



Attività di monitoraggio dell'inquinamento elettromagnetico da impianti di telefonia mobile Comune di Cesena

*Relazione 1° anno di attività
2021*



Arpae – Area Prevenzione Ambientale Est
Servizio Sistemi Ambientali
Unità di coordinamento CEM

Relazione a cura di:

Patrizia Luciali (Responsabile SSA)
Cristina Ceccarelli (I.F. Unità coordinamento CEM)
Andrea Giunchedi (Operatore Unità di coordinamento CEM)

Gruppo di progetto :

Andrea Giunchedi
Silvia Sandrini
Matteo Starnini

Contatti ed informazioni: pluciali@arpae.it
cceccarelli@arpae.it

Link:

Sito Arpae: Temi ambientali → Campi elettromagnetici:
<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/campi-elettromagnetici/dati-campi-elettromagnetici>

Indice generale

1 - Inquadramento generale	2
2 - Aspetti tecnici	3
3 - Inquadramento normativo	5
4 - Stazioni Radio Base (SRB) e Radio TV (RTV) : sorgenti di campi elettromagnetici oggetto di misura nel range di frequenza delle radioonde e microonde.	11
4.1 - Trasmettitori Radio TV	11
4.2 - Sistemi per la telefonia mobile o cellulari	12
4.2.1 - Sistemi di quinta generazione (5G)	14
4.3 - Ponti radio	16
5 - Misure del campo elettrico (E) prodotto dalla radiazione elettromagnetica ad alta frequenza (RF): metodologia e risultati	17
5.1. - Metodologia e strumentazione	17
5.2 – Individuazione dei siti di misura e risultati delle misure RF in continuo (centraline)	19
5.3 – Individuazione dei siti di misura e risultati delle misure RF <i>in tempi brevi (6 minuti)</i>	31
6 - Elettrodotti: sorgenti di campi elettromagnetici a bassa frequenza (ELF)	39
6.1 - Linee elettriche	39
6.2 - Stazioni e cabine di trasformazione	43
6.3 - Reti di distribuzione dell'energia elettrica	44
6.4 Sistemi di utilizzo dell'energia elettrica e campo elettrico e magnetico generato	44
7 - Misure del campo di induzione magnetica (B) prodotto dalla radiazione elettromagnetica ad bassa frequenza (50 Hz – ELF): metodologia e risultati.	48
7.1 – Metodologia e strumentazione	48
7.2 – Individuazione dei siti di misura e risultati delle misure dell'induzione magnetica (H) per sorgenti ELF	49
7.3 – Risultati delle misure effettuate presso la cabina AT/MT - Via San Cristoforo, in corrispondenza della ditta “Bissioni” Via S.Crispino, Cesena.	51
7.3 – Risultati delle misure effettuate presso le linee AT in corrispondenza dell'area ad est di Cesena.	54
8 - Isolinee del campo elettrico (isoplete) nel territorio del Comune di Cesena.	59
8.1 Metodologia utilizzata	59
8.2. Rappresentazione grafica delle isolinee del campo elettrico E	60

1 - Inquadramento generale

Anche nel Comune di Cesena, come del resto in gran parte del territorio regionale, sono presenti numerosi impianti fissi per le radiocomunicazioni (impianti per l'emittenza radiotelevisiva [Radio-TV] e stazioni radio base per la telefonia mobile [SRB]) ed impianti per la trasformazione e la distribuzione dell'energia elettrica (linee elettriche e cabine di trasformazione).

Sensibile alla tematica Campi Elettromagnetici (CEM), il Comune di Cesena ha affidato ad Arpae l'attuazione di un Programma triennale di monitoraggio dei campi elettromagnetici (2021 – 2023) che prevede, per ciascun anno solare, l'esecuzione delle seguenti attività:

1. Il monitoraggio in continuo della radiazione elettromagnetica ad alta frequenza in tre postazioni individuate in base al contesto urbanistico e territoriale;
2. la misura della radiazione elettromagnetica ad alta frequenza per breve periodo (almeno 6 minuti) in almeno cinque postazioni, nella fascia oraria dalle 9 alle 15;
3. la misura dell'induzione magnetica generata dalle linee elettriche in almeno cinque punti;
4. misure brevi del campo magnetico prodotto nell'intorno di una cabina di trasformazione AT/MT e monitoraggio in continuo.
5. rappresentazione, a tre diverse quote (1.5 m; 6 m e 15 m), delle curve di isolivello del campo elettrico prodotto dalle SRB per le quali si è rilasciata l'autorizzazione.

Per la realizzazione dello studio è stato necessario, oltre a consultare la banca dati con l'archivio dei gestori, predisporre una mappa in formato shapes files (utilizzabile dai software GIS Arcview/QGIS) con l'ubicazione degli impianti, dei punti di monitoraggio, dei punti di misura.

Parte di queste informazioni (foto e posizione dell'impianto, risultati dei monitoraggi RF eseguiti, ecc.) sono disponibili ed aggiornati con continuità sul sito web, all'indirizzo:

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

Nelle pagine che seguono sono riportati i risultati delle misure effettuate nel 2021 e relative alle prime quattro attività sopra richiamate.

Si allega la rappresentazione grafica delle curve di isolivello del campo elettrico - simulato alle quote di 1.5 m, 15 m, 20 m e 25 m – nell'area centro di Cesena, utilizzate come quadro conoscitivo per pianificare il monitoraggio nel 2021 mentre il calcolo e la rappresentazione delle curve di isolivello sul dominio dell'intero territorio comunale (alle altezze di 1.5 m, 6 m e 15 m), previste al punto 5, saranno presentate nel capitolo 8.

2 - Aspetti tecnici

Lo spettro elettromagnetico (Figura 1) è costituito da radiazioni originate da differenti sorgenti e caratterizzate da frequenze diverse, da pochi Hz (onde radio) a più di alcune centinaia di trilioni di Hz (cioè maggiori di 300 EHz, raggi gamma):

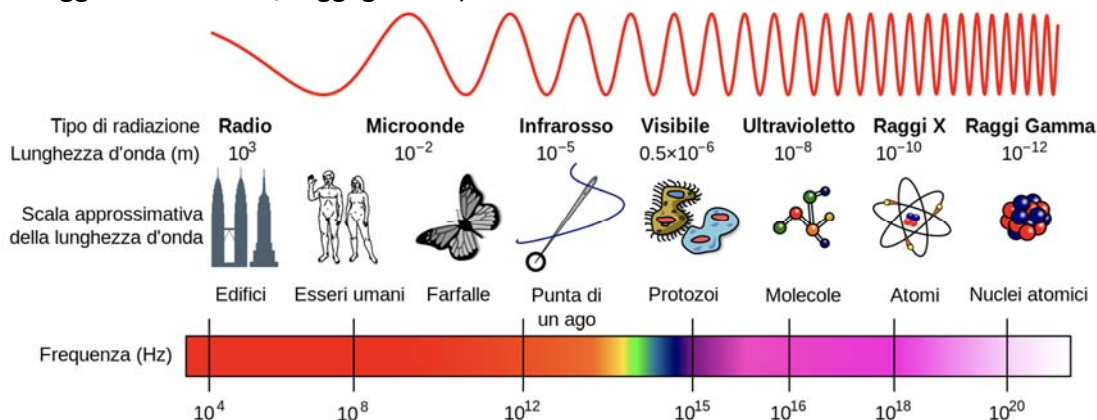


Figura 1: Spettro elettromagnetico

La caratteristica fondamentale, che distingue e determina le diverse proprietà delle onde elettromagnetiche, è proprio la frequenza (f - misurata in Hertz - Hz), cioè il numero di oscillazioni effettuate dall'onda nell'unità di tempo. La lunghezza d'onda (λ), che rappresenta la distanza percorsa dalla radiazione nel periodo di una oscillazione (uguale alla distanza tra due massimi o due minimi dell'onda), è legata alla frequenza da un rapporto di proporzionalità inversa¹: se aumenta la frequenza, diminuisce la lunghezza d'onda.

Pur essendo molto diverse per origine, caratteristiche, capacità o meno di produrre ionizzazione, modalità di interazione con la materia, effetti a seguito di esposizione, queste radiazioni hanno la comune proprietà di poter essere descritte in termini di campi elettrici e magnetici; inoltre hanno la medesima velocità di propagazione nel vuoto (circa 300.000 km/s).

Le diverse regioni dello spettro (figura 2) hanno nomi diversi.

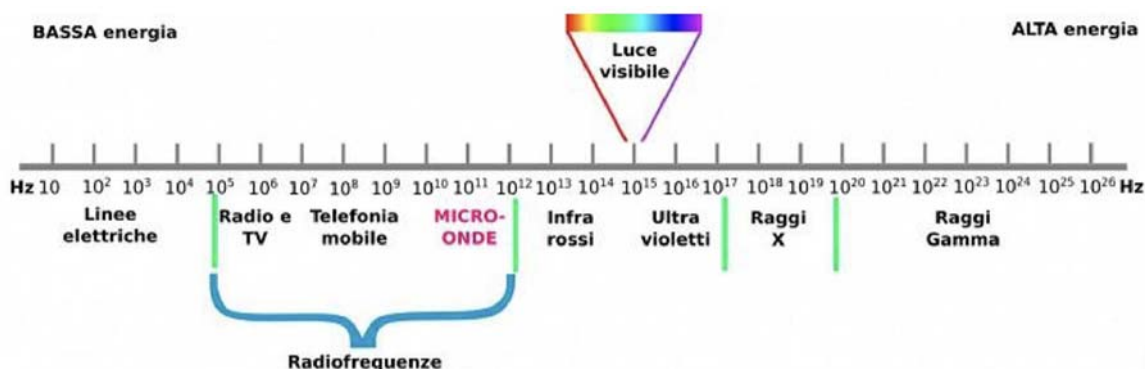


Figura 2 - Spettro elettromagnetico e nomi dei vari range di frequenza

¹ Per le onde elettromagnetiche la relazione fra frequenza e lunghezza d'onda è: $\lambda = c / f$, dove c è la velocità della luce = 299.792.458 m/s $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s

Le radiazioni che costituiscono la parte di spettro elettromagnetico da 0 Hz a 3×10^6 GHz sono denominate Radiazioni Non Ionizzanti (NIR) in quanto non possiedono l'energia sufficiente per modificare le componenti della materia e degli esseri viventi (atomi, molecole). In questo range di frequenze si distinguono (Tabella 1):

Campi Statici e Frequenze Estremamente Basse (ELF)	0 Hz	÷	30 KHz
Basse Frequenze (LF)	30 KHz	÷	100 KHz
Radio Frequenze (RF)	100 KHz	÷	300 MHz
Microonde (MW)	300 MHz	÷	300 GHz
Radiazione Ottica (IR – VIS – UV)	300 GHz	÷	3×10^6 GHz

Tabella 1 – Suddivisione dello spettro elettromagnetico da 0 Hz a 3×10^6 GHz e relativa nomenclatura.

I campi statici sono principalmente utilizzati nell'industria e nel settore medico (Risonanza Magnetica) e pertanto l'esposizione riguarda soprattutto i lavoratori addetti.

Le radiazioni a basse frequenze, dette ELF, si originano nel trasporto, trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica (elettrodotti, sottostazioni, etc.) e da tutte quelle apparecchiature domestiche o industriali alimentate a 50 Hz. Relativamente all'ambiente, il maggior impatto deriva dalle linee di trasmissione ad alta tensione, utilizzate per il trasporto dell'energia elettrica a grandi distanze; l'entità dei campi elettromagnetici è maggiore al di sotto delle linee stesse e decresce rapidamente con la distanza. Dal punto di vista dell'esposizione umana sono importanti gli impianti a bassa tensione presenti in ambienti di vita e di lavoro che generano campi di entità non trascurabile e che coinvolgono, per tempi anche prolungati, un notevole numero di individui della popolazione e di lavoratori non esposti per ragioni professionali.

I campi elettromagnetici che si estendono da 300 Hz a 100 kHz sono classificate con la dicitura LF . Le fonti principali che operano in questa gamma di frequenza sono i dispositivi antifurto, tipicamente impiegati per prevenire il furto di merci, con un livello di esposizione che di solito è al di sotto dei limiti di esposizione. Trovano applicazioni anche nei piani di cottura ad induzione, nei motori elettrici e nei lettori di badge. Anche alcune applicazioni industriali, come il riscaldamento a induzione e saldatura, possono causare emissioni nella gamma LF.

La presenza nell'ambiente esterno delle radiazioni a radiofrequenze (RF) e le microonde (MW) è dovuta soprattutto agli impianti radiotelevisivi, ai ponti radio ed alle stazioni radio base per telefonia mobile (SRB).

Nel caso di studio i range di frequenze di interesse sono quelle delle onde elettromagnetiche prodotte da:

- linee elettriche □ ELF – Frequenze Estremamente Basse;
- stazioni radio base (SRB) ed emittenti radio-televisive) □ RF – Radio Frequenze, compreso fra 100 kHz e 300 GHz (radioonde e microonde).

Poiché la diversa modalità di interazione con i sistemi biologici e gli effetti conseguenti dipendono dalla frequenza della radiazione², i riferimenti normativi riguardanti la tutela dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori si differenziano a seconda del range di frequenza considerato.

² ovvero dall'energia. Nell'elettrodinamica quantistica, le radiazioni elettromagnetiche sono costituite da particelle

3 - Inquadramento normativo

Le raccomandazioni e le normative nel campo delle radiazioni non ionizzanti sono il frutto di ricerche svolte da organismi internazionali e nazionali la cui mission è la protezione della salute e la salvaguardia dell'ambiente.

In particolare, sulle linee guida della Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP, International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) è basata la maggior parte della legislazione nazionale. L'ICNIRP è un'organizzazione non governativa, riconosciuta dall'OMS, che valuta i risultati scientifici prodotti a livello mondiale: Sulla base di un'approfondita rassegna della letteratura, l'ICNIRP redige linee guida, periodicamente riviste ed aggiornate, che contengono valori di esposizione raccomandati. L'ultimo aggiornamento, pubblicato a marzo 2020, definisce in modo più puntuale i limiti di base e i livelli di riferimento per le varie porzioni di spettro³. Per le frequenze di interesse, introduce limiti più restrittivi rispetto alle pubblicazioni precedenti. E' però importante sottolineare che, nonostante l'Unione Europea non abbia ancora recepito queste nuove indicazioni, i limiti fissati dalla normativa italiana per l'esposizione umana ai campi elettromagnetici attualmente vigente sono comunque più cautelativi dei limiti con le nuove restrizioni previste dalla Linea Guida dell'ICNIRP 2020.

La Raccomandazione n° 519 (1999/519/CE) del 12 luglio 1999, "Limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz" (Gazzetta ufficiale delle Comunità Europee 30 luglio 1999 n. L 199) è la normativa di riferimento a livello europeo. La Raccomandazione, ai fini dell'applicazione delle limitazioni basate sulla valutazione dei possibili effetti sulla salute dei campi

elementari, i fotoni, che trasportano ognuno un "pacchetto" di energia. Se consideriamo un'onda con una determinata frequenza, questa sarà costituita da un fascio di fotoni tutti della stessa energia: $E = h * f$ dove h è la costante di Planck

³ Per illustrare le principali novità introdotte nelle nuove Linee Guida si riportano di seguito alcune delle dichiarazioni rilasciate dalla stessa ICNIRP (<https://www.icnirp.org/en/rf-faq/index.html> - testo tradotto in italiano da Daniele Andreuccetti, Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara", CNR, Sesto Fiorentino (FI), Rosaria Falsaperla, Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro ed Ambientale, INAIL, Monte Porzio Catone (RM), Francesco Frigerio, Centro Ricerche Ambientali, ICS Maugeri Spa, Pavia, Alessandro Polichetti, Centro Nazionale per la Protezione dalla Radiazioni e Fisica Computazionale, ISS, Roma):

*"c'è una serie di differenze tra le nuove e le vecchie linee guida. Le principali modifiche riguardano le esposizioni a CEM di frequenza superiore ai 6 GHz e tengono conto degli sviluppi tecnologici dei CEM RF, **come il 5G**. Queste modifiche includono ulteriori restrizioni per garantire che esposizioni a CEM RF a corpo intero oppure localizzate e di breve durata (<6 minuti) non risultino eccessive. In questo intervallo di frequenze maggiori di 6 GHz, è stata ridotta (di un fattore 5) anche l'area su cui mediare le esposizioni localizzate. Ciò comporta una riduzione dell'esposizione massima di una persona rispetto alle restrizioni ICNIRP del 1998. Altre modifiche meno importanti riguardano metodi aggiuntivi per valutare la conformità alle linee guida e maggiori specifiche su come valutare scenari di esposizione complicati."*

In merito agli effetti non termici (o a lungo termine), l'ICNIRP specifica:

"Oltre alle rassegne scientifiche internazionali considerate durante lo sviluppo delle linee guida, sono state prese in considerazione anche ricerche più recenti. Queste includono recenti studi condotti dal National Toxicology Program (NTP) degli Stati Uniti, e dall'Istituto Ramazzini in Italia, rivolti ad una serie di possibili effetti sulla salute tra cui la cancerogenicità. Una valutazione dettagliata di tali studi è presentata in una recente nota dell'ICNIRP. Come descritto in quest'ultima, nonostante le affermazioni sulla cancerogenicità presenti nelle pubblicazioni dell'NTP e del Ramazzini, tali studi non hanno dimostrato che l'esposizione a CEM RF abbia iniziato o promosso il cancro nei roditori, e pertanto sono coerenti con la letteratura scientifica più in generale. Poiché non è stato dimostrato che i CEM RF causino il cancro (né nei roditori, né negli esseri umani), non sono state necessarie specifiche restrizioni nelle linee guida per la protezione dall'iniziazione o dalla promozione dei tumori. Tuttavia, proteggendo dagli effetti nocivi per la salute che si verificano a livelli di esposizione più bassi, le nuove linee guida ICNIRP proteggerebbero anche da ipotetici effetti nocivi che si dovessero riscontrare a livelli di esposizione più elevati come quelli utilizzati negli studi dell'NTP".

elettromagnetici, distingue tra *limiti di base* (Tabella 2) e *livelli di riferimento* (Tabella 3), limiti e livelli elaborati sulla scorta di un approfondito esame della letteratura scientifica pubblicata al 1999.

**Limiti di base per i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici
(0 Hz-300 GHz)**

Gamma di frequenza	Densità di flusso magnetico (mT)	Densità di corrente (mA/m ²) (rms)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR localizzato (capo e tronco) (W/kg)	SAR localizzato (arti) (W/kg)	Densità di potenza S (W/m ²)
0 Hz	40	—	—	—	—	—
>0-1 Hz	—	8	—	—	—	—
1-4 Hz	—	8/f	—	—	—	—
4-1 000 Hz	—	2	—	—	—	—
1 000 Hz-100 kHz	—	f/500	—	—	—	—
100 kHz-10 MHz	—	f/500	0,08	2	4	—
10 MHz-10 GHz	—	—	0,08	2	4	—
10-300 GHz	—	—	—	—	—	10

f è la frequenza espressa in Hz

Tabella 2 – Limiti di base per i CEM 0 Hz – 300 GHz – Raccomandazione del 12 luglio 1999

**Livelli di riferimento per i campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici
(0 Hz-300 GHz, valori efficaci (rms) non perturbati)**

Intervallo di frequenza	Intensità di campo E (V/m)	Intensità di campo H (A/m)	Campo B (µT)	Densità di potenza ad onda piana equivalente S _{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	—	3,2 × 10 ⁴	4 × 10 ⁴	—
1-8 Hz	10 000	3,2 × 10 ⁴ /f ²	4 × 10 ⁴ /f ²	—
8-25 Hz	10 000	4 000/f	5 000/f	—
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	—
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	—
1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	—
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2 000 MHz	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	0,0046 f ^{1/2}	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

f è la frequenza espressa in Hz

Tabella 3 - Livelli di riferimento per i CEM 0 Hz – 300 GHz – Raccomandazione del 12 luglio 1999

I limiti di base all'esposizione ai campi elettromagnetici si fondano su effetti accertati sulla salute e su considerazioni di ordine biologico, mentre i livelli di riferimento sono livelli indicati a fini pratici, per poterli confrontare con i valori di grandezze misurate.

Il rispetto di tutti i livelli di riferimento raccomandati garantisce il rispetto dei limiti di base. Se il

valore delle grandezze misurate supera i livelli di riferimento, non ne consegue necessariamente che i limiti di base siano superati. In tal caso, sarà necessario effettuare una valutazione per decidere se i livelli di esposizione siano inferiori a quelli fissati per i limiti di base.

In materia di elettromagnetismo, la normativa nazionale vigente risulta particolarmente puntuale. Attualmente risultano in vigore:

- 1) **Legge 36/01** *“Legge Quadro sulla protezione dalle esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”*: in particolare, l’art. 4 comma 2 della LQ 36/01 demanda la definizione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e obiettivi di qualità all’emanazione di due decreti applicativi:
 - a. il D.P.C.M. 8 Luglio 2003 (G.U. n. 199 del 28/08/2003) *“Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100KHz e 300GHz” (Radioonde e microonde)*;
 - b. il D.P.C.M. 8 Luglio 2003 (G.U. n. 200 del 29/08/2003) *“Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generate dagli elettrodotti” (ELF)*.
- 2) **Decreto del 29.05.08** *“Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell’induzione magnetica”*, utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità.
- 3) **Decreto del 29.05.08** *“Approvazione della metodologia di calcolo delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”*.
- 4) **Legge 221/12** del 17/12/2012 *“Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 18 ottobre 2012, n. 179, recante ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese”*, in particolare l’art. 14, comma 8, introduce delle importanti modifiche al D.P.C.M. 8 Luglio 2003, che hanno ripercussioni sulla fase preventiva e sulla fase di controllo.
- 5) **Decreto 77/2021 convertito in legge n. 108 del 29 luglio 2021** *“Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, recante governance del Piano nazionale di ripresa e resilienza e prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure.”* In particolare, l’art. 40 introduce una serie di semplificazioni del procedimento di autorizzazione per l’installazione di infrastrutture di comunicazione elettronica e agevolazione per l’infrastrutturazione digitale degli edifici e delle unità immobiliari. In particolare il comma 5 prevede che gli interventi di cui agli articoli 87 bis e 87 ter del decreto legislativo 1° agosto 2003, n. 259 siano realizzati previa comunicazione di avvio dei lavori all’amministrazione comunale. Gli impianti sono attivabili qualora, entro trenta giorni dalla richiesta di attivazione all’organismo competente di cui all’articolo 14 della legge 22 febbraio 2001, n. 36 (Arpa) non sia stato comunicato dal medesimo un provvedimento negativo.
- 6) **Decreto legislativo n. 207 del 08/11/2021** - *Attuazione della direttiva (UE) 2018/1972 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, che istituisce il Codice europeo delle*

comunicazioni elettroniche (rifusione). In particolare, l'art. 45 (che sostituisce l'art. 87bis) prevede la semplificazione dei procedimenti di autorizzazione all'installazione di infrastrutture radio.

Il D.P.C.M. 8 Luglio 2003 (G.U. n. 199 del 28/08/2003) nell'Allegato B, per le **radioonde e le microonde**, fissa (Tabella 4):

- ⇒ i **limiti di esposizione**, in modo differenziato per tre intervalli di frequenza; per le frequenze dei dispositivi della telefonia mobile i limiti di esposizione per il campo elettrico sono pari a 20 V/m per l'intervallo di frequenze fra 3 MHz e 3 GHz e 40 V/m per frequenze fra 3 e 300 GHz. Questi valori limite devono essere rispettati in qualunque punto accessibile agli individui della popolazione;
- ⇒ il **valore di attenzione** di 6 V/m per il campo elettrico (senza differenziazione per frequenza), assunto a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine eventualmente connessi con le esposizioni ai campi generati alle suddette frequenze all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e loro pertinenze esterne, che siano fruibili come ambienti abitativi quali balconi, terrazzi e cortili esclusi i lastrici solari. ;
- ⇒ l'**obiettivo di qualità** di 6 V/m per il campo elettrico (senza differenziazione per frequenza), da applicare all'aperto in aree e luoghi intensamente frequentati, dove per aree intensamente frequentate si intendono anche superfici edificate ovvero attrezzate permanentemente per il soddisfacimento di bisogni sociali, sanitari e ricreativi.

