussistono problemi di tipo protezionistico.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legislazione nazionale:
 - Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici"
 - Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri 8 luglio 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"
- Norme tecniche
 - Norma CEI 42-7 (1990) "Misura di campi elettrici a frequenza industriale"
 - Norma CEI 211-6 (2001) "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana"
- Altri riferimenti
 - International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) (1998)

^(*) Nota: in ambito protezionistico i termini "campo magnetico" e "induzione magnetica" vengono spesso usati in maniera indifferenziata, assumendo che la permeabilità magnetica dei tessuti biologici, come di molte delle strutture presenti negli ambienti di vita, sia costante e uguale alla permeabilità magnetica del vuoto $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$ H/m. In termini rigorosi, la grandezza oggetto della misura è sempre l'induzione magnetica.

- Raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio del 12 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz
- Organizzazione Mondiale della sanità / World Health Organization (OMS / WHO), "Environmental Health Criteria 35 "Extremely Low Frequency (ELF) Fields" (1984)
- Organizzazione Mondiale della sanità / World Health Organization (OMS / WHO), "Environmental Health Criteria 69 "Magnetic Fields" (1987)
- Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro / International Agency for Research on Cancer (IARC), "Static and Extremely Low-Frequency Electric and Magnetic Fields" (2001).

4 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Analizzatore di campo Narda STS tipo EFA-300, N. di serie M-0001 BN 2245/30. Certificato di taratura N. 22453000-M00010506 del 9 febbraio 2005 (scadenza: 8 febbraio 2007).
- Sensore esterno di induzione magnetica del tipo a bobine, di sezione 100 cm², Narda STS, N. di serie G-0025 BN 2245/90.10. Certificato di taratura N. 22459010G0020050711 del 11 luglio 2005 (scadenza: 10 luglio 2007).
- Sensore esterno di campo elettrico del tipo a elettrodi isolati da terra, Narda STS, N. di serie J-0028 BN 2245/90.31. Certificato di taratura N. 22459031-J00280506 del 8 febbraio 2005 (scadenza: 7 febbraio 2007).

La strumentazione di misura è presentata in Fig. 4.1 e Fig. 4.2.

Le sue caratteristiche metrologiche e funzionali sono riassunte in Tab. 4.I.

Il Sistema di Gestione della Qualità e il Sistema di Gestione Ambientale di Acegas-Aps S.p.A. sono certificati da organismi accreditati. Pertanto, gli strumenti di misura menzionati nel presente paragrafo sono gestiti nei termini prescritti dalle seguenti norme:

- Norma UNI EN ISO 9001:2000 "Sistemi di gestione per la qualità. Requisiti", punto 7.6 "Tenuta sotto controllo dei dispositivi di monitoraggio e di misurazione"
- Norma UNI EN ISO 9004:2000 "Sistemi di gestione per la qualità", punto 7.6 "Tenuta sotto controllo dei dispositivi di monitoraggio e di misurazione"
- Norma UNI EN ISO 14001:1996 "Sistemi di gestione ambientale. Requisiti per l'uso", punto 4.5.1 "Sorveglianza e misurazioni".

Tab. 4.1 - Caratteristiche funzionali e metrologiche della strumentazione

	Con sonda di campo magnetico interna	Con sonda di campo magnetico esterna	Con sonda di campo elettrico esterna
Campo di frequenza	da 5 Hz a 32 kHz		
Filtri selettivi	Misure in banda larga: 5 Hz - 2 kHz ; 5 Hz - 32 kHz ; 30 Hz - 2 kHz ; 30 Hz - 32 kHz Misure selettive: filtri liberamente impostabili		
Valore misurato	Valore efficace o valore di picco (selezionabile)		
Modalità di rilevamento	Isotropa o monoassiale (assi X, Y, Z selezionabili) con possibilità di analisi armonica (THD e 2 ^a ÷ 9 ^a armonica)		
Campo di misura	31,6 mT		100 kV/m
Risoluzione	0,1 % (1 Hz in banda larga per l'individuazione della frequenza prevalente)		
Precisione	Per frequenze da 50 Hz a 400 Hz in banda larga (5 Hz - 2 kHz) o con filtro selettivo		
	±5% con B ≥ 500 nT	±3% con B ≥ 40 nT	±3% con E ≥ 5 V/m
	Per frequenze da 50 Hz a 5 kHz in banda larga (5 Hz - 32 kHz)		
Condizioni ambientali di funzionamento	±8% con B ≥ 500 nT		
	±3% con B ≥ 40 nT		
Condizioni ambientali di funzionamento	±5% con E ≥ 5 V/m		
	Per frequenza di 16,7 Hz in banda larga (5 Hz - 400 Hz) o con filtro selettivo		
Condizioni ambientali di funzionamento	±6% con B ≥ 500 nT		
	±5% con B ≥ 40 nT		
Condizioni ambientali di funzionamento	±3% con E ≥ 1 V/m		
	temperatura fra 0 °C (limite minimo -10 °C) e +50 °C umidità relativa fra 5% e 85% (sino a 40°C) umidità assoluta ≤ 25g/m ³ (sopra i 30 °C)		



Fig. 4.1 - Strumento per le misure in bassa frequenza (unità principale – a sinistra) e sensore di induzione magnetica (a destra)

Fig. 4.2 - Sensore di campo elettrico in bassa frequenza su supporto in materiale isolante e fibra ottica per il collegamento all'unità principale



5 TECNICA DI MISURA

La misura del campo elettrico e dell'induzione magnetica in bassa frequenza viene svolta sempre nella regione di campo vicino reattivo, vale a dire ad una distanza dalle sorgenti inferiore alla lunghezza d'onda. In tale regione non esiste una correlazione tra il campo elettrico e il campo magnetico, essendo il primo dipendente dalle tensioni insistenti nell'impianto sorgente e il secondo dalle correnti che in tale impianto circolano.

Pertanto, a differenza di quanto avviene per i campi elettromagnetici ad alta frequenza, la caratterizzazione di una sorgente in bassa frequenza deve basarsi sulle misura di ambedue le componenti elettrica e magnetica.

La misura dell'induzione magnetica è stata eseguita utilizzando un sensore esterno di dimensioni idonee; ciò al fine di aumentare la precisione della misura e l'affidabilità della rilevazione dei valori più bassi dell'emissione rispetto alle prestazioni garantite dal sensore montato internamente allo strumento.

La misura di campo elettrico è stata effettuata impiegando un sensore esterno montato su un supporto isolante e collegato allo strumento per mezzo di un cavo in fibra ottica; ciò allo scopo di limitare la perturbazione del campo determinata dalla presenza dell'operatore.

Le misure sono state eseguite in modalità isotropa in modo da poter disporre immediatamente della somma vettoriale delle tre componenti ortogonali di campo elettrico (E_x , E_y , E_z) e di induzione magnetica (B_x , B_y , B_z) e di ridurre gli errori di posizionamento e orientamento dei sensori.

Per quanto riguarda l'analisi in frequenza, la misura è stata impostata in modo da poter disporre del fattore di distorsione armonica totale (THD) e dei contributi delle singole armoniche di ordine dal 2° al 9°.

La tipica altezza di misura (centro del sensore) è stata di:

- tre altezze diverse (0, 1 e 1,5 m) dal piano di calpestio per le misure di induzione magnetica
- una (1 m) o due altezze diverse (1 e 1,5 m) per le misure di campo elettrico.

Per tutti gli altri aspetti non descritti nella presente relazione, valgono le indicazioni della Guida CEI 211-6 (2001) "Guida per la misura e la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana" a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

I luoghi di misura sono stati selezionati in modo da comprendere le situazioni critiche e di discontinuità e quindi svolgere l'analisi:

- con linea non schermata (Padriciano, strada dei campi di golf);
- con linea schermata (Padriciano paese, sezioni 2-3-4);
- in presenza di giunti con cassette di sezionamento delle guaine metalliche (Padriciano paese, sezioni 1 e 5);
- in pertinenze private e luoghi di sosta dove la strada pubblica è di larghezza limitata (Padriciano paese);
- su parti di territorio dove sono presenti siti sensibili (Via dell'Istria, scuola dell'infanzia).

I punti di misura dell'induzione magnetica sono stati selezionati come indicato nella tabella seguente (Tab. 5.I).

Tab. 5.I – Selezione dei punti di misura dell'induzione magnetica

Riferimento di misura	Passo di misura	Altezza di misura
➤ Via dell'Istria – strada pubblica e pertinenze della scuola dell'infanzia		
Puntuale	<i>non applicabile</i>	- a livello del suolo - a 1 m - a 1,5 m
➤ Padriciano paese – strada pubblica		
Sezione 1	in corrispondenza delle pareti perimetrali esterne degli edifici e sull'asse dei servizi interrati	- a livello del suolo - a 1 m - a 1,5 m
Sezione 2	in corrispondenza delle pareti perimetrali esterne degli edifici e sull'asse dei servizi interrati	- a livello del suolo - a 1 m - a 1,5 m
Sezione 3	0,5 m (ultima misura con distanza residua)	- a livello del suolo - a 1 m - a 1,5 m
Sezione 4	in corrispondenza delle pareti perimetrali esterne degli edifici e sull'asse dei servizi interrati	- a livello del suolo - a 1 m - a 1,5 m
Sezione 5	0,5 m (ultima misura con distanza residua)	- a livello del suolo - a 1 m - a 1,5 m
➤ Padriciano paese – pertinenze private e luoghi di sosta		
Puntuale	<i>non applicabile</i>	- a livello del suolo - a 1 m - a 1,5 m
➤ Padriciano - strada dei campi di golf		
Sezione A – 0 - A'	0,5 m a destra e sinistra dell'asse del cavo	- a livello del suolo - a 1 m - a 1,5 m

Le sezioni e i punti di misura richiamati in tabella sono riportati sulle piante generali allegate ai risultati delle misure (paragrafo 10). Per Padriciano paese sono pure disponibili le viste trasversali delle sezioni n. 1, 2 e 4 che riportano la posizione dei servizi interrati.

6 RICOGNIZIONE DELLE SORGENTI DI CAMPO

Le misure sono state condotte considerando la sorgente costituita dal cavo in argomento, così definita:

- cavo interrato di alta tensione 1X1600 ARG7H1E 132 kV costituito da tre cavi unipolari raggruppati a trifoglio e, nel tratto di percorso che attraversa l'abitato di Padriciano,

posati in una tubazione metallica (diametro nominale 250 mm) con funzione di schermo

e le ulteriori sorgenti di campo descritte di seguito.

