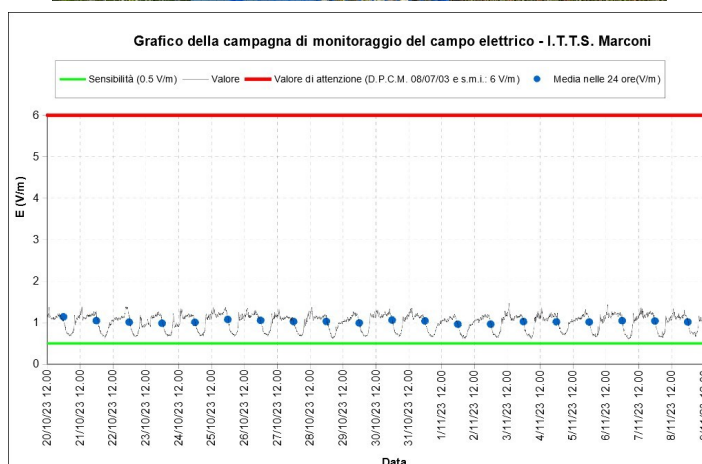
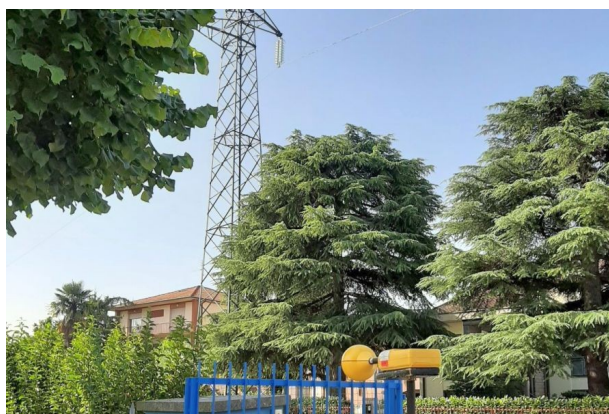




Forlì: attività di monitoraggio dell'inquinamento elettromagnetico da impianti di telefonia mobile e linee elettriche

**Relazione III anno di attività
2023**

INDICE

	<i>Pag.</i>
1 - Inquadramento generale	2
2 - Misure del campo elettrico (E) prodotto dalla radiazione elettromagnetica ad alta frequenza (RF): metodologia e risultati	2
2.1. - Metodologia e strumentazione	2
2.2 – Individuazione dei siti di misura e risultati delle misure RF in continuo (centraline)	5
2.3 Individuazione dei siti di misura e risultati delle misure RF di breve periodo (6 minuti)	20
3 - Misure del campo di induzione magnetica (B) prodotto dalla radiazione elettromagnetica ad bassa frequenza (50 Hz – ELF): metodologia e risultati.	19
3.1 – Metodologia e strumentazione	19
3.2 – Individuazione dei siti di misura e risultati delle misure dell'induzione magnetica (H) per sorgenti ELF	20
1 3.3 – Risultati delle misure in continuo e di breve periodo effettuate nei pressi delle linee MT di Via Lambertelli - Forlì	21
4 - Conclusioni.	27

1 - Inquadramento generale

La presente relazione descrive l'attività svolta per l'anno 2023 da Arpae nell'ambito della Convenzione di collaborazione triennale 2021-2023 col Comune di Forlì per il monitoraggio dell'inquinamento elettromagnetico da impianti di telefonia mobile e linee elettriche (Determina Apae n. 2021-262 del 06/04/2021).

L'attività svolta in questo terzo anno di collaborazione ha riguardato:

- 1) Il monitoraggio della radiazione elettromagnetica ad alta frequenza (RF), tramite misure brevi e prolungate in 4 siti sensibili (Ospedale e scuole);
- 2) la misura dell'induzione magnetica generata dalle linee elettriche presso il complesso scolastico in viale Europa (Farfalle - Coccinelle e scuola primaria G. Bersani);

Le informazioni e i dati delle indagini eseguite (foto e descrizione dei punti di misura, statistiche dei valori rilevati, ecc.) sono disponibili ed aggiornati con continuo sulle pagine web di Arpae, a partire dall'indirizzo:

<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/campi-elettromagnetici/daticampielettromagnetici>

Nel corso del 2023 non sono intervenute modifiche sostanziali alla struttura tecnica e normativa che regola l'esposizione della popolazione dei campi elettromagnetici, pertanto, per informazioni sugli aspetti generali afferenti la propagazione dei campi elettromagnetici, gli impianti di telecomunicazione e di distribuzione dell'energia elettrica, e la normativa di riferimento si rimanda alla relazione consegnata per il primo anno di attività.

2 - Misure del campo elettrico (E) prodotto dalla radiazione elettromagnetica ad alta frequenza (RF): metodologia e risultati

2.1. - Metodologia e strumentazione

La distribuzione dei campi elettromagnetici nello spazio circostante una sorgente dipende dalle caratteristiche radioelettriche della sorgente stessa e dal punto di osservazione. A seconda della distanza fra punto di misurazione e sorgente che origina il campo, si individuano due diverse regioni:

- Regione di campo vicino (reattivo / radiativo o zona di Fresnel);
- Regione di campo lontano (zona di Fraunhofer)

La separazione tra le due regioni dipende dalle dimensioni della sorgente (antenna) e dalla lunghezza d'onda (ovvero dalla frequenza di radiazione).

La distinzione fra le due regioni (campo vicino e campo lontano) è molto importante quando si devono eseguire delle misure. Infatti:

- in condizioni di campo vicino le misure di campo devono essere condotte in maniera

indipendente per il campo elettrico e il campo magnetico;

- in condizioni di campo lontano, invece, è possibile misurare uno solo dei campi (elettrico o magnetico) e ricavare di conseguenza l'altro, essendo il campo elettrico E e quello magnetico H legati tra loro.

Le dimensioni delle sorgenti RF (antenne), le frequenze dei rispettivi segnali, nonché la reciproca distanza tra punto di misura ed antenna, sono tali da far ritenere valida l'approssimazione di campo lontano per la quasi totalità dei rilievi di campo elettromagnetico che vengono effettuati nell'attività di monitoraggio/misura dagli operatori Arpae.

In questa particolare condizione l'onda elettromagnetica ha le caratteristiche di onda piana; campo elettrico (E) e campo magnetico (H) sono in fase ed ortogonali tra loro; entrambi risultano perpendicolari alla direzione di propagazione dell'onda e le relazioni che legano E , H e S (densità di potenza) sono relativamente semplici.

Le caratteristiche sopra esposte fanno sì che, in approssimazione di campo lontano, sia sufficiente la verifica del rispetto del valore limite di una qualsiasi delle tre grandezze per poter affermare che sono rispettati anche i limiti relativi alle altre due.

Le misure del campo elettromagnetico possono essere:

- a "banda larga";
- a "banda stretta".

Le misure in banda larga – che, a loro volta, si distinguono in "misure di breve periodo" e "misure in continuo" - restituiscono la somma, intesa come somma quadratica, di tutti i contributi dei livelli di campo elettrico presenti nel punto di rilievo e in un definito intervallo di frequenze, che dipende dallo strumento usato; nel caso specifico: 3 MHz -18 GHz per le misure brevi e 100 KHz – 8 GHz per la misura in continuo. Gli strumenti di misura in banda larga sono tecnologicamente più semplici, a lettura diretta e più economici (se confrontati con quelli utilizzati per la banda stretta); consentono, comunque, di fare indagini accurate di un sito, nonché di individuare la presenza o meno di eventuali criticità.

Per le misure di breve periodo in banda larga si utilizza uno strumento portatile, di dimensioni ridotte e di peso contenuto, che presenta il vantaggio di poter essere utilizzato per indagare aree estese in tempi brevi: per la semplicità di esecuzione della misura è utilizzato anche per indagini preliminari del sito. La misura, effettuata in presenza dell'operatore in genere dura qualche decina di minuti e può servire anche per esplorare l'area e individuare il punto di massima esposizione dove, magari, installare lo strumento per la misura in continuo (centralina di monitoraggio) (Figura 1).

La centralina di monitoraggio è uno strumento rilocabile, ma più ingombrante dello strumento portatile; l'installazione richiede più tempo e, solitamente, lo strumento viene lasciato nello stesso sito per periodi prolungati (in genere qualche settimana) ed acquisisce i valori di campo elettrico in continuo, in assenza dell'operatore a presidio della misura.

Considerate le dimensioni dello strumento e del suo supporto (palo e base in metallo), per l'installazione della centralina è necessario individuare un sito adeguato che garantisca, oltre ai requisiti di sicurezza e di disponibilità, la rappresentatività della misura.



Figura 1 - Strumenti a banda larga: per misure di breve periodo e in continuo (centralina)

La misura di lungo periodo con la centralina di monitoraggio ha il vantaggio, rispetto alla misura di breve periodo, di rilevare in automatico per periodi di tempo lunghi tutti i contributi di campo elettrico, consentendo di caratterizzare l'eventuale variabilità temporale delle emissioni di impianti presenti in un determinato sito.

La misura di campo elettrico con lo strumento a *banda larga*, sia di breve periodo sia in continuo, è relativa a tutti i segnali che concorrono a determinare la misura di E, pertanto, questi strumenti non discriminano – nella banda di lavoro - le frequenze delle singole emissioni e la loro intensità. Per caratterizzare le emissioni in funzione delle frequenze dei segnali si deve ricorrere alle misure in *banda stretta*: poiché tali misure sono particolarmente onerose, anche in termini temporali, vi si ricorre solo se le misure in banda larga superano il 75% dei valori di cautela, così da valutare il contributo di ogni sorgente al livello totale di campo elettrico misurato.