Tabella 1	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Limiti di esposizione			
0,1 < f ≤ 3 MHz	60	0,2	-
3 < f ≤ 3000 MHz	20	0,05	1
3 < f ≤ 300 GHz	40	0,01	4

Tabella 2	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Valori di attenzione			
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz-300 GHz)

Tabella 3	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Obiettivi di qualità			
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz-300 GHz)

Tabella 4 - DPCM 8 luglio 2003 – Allegato B: limiti di esposizione (tabella 1); valori di attenzione (tabella 2); obiettivi di qualità (tabella 3)

Il Decreto Legge del 18 ottobre 2012, convertito in Legge il 17 dicembre 2012 (Legge 221/12), ha introdotto alcune importanti modifiche alla normativa, in particolare:

1. i **limiti di esposizione** (20 V/m, art. 3 DPCM 8 luglio 2003) devono essere verificati con misure a 1.5 m sul piano di calpestio e mediati su un qualsiasi intervallo di 6 minuti;
2. i **valori di attenzione** (6 V/m, art. 3 DPCM 8 luglio 2003) devono essere ugualmente determinati ad un'altezza di m 1,5 sul piano di calpestio, ma devono essere valutati come media dei valori delle 24 ore
3. gli **obiettivi di qualità** di cui all'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 (6 V/m) calcolati o verificati all'aperto nelle aree intensamente frequentate devono essere determinati ad un'altezza di m 1.5 sul piano di calpestio, ma devono essere valutati come media dei valori nelle 24 ore.

L'altro Decreto, sempre del 8 Luglio 2003 ma pubblicato nella G.U. n. 200 del 29/08/2003, è relativo **ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati dagli elettrodotti** (ovvero l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione) e fissa i seguenti limiti, valore di attenzione e obiettivo di qualità (Tabella 5):

- ⇒ i **limiti di esposizione** (art.3): non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 6 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci;
- ⇒ il **valore di attenzione** (art.3): a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio;
- ⇒ l'**obiettivo di qualità** (art.4) per nuovi elettrodotti: Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, e' fissato l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

VALORI LIMITE PER CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO GENERATO DA ELETTRIDOTTI E CABINE DI TRASFORMAZIONE			
Limiti di esposizione per l'induzione magnetica B	Limiti di esposizione per il campo elettrico E	Valore di attenzione per l'induzione magnetica B	Obiettivo di qualità per l'induzione magnetica B
100 μ T	5 KV/m	10 μ T	3 μ T

Tabella 5 - DPCM 8 luglio 2003 – limiti di esposizione, valore di attenzione e obiettivo di qualità per il campo elettrico e magnetico generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz

Altro riferimento normativo per valutare i campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati dagli elettrodotti, è il **Decreto** del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare del **29 maggio 2008** - *“Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”* che contiene la metodologia da applicare per la determinazione delle fasce di rispetto pertinenti alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti e di progetto, il rispetto dei principi della Legge 36/01 e del DPCM 8 luglio 2003

A livello regionale, i riferimenti normativi sono costituiti dalla **LR 30/2000 e ss.mm.** e dalla **Direttiva Applicativa**, Delibera di Giunta n.197 del 13/03/01 *“Norme per la tutela della salute e la salvaguardia dell’ambiente dall’inquinamento elettromagnetico”* così come integrata e modificata dalla Delibera di Giunta n. 1138 del 21/07/2008.

4 - Stazioni Radio Base (SRB) e Radio TV (RTV) : sorgenti di campi elettromagnetici oggetto di misura nel range di frequenza delle radioonde e microonde.

Qualunque dispositivo, macchinario, impianto alimentato ad energia elettrica emette campi elettrici, campi magnetici, campi elettromagnetici. Le sorgenti più comunemente conosciute sono gli elettrodotti per la distribuzione dell'energia elettrica, il sistema di comunicazione fatto con i telefoni cellulari, oltre ai trasmettitori Radio TV . Queste sono anche le sorgenti oggetto di misura nel presente studio.

4.1 - Trasmettitori Radio TV

I ripetitori radio-televisivi sono impianti *broadcasting*, ovvero impianti di diffusione pubblica di messaggi che, per raggiungere il più ampio numero di persone, utilizzano sistemi di comunicazione terrestri o satellitari. Tali impianti hanno spesso potenze superiori a 1000 W e, a seconda della quota di installazione, coprono ampi bacini di utenza che possono interessare anche più province.

Poiché le potenze in gioco sono significative, le emittenti radiotelevisive generano campi elettromagnetici di una certa entità che possono contribuire all'esposizione della popolazione in modo più significativo rispetto, ad esempio, ai sistemi di comunicazione della telefonia cellulare, dove sono in gioco potenze decisamente più contenute.

L'entità del campo elettrico prodotto da queste infrastrutture varia notevolmente da sito a sito, a seconda della quota di installazione e delle potenze utilizzate. La crescita spesso disordinata, la mancanza di un'adeguata pianificazione delle frequenze, di un controllo delle potenze, di un catasto aggiornato ed esaustivo delle antenne radio televisive da parte del Ministero delle Comunicazioni, rende necessaria l'effettuazione di misure e controlli. Lo *switch off* del segnale televisivo analogico e la riconversione degli impianti in tecnologia digitale porta ad una diminuzione dei livelli di campo elettromagnetico grazie alla minore potenza impiegata da questo tipo di trasmettitori. L'impatto visivo dell'impianto può risultare significativo, come mostrato in Figura 3.



Figura 3 - Impianti presenti presso un sito in provincia di Forlì-Cesena (Monte Maggio)

4.2 - Sistemi per la telefonia mobile o cellulari

Anche i sistemi per telefonia mobile sono sistemi *broadcasting*, da un punto emittente a molti punti riceventi. I sistemi cellulari sfruttano la suddivisione del territorio in aree di dimensioni limitate, dette *celle*, ognuna servita dal segnale proveniente dalla Stazione Radio Base (SRB - Figura 4).



Figura 4 - Esempi di SRB installate.

La stazioni radio base per la telefonia cellulare usano:

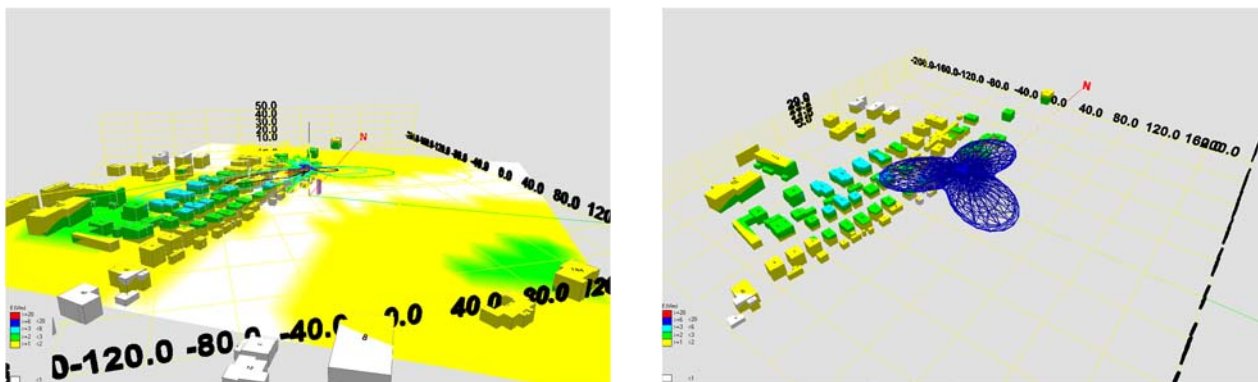
- potenze limitate, alcuni ordini di grandezza inferiore a quella dei trasmettitori radio FM e TV);
- la sagomatura del campo irradiato dalla singola cella, così da coprire solo la porzione di territorio desiderata;
- l'inclinazione delle antenne rispetto all'orizzonte, cosicché i lobi di radiazione del campo elettrico risultano inclinati verso il basso rispetto all'orizzonte.

Gli apparati fissi di telefonia cellulare si compongono di antenne trasmettenti (apparati irradianti), che trasmettono il segnale al telefono cellulare, e di antenne riceventi, che ricevono il segnale trasmesso dal telefono. Gli apparati irradianti sono installati su tralicci o su edifici elevati, in modo da inviare il segnale, senza troppe interferenze, in una specifica cella di territorio. La copertura della porzione di territorio viene garantita da due/tre gruppi di antenne (due/tre celle) collocati in direzioni diverse (direzioni di puntamento), così da garantire la quasi isotropicità del sistema. L'altezza delle installazioni, le potenze e la tipologia delle antenne impiegate concorrono a definire i valori del campo elettromagnetico nelle aree circostanti l'impianto.

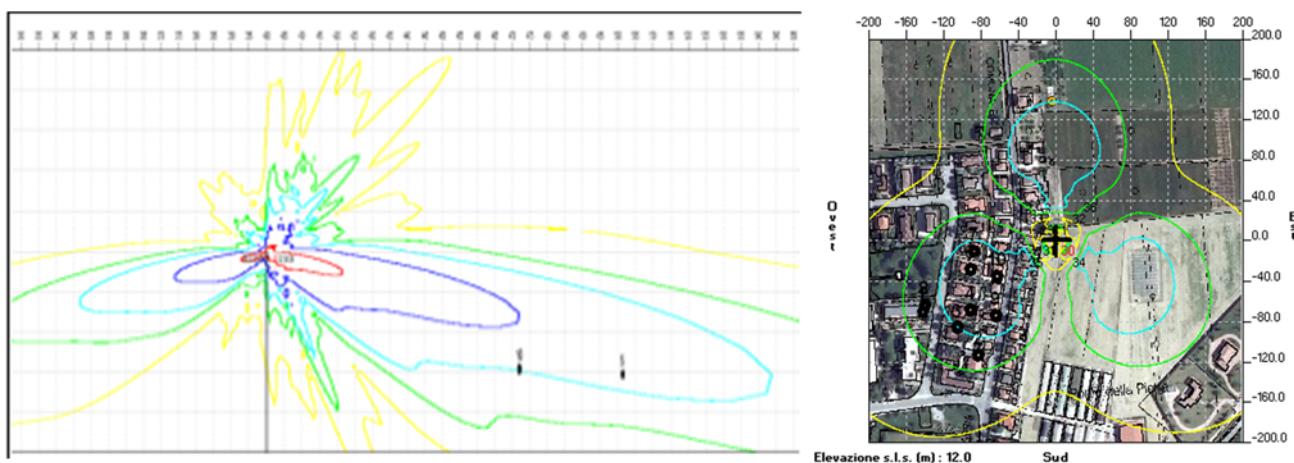
Le antenne normalmente usate nelle SRB sono schiere di elementi radianti o antenne elementari, alimentate con segnali di fase opportuna in modo da concentrare la potenza in ingresso in un sottile fascio dalle dimensioni verticali di meno di 10° e con un'apertura orizzontale di circa 60°-90°.

Per caratterizzare l'impianto e stimare – attraverso modelli di simulazione - l'andamento del campo elettrico nelle aree limitrofe, è necessario conoscerne le caratteristiche tecniche delle SRB: il numero delle celle (generalmente due o tre), il diagramma di irradiazione del campo elettrico, la direzione di puntamento, l'inclinazione dell'antenna (tilt) e le potenze irradiate.

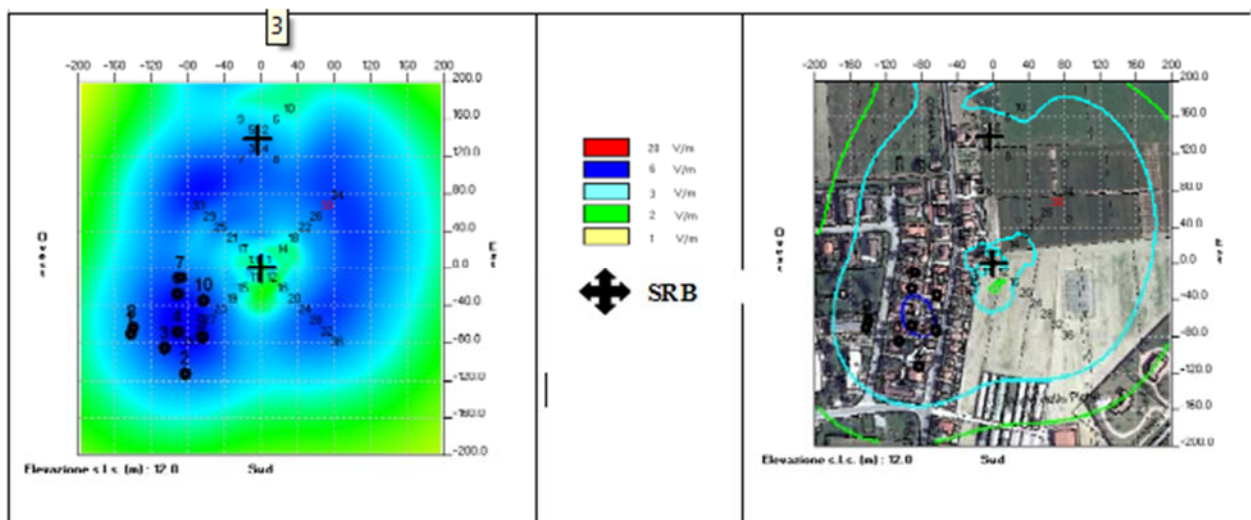
Nella Figura 5 sono riportati alcuni esempi di simulazioni del Campo Elettrico (E) generato da una o da più SRB:



Simulazioni in 3D del Campo Elettrico (E) [V/m] generato da una SRB al suolo (a sinistra) e in quota (a destra)



Mappa verticale (a sinistra) ed orizzontale (a destra su ortofoto) di E [V/m] generato da una SRB



Mappa orizzontale di E generato da più SRB: a sinistra a campitura, a destra con isolinee su ortofoto AGEA

Figura 5 - Esempi di simulazioni del Campo Elettrico generato da una e più SRB

In alcune zone dei centri urbani sono installati sistemi denominati “microcelle e picocelle”. Hanno un corto raggio d’azione e garantiscono la copertura del servizio negli ambienti interni, in aree a maggior traffico telefonico (ad esempio all’interno di supermercati, lungo le strade del centro storico,...). Tali sistemi impiegano potenze estremamente basse (qualche milliwatt), possono essere installati anche a pochi metri dal suolo (circa 3 metri) - in genere sulla parete di edifici o all’interno di insegne –e determina un minor impatto visivo rispetto alle normali SRB.

4.2.1 - Sistemi di quinta generazione (5G)

Dall’inizio degli anni 80, quando in Italia si diffondono i primi telefoni cellulari che utilizzavano la rete ETACS a 900 MHz (standard di prima generazione: 1G), ad oggi la tecnologia utilizzata dalla telefonia cellulare si è profondamente trasformata.

Questa evoluzione ha consentito agli utilizzatori di telefono cellulare di accedere ad una serie di servizi: oltre la basilare comunicazione fonica con un altro utente senza vincoli di mobilità, chiamate in conferenza e videoconferenza, accesso ad Internet, fax, E-mail, trasferimento dati, ricezione di programmi televisivi ecc....

Il 5G, ovvero la nuova tecnologia di telefonia mobile di quinta generazione, rappresenta l’evoluzione della tecnologia già utilizzata 4G e conosciuta anche con l’acronimo LTE (Long Term Evolution). Rispetto al 4G, il 5G consente di incrementare le prestazioni dei servizi di telefonia e trasmissione dati in termini di velocità, tempi di latenza (tempo che passa tra quando un dispositivo invia una richiesta di dati e quando inizia a riceverli) e capacità (numero di dispositivi che riesce a tenere collegati e, quindi, numero di flussi di dati in *download* e *upload* che riesce a gestire per ogni chilometro quadrato). E’ possibile, inoltre, implementare nuovi servizi come i sistemi di guida autonoma delle automobili, i servizi smart city, i dispositivi smart home e smart agrifood, e il cosiddetto *IoT (Internet of things)*, uno standard di connessione che abilita e prevede il collegamento Internet tra umani per mezzo di oggetti intelligenti e lo scambio di informazioni tra milioni di oggetti per chilometro quadrato.

Si stima che entro la fine del 2024 il 5G raggiungerà oltre il 40% della popolazione globale e che ci saranno 1,5 miliardi di abbonamenti alla nuova tecnologia. Questo comporterà nuovi scenari di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza (RF).

In Italia le bande di frequenza assegnate al 5G sono state stabilite dal MiSE con il Decreto del 05/10/2018 “*Piano nazionale di ripartizione delle frequenze*” e, successivamente, messe all’asta.

Le bande di frequenza 5 G sono:

- 694-790 MHz (di seguito citata come “banda 700 MHz”),
- 3,6-3,8 GHz
- 26,5-27,5 GHz (di seguito citata come “banda 26 GHz”).

Al momento le frequenze utilizzate per i servizi di telefonia mobile (2G, 3G e 4G) ricadono nell’intervallo 800 MHz - 2,6 GHz, con una parziale sovrapposizione, quindi, con la banda 700 MHz. Per le nuove applicazioni le frequenze più utilizzate ricadranno nella banda 26 GHz. A differenza delle frequenze più basse queste hanno una portata inferiore e possono essere facilmente schermate da oggetti come muri, edifici e arredi urbani, ma anche dalla vegetazione e dalla pioggia. Per ovviare a questo problema e fornire una copertura ottimale del segnale a RF si dovranno quindi

utilizzare antenne con potenza minore, di dimensioni più ridotte ma più diffuse nel territorio (small cells, porzioni di territorio servite da una singola antenna).

La peculiarità dei sistemi 5G, rispetto alle tecnologie precedenti, sta nell'evoluzione della tecnologia MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), già utilizzata con il 4G, in *massive MIMO* che ottimizza la possibilità di invio e ricezione simultanea dei dati verso un maggior numero di dispositivi connessi. Questo nuovo sistema tecnologico, noto come *beamforming*, è caratterizzato da una emissione "adattativa" in base al numero di utenze da servire, alla loro posizione e al tipo di servizio (Figura 6) invece della emissione costante di potenza in tutte le direzioni dei precedenti sistemi.

Le antenne trasmettono le informazioni in modo mirato in direzione dell'utente assicurando la migliore velocità e, allo stesso tempo, la riduzione delle emissioni nelle altre direzioni, favorendo la riduzione delle interferenze e indirizzando la potenza solo dove c'è la reale necessità. Per queste caratteristiche spesso l'antenna 5G è anche detta "*smart antenna*" (antenna intelligente).

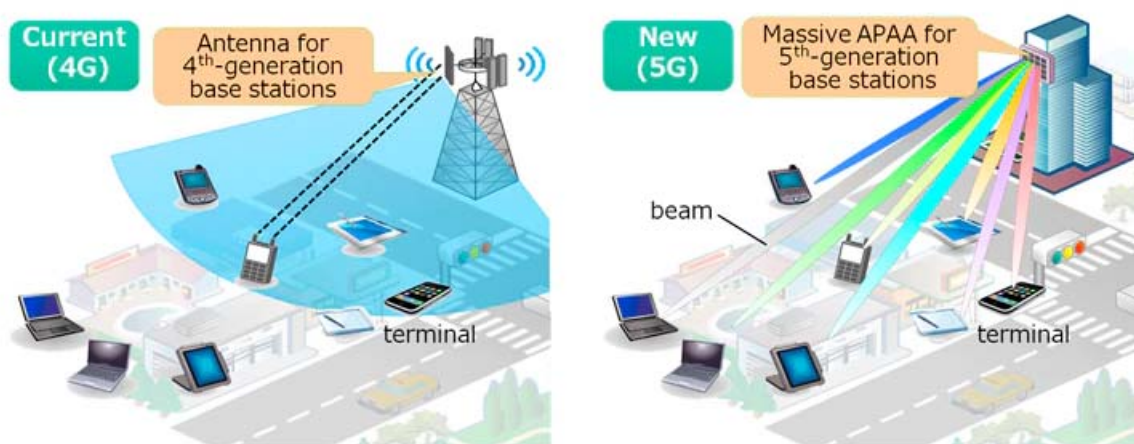


Figura 6 - Il beamforming implementato nella tecnologia 5G

Le previsioni di calcolo per le antenne adattative si basano, dunque, su un diagramma d'antenna a involuppo, che include tutti i diagrammi possibili nello stato di esercizio (Figura 7).

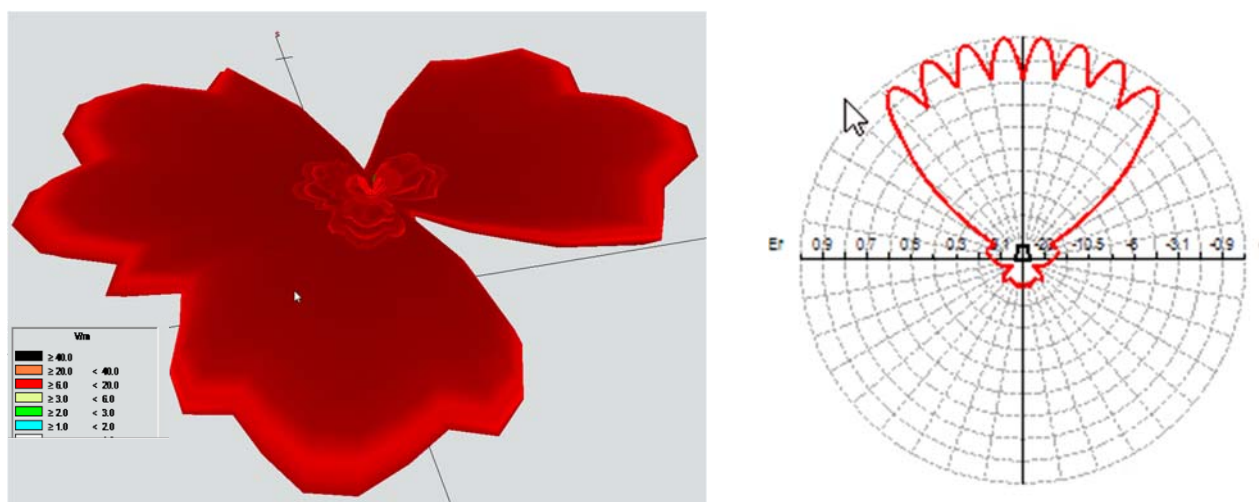


Figura 7 - Isovolumi a 6 V/m generato da tre sistemi d'antenna con tecnologia 5G -3700 Mhz utilizzando i fattori di correzione statistici (a sinistra); diagramma orizzontale a involuppo di un'antenna massive MIMO (a destra)

Poiché, in realtà, tutti i diagrammi d'antenna su cui si basa il diagramma d'involuppo non possono verificarsi simultaneamente, i calcoli che utilizzano questo tipo di diagrammi sovrastimerebbero significativamente la radiazione effettiva. Nelle valutazioni preventive dei sistemi d'antenne 5G massive MIMO, si introduce allora un fattore correttivo sulle potenze in antenna: in questo modo i calcoli di esposizione, in un determinato punto dello spazio, si avvicinano a quelli "reali" ovvero all'esposizione in presenza di richiesta e in diretta funzione del numero di utenti attivi nel periodo di osservazione considerato. Le valutazioni preventive, quindi, si basano su un "approccio statistico" che utilizza coefficienti di riduzione, da applicare alla potenza massima nominale configurabile all'antenna, ottenuti a monte raccogliendo un numero congruo di misurazioni in diverse tipologie di sito e con diverse condizioni di traffico così da avere un insieme di dati sufficientemente ampio da garantire la significatività del valore numerico del parametro di riduzione della potenza da utilizzare. Ad oggi solo parte delle SRB con 5G per le quali è stato richiesto un parere nella Provincia di Forlì-Cesena presentano la nuova tecnologia (implementazioni del *beamforming* dinamico), mentre molte si limitano a configurazioni statiche e quindi sono gestite in modo analogo alle SRB tradizionali.

4.3 - Ponti radio

I ponti radio, realizzati attraverso antenne paraboliche (Figura 8), trasmettono in modo direttivo: l'energia elettromagnetica viene irradiata in fasci collimati, sia orizzontalmente che verticalmente; essi inviano segnali a grandi distanze utilizzando potenze in molti casi inferiori al Watt.

Il segnale emesso dai ponti radio, ad alta frequenza, collega tra loro antenne poste a distanza ed in visibilità ottica (senza ostacoli interposti); l'elevata direttività e le potenze impiegate fanno sì che non vi siano problemi legati ad aspetti protezionistici ambientali e sanitari.



Figura 8 : Esempi di ponti radio di antenna radio e di ponte radio di Stazione Radiobase

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

5.1. - 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 9).

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

La misura di lungo periodo con la centralina di monitoraggio ha l'indubbio vantaggio, rispetto alla misura di breve periodo, di rilevare in automatico la somma di tutti i contributi di campo elettrico per periodi lunghi di tempo, consentendo di caratterizzare l'eventuale variabilità temporale delle emissioni degli 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 di campo elettrico e la loro relativa 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 in termini anche temporali, vi si ricorre se le misure in banda larga superano il 75% dei valori limite o di cautela, per valutare quanto ogni sorgente contribuisce al livello globale di campo elettrico misurato.