- Via dell'Istria

L'area ha le caratteristiche tipiche della distribuzione cittadina periferica, con presenza contemporanea di reti interrate di bassa e media tensione e reti aeree di bassa tensione, sia di distribuzione sia di illuminazione pubblica.

La maggior parte delle linee fanno capo alla cabina MT/BT di Via Orsera 4 (un trasformatore da 400 kVA), di cui sono visibili alcuni cavi in discesa installati sul muraglione di Via dell'Istria (v. Fig. 6.1).

Le linee di illuminazione pubblica erano escluse durante lo svolgimento delle misure. Per quanto riguarda, invece, le linee aeree in bassa tensione – che hanno una distanza minima dal suolo di 5 m e quindi con un contributo comunque non distinguibile dai valori di fondo – e le linee interrate, si è ritenuto di tenerne conto utilizzando un parametro cumulativo e rappresentativo del “peso energetico” della cabina menzionata. Il “peso energetico” tiene conto del carico reale del trasformatore, sia in termini assoluti sia di rapporto con la potenza nominale della macchina, e la sua riproducibilità è garantita dalla ciclicità della curva di carico normalmente riscontrabile nella distribuzione cittadina.

Le sorgenti presenti negli ambienti domestici e similari degli edifici limitrofi non sono valutabili quantitativamente ma il loro contributo può essere considerato o molto basso o influente.

- Padriciano paese

Si considerano sorgenti significative:

- due cavi interrati di media tensione 1X400 RC4HLR 12/20 kV - convenzionalmente identificati come "Sincro 1" e "Sincro 2" - costituiti da tre cavi unipolari raggruppati a trifoglio e posati ciascuno in una tubazione in materiale plastico (diametro nominale 200 mm);
- un cavo interrato di media tensione 3X(1X150) RC4HLRX 12/20 kV - convenzionalmente identificato come "Basovizza" - a elica visibile, posato in una tubazione in materiale plastico (diametro nominale 160 mm).

Si considerano trascurabili i contributi di una linea aerea di bassa tensione dedicata alla distribuzione dell'energia elettrica alle utenze dell'abitato (prevalentemente di tipo domestico o simile) e di una linea aerea di illuminazione pubblica (comunque non alimentata al momento delle misure). Tali linee (v. Fig. 6.2) sono installate in asse con i muri perimetrali degli edifici (lato destro delle sezioni) ad un'altezza minima non inferiore a 5 m.

Per le sorgenti domestiche vale quanto già detto per Via dell'Istria.

- Padriciano, strada dei campi di golf

Sono visibili delle linee aeree Enel di alta tensione (132 kV), la più vicina a 40 m dalla postazione di misura (v. Fig. 6.3). L'indagine strumentale ha dimostrato che, al momento della misura, il loro contributo in termini di induzione magnetica è relativamente basso

(condizioni di basso carico della linea più prossima, emissione massima stimabile a 1 m di altezza: 0,12 e 0,15 μ T, rispettivamente sull'asse del cavo e a dieci metri dallo stesso verso la linea). Il loro contributo sul livello di campo elettrico è risultato basso ma, diversamente dal contributo del cavo Elettra GLT, apprezzabile con certezza.

Le tensioni possono essere considerate costanti e sostanzialmente corrispondenti alla tensioni nominali delle linee. Le correnti in gioco delle sorgenti significative sono invece riportate al paragrafo 7.



Fig. 6.1 – Via dell'Istria – Discesa cavi da cabina



Fig. 6.2 – Padriciano paese – linee elettriche aeree di bassa tensione



Fig. 6.3 – Padriciano, strada dei campi di golf – linea aerea 132 kV Enel

7 REGISTRAZIONE DEI CARICHI

In questo paragrafo sono riportati i seguenti dati relativi alle sorgenti significative individuate nel paragrafo 6:

- i valori di corrente e di fattore di potenza registrati dal sistema di telecontrollo di Elettra GLT;
- i valori di potenza apparente e di fattore di potenza registrati nella cabina di Via Orsera 4 mediante analizzatore Elcontrol Vip Utilities 3.0; il fattore di carico calcolato in riferimento alla potenza nominale del trasformatore installato in tale cabina;
- i valori di corrente e di fattore di potenza registrati dal sistema di telecontrollo di Acegas-Aps.

I dati presentati di seguito – registrati ogni 15 minuti - sono raggruppati per giornata e sono limitati al periodo temporale in cui sono state eseguite le misure.

Le serie relative alle registrazioni nell'arco delle 24 ore e alcune valutazioni di statistica descrittiva (fra cui il valore mediano) sono disponibili nell'Appendice 1.

La definizione delle “condizioni normali di esercizio” delle sorgenti di campo prevalenti è disponibile nell'Appendice 2.

Tab. 7.I – Cavo 132 kV Elettra GLT

Giorno e ora di registrazione	Corrente (A)	Cos φ
➤ Rif. Via dell'Istria		
02/12/06 – 9.30	601,4	0,99
02/12/06 – 9.45	592,3	0,98
02/12/06 – 10.00	562,6	0,99
02/12/06 – 10.15	563,8	0,99
02/12/06 – 10.30	560,6	0,99
02/12/06 – 10.45	558,3	0,99
02/12/06 - 11.00	527,5	0,99
02/12/06 – 11.15	525,1	0,99
02/12/06 – 11.30	525,9	0,99
➤ Rif. Padriciano paese e strada campi di golf		
14/12/06 -- 8.30	681,5	1,00
14/12/06 – 8.45	685,5	1,00
14/12/06 -- 9.00	680,8	1,00
14/12/06 – 9.15	678,5	1,00
14/12/06 – 9.30	683,6	1,00
14/12/06 -- 9.45	671,4	1,00
14/12/06 – 10.00	678,8	1,00
14/12/06 – 10.15	676,7	1,00
14/12/06 – 10.30	680,0	1,00
14/12/06 – 10.45	678,1	1,00
14/12/06 – 11.00	681,4	1,00
14/12/06 – 11.15	681,3	1,00

Tab. 7.II – Peso energetico della cabina Acegas-Aps di Via Orsera 4

Giorno e ora di registrazione	Potenza erogata (kVA)	Fattore di carico	Cos φ
➤ Rif. Via dell'Istria			
02/12/06 – 9.30	112	0,28	0,84
02/12/06 – 9.45	113	0,28	0,84
02/12/06 – 10.00	115	0,29	0,85
02/12/06 – 10.15	115	0,29	0,85
02/12/06 – 10.30	123	0,31	0,85
02/12/06 – 10.45	117	0,29	0,85
02/12/06 - 11.00	115	0,29	0,85
02/12/06 – 11.15	112	0,28	0,85
02/12/06 – 11.30	114	0,29	0,85

Tab. 7.III – Cavi MT Acegas-Aps

Data e ora di registrazione	Sincro 1		Sincro 2		Basovizza	
	Corrente (A)	Cosφ	Corrente (A)	Cosφ	Corrente (A)	Cosφ
➤ Rif. Padriciano paese						
14/12/06 - 8.30	85,7	0	7,9	1,00	126,3	0.95
14/12/06 - 8.45	86,8	0	7,9	1,00	126,9	0.95
14/12/06 - 9.00	88,5	0	7,9	1,00	127,9	0.95
14/12/06 - 9.15	90,2	0	7,9	1,00	124,7	0.94
14/12/06 - 9.30	90,2	0	7,9	1,00	127,2	0.95
14/12/06 - 9.45	91,3	0	7,9	1,00	127,6	0.95
14/12/06 - 10.00	91,8	0	7,9	1,00	125,2	0.95
14/12/06 - 10.15	91,7	0	7,9	1,00	126,0	0.95

Nota: uno dei due cavi Sincro 1 e Sincro 2 è sempre di riserva e il carico viene spostato alternativamente sull'uno o sull'altro con una certa periodicità; il fattore di potenza zero del cavo Sincro 1 è giustificato dalla caratteristica fortemente capacitiva dei cavi interrati, capacità che infatti sostengono una debole corrente di circolazione a vuoto

8 ANALISI ARMONICA

E' stata svolta un'analisi FFT (Fast Fourier Transform) sulla forma d'onda dei segnali di induzione magnetica rilevati dalla strumentazione.

Il processo consiste nell'acquisizione della forma d'onda dei segnali dei tre singoli assi (B_x , B_y , B_z), nel calcolo degli spettri di frequenza relativi e nella loro combinazione al fine di ottenere lo spettro risultante.

Il risultato ottenuto è indipendente dalla polarizzazione del campo ed è espresso in percentuale del valore efficace alla frequenza fondamentale di 50 Hz.

In Tab. 8.I sono riportati i valori di distorsione armonica totale (THD – Total Harmonic Distorsion) e i contributi delle singole armoniche dal 2° al 9° ordine (K_2 ÷ K_9).

Luogo di misura	THD	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9
Padriciano paese	0,32	0,10	0,14	0,02	0,19	0,02	0,19	0,01	0,02
Padriciano strada dei campi di golf	0,96	0,38	0,71	0,18	0,42	0,15	0,19	0,07	0,13

Si noterà che la forma d'onda a 50 Hz risulta debolmente deformata e che il THD proprio del cavo 132 kV, nella condizione di minore interferenza di altre sorgenti (Padriciano, strada dei campi di golf), è estremamente basso.

9 INCERTEZZA DI MISURA

Tutti i risultati di una misurazione sono caratterizzati da un'incertezza di misura, cioè da una dispersione dei valori ragionevolmente attribuibili al misurando.

Il valore del misurando può essere alterato da specifiche grandezze di influenza che, per garantire la qualità della misura, devono essere tenute sotto controllo o calcolate.

Le grandezze di influenza maggiormente significative possono essere tenute sotto controllo anche scegliendo correttamente la strumentazione e svolgendo le misure a regola d'arte.

Di seguito si presentano alcune considerazioni in merito.