1 Nello specifico, per il monitoraggio oggetto dello studio, è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- Per le misure brevi (6 minuti) in banda larga
 - Analizzatore Narda tipo NBM-550 S/N B-1039, dotato di sonda tipo EF1891 S/N A-0431 (range di frequenza 3 MHz 18 GHz);
 - Misuratore di campo elettrico a banda larga Wavecontrol modello SMP2 S/N 18SN0939, dotato di sonda isotropica Wavecontrol modello WPF8 S/N 18WP040937 (range di frequenza 100 KHz ÷ 8 GHz).
- Per le misure in continuo (con registrazione del dato ogni 6 minuti) →
 - 2 centraline di monitoraggio per campi elettromagnetici della ditta NARDA PMM tipo 8057 FUB (tri-band) S/N 000WJ50785 e S/N 000WJ50787.

Le misure del campo elettrico in alta frequenza sono state effettuate secondo quanto previsto dalla Norma CEI 211-7:2001-01 “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione

umana” e dalla “Guida tecnica per la misura di campi elettromagnetici compresi nell’intervallo di frequenza 100 kHz – 3 GHz in riferimento all’esposizione della popolazione” (documento ANPA RTI CTN_AGF 1/2000).

2.2 – Individuazione dei siti di misura e risultati delle misure RF in continuo (centraline)

In accordo con l’Amministrazione comunale, le quattro postazioni per il monitoraggio in continuo sono state individuate in luoghi ritenuti “sensibili” in quanto utilizzati prevalentemente dalle fasce più fragili della popolazione (scuole, asili, ospedali e RSA). In particolare:

- 1 Ospedale Nuovo Morgagni – Via Forlanini, 34.
- 2 Scuola dell’infanzia Asilo Nido “Betulla”, Via La Greca, 79.
- 3 Istituto Tecnico Economico “Carlo Matteucci”, Via Turati, 9.
- 4 Istituto Tecnico Tecnologico “Guglielmo Marconi”, Viale della Libertà, 14.

Individuate le postazioni si è proceduto ad effettuare un’analisi delle installazioni presenti nel territorio forlivese e, di queste, quelle più vicine ai 4 punti di misura.

Nella zona oggetto di studio risultano attive 19 installazioni. Con il termine “installazione” - identificata da un indirizzo o da una coppia di coordinate geografiche - si intende la postazione di trasmissione radioelettrica costituita da un palo o traliccio, oppure collocata su di un tetto o copertura di un edificio, in grado di ospitare uno o più gestori (in quest’ultimo caso si parla di *co-siting*).

Nell’ipotesi cautelativa di campo libero (senza cioè tener conto dell’attenuazione degli edifici o di altri ostacoli), il campo elettrico, al di sotto dell’altezza media delle antenne, tende a diminuire con l’abbassarsi della quota (ovvero all’aumentare della distanza).

Nella Tabella 1 sono indicate le postazioni di misura e le SRB che maggiormente contribuiscono al campo elettrico nelle 4 postazioni individuate; mentre in Figura 2 è rappresentata l’area di studio con l’evidenza delle cinque postazioni (segnalino a stella giallo).

Postazione di misura (in continuo)	Gestori nelle vicinanze (500 m)				Quota postazione sls [m]
Ospedale Nuovo Morgagni – Via Forlanini 34.	Tim -	Vodafone -	Windtre -	Iliad -	37
Scuola infanzia - Nido “Betulla” Via La Greca, 79.	Tim FO06	Vodafone FO4551	Windtre FO002 FO175	Iliad FC47121_001	30
Istituto Tecnico Economico “Carlo Matteucci” – Via Turati, 9.	Tim FLF2	Vodafone FO0323	Windtre FO316	-	31
Istituto Tecnico Tecnologico “Guglielmo Marconi” – Viale della libertà, 14.	Tim FL16 FOFD FC51 FC78	Vodafone FO0326 FO4920 FO4949	Windtre FO312 FO066	Iliad FC47122_012 FC47121_017	23

Tabella 1 – Postazioni in cui sono state effettuate le misure di lungo periodo (centraline), SRB vicine e quota a cui è stata posizionata la centralina sls



Figura 2 - Postazioni delle misure in continuo (centralina) – stella gialla. In blu sono indicati gli impianti presenti.

Dall'analisi di tutti i valori rilevati risulta che, in nessun caso, i valori di campo elettrico hanno superato il limite di esposizione, pari a 20 V/m, e neppure il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità, vigenti all'epoca delle misure, pari a 6 V/m, valevoli nelle aree con permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere dal DPCM 8 luglio 2003 e s.m.i. (artt. 3,4).

I dati di intensità di campo elettrico rilevati nei cinque punti sono stati raggruppati in 8 classi, in base al valore del campo elettrico E (Tabella 2 e Figura 3). Poiché la sonda delle centraline ha una sensibilità di 0.3 V/m, le misure inferiori al limite di rilevabilità strumentale ricadono nel primo intervallo di campo elettrico minore di 0.5 V/m (intervallo < 0.5 V/m).

	Intervallo del Campo Elettrico E [V/m]							
	< 0,3	0,3÷1,0	1,0÷2,0	2,0÷3,0	3,0÷4,0	4,0÷5,0	5,0÷6,0	> 6,0
N° valori	0	14663	3340	0	0	0	0	0
Percentuale	0%	81,4%	18,6%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabella 2 – Numero di misure ricadenti in ciascuno degli otto intervalli di campo elettrico individuati e relativa percentuale

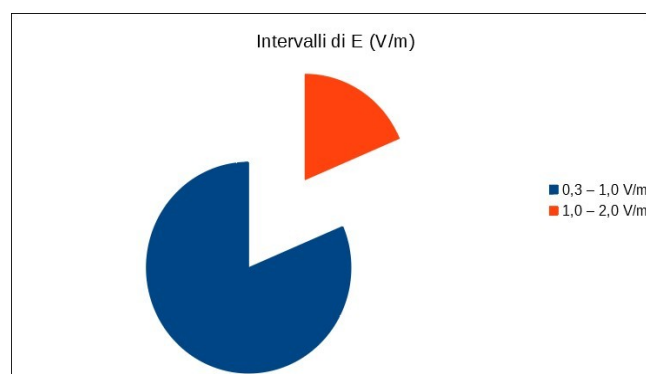


Figura 3 – Grafico a torta della distribuzione di tutti i valori di campo elettrico acquisiti con le centraline di monitoraggio in continuo nelle sette classi di E

Le misure in continuo effettuate nel corso del 2023 nelle quattro postazioni hanno consentito di rilevare un totale di **18.008** dati validi di campo elettrico.

L' 81.4% dei valori di campo elettrico registrati è inferiore a 1 V/m. e il 18.6% è compreso tra 1 e 2 V/m.

La totalità dei valori di campo elettrico misurati è abbondantemente inferiore al valore di attenzione e all'obiettivo di qualità, vigenti all'epoca delle misure e valevole nelle aree con permanenza superiore alle 4 ore giornaliere dal DPCM 8 luglio 2003 (artt. 3,4), ovvero 6 V/m.

Di seguito si riportano le “schede” relative alle cinque postazioni.

Oltre ai valori di campo elettrico misurato, nelle tabelle è riportato anche il valore del campo elettrico simulato e il limite o valore di attenzione applicabile alla postazione di misura.

Il valore di campo elettrico simulato è ottenuto applicando un modello di simulazione (software previsionale - EmLAB) in condizioni cautelative - la stessa metodologia utilizzata per valutare gli impianti nell'ambito dell'espressione del parere di competenza - ovvero considerando che:

- le fonti di emissione (impianti) che contribuiscono al campo elettrico nella postazione in esame siano tutte contemporaneamente attivi e che emettano alla massima potenza giornaliera nel periodo di riferimento;
- la propagazione del campo elettromagnetico avvenga in “spazio libero”, cioè senza considerare gli effetti schermanti dovuti alla presenza di ostacoli (alberatura, pareti, edifici,);

La verifica che nelle valutazioni teoriche/preventive è applicato il principio di cautela è fatta confrontando il campo elettrico stimato in un punto con il massimo campo elettrico misurato nello stesso punto: il campo elettrico misurato risulta costantemente inferiore a quello simulato e questo conferma che l'approccio utilizzato è prudentiale.

SCHEDA 1

POSTAZIONE: Ospedale Nuovo Morgagni - Via Forlanini, 34.

Le misure sono state eseguite dal 10 novembre (ore 12:00) al 4 dicembre (ore 12:00) 2023, sul tetto dell'edificio di 8 piani che ospita il Nuovo Morgagni in Via Forlanini 34 (Figura 4). In questa postazione (senza permanenza continuativa non inferiore a 4 ore al giorno) la normativa prevede che non debba essere mai superato il limite di esposizione di 20 V/m (media di 6 minuti).

La Tabella 3 riporta le principali statistiche relative alle misure effettuate e le Figure 5 e 5a il grafico dell'andamento del campo elettrico misurato nel periodo di rilevazione.