Nello specifico, per lo studio in oggetto, è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- Per le misure brevi 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); certificato di taratura ACCREDIA n. 70604308E del 29/06/2017.
 - 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). Con tarature certificate in data 03/12/2018 (SMP2) e 04/12/2018 (WPF8).
- Per le misure in continuo □
 - 2 centraline di monitoraggio per campi elettromagnetici della ditta NARDA PMM tipo 8057 FUB (tri-band) S/N 000WJ50785 e S/N 000WJ50787, entrambe sottoposte a taratura standard (03/02/2021).

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).

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

Con l’amministrazione comunale si è convenuto di installare le centraline per il monitoraggio in continuo, in zone della città a maggior frequentazione, ovvero:

- Sede comunale in Piazza del popolo.
- Biblioteca Malatestiana in Piazza Alessandro Bufalini.
- Teatro Bonci in Via Cesare Montanari.

Dopo l’individuazione dei punti si è proceduto ad effettuare una analisi delle installazioni presenti nel territorio cesenate. Dal catasto delle stazioni radio base autorizzate dal Comune di Cesena e attive nella zona di studio risultano presenti 27 installazioni su un totale di 195 presenti nel territorio comunale e 742 in quello provinciale

Con il termine “installazione” 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 *cositing*). Ogni installazione è identificata da un indirizzo o da una coppia di coordinate geografiche.

Utilizzando il programma di simulazione EMLAB, è stato valutato il campo elettrico prodotto dalle SRB nel dominio di calcolo (coincidente con l’area oggetto di studio) in quota (1.5m , 6m, 15m): le figure 10 – 11 e 12 riportano le curve di isolivello (isoplete) del campo elettrico ottenute.

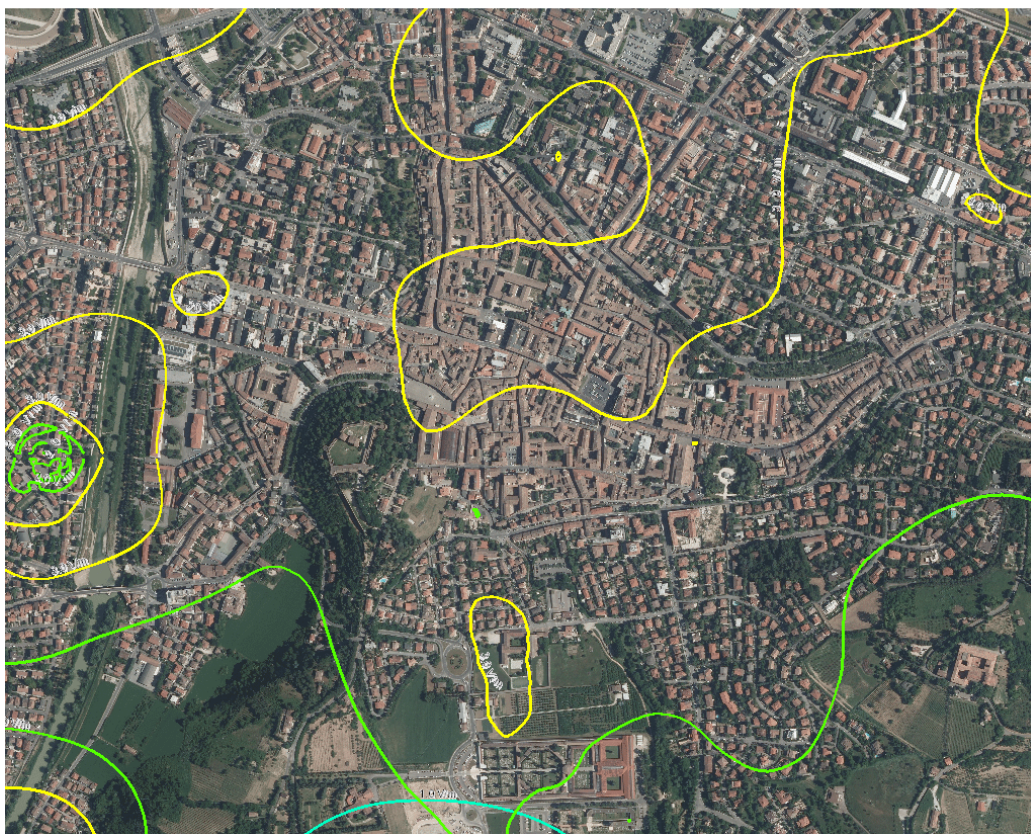


Figura 10
 Mappa dell'area
 urbana di Cesena:
 isolinee del campo
 elettrico stimate
 alla quota di
1.5m sls

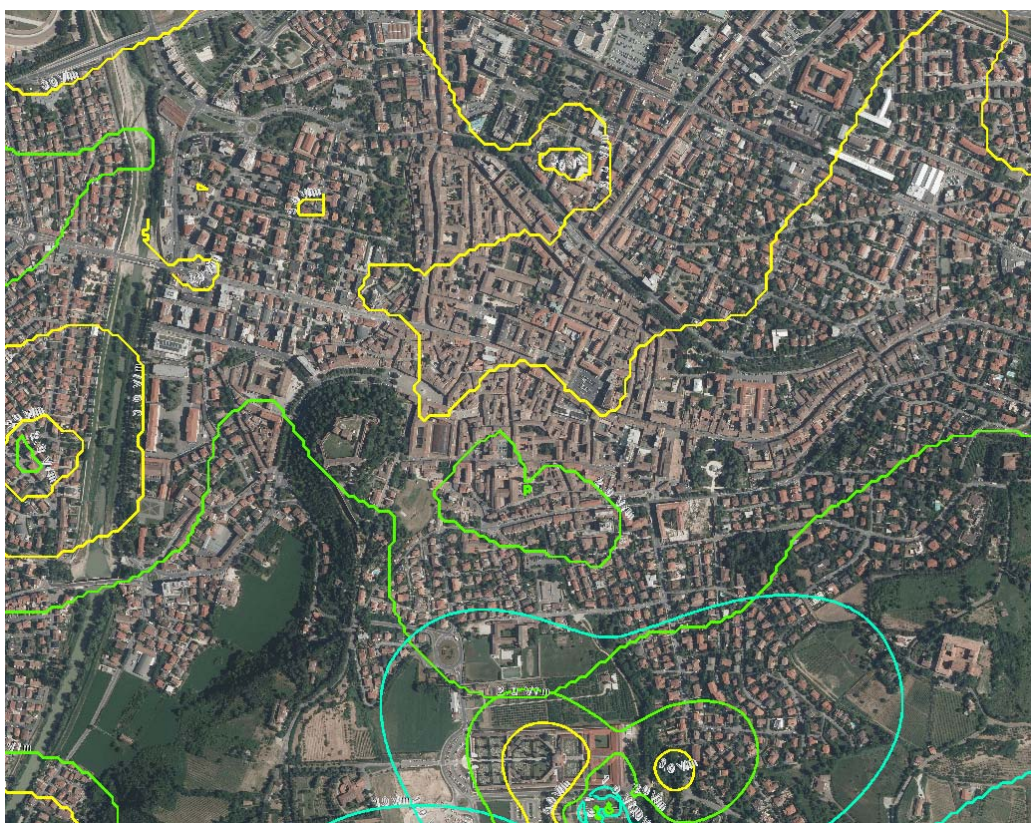


Figura 11
 Isolinee del campo
 elettrico stimate
 alla quota di
6 m sls



*Figura 12
Isolinee del campo elettrico stimate alla quota di 15 m slm*

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, fino a raggiungere i valori più bassi al suolo.

Nella tabella che segue (Tabella 6) sono indicate le postazioni di misura e i gestori che maggiormente contribuiscono al campo elettrico rilevato, mentre in Figura 13 le tre postazioni sono individuate con una segnalino giallo (stella).

Postazione di misura (in continuo)	Gestori nelle vicinanze	Quota postazione sls [m]
Piazza del Popolo Ufficio del Comune 2° piano	TIM	H 6
	WIND TRE	
Biblioteca Malatestiana Piazza Alessandro Bufalini	TIM	0
	ILIAD	
Teatro Bonci Via Cesare Montanari	TIM	H 6
	VODAFONE	
	WIND TRE	

Tabella 6 – Postazioni in cui sono state effettuate le misure di lungo periodo (centraline), SRB vicine e quota a cui è stata posizionata la centralina sls

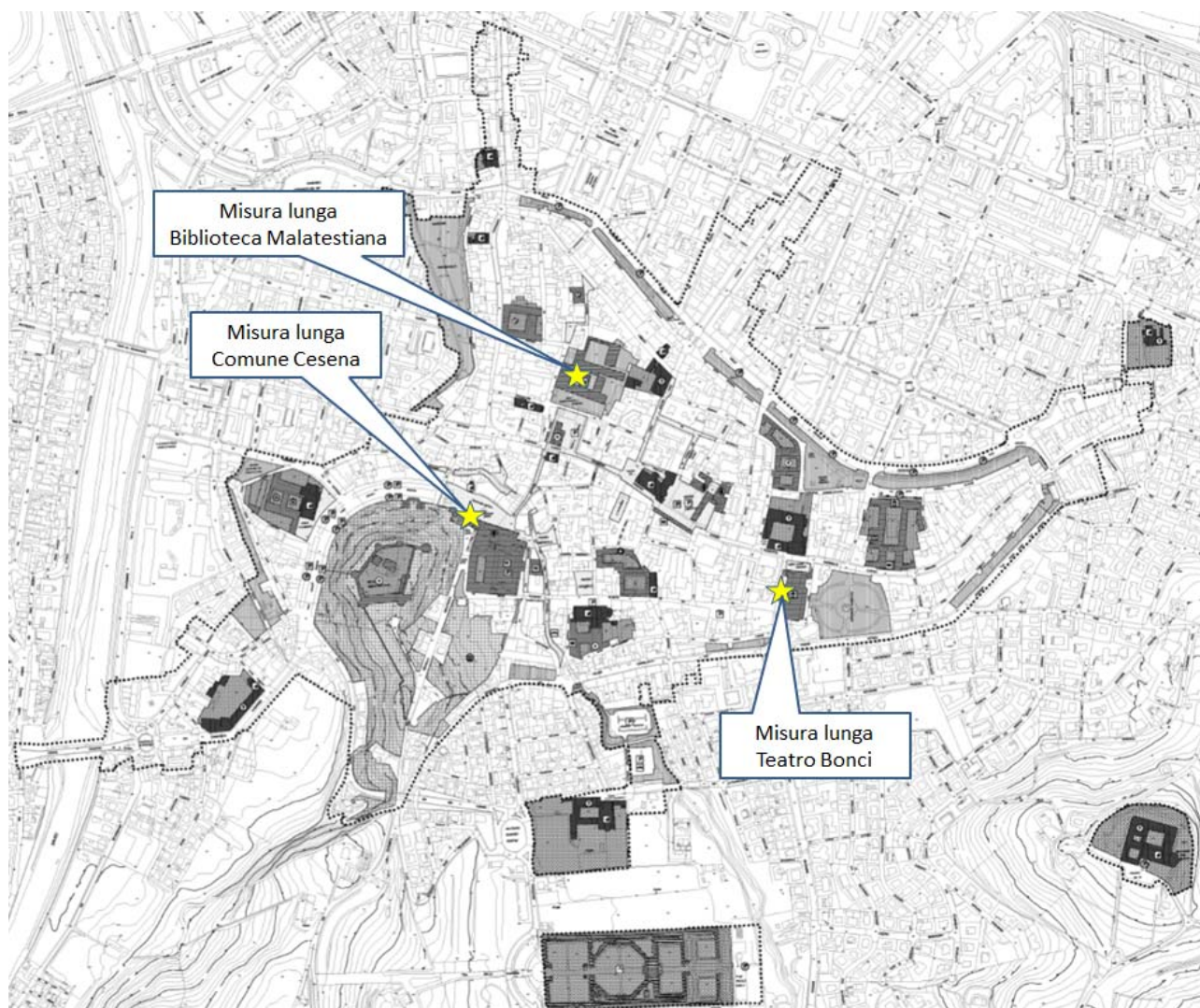


Figura 13 - Postazioni delle misure in continuo (centralina) – stella gialla (i punti rossi sono le postazioni in cui sono state effettuate misure di breve periodo)

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, pari a 6 V/m, previsti nelle aree con permanenza superiore alle 4 ore giornaliere dal DPCM 8 luglio 2003 e s.m.i. (artt. 3,4).

Tutti i dati di intensità di campo elettrico rilevati nei tre punti indagati sono stati raggruppati in 8 classi, in base al valore del campo elettrico E (Tabella 7 e Figura 14); poiché la sonda delle centraline ha una sensibilità pari a 0,5 V/m, le misure inferiori a tale valore ricadono nel primo intervallo di campo elettrico: $\leq 0,5$ V/m.

	Intervallo del Campo Elettrico E [V/m]							
	< 0,5	0,5÷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	6958	4082	0	0	0	0	0	0
Percentuale	63%	37%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabella 7 – Numero di misure ricadenti in ciascuno degli otto intervalli di campo elettrico individuati e relativa percentuale

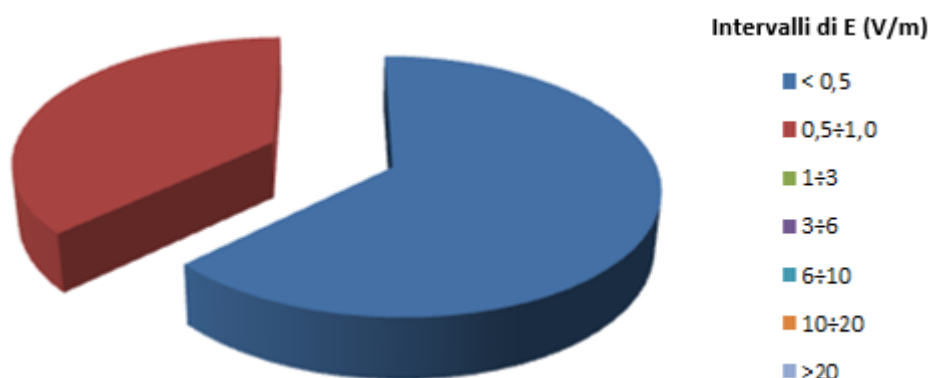


Figura 14 – Grafico a torta della distribuzione dei valori di campo elettrico acquisiti con le centraline di monitoraggio in continuo nelle sette classi di E

Le misure in continuo effettuate nel corso del 2021 hanno consentito di rilevare, nelle tre postazioni individuate, un totale di **11040** dati validi di campo elettrico.

Il dato più importante che emerge dall'analisi dei dati acquisiti in continuo è che la totalità dei valori di campo elettrico misurati risulta **inferiore a metà del valore di 6 V/m**, ovvero al valore di attenzione e all'obiettivo di qualità previsti nelle aree con permanenza superiore alle 4 ore giornaliere dal DPCM 8 luglio 2003 (artt. 3,4).

Il **63%** dei valori di campo elettrico registrati è inferiore alla soglia di rilevabilità strumentale pari a 0,5 V/m.

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

SCHEDA POSTAZIONE: Ufficio Comune di Cesena

Le misure sono state eseguite dal 17 novembre (ore 12:00) al 28 novembre (ore 12:00) 2021, nell'ufficio posizionato al primo piano, che si affaccia su Piazza del Popolo (Figura 15).

La Tabella 8 riporta le principali statistiche relative alle misure effettuate e le Figure 16 e 16a il grafico dell'andamento del campo elettrico misurato nel periodo di rilevazione.

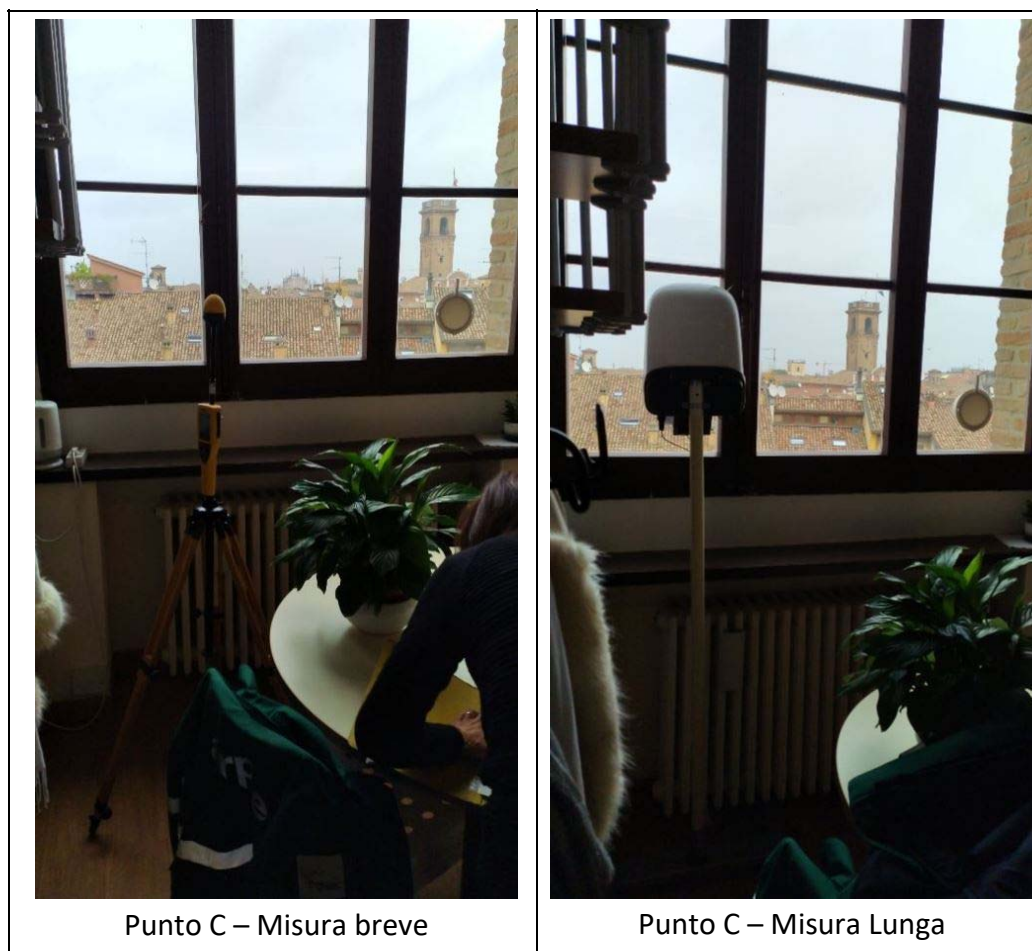


Figura 15 – Postazione ufficio Comune di Cesena- Piazza del Popolo

	Campo Elettrico E [V/m]					
	min	medio	Max	Max Media 24 ore	Simulato (Emlab)	Valore di attenzione
Piazza del Popolo Ufficio del Comune 1° piano	0.11	0.43	0.44	0.46	3.2	6

Tabella 8 - Principali parametri statistici del campo elettrico misurato nella postazione, valore del campo elettrico simulato con EMLAB e valore di attenzione

Grafico della campagna di monitoraggio del campo elettrico, Comune Cesena

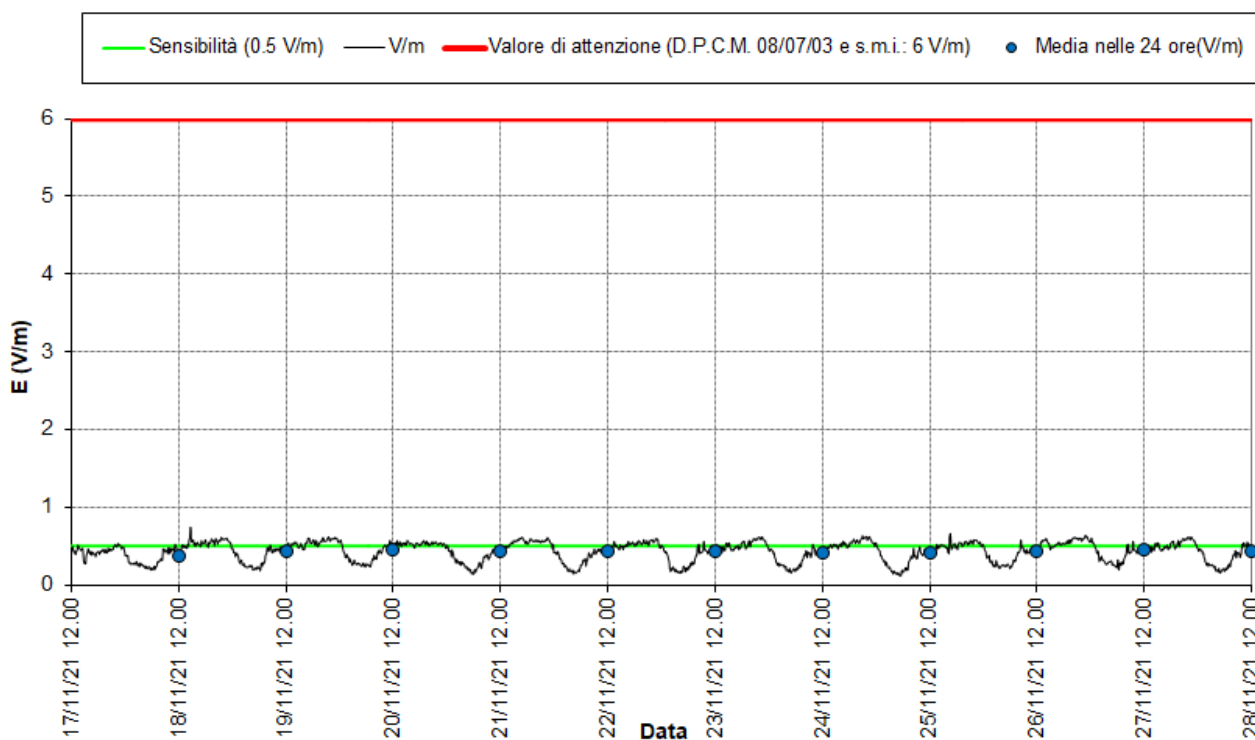


Figura 16 – Campo elettrico misurato nella Postazione Comune di Cesena - Piazza del Popolo

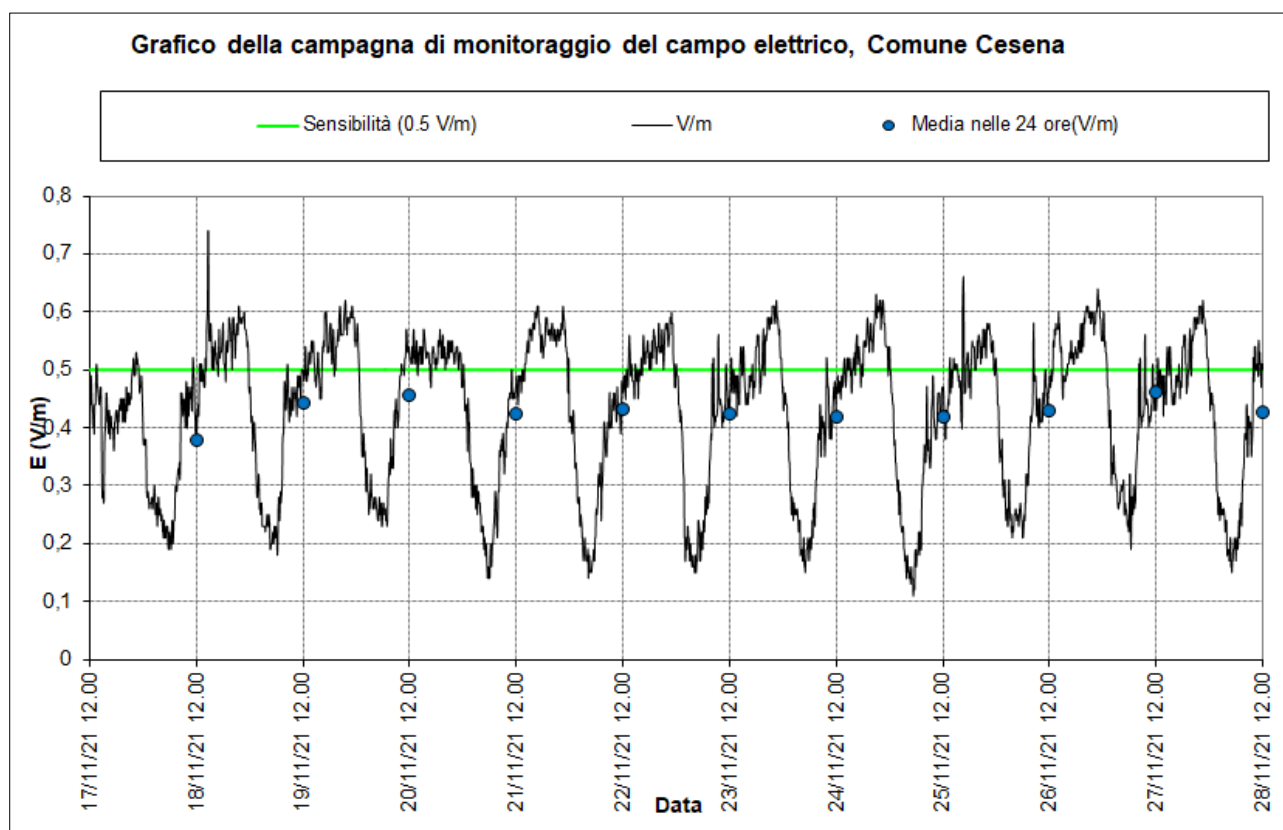


Figura 16a – Campo elettrico misurato nella Postazione Comune di Cesena - Piazza del Popolo (dettaglio)

SCHEDA POSTAZIONE: Biblioteca Malatestiana

Le misure sono state eseguite dal 17 novembre (ore 12:00) al 01 dicembre (ore 12:00) 2021, all'interno del cortile della Biblioteca comunale, Piazza Alessandro Bufalini. (Figura 17)

La Tabella 9 riporta le principali statistiche relative alle misure effettuate e le Figure 18 e 18a il grafico dell'andamento del campo elettrico misurato nel periodo di rilevazione.