Incerteza e caratteristiche della strumentazione

La correttezza della lettura è assicurata da alcune funzioni integrate nello strumento e dalle caratteristiche di costruzione dello stesso:

- verifica di funzionalità: tale funzione viene svolta dal sistema di autodiagnosi che si avvia automaticamente all'accensione dello strumento;
- lettura del risultato: lo strumento è munito di display a cristalli liquidi e quindi l'operatore non può commettere errori di parallasse o di apprezzamento;
- influenza dell'alimentazione: lo strumento è dotato di un circuito che verifica lo stato di carica delle batterie e visualizza una segnalazione ("low battery") sul display prima che tale stato di carica influenzi la rilevazione del misurando; l'influenza della fonte di alimentazione è pertanto trascurabile;
- immunità elettromagnetica: l'immunità della strumentazione è garantita dal rispetto delle norme armonizzate di prodotto nei termini previsti dalla Direttiva Compatibilità Elettromagnetica.

Incerteza e gestione della strumentazione.

Lo strumento e i sensori sono sottoposti a taratura periodica riferibile a campioni internazionali PTB (Physikalisch -Technische Bundesanstalt, istituto metrologico nazionale tedesco) .

Ciò consente di verificare la corretta relazione fra i valori indicati dallo strumento e i valori del campione di riferimento e quindi, in sostanza, di controllare nel tempo che l'incertezza strumentale non superi il dato di specifica.

Incerteza e operazioni di misura

Alcuni contributi di incertezza possono essere annullati o ridotti adottando un'appropriata tecnica di misura ed effettuando alcuni controlli ambientali. Altri contributi possono essere calcolati.

- limitazioni della banda passante: l'uso del filtro selettivo calibrato sulla frequenza di 50 Hz elimina gli errori di caratterizzazione della sorgente introdotti da un rilevamento in banda larga;
- temperatura e umidità: la temperatura ambientale e l'umidità relativa percentuale sono state misurate al fine di verificare che le condizioni d'impiego dello strumento e dei sensori fossero congruenti con i dati di specifica del costruttore e comparabili con le grandezze rilevate in sede di taratura; temperatura e umidità sono state misurate sul posto mediante termoigrometro VelocicalcPlus mod. TSI 8386-M-GB, strumento gestito in regime di qualità e soggetto a verifica periodica di taratura;

I risultati ottenuti, vale a dire:

- Via dell'Istria: $\theta = 7 \text{ }^\circ\text{C}$; UR % = 40%
- Padriciano paese: $\theta = 3 \text{ }^\circ\text{C}$; UR % = 53%
- Padriciano, strada campi di golf: $\theta = 5 \text{ }^\circ\text{C}$; UR % = 50%

consentono di ritenere trascurabile l'influenza di queste grandezze;

- non uniformità del campo magnetico: l'impiego di un sensore di induzione magnetica esterno e di sezione idonea consente di annullare gli effetti dovuti a piccoli campi rotanti.
- non uniformità del campo elettrico: allo scopo di evitare la perturbazione introdotta dalla vicinanza dell'operatore, il sensore di campo elettrico è stato installato su un supporto isolante e collegato all'unità principale mediante fibra ottica;
- orientamento dei sensori: la rilevazione in modalità isotropa elimina gli errori propri della rilevazione monoassiale delle diverse componenti di campo,
- costante di tempo: per evitare i possibili errori introdotti dal tempo di risposta del circuito rilevatore, ciascuna lettura è stata eseguita dopo aver lasciato trascorrere alcuni secondi dal riposizionamento del sensore;
- valori medi e valori centrali: per tenere conto delle differenze esistenti fra i valori al centro del sensore triassiale e i valori medi sull'intera sua sezione, si può calcolare che l'errore massimo in funzione della distanza normalizzata (rapporto fra la distanza dalla sorgente e il raggio del sensore) non supera il $-0,8\%$;
- punto di misura: l'incertezza sul punto di misura, calcolata assumendo conservativamente una distribuzione degli errori uniforme (rettangolare) e assimilando la sorgente in esame a un dipolo, è al massimo pari a $1,094\%$.

L'insieme delle considerazioni appena espresse, ipotizzando che le singole componenti di incertezza siano indipendenti e che pertanto possano essere combinate quadraticamente, porta a ritenere che l'incertezza di misura totale massima sia del $\pm 3,3\%$ per le misure di induzione magnetica e del $\pm 5,1\%$ per le misure di campo elettrico (con valori $> 3 \text{ V/m}$).

L'incertezza totale rientra abbondantemente nel limite del $\pm 10\%$ indicato dalla normativa tecnica.

10 RISULTATI DELLE MISURE

Tutti i valori sono espressi in valore efficace.

10.1 Via dell'Istria

I risultati sono riportati nelle Tabb. 10.1.I÷10.1.IV. La pianta di zona è disponibile in Fig. 10.1.1. Le fotografie del sito sono disponibili nelle Figg. 10.1.2 ÷ 10.1.24 .

Tab. 10.1.I – Via dell'Istria – Strada pubblica – Misure di induzione magnetica

Misura n.	Induzione magnetica B (μT)			Rintracciabilità punto di misura
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	2,54	1,56	1,22	marciapiede sn - cordonata
2	2,69	1,62	1,24	marciapiede sn - cordonata
3	3,44	2,03	1,51	marciapiede sn - cordonata
4	3,18	1,70	1,27	marciapiede sn - cordonata
5	2,69	1,58	1,21	marciapiede sn - cordonata
6	2,98	1,64	1,20	marciapiede sn - cordonata
7	2,73	1,65	1,24	marciapiede sn - cordonata
8	2,56	1,55	1,19	marciapiede sn - cordonata
9	2,16	1,37	1,08	marciapiede sn - cordonata
10	0,65	0,56	0,51	marciapiede sn – a 5 m dal cavo
11	2,95	1,69	1,28	marciapiede sn – a 5 m dal cavo
12	1,64	1,14	0,93	marciapiede sn – a 5 m dal cavo
13	0,57	0,50	0,45	marciapiede sn - muretto
14	0,40	0,22	0,16	marciapiede sn - difr. civico 95
15	0,14	0,13	0,13	marciapiede ds - cordonata
16	0,15	0,14	0,14	marciapiede ds - cordonata
17	0,14	0,14	0,13	marciapiede ds - cordonata
18	0,12	0,11	0,11	marciapiede ds - cordonata
19	0,16	0,13	0,14	marciapiede ds - cordonata
20	0,09	0,09	0,08	marciapiede ds - muro cinta asilo
21	0,17	0,16	0,16	marciapiede ds - cordonata
22	0,17	0,16	0,16	marciapiede ds - muro cinta asilo
23	0,09	0,08	0,08	marciapiede ds - cordonata
24	0,08	0,04	0,04	marciapiede ds - cordonata
25	0,07	0,06	0,06	centro aiola spartitraffico
26	0,10	0,09	0,09	cordonata aiola spartitraffico
27	0,09	0,08	0,08	cordonata aiola spartitraffico

Tab. 10.1.II – Via dell'Istria – Strada pubblica – Misure di campo elettrico

Misura n.	Campo elettrico (V/m)	Altezza di misura (m)	Note e riferimenti
a	< 1,00	1,0	Corrisponde al punto 25 di Tab. 10.1.I
b	< 1,00	1,0	Fra i punti 21 e 22 di Tab. 10.1.I
c	< 1,00	1,0	Corrisponde al punto 11 di Tab. 10.1.I
d	< 1,00	1,0	In linea con il punto 11 di Tab. 10.1.I - verso strada

Tab. 10.1.III- Pertinenze esterne della scuola dell'infanzia di Via dell'Istria 170
Misure di induzione magnetica

Misura n.	Induzione magnetica B (μT)			Rintracciabilità punto di misura
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	0,09	0,09	0,09	Centrale - a 2 m dal cancello
2	0,05	0,05	0,05	Centrale - a 10 m dal cancello
3	0,04	0,03	0,03	Centrale - a 20 m dal cancello
4	0,06	0,14	0,20	Ultimo gradino ingresso edificio
5	0,12	0,11	0,11	Destra – a 5 m dal cancello
6	0,11	0,10	0,10	Destra – a 15 m dal cancello
7	0,11	0,10	0,10	Destra – a 20 m dal cancello
8	0,07	0,06	0,06	Sinistra – a 5 m dal cancello
9	0,06	0,05	0,05	Sinistra – a 15 m dal cancello
10	0,05	0,05	0,05	Sinistra – a 20 m dal cancello
11	0,03	0,02	0,02	Sinistra – zona giochi più lontana
12	0,04	0,04	0,04	Sinistra – zona giochi più vicina
13	0,06	0,06	0,06	Destra - zona giochi più vicina
14	0,06	0,06	0,06	Destra - zona giochi più lontana

Nota: destra e sinistra con le spalle dell'osservatore rivolte al cancello; punto 4: inizia l'influenza dell'impianto elettrico utilizzatore

Tab. 10.1.IV - Pertinenze esterne della scuola dell'infanzia di Via dell'Istria 170
Misure di campo elettrico

Misura n.	Campo elettrico (V/m)	Altezza di misura (m)	Note e riferimenti
a	< 1,00	1,0	Corrisponde al punto 4 della Tab. 10.1.III
b	< 1,00	1,0	Corrisponde al punto 1 della Tab. 10.1.III
c	< 1,00	1,0	Corrisponde al punto 7 della Tab. 10.1.III
d	< 1,00	1,0	Corrisponde al punto 10 della Tab. 10.1.III

Fig. 10.1.1 – Via dell'Istria – Pianta di zona con indicazione dei punti di misura



Fig. 10.1.2 – Via dell'Istria – Punti di misura da 1 a 3



Fig. 10.1.3 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punto di misura 4



Fig. 10.1.4 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punto di misura 5



Fig. 10.1.5 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punti di misura 6 e 7



Fig. 10.1.6 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punti di misura da 8 a 10



Fig. 10.1.7 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punti di misura da 11 a 13



Fig. 10.1.8 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punto di misura 14



Fig. 10.1.9 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punto di misura 15



Fig. 10.1.10 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punti di misura da 16 e 17



Fig. 10.1.11 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punto di misura 18



Fig. 10.1.12 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punti di misura da 19 a 20