Figura 4 – Postazione Ospedale Nuovo Morgagni – Via Forlanini, 34

	Campo Elettrico E [V/m]					Valore limite (valevole sui 6 minuti)
	Min su 6 minuti	Media intero perido	Max su 6 minuti	Max Media 24 ore	Simulato (Emlab)	
Tetto padiglione Nuovo Morgagni	0.39	0.67	0.87	0.76	1.04	20

Tabella 3 - Principali parametri statistici del campo elettrico misurato nella postazione, valore del campo elettrico simulato con EmLAB e valore limite

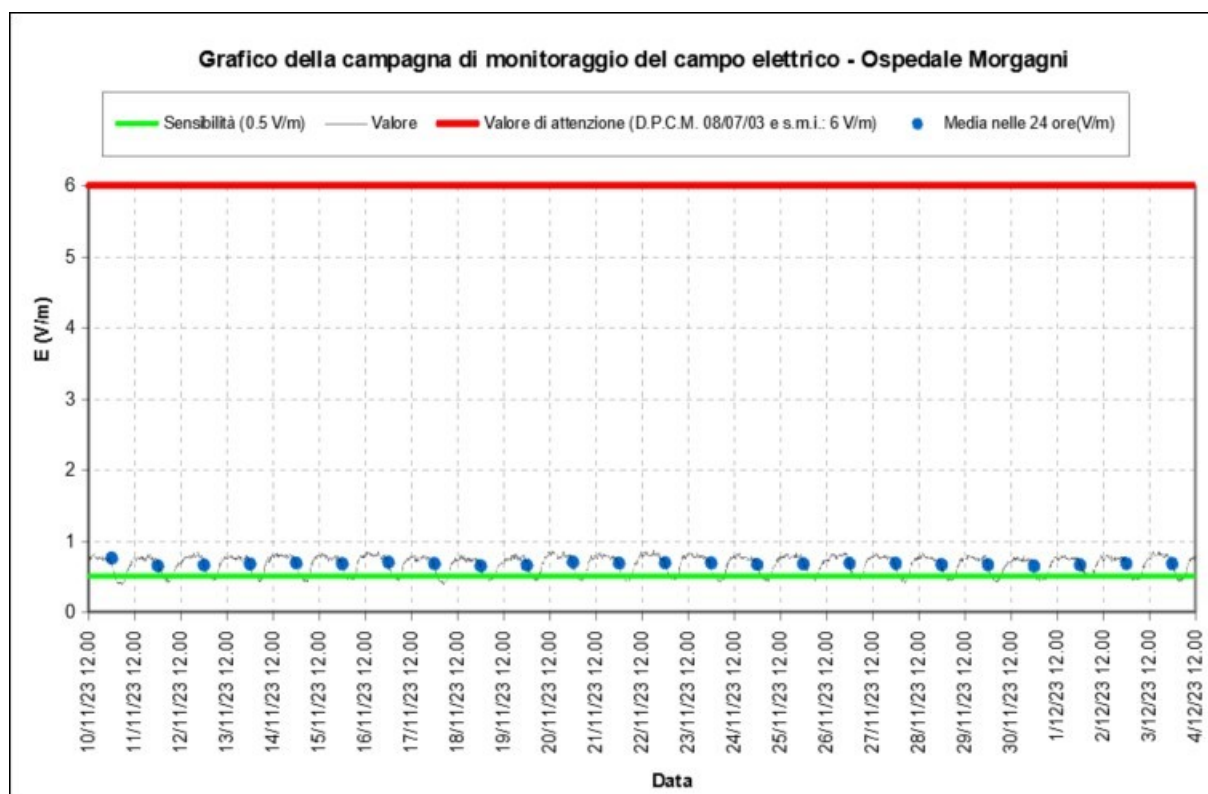


Figura 5 – Campo elettrico misurato nell'Ospedale Nuovo Morgagni – Via Forlanini 34

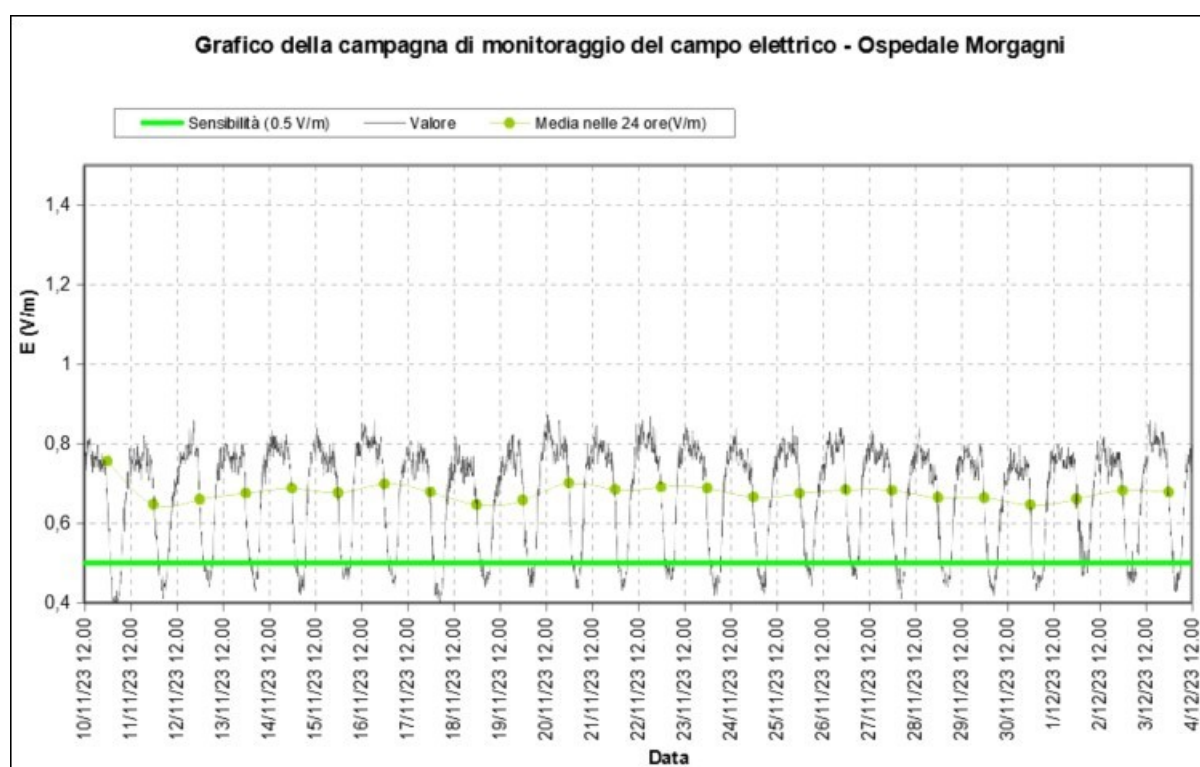


Figura 5a – Campo elettrico misurato nell'Ospedale Nuovo Morgagni – Via Forlanini 34 (Dettaglio)

A completamento dell'indagine svolta in questo sito sensibile (ospedale), sono state effettuate altre 4 misure brevi (di durata 6 minuti), all'interno della struttura, calcolando negli stessi punti anche il valore simulato con EmLAB. I dati sono riportati in Tabella 4.

Punto		Data e ora misura	E misurato Su 6 minuti [V/m]	E simulato [V/m]	ΔE % (*)
1	Tetto Torre Nuovo Morgagni	10/11/23 12:00	1,00	1,04	- 4%
2	Ufficio Coordinatore inf. Rep. Medicina d'Urgenza	10/11/23 12:00	<0,5	0.98	-49%
3	Corridoio reparto neurologia10/11/23 12:00	10/11/23 12:00	<0,5	1.00	-50%
4	Centro della piazza del Nuovo Morgagni	10/11/23 12:00	<0,5	1.02	-51%

(*) differenza percentuale $\Delta E \% = (E_{\text{misurato}} - E_{\text{simulato}}) / E_{\text{simulato}} \cdot 100$

Tabella 4 – Valore delle misure di breve periodo effettuate nell'intorno dell'Ospedale "Nuovo Morgagni", confronto con il valore simulato (EmLAB) e differenza percentuale

Dai valori riportati in tabella si evince che i livelli di campo elettrico misurati in diversi locali del complesso dell'Ospedale "Bufalini" sono, quasi ovunque, confrontabili con il limite di quantificazione strumentale ($E < 0.5 \text{ V/m}$) e, pertanto, rispettano ampiamente il valore di attenzione di 6 V/m . Inoltre, tutti i valori misurati sono decisamente inferiori a quelli simulati con differenze percentuali del misurato rispetto al simulato che vanno da -75% (Pronto soccorso "vecchio") a -19% (Medicina riabilitativa).

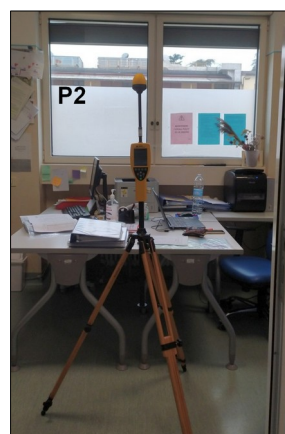
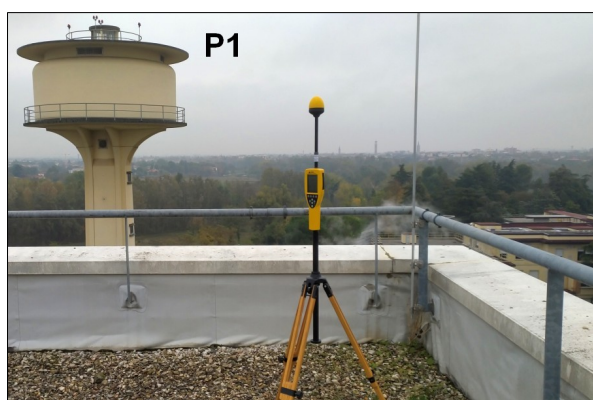


Tabella 4a – Foto punti di misura interni al Nuovo Morgagni – Via Forlanini 34

SCHEDA 2

POSTAZIONE: Scuola infanzia - Asilo Nido "Betulla" - Via La Greca, 79.