Punto B – Misura breve

Punto B – Misura lunga

Figura 17 – Postazione Biblioteca Malatestiana, cortile interno Piazza Alessandro Bufalini

	Campo Elettrico E [V/m]					
	min	medio	Max	Max Media 24 ore	Simulato (Emlab)	Valore di attenzione
Biblioteca Malatestiana Piazza Maurizio Bufalini Cortile interno	0.32	0.42	0.72	0.46	2.8	6

Tabella 9 - Principali parametri statistici del campo elettrico misurato nella postazione, valore del campo elettrico simulato con EMLAB e valore di attenzione

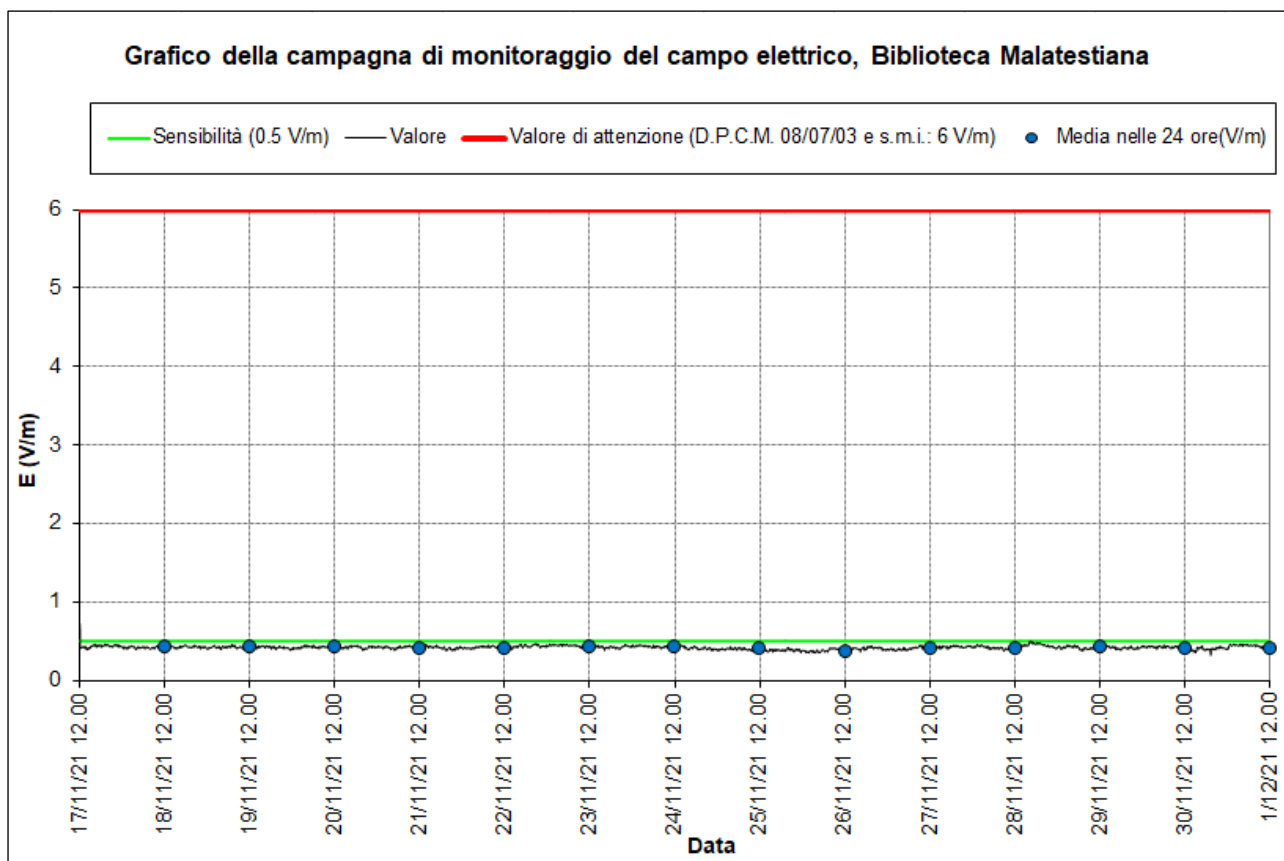


Figura 18 – Campo elettrico misurato dal nella Postazione “Biblioteca Malatestiana”

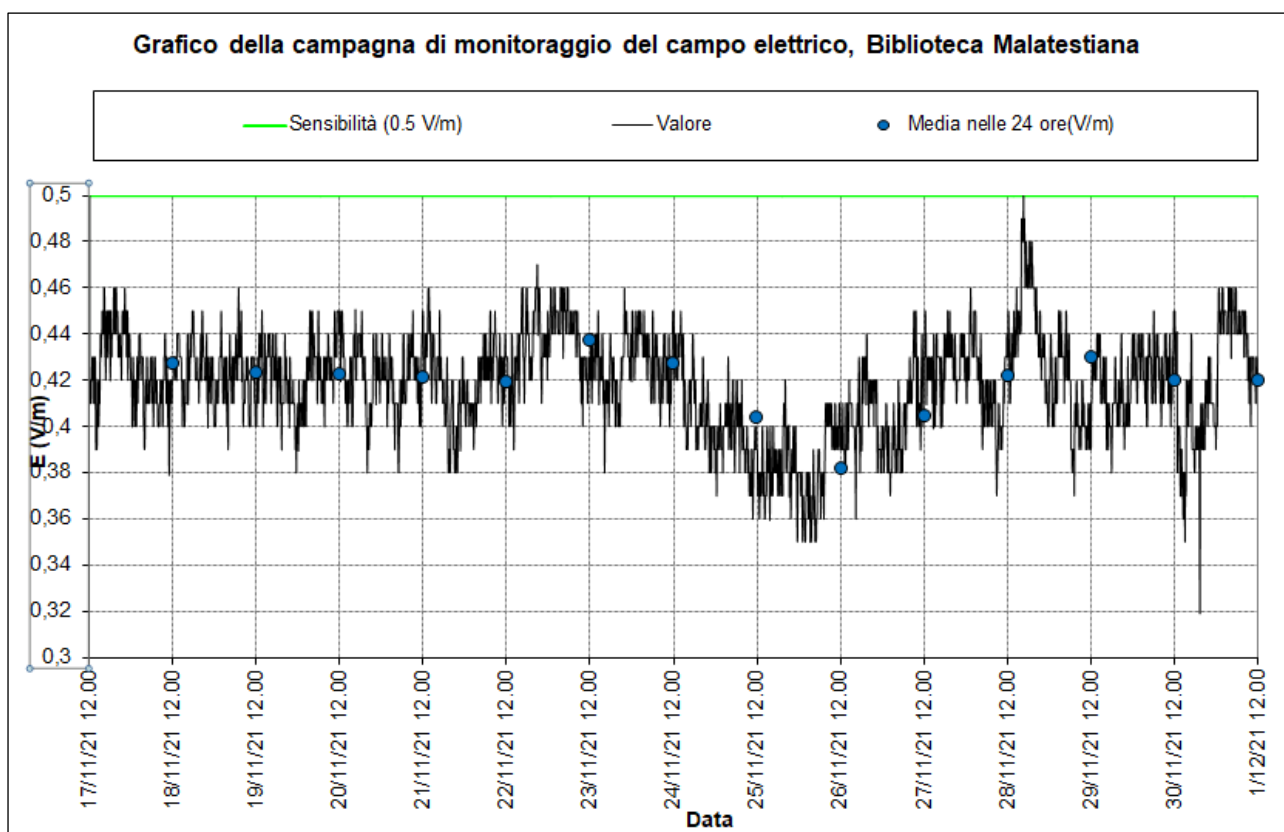


Figura 18a – Campo elettrico misurato dal nella Postazione “Biblioteca Malatestiana” (dettaglio)

SCHEMA POSTAZIONE: Teatro Bonci

Le misure sono state eseguite dal 17 novembre (ore 12:00) al 8 dicembre (ore 12:00) 2021 nel terrazzo esterno del Teatro Bonci su Via Cesare Montanari (Figura 19).

La Tabella 10 riporta le principali statistiche relative alle misure effettuate e le Figure 20 e 20a i grafici dell'andamento del campo elettrico misurato nel periodo di rilevazione.



Punto A– Misura breve



Punto A – Misura lunga

	Campo Elettrico E [V/m]					
	min	medio	Max	Max Media 24 ore	Simulato (Emlab)	Valore di attenzione
Via Montanari Terrazzo Teatro Bonci 1° piano	0.24	0.51	0.84	0.56	2.1	6

Tabella 10 - Principali parametri statistici del campo elettrico misurato nella postazione, valore del campo elettrico simulato con EMLAB e valore di attenzione

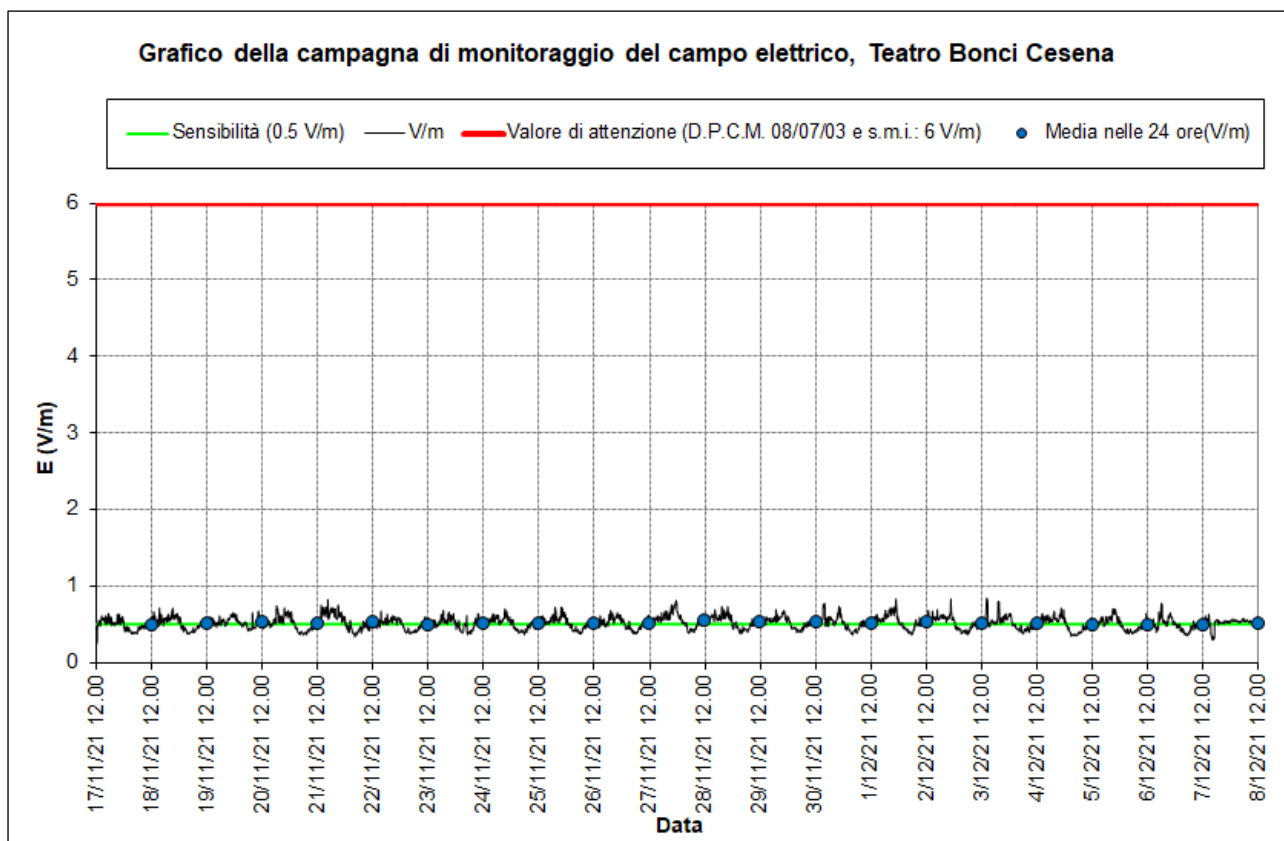


Figura 20 – Campo elettrico misurato nella Postazione Teatro Bonci

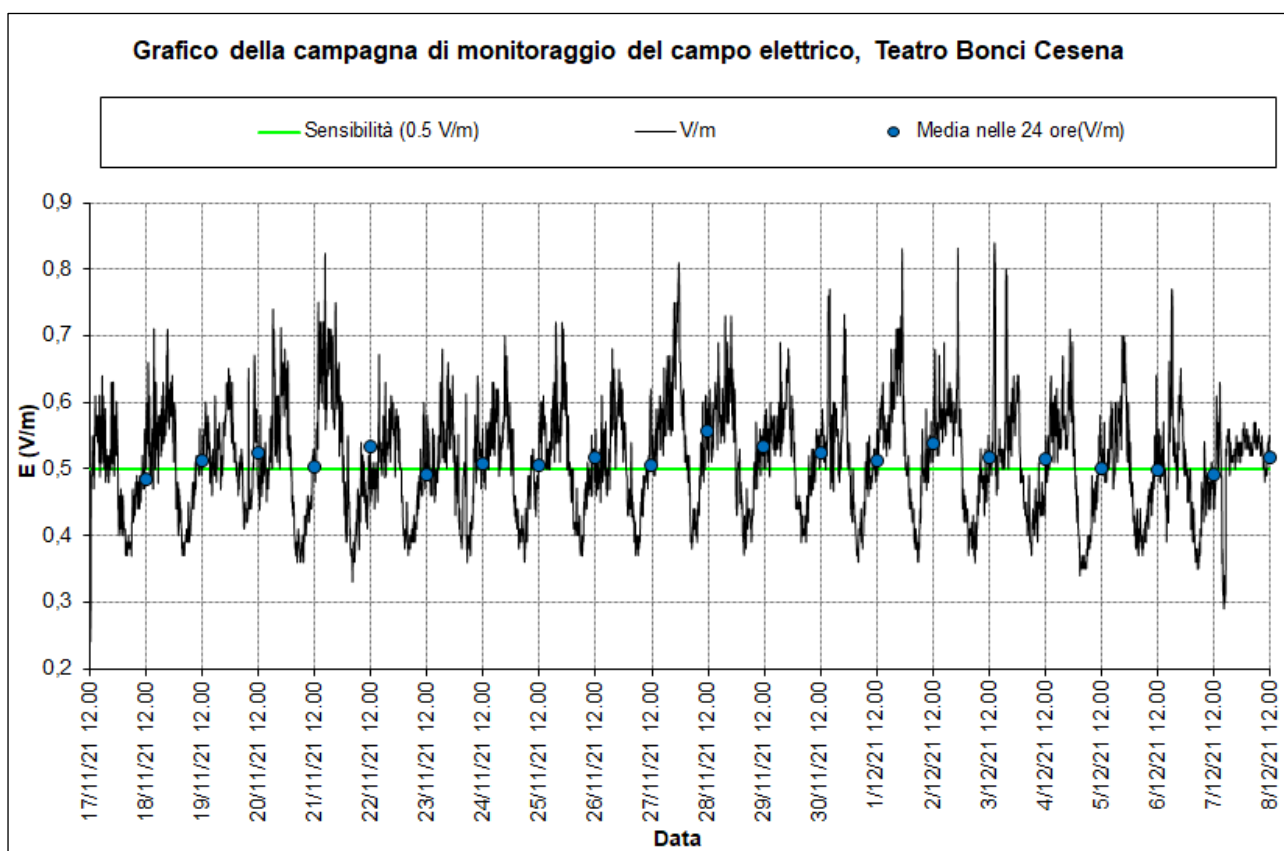


Figura 20a – Campo elettrico misurato nella Postazione Teatro Bonci (dettaglio)

Le misure di lungo periodo consentono di calcolare, nelle tre postazioni, i seguenti parametri statistici (Tabella 11 e Figura 21):

Postazione monitorata in continuo	Campo Elettrico E [V/m]					
	min	medio	max	Max Media 24 ore	Simulato (Emlab)	Valore di attenzione
Piazza del Popolo Ufficio del Comune 1° piano	0.11	0.43	0.44	0.46	3.2	6
Piazza M. Bufalini Biblioteca Malatestiana	0.32	0.42	0.72	0.46	2.8	6
Via C. Montanari Terrazzo 1° piano	0.24	0.51	0.84	0.56	2.1	6

Tabella 11 - Principali parametri statistici del campo elettrico misurato, valore del campo elettrico simulato con EMLAB e valore di attenzione

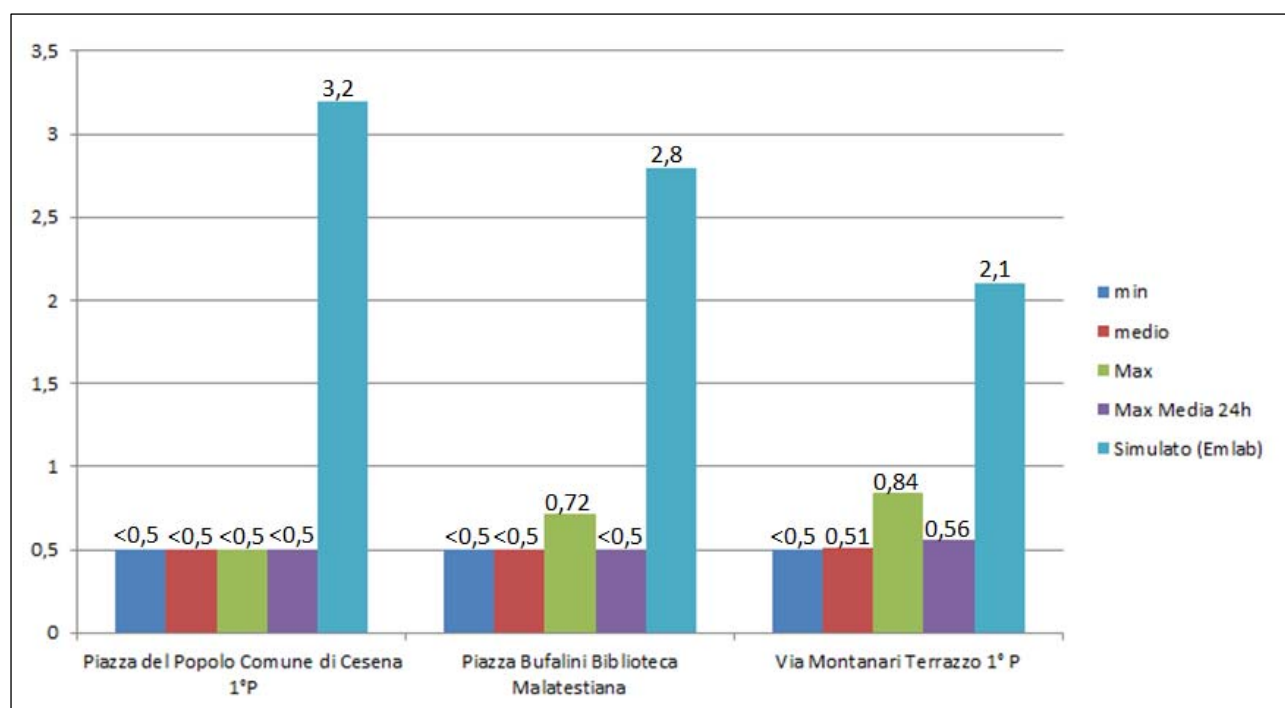


Figura 21 – Principali valori statistici del campo elettrico misurato nelle campagne di monitoraggio in continuo effettuate nel 2021.

Il valore massimo del campo elettrico su 6 minuti, 0.84 V/m, è stato registrato nel terrazzo esterno del Teatro Bonci su via Cesare Montanari, nella postazione a maggiore quota, a conferma che – generalmente - all’aumentare della quota del punto di misura aumenta il valore del campo elettrico, sia simulato sia misurato.

Le medie su 24 ore sono comprese fra 0,46 e 0,56 V/m, tutte inferiori al valore di attenzione ed addirittura non superano il valore di 1 V/m. Rassicurante è il confronto fra il dato simulato e il dato misurato: in tutte le postazioni le condizioni estremamente cautelative assunte per la simulazione garantiscono, nella realtà, valori di campo elettrico misurati decisamente inferiori a quanto stimato.

5.3 – Individuazione dei siti di misura e risultati delle misure RF *in tempi brevi* (6 minuti)

La convenzione con il Comune di Cesena prevede che le misure di breve periodo della radiazione elettromagnetica ad alta frequenza vengano effettuate in almeno cinque postazioni, per almeno 6 minuti in ogni sito, nella fascia oraria dalle 9 alle 15.

Stante anche la difficoltà di accedere nelle abitazioni private causa la situazione di pandemia, si è concordato di modificare questo impegno ed effettuare una “mappatura del campo elettrico” così da avere un quadro conoscitivo di dettaglio dell’area indagata.

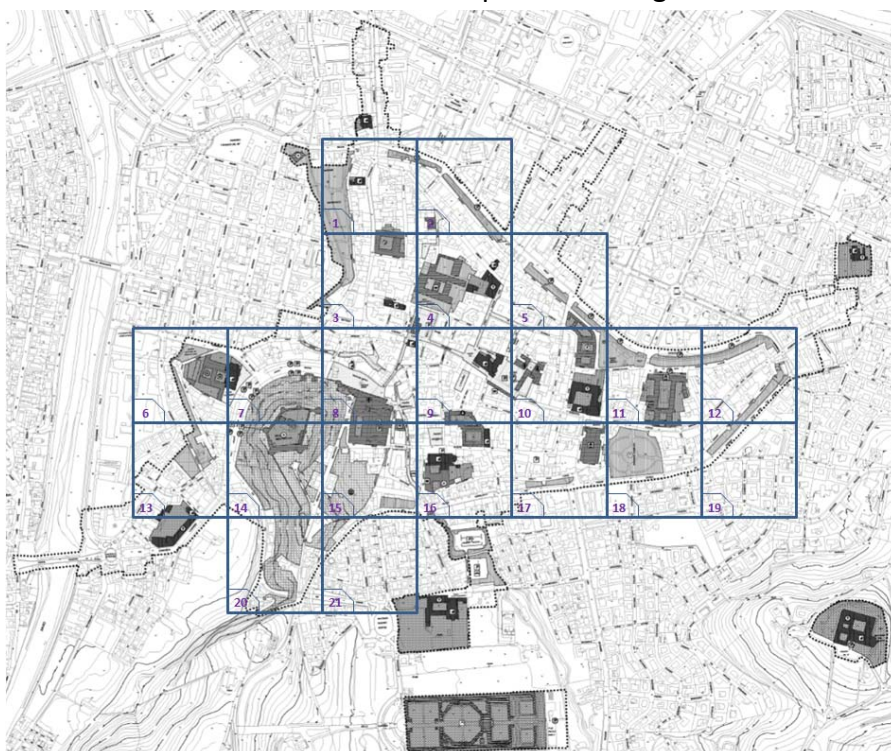
Come area da indagare nel primo anno di validità della convenzione – in accordo con il Comune di Cesena - è stato individuato il “centro storico di Cesena”. In realtà il centro storico, come definito dal PRG, comprende anche alcune zone limitrofe, ad esempio il Cimitero urbano e la Basilica della Madonna del Monte (“centro storico allargato” – area tratteggiata in Figura 22).