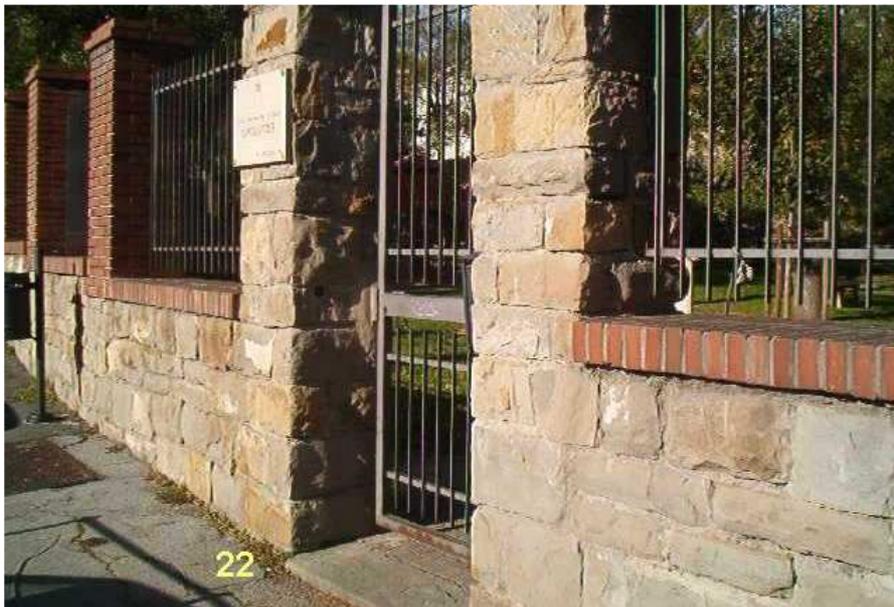


Fig. 10.1.13 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punto di misura 22



Fig. 10.1.14 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punti di misura 21, 23 e 24



Fig. 10.1.15 – Via dell'Istria – Strada pubblica – Punti di misura da 25 a 27



Fig. 10.1.16 – Via dell'Istria 170 – Scuola dell'infanzia – Vista esterna



Fig. 10.1.17 – Via dell'Istria 170 – Scuola dell'infanzia – Vista esterna



Fig. 10.1.18 – Via dell'istria 170 – Scuola dell'infanzia – Punti di misura da 1 a 3



Fig. 10.1.19 – Via dell'istria 170 – Scuola dell'infanzia – Punti di misura da 5 a 7

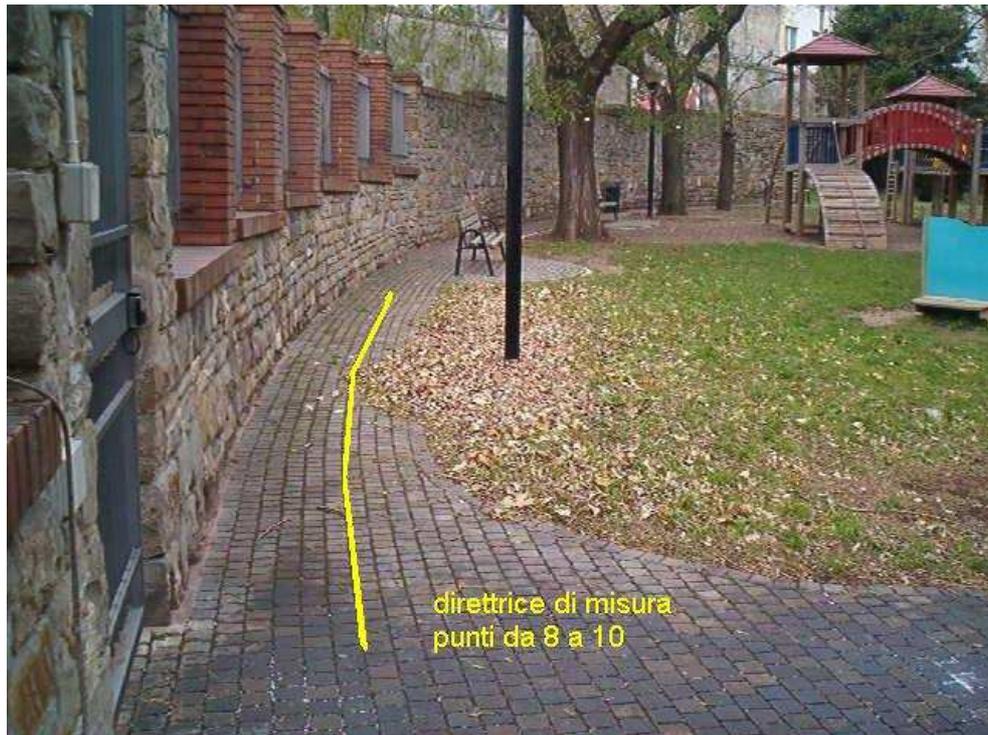


Fig. 10.1.20 – Via dell'istria 170 – Scuola dell'infanzia – Punti di misura da 8 a 10



Fig. 10.1.21 – Via dell'istria 170 – Scuola dell'infanzia – Punto di misura 11



Fig. 10.1.22 – Via dell'istria 170 – Scuola dell'infanzia – Punto di misura 12



Fig. 10.1.23 – Via dell'istria 170 – Scuola dell'infanzia – Punto di misura 13



Fig. 10.1.24 – Via dell'istria 170 – Scuola dell'infanzia – Punto di misura 14

10.2 Padriciano paese

I risultati sono presentati nelle Tabb. 10.2.I÷10.2.IV. La pianta di zona è riportata in Fig. 10.2.1. Le sezioni trasversali in corrispondenza dei servizi interrati sono disponibili nelle Figg. 10.2.2÷10.2.4. Le misure sulle sezioni 3 e 5 sono state eseguite con passo fisso e quindi non è stata elaborata alcuna vista trasversale
Fotografie del sito sono reperibili nelle Figg. 10.2.5÷10.2.19.

Tab. 10.2.I – Padriciano paese - Strada pubblica – Sezione 1 (ora: 9.00 – 9.10)
Misure di induzione magnetica

Misura n.	B (μ T)			Passo di misura
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	2,04	2,02	1,90	in corrispondenza delle pareti perimetrali esterne degli edifici e sull'asse dei servizi interrati (v. sezione trasversale)
2	4,34	4,08	3,74	
3	9,15	6,96	6,43	
4	14,65	10,32	9,92	
5	12,82	9,14	7,35	
6	7,13	5,17	4,33	
7	3,42	2,94	2,64	
8	2,67	2,29	2,11	
9	2,14	1,83	1,66	
10	1,78	1,52	1,43	
11	1,39	1,22	1,18	
12	0,63	0,57	0,54	

Tab. 10.2.II – Padriciano paese - Strada pubblica – Sezione 2 (ora: 9.15 – 9.20)
Misure di induzione magnetica

Misura n.	B (μ T)			Passo di misura
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	0,71	0,21	0,14	in corrispondenza delle pareti perimetrali esterne degli edifici e sull'asse dei servizi interrati (v. sezione trasversale)
2	0,74	0,21	0,14	
3	0,38	0,16	0,10	
4	0,26	0,14	0,07	
5	0,23	0,10	0,06	
6	0,29	0,08	0,06	
7	0,39	0,11	0,07	
8	0,05	0,04	0,04	

Tab. 10.2.III – Padriciano paese - Strada pubblica – Sezione 3 (ora: 9.20 – 9.30)
Misure di induzione magnetica

Misura n.	B (μ T)			Passo di misura (m)
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	0,64	0,26	0,18	0,0
2	0,93	0,24	0,19	+0,5
3	0,94	0,30	0,26	+0,5
4	0,65	0,58	0,28	+0,5
5	0,34	0,22	0,17	+0,5
6	0,19	0,17	0,15	+0,5
7	0,15	0,14	0,13	+0,5
8	0,16	0,15	0,14	+0,5
9	0,25	0,19	0,15	+0,5
10	0,50	0,19	0,15	+0,5
11	0,58	0,19	0,16	+0,5
12	0,36	0,17	0,14	+0,5
13	0,20	0,14	0,11	+0,5
14	0,11	0,10	0,09	+0,6 ~

Tab. 10.2.IV – Padriciano paese - Strada pubblica – Sezione 4 (ora: 9.30 – 9.35)
Misure di induzione magnetica

Misura n.	B (μ T)			Passo di misura
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	0,58	0,26	0,16	in corrispondenza delle pareti perimetrali esterne degli edifici e sull'asse dei servizi interrati (v. sezione trasversale)
2	0,84	0,24	0,17	
3	0,48	0,20	0,14	
4	0,32	0,17	0,14	
5	0,22	0,15	0,12	
6	0,19	0,13	0,11	
7	0,36	0,13	0,10	
8	0,06	0,05	0,05	

Tab. 10.2.V – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 5 (ora: 9.40 – 9.50)
Misure di induzione magnetica

Misura n.	B (μ T)			Passo di misura (m)
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	2,90	2,54	2,41	0,0
2	3,62	3,30	2,90	+0,5
3	4,14	3,71	3,62	+0,5
4	5,11	4,96	3,64	+0,5
5	6,83	6,50	5,80	+0,5
6	9,67	8,72	7,35	+0,5
7	13,82	11,40	9,21	+0,5
8	20,30	16,40	12,52	+0,5
9	31,86	20,65	16,10	+0,5
10	48,90	27,66	19,55	+0,5
11	70,76	34,51	23,90	+0,5
12	70,55	36,92	25,22	+0,5
13	58,21	35,37	24,56	+0,5
14	69,88	30,61	21,94	+0,5
15	60,14	26,34	19,33	+0,5
16	37,10	20,80	15,47	+0,5
17	23,45	16,94	12,20	+0,5
18	15,56	12,41	9,31	+0,5
19	10,62	9,40	7,70	+0,5
20	7,89	6,55	5,72	+0,5
21	5,83	5,01	4,57	+0,5 e dislivello h + 0,3
22	4,40	4,02	3,75	+0,5
23	3,41	3,20	3,03	+0,5
24	2,69	2,52	2,44	+0,5
25	2,05	1,91	1,84	+0,5
26	1,68	1,59	1,55	+0,5
27	1,36	1,31	1,27	+0,5
28	1,14	1,09	1,07	+0,5
29	0,95	0,92	0,91	+0,5
30	0,82	0,79	0,79	+0,5
31	0,69	0,68	0,68	+0,3 ~