Le misure sono state eseguite dal 11 ottobre 2023 (ore 12:00) al 18 ottobre 2023 (ore 12:00), nel cortile interno della struttura. (Figura 6) (area di pertinenza → riferimento normativo: valore di attenzione 6 V/m).



Figura 6– Postazione Scuola dell'infanzia - Asilo Nido "Betulla", Via La Greca, 79.

La Tabella 5 riporta le principali statistiche relative alle misure effettuate e le Figure 7 e 7a il grafico dell'andamento del campo elettrico misurato nel periodo di rilevazione.

	Campo Elettrico E [V/m]					
	Min su 6 minuti	Media intero periodo	Min su 6 minuti	Max Media 24 ore	Simulato (Emlab)	Valore di attenzione (valevole su 24 ore)
Postazione Scuola dell'infanzia - Asilo Nido "Betulla", Via La Greca, 79	0.54	0.86	1.13	0.87	1.31	6

Tabella 5 - Principali parametri statistici del campo elettrico misurato nella postazione, valore del campo elettrico simulato con EMLAB e valore di attenzione.

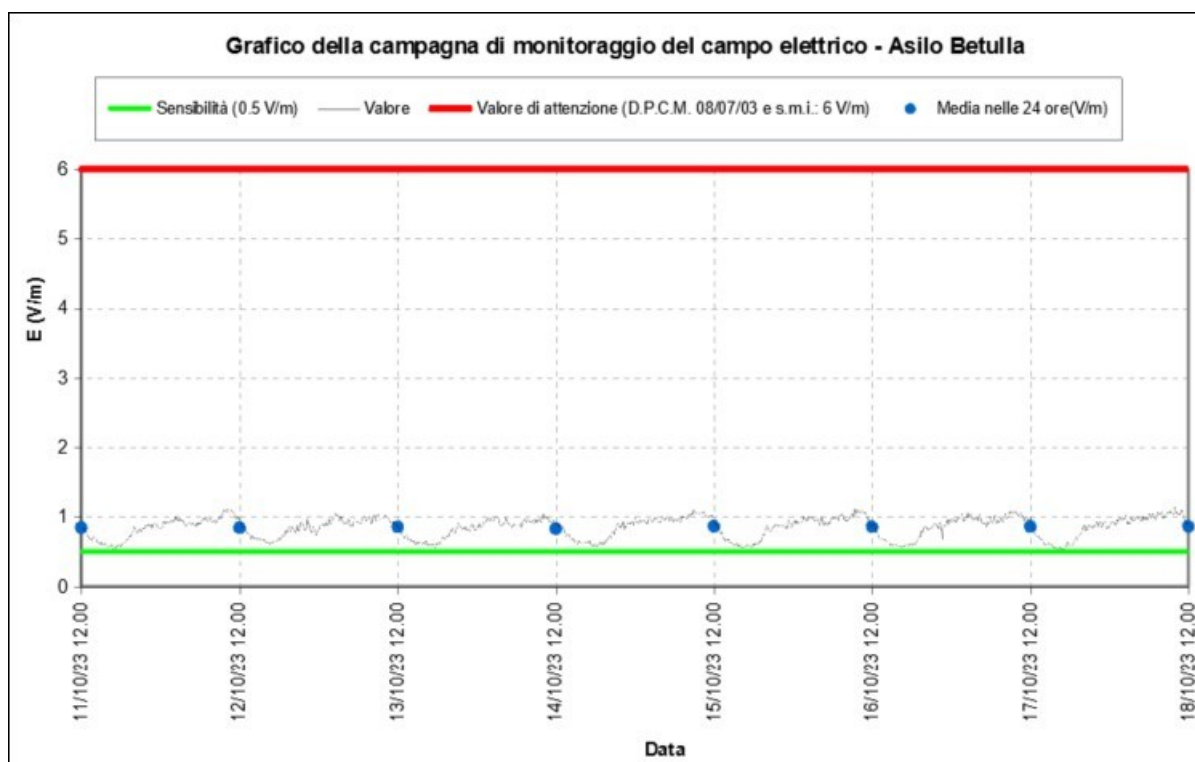


Figura 7 – Campo elettrico misurato dal nella Postazione “Asilo Nido “Betulla”, Via La Greca 79”

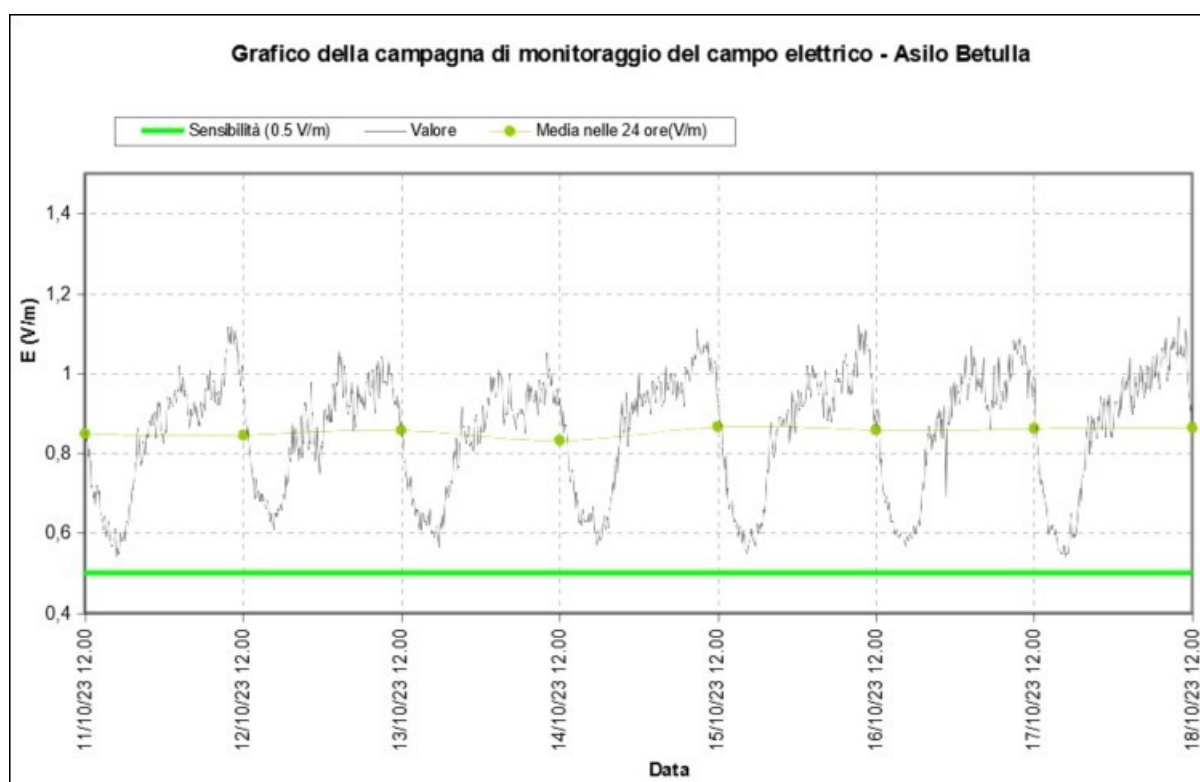


Figura 7a – Campo elettrico misurato dal nella Postazione “Asilo Nido “Betulla”, Via La greca 79”
(dettaglio)

SCHEDA 3

POSTAZIONE: Istituto Tecnico Economico “Carlo Matteucci” – Via Turati, 9.

Le misure sono state eseguite dal 13 ottobre 2023 (ore 24:00) al 6 novembre 2023 (ore 24:00) nel terrazzo esterno lato nord della scuola, Via Padre Turoldo (Figura 8) (area di pertinenza → riferimento normativo: valore di attenzione 6 V/m).



Figura 8 – Postazione ITE “Carlo Matteucci”- Via Turati, 9

La Tabella 6 riporta le principali statistiche relative alle misure effettuate e le Figure 9 e 9a i grafici dell’andamento del campo elettrico misurato nel periodo di rilevazione.

	Campo Elettrico E [V/m]					Valore di attenzione (valevole su 24 ore)
	Min su 6 minuti	Media intero periodo	Min su 6 minuti	Max Media 24 ore	Simulato (Emlab)	
<i>Postazione I.T.E. “Carlo Matteucci” Via Turati, 9.</i>	0.30	0.63	1.00	0.67	1.45	6

Tabella 6 - Principali parametri statistici del campo elettrico misurato nella postazione, valore del campo elettrico simulato con EMLAB e valore di attenzione.

