



Misure di esposizione alle radiazioni non ionizzanti
Relazione annuale 2021 - Consorzio di progetto
SwissNIS

Aarau, 24 maggio 2022

A nome dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

Impronta

Commissionato da: Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Divisione Rumore e NIR, CH-3003 Berna. L'UFAM è un ufficio del Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC).

Contraente: Consorzio di progetto SwissNIS

TPH

Swiss Tropical and Public Health Institute
Kreuzstrasse 2
4123 Allschwil

FaW

Fields at Work GmbH
Hegibachstrasse 41
8032 Zürich

G+P

Grolimund + Partner AG
Entfelderstrasse 45
5000 Aarau

NED-TECH

NED - TECH AG
Unterholz 26
3380 Wangen an der Aare

Autore/Autrice:

Toni Ziegler, G+P, Responsabile del progetto
Martin Rössli, TPH, vice responsabile del progetto.
Christa Stephan, G+P
Marco Zahner, FaW
Markus Gugler, NED-TECH
Nicolas Loizeau, TPH
Jürg Fröhlich, FaW
Erik Bühlmann, G+P
Johannes Schindler, G+P
Michal Kovacik, G+P
Simon Burkhard, G+P

Accompagnamento UFAM:

Sebastian Egger
Urs Walker
Alexander Reichenbach
Andreas Siegenthaler

Nota: questo studio/relazione è stato commissionato dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). Il contraente è l'unico responsabile dei contenuti.

Lasciare la

Versione	Data	Autori	Descrizione	Distributore
V 1.0	18.03.2022	Gruppo di pro-	Relazione annuale 2021	SwissNIS, committente (UFAM)
V 1.1	08.04.2022	Gruppo di pro- getto/ Cliente	Commento alla relazione an- nuale 2021 V 1.0	SwissNIS, committente
V 1.4	24.05.2022	Gruppo di pro- getto	Relazione annuale riveduta 2021	SwissNIS, committente

Contenuto

1. Introduzione e obiettivi	5
2. Concetto e metodi	6
2.1 Concetto di misurazione	6
2.2 Misure	7
2.2.1 Misurazioni del percorso	7
2.2.2 Misure spot	10
2.2.3 Misure continue stazionarie	12
2.3 Selezione dei punti di misura	12
2.3.1 Misurazioni del percorso	12
2.3.2 Misure spot	16
2.3.3 Misure continue stazionarie	16
2.4 Gestione dei dati	17
2.4.1 File di misura e database	17
2.4.2 Preparazione dei dati	18
2.4.3 Statistiche descrittive	19
2.5 Strumenti di misura	19
2.5.1 Specifiche generali dell'unità	20
2.5.2 Selezione delle bande di frequenza	20
2.5.3 Accuratezza della misurazione	24
2.5.4 Influenza della schermatura del corpo	24
2.5.5 Correzione della diafonia	28
3. Risultati	31
3.1 Misurazioni del percorso	31
3.1.1 Microambienti Misure di percorso	31
3.1.2 Esposizione ad HF	33
3.1.3 Esposizione alle radiofrequenze per tipo di sorgente	37
3.1.4 Esposizione NF	39
3.1.5 Esposizione a NF per tipo di fonte	41
3.1.6 Esaurimento del valore limite di immissione	41
3.1.7 Confronto con i dati di misurazione del 2014	42
3.2 Misure spot	44
3.2.1 Esposizione totale alle radiofrequenze	44
3.2.2 Esposizione totale a NF	45
3.2.3 Esposizione alle radiofrequenze per tipo di sorgente	46
3.2.4 Esposizione a NF per tipo di fonte	47
3.2.5 Esaurimento del valore limite di immissione	48

3.2.6 Distribuzione dei punti di misura per le misure spot	49
3.3 Misure continue stazionarie.....	52
3.3.1 Luoghi di misura Misure continue stazionarie	52
4. Discussione	53
4.1 Rappresentatività dei dati.....	54
5. Bibliografia.....	57
6. Fonti di dati.....	58
I Glossario	59
II Elenco delle comunità di localizzazione del microambiente	61
III Caratteristiche Dati di misura HF RMS	63
IV Confronto tra le bande di frequenza HF-EMF del 2014 e del 2021	69
V Elenco dei comuni selezionati per le misurazioni.....	70
VI Elenco dei punti di misurazione spot.....	72
VII Correzione della diafonia.....	73

1. Introduzione e obiettivi

Dalla revisione dell'ordinanza sulla protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ORNI) dell'aprile 2019, l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) è stato esplicitamente incaricato di rilevare periodicamente l'esposizione della popolazione alle radiazioni non ionizzanti (NIR) e di redigere una panoramica nazionale (art. 19b cpv. 1 ORNI). A tal fine, nel 2020 l'UFAM ha indetto una gara d'appalto per un progetto di raccolta di dati di misurazione rappresentativi sull'esposizione della popolazione svizzera alle radiazioni non ionizzanti nella vita quotidiana.

Questo documento è il rapporto annuale 2021 sulla raccolta dei dati di misurazione, redatto dal consorzio del progetto che ha vinto la gara d'appalto.

Da un lato, il rapporto annuale 2021 descrive il concetto di base e il tipo di raccolta dei dati, dall'altro vengono presentati i primi risultati delle misurazioni effettuate. Poiché questo è il primo rapporto annuale nel periodo di raccolta dei dati, i confronti con i dati delle misurazioni precedenti sono possibili solo in misura limitata.

Nel corso del progetto, la base di dati sarà continuamente ampliata e riassunta in relazioni annuali e confrontata con i dati degli anni precedenti, al fine di valutare l'evoluzione delle immissioni nel tempo.

2. Concetto e metodi

Questo capitolo descrive il concetto e le procedure per le misurazioni, che sono pianificate in forma uniforme per l'intera durata del progetto di 5 anni. La valutazione dei dati di misurazione avviene annualmente e viene riassunta in un rapporto annuale.

2.1 Concetto di misurazione

Il concetto di misurazione dell'esposizione alle radiazioni non ionizzanti documentato in questo rapporto comprende tre metodi di misurazione complementari:

1. "Misure di percorso"

Le misurazioni mobili vengono effettuate con dispositivi portatili lungo percorsi di misurazione definiti, e le misurazioni vengono ripetute ad intervalli di 2 anni. I percorsi di misura sono situati all'interno di "microambienti" preselezionati. In totale, le misurazioni vengono effettuate in 300 microambienti in tutta la Svizzera, classificati in 9 tipologie (cfr. Tabella 1). All'interno dei singoli microambienti, le misurazioni vengono effettuate all'aperto, il che corrisponde al tipo effettivo di microambiente (ad esempio, centri urbani, aree industriali), ma anche in aree pubbliche (ad esempio, stazioni ferroviarie, ristoranti, supermercati) e durante i trasferimenti tra i microambienti e in numerosi mezzi di trasporto pubblico (treni regionali/intercity, tram, autobus). Nel seguito viene utilizzato generalmente il termine "ambiente di misura". I microambienti vengono selezionati con l'aiuto di sistemi di geoinformazione in base a vari criteri, in modo che l'insieme dei microambienti rappresenti bene la popolazione svizzera.

2. "Misure spot"

Almeno 100 abitazioni sono state selezionate come "luoghi a utilizzazione sensibile" (OMEN), che si trovano in prossimità di almeno una sorgente NIR e in cui ci si aspetta quindi un'intensità di campo superiore alla media. In questo modo si registrano le situazioni tipiche di esposizione in prossimità delle rispettive sorgenti NIR in luoghi dove le persone soggiornano regolarmente per un periodo prolungato.

3. "Misure permanenti stazionarie"

Per evidenziare le fluttuazioni stagionali e diurne e le tendenze temporali dell'esposizione alle NIR, sono state effettuate misurazioni stazionarie continue in 5 siti selezionati per almeno due anni.

Le procedure di misurazione e la metodologia di selezione dei punti di misurazione sono descritte di seguito.

2.2 Misure

2.2.1 Misure di percorso

Le cosiddette misure di percorso o "misure mobili" sono misure dei campi magnetici a bassa frequenza (LF-MF) e dei campi elettromagnetici ad alta frequenza (HF-EMF) lungo un percorso di misura definita. I percorsi di misurazione sono situati nei cosiddetti "microambienti" (aree di circa 1 km² definite sulla base di caratteristiche antropiche e geografiche), che vengono selezionati secondo la procedura descritta nella sezione 2.3.1. Per garantire che i dati siano raccolti dove la popolazione trascorre effettivamente del tempo, le misurazioni nei vari microambienti vengono effettuate a piedi. I trasferimenti e le soste necessarie tra i vari percorsi di misurazione avvengono con i mezzi pubblici, per cui in ogni giorno di misurazione si effettuano ulteriori misurazioni dell'esposizione in aree pubbliche (trasporti pubblici, fermate e stazioni, ristoranti, luoghi culturali, ecc.).

In ogni microambiente viene definito un percorso di misurazione di circa 1-1,3 km, in modo che la marcia duri circa 15 minuti e vengano registrati circa 150 valori di misurazione per microambiente ad un intervallo di misurazione di 6 secondi. I percorsi di misurazione sono disposti in modo da coprire il meglio possibile l'intera area del microambiente. Per garantire la riproducibilità dei percorsi di misurazione anche dopo diversi anni e in caso di cambio di personale, i percorsi di misurazione sono tracciati su mappe e viene sempre utilizzato il lato sinistro della strada. Un'applicazione programmata su un tablet in modalità volo viene utilizzata per registrare quando si entra o si esce dal percorso o quando si cambia il mezzo di trasporto (registro delle attività). Il GPS integrato nei dispositivi di misura registra le coordinate di ciascun punto di misura. Le misurazioni vengono effettuate sempre in orario d'ufficio.

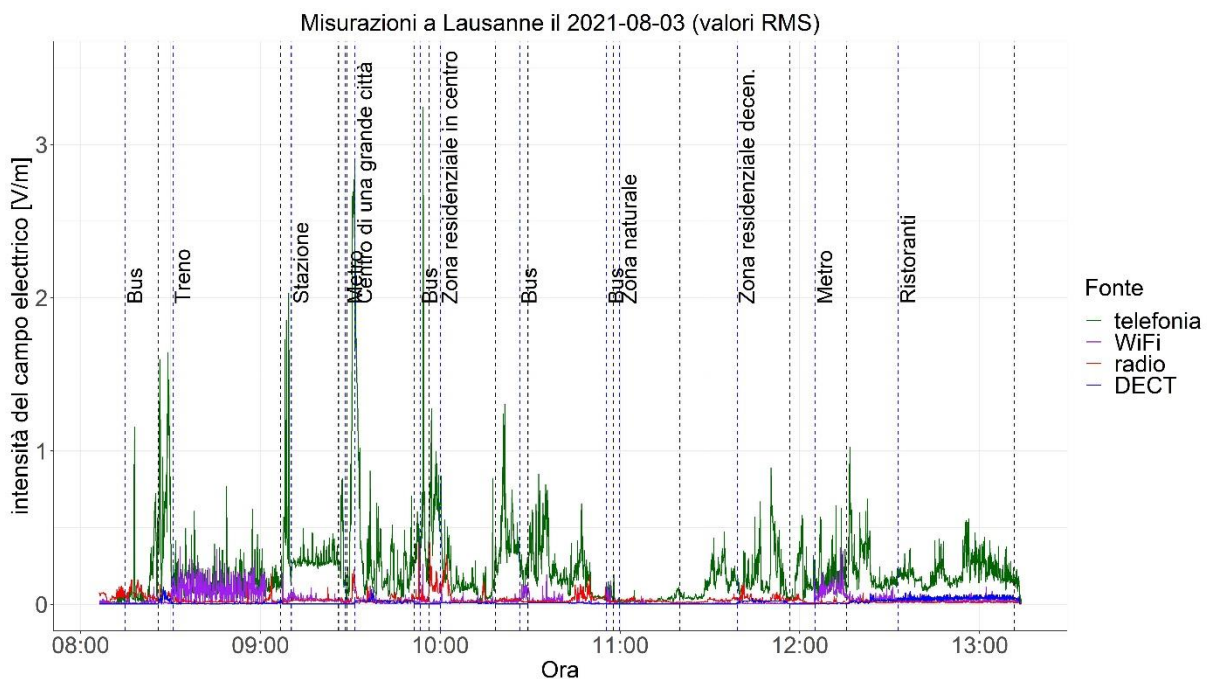
La configurazione per la misurazione di percorso è illustrata nella Figura 1. I due dispositivi di misura HF (ExpoM-RF4) e il dispositivo di misura NF (ExpoM-ELF) sono fissati in una custodia sufficientemente distante tra loro in modo che non si influenzino a vicenda. I due strumenti di misura HF funzionano con sensibilità diverse (valori di misura registrati rispettivamente fino a 6 V/m e 20 V/m). La valigetta viene riposta in uno zaino, che viene indossato sulla schiena durante la misurazione o depositato sul sedile nei trasporti pubblici.