Tab. 10.2.VI – Padriciano paese – Strada pubblica - Misure di campo elettrico

Misura n.	Campo elettrico (V/m)	Altezza di misura (m)	Note e riferimenti
a	< 1,00	1,0	Su sezione 5 - centro strada sn
b	< 1,00	1,0	Su sezione 5 - centro aiola
c	< 1,00	1,0	Su sezione 5 - centro strada ds

Tab. 10.2.VII- Padriciano paese, pertinenze private e luoghi di sosta (ora:9.40 – 10.05)
Misure di induzione magnetica

Misura n.	B (μ T)			Passo di misura
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	0,26	0,25	0,27	Interno bar a 1 m dall'ingresso
2	0,42	0,38	0,33	Ingresso immobile An. 71
3	0,42	0,40	0,42	Ingressi immobili An. 67 e 68
4	0,29	0,26	0,23	Ingresso immobile An. 65
5	0,64 a + 0,5 m; 0,67 a 0 m; 0,69 a -50 m; 0,59 a -1,0 m			Cortile Minimarket vic. muro perimetrale / sotto piano stradale
6	0,36	0,35	0,43	Veranda trattoria a 1 m dall'ingresso
7	0,17	0,16	0,15	Pensilina fermata bus
8	0,49	0,53	0,58	Ingresso chiesetta

Fig. 10.2.1 – Padriciano paese – Pianta di zona con indicazione delle sezioni e dei punti di misura

Fig. 10.2.2 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 1 – Posizione dei servizi interrati

Fig. 10.2.3 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 2 – Posizione dei servizi interrati

Fig. 10.2.4 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 4 – Posizione dei servizi interrati



Fig. 10.2.5 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 1 (destra)



Fig. 10.2.6 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 1 (sinistra)



Fig. 10.2.7 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 2



Fig. 10.2.8 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 3

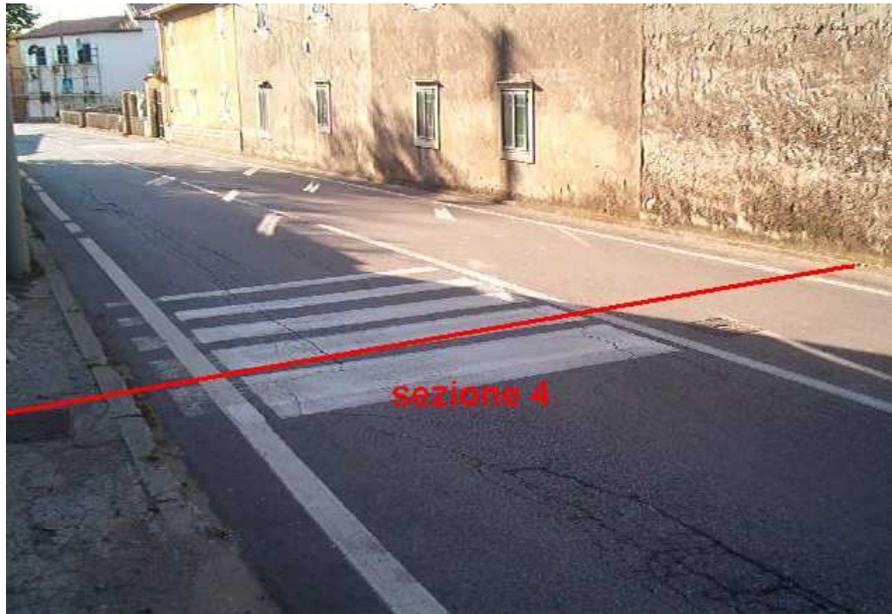


Fig. 10.2.9 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 4



Fig. 10.2.10 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 5 (sinistra)



Fig. 10.2.11 – Padriciano paese – Strada pubblica – Sezione 5 (destra)



Fig. 10.2.12 – Padriciano paese – Ingresso bar

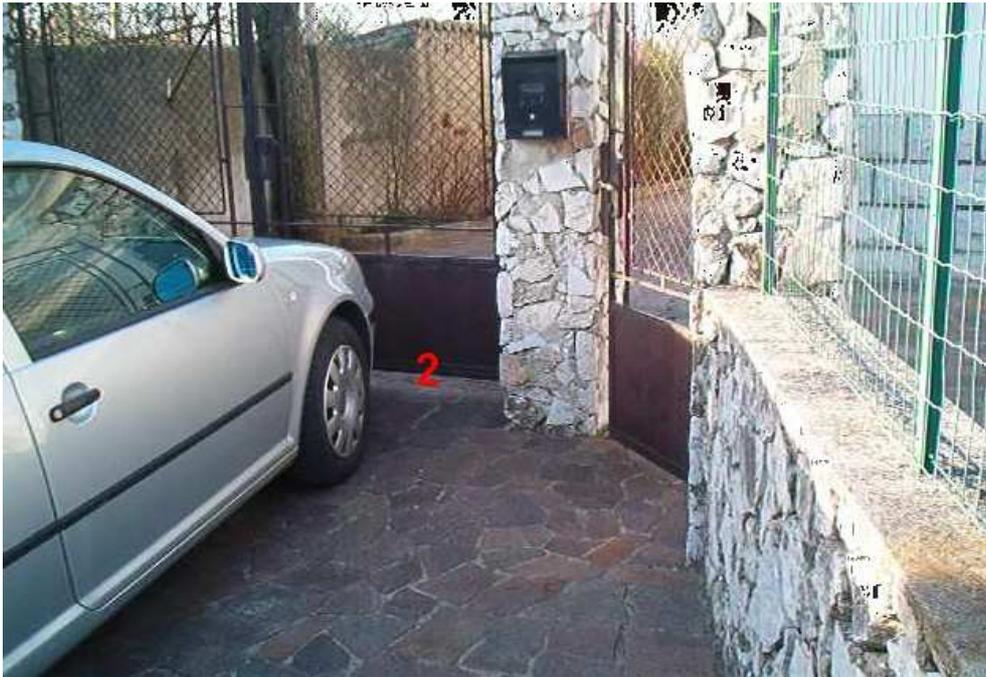


Fig. 10.2.13 – Padriciano paese – Ingresso immobile An. 71



Fig. 10.2.14 – Padriciano paese – Ingresso immobili An. 67 e 68



Fig. 10.2.15 – Padriciano paese – Ingresso immobile An. 65



Fig. 10.2.16 – Padriciano paese – Cortile minimarket



Fig. 10.2.17 – Padriciano paese – Veranda trattoria



Fig. 10.2.18 – Padriciano paese – Pensilina fermata bus



Fig. 10.2.19 – Padriciano paese – Ingresso chiesetta

10.3 Padriciano, strada dei campi di golf

I risultati sono presentati nelle Tabb. 10.3.I÷10.3.III. La pianta di zona è riportata in Fig. 10.3.1. Le fotografie del sito si trovano nelle Figg. 10.3.2 e 10.3.3.

Tab. 10.3.I – Padriciano, strada dei campi di golf – Sezione A-A'– tratto 0-A'
(ora: 10.00 – 10.15) - Misure di induzione magnetica

Misura n.	B (μ T)			Passo di misura (m)
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	10,63	3,46	2,32	0,0
2	8,01	3,14	2,16	+0,5
3	5,29	2,61	1,86	+0,5
4	3,91	2,27	1,68	+0,5
5	2,46	1,61	1,29	+0,5
6	1,82	1,31	1,11	+0,5
7	1,41	1,10	0,95	+0,5
8	1,09	0,88	0,78	+0,5
9	0,85	0,72	0,65	+0,5
10	0,73	0,63	0,56	+0,5
11	0,59	0,54	0,49	+0,5
12	0,51	0,48	0,43	+0,5
13	0,45	0,42	0,39	+0,5
14	0,40	0,39	0,35	+0,5
15	0,36	0,35	0,32	+0,5
16	0,33	0,32	0,31	+0,5
17	0,29	0,31	0,28	+0,5
18	0,27	0,29	0,28	+0,5
19	0,26	0,27	0,27	+0,5
20	0,25	0,27	0,25	+0,5
21	0,24	0,26	0,25	+0,5

Tab. 10.3.II – Padriciano, strada dei campi di golf – sezione A-A' – tratto 0-A
(ora: 10.15 – 10.30) - Misure di induzione magnetica

Misura n.	B (μ T)			Passo di misura (m)
	h = 0,0 m	h = 1,0 m	h = 1,5 m	
1	10,73	3,46	2,37	0,0
2	10,52	3,38	2,27	+0,5
3	8,22	3,09	2,21	+0,5
4	5,46	2,72	2,01	+0,5
5	3,68	2,21	1,74	+0,5
6	2,62	1,83	1,45	+0,5
7	1,92	1,49	1,22	+0,5
8	1,52	1,24	1,04	+0,5
9	1,17	0,96	0,82	+0,5
10	0,93	0,79	0,73	+0,5
11	0,74	0,66	0,60	+0,5
12	0,61	0,56	0,51	+0,5
13	0,51	0,48	0,45	+0,5
14	0,44	0,42	0,39	+0,5
15	0,39	0,37	0,35	+0,5
16	0,35	0,33	0,31	+0,5
17	0,30	0,29	0,28	+0,5
18	0,27	0,26	0,25	+0,5
19	0,24	0,23	0,22	+0,5
20	0,22	0,21	0,20	+0,5
21	0,21	0,20	0,20	+0,5

Tab. 10.3.III – Padriciano, strada dei campi di golf – Misure di campo elettrico

Misura n.	Campo elettrico (V/m)	Altezza di misura (m)	Note e riferimenti
a	44,30	1,0	Corrisponde al punto 0 della Tab. 10.3.II
b	44,60	1,5	
c	61,70	1,0	Corrisponde al punto 20 della Tab. 10.3.II
d	62,50	1,5	

Fig.10.3.1 – Padriciano, strada dei campi di golf – Pianta di zona con indicazione della sezione di misura



Fig. 10.3.2 – Padriciano, strada dei campi di golf – Sezione A-A' (visto da A')



Fig. 10.3.3 – Padriciano, strada dei campi di golf – Sezione A-A' (visto da A)

11 CONCLUSIONI

I risultati delle misure dimostrano che il campo elettrico e l'induzione magnetica emessi dal cavo 132 kV rientrano sicuramente nei limiti di legge (DPCM 8 luglio 2003) che, per comodità di lettura, sono riproposti in Tab. 11-I.