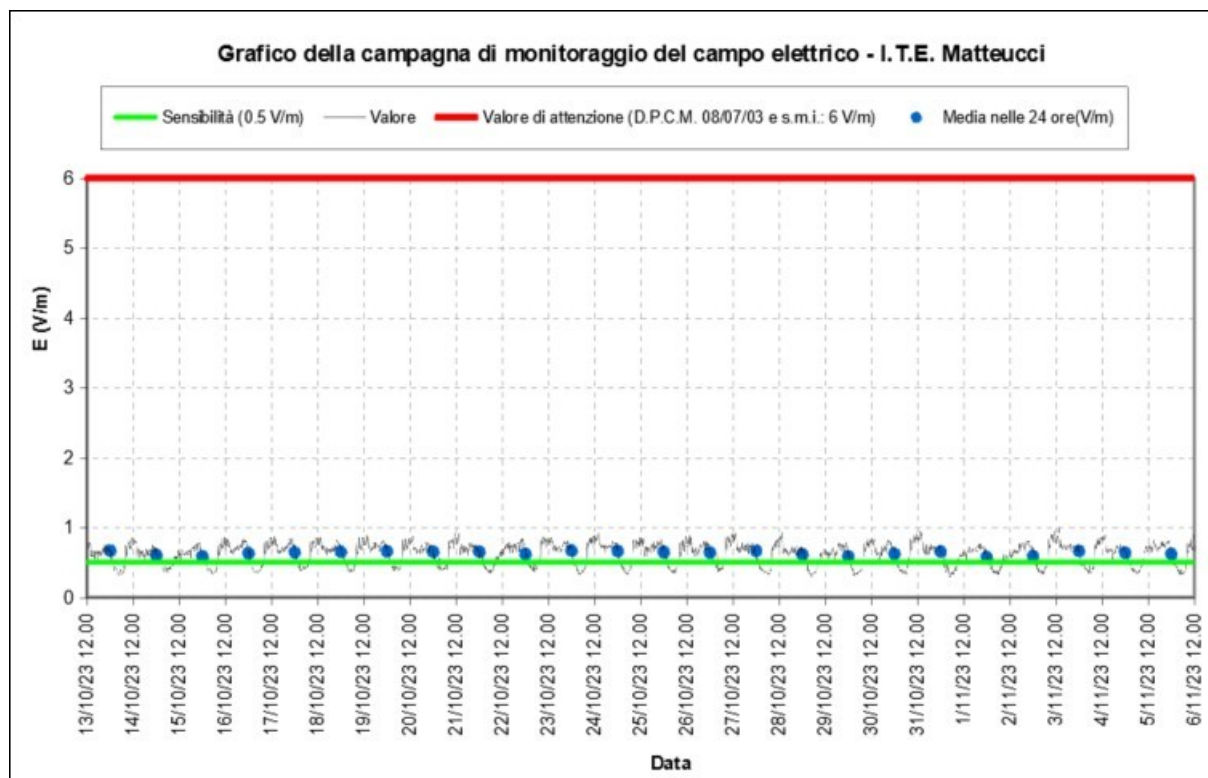


Figura 9– Campo elettrico misurato nella Postazione ITE “Carlo Matteucci”- Via Turati, 9

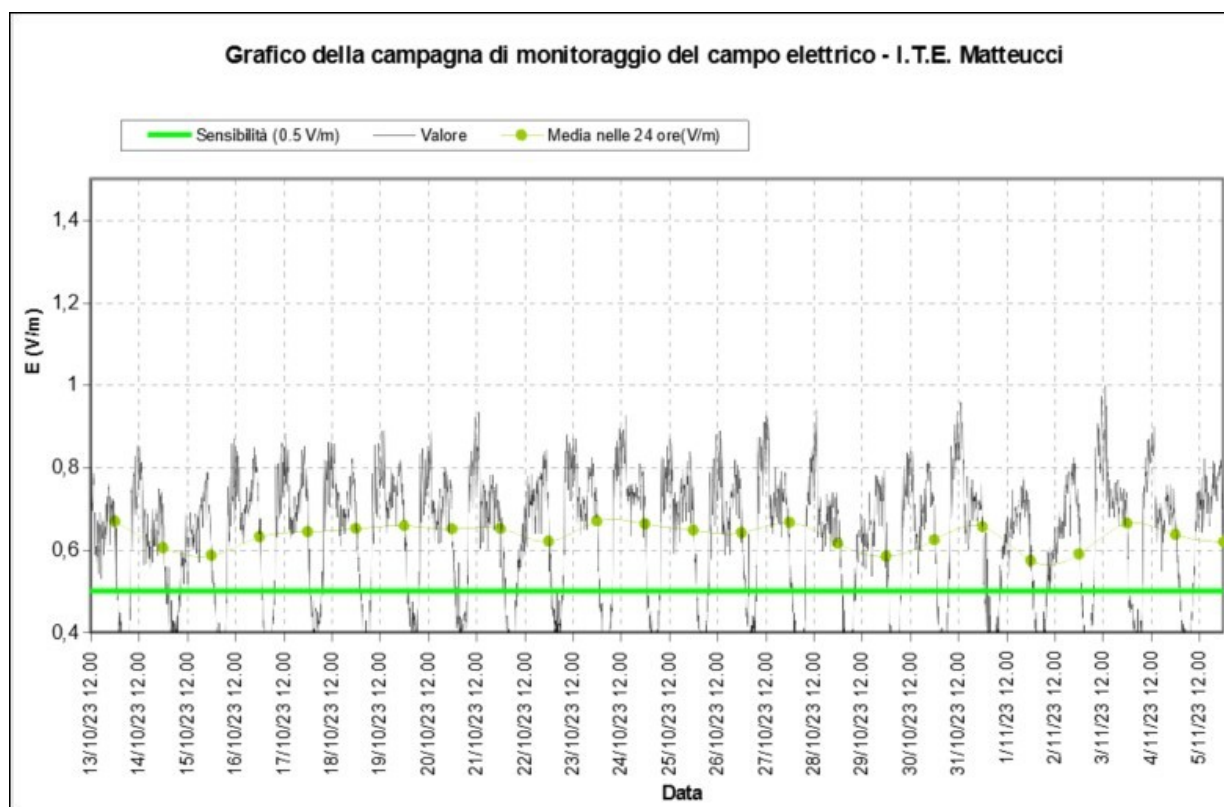


Figura 9a – Campo elettrico misurato nella Postazione ITE “Carlo Matteucci”- Via Turati, 9 (dettaglio)

SCHEDA 4

POSTAZIONE: Istituto Tecnico Tecnologico “Guglielmo Marconi” – Viale della libertà, 14.

Le misure sono state eseguite dal 20 ottobre 2023 (ore 24:00) al 9 novembre 2023 (ore 24:00), nel lastrico solare adiacente a Viale della Libertà (Figura 10) (area di pertinenza → riferimento normativo: valore di attenzione 6 V/m).



Figura 10 – Postazione Istituto Tecnico Tecnologico “Guglielmo Marconi”- Viale della Libertà, 14

La Tabella 7 riporta le principali statistiche relative alle misure effettuate e le Figure 11 e 11a il grafico dell’andamento del campo elettrico misurato nel periodo di rilevazione.

	Campo Elettrico E [V/m]					
	Min su 6 minuti	Media intero periodo	Min su 6 minuti	Max Media 24 ore	Simulato (Emlab)	Limite di esposizione (valevole su 6 minuti)
Postazione Istituto Tecnico Tecnologico “Guglielmo Marconi” – Viale della Libertà, 14.	0.43	1.02	1.45	1.13	2.09	20

Tabella 7 - Principali parametri statistici del campo elettrico misurato nella postazione, valore del campo elettrico simulato con EMLAB e valore di attenzione

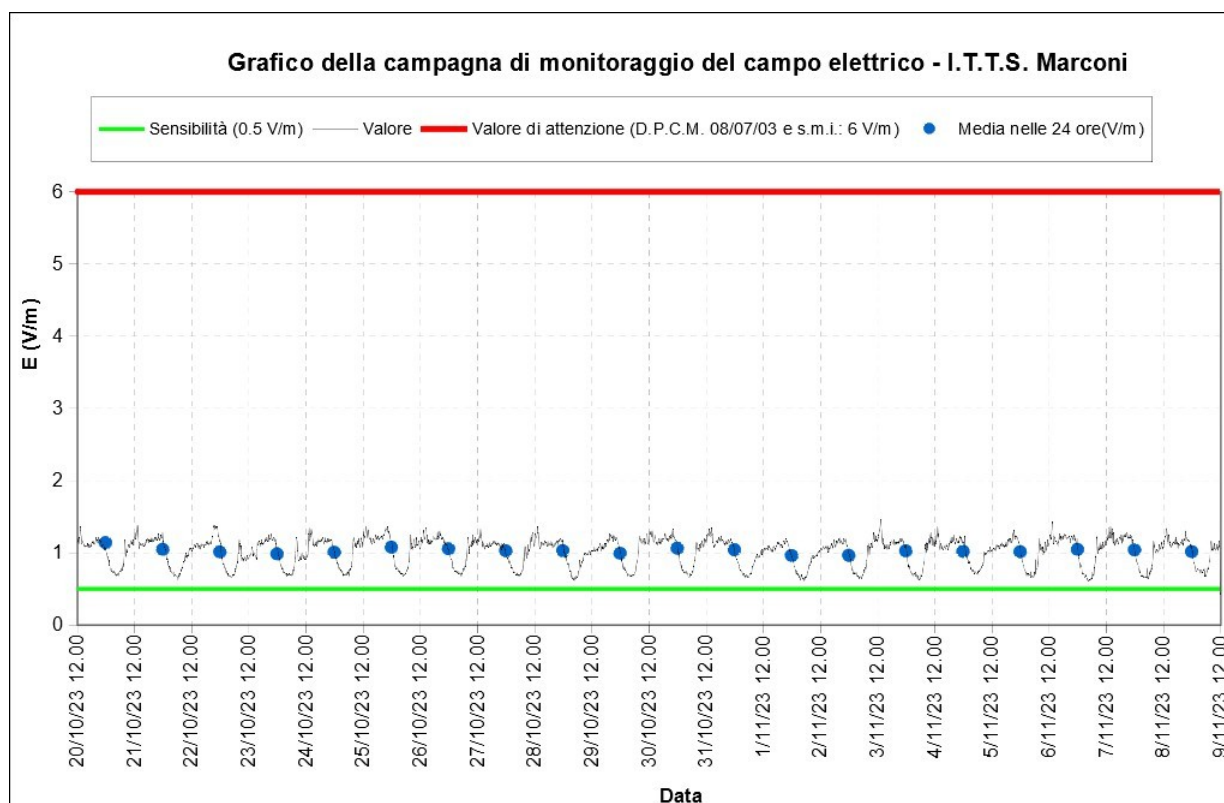


Figura 11 – Campo elettrico misurato nella Postazione ITT “Guglielmo Marconi”- Viale della Libertà, 14