Per identificare i punti di misura, alla mappa del centro storico di Cesena, è stato sovrapposto un reticolo con maglie di 200 m di lato.

Il reticolo che ricopre il centro storico è formato da 21 maglie, in ognuna delle quali è stata individuata una postazione di misura. A questi punti ne sono stati aggiunti altri 13 punti per ricoprire il “centro storico allargato”, per un totale di 34 punti dove sono state eseguite le misure brevi di campo elettrico.

Lo strumento è stato, ove possibile, posizionato al centro della maglia. Elementi, valutati in situ, hanno concorso ad individuare il posizionamento ottimale all’interno della maglia, o nei luoghi del centro allargato:

- privilegiando le posizioni che garantivano maggiore significatività della misura;
- l’effettiva accessibilità, in particolare in aree private;
- evitando schermature del campo elettromagnetico dovute ad edifici o strutture metalliche.



*Figura 22:
Individuazione
preliminare delle aree
del grigliato e delle aree
del “centro storico
allargato” delimitate
dalla linea tratteggiata.*

Le misure brevi sono state effettuate con la strumentazione portatile in dotazione (Wandel & Goltermann Tipo EMR-300 e Narda tipo NBM-50 S/N B-1039).

Lo strumento è stato posizionato su di un tripode di materiale dielettrico, con la sonda ad una altezza di 1.5 m dal suolo. E' stato acquisito il valore medio del campo elettrico su un intervallo temporale di sei minuti.

Per porsi nelle condizioni di più alto carico telefonico, le misure sono state effettuate nelle giornate di mercoledì 24 novembre e mercoledì 1 dicembre, in concomitanza del mercato in Via Jacopo Mazzoni, almeno nei punti di misura vicini al mercato.

Le coordinate dei punti di misura sono state acquisite tramite GPS e, successivamente, rappresentate sulla cartografia del PRG (Figura 23).

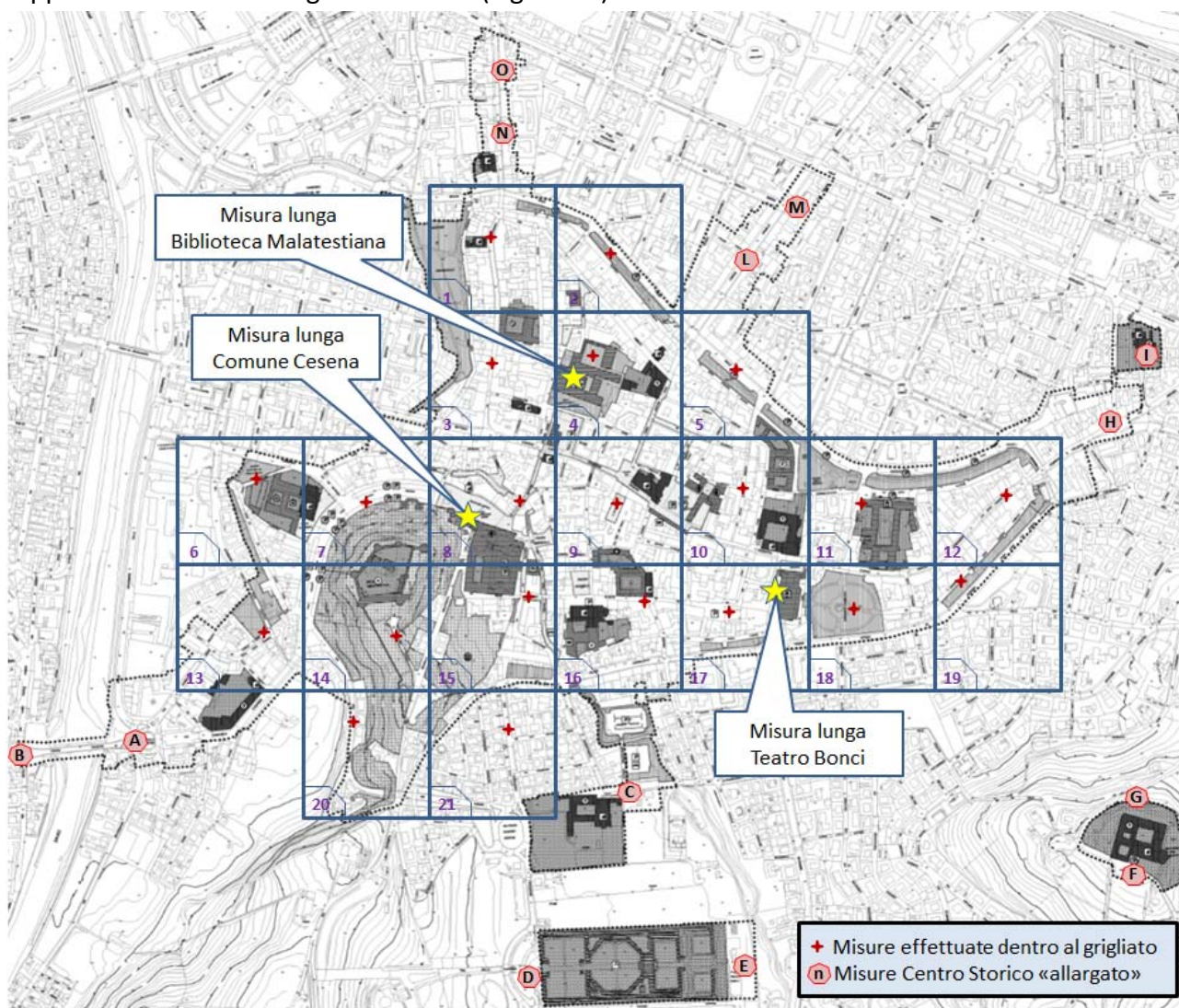


Figura 23: Rappresentazione dei punti di misura del campo elettrico RF a 1.5 m di altezza.

In totale sono state effettuate 34 misure di campo elettrico (21 centro e 13 centro "allargato"), i cui risultati sono riportati in Tabella 12; la Figura 24 mostra, invece, le 21 + 13 postazioni di misura.

Punto di misura: indirizzo / descrizione			Data e ora misura	E - Valore misurato media di 6 minuti (V/m)	Valore atteso dalle simulazioni
1	Via Contrada Chiaramonti	Strada	1/12/2021 14:25	< 0,5	3,0
2	Via Mura Barriera Ponente	Strada	1/12/2021 14:40	0,6	3,3
3	Via Contrada Chiaramonti	Strada	24/11/2021 10:55	< 0,5	3,6
4	Via Montalti	Area Verde	24/11/2021 11:20	< 0,5	3,7
5	Via Carducci	Strada	24/11/2021 12:45	< 0,5	3,0
6	Via Mura Porta Fiume	Strada	24/11/2021 10:10	< 0,5	2,2
7	Via Jacopo Mazzoni	Strada	24/11/2021 10:25	< 0,5	2,9
8	Via Zeffirino Re	Strada	24/11/2021 10:40	< 0,5	2,7
9	Contrada Dandini	Strada	24/11/2021 11:35	< 0,5	3,5
10	Via Braschi	Strada	24/11/2021 13:00	< 0,5	2,7
11	Vie Serraglio	Strada	24/11/2021 15:00	< 0,5	2,3
12	Via Comandini	Strada	24/11/2021 15:20	< 0,5	2,3
13	Via Anita Garibaldi	Strada	24/11/2021 12:40	< 0,5	2,0
14	Via Cia degli Ordellaffi	Strada	24/11/2021 12:25	< 0,5	2,6
15	Via Zelide Fattiboni	Strada	24/11/2021 12:10	< 0,5	2,3
16	Via Milani	Strada	24/11/2021 11:55	< 0,5	2,3
17	Piazza Isei	Strada	24/11/2021 15:40	< 0,5	2,4
18	Giardini Teatro Verdi	Area Verde	24/11/2021 15:55	< 0,5	2,5
19	Via Padre Vicinio da Sarsina	Strada	24/11/2021 16:10	< 0,5	2,1
20	Via del Tunnel	Strada	1/12/2021 15:25	< 0,5	2,5
21	Via Giovanni Pacchioni	Strada	1/12/2021 15:40	< 0,5	3,9
A	Via Lugaresi	Strada	7/12/2021 10:00	< 0,5	1,4
B	Via Pontevecchio	Strada	7/12/2021 10:10	< 0,5	1,2
C	Via San Francesco (chiesa dell'osservanza)	Strada	7/12/2021 10:25	< 0,5	2,7
D	Via Pacchioni (ingresso Cimitero urbano)	Strada	7/12/2021 10:40	< 0,5	3,6
E	Via Bertozzi (Ingresso posteriore Cimitero Urbano)	Strada	7/12/2021 10:55	< 0,5	2,0
F	Via del Monte (Ingresso Abbazia)	Strada	7/12/2021 11:20	< 0,5	0,3
G	Vie del Monte	Strada	7/12/2021 11:30	< 0,5	0,5
H	Sobborgo Valzania	Strada	7/12/2021 11:50	< 0,5	1,7
I	Viale San Pietro (Chiesa San Paolo Apostolo)	Strada	7/12/2021 12:05	0,56	1,4
L	Via Cavour int. Via delle rose	Strada	7/12/2021 12:25	0,88	3,2
M	Via Cavour civ 42	Strada	7/12/2021 12:35	< 0,5	2,9
N	Sobborgo Comandini civ. 7	Strada	7/12/2021 12:55	< 0,5	2,7
O	Sobborgo Comandini civ. 42	Strada	7/12/2021 13:10	< 0,5	2,9

Tabella 12 – Misure del campo elettrico di breve periodo effettuate nelle maglie del dominio di studio e nei punti aggiuntivi del Centro Storico allargato; confronto con il dato simulato alla quota di 1,5 m nello stesso punto.



Punto 1



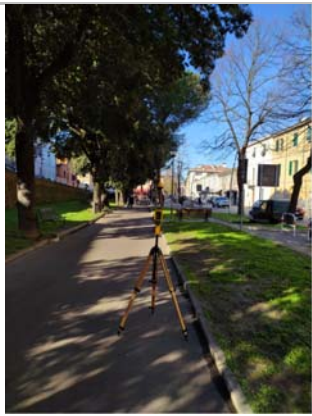
Punto 2



Punto 3



Punto 4



Punto 5



Punto 6



Punto 7



Punto 8



Punto 9



Punto 10



Punto 11



Punto 12



Punto 13



Punto 14



Punto 15



Punto 16



Punto 17



Punto 18



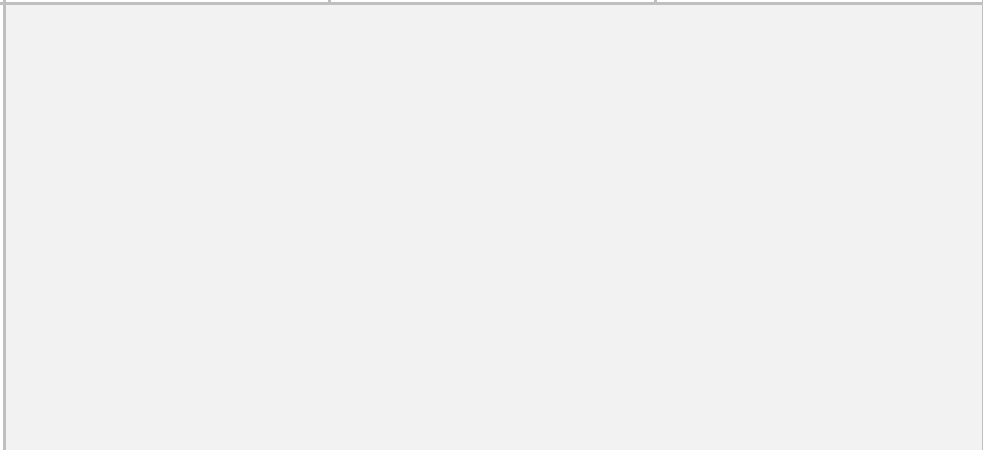
Punto 19



Punto 20



Punto 21



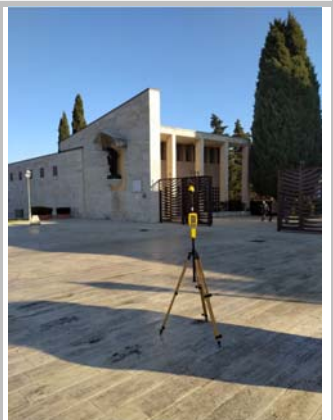
Punto A



Punto B



Punto C



Punto D



Punto E



Punto F



Punto G



Punto H



Figura 24 – Collocazione della strumentazione nelle 21 + 13 postazioni di misura a quota 1,5 m

Ad integrazione e completamento dello studio, sono state eseguite ulteriori 12 misure nell'area del mercato, lungo la Via Jacopo Mazzoni, durante la giornata di mercato di Mercoledì 01/12/2021: la Tabella 13 riporta i risultati, mentre le postazioni in planimetria e foto sono nelle Figure 25 e 26.

Punto di misura: indirizzo / descrizione			Data e ora misura	E - Valore misurato media di 6 minuti (V/m)	Valore simulato
A _{mer}	Via del Tunnel ang. Via Mazzoni	Strada	1/12/2022 9:40	< 0,5	2,2
B _{mer}	Via Mazzoni ang. Via Mura Porta Fiume	Strada	1/12/2022 9:50	0,52	2,1
C _{mer}	Via Mazzoni civ. 40	Strada	1/12/2022 10:05	< 0,5	2,3
D _{mer}	Via Mazzoni civ. 40 lato opposto	Strada	1/12/2022 10:15	< 0,5	2,3
E _{mer}	Via Mazzoni angolo Chiesa San Domenico	Strada	1/12/2022 10:30	< 0,5	2,6
F _{mer}	Via Mazzoni angolo Chiesa S.Domenico	Strada	1/12/2022 10:40	< 0,5	2,5
G _{mer}	Via Mazzoni ang. Via Battistini	Strada	1/12/2022 10:55	< 0,5	3,0
H _{mer}	Via Mazzoni ang. Via Battistini	Strada	1/12/2022 11:05	< 0,5	2,9
I _{mer}	Ingresso Parco Rimembranza	Strada	1/12/2022 11:20	< 0,5	1,4
L _{mer}	Lato nord Rocca Malatestiana	Area Verde	1/12/2022 11:40	< 0,5	3,3
M _{mer}	Piazza Zangheri	Strada	1/12/2022 12:00	< 0,5	3,0
N _{mer}	Piazza del Popolo	Strada	1/12/2022 12:20	< 0,5	2,8

Tabella 13 – Misure del campo elettrico di breve periodo effettuate nei punti attorno all'area del mercato; confronto con il dato simulato alla quota di 1,5 m nello stesso punto.

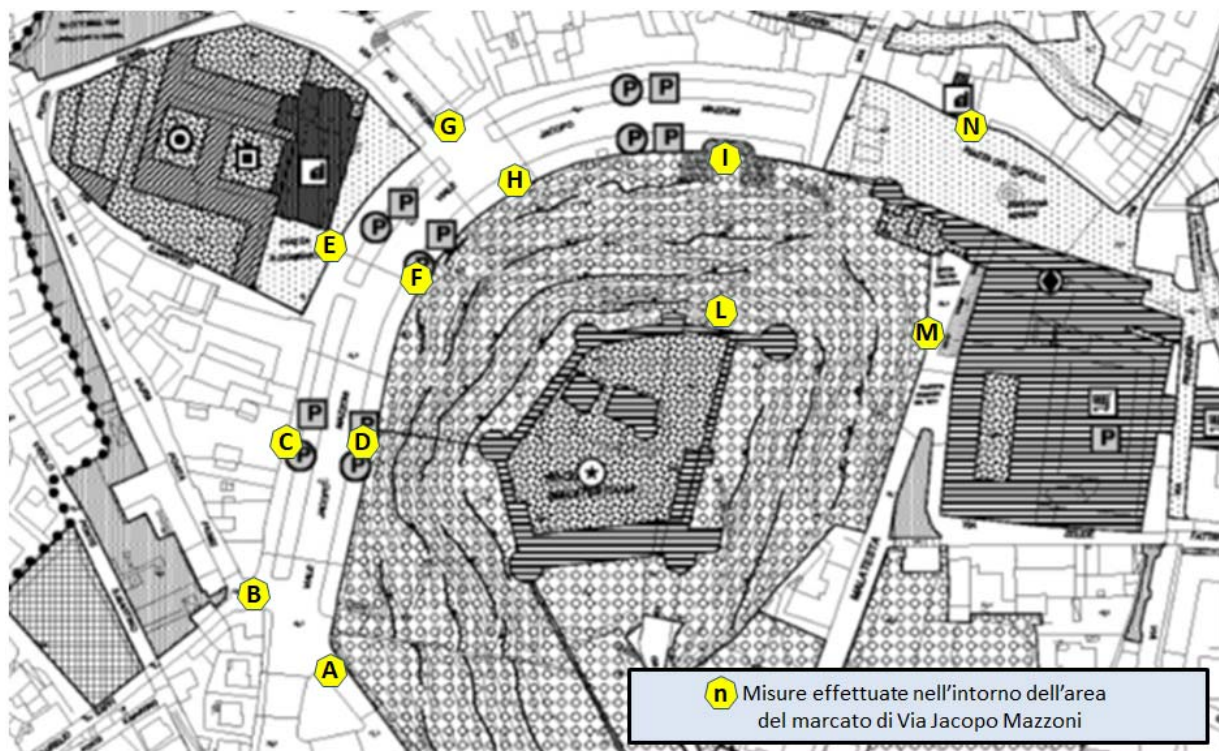


Figura 25: Rappresentazione dei punti di misura del campo elettrico RF a 1.5 m sls di altezza – zona mercato





Figura 26 – Collocazione della strumentazione nelle 12 postazioni in cui sono state effettuate le misure nel giorno di mercato - quota 1,5 m

In nessun caso i valori rilevati nelle 46 postazioni oggetto di misura hanno superato il valore di attenzione e obiettivo di qualità (6 V/m) previsti dalla normativa per le aree con permanenza superiore alle 4 ore giornaliere e, Tanto meno, il limite di esposizione (20 V/m).

La quasi totalità delle misure (42 su un totale di 46) mostrano valori di campo elettrico inferiori alla sensibilità strumentale (< 0.5 V/m); gli unici tre valori superiori a 0.5 V/m sono stati rilevati in:

- Via Mura Barriera Ponente (**punto 2 - valore misurato 0.6 V/m**);
- Viale San Pietro (Chiesa San Paolo Apostolo) (**punto I - valore misurato 0.56 V/m**);
- Via Cavour intersezione Via delle Rose (**punto L - valore misurato 0.88 V/m**);
- Via Mazzoni angolo Via porta Fiume (**punto B_{mer} - valore misurato 0,52 V/m**)

I punti 2 e I sono situati in una zona urbana abbastanza aperta, in visibilità ottica con le sorgenti, senza edifici interposti. Dove, invece, ci sono edifici frapposti tra ricettore (in questo caso lo strumento di misura) e impianto, il campo elettromagnetico al ricettore dipende anche dalla forma e dalle proprietà dielettriche degli ostacoli attraversati.

I valori misurati, inoltre, sono risultati sempre abbondantemente inferiori a quelli simulati con il software Emlab nello stesso punto, a conferma del fatto che le valutazioni preventive, che Arpae esegue prima della messa in esercizio degli impianti, sono estremamente cautelative e forniscono valori di campo elettrico stimato sempre superiori a quelli realmente presenti.

6 - Elettrodotti: sorgenti di campi elettromagnetici a bassa frequenza (ELF)

Gli elettrodotti per la distribuzione dell'energia elettrica sono fra le sorgenti di campi elettrici, campi magnetici, campi elettromagnetici più comunemente conosciute.

Con il termine elettrodotto si intende, genericamente, l'intero sistema di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica, dai punti in cui viene prodotta a quelli in cui si utilizza, ed è costituito da una o più linee elettriche aventi in comune gli stessi sostegni.

Più propriamente, ci si riferisce a linee elettriche, stazioni e cabine di trasformazione.

In questi sistemi di distribuzione, nella maggior parte del mondo, fluisce una corrente alternata alla frequenza di 50 Hz; si differenziano USA, Canada e Giappone, dove la corrente alternata è alla frequenza di 60 Hz.

6.1 - Linee elettriche

Le linee elettriche si dividono in tre categorie, determinate dalle tensioni di esercizio espresse in chilovolt (kV); in Italia (Tabella 14)

AAT e AT	Altissima e Alta tensione	380 kV, 220 kV e 132 kV
MT	Media tensione	(15 kV);
BT	Bassa tensione	(380 V e 220 V).

Tabella 14 – Classificazione delle linee elettriche in Italia

Le *linee ad Altissima e Alta tensione (AAT e AT)* a 380 kV e a 220 kV rappresentano le infrastrutture più importanti per il trasporto a grandi distanze dell'energia elettrica, mentre quelle a 132 kV vengono utilizzate per la distribuzione dell'energia elettrica a breve distanza e, per tale motivo, hanno una distribuzione più capillare nel territorio.

Le *linee elettriche di distribuzione a media tensione (MT)* si distinguono in:

- linee principali, denominate *dorsali*, alimentate dalle cabine primarie, che interessano, di norma, il territorio di più comuni e servono a garantire la fornitura di energia a grandi clienti (medie utenze industriali);
- linee secondarie, dette *derivazioni* (ovvero derivate dalle dorsali), che di norma interessano i singoli territori comunali; le linee dorsali collegano tra loro, alimentandole, le cabine di trasformazione MT/BT.

Le *linee elettriche di distribuzione a bassa tensione (BT)* sono quelle che trasportano la corrente per la fornitura alle piccole utenze (abitazioni, esercizi pubblici commerciali ed altre attività lavorative artigianali o della piccola industria e similari). I conduttori (fili) possono essere aerei o interrati. Solitamente sono ammassati agli edifici, entrano negli stessi ed alimentano il quadro contatori; la corrente viene poi distribuita ai singoli utenti. L'alimentazione delle linee a bassa tensione che interessano il territorio è garantita dalle cabine secondarie MT/BT.

Le linee elettriche possono essere suddivise in due grandi categorie: **linee con conduttori nudi** e **linee in cavo**. Le prime, generalmente di tipo AT e AAT, sono linee di trasmissione, mentre quelle in cavo sono principalmente impiegate in impianti di distribuzione di tipo MT e BT.

Le linee con conduttori nudi sono realizzate da tre componenti fondamentali:

- i conduttori di potenza, che servono per il trasferimento dell'energia e sono tesi nell'aria;
- gli isolatori, che sostengono meccanicamente e isolano verso il sostegno i conduttori di potenza;
- i sostegni, che svolgono una funzione di sostegno degli isolatori e dei conduttori di potenza.

I conduttori attivi (ossia sotto tensione e percorsi da corrente), costituiti da corde di rame o di alluminio-acciaio, sono normalmente tre, a formare una terna trifase in cui la tensione sui singoli conduttori è la stessa ma risulta sfasata di 120° . A seconda della disposizione dei conduttori, si distinguono, per le linee aeree, una conformazione a delta ed una conformazione a pino (Figura 27): al crescere della tensione aumenta la distanza reciproca fra gli stessi conduttori e quella fra ciascuno di essi ed il terreno. La norma CEI 11-4 indica le distanze minime da rispettare.

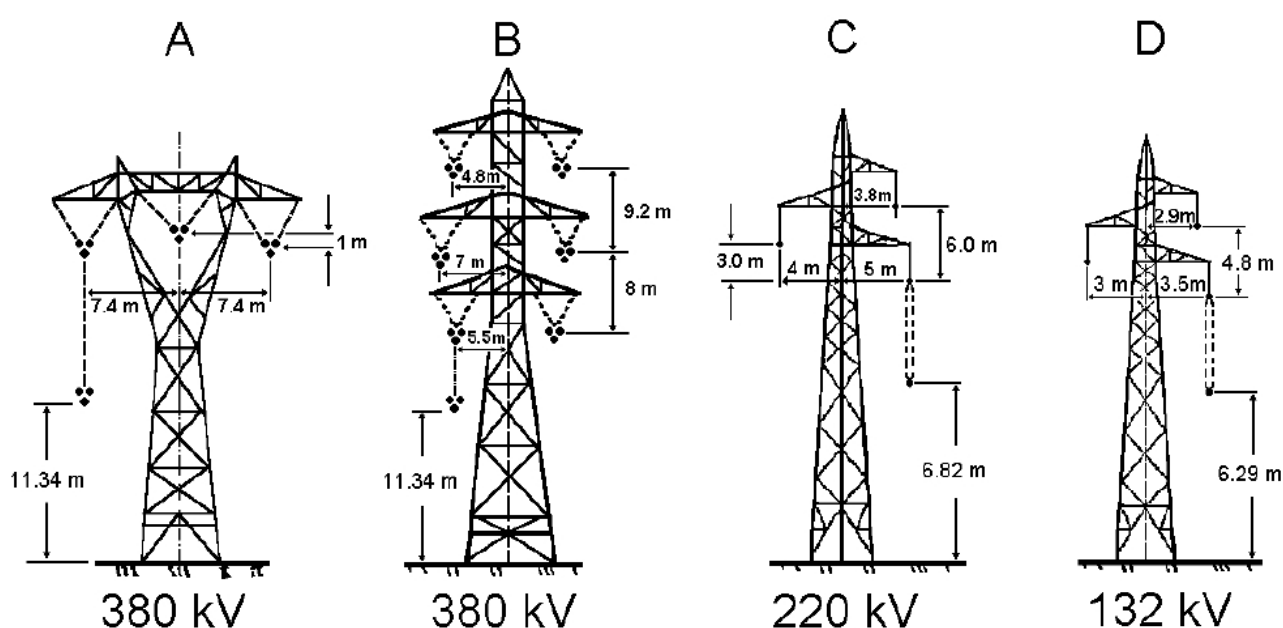


Figura 27 - Tralicci per le linee AAT e AT.