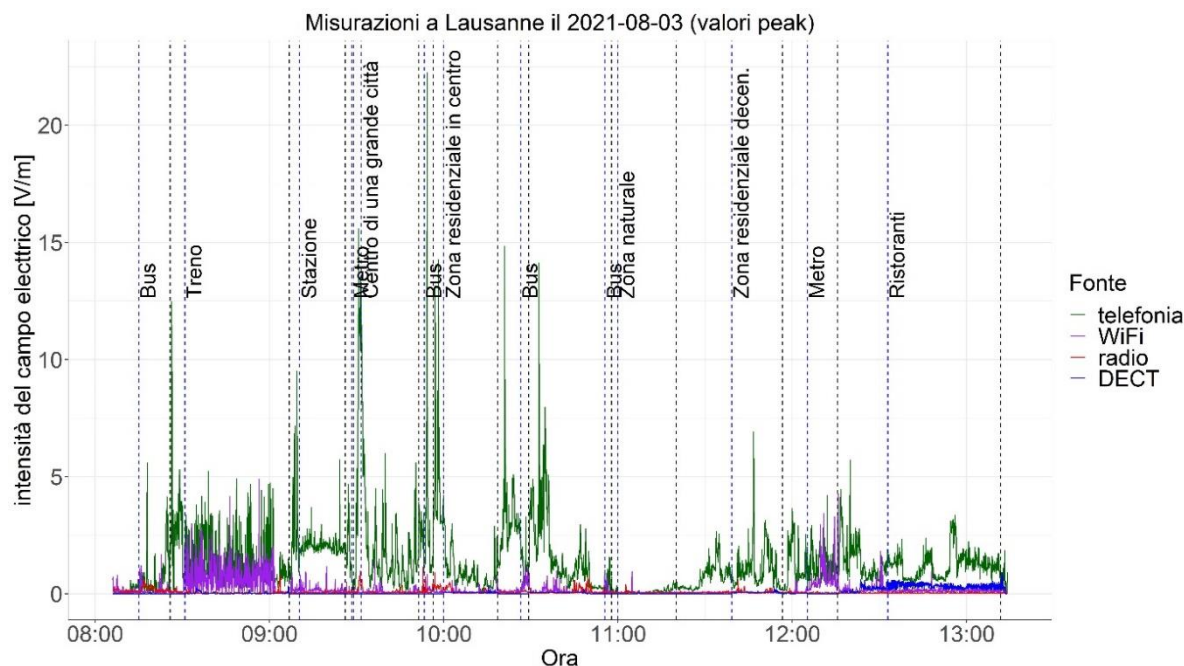
Figura 1: Illustrazione della configurazione per la misurazione del percorso

La Figura 2 mostra un percorso di misura per una misurazione del tracciato a Losanna la mattina del 03.08.2021. I risultati delle misure sono mostrati per A) esposizione RF (valori RMS), B) esposizione RF (valori di picco) e C) esposizione NF (valori RMS). I dispositivi sono stati accesi poco dopo le 8:00 al punto di partenza, quindi abbiamo utilizzato un'applicazione per smartphone per annotare quando abbiamo preso l'autobus alle 8:14 (linea blu tratteggiata) e quando siamo partiti alle 8:24 (linea nera tratteggiata). In questo modo abbiamo annotato l'inizio e la fine di un ambiente di misurazione per ogni tipo di microambiente. Poi, alle 8:31, abbiamo preso il treno per Losanna, dove avevamo definito quattro microambienti (Centro metropolitano, Area residenziale centrale, Area naturale, Area residenziale decentrata). Gli spostamenti tra i diversi microambienti sono stati effettuati in autobus, in metropolitana o a piedi. Dopo le misurazioni in un ristorante, le misurazioni sono proseguite nel pomeriggio.

A. Esposizione ad HF, valori RMS



B. Esposizione ad HF, valori di picco



C. Esposizione NF, valori RMS

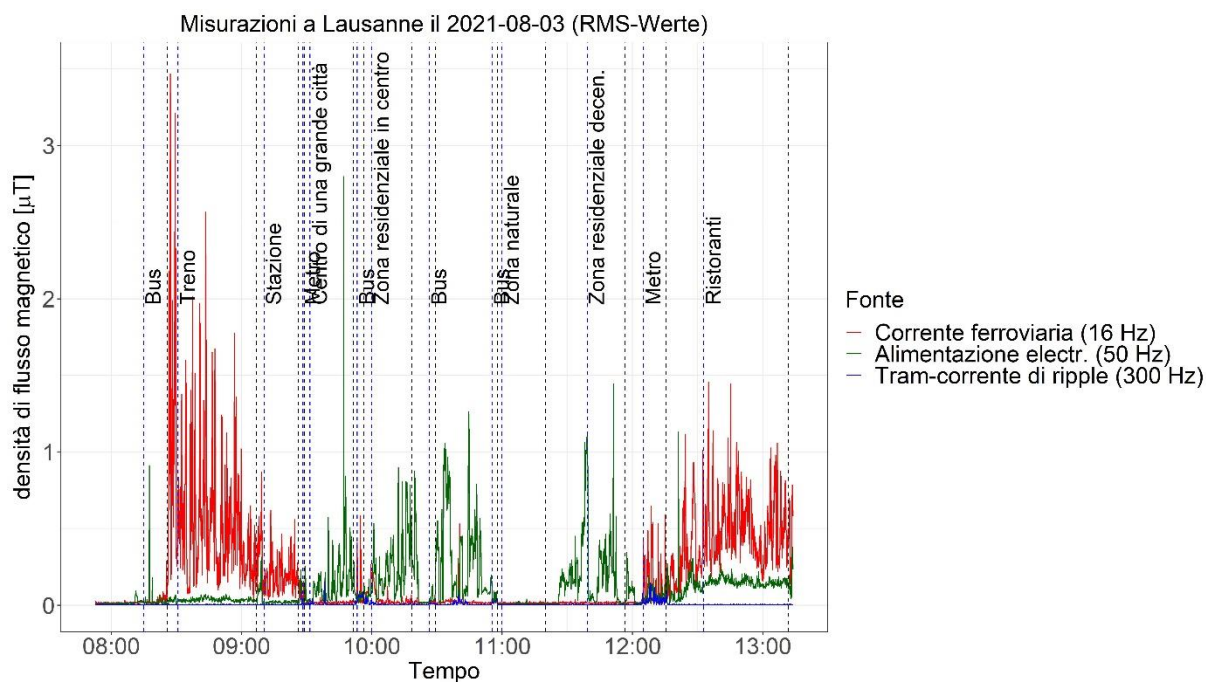


Figura 2: Esempio di corso di misurazione a Losanna il 03.08.2021 per le diverse sorgenti di esposizione (HF: radio mobile, WiFi, radiodiffusione, DECT) e NF: corrente ferroviaria, alimentazione elettrica, corrente di ondulazione del tram): A) Esposizione RF, valori RMS; B) Esposizione RF, valori di picco; C) Esposizione NF, valori RMS. Le linee blu indicano l'inizio della registrazione di un tipo di microambiente (ad esempio, autobus, treno, stazione, ecc.). Le linee nere indicano la fine del tipo di microambiente.

2.2.2 Misure spot

Le misurazioni spot consistono in tre misurazioni parziali in ciascun punto di misurazione:

- Misurazione stazionaria per 10 minuti con intervallo di 10 s nel soggiorno su un treppiede non conduttivo ("spot-local"). I dispositivi di misurazione sono collocati in un punto in cui i residenti trascorrono regolarmente lunghi periodi di tempo, vicino al divano o al tavolo da pranzo. La posizione esatta viene scelta in modo da prevedere una bassa attenuazione delle sorgenti esterne (ad esempio, una visione diretta delle antenne dei telefoni cellulari o una distanza minima dalle linee ad alta tensione).
- Misurazione mobile camminando all'interno dell'intero appartamento per 10 minuti con un intervallo di misurazione di 6 s con i dispositivi di misurazione attaccati a un supporto a spalla non conduttivo ("area spot"). Questa misura mobile viene eseguita contemporaneamente alla misura stazionaria.
- Misurazione stazionaria durante 24 ore con intervallo di misurazione di 10 s in camera da letto vicino al letto ad altezza da sdraiato ("spot-long")

Per tutte le misure parziali, vengono utilizzati in parallelo un ExpoM-ELF e un ExpoM-RF (con l'impostazione della sensibilità di 6 V/m).

Prima o tra una misurazione e l'altra, le informazioni sul luogo di misurazione e sulle condizioni ambientali vengono registrate elettronicamente in forma di metadati utilizzando un'applicazione per smartphone.



Figura 3: Illustrazione della configurazione di misura per "spot-local" (sinistra), "spot-area" (centro) e "spot-24h" (destra).

Un esempio della variabilità dei valori misurati è mostrato in Figura 4 e Figura 5 l'andamento temporale dei valori misurati durante 24 ore in un appartamento vicino a una linea ferroviaria a binario unico e a un'antenna di telefonia mobile.

Campo magnetico a bassa frequenza

Esempio di curva di 24 ore

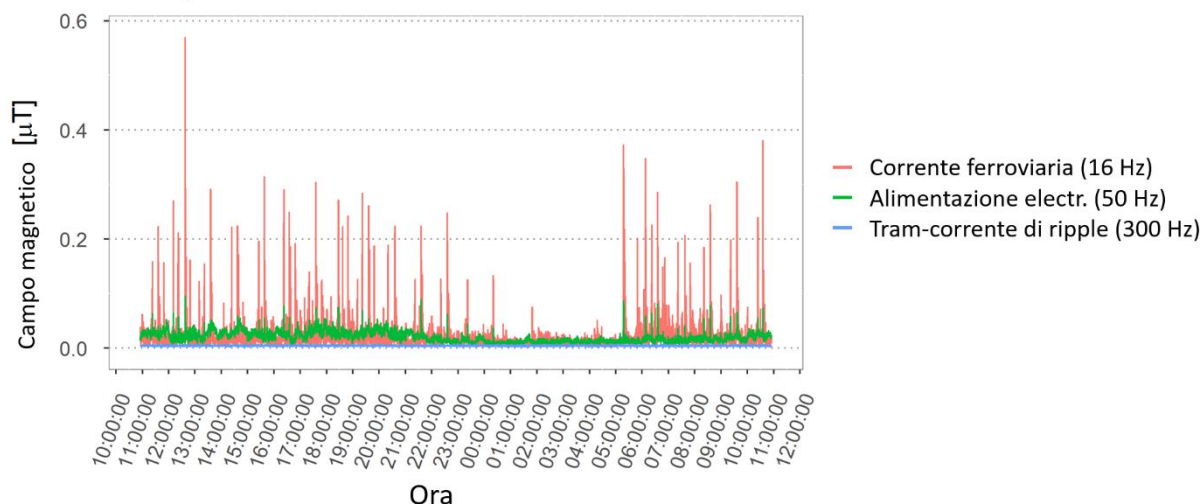


Figura 4: Esempio di campo magnetico a bassa frequenza (valori rms) in un appartamento vicino a una linea ferroviaria.