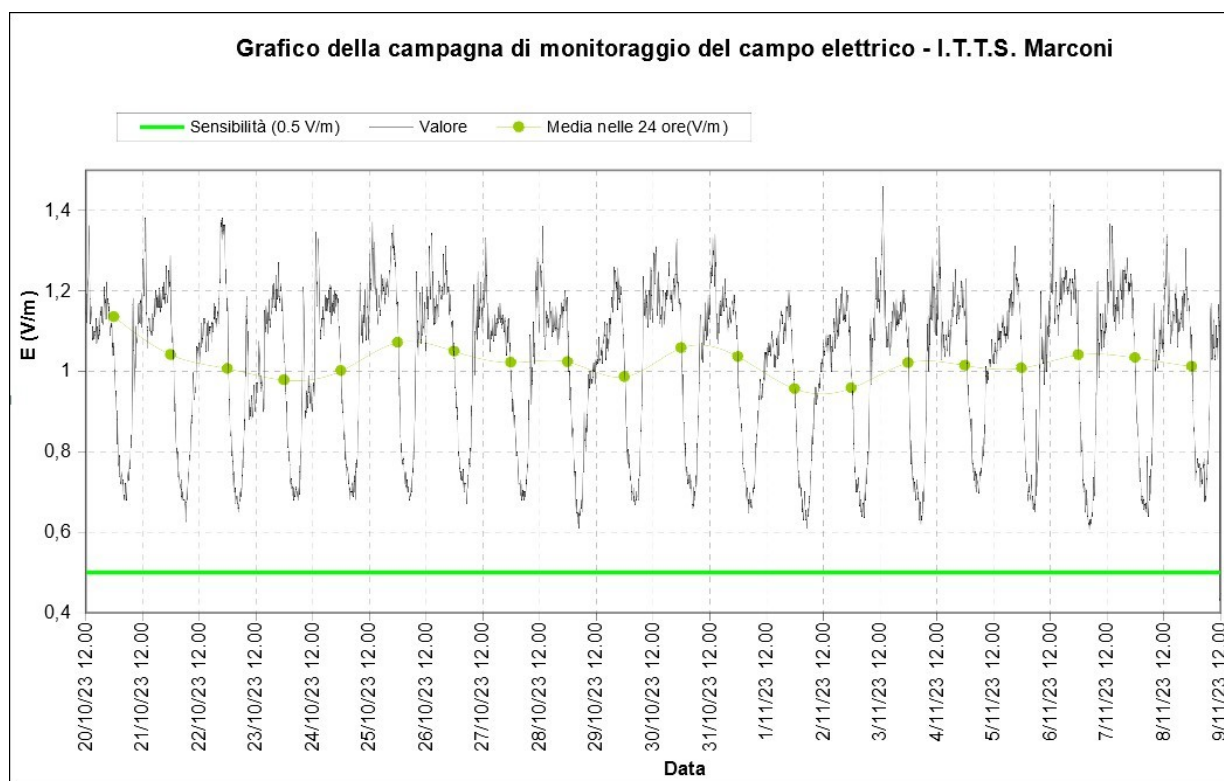


Fig. 11a – Campo elettrico misurato nella Postazione ITT “Guglielmo Marconi”- Viale della Libertà, 14 (dettaglio)

In sintesi, i parametri statistici nelle cinque postazioni sono riportati in Tabella 9:

Postazione monitorata in continuo	N° dati E	Campo Elettrico E [V/m]				Valore di riferimento normativo
		Min su 6 min	Media periodo	Max su 6 min	Max Media 24 ore	
<i>Ospedale Nuovo Morgagni – Via Forlanini, 34.</i>	5762	0.39	0.67	0.87	0.76	20
<i>Scuola dell'infanzia - Asilo Nido "Betulla", Via La Greca, 79</i>	1682	0.54	0.86	1.13	0.87	6
<i>Istituto Tecnico Economico – Via Turati, 9.</i>	5762	0.30	0.63	1.00	0.67	6
<i>Istituto Tecnico Tecnologico – Viale della Libertà, 14.</i>	4802	0.43	1.02	1.45	1.13	20

Tabella 9 - Principali parametri statistici del campo elettrico misurato nelle 5 postazioni e riferimento normativo applicabile al sito di misura

La media del periodo di misura (Media), supera di poco il valore di 1 V/m solo nell'Istituto Tecnico Tecnologico dove per altro il limite è di 20 V/m.

Il campo elettrico massimo (mediato sui 6 minuti - max) misurato nelle 4 campagne (ovvero su 18.008 valori rilevati in totale) è 1.45 V/m.

Il valore massimo delle medie nelle 24 ore (Max Media 24 ore), per le diverse postazioni, è compreso fra 0.67 V/m e 1.13 V/m, quindi inferiore al valore di attenzione, previsto dalla normativa vigente all'epoca delle misure, di 6 V/m.

Nella Tabella 10 il campo elettrico massimo misurato è confrontato con quello simulato in corrispondenza della medesima postazione: la differenza percentuale fra i due valori è riportata nell'ultima colonna e anche in questo caso (misure di lungo periodo) tutti i valori misurati sono decisamente inferiori a quelli simulati, con differenze percentuali del misurato rispetto al simulato che vanno da -31% a -14% e questo verifica l'approccio cautelativo utilizzato nelle valutazioni teoriche anche per il rilascio dei pareri.

Postazione di misura		Periodo misura	E max misure su 6 minuti [V/m]	E simulato [V/m]	$\Delta E \% (*)$
1	Ospedale Nuovo Morgagni – Via Forlanini, 34.	10/11 ore 12:00 ÷ 04/12 ore 12:00	0.87	1.04	-30%
2	Scuola dell'infanzia - Asilo Nido "Betulla", Via La Greca, 79	11/10 ore 12:00 ÷ 18/10 ore 12:00	1.13	1.31	-14%
3	Istituto Tecnico Economico – Via Turati, 9.	13/10 ore 12:00 ÷ 06/11 ore 12:00	1.00	1.45	-31%
4	Istituto Tecnico Tecnologico – Viale della Libertà, 14.	20/10 ore 12:00 ÷ 09/11 ore 12:00	1.45	2.09	-31%

(*) differenza percentuale $\Delta E \% = (E_{\text{misurato}} - E_{\text{simulato}}) / E_{\text{simulato}}$

Tabella 10 – E max nelle 4 postazioni, confronto con il valore simulato (EmLAB) e differenza percentuale

3 - Misure del campo di induzione magnetica (B) prodotto dalla radiazione elettromagnetica ad bassa frequenza (50 Hz – ELF): metodologia e risultati.

3.1 – Metodologia e strumentazione

Le misure dei campi elettromagnetici a scopo protezionistico possono essere di due tipi:

- misure dosimetriche, per valutare l'energia assorbita dall'organismo umano esposto. Nel caso particolare delle radiazioni ELF la grandezza dosimetrica di riferimento è *la densità di corrente J*. Sono misure di densità di potenza indotta su fantocci simulanti il corpo umano esposti a campi elettrici e magnetici di caratteristiche note
- misure di esposizione, per valutare le grandezze che caratterizzano il campo elettrico e magnetico (ELF) a cui l'organismo è esposto. Sono le misure eseguite nell'attività di controllo/verifica perché consentono di verificare la compatibilità di una data situazione espositiva con i limiti definiti dalle norme e/o raccomandazioni per la tutela sanitaria.

Mentre i campi elettrici sono associati alla presenza delle cariche elettriche, i campi magnetici sono il risultato delle correnti elettriche (movimenti di cariche). I campi elettrici e magnetici sono campi vettoriali, caratterizzati da un'intensità ed una direzione.

Un campo magnetico può essere quantificato sia in termini di *induzione magnetica (B)*, espressa in Tesla (T, o meglio $\mu\text{T} = 10^{-6} \text{ T}$), sia di *intensità di campo magnetico H*, espressa in Ampere al metro (A/m). Le due grandezze sono legate dalla relazione:

$$B = \mu H$$

dove μ è una costante di proporzionalità (detta permeabilità magnetica¹). Per descrivere un campo magnetico a fini protezionistici, è sufficiente specificare solo una delle due grandezze *induzione magnetica (B)*, o di *intensità di campo magnetico H*.

Come si è già detto, a seconda della distanza fra punto di misurazione (ricettore) e sorgente che origina il campo elettromagnetico, si individuano due regioni la cui distinzione è importante ai fini delle misure:

- campo vicino (distanza ricettore-sorgente dell'ordine di qualche lunghezza d'onda): le misure di campo devono essere condotte in maniera indipendente per il campo elettrico e il campo magnetico;
- campo lontano (distanza ricettore-sorgente dell'ordine di qualche decina di lunghezza d'onda): è possibile misurare uno solo dei campi (elettrico o magnetico) e ricavare di conseguenza l'altro, essendo il campo elettrico E e magnetico H legati tra loro.