Nel campo delle altissime tensioni, infine, per migliorare la trasmissione dell'energia, si adottano più conduttori alluminio-acciaio in parallelo per ciascuna fase, opportunamente distanziati tra loro (conduttori a fascio). Nelle linee ad alta o altissima tensione, oltre ai conduttori di potenza, sono spesso presenti altri conduttori, costituiti da corde di acciaio zincato e denominati *funi di guardia* (Figura 28), disposte sulla sommità dei sostegni e, tramite questi, collegati a terra. Le funi di guardia hanno una funzione protettiva contro le sovratensioni di origine atmosferica (parafulmini).

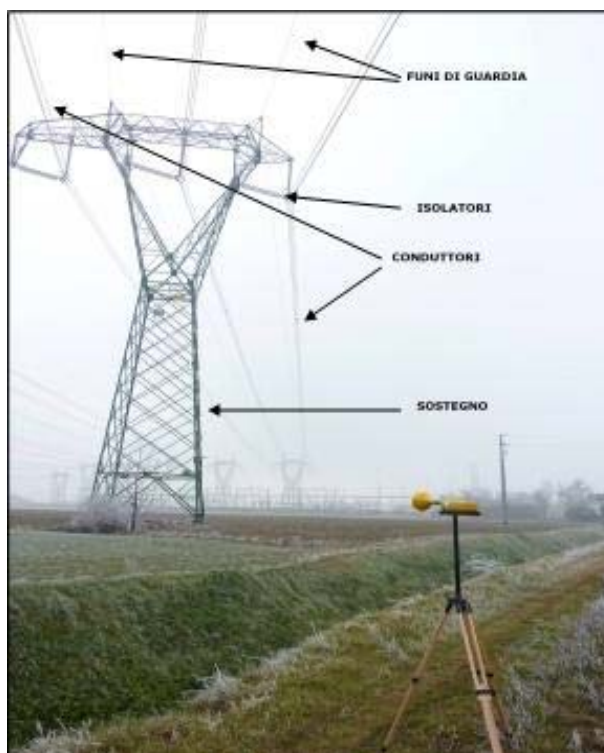


Figura 28 - Traliccio AAT: sostegno, conduttori, isolatori e funi di guardia

Le linee in cavo sono impiegate nelle linee di trasmissione e negli impianti in media e bassa tensione; possono essere in posa sotterranea o sottomarina o, principalmente, aerea. I cavi sono corredati da accessori di raccordo, che permettono di collegare il cavo ad una linea aerea o ad un sistema di sbarre (accessori di estremità) o due tratti di cavo tra di loro (giunzioni).

I cavi sono realizzati con:

- uno o più conduttori, che servono per il trasferimento dell'energia;
- un isolante solido, che circonda il conduttore e che garantisce l'isolamento;
- una guaina di protezione.

I *conduttori* sono generalmente in rame o in alluminio, con prevalenza del primo.

L'*isolante* è una parte fondamentale del cavo, dalle cui caratteristiche dipendono in gran parte le prestazioni del cavo stesso in termini di tensioni di isolamento, corrente trasmissibile, comportamento termico. L'isolante può differire a seconda delle tensioni di esercizio, esso può essere costituito da PVC, gomma, carta impregnata, resine sintetiche.

In Figura 29 è rappresentata la sezione di un tipico cavo elettrico unipolare per bassa tensione. Il cavo è costituito da un *conduttore*, cui è affidata la conduzione della corrente, attorno a questo vi è l'*isolante*, poi uno o più *rivestimenti protettivi*. L'*elemento di protezione* ha il compito di proteggere il sottostante isolante dagli agenti esterni, quali l'umidità, l'acqua, le azioni meccaniche (urti, abrasioni, ecc.), gli agenti chimici, ecc. Esso è costituito da una guaina di PVC, gomma o resine per i cavi in BT, da una guaina in piombo per i cavi in MT.

La Figura 30 rappresenta, invece, la sezione di un cavo tripolare con evidenziate le parti che lo costituiscono.

Infine, nella Figura 31 sono riportati alcuni esempi di linee elettriche

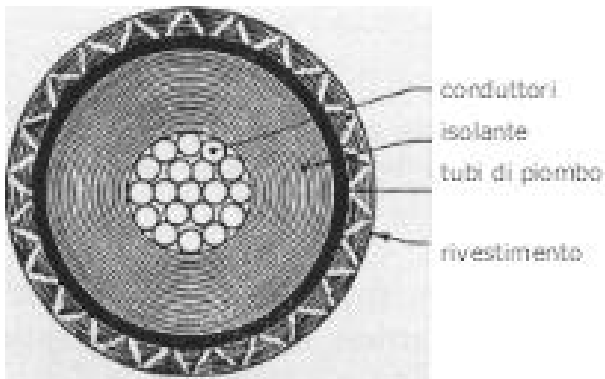


Figura 29 - Sezione di un cavo unipolare

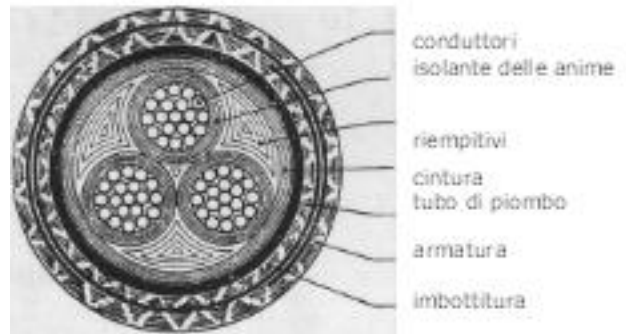


Figura 30 - Sezione di un cavo tripolare



Linea elettrica a 380 kV (a sinistra) e a doppia terna (a destra)



Figura 31 - Linea elettrica a 132 kV (a sinistra) e a 15 kV a conduttori nudi (a destra)

6.2 - Stazioni e cabine di trasformazione

Una stazione o cabina di trasformazione è costituita da un complesso di apparecchiature che servono al trasferimento dell'energia tra linee elettriche a tensioni diverse. La conversione ad un livello inferiore è effettuata tramite uno o, raramente, due trasformatori con una potenza di alimentazione adeguata.

In analogia alle linee elettriche, possono anch'esse essere suddivise in tre categorie:

1. **stazioni di trasformazione o stazioni primarie AAT/AT 380/132 kV** sono quelle a cui afferiscono le linee a 380 kV ed a 220 kV e dove la tensione viene ridotta a 132 kV. Sono collocate in prossimità di alcuni centri o utenze importanti (grandi città o grandi complessi industriali) e trasformano l'energia dalla tensione di trasporto a quella della rete di distribuzione ad alta tensione. Le stazioni primarie occupano spazi notevoli sul territorio e sono il punto di arrivo e di partenza di più linee aeree; sono solitamente costruite in zone con scarsa presenza di abitazioni e pertanto generalmente non pongono problemi dal punto di vista dell'esposizione della popolazione.
2. Le **stazioni di trasformazione AT/MT (132-50/15 kV) o cabine primarie (CP)** trasformano l'energia elettrica dall'alta tensione a quella media di distribuzione. Sono ubicate nelle aree territoriali interessate dai più elevati fabbisogni di potenza ed energia elettrica e garantiscono la fornitura di energia per i diversi settori produttivi (industrie, centri commerciali, etc.) e per gli utenti domestici di grandi dimensioni.
3. Le **cabine di trasformazione MT/BT (15 kV/380-220 V) o cabine secondarie** trasformano l'energia elettrica dalla media tensione di distribuzione alla bassa tensione di utilizzazione, e possono essere inserite in aree vicine ad edifici o in alcuni casi all'interno di edifici. Più precisamente le tipologie costruttive delle cabine MT/BT sono le seguenti:
 - Cabine box ed a torre separate dal resto degli edifici;
 - Cabine minibox da collocare in ambito urbano aventi ridotta dimensione.

In casi estremi, soprattutto nell'ambito di zone fortemente urbanizzate, si possono trovare cabine all'interno di edifici destinati a permanenza di persone, ma la loro collocazione in questo ambito o risale a costruzioni antecedenti gli anni '90 oppure deve rispondere ad esigenze del tutto particolari. Nelle aree rurali, con case sparse, al posto delle cabine di trasformazione, sono previsti siti di trasformazione su palo.

Di seguito si riportano alcune immagini di cabine di trasformazione (Figure 32 e 33):



Fig. 32 - Cabina primaria AAT/AT



Figura 33 – Cabina elettrica MT/BT(a sinistra) e Trasformatore MT/BT (a destra)

6.3 - Reti di distribuzione dell'energia elettrica

Il complesso delle stazioni di trasformazione AAT/AT (380-220/132 kV) e delle linee elettriche di trasmissione ad altissima ed alta tensione sull'intero territorio nazionale, denominato Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), è gestito unitariamente da un Ente Gestore (GRTN), appositamente istituito nell'ambito della riorganizzazione del sistema elettrico dovuta alla liberalizzazione del mercato, in modo da garantire la continuità del servizio in presenza di molteplici proprietari.

La RTN costituisce l'ossatura principale della rete elettrica nazionale e svolge il ruolo di interconnessione degli impianti di produzione nazionale e di collegamento con la rete elettrica internazionale, garantendo la trasmissione di energia elettrica su tutto il territorio nazionale.

Sul territorio regionale, oltre alle linee e impianti appartenenti alla RTN, sono presenti anche gli elettrodotti afferenti alla rete di distribuzione primaria ad alta tensione e alle reti di distribuzione a media e bassa tensione, anch'esse appartenenti a diversi proprietari (Enel Distribuzione, RFI, Aziende Municipalizzate).

Le linee a 132 kV di RFI SpA svolgono la funzione di fornitura dell'energia alle stazioni ferroviarie e collegano tra loro le Sottostazioni Elettriche (S.S.E)

Una grossa fetta delle linee MT sono di proprietà di ENEL Distribuzione SpA: il sistema elettrico di Enel Distribuzione comprende impianti primari di trasformazione, linee elettriche in media tensione (prevalentemente a 15 kV e 20 kV), cabine secondarie di trasformazione, linee elettriche in bassa tensione (400 V) e apparati elettronici di misura dell'energia (contatore elettronico (CE) o gruppo di misura elettronico (GME)).

6.4 Sistemi di utilizzo dell'energia elettrica e campo elettrico e magnetico generato

Negli ambienti domestici ed industriali tutti i dispositivi alimentati a corrente elettrica alla frequenza di 50 Hz, quali elettrodomestici, videoterminali, etc., costituiscono delle sorgenti ELF cioè di campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse.

I campi generati da questi apparecchi sono localizzati nelle immediate vicinanze degli

elettrodomestici e diminuiscono velocemente all'aumentare della distanza. L'intensità dei campi generati dipende molto dalle caratteristiche dell'elettrodomestico (potenza) e dalle sue condizioni di utilizzo. Un apparato elettrico collegato alla corrente genera un campo elettrico nello spazio circostante, generalmente di intensità trascurabile.

I valori di campo elettrico che si possono misurare nelle vicinanze di conduttori e cavi di distribuzione in ambiente domestico e di alcuni elettrodomestici (apparecchi da cucina, frigorifero, asciugacapelli) sono tipicamente dell'ordine della decina di V/m e diventano trascurabili a distanza di circa 1-2 m.

I campi magnetici si creano invece solo quando si ha circolazione di corrente ed i livelli di intensità dipendono dal tipo e modello dell'elettrodomestico e, soprattutto, dalla distanza a cui ci si trova. L'induzione magnetica emessa da elettrodomestici ha intensità variabile e, vicino alla sorgente (distanza < 10 cm), può assumere valori da alcune decine ad alcune centinaia di microTesla (μT); decresce poi molto rapidamente all'aumentare della distanza, raggiungendo, a circa 1 m dalla sorgente, valori inferiori ad $1 \mu\text{T}$.

Nel caso delle linee elettriche, l'intensità del campo elettrico generato dipende dalla tensione di esercizio e aumenta all'aumentare della tensione della linea, invece diminuisce all'aumentare della distanza dalla linea e dall'altezza dei cavi. Poiché la tensione di una linea elettrica varia nel tempo in maniera poco significativa rispetto al valore nominale, anche il campo elettrico è soggetto a variazioni temporali poco significative mentre può essere schermato facilmente da oggetti, alberi ed edifici.

L'intensità del campo magnetico dipende, invece, dalla corrente circolante nei conduttori, intensità della corrente che può variare notevolmente nell'arco della giornata, nei vari giorni della settimana e nei diversi periodi dell'anno, in funzione della richiesta e delle necessità degli utilizzatori (può assumere valori da alcuni Ampere a un migliaio di Ampere, a seconda della linea elettrica).

Di questa variabilità è necessario tener conto all'atto delle misure.

Anche l'intensità del campo magnetico – come quello elettrico - diminuisce all'aumentare della distanza dalla linea e dell'altezza dei conduttori ma, a differenza del campo elettrico, non è facilmente schermabile.

La distribuzione del campo nello spazio assume caratteristiche diverse a seconda che si tratti del campo elettrico e del campo magnetico: il campo elettrico raggiunge valori molto alti sotto la linea, il campo induzione magnetica si propaga per cerchi concentrici (Figure 34 e 35).

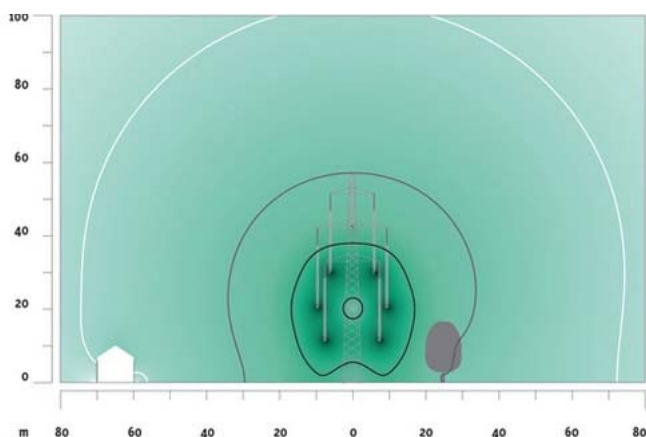


Figura 34 - Sezione del campo elettrico di una linea dell'alta tensione di 380 kV con due sezioni al centro fra due piloni dove i cavi conduttori sono più bassi e presentano la distanza minima consentita dal suolo.

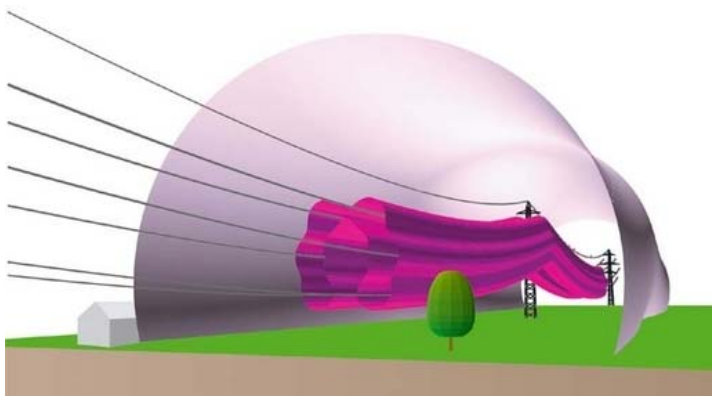


Figura 35- Rappresentazione prospettica del campo magnetico di una tipica linea dell'alta tensione di 380 kV con due tratti a pieno carico (1920 A). Intorno alle sei funi conduttrici si registra il campo più forte.

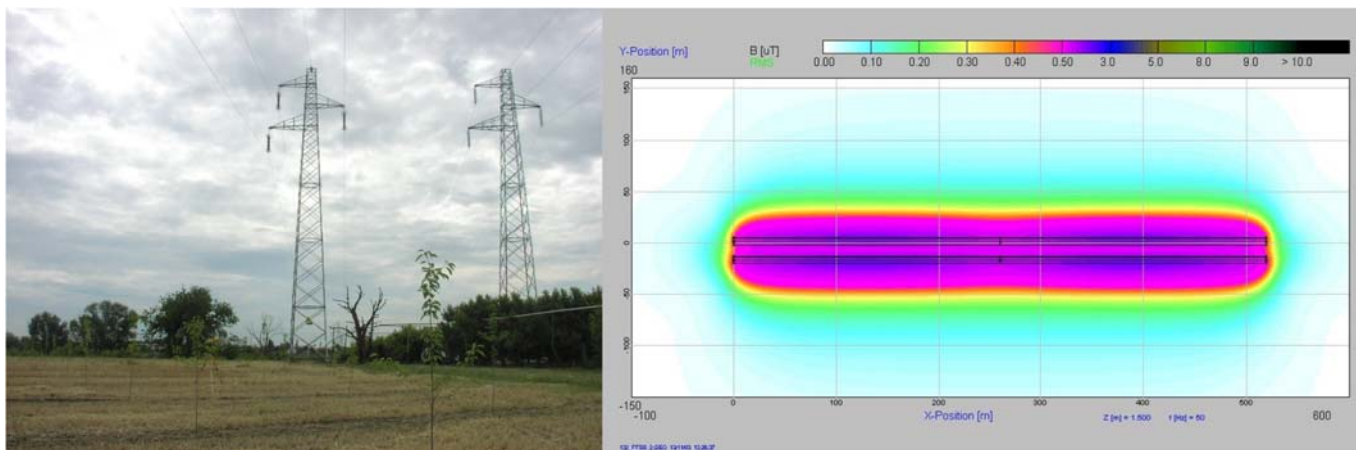
Per la protezione della popolazione esposta al campo induzione magnetica (B) generato dalle linee elettriche, il D.P.C.M. 08/07/2003 stabilisce l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$.

Il volume cilindrico attorno ai conduttori degli elettrodotti, in cui è superato l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$, è definito "fascia di rispetto" ovvero la porzione di spazio attorno alla linea in cui non è consentita la presenza di edifici residenziali, scolastici, sanitari o a permanenza maggiore o uguale a quattro ore. Tale vincolo si applica sia ai nuovi edifici rispetto alle linee esistenti, sia ai nuovi elettrodotti rispetto a edifici già presenti. Nella pianificazione del proprio territorio le Amministrazioni comunali devono assicurare, relativamente alle linee ed impianti elettrici con tensione uguale o superiore a 15 kV, che sia realizzato il perseguimento dell'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ per l'induzione magnetica valutata al ricevitore in prossimità di edifici/aree adibiti a permanenza di persone non inferiore a quattro ore giornaliere.

Gli enti gestori devono presentare la documentazione tecnica comprovante il rispetto 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 impianti di progetto; inoltre devono fornire alle Amministrazioni comunali l'estensione delle fasce di rispetto, ovvero delle DPA delle linee/impianti esistenti e/o di progetto, allegando i dati tecnici necessari per le verifiche da parte delle autorità competenti.

Le fasce di rispetto sono calcolate dal gestore, mentre l'attività di controllo e vigilanza compete al Comune di competenza, che può avvalersi del supporto tecnico di Arpae.

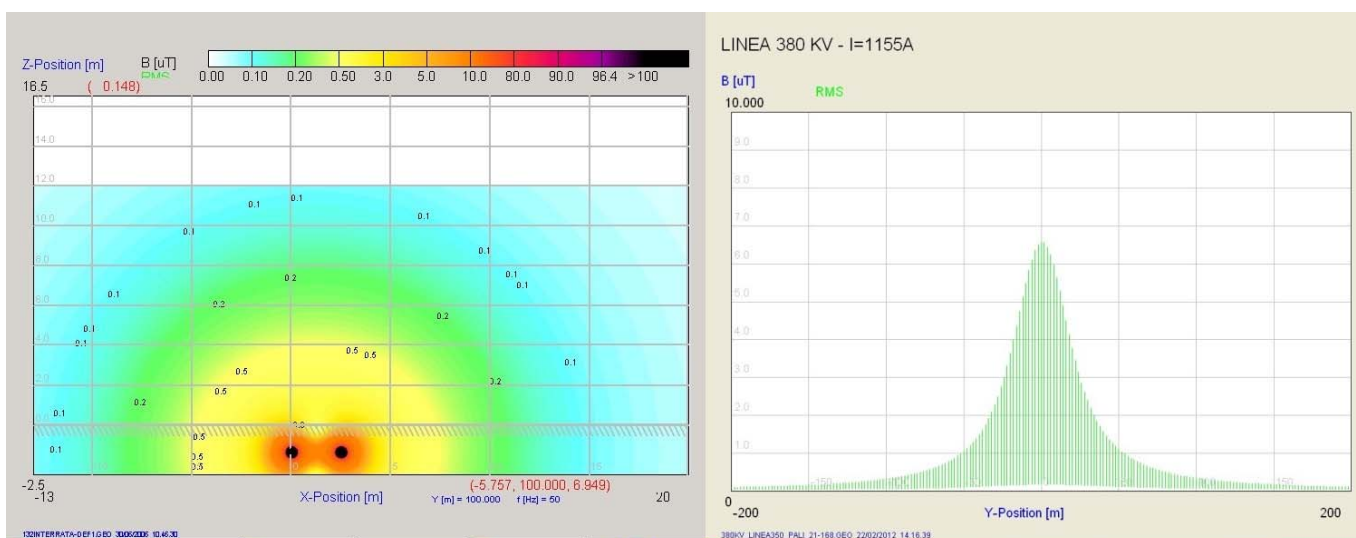
In particolare, Arpae effettua le valutazioni tecniche preventive per la realizzazione di nuovi elettrodotti utilizzando un software previsionale (EFC400 prodotto da FGEU mbH e commercializzato da Narda Safety Test Solutions) che consente di calcolare la distribuzione dei campi elettromagnetici degli impianti per la fornitura di energia nelle fasce di frequenza comprese fra 0 e 500 Hz (ovvero linee aeree, cavi interrati e cabine di trasformazione). Sulla base di un algoritmo di calcolo, sviluppato secondo la legge di Biot-Savart, attraverso un processo di segmentazione della linea e una sovrapposizione di campi parziali di segmenti di conduttori singoli, si ottengono le curve di isolivello del campo magnetico in prossimità del sistema oggetto di valutazione. In Figura 36 si riportano alcuni esempi di simulazione effettuata con il software EF400.



Simulazione linee parallele a 132 KV FFSS e ENEL



Simulazione linea a 15 KV ($I=140$ A) – valutazione a 1 m dal livello del suolo



Simulazione linea 380 KV ($I=1155$ A)

Figura 36- Simulazioni, relative a casi diversi, effettuate con il software EF400

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

7.1 – 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, oggetto di questa parte dello studio, la grandezza dosimetrica di riferimento è *la densità di corrente J*;
- misure di esposizione, per valutare le grandezze che caratterizzano il campo elettrico e magnetico (ELF) a cui l'organismo è esposto.

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

Un campo magnetico può essere quantificato sia in termini di *induzione magnetica (B)*, espressa in tesla (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 magnetica⁴). 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 pari a 6000 km⁵, le misure ambientali effettuate presso linee e cabine risultano sempre in condizioni di campo vicino: campo elettrico e magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e devono essere misurati separatamente. Generalmente, per le ELF, viene misurato il campo di induzione magnetica B.