Campo elettrico ad alta frequenza

Esempio di curva di 24 ore

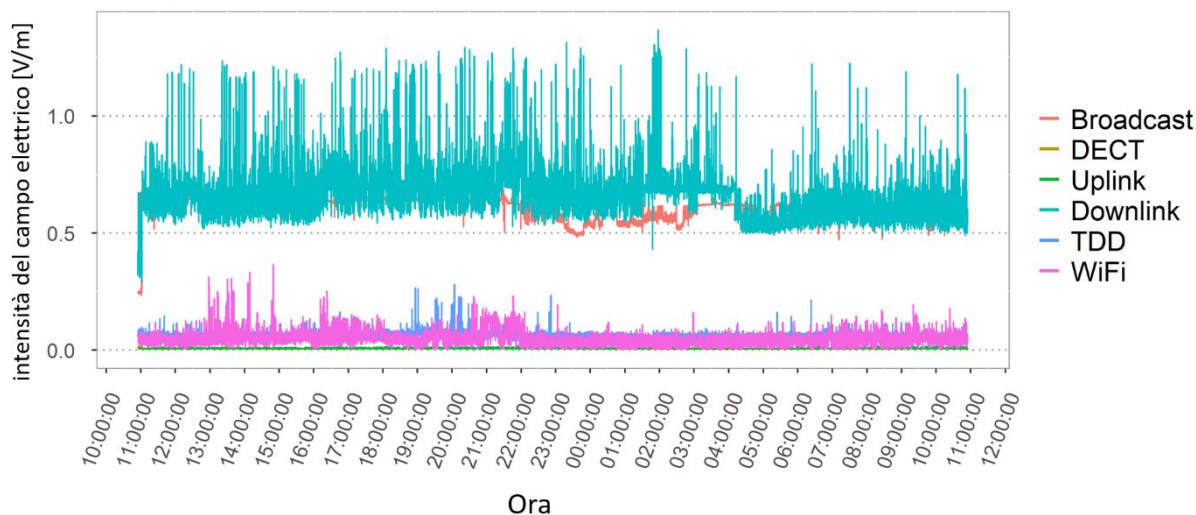


Figura 5: Esempio di campo elettrico ad alta frequenza (valori rms) in un appartamento vicino a un'antenna di telefonia mobile.

2.2.3 Misure continue stazionarie

Per le misurazioni continue stazionarie, un dosimetro ExpoM-RF viene installato all'aperto in una custodia di plastica resistente alle intemperie e collegato tramite cavo USB a un minicomputer, che viene utilizzato per leggere i dati e fornire l'alimentazione. Le bande a bassa frequenza non vengono registrate perché l'andamento temporale di queste intensità di campo e i flussi di corrente nelle reti o nelle linee aeree sono accoppiati e quindi seguono schemi noti o sono registrati dagli operatori. Le misure continue stazionarie registrano i valori misurati per 12 ore a intervalli di 10 secondi. Al termine del periodo di 12 ore, i dati vengono letti, il che comporta un'interruzione della registrazione dei dati di circa 1 minuto.

Il fissaggio della custodia è realizzato, per quanto possibile, con materiali non conduttivi e deve essere effettuato in ogni luogo tenendo conto delle condizioni sul posto.

2.3 Selezione dei punti di misura

Questo capitolo riassume le procedure di selezione dei punti di misura per i tre metodi di misurazione.

2.3.1 Misurazioni del percorso

Nell'ambito del monitoraggio, 300 microambienti vengono visitati due volte ciascuno a intervalli precisi di 2 anni e misurati sugli stessi percorsi. Come primo passo, per i microambienti sono stati selezionati i "comuni di località", con l'obiettivo di includere tutte le 25 tipologie di comune secondo la classificazione dell'Ufficio federale di statistica. (Ufficio federale di statistica, 2012) rappresentativo della rispettiva quota di popolazione. Ne sono escluse le nove città più grandi, che sono state tutte deliberatamente selezionate (Zurigo, Losanna, Lugano, Ginevra, Basilea, Berna, Winterthur, Lucerna, San Gallo). Sono stati selezionati altri comuni delle altre tipologie di comuni da tutte le regioni linguistiche, mentre per motivi di comparabilità sono stati presi in considerazione i comuni della campagna di misurazione di (Röösli M. F. M., 2015). Così 70 comuni (Appendice V) sono stati selezionati (al 22.04.2022) e sono mostrati nella Figura 6.

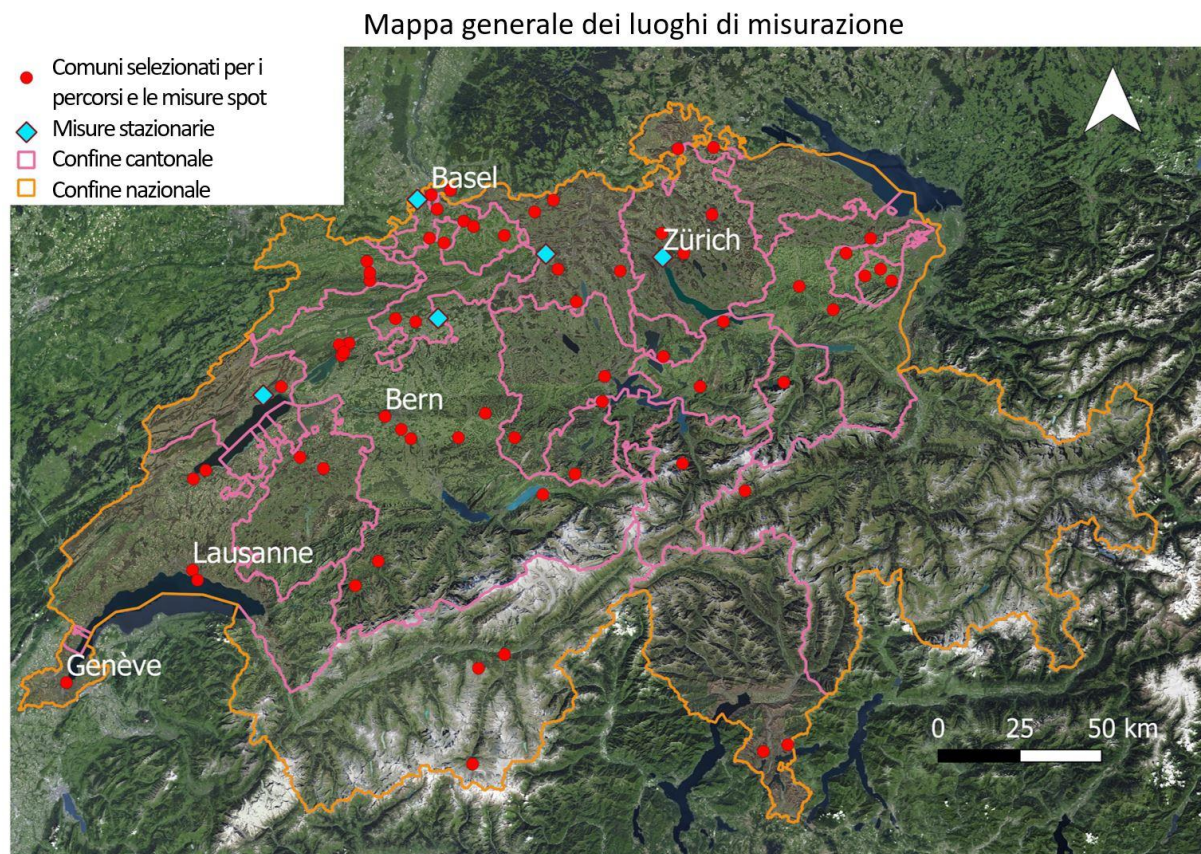


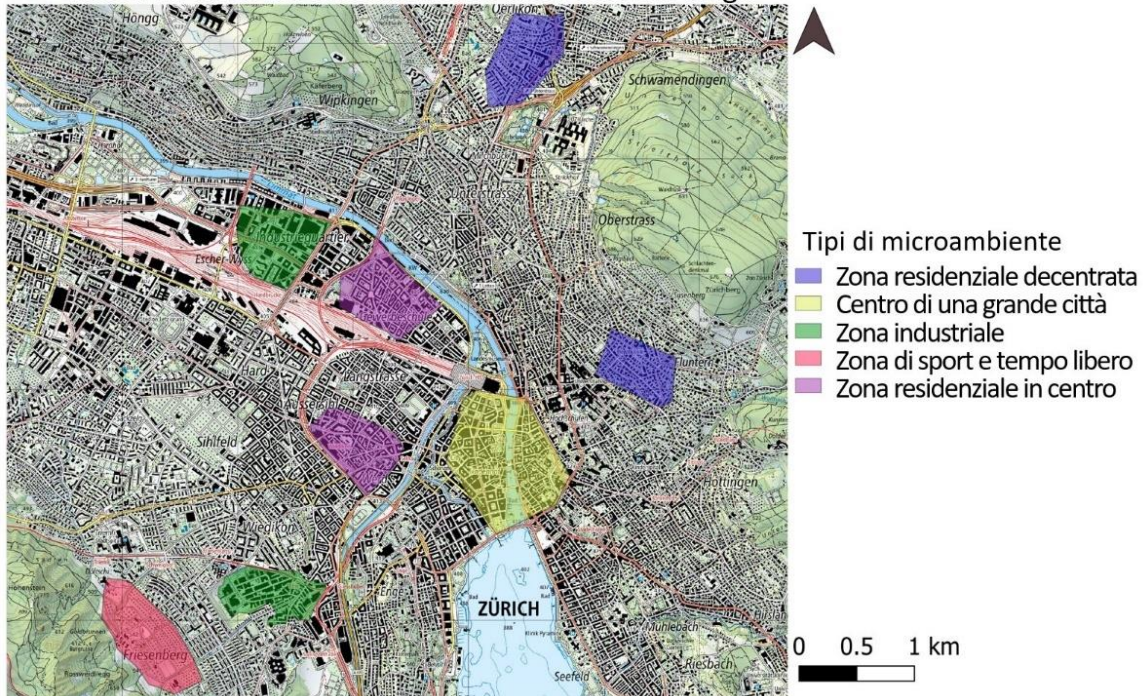
Figura 6: Mappa della Svizzera con i 70 comuni (al 22.04.2022) selezionati per le misurazioni di percorso e spot e i 5 siti di misurazione per le misurazioni permanenti stazionarie. Fonte: <https://wmmts.geo.admin.ch>, Mappa di sfondo

La definizione e la selezione dei microambienti all'interno dei comuni si basa su ampi dati di base GIS e su analisi GIS condotte iterativamente per ogni campagna di misurazione. Il punto di partenza per la definizione dell'area dei possibili microambienti di circa 1 km² è il dataset "Corine Land Cover (CLC)" della Svizzera¹. Sulla base delle classi CLC e della valutazione situazionale delle caratteristiche, sono state definite 9 aree tipiche come tipi di microambiente in cui la popolazione svizzera trascorre il tempo, cfr. Tabella 1. In un microambiente selezionato, è possibile pianificare un percorso di misura per la misurazione. IL percorso dovrebbe coprire l'area nel modo più uniforme possibile, ma le possibilità sono date dallo specifico tracciato stradale, motivo per cui non è possibile definire una procedura

¹ Inventario della copertura del suolo in 44 classi: <https://www.wsl.ch/en/projects/corine-switzerland.html>

quantitativa generalmente valida.