Nel caso dei campi generati da un elettrodotto, poiché alla frequenza di rete (50 Hz) corrisponde una lunghezza d'onda di 6.000 km², le misure ambientali effettuate presso linee e cabine risultano sempre in condizioni di campo vicino: campo elettrico e magnetico agiscono

¹ Permeabilità magnetica. Nel vuoto, in aria ed in tutti i materiali non magnetici (compresi quelli biologici), μ ha il valore di $4\pi \times 10^{-7} (\text{V*s/A*m})$.

² La lunghezza d'onda (λ) e la frequenza (f) sono legate dalla relazione: $\lambda = c/f$ dove c rappresenta la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche che, nel vuoto, è pari a $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

La lunghezza d'onda e la frequenza sono inversamente proporzionali: tanto minore è la lunghezza d'onda, tanto maggiore è la frequenza.

in modo indipendente l'uno dall'altro e devono essere misurati separatamente. Generalmente, per le ELF, viene misurato il campo di induzione magnetica B.

La norma di riferimento (Norma CEI 211-10) prevede che il numero e la posizione dei punti di rilievo debbano consentire la corretta caratterizzazione della distribuzione dell'intensità del campo di induzione magnetica e tenere conto della tipologia e della distanza dalla sorgente.

Nel caso di campo magnetico uniforme nello spazio - tipicamente quello generato da linee elettriche aeree - sono sufficienti rilievi ad un'altezza compresa tra 100 e 150 cm dal piano di calpestio; nel caso di campo non omogeneo - ad esempio generato da cabine di trasformazione - deve essere eseguita una caratterizzazione spaziale con rilievi anche a quote diverse. Particolare attenzione deve essere posta alla destinazione d'uso degli ambienti e/o delle aree destinate a permanenza prolungata (4 h/al giorno) perché, in questo caso, dove deve essere rispettato il valore di attenzione di $10\mu\text{T}$.

Per individuare i punti più significativi dove eseguire la verifica del valore di attenzione, vengono effettuate misurazioni esplorative di breve durata, o "misure brevi", per caratterizzare l'andamento spaziale del campo. Nel punto individuato come più significativo è installata la strumentazione per il rilievo della durata di almeno 24 ore.

Infatti, mentre le misure brevi consentono di caratterizzare la distribuzione spaziale del campo di induzione magnetica, per la valutazione del rispetto del valore di attenzione (o dell'obiettivo di qualità, per nuovi elettrodotti) è necessario verificare che il valore di induzione magnetica sia inferiore a $10\mu\text{T}$ ($3\mu\text{T}$ per nuovi elettrodotti) espresso come mediana dei valori registrati durante misure dirette prolungate per almeno 24 ore, nelle normali condizioni di esercizio degli impianti.

Per le misure effettuate nel presente studio è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- Per le misure brevi:
 - Analizzatore di campi Wandel & Goltermann Tipo EFA-2 BN2245 numero di serie E-0058, dotato di sonda esterna isotropa per campo di induzione magnetica.
- Per le misure in continuo:
 - Analizzatore di campi Wandel & Goltermann Tipo EFA-2 BN2245 numero di serie E-0058, dotato di sonda esterna isotropa per campo di induzione magnetica.

Le misure di induzione magnetica alla frequenza di 50 Hz sono state effettuate secondo quanto previsto dalla Norma CEI 211-6 "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".

3.2 – Individuazione dei siti di misura e risultati delle misure dell'induzione magnetica (H) per sorgenti ELF

Nella convenzione è previsto, per ogni annualità compresa nel triennio 2021- 2023, il monitoraggio del campo di induzione magnetica a bassa frequenza (ELF) con misure di breve periodo e in continuo:

- nell'intorno di una cabina primaria AT/MT;
- in punti, individuati in base alla conformazione della rete di distribuzione, in cui si stimano valori di campo più significativi.

In analogia a quanto realizzato per le misure ad alta frequenza (RF), nella individuazione dei punti di misura è stato considerato il contesto urbano, scegliendo siti in cui la vicinanza fra elettrodotto e fabbricati è maggiore, e privilegiando gli edifici residenziali, lavorativi e i siti sensibili.

Nel corso del 2023 è stata monitorata:

- Il cortile della Scuola Materna “Le Coccinelle” di Via Lambertelli;
- Il cortile esterno della Scuola Primaria “G. Bersani” di Via Lambertelli.

Le misurazioni in questi siti sono state effettuate al di sotto delle linee elettriche ovvero nei punti di maggiore esposizione.

Per le misure di breve periodo, lo strumento è stato posizionato su un cavalletto estensibile di materiale dielettrico, ad altezze comprese tra 100 e 150 cm dal piano di calpestio. Nell’area cortilizia degli istituti, in corrispondenza del punto in cui le misure di breve periodo avevano mostrato i valori di induzione magnetica maggiore, è stata posizionata una centralina di monitoraggio per un periodo di 25 giorni (monitoraggio in continuo, misure di lungo periodo). Come previsto dalle norme di buona tecnica, per evitare interferenze e minimizzare gli effetti dovuti alla disomogeneità del campo magnetico, il sensore è stato posto ad una distanza superiore a 10 cm da superfici interferenti.

Per la mappatura dei livelli di induzione magnetica delle linee elettriche in Via Lambertelli, sono state effettuate 6 misure brevi all’interno del cortile dei due istituti, dove è prevista la permanenza superiore alle 4 ore giornaliere - il limite di esposizione previsto dalla normativa è 10 μ T.

I punti di misura e le linee elettriche sono stati georeferenziati e riportati in cartografia; per la georeferenziazione degli impianti si è fatto riferimento al Catasto Deposito previsto dalla legge quadro 36/01 e dalle legge regionale 30/00 e s.m.i..

3.3 – Risultati delle misure in continuo e di breve periodo effettuate nei pressi delle linee elettriche MT – Via Lambertelli - Forlì.

Le misure in continuo sono state eseguite nel cortile della Scuola Materna “Le Coccinelle” nelle vicinanze dell’intersezione tra Via Lambertelli e Via Comandini (Figura 19). Il valore di riferimento applicabile a questa postazione (valore di attenzione) è 10 μ T, espresso come mediana delle 24 ore (DPCM 08/07/03 e s.m.i.): infatti i cortili, i giardini e i terrazzi sono considerati pertinenze esterne di ambienti abitativi dove la permanenza di persone può essere superiore alle 4 ore giornaliere.

Le misure in continuo sono state effettuate dal 21 luglio 2023 al 15 agosto 2023 (25 giorni). I valori di induzione magnetica, registrati ogni 6 minuti, sono riportati nel grafico di Figura 20 e 21, insieme alla mediana delle 24 ore (pallino blu), il livello di attenzione di 10 μ T (riga rossa continua) con cui confrontare la mediana e il limite di sensibilità strumentale (riga verde, valore di 0.05 μ T).



Figura 19 – Collocazione della centralina di monitoraggio delle linee elettriche MT all'interno dell'area cortilizia della scuola materna "Le Coccinelle" di Via Lambertelli – Forlì.

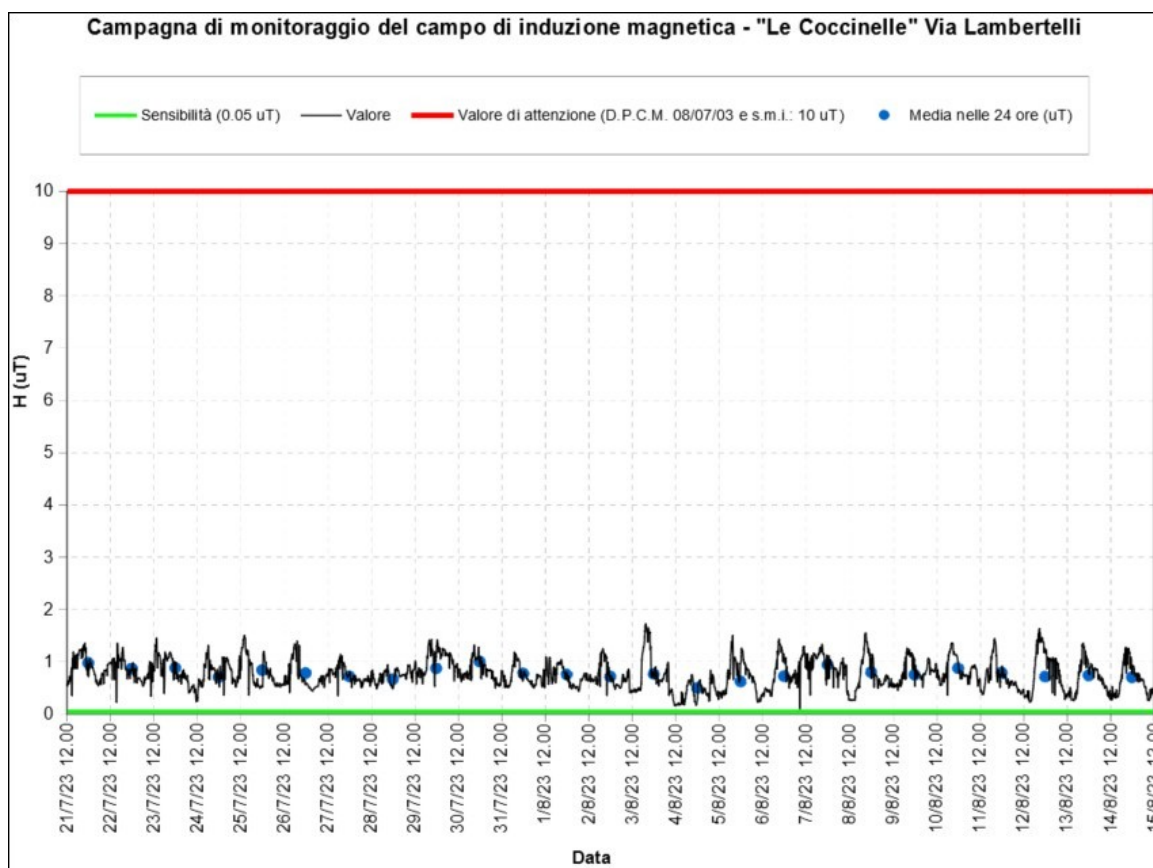


Figura 20 – Andamento del campo di induzione magnetica nella postazione "Le Coccinelle" in corrispondenza dell'area cortilizia dal 21 Luglio al 15 Agosto 2023.