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

⁵ 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 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

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

La norma di riferimento (Norma CEI 211-10) prevede che il numero e la posizione dei punti di rilievo devono essere tali da consentire la corretta caratterizzazione della distribuzione dell'intensità del campo di induzione magnetica e devono tenere conto della tipologia e della distanza dalla sorgente. Nel caso di campo magnetico uniforme nello spazio, tipicamente quello generato da linee elettriche aeree, possono essere sufficienti rilievi ad un'altezza compresa tra 100 e 150 cm dal piano di calpestio; nel caso di campo non omogeneo, tipicamente generato da cabine di trasformazione, deve essere eseguita una caratterizzazione spaziale con rilievi a quote diverse, ponendo particolare attenzione alla destinazione d'uso degli ambienti e/o delle aree destinate a permanenza prolungata dove deve essere rispettato il valore di attenzione di 10 μ T. Pertanto, per individuare i punti più significativi dove eseguire la verifica del valore di attenzione, vengono effettuate misurazioni esplorative di breve durata, "misure brevi", per caratterizzare l'andamento spaziale del campo. Nel punto individuato come più significativo viene 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 - ottenuto come mediana dei valori registrati durante misure dirette prolungate per almeno 24 ore, nelle normali condizioni di esercizio - sia inferiore a 10 μ T (3 μ T per nuovi elettrodotti).

Nello specifico, per lo studio in oggetto, 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. Taratura ACCREDIA N° 70704322H del 26/01/18..
- 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. Taratura ACCREDIA N° 70704322H del 26/01/18.

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".

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

Nell'ambito della convenzione è previsto, annualmente, il monitoraggio del campo elettromagnetico a bassa frequenza (ELF) effettuando misure di breve periodo del campo magnetico:

- 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), la scelta dei punti di misura è stata effettuata considerando il contesto urbano, ovvero valutando i siti in cui c'è maggiore vicinanza fra fascia di impatto dell'elettrodotto e fabbricati, privilegiando gli edifici residenziali, lavorativi e i siti sensibili.

Per il 2021, tenendo conto anche delle informazioni tecniche acquisite durante l'istruttoria delle pratiche autorizzative e dell'esperienza acquisita, è stato deciso di monitorare:

- la centrale AT/MT all'interno dell'area di deposito della Ditta di commercio materiale edile F.Ili Bissioni sita in Via San Crispino, Cesena;
- la zona ad est del centro di Cesena in corrispondenza di linee di alta tensione.

Sono state eseguite misure di breve periodo posizionando lo strumento su un cavalletto estensibile di materiale dielettrico ad altezze comprese tra 100 e 150 cm dal piano di calpestio.

In corrispondenza del punto di maggiore esposizione dei recettori, nelle vicinanze della centrale di trasformazione AT/MT, individuato con le misure brevi, è stata posizionata una centralina di monitoraggio per un periodo di 16gg (384 ore).

Per evitare interferenze e minimizzare gli effetti dovuti alla disomogeneità del campo magnetico, durante le misure la distanza tra il sensore e qualunque superficie è stata superiore a 10 cm, in conformità a quanto previsto dalle norme di buona tecnica.

Si ribadisce che le misure brevi hanno il solo scopo di consentire una corretta caratterizzazione della distribuzione spaziale del campo e i risultati non possono essere direttamente confrontati con i valori di legge: per valutare il rispetto del valore di attenzione (e dell'obiettivo di qualità) è necessario calcolare la mediana dei valori registrati per almeno 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

I punti di misura, le linee elettriche e le cabine di trasformazione 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..

Durante la campagna di misure di induzione magnetica nel Comune di Cesena nell'anno 2021, sono state effettuate complessivamente 6 misure brevi in prossimità dei seguenti impianti: 4 elettrodotti a 132 kV di Terna, secondo le modalità previste dalla normativa vigente.

Tutte le misure sono state eseguite in prossimità di siti (edifici e loro pertinenze esterne) adibiti a permanenze potenzialmente a permanenza non inferiore alle 4 ore, per i quali il valore di attenzione previsto dalla normativa è pari a 10 μ T (3 μ T solo se realizzati successivamente all'entrata in vigore del DPCM 8 luglio 2003).

Dall'analisi delle misure brevi si evince il rispetto del limite di esposizione di cui all'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 pari a 100 μ T.

A titolo cautelativo si sono inoltre confrontati i risultati delle misure brevi, effettuate all'interno delle aree la cui destinazione d'uso prevede una permanenza superiore alle 4 ore giornaliere, con il valore di attenzione di cui all'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 previsto per dette aree.

Come si evince dagli esiti riportati le misure effettuate hanno evidenziato valori di intensità di induzione magnetica contenuti; il valore più alto, pari a 2,16 μ T, è stato misurato sotto all'elettrodotto situato in Via Vigo di Ruffio 506.

7.3 – Risultati delle misure effettuate presso la cabina AT/MT - Via San Cristoforo, in corrispondenza della ditta “Bissioni” Via S.Crispino, Cesena.

Le misure in continuo ELF, con la centralina, sono state effettuate in prossimità della centrale di trasformazione AT/MT denominata situata in Via San Cristoforo – Cesena, nell’area cortilizia della Ditta F.lli Bissioni, a ridosso dell’area della centrale di trasformazione.

La centralina è stata collocata in una zona in cui di norma non è prevista la permanenza di persone per un tempo superiore alle 4 ore giornaliere (in prossimità del confine che divide la proprietà della Ditta dall’area dove sorge la Centrale di trasformazione) e dove il valore normativo con il quale confrontarsi (DPCM 08/07/03) è il limite di esposizione all’induzione magnetica, pari a $100 \mu\text{T}$.

La scelta è caduta su tale postazione per una serie di motivi:

- i valori delle misure di breve periodo sono risultati i più significativi rispetto alle posizioni accessibili;
- l’unica postazione accessibile e sicura nell’immediata vicinanza della centrale è l’area cortilizia della Ditta.
- non lontano sono presenti gli uffici ed il magazzino della ditta stessa;
- la necessità di garantire idonei standard di sicurezza anche per gli operatori che effettuavano le misure in relazione al pericolo di contagio COVID;
- il posizionamento della strumentazione in un sito sicuro.



Figura 37 – Collocazione della centralina di monitoraggio della centrale AT/MT all’interno dell’area cortilizia della Ditta Bissioni, Via San Crispino – Cesena

La centralina è stata posizionata in corrispondenza dell'area cortilizia esterna nel lato adiacente l'area della Centrale di Trasformazione. Le misure in continuo sono state effettuate dal 7 al 23 dicembre, per un totale di 16 giorni ed i valori sono riportati nel grafico di Figura 38 e 38a, e in Tabella 15.

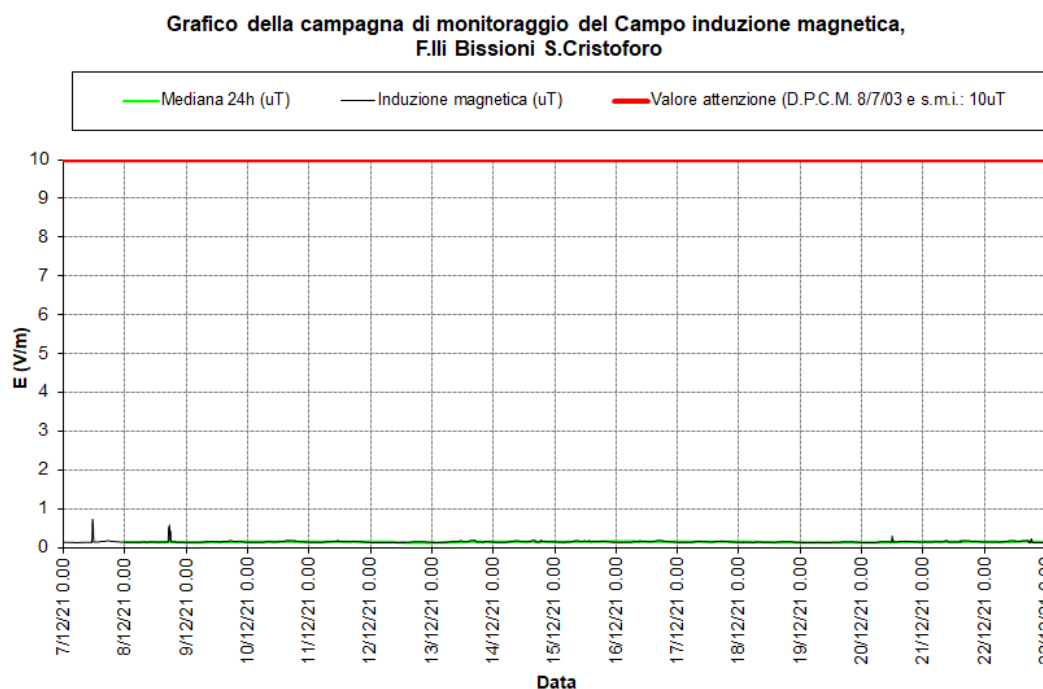


Figura 38 – Andamento del campo di induzione magnetica nella postazione all'esterno della cabina AT-MT, in corrispondenza dell'area cortilizia della Ditta Bissioni dal 7 al 23 dicembre 2021.

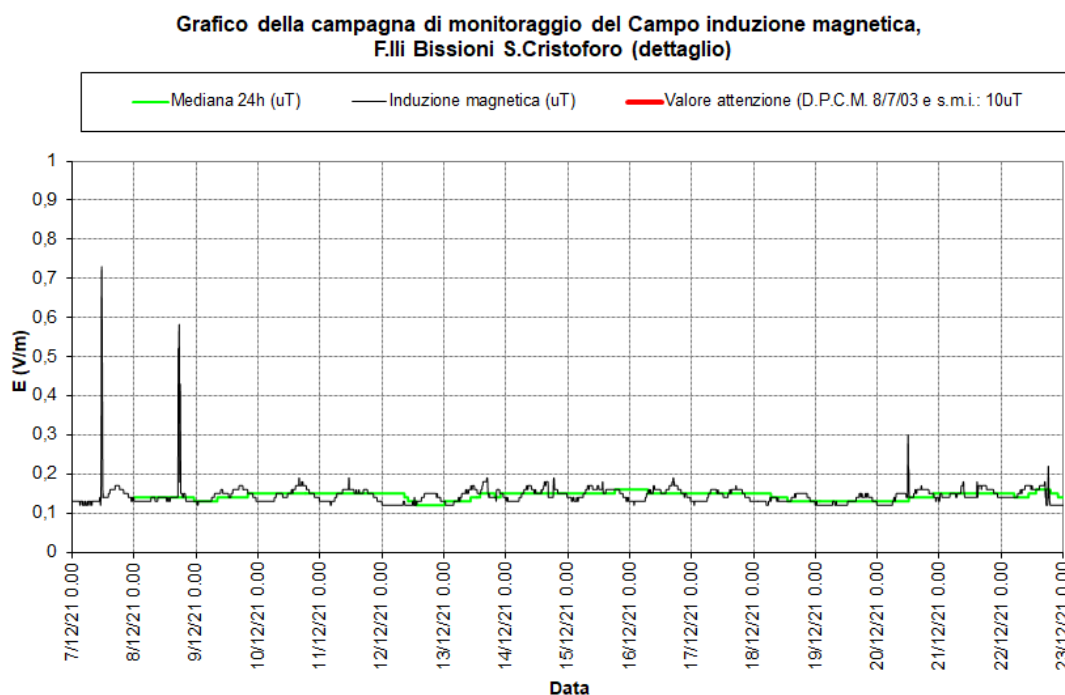


Figura 38a – Andamento del campo di induzione magnetica nella postazione all'esterno della cabina AT-MT, in corrispondenza dell'area cortilizia della Ditta Bissioni dal 7 al 23 dicembre 2021. Dettaglio.

Statistiche delle misure in continuo dell'induzione magnetica B [μT] in Via S. Crispino						
Minimo [μT]	Massimo [μT]	95 perc. [μT]	5 perc. [μT]	Media [μT]	Mediana periodo [μT]	Limite [μT]
0,12	0,73	0,17	0,12	0,14	0,14	10

Tabella 15 – Alcune statistiche delle misure in continuo di B nella postazione all'esterno della cabina AT-MT, in corrispondenza dell'area cortilizia della Ditta Bissioni – Periodo di misura: 7 - 23 dicembre 2021.

Il massimo valore di induzione magnetica misurata è 0,73 μT : tutte le misure rispettano abbondantemente il limite di esposizione pari a 100 μT (D.P.C.M. 8 luglio 2003).

La media sulle 24 ore del campo di induzione magnetica per ciascuno dei 16 giorni di misura (Tabella 16), risulta compresa fra 0.13 e 0.15 μT , quindi ampiamente inferiore al valore di attenzione (10 μT) fissato dall'art. 3 dello stesso decreto del 8 luglio 2003.

Giorno		Induzione magnetica B [μT]
MAR	7 dicembre 2021	0,15
MER	8 dicembre 2021	0,15
GIO	9 dicembre 2021	0,15
VEN	10 dicembre 2021	0,14
SAB	11 dicembre 2021	0,14
DOM	12 dicembre 2021	0,13
LUN	13 dicembre 2021	0,15
MAR	14 dicembre 2021	0,15
MER	15 dicembre 2021	0,15
GIO	16 dicembre 2021	0,15
VEN	17 dicembre 2021	0,14
SAB	18 dicembre 2021	0,14
DOM	19 dicembre 2021	0,13
LUN	20 dicembre 2021	0,14
MAR	21 dicembre 2021	0,15
MER	22 dicembre 2021	0,15

Tabella 16 – Induzione magnetica media sulle 24 ore

7.3 – Risultati delle misure effettuate presso le linee AT in corrispondenza dell’area ad est di Cesena.

Nel territorio della Provincia di Forlì-Cesena sono presenti 10 linee AT (comprese le diramazioni della cabina AAT/AT di Durazzanino) riportate in figura 39, di queste 4 attraversano il territorio del Comune di Cesena.

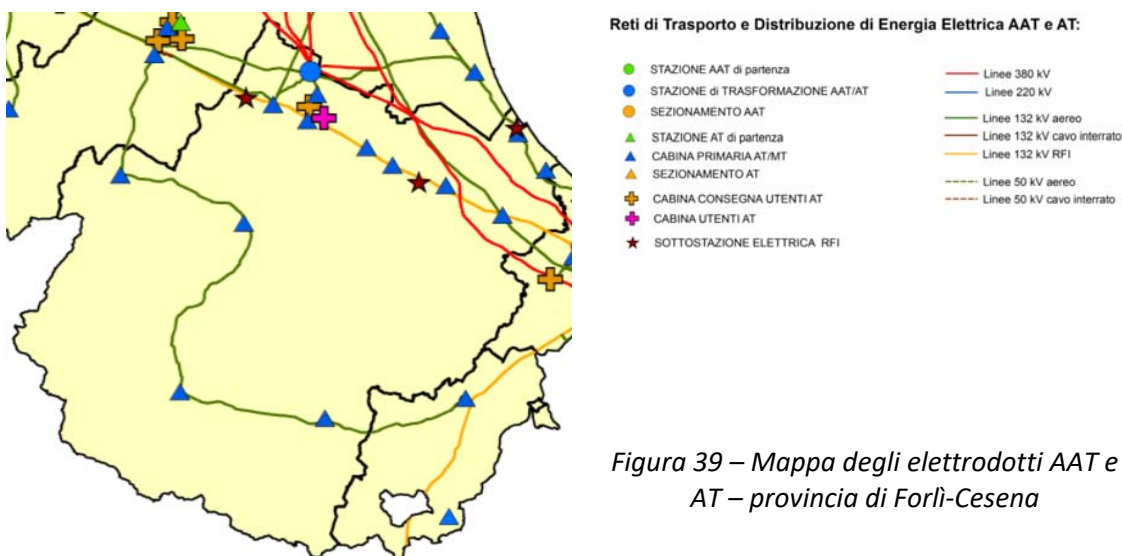


Figura 39 – Mappa degli elettrodotti AAT e AT – provincia di Forlì-Cesena

Nell’individuazione dei sei punti di misura, sono stati privilegiati i siti (edifici e loro pertinenze esterne) adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, per i quali il valore di attenzione previsto dalla normativa è pari a 10 μ T (3 μ T solo se realizzati successivamente all’entrata in vigore del DPCM 8 luglio 2003).

Di seguito (Tabella 17) si riportano i risultati delle misure di breve periodo effettuate nelle postazioni individuate; seguono le figure con l’indicazione planimetrica e la collocazione (Figure 40 ÷45).

Sorgente monitorata	N° punto misura	Indirizzo di misura	Campo di induzione magnetica B [μ T]	Ora	Data
Linea 132 kV Terna	1	Via Cesenatico 918 Fuori dal cancello abitazione	0,22	10:30	27/07/21
	2	Via Cesenatico 930 Cortile abitazione	0,5	10:45	27/07/21
	3	Via Provinciale Sala 736 A fianco cancello abitazione	1,3	11:20	27/07/21
	4	Via Provinciale Sala 700 Cortile abitazione	0,23	11:40	27/07/21
	5	Via Vigo di Ruffio 506 Cortile abitazione	0,24	12:30	27/07/21
	6	Via Vigo di Ruffio 506 Fuori dal cancello abitazione	2,16	12:40	27/07/21

Tabella 17 – Induzione magnetica misurata (breve periodo) in corrispondenza dei punti di misura vicini alla linea 132 kV - Terna



Figura 40 – Planimetria punti di misura Via Cesenatico



P.1 Via Cesenatico 918



P.1 Via Cesenatico 930

Figura 41 – Foto punti di misura Via Cesenatico

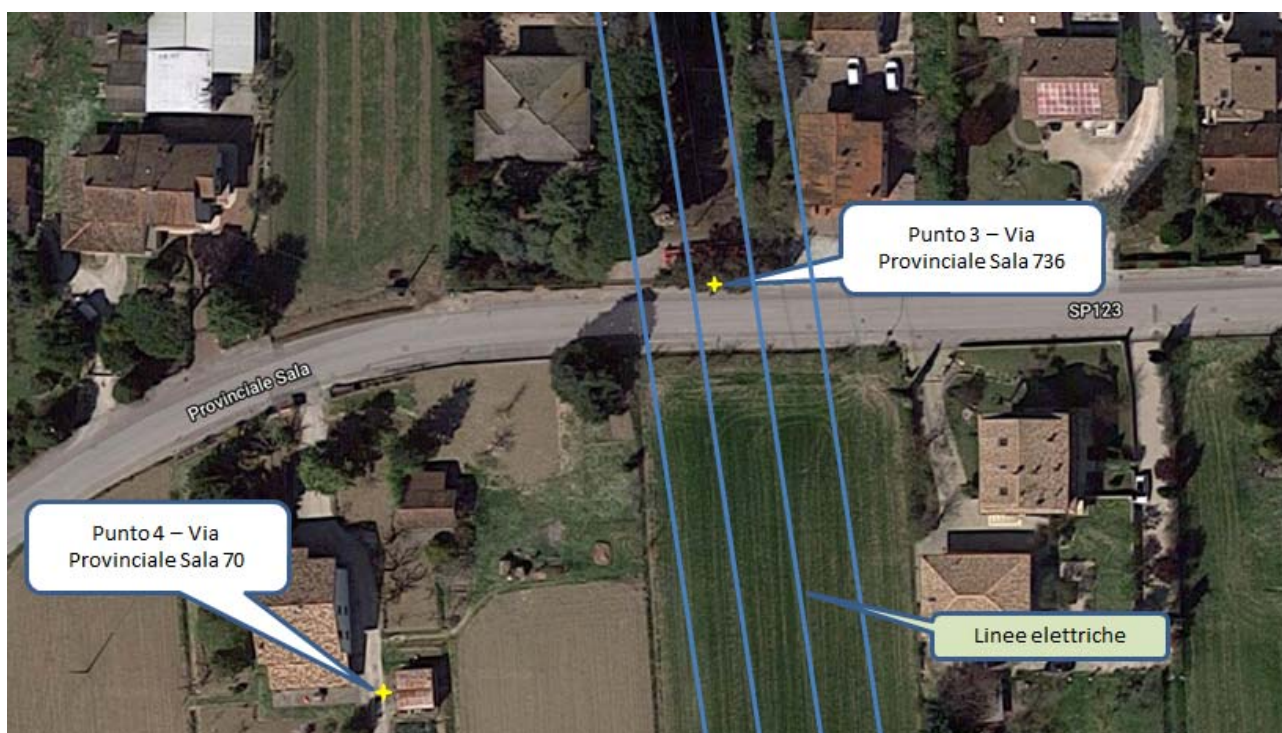


Figura 42 – Planimetria punti di misura di Via Provinciale Sala



P.3 Via Provinciale Sala 736



P.4 Via Provinciale Sala 700

Figura 43 – Foto punti di misura di Via Provinciale Sala

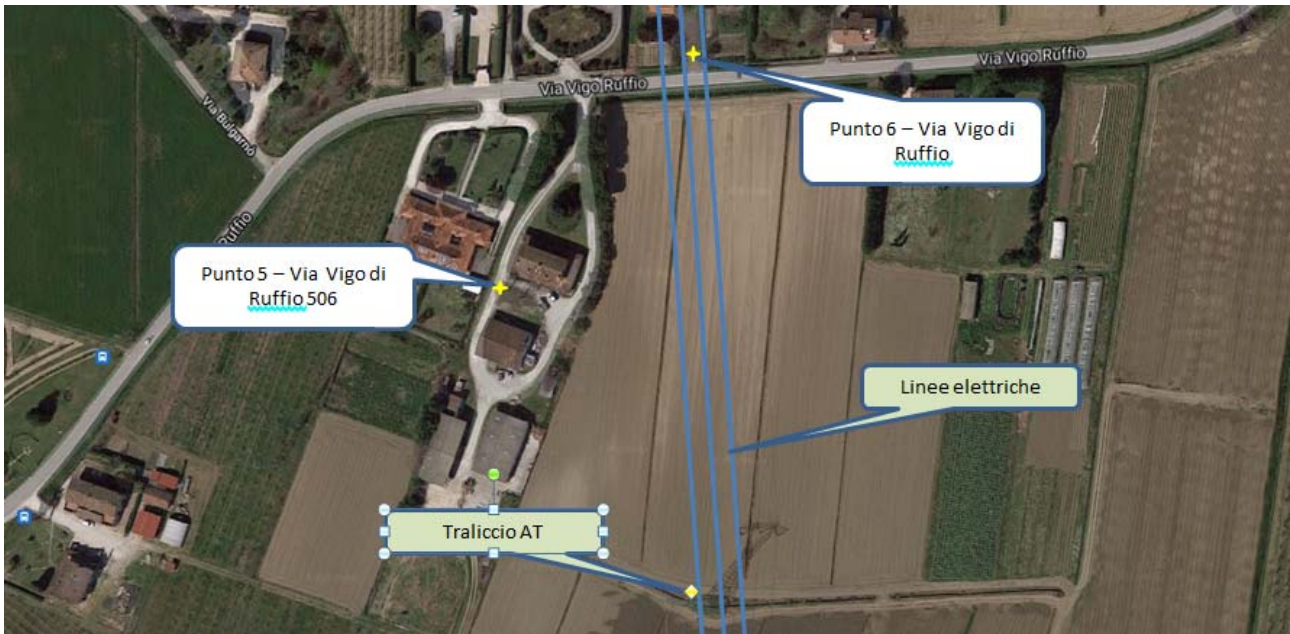


Figura 44 – Planimetria punti di misura di Via Vigo di Ruffio



P.5 Via Vigo di Ruffio 506



P.6 Via Vigo di Ruffio

Figura 45 – Foto punti di misura di Via Vigo di Ruffio

Dall'analisi delle misure brevi si evince il rispetto del limite di esposizione di cui all'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 pari a 100 μ T.

A titolo cautelativo si sono inoltre confrontati i risultati delle misure brevi, effettuate all'interno delle aree/edifici la cui destinazione d'uso prevede una permanenza superiore alle 4 ore giornaliere, con il valore di attenzione di cui all'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 previsto per dette aree (10 μ T e 3 μ T rispettivamente). Come illustrato in precedenza, la norma prevede che la verifica di tale parametro di legge venga effettuata acquisendo la mediana dei valori di induzione magnetica rilevati per periodi di tempo di almeno 24 ore.

Le misure effettuate hanno evidenziato valori di intensità di induzione magnetica molto contenuti, con un massimo registrato in tutta l'area pari a **2,16 μ T**. Quest'ultima misura è stata rilevata al di sotto della campata della linea AT in via Vigo di Ruffio, dove la distanza tra i cavi ed il punto di misura a terra è minore.

8 - Isolinee del campo elettrico (isoplete) nel territorio del Comune di Cesena.

Nell'ambito della convenzione Arpae fornisce al Comune di Cesena cartografie tematiche relative alla rappresentazione delle curve di isolivello del campo elettrico stimato e prodotto dalle SRB autorizzate. Tali cartografie possono costituire un utile riferimento per:

- individuare disomogeneità nella distribuzione delle sorgenti emmissive sul territorio di competenza;
- avere indicazioni sui valori di campo elettrico stimati/presenti;
- valutare eventuali vincoli all'uso del territorio;
- individuare siti alternativi da, eventualmente, proporre in fase di localizzazione degli impianti.