Localizzazione dei microambienti nella città di Zurigo



Percorso di misurazione all'interno di un microambiente nella città di Zurigo

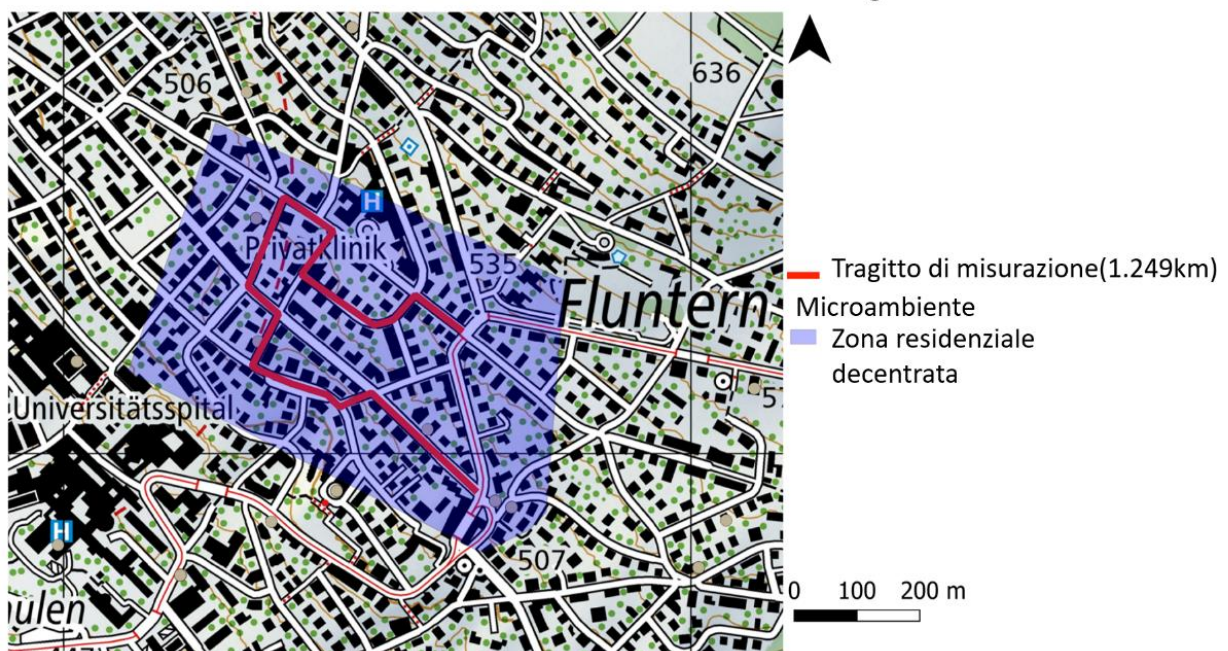


Figura 7 mostra esempi di microambienti e un percorso di misurazione a Zurigo.

I tipi di microambiente "centro metropolitano", "zona residenziale centrale" e "zona residenziale decentrata" sono stati definiti esclusivamente per le parti di città appartenenti alle tipologie di comuni SFSO "centro di un grande agglomerato" e "centro di un agglomerato di medie dimensioni" e riguardano

quindi comuni di agglomerati con almeno 50.000 abitanti. Per questa categoria sono state selezionate le 9 maggiori città svizzere. Gli altri tipi di microambiente riguardano comuni più piccoli o sono indipendenti dal numero di abitanti (ad esempio, area industriale).

Tabella 1: Tipi di microambiente.

Tipo di microambiente	Classe CLC	Descrizione
Grande centro città	111	Città vecchia, parte storica, cinema, bar, ristoranti, hotel, poco traffico stradale, zona pedonale
Zona residenziale centrale	111	Vicino al centro, struttura edilizia stretta, metà della distanza dal centro città, poco traffico stradale.
Area residenziale decentrata	112	Una percentuale relativamente elevata di spazi verdi rispetto alle aree residenziali centrali
Area industriale	121	Industria, distretto commerciale
Centro città (o centro paese)	112	Piazza del mercato, città vecchia
Area residenziale	112	Fuori dal centro città
Area sportiva/ricreativa	141/142	Campo sportivo, parchi, spiaggia
Riserva naturale	311-321	Foresta, prato
Area agricola	211-243	Seminativi, colture permanenti, pascoli

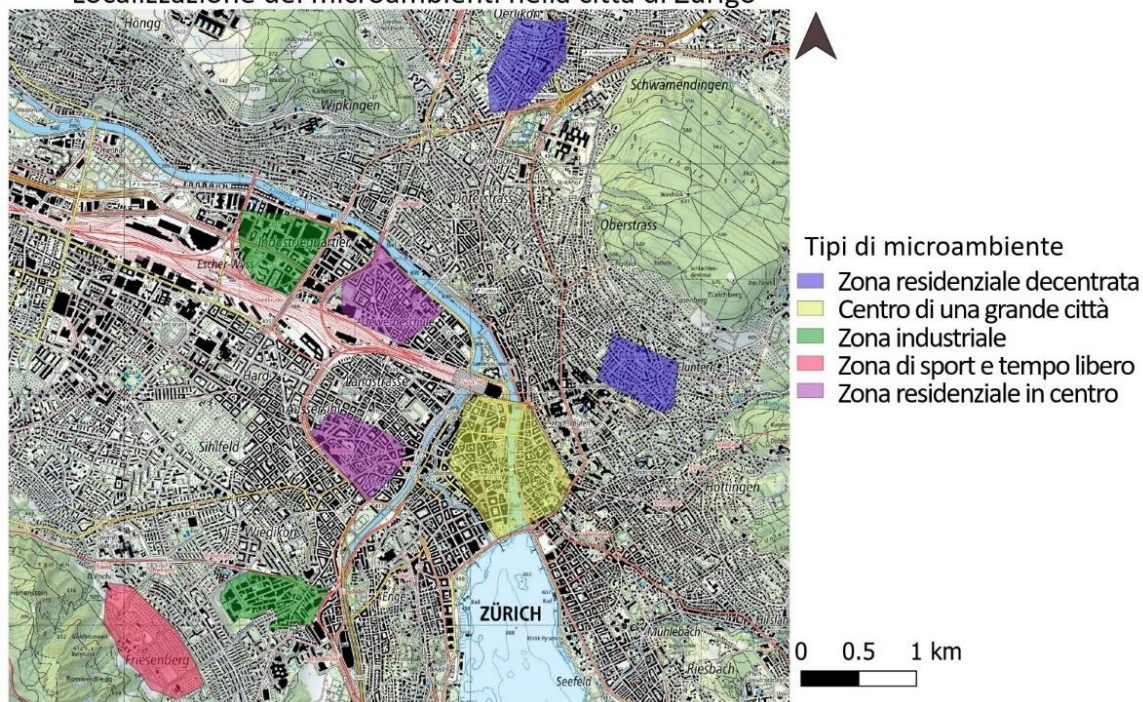
Poiché le misurazioni del percorso sono destinate a catturare l'esposizione NIR tipica della popolazione svizzera nelle aree pubbliche all'aperto, la selezione dei microambienti deve essere rappresentativa della popolazione. La rappresentatività in termini di fonti NIR tipiche e di statistiche generali della popolazione viene calcolata e aggiornata periodicamente utilizzando sistemi di geoinformazione. I risultati sono utilizzati per la selezione dettagliata dei possibili microambienti. A tal fine, si calcola la quota di popolazione di persone che vivono in tutti i microambienti e che sono "affette" dal rispettivo parametro per tutti i parametri analizzati. Questo valore viene confrontato in ciascun caso con la percentuale media della popolazione svizzera totale interessata dallo stesso parametro.² Il punto di partenza per la selezione di ulteriori microambienti è stato quello dei 49 microambienti esistenti dello studio pilota del 2014. (Röösli M. F. M., 2015) che dovevano essere inclusi in questo studio. L'analisi della rappresentatività tiene conto dei seguenti parametri:

- Sorgenti NIR: Sistemi di telefonia mobile (per classe di potenza di trasmissione e tecnologia), trasmettitori radio e TV (per classe di potenza di trasmissione), linee elettriche ad alta tensione (per classe di tensione), linee ferroviarie e tranviarie (per tipo e classe di binari).
- Statistiche sulla popolazione: tipologia di comune (secondo l'UST), tipo di copertura del suolo Corinne, cantoni (almeno un microambiente per cantone), regione linguistica (+ almeno un microambiente per regione linguistica). Inoltre, tutte le nove città più grandi dovrebbero essere rappresentate con almeno un microambiente.

In questo modo vengono definiti da 35 a 40 microambienti per ciascuna delle quattro campagne di misurazione di percorso all'anno.

² Esempi: "Quante persone vivono [in Svizzera / nei microambienti selezionati] entro 50 m da almeno un'antenna 4G con potenza di trasmissione compresa tra 100 e 1000 W?"; "Quante persone vivono [in Svizzera / nei microambienti selezionati] in un comune BfS di tipo 113 (città centrale di un grande agglomerato)?"

Localizzazione dei microambienti nella città di Zurigo



Percorso di misurazione all'interno di un microambiente nella città di Zurigo

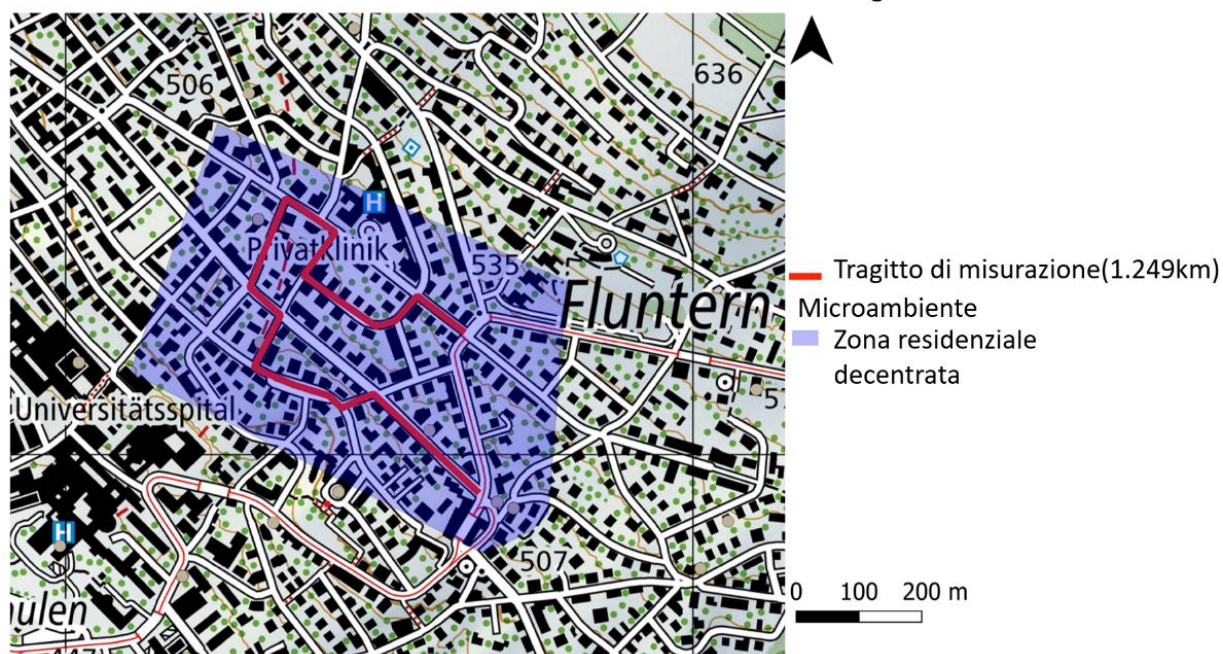


Figura 7: Esempio di microambienti nella città di Zurigo (in alto), esempio di percorso di misura all'interno di un microambiente (in basso). Fonte: <https://wmts.geo.admin.ch> , Carta nazionale: 1:25000