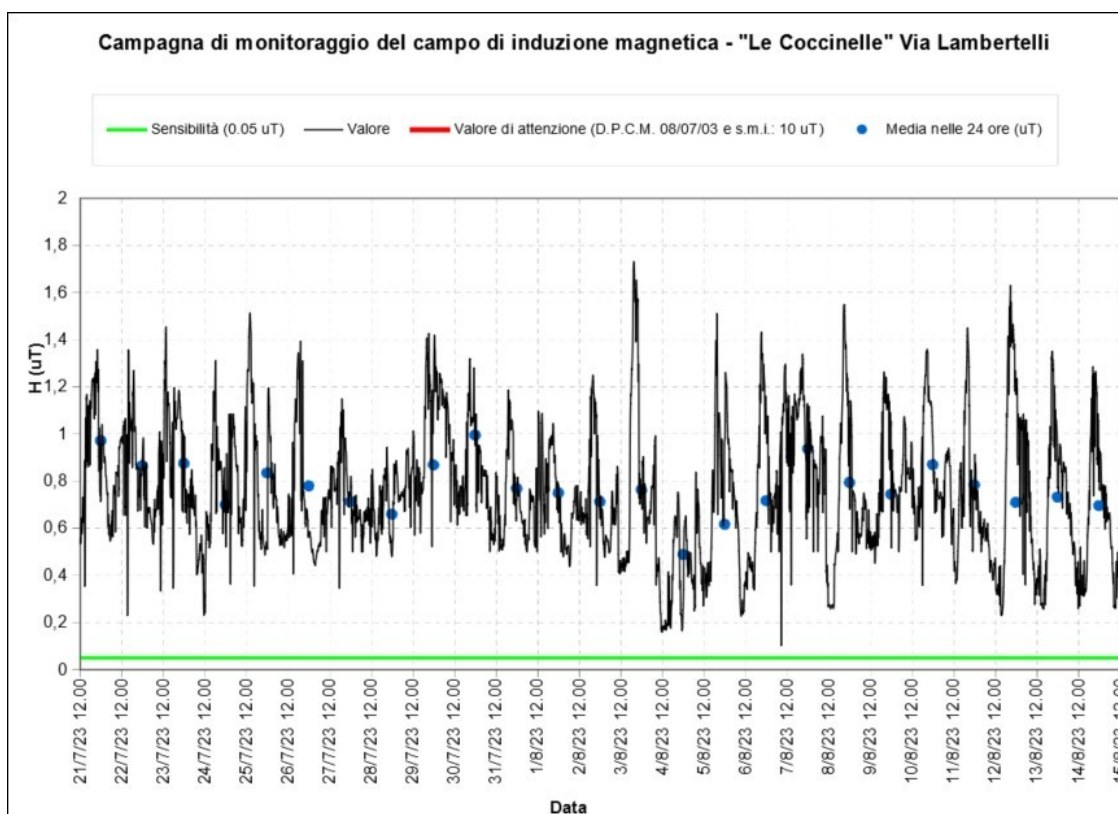


Figura 21 – Andamento del campo di induzione magnetica nella postazione "Le Coccinelle" in corrispondenza dell'area cortilizia dal 21 Luglio al 15 Agosto 2023 (Dettaglio)

Gli stessi valori di induzione magnetica di 6 minuti e la mediana delle 24 ore sono riportati anche nel grafico di Figura 21 dove, per il valore di induzione magnetica (B), si è utilizzato un fondo scala di 2 μT , così da mettere in evidenza la variabilità temporale di B: i valori più alti si rilevano in corrispondenza delle ore serali probabilmente dovuti all'assorbimento degli impianti di condizionamento.

La Tabella 15 contiene alcune elaborazioni dei dati relativi all'intero periodo di misura e la Tabella 16, per ogni giorno, la mediana sulle 24 ore del campo di induzione magnetica.

Statistiche della misura in continuo dell'induzione magnetica B [μT] in Via Lambertelli						
Minimo [μT]	Massimo [μT]	95 perc. [μT]	5 perc. [μT]	Mediana periodo [μT]	Max Mediana di 24 h [μT]	Valore di attenzione [μT]
0.10	1.74	1.26	0.31	0.74	0.99	10

Tabella 15 – Parametri statistici relativi alle misure in continuo nella postazione SITUATA NEL CORTILE DELLA Scuola materna “Le Coccinelle”, lato via Lambertelli.

I valori di induzione magnetica registrati ogni 6 minuti dalla centralina di monitoraggio sono compresi fra 0,10 μT e 1,74 μT ; il 95° percentile – ovvero il valore al di sotto del quale si colloca il 95 % delle misure è 1,26 μT mentre la mediana (50° percentile) dell'intero periodo è 0,74 μT .

	Data	B Mediana 24 h [μT]	Data	B Mediana 24 h [μT]	Data	B Mediana 24 h [μT]	Data	B Mediana 24 h [μT]
Lun			28-lug	0.71	04-ago	0.76	11-ago	0.87
Mar	22-lug	0.97	29-lug	0.66	05-ago	0.47	12-ago	0.78
Mer	23-lug	0.86	30-lug	0.87	06-ago	0.61	13-ago	0.71
Gio	24-lug	0.87	31-lug	0.99	07-ago	0.72	14-ago	0.73
Ven	25-lug	0.70	01-ago	0.76	08-ago	0.93	15-ago	0.69
Sab	26-lug	0.83	02-ago	0.75	09-ott	0.79		
Dom	27-lug	0.78	03-ago	0.71	10-ott	0.74		

Tabella 16 – Induzione magnetica mediana sulle 24 ore

Le mediane di 24 ore rispettano abbondantemente il valore di attenzione di 10 μT (D.P.C.M. 8 luglio 2003): tutti i dati sono almeno un decimo del valore di attenzione.

Non si registrano sostanziali differenze nei valori settimanali, tra giorni lavorativi e il week end.

Misure brevi di 6 minuti sono state effettuate anche al di sotto delle linee in corrispondenza della recinzione della Scuola Materna “Le Coccinelle” e della Scuola Primaria “Bersani” adiacente a Via Lambertelli in 6 postazioni (Figura 22 e fotografie in Tabella 17) registrando i valori riportati in Tabella 18



Figura 22 – Punti misura brevi Induzione Magnetica Via Lambertelli



Punto misura breve **P1**



Punto misura breve **P2**



Punto misura breve **P3**



Punto misura breve **P4**



Punto misura breve **P5**



Punto misura breve **P6**

Tabella 17 – Foto misure Brevi ELF Via Lambertelli

Punto	Induzione Magnetica B Valore su 6 min [μ T]
P1	0.45
P2	0.37
P3	0.39
P4	0.48
P5	0.62
P6	0.83

Tabella 18 – Valori Induzione Magnetica in punti indagati

Poiché le postazioni sono all'interno di un cortile ovvero di una pertinenza esterna, trattasi di zona in cui è prevedibile una permanenza superiore alle 4 ore giornaliere, le misure sono pertanto da confrontarsi con il limite di attenzione per l'induzione magnetica di $10 \mu\text{T}$ "che non deve essere superato": i valori sono molto contenuti, con un massimo registrato in tutta l'area pari a $0.83 \mu\text{T}$.

4 - Conclusioni.

Nel 2023 i monitoraggi previsti dalla convenzione hanno riguardato aree residenziali e siti "sensibili" (scuole e ospedale) ovvero luoghi frequentati da un gruppo di popolazione (giovani e persone in condizioni di salute precaria) più vulnerabili.

Le centraline per il monitoraggio in continuo sono state posizionate:

- per il monitoraggio del campo elettrico generato dagli impianti di telefonia cellulare, in tre scuole (una materna e due scuole superiori) e all'ospedale;
- per il monitoraggio dell'induzione magnetica generato dagli impianti di distribuzione dell'energia elettrica, in una scuola materna.

Oltre all'attività di monitoraggio in continuo, sono state eseguite anche misure del campo elettrico generato dalle SRB di breve periodo (6 minuti), sempre nell'intorno dei punti sensibili citati. Sono state eseguite anche 6 misure dell'induzione magnetica di due linee di media tensione in corrispondenza del cortile di due scuole.

L'analisi di tutti i rilievi effettuati hanno evidenziato non solo che **in nessun caso i valori di campo superano il limite di esposizione, il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità, previsti dalla normativa - ma che i valori misurati sono estremamente bassi.**

In particolare le misure RF non hanno mai superato il valore di 2 V/m , in nessuno dei punti presi in esame.

Il confronto fra il dato del campo elettrico ad alta frequenza stimato con il modello di simulazione EmLab e quello misurato mostra, in tutte le postazioni, una differenza percentuale media del 26,5%: la misura è mediamente un tre quarti della stima, a conferma che il metodo utilizzato, anche nell'espressione dei pareri, è conservativo e fornisce valutazioni preventive cautelative.