Tab. 11-I – Limiti per la popolazione

Limite	Campo elettrico (V/m)	Induzione magnetica (μT)	Note
Limite di esposizione	5000	100	zone non abitate in permanenza (es.: strade)
Valore di attenzione	--	10	zone abitate in permanenza (impianti esistenti)
Obiettivo di qualità	--	3	zone abitate in permanenza (impianti nuovi – da 2003)

Nei cavi isolati il campo elettrico rimane confinato all'interno e il suo contributo all'inquinamento ambientale è risibile. Ciò è testimoniato dalle misure svolte a campione in Via dell'Istria e nel centro abitato di Padriciano dove, infatti, il valore rilevato non è distinguibile dai valori di fondo^(*). Il leggero incremento riscontrato in zona "Padriciano, strada dei campi di golf" è determinato dalla presenza di linee aeree di alta tensione Enel, come testimonia il fatto che il campo rilevato aumenta elevando l'altezza del sensore e avvicinandosi alle linee citate.

In sostanza, le misure dimostrano che il limite di 5000 V/m è sempre rispettato.

Dalle misure di induzione magnetica (riferimento: a 1 m di altezza) si possono trarre le seguenti conclusioni:

1. in sede stradale e di marciapiede è sempre rispettato il limite di esposizione di 100 μT ; ciò anche nei punti in cui sono presenti giunti interrati i quali, imponendo l'allargamento delle fasi per ragioni funzionali, rappresentano i punti di maggiore criticità;
2. in prossimità delle pareti perimetrali esterne degli edifici dell'abitato di Padriciano, l'induzione magnetica determinata dal cavo 132 kV (schermato e senza giunti) e dalle sorgenti concorrenti non raggiunge mai il valore di 0,5 μT ;
3. la schermatura del tratto di cavo 132 kV che attraversa l'abitato di Padriciano mantiene intatta la sua integrità e funzionalità e consente di abbattere significativamente le emissioni (di un fattore >10 rispetto al contributo teorico in assenza di schermo – v. Appendice 3, Fig. A3.2);
4. le misure svolte in Via dell'Istria dimostrano che in prossimità del cavo posato in sede stradale, pure in presenza di sorgenti concorrenti^(**), è sempre rispettato il valore di attenzione di 10 μT – applicabile nella fattispecie – e, nella maggior parte dei casi, anche l'obiettivo di qualità di 3 μT applicabile agli impianti progettati dopo il 2003;
5. In prossimità dell'ingresso della scuola dell'infanzia di Via dell'Istria 170, i valori di induzione magnetica misurati sono al di sotto di quella che alcuni studi sanitari indicano come "soglia di attenzione epidemiologica" per l'infanzia (0,4 μT); ciò vale anche per i valori misurati nelle pertinenze esterne del comprensorio (zone di passaggio e zone di gioco).

Si consideri che il valore di 0,5 μT a 5 m di distanza dall'asse del cavo (ipotesi di progetto) verrebbe comunque assicurata anche se la corrente transitante nel cavo fosse pari alla portata nominale dello stesso (v. Appendice A3, Fig. A3.1).

^(*) Nota: il valore < 1 V/m riportato in Tab. 10.1.II, Tab. 10.1.IV e Tab. 10.2.VI sostituisce il valore effettivamente letto sul display che, essendo al limite della soglia di rilevabilità dello strumento, non può essere assunto come significativo.

^(**) Nota: le sorgenti concorrenti risultano prevalenti nei punti di misura da 1 a 9 di Tab. 10.1.I.

Dal punto di vista della caratterizzazione in frequenza, i risultati indicano che nelle correnti di linea, e conseguentemente nel vettore di induzione magnetica, non sono presenti armoniche apprezzabili di ordine superiore alla fondamentale a 50 Hz (contenuto armonico < 1 %).

APPENDICI

APPENDICE 1 – Curve di carico nell’arco delle 24 ore e analisi statistica

In questa Appendice sono riportate le curve di carico nelle 24 ore delle sorgenti di campo prevalenti individuate nel paragrafo 6 e vengono pure presentati, in forma tabellare, i relativi dati statistici (il valore mediano è evidenziato in rosso).

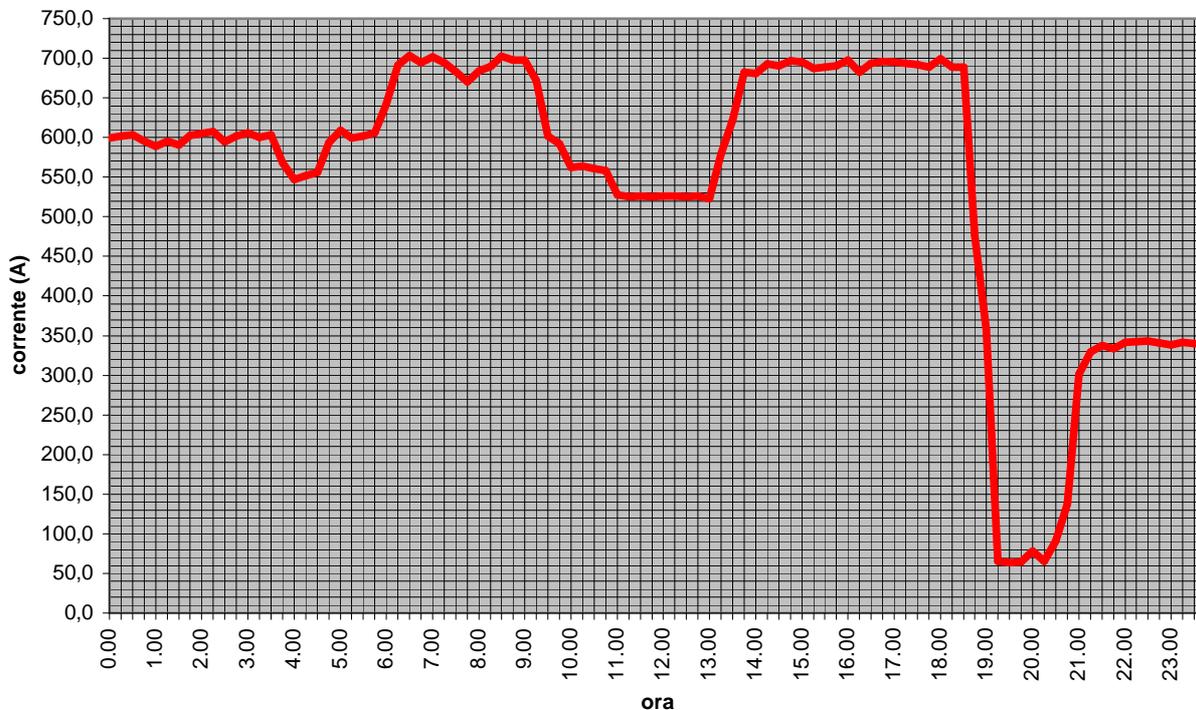


Fig. A1.1 – Cavo 132 kV Elettra GLT – 2/12/2005 – Curva di carico nelle 24 h

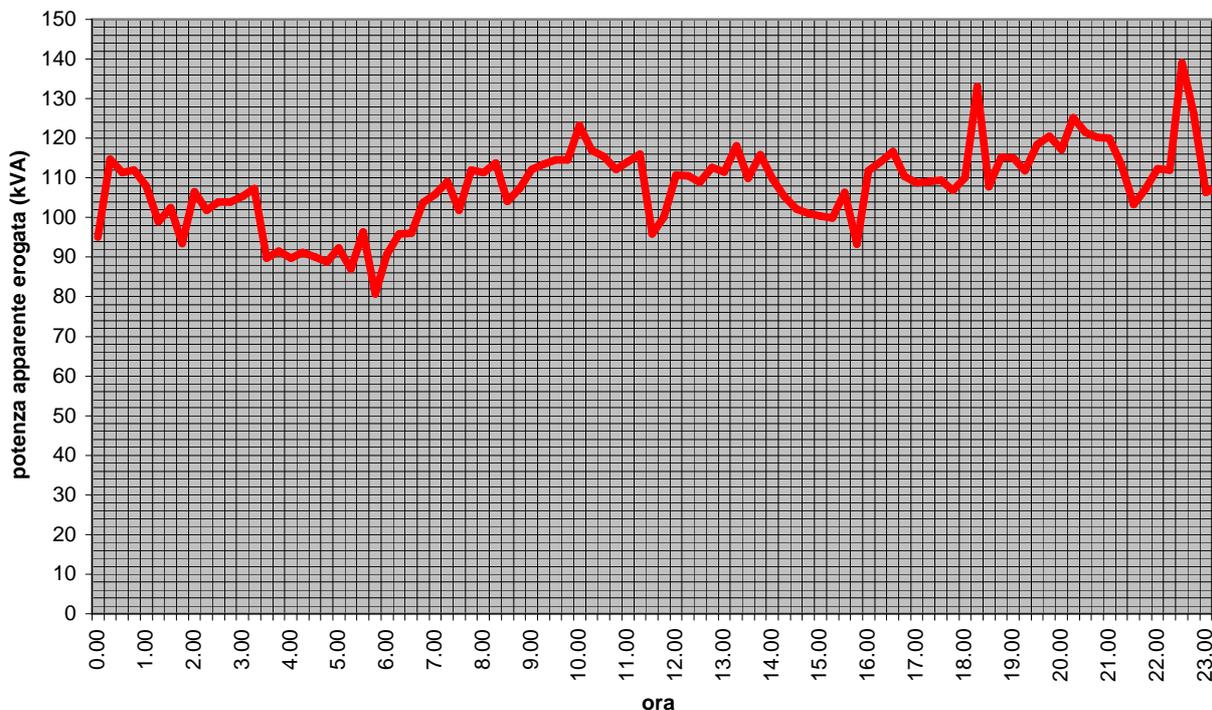


Fig. A1.2 – Cabina acegas-Aps di Via Orsera 4 - 2/12/2005 – Curva di carico del trasformatore nelle 24 h