2.3.2 Misure spot

Le misurazioni spot vengono effettuate in appartamenti o case private e registrano quindi situazioni molto individuali. In linea di principio, sarebbe auspicabile un campione casuale per ottenere una selezione rappresentativa. Tuttavia, ciò comporterebbe lo svantaggio di perdere situazioni di elevata esposizione, che sono rare, nel numero relativamente ridotto di edifici residenziali selezionati. Per questo motivo, nella selezione viene utilizzata una doppia strategia. Per garantire che le esposizioni elevate provenienti da diversi tipi di sorgenti (cfr. Tabella 9), viene effettuata una ricerca mirata delle abitazioni in cui ci si aspetta un'intensità di campo superiore alla media da questa sorgente "primaria" a causa della vicinanza spaziale a una sorgente NIR (ad esempio, vicino a una linea ferroviaria). Per quanto riguarda le altre sorgenti NIR "secondarie", invece, la dimora corrispondente viene selezionata in modo quasi casuale. Si può quindi ipotizzare che la dimensione del campione totale dei siti di misurazione spot rispetto alle sorgenti NIR secondarie esterne sia approssimativamente distribuita in modo rappresentativo per l'esposizione della popolazione residenziale nei microambienti con misurazioni spot. I seguenti criteri sono utilizzati per definire le posizioni proposte per le misurazioni spot:

1. I punti di misurazione devono essere all'interno di un microambiente di misurazione del percorso ai fini della comparabilità.
2. I siti di misurazione devono essere situati entro una distanza definita specificamente dalla sorgente ("perimetro di influenza") da almeno una sorgente NIR "rilevante".
3. Nel corso del progetto si cercherà di garantire che sia i tipi di abitazione sia i tipi di sorgenti NIR pertinenti siano statisticamente rappresentati in modo adeguato nei luoghi di misurazione.

I tipi di alloggio e di sorgente, nonché i perimetri di influenza, sono riportati nel capitolo 3.2.6 .

2.3.3 Misure continue stazionarie

Le misurazioni permanenti fisse vengono effettuate presso le sedi del consorzio del progetto per poter garantire la sicurezza (danni, vandalismo, accessibilità, effetti dirompenti) e la manutenzione (infrastrutture, alimentazione, connessione internet).

I siti sono stati selezionati in base alle fonti di radiofrequenza vicine ai siti e alla tipologia di comunità.

2.4 Gestione dei dati

2.4.1 File di misura e database

I dati grezzi generati nelle misurazioni possono essere suddivisi in due categorie: Dati di misura a livello di punto di misura (NF e HF o ExpoM-ELF e ExpoM-RF) e metadati a livello di misura (informazioni sul dispositivo di misura, informazioni sulla misura, parametri GIS). Per poter tracciare una mappa e consentire l'aggregazione dei dati, oltre al necessario backup dei dati, al tracciamento e alla documentazione, i dati sono gestiti in un database centrale. Come mostrato in modoFigura 8 schematico in figura 8, il database è composto da tre livelli:

- **Livello 0:** Archiviazione dei dati dei file grezzi in una directory FTP. Da un lato, si tratta dell'interfaccia di importazione dei dati di misura generati dai dispositivi di misurazione e di altri metadati compilati, dall'altro serve anche a documentare i dati grezzi originali e invariati ("raw"). In una fase di pre-elaborazione, questi file grezzi vengono trattati specificamente per la misurazione (assegnazione alle misurazioni, data e ora, segnale GPS, ecc).
- **Livello 1:** memorizzazione unificata dei dati in tre tabelle ("dataElf", "dataRf" e "metaMeas") di un database MySQL. Dopo l'importazione automatica dal livello 0, i dati di misura vengono elaborati qui e le correzioni per gli errori sistematici noti (si veda la sezione 0) vengono eseguiti. Questo viene fatto da script R esterni (si veda anche la sezione 0), la tracciabilità diretta di tutte le operazioni sui dati è garantita da un lato dalla gestione integrata delle versioni e dall'altro dalla memorizzazione ridondante (senza sovrascrittura) dei dati generati. Oltre all'elaborazione automatica dei dati, vengono eseguiti test manuali per il controllo della qualità.
- **Livello 2 (e superiori):** Livello di aggregazione del database MySQL. I dati elaborati dal livello 1 vengono filtrati in base alle analisi desiderate e aggregati spazialmente, temporalmente o in base a categorie, ecc. In questo modo è possibile generare e salvare periodicamente analisi comparative riproducibili.

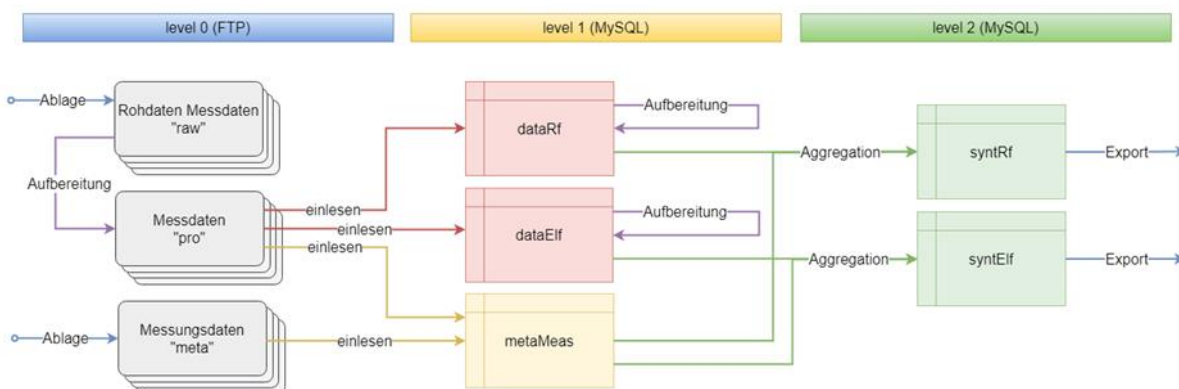


Figura 8: Schema semplificato della struttura del database

2.4.2 Preparazione dei dati

La preparazione e l'analisi dei dati delle misure su percorso e spot sono sostanzialmente identiche. Nel caso delle misurazioni di percorso, il registro delle attività (cfr. sezione 2.2.1), i dati di misurazione vengono assegnati al microambiente corretto e memorizzati di conseguenza nel database; nel caso delle misurazioni spot, i dati vengono assegnati alle tre sottomisure nello stesso modo. In una prima fase, la plausibilità dei dati viene controllata visivamente e vengono identificati gli errori nel processo di misurazione (come l'interruzione del processo di misurazione). Successivamente, l'eventuale diafonia tra bande di frequenza vicine (crosstalk) viene corretta utilizzando analisi di correlazione secondo Eeftens M. S. B., 2018 (per una descrizione dettagliata della correzione della diafonia, vedere il capitolo 2.5.5). Per un'ulteriore analisi dei dati, le bande vengono suddivise in diversi gruppi di frequenza e sommate quadraticamente al loro interno. La definizione dei gruppi di frequenza si è basata sulla loro applicazione tecnica o sulla loro origine.

Le bande HF sono state suddivise in 7 gruppi. I numeri corrispondono alle bande di frequenza elencata nella Tabella 2:

- Radiodiffusione: questa categoria include radio, DAB, TV nelle bande da 1 a 8.
- Radio mobile uplink (terminali): Corrisponde ai numeri di banda 9, 13, 14, 17, 20, 23.
- Radio mobile in downlink (stazioni base): Corrisponde ai numeri di banda 11, 12, 15, 16, 18, 21, 25.
- Radio mobile TDD: un caso particolare è rappresentato dalle bande di frequenza TDD (Time Division Duplexing) (743-753 MHz, 2570-2615 MHz e 3500-3800 MHz), che vengono utilizzate a divisione temporale per l'uplink e il downlink. Ciò significa che non è possibile un'allocazione funzionale in uplink e downlink basandosi sulla frequenza. Si può ipotizzare che nelle misurazioni all'aperto l'esposizione sia dominata dal downlink, mentre nei trasporti pubblici e nelle aree interne accessibili al pubblico è probabile che anche l'uplink svolga un ruolo importante. Corrisponde ai numeri di banda 10, 24, 26, 27, 28.
- W-LAN: Banda numero 22 e da 29 a 35
- Telefono cordless: Banda numero 19
- RF-EMF totale: la somma totale di tutte le bande

Per i campi magnetici a bassa frequenza viene effettuato il seguente raggruppamento di frequenza:

- Corrente ferroviaria: la banda principale corrisponde alla banda numero 2 e l'armonica si trova nella banda numero 3. Una banda separata per l'armonica è stata omessa perché la sua ampiezza era trascurabile nelle misure di prova.
- Corrente domestica: la banda principale corrisponde alla banda numero 4 e le armoniche sono le bande numero 6 e 8.
- Corrente di tram (corrente trifase rettificata): la banda principale corrisponde alla banda numero 10 e le armoniche sono le bande numero 12 e 14
- ELF-MF totale: corrisponde alla somma dei tre gruppi precedenti, cioè senza tenere conto delle bande intermedie non specifiche.

2.4.3 Statistiche descrittive

Tutte le valutazioni delle misure RF vengono eseguite con la densità di flusso di potenza e poi trasformate in intensità di campo elettrico (V/m) per i rapporti. Per le misure RF, l'analisi dei dati viene eseguita sia per i valori RMS che per i valori di picco, e separatamente per ciascuna banda di frequenza funzionale. Poiché non è noto quali siano i parametri dell'esposizione biologicamente più rilevanti, viene valutata una serie di possibili misure di esposizione. A tal fine, tutti i dati di un periodo di riferimento per tipo di microambiente vengono aggregati e vengono calcolate le seguenti statistiche di sintesi: Minimo, mediana, media aritmetica, massimo e percentili diversi (05°, 25°, 75°, e 95°).

Si noti che quando nel seguito si utilizza il termine valore medio per i dati HF-EMF, ci si riferisce al valore medio aritmetico della densità di flusso di potenza, che viene poi trasformato in intensità di campo elettrico. Lo stesso vale per la formazione di somme su frequenze diverse. Va detto che questa forma di mediazione è fisicamente applicabile solo per i valori effettivi (RMS). Tuttavia, per semplificare la presentazione, di seguito vengono formate anche le somme o le medie dei valori di picco utilizzando la stessa metodologia. Tuttavia, i valori di picco delle diverse frequenze si verificano generalmente in momenti diversi durante un intervallo di misura. Ciò significa che la somma dei valori di picco per le diverse frequenze porta a una sovrastima dei valori di picco riportati. Tuttavia, va notato che durante un intervallo di misura di sei secondi, tutte le bande di frequenza vengono scansionate una dopo l'altra. In questo senso, possono sfuggire i picchi a breve termine, il che contribuisce a una sottostima dei valori di picco. La procedura scelta ha il vantaggio di formare una misura robusta che riflette in modo significativo la tipica dinamica temporale tra valori medi e valori di picco (il cosiddetto fattore di cresta).

2.5 Strumenti di misura

Per le misurazioni vengono utilizzati esposimetri portatili con data logger integrati di Fields at Work. La misura dei campi magnetici a bassa frequenza (NF-MF) è coperta dal dispositivo ExpoM-ELF, mentre per i campi elettromagnetici ad alta frequenza (HF-EMF) si utilizzano i dispositivi ExpoM-RF di ultima generazione (revisione 4).