8.1 Metodologia utilizzata

Gli impianti valutati nelle simulazioni comprendono sia le stazioni radio base per telefonia mobile, sia gli impianti a larga banda wireless per l'accesso alla rete (Point Multi Point).

Sono stati considerati tutti gli impianti autorizzati al 31 dicembre 2020 aventi potenze minime al connettore di antenna maggiori o uguali a 10 W. Sono inclusi anche gli impianti 5G nella banda di frequenze a 700 MHz autorizzati, sebbene tali impianti non saranno attivi prima di luglio 2022, quando la banda di frequenza 700 MHz sarà liberata dalle televisioni che attualmente la occupano. Sono stati invece esclusi, in quanto non significativi ai fini del dimensionamento del campo elettrico, le microcelle, gli impianti di potenza inferiore a 10 W e i ripetitori interni di segnale.

Per calcolare il campo elettrico generato dalle sorgenti presenti nel territorio è stato utilizzato il software EmLAB 3.7.1.1 (Telecomunicazioni Aldena S.r.l.), un modello previsionale in grado di valutare il campo elettrico generato dai sistemi di broadcasting radiofonici, televisivi e della telefonia mobile. Il software è conforme alle normative italiane e, per i calcoli di valutazione del campo elettromagnetico irradiato, segue le indicazioni prescritte nella guida CEI 211-10 10 e nelle linee Guida ISPRA-ARPA/APPA (D.M. 2/12/2014).

Tale programma consente, una volta inseriti i parametri radioelettrici delle sorgenti, di generare su delle sezioni piane, parallele al piano del suolo, le curve di isolivello del campo elettrico.

Le funzioni di calcolo del software si basano su alcune assunzioni/condizioni, in particolare:

- ogni punto del dominio considerato è nella regione di *campo lontano* (o regione di Fraunhofer), regione che inizia ad una distanza R dall'antenna pari a $R = 2 * D^2 / \lambda$ dove D è la massima dimensione lineare dell'antenna, espressa in metri e λ è la lunghezza d'onda;
- situazione di spazio libero;
- assenza di effetti causati da riflessioni prodotte da terreno, edifici od ostacoli naturali in genere;
- assenza di effetti schermanti dovuti ad ostacoli.

Le modalità di simulazione per le tecnologie GSM-DCS (2G), UMTS (3G), LTE (4G), WiMAX (PMP) e 5G a 700 e 3700 MHz utilizzano tutte il medesimo algoritmo di calcolo implementato nel software Aldena 3D.

Gli impianti sono stati georeferenziati con software gis su Carta Tecnica Regionale 1:5000 fornita dalla RER e sono stati aggiunti all'elenco degli impianti già attivi o attivabili al 31/12/2020.

Dalle schede tecniche di ogni SRB sono stati acquisiti i dati di input per il modello di simulazione:

- i dati radioelettrici: massima potenza, guadagno, diagrammi di irradiazione;
- i parametri geometrici: tilt, orientamento e
- i parametri di posizione: altezza centro elettrico, coordinate geografiche) di ogni singola SRB.

Sono state rappresentate le curve di isolivello del campo elettrico a tre quote rispetto al suolo:

- a 1,5 m, quota indicativa del campo elettromagnetico al quale è esposta la popolazione quando si muove in esterno, in ambito urbano;
- a 6 m, che corrisponde all'altezza di una abitazione a due piani, tipologia di edificio ampiamente diffusa sul territorio nelle zone residenziali;
- a 15 m, quota che fornisce un'indicazione del campo elettrico in edifici di 5 piani, corrispondente all'altezza media degli edifici di aree densamente abitate.

La versione del software EmLab attualmente disponibile non è in grado di gestire una orografia complessa del territorio, con diverse altimetrie, come quella del comune di Cesena.

Pertanto, per rappresentare il campo elettrico e rispettare il più fedelmente possibile l'andamento orografico del terreno, per ogni altezza sono state eseguite più simulazioni a quote differenti e ogni isolinea di campo elettrico (a 1 V/m, 2 V/m, 3 V/m 6 V/m e 20 V/m) è stata ricavata, utilizzando il software opensource Qgis, dall'involuppo delle isolinee del campo elettrico dello stesso valore ottenute da tutte le simulazioni eseguite. Quindi, le isolinee di campo elettrico finali rappresentano correttamente i livelli di campo elettrico al variare della quota.

Lo studio che ha richiesto più simulazioni è stato quello corrispondente all'altezza di 1,5 m sulla città di Cesena per la concentrazione di antenne installate e la diversa altimetria con quote che variano da un minimo di 19 m (in prossimità della via Cervese) ad un massimo di 64 m (via Frassati).

Per postazioni d'antenna molto isolate (come ad esempio l'impianto Telecom in via Pozzo 2343) sono state eseguite simulazioni *ad hoc* su una porzione di territorio compresa in un raggio di 500 m.

8.2. Rappresentazione grafica delle isolinee del campo elettrico E

La rappresentazione cartografica dello studio è disponibile on line attraverso il Portale cartografico di Arpae. che consente di condividere con utenti, esterni e interni, mappe, dati e documenti connessi alle diverse attività dell'Agenzia.

Pertanto le rappresentazioni delle isolinee di campo elettromagnetico del Comune di Cesena sono consultabili sul Geoportale al seguente indirizzo:

<https://servizigis.arpae.it/Html5Viewer/index.html?viewer=FCcampielettromagnetici.Geoportal#>

utilizzando le seguenti credenziali:

utente: cemcesena

password: @jvUF*Qu1

Eseguendo l'accesso al link sopra riportato, di default il layout di visualizzazione mostra una mappa centrata sul territorio del comune di Cesena con la rappresentazione delle antenne sul territorio, le isolinee del campo elettrico a 1,5 m di altezza e la rappresentazione vettoriale dell'edificato presente nel territorio (Figura 46).

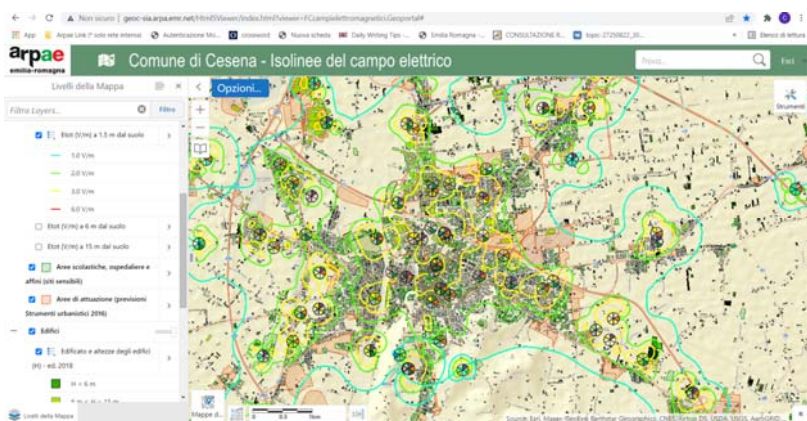


Figura 46: Rappresentazione cartografica delle isolinee di campo elettrico nel comune di Cesena su webgis di Arpae

E' possibile visualizzare i diversi strati informativi selezionando le voci corrispondenti, ovvero:

- le isolinee a 1.5 m dal suolo
- le isolinee a 6 m dal suolo
- le isolinee a 15 metri dal suolo,
- l'edificato presente,
- le aree sensibili (come scuole, ospedali e case di cura);
- le aree di attuazione.

La cartografia di base disponibile è quella fornita da Open Street e dalla Regione Emilia Romagna (CTR5000, ortofoto CGR 2018, Ortofoto Agea 2014 e 2011).

Le installazioni delle Stazioni Radiobase sono rappresentate con un diagramma a torta suddiviso in 6 porzioni che assume una diversa colorazione a seconda dei gestori presenti in quel sito: ad ogni gestore è stato assegnato un colore univoco, come riportato nella legenda successiva (Figura 47):

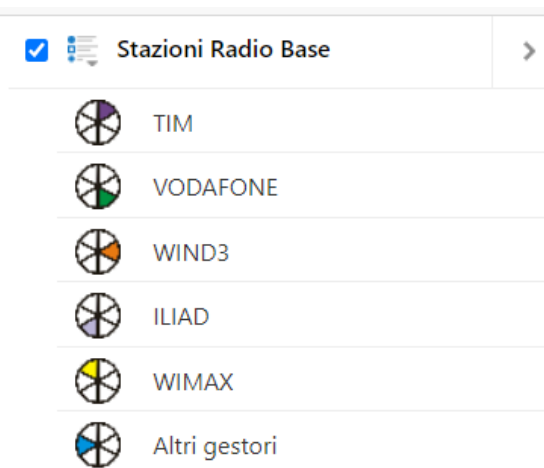


Figura 47: rappresentazione dei gestori con diagramma a torte

Per ciascuna delle 3 altezze (1,5 m, 6 m, 15 m dal suolo) i livelli di campo elettrico (Etot) rappresentati sono i seguenti:

- 1V/m,
- 2V/m,
- 3V/m,
- 6 V/m
- e 20 V/m

contrassegnati da una diversa colorazione, visualizzabile in legenda.

Di seguito si riportano alcuni esempi delle simulazioni eseguite alle tre altezze (Figure 48 ÷ 50) e la collocazione delle SRB autorizzate al 31/12/2020 nel comune di Cesena (Figura 51).

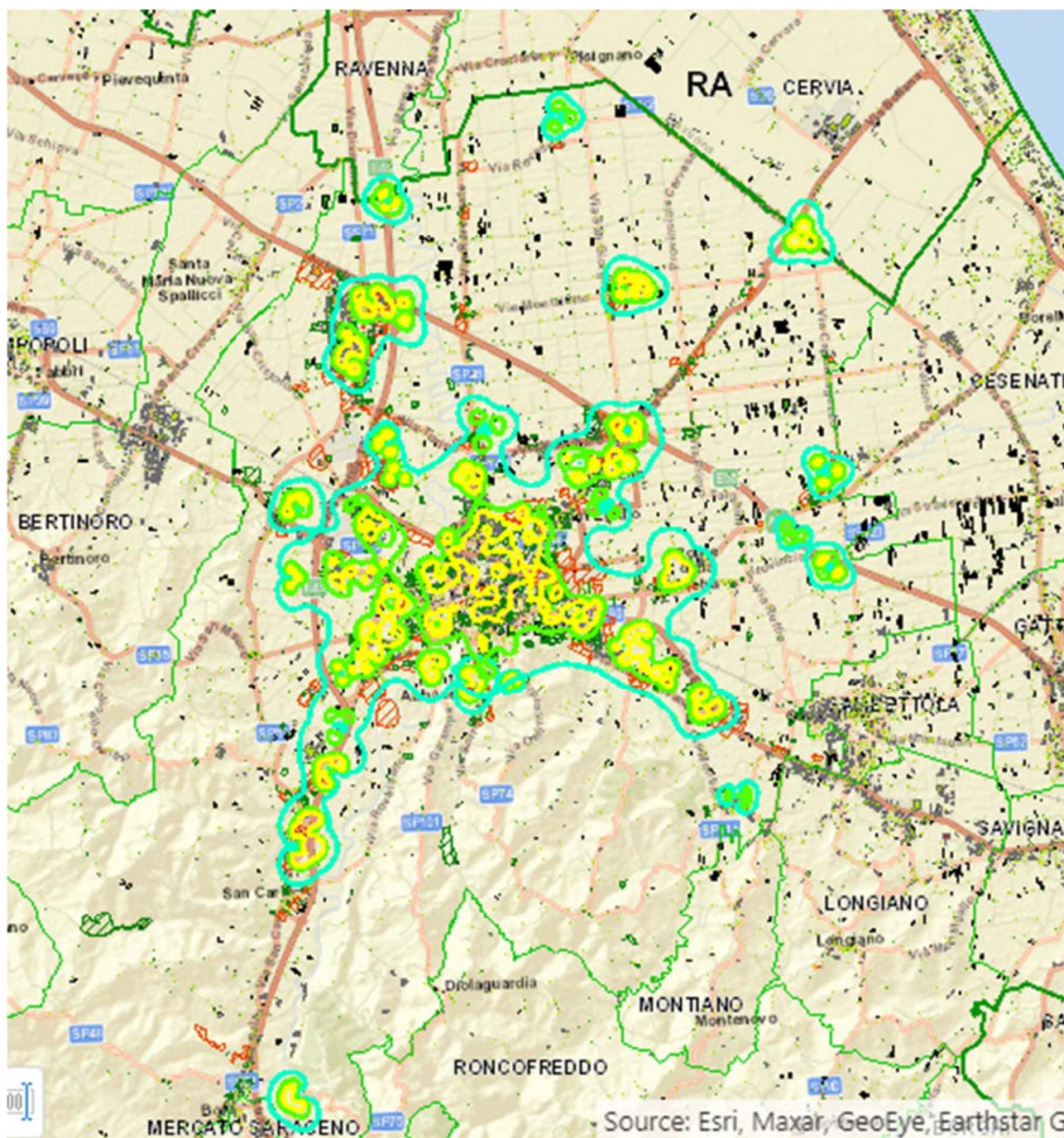


Figura 48: Isolinee del campo elettrico a 1.5 m di altezza.

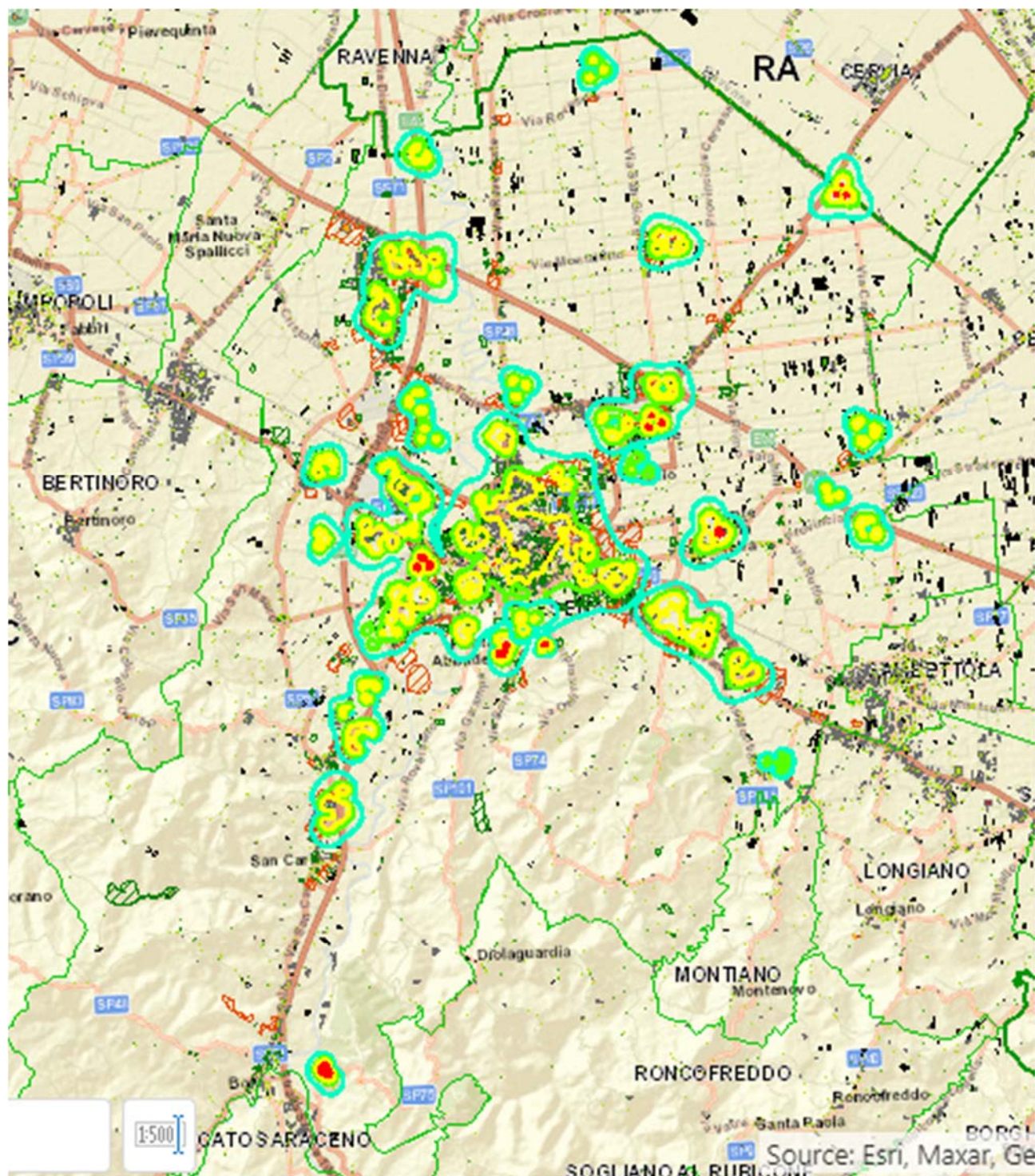


Figura 49: Isolinee del campo elettrico a 6 m di altezza.

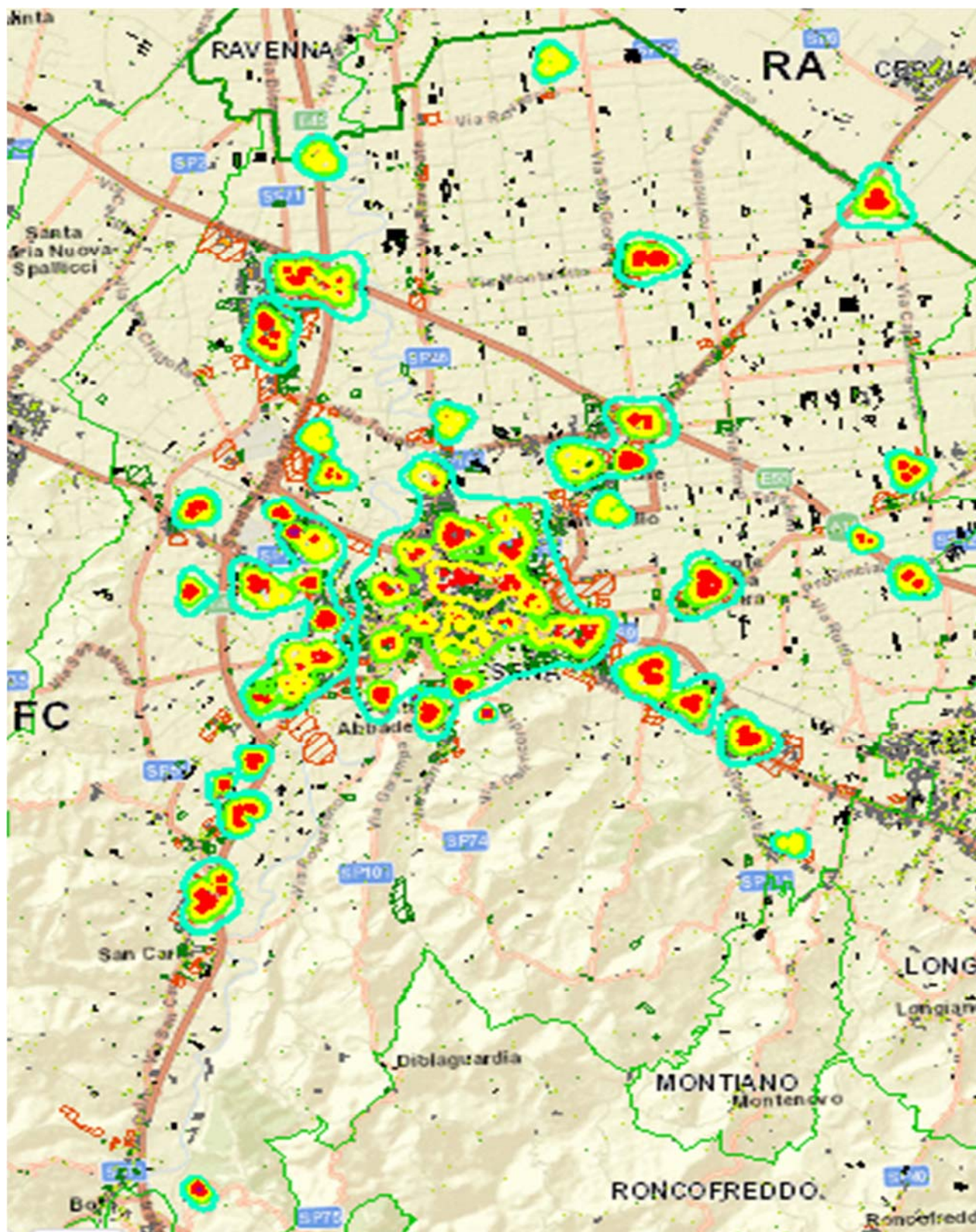


Figura 50: Isolinee del campo elettrico a 15 m di altezza.

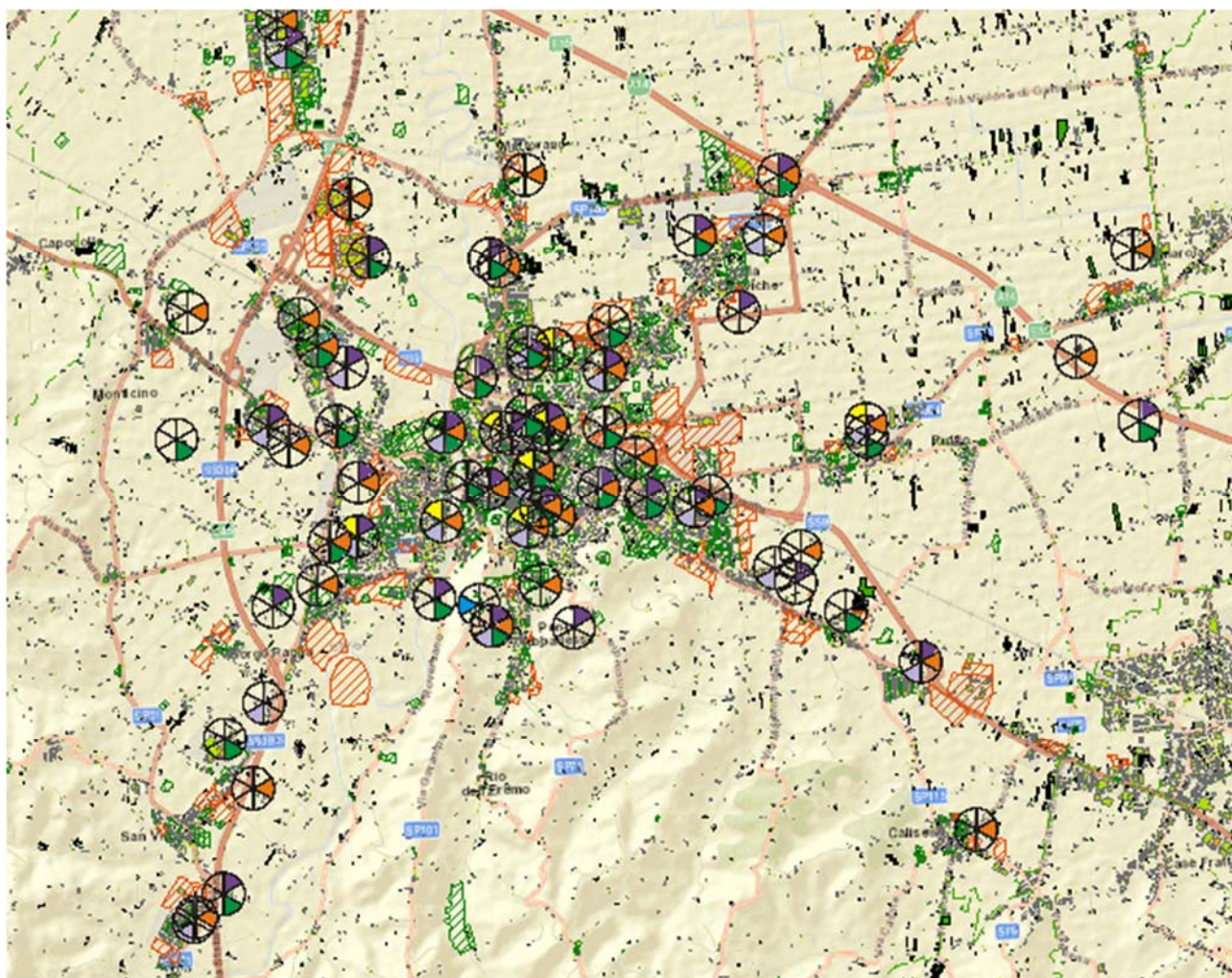


Figura 51: Rappresentazione delle SRB presenti nel comune di Cesena.