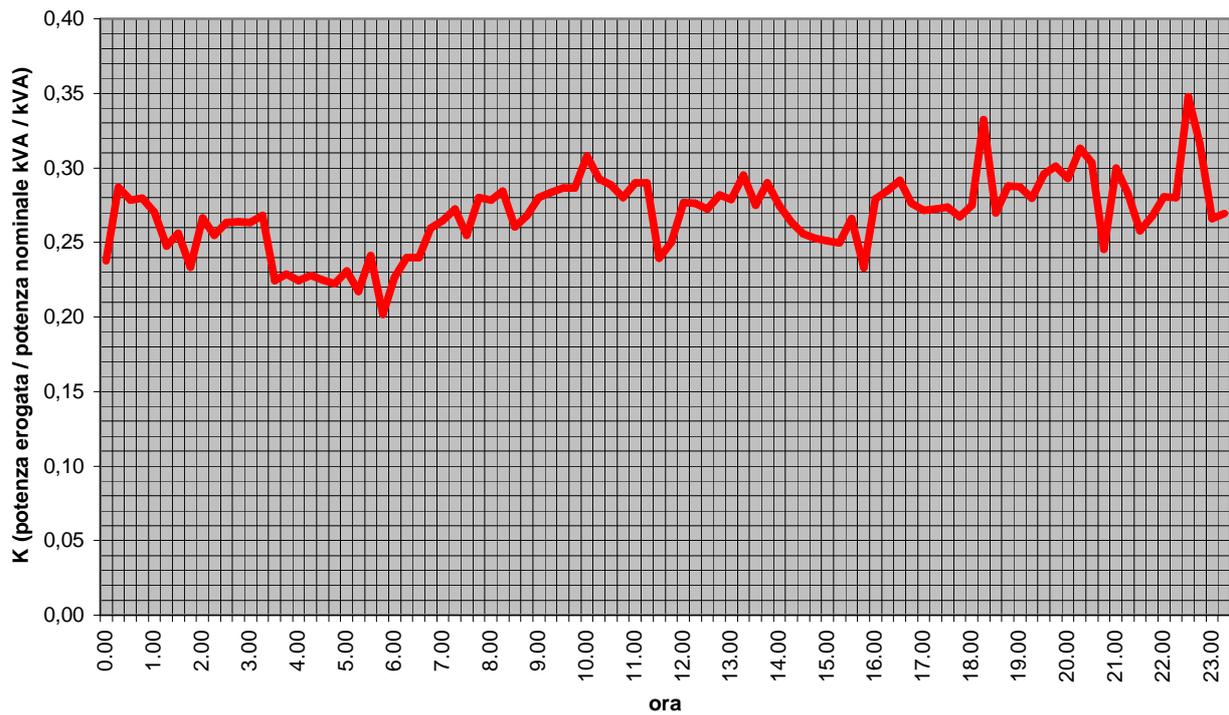


Fig. A1.3 – Cabina Acegas-Aps di Via Orsera 4 – 2/12/2005 – Fattore di carico del trasformatore nelle 24 h

Tab. A1.I – Via dell'Istria – 2/12/2005 – Analisi statistica dei carichi

Funzione statistica	Cavo 132 kV Elettra GLT	Cabina Acegas-Aps V. Orsera 4
Media	546,6	107,3
Mediana	600,0	109,0
Deviazione standard	173,9	10,8
Varianza	30241,2	116,6
Valore minimo	63,7	74,1
Valore massimo	703,6	139,1
Campo di variazione	639,9	65,0

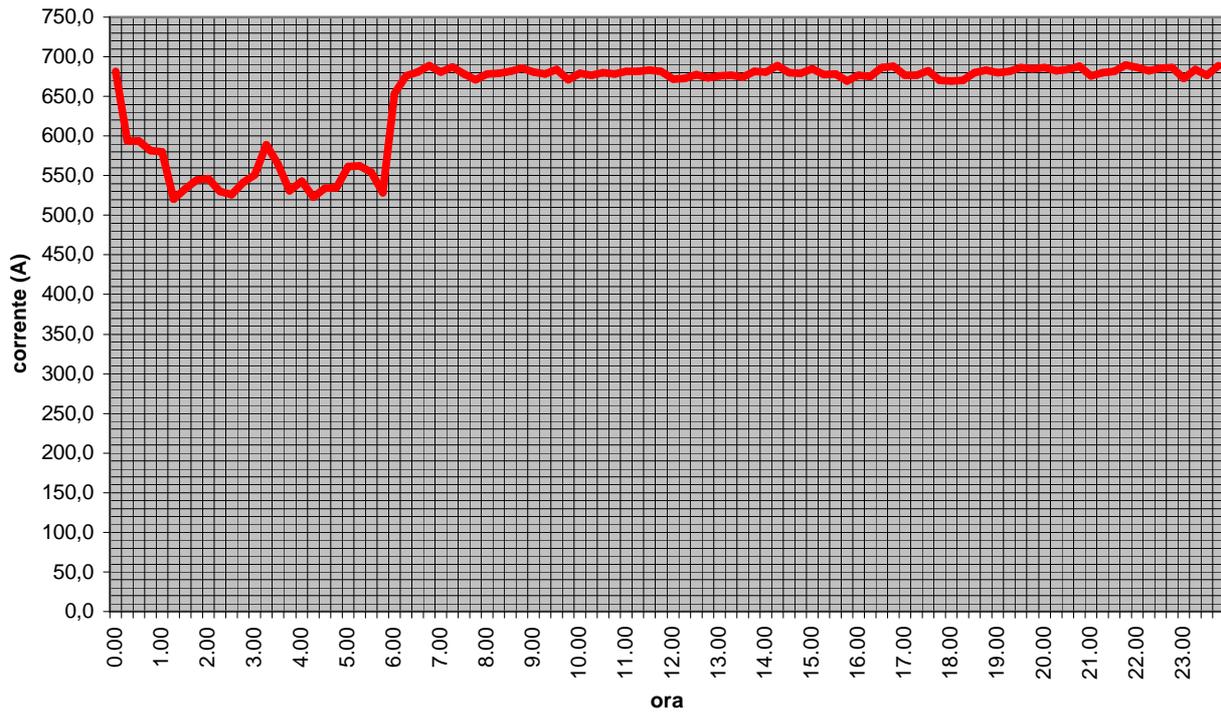


Fig. A1.4 – Cavo 132 kV Elettra GLT – 14/12/2005 – Curva di carico nelle 24 h

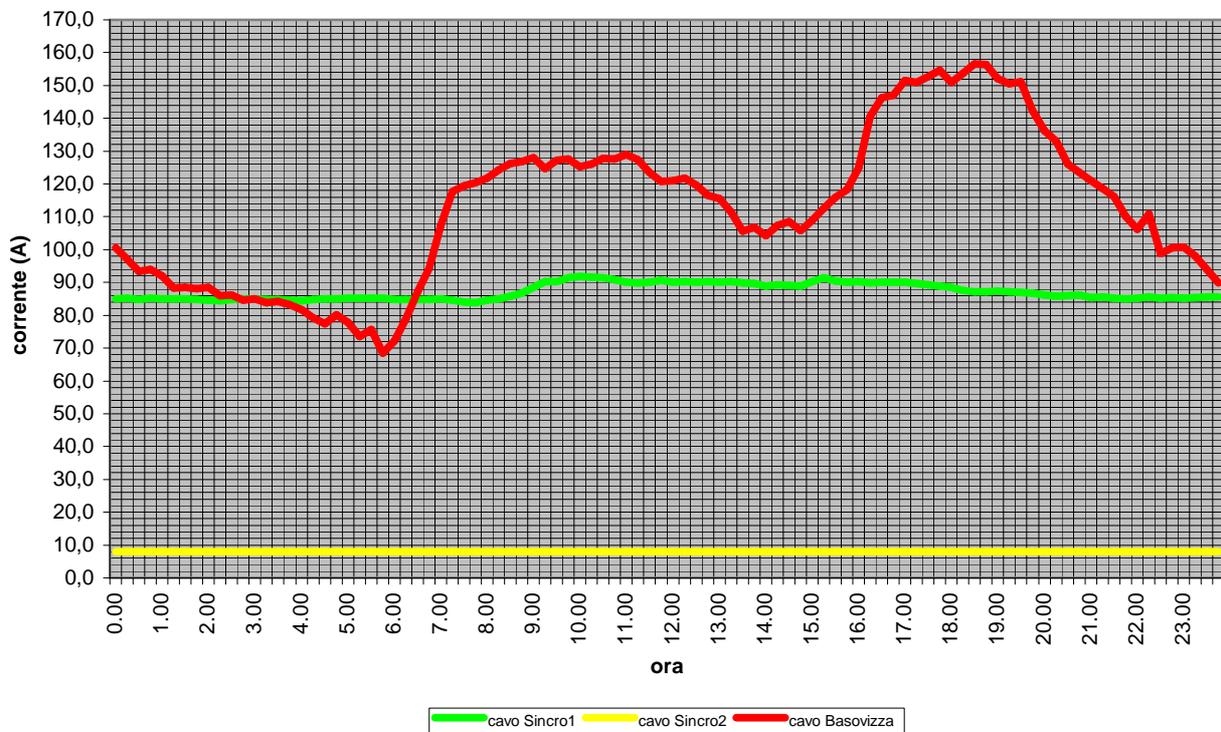


Fig. A1.5 – Cavi MT Acegas-Aps - 14/12/2005 – Curve di carico nelle 24 h

Tab. A1.II – Padriciano – 14/12/2005 – Analisi statistica dei carichi

Funzione statistica	Cavo 132 kV Elettra GLT	Cavi MT Acegas-Aps		
		Sincro 1	Sincro 2	Basovizza
Media	649,0	87,2	7,9	112,7
Mediana	678,0	85,9	7,9	115,8
Deviazione standard	56,9	2,5	0,0	23,4
Varianza	3237,6	6,2	0,0	547,6
Valore minimo	520,6	83,9	7,9	68,4
Valore massimo	689,8	91,8	7,9	156,6
Campo di variazione	169,2	7,9	0,0	88,2

Confrontando i valori mediani nell'arco delle 24 ore con quelli registrati durante l'esecuzione delle misure (v. paragrafo 7), si nota che i primi sono di solito inferiori ai secondi, con la parziale eccezione delle correnti circolanti nel cavo 132 kV al momento delle misure svolte in Via dell'Istria (decremento massimo sulla mediana comunque contenuto nel 14%).

Si può pertanto ritenere che le misure sono state eseguite in condizioni di carico effettivamente rappresentative del fenomeno che si è voluto monitorare.