I dispositivi di misura ExpoM (Figura 9) sono compatti e leggeri e dispongono di un registratore GPS integrato. Sono quindi particolarmente adatti per le misurazioni mobili. Tuttavia, le misure spot e le misure stazionarie previste nell'ambito di questo progetto possono essere effettuate anche con essi, in modo da garantire una comparabilità ottimale di tutti i risultati di misura.



Figura 9: Dispositivi di misura utilizzati: ExpoM-ELF (a sinistra) e ExpoM-RF 4 (a destra).

Gli strumenti di misura della famiglia ExpoM sono utilizzati in tutto il mondo e negli ultimi anni sono stati impiegati per numerosi studi e campagne di misura in Svizzera e all'estero.

2.5.1 Specifiche generali dell'unità

L'ExpoM-ELF è un misuratore di campo magnetico a 3 assi che copre la gamma di frequenza da DC a 100 kHz e può rilevare intensità di campo magnetico fino a $\pm 1500 \mu\text{T}$ nella sensibilità standard. Le misure sono effettuate nel dominio del tempo e contengono quindi il massimo grado di informazione possibile. Le valutazioni selettive di banda vengono eseguite utilizzando una successiva elaborazione digitale del segnale (FFT) delle misure nel dominio del tempo.

L'ExpoM-RF 4 è un esposimetro configurabile, selettivo per banda, per campi elettromagnetici ad alta frequenza da 50 MHz a 6 GHz e registra l'intensità del campo elettrico in V/m. Sono disponibili tre intervalli di sensibilità (6, 20 e 50 V/m). Lo strumento misura in modo selettivo all'interno di una larghezza di banda selezionabile di 35, 75 o 100 MHz. È possibile definire bande con qualsiasi frequenza centrale all'interno dell'intervallo di misura specificato. L'ExpoM-RF prende un campione casuale dell'immissione in tutte le bande preconfigurate in ogni intervallo di misura (vedi Tabella 2). Il valore effettivo (RMS) e il valore di picco a breve termine (massimo) vengono determinati e memorizzati da questi campioni (ciascuno con una durata di misurazione di circa 50 ms).

Le specifiche dettagliate di entrambi gli apparecchi sono disponibili nelle pagine dei prodotti corrispondenti del sito web di Fields at Work (www.fieldsatwork.ch).

2.5.2 Selezione delle bande di frequenza

Per questo progetto sono state selezionate 35 bande di frequenza nella gamma NF-MF e HF-EMF, che coprono tutti i principali servizi di radiodiffusione, telefonia mobile e wireless, nonché le immissioni NIR causate dalle infrastrutture. Le 35 bande di frequenza sono calibrate individualmente per ogni dispositivo nella camera di misura anecoica (campo lontano).

Le bande di frequenza RF sono elencate in Tabella 2 e corrispondono per quanto possibile a servizi specifici. Le spiegazioni delle abbreviazioni si trovano nel glossario (allegato I).

Le bande NF sono elencate in Tabella 3. In Svizzera, la maggior parte delle ferrovie a corrente alternata funziona a una frequenza di 16,7 Hz. La corrente dell'alimentazione generale ha una frequenza

di 50 Hz. I tram, i filobus e le ferrovie a corrente continua funzionano a corrente continua. Poiché questa viene normalmente generata rettificando la corrente alternata trifase (con una frequenza di 50 Hz), una componente di corrente alternata di 300 Hz (6 volte quella di 50 Hz) può essere sovrapposta alla corrente continua (la cosiddetta corrente di ondulazione), come spiegato qualitativamente in

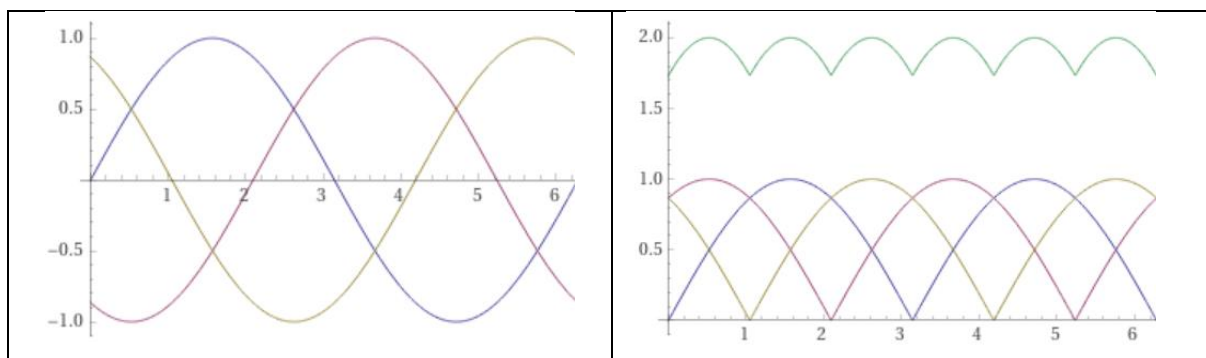


Figura 10 . In Tabella 3 alcune bande di frequenza specifiche sono incluse con la corrente di trazione (da 16 a 17 Hz), la tensione di rete (50 Hz) e la corrente trifase rettificata (300 Hz, "tram") e parte delle relative armoniche, che coprono i campi delle sorgenti più comuni. Lo spettro rimanente tra 5 Hz e 100 kHz è coperto da bande intermedie non specifiche ed è completamente registrato. A partire da marzo 2022, queste bande non specifiche non sono incluse nella valutazione dei dati perché non è stato possibile rilevare segnali significativi in esse durante le valutazioni effettuate finora. Tuttavia, i dati sono completamente contenuti nel database e possono essere valutati se necessario. Allo stesso modo, i dati grezzi degli strumenti di misura sono memorizzati nel file system, il che significa che una valutazione successiva di altre bande di frequenza sarebbe tecnicamente possibile.

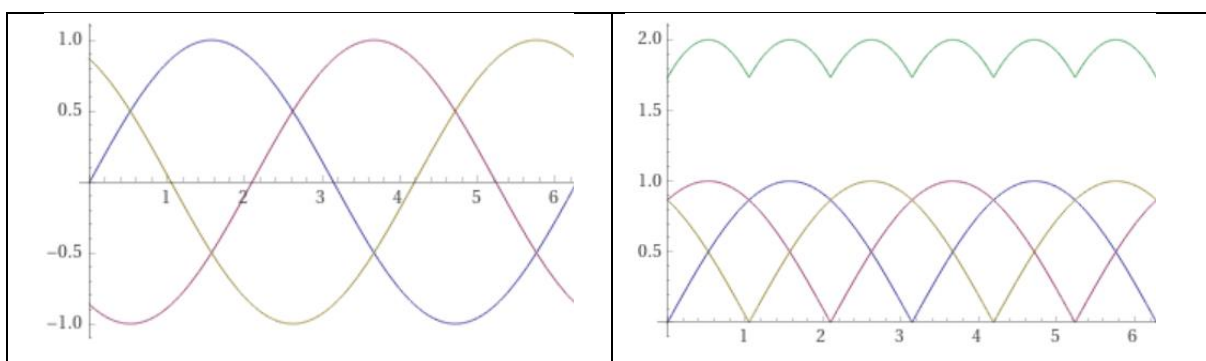


Figura 10: Illustrazione qualitativa della componente AC della corrente trifase rettificata: le tre fasi della corrente trifase corrispondono a tre curve sinusoidali, ciascuna sfasata di 120° (diagramma di sinistra). Queste tre tensioni alternate possono essere rettificate (corrispondenti alla grandezza delle curve sinusoidali nella metà inferiore della figura di destra). Se si aggiungono queste tensioni, il risultato è una tensione continua con una struttura ad ondulazione pari a sei volte la frequenza fondamentale (curva verde nel grafico di destra).

Tabella 2: Elenco delle bande di frequenza HF.

Banda HF-EMF r.	Descrizione	Frequenza centrale in MHz	Larghezza di banda in MHz	Categoria di servizio
1	Radio FM	97.75	35	radiodiffusione
2	DAB/DAB	202	75	radiodiffusione
3	Polycom / TETRAPOL	385	35	infrastruttura
4	TETRAPOL, amateur, ISM 433	422.5	35	ISM, pubblico
5	PMR/PAMR (radio d'entreprise)	452.5	35	infrastruttura
6	Broadcasting CH (1)	507.5	75	radiodiffusione
7	Broadcasting CH (2)	583.5	75	radiodiffusione
8	Broadcasting CH (3)	659.5	75	radiodiffusione
9	Mobile 700 UL (CH)	718	35	uplink cellulare
10	Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	748	35	cellulare TDD
11	Mobile 700 DL (CH)	770.5	35	downlink cellulare
12	Mobile 800 DL	808.5	35	downlink cellulare
13	Mobile 800 UL	847	35	uplink cellulare
14	Mobile 900 UL	897.5	35	uplink cellulare
15	Mobile 900 DL	942.5	35	downlink cellulare
16	Mobile 1400 SDL (CH)	1479.5	75	downlink cellulare
17	Mobile 1800 UL	1747.5	75	uplink cellulare
18	Mobile 1800 DL	1842.5	75	uplink cellulare
19	DECT	1897.5	35	
20	Mobile 2100 UL	1957	75	uplink cellulare
21	Mobile 2100 DL	2145	75	downlink cellulare
22	ISM 2.4 GHz	2438	100	WiFi
23	Mobile 2600 DL	2535	75	uplink cellulare
24	Mobile 2600 TDD (Swisscom)	2592.5	35	cellulare TDD
25	Mobile 2600 DL	2657	75	downlink cellulare
26	Mobile 3500 (1)*	3475	100	cellulare TDD
27	Mobile 3500 (2)*	3605	100	cellulare TDD
28	Mobile 3500 (3)*	3735	100	cellulare TDD
29	WiFi 5 GHz (1)	5200	100	WiFi
30	WiFi 5 GHz (2)	5325	100	WiFi
31	WiFi 5 GHz (3)	5450	100	WiFi
32	WiFi 5 GHz (4)	5575	100	WiFi
33	WiFi 5 GHz (5)	5700	100	WiFi
34	WiFi / SRD 5,8 GHz (1)	5825	100	WiFi
35	WiFi / SRD 5,8 GHz (2)	5950	100	WiFi

*Le frequenze centrali e le larghezze di banda sono state selezionate in modo tale che, tenendo conto della diafonia, la gamma di frequenze da 3400 a 3800 MHz sia mappata senza lacune.

Tabella 3: Elenco delle bande di frequenza NF.

Banda NF-MF	Descrizione	Frequenza centrale in Hz	Larghezza di banda in Hz	Categoria di servizio
1	Banda LF da 5 a 15 Hz	10	10	
2	Corrente ferroviaria, 16-17 Hz	16.5	1	Trasporto pubblico
3	Banda LF da 18 a 48 Hz in μ T	33	30	Banda intermedia non specifica
4	Tensione di rete CA, da 49 a 51 Hz	50	2	Rete elettrica
5	Banda LF da 52 a 98 Hz	75	46	Banda intermedia non specifica
6	Tensione di rete prima armonica, da 99 a 101 Hz	100	2	Rete elettrica
7	Banda LF da 102 a 148 Hz	125	46	Banda intermedia non specifica
8	Tensione di rete seconda armonica, da 149 a 151 Hz	150	2	Rete elettrica
9	Banda LF da 152 a 298 Hz	225	146	Banda intermedia non specifica
10	Corrente di tram (CC con ondulazione di corrente), da 299 a 301 Hz	300	2	Trasporto pubblico
11	Banda LF da 302 a 598 Hz	450	296	Banda intermedia non specifica
12	Corrente di tram prima armonica, da 599 a 601	600	2	Trasporto pubblico
13	Banda LF da 602 a 898 Hz	750	296	Banda intermedia non specifica
14	Corrente del tram seconda armonica, da 899 a 901 Hz	900	2	Trasporto pubblico
15	Banda LF da 902 a 1000 Hz	951	98	Banda intermedia non specifica
16	Banda HF - da 1 a 5 kHz	3000	4000	Blocco di frequenza non specifico
17	Banda HF da 5,1 a 10 kHz	7550	4900	Blocco di frequenza non specifico
18	Banda HF da 10,1 a 15 kHz	12550	4900	Blocco di frequenza non specifico
19	Banda HF da 15,1 a 20 kHz	17550	4900	Blocco di frequenza non specifico
20	Banda HF da 20,1 a 25 kHz	22550	4900	Blocco di frequenza non specifico
21	Banda HF da 25,1 a 30 kHz	27550	4900	Blocco di frequenza non specifico
22	Banda HF da 30,1 a 35,1 kHz	32600	5000	Blocco di frequenza non specifico
23	Banda HF da 35,1 a 40 kHz	37550	4900	Blocco di frequenza non specifico
24	Banda HF da 40,1 a 45 kHz	42550	4900	Blocco di frequenza non specifico
25	Banda HF da 45,1 a 50 kHz	47550	4900	Blocco di frequenza non specifico
26	Banda HF da 50,1 a 55 kHz	52550	4900	Blocco di frequenza non specifico
27	Banda HF da 55,1 a 60 kHz	57550	4900	Blocco di frequenza non specifico
28	Banda HF da 60,1 a 65 kHz	62550	4900	Blocco di frequenza non specifico
29	Banda HF da 65,1 a 70 kHz	67550	4900	Blocco di frequenza non specifico
30	Banda HF da 70,1 a 75 kHz	72550	4900	Blocco di frequenza non specifico
31	Banda HF da 75,1 a 80 kHz	77550	4900	Blocco di frequenza non specifico
32	Banda HF da 80,1 a 85 kHz	82550	4900	Blocco di frequenza non specifico
33	Banda HF da 85,1 a 90 kHz	87550	4900	Blocco di frequenza non specifico
34	Banda HF da 90,1 a 95 kHz	92550	4900	Blocco di frequenza non specifico
35	Banda HF da 95,1 a 100 kHz	97550	4900	Blocco di frequenza non specifico

2.5.3 Accuratezza della misurazione

La tabella seguente elenca le incertezze di misura dei due strumenti di misura. L'analisi dell'incertezza dell'ExpoM-ELF si riferisce alla misura di campi alternati, cioè la componente DC non viene presa in considerazione.

Tabella 4: Precisione di misura degli strumenti di misura utilizzati. Il calcolo dell'incertezza combinata tiene conto della distribuzione dei singoli contributi secondo le linee guida GUM stabilite (JCGM, 2008).

Variabile d'influenza	Descrizione	Distribuzione	Contributo ExpoM-ELF	Contributo ExpoM-RF
Calibrazione	Incetanze delle intensità di campo di riferimento durante le misure di calibrazione dovute all'impostazione e all'apparecchiatura di misura	Normale	3.7%	10.7%
Risposta in frequenza	Variazione delle costanti di calibrazione per le misure al di fuori dei punti di frequenza calibrati	uniforme	5.0%	28.3%
Non linearità	Variazione delle costanti di calibrazione per misure al di fuori dei valori di ampiezza calibrati / interpolazione	uniforme	1.0%	5.8%
Anisotropia	Sensibilità direzionale del misuratore	uniforme	1.0%	49.6%
Risoluzione	Errori di arrotondamento e offset digitali	uniforme	0.5%	3.0%
Temperatura	Incetanza dovuta alla deriva termica di sensori ed elettronica	uniforme	2.5%	10%
Ripetibilità	Variazioni casuali (rumore)	Normale	0.5%	1.0%
TOTALE	Incetanza di misura combinata (intervallo di confidenza del 95%)		3,9% / 0,33 dB	34,1% / 2,6 dB

La Tabella 4 mostra che nell'ambito NF l'incertezza di misura è bassa. La deviazione prevista è del 3,9%. Per le misure HF, l'incertezza è significativamente maggiore, pari a $\pm 34,1\%$. Questo è prevedibile dal punto di vista della misurazione. Va sottolineato che questa incertezza di misura si riferisce a un singolo valore misurato. Tuttavia, se il dispositivo di misura viene spostato durante la misurazione di un percorso, le incertezze nel valore medio del microambiente corrispondente si compensano in larga misura. Idealmente, se tutti gli errori fossero distribuiti in modo casuale e normale, l'incertezza si ridurrebbe con la radice quadrata del numero di valori misurati. Se si ipotizzano 150 valori di misurazione per microambiente (intervallo di misurazione di 6 secondi per 15 minuti), l'incertezza di misurazione del valore medio si ridurrebbe idealmente a $\pm 3\%$. In realtà, però, questo non è possibile perché è improbabile che alcuni contributi all'errore siano indipendenti. Ciò riguarda principalmente la temperatura, la calibrazione e in parte la risposta in frequenza. Pertanto, l'incertezza effettiva del valore medio per microambiente è dell'ordine di $\pm 10\%$. Questo intervallo di incertezza è stato confermato con la versione precedente del dispositivo durante le misurazioni parallele sul campo. (Eeftens M. D. S., 2020).

2.5.4 Influenza della schermatura del corpo

Dalla fabbrica, le unità ExpoM-RF vengono calibrate nella camera di misura anecoica in campo libero. In questo caso, il dispositivo si trova su una piattaforma isolata indipendente, che ha un'influenza trascurabile sul campo in ingresso. In pratica, tuttavia, il dispositivo di misurazione viene portato in uno zaino durante le misurazioni del percorso e viene indossato a una distanza relativamente ridotta (circa 20 cm) dal corpo. Questi fattori possono influenzare in una certa misura l'intensità del campo elettromagnetico misurato attraverso effetti di attenuazione, ombreggiamento e riflessione. L'entità di questi effetti è stata analizzata utilizzando il set-up di misura utilizzato nel progetto per le misurazioni di percorso. A tal fine, sono state determinate le differenze nell'intensità di campo media registrata quando i

dispositivi di misura sono stati esposti in condizioni e direzioni di incidenza diverse. Le misure sono state effettuate in condizioni estreme controllate nella camera di misura anecoica. Nelle situazioni quotidiane, gli effetti dell'ombreggiatura sono attenuati dalla presenza di più sorgenti/direzioni di incidenza e riflessioni nell'ambiente.

Frequenze: La camera di misura anecoica ha un limite di frequenza inferiore di 350 MHz. Ciò significa che si deve rinunciare alla valutazione delle due bande di frequenza più basse dell'elenco SwissNIS (97,75 MHz e 202 MHz). Le restanti 33 bande da 385 a 5950 MHz sono state tutte considerate in questa valutazione.

Intensità di campo: poiché questo rapporto esamina principalmente le influenze relative, l'intensità di campo assoluta non gioca un ruolo decisivo. L'intensità di campo di 0,875 V/m è stata scelta in modo tale che i valori misurati rientrassero nell'intervallo di misura ottimale degli strumenti di misura.

Orientamento e polarizzazione: la misurazione è stata effettuata da quattro direzioni con due polarizzazioni ciascuna (per un totale di 8 misurazioni per scenario). Poiché lo zaino ha un orientamento ben definito durante l'uso, le misurazioni sono state limitate a quattro direzioni laterali di incidenza. Queste sono mostrate nelle immagini seguenti (sia per lo zaino che per la valigetta di misurazione imballata al suo interno). La definizione della direzione di polarizzazione è visibile anche nelle immagini. La polarizzazione verticale prevale quando il campo E è allineato parallelamente al lato più lungo dello zaino/custodia.



Figura 11: Designazione della custodia di misura di orientamento e dello zaino con definizione della polarizzazione del campo incidente.

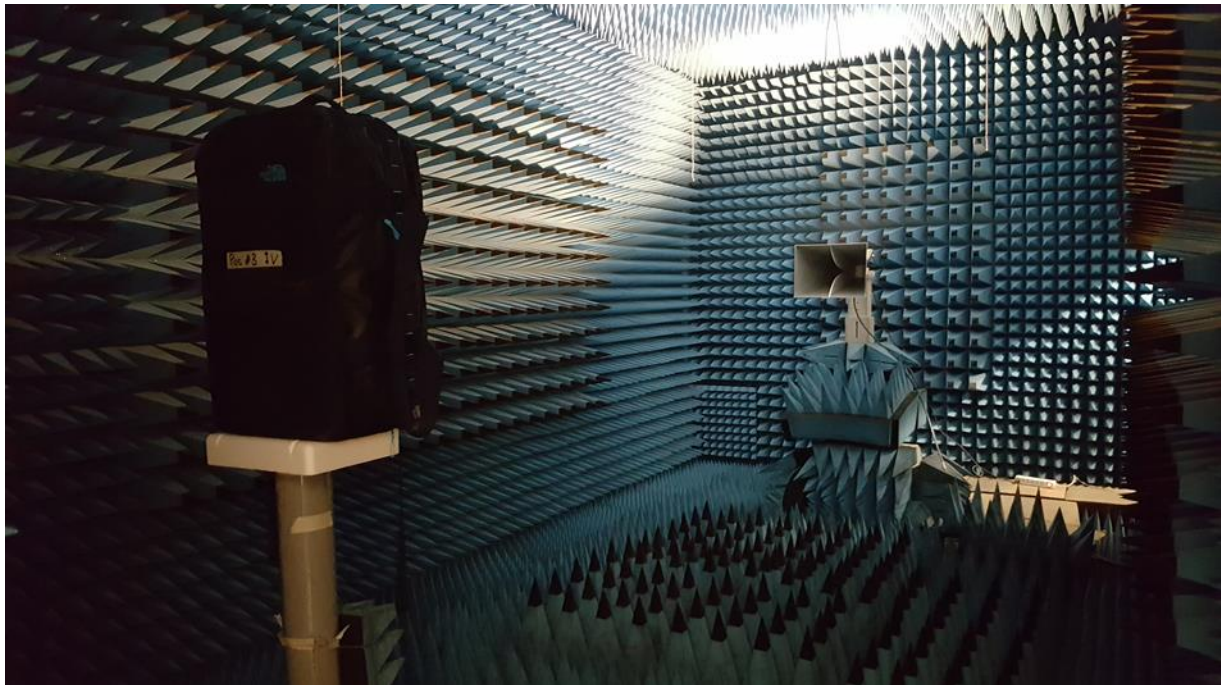


Figura 12: Installazione in camera anecoica

Risultati: I grafici seguenti riassumono le differenze misurate rispetto alla situazione di riferimento (dispositivo ExpoM-RF in campo libero). I cerchi colorati rappresentano le differenze relative delle singole misure (8 direzioni di incidenza), mentre i punti neri rappresentano la differenza relativa dopo la media di tutte le direzioni di incidenza.

In una prima misurazione (Figura 13) l'influenza dello zaino di misura è stata considerata isolatamente. Il tessuto, le parti in plastica e la vicinanza agli altri due strumenti di misura presenti nella valigetta determinano uno spostamento della sensibilità in funzione della direzione. Questo effetto è particolarmente pronunciato intorno ai 500-700 MHz e intorno ai 3,5 GHz. Tuttavia, se si considera il valore mediato su tutte le direzioni, non ci sono deviazioni sistematiche significative (-1,2% in media su tutte le frequenze). I valori estremi sono -8,5% e +12%. Scostamenti di questo ordine di grandezza possono essere causati anche da lievi differenze nel posizionamento degli strumenti di misura.