APPENDICE 2 – Definizione delle “condizioni normali di esercizio”

Nella presente Appendice vengono presentate alcune considerazioni sulle “condizioni normali di esercizio” del cavo 132 kV Elettra GLT e delle maggiori sorgenti concorrenti gestite da Acegas-Aps^(*).

- Condizioni normali di esercizio del cavo 132 kV Elettra GLT

Tali condizioni sono identificate come segue:

- impianto di generazione erogante un potenza attiva non superiore a 175 MW;
 - potenza attiva prelevata dalla rete, nell'ipotesi di generatori fermi e quindi con inversione del flusso di energia, pari a circa 10 MW (condizione rilevabile in Appendice 1, Fig. A1.1)
 - tensione nominale di 132 kV \pm 10%, come da contratto stipulato con Terna S.p.A.;
 - frequenza di autoproduzione regolata a 50 Hz con massime tolleranze ammesse del +5/-3%;
 - cavo in servizio continuo caricato non oltre la portata nominale riferita alle condizioni effettive di posa;
 - assenza di guasti e anomalie influenzanti il valore dell'induzione magnetica rilevabile all'esterno del cavo.
- Condizioni normali di esercizio di cabine MT/BT e di cavi MT Acegas-Aps

Per la cabina MT/BT di Via Orsera 4 si applicano le seguenti condizioni:

- rete primaria MT in configurazione tipica entra/esce con anello aperto in un punto del cavo posato fra due cabine primarie;
- rete secondaria BT in configurazione radiale, con cavi di riserva non alimentati e nessuna delle linee derivate esclusa per lavori;
- circuiti di illuminazione pubblica in comando automatico (esclusi durante il giorno in condizioni di luminosità naturale sufficiente, inseriti durante le ore serali/notturne e in condizioni di luminosità naturale insufficiente);
- trasformatore caricato non oltre la potenza nominale;
- ciclo di carico rappresentativo di una tipica giornata ferialle;
- tensioni nei limiti di tolleranza ammessi dalle norme tecniche e dalle disposizioni dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas;
- assenza di guasti e anomalie influenzanti il valore dell'induzione magnetica rilevabile all'esterno della struttura o dei cavi da questa derivati.

Per i cavi MT transitanti per Padriciano valgono le seguenti condizioni:

- cavo denominato “Basovizza” posato fra due cabine primarie e alimentante un numero di cabine secondarie con le modalità previste dagli schemi di rete;
- cavi denominati “Sincro 1 e “Sincro 2” derivati da cabina primaria e alimentanti direttamente l'impianto utilizzatore di Sincrotrone S.p.A.; alternativamente uno attivo e uno in riserva, quest'ultimo comunque in tensione e interessato da una corrente di circolazione a vuoto sostenuta dalle capacità del cavo;

^(*) Per quanto riguarda la linea aerea a 132 kV menzionata al paragrafo 6, si tenga presente che il contributo della stessa - in termini di induzione magnetica interessante l'area monitorata - è risibile. La corrente circolante nella linea è comunque nei limiti della portata al limite termico come definita nella Norma CEI 11-60 “Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV”.

- cavi in servizio continuo caricati non oltre la loro portata nominale riferita alle effettive condizioni di posa;
- cicli di carico rappresentativi di una tipica giornata feriale
- tensioni nei limiti di tolleranza ammessi dalle norme tecniche e dalle disposizioni dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas;
- assenza di guasti e anomalie influenzanti il valore dell'induzione magnetica rilevabile all'esterno dei cavi.

APPENDICE 3 – Cavo 132 kV: calcolo teorico di induzione magnetica senza e con schermatura

Di seguito vengono presentati due grafici che illustrano la variazione dell'induzione magnetica in funzione della distanza dall'asse del cavo, nelle due ipotesi di cavo non schermato e cavo posato all'interno di una tubazione schermante in materiale ferromagnetico.

Il modello di calcolo è bidimensionale ed è stato elaborato assumendo come valide le seguenti condizioni operative:

- corrente nominale continuativa, alla massima potenza e con minima tensione, pari a 859 A;
- conduttori del cavo disposti a trifoglio;
- profondità di posa pari a 1 m;
- piano di calcolo a 1 m dal suolo.

I risultati dimostrano che :

- l'induzione magnetica si attesta sul valore di 0,5 μT a 5 m di distanza dall'asse del cavo;
- lo schermo interrato nella pubblica via che attraversa l'abitato di Padriciano è in grado di abbattere i valori di induzione magnetica al di sotto di 0,5 μT già sull'asse del cavo.

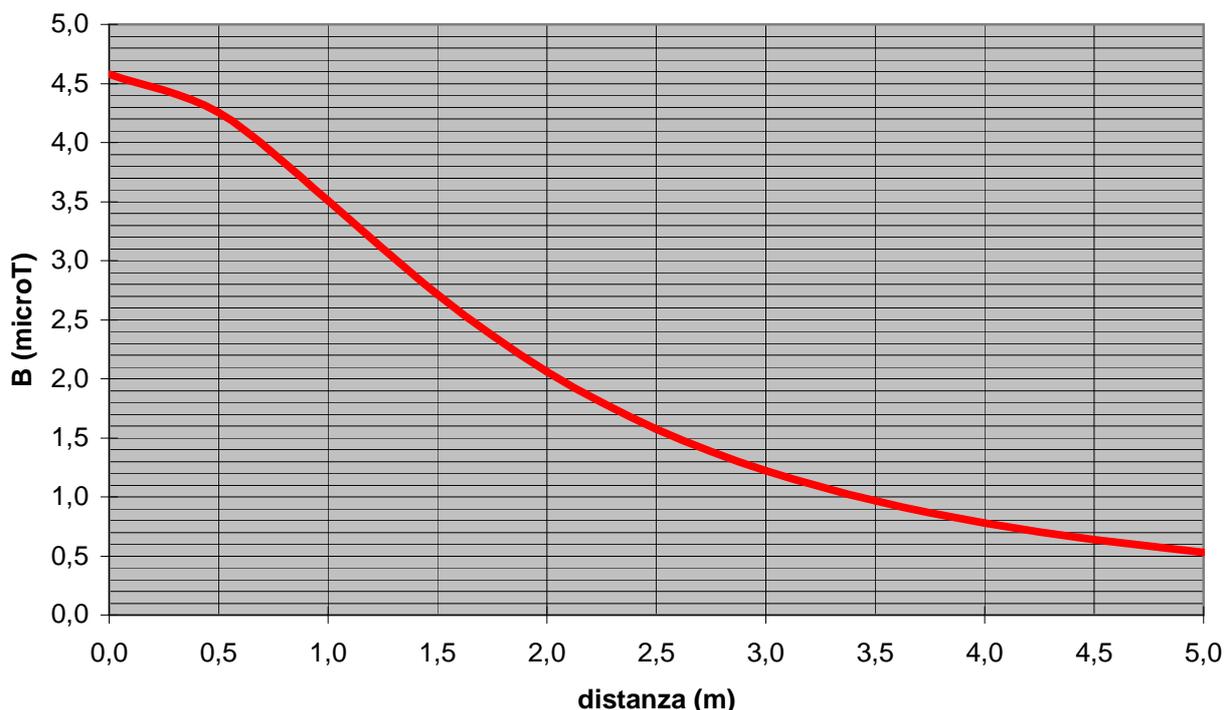


Fig. A3.1 – Induzione magnetica con cavo non schermato

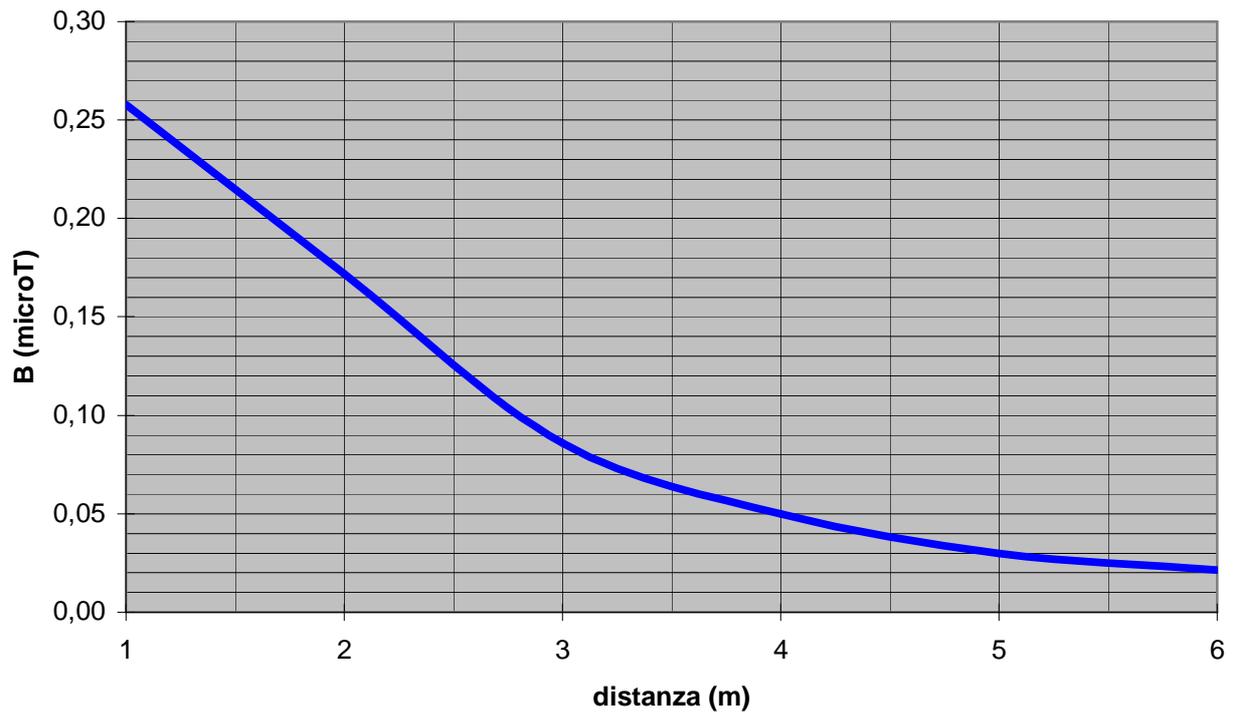


Fig. A3.2 – Induzione magnetica con cavo schermato