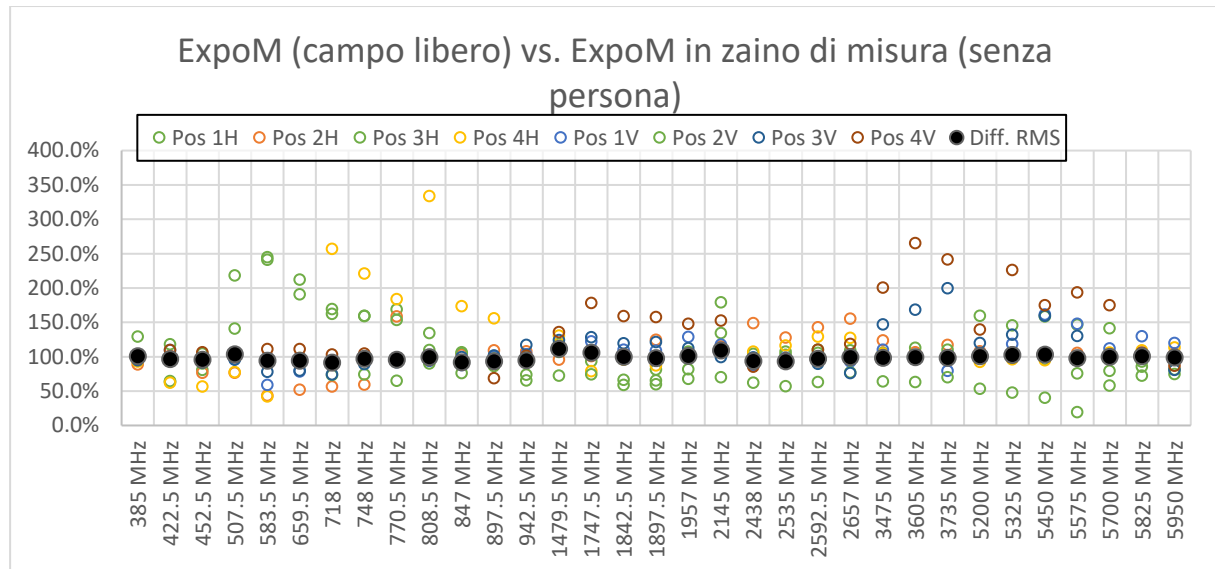


Figura 13: Spostamento relativo dei valori misurati quando l'ExpoM-RF è nello zaino di misura (senza persona)

Quando lo zaino è trasportato da una sola persona, gli effetti sono più forti, come previsto (Figura 14). A seconda della frequenza, si possono ora osservare anche spostamenti più pronunciati nei valori medi (valori estremi -32% e +18% rispettivamente). La media della deviazione su tutte le frequenze è pari a -11,6%, il che indica una leggera sottostima sistematica.

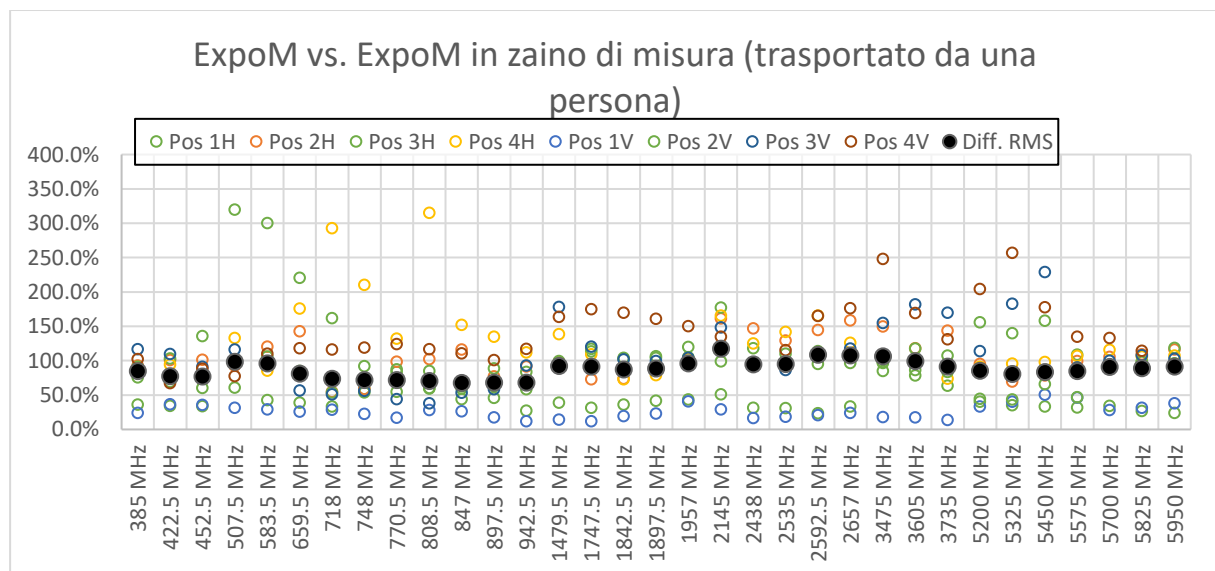


Figura 14: Spostamento relativo dei valori misurati quando l'ExpoM-RF si trova nello zaino di misura trasportato da una persona.

I risultati delle misure in camera anecoica indicano che la configurazione per le misure mobili può portare a una leggera sottostima sistematica delle intensità di campo misurate. Tuttavia, questi risultati si basano su una configurazione di laboratorio con ipotesi semplificate e un numero limitato di direzioni incidenti del campo elettromagnetico.

La deviazione media è considerata accettabile, pertanto non vengono introdotte correzioni sistematiche dei valori misurati. Se venissero introdotte tali correzioni, i valori dovrebbero essere convalidati con una misurazione di laboratorio a risoluzione più fine (più direzioni di incidenza e variazioni) e con confronti empirici su misurazioni di percorsi reali in base alla frequenza (ad esempio, persona con zaino di misurazione vs. singolo dispositivo di misurazione a una distanza significativamente maggiore dalla persona). In caso contrario, si correrebbe il rischio di falsificare i valori misurati con presunti fattori di correzione influenzati dalla configurazione di misura.

2.5.5 Correzione crosstalk

La crosstalk (diafonia) descrive il fatto che un segnale trasmesso in una banda di frequenza A ("aggressore") viene registrato anche in una banda di frequenza B adiacente ("vittima"). Questo effetto può verificarsi se le due bande di frequenza sono sufficientemente vicine l'una all'altra, in modo che il filtraggio della frequenza nel dispositivo di misura non possa ottenere una netta separazione tra le bande.

Nelle misure ad alta frequenza, la crosstalk è presente in alcune bande di frequenza con una spaziatura di frequenza relativamente piccola o con una sovrapposizione. Le coppie di bande per le quali applicare la correzione della diafonia sono determinate dal coefficiente di correlazione (correlazione di Pearson) tra queste bande, dalla spaziatura di frequenza tra le singole bande e dalla correlazione qualitativa delle sorgenti NIS (applicazione simile o diversa). Delle 34 coppie di bande adiacenti, sono state selezionate 4 coppie di bande e presentate in Tabella 5 che soddisfano i criteri definiti per l'applicazione di una correzione crosstalk.

Tabella 5: *Coppie di bande selezionate per l'applicazione delle correzioni crosstalk con i criteri decisivi per la selezione.

No.	Banda 1*	Banda 2*	Criteri decisivi
1	8-radiodiffusione CH (3)	9-Mobile 700 UL (CH)	Correlazione di Pearson > 0,36 Spaziatura di frequenza: 3,5 MHz Non correlato (radiodiffusione / telefoni cellulari)
2	9-Mobile 700 UL (CH)	10-Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	Correlazione di Pearson > 0,22 Spaziatura di frequenza: -5 MHz applicazione correlata (radio mobile)
3	10-Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	11-Mobile 700 DL (CH)	Correlazione di Pearson > 0,20 Spaziatura di frequenza: -12,5 MHz applicazione correlata (radio mobile)
4	18-Mobile 1800 DL	19-DECT	Correlazione di Pearson > 0,66 Spaziatura di frequenza: 0 MHz Non correlato (antenne di telefonia mobile / telefoni fissi)

Per eseguire la correzione crosstalk dei dati RF-EMF, è stato utilizzato uno script R sviluppato da Ef-tens M. S. B. (2018). L'algoritmo di correzione consiste nelle seguenti fasi:

1. Definizione dei cluster in cui può verificarsi la diafonia. L'inizio e la fine di nuovi cluster coincidono con una variazione improvvisa del valore assoluto di una banda o del rapporto tra la banda delle vittime e quella degli aggressori. Questo cambiamento è chiamato tasso di variazione (ROC) e un fattore di 10 (valori RMS) o 50 (valori di picco) entro 24 secondi è stato fissato come soglia per un cambiamento "improvviso".

2. Se all'interno di questi cluster il livello di correlazione tra le due bande è superiore a una soglia definita (0,2 per le sorgenti non correlate o 0,4 per quelle correlate), viene assegnato un valore di sostituzione alla banda vittima. Il valore di sostituzione è calcolato come il livello di esposizione tipico in ogni ambiente di misurazione e per ogni banda di frequenza: l'esposizione mediana in quella banda di frequenza dai valori di misurazione che non soddisfano i criteri di correzione e sono stati registrati nello stesso ambiente di misurazione. Le correzioni sono state effettuate solo se il valore di sostituzione è inferiore al valore misurato, in modo che l'esposizione non venga mai corretta verso l'alto.

In Tabella 6 gli effetti della correzione applicata alle bande selezionate sono mostrati a titolo di esempio per l'intero set di dati delle prime due campagne di misurazione del percorso. Ad esempio, il 53,7% dei punti dati DECT RMS sono stati corretti, con una conseguente riduzione del 53,7% dell'esposizione media DECT per i valori RMS (Tabella 6), mentre solo lo 0,4% dei punti dati Mobile 1800 downlink sono stati corretti e la riduzione dell'esposizione in questa banda è dell'1,6% per i valori RMS. Appendice VII mostra la riduzione totale dell'esposizione (assoluta e percentuale) dopo l'applicazione della correzione crosstalk per le coppie di bande selezionate per ogni tipo di ambiente di misura. La correzione riduce l'esposizione totale media alle radiofrequenze per ogni tipo di ambiente di misura dallo 0 % al 3,8 % per i valori RMS e di picco. Il servizio DECT è il più colpito dalla correzione crosstalk, seguito dal servizio TDD. Per altri servizi (downlink, uplink, broadcast) l'effetto della correzione è molto limitato.

La forte riduzione dell'esposizione al DECT nelle misurazioni del percorso è dovuta al fatto che i telefoni cordless trasmettono nella banda DECT e sono utilizzati principalmente in ambienti chiusi, mentre le misurazioni del percorso sono effettuate principalmente all'aperto. I valori misurati DECT "reali" sono quindi molto bassi nelle misure di percorso, per cui il contributo della diafonia può essere proporzionalmente grande.

Tabella 6: Risultati della correzione della crosstalk per le coppie di bande selezionate N: A) Valori RMS (N = 102726) B) Valori di picco (N = 102739). Per ogni banda, sono indicati i valori medi non corretti e corretti e la riduzione media (percentuale e assoluta).

A)

No.	Banda 1	Banda 2	Soglia di correlazione	valore medio non corretto banda 1 [V/m]	valore medio non corretto banda 2 [V/m]	Valore medio corretto banda 1 [V/m]	valore medio corretto banda 2 [V/m]	Proporzione di punti dati corretti Volume 1	Proporzione di punti dati corretti Volume 1	Riduzione media Fascia 1 [%]	Riduzione media Fascia 2 [%]	Deviazione media banda 1 [V/m]	Deviazione media banda 2 [V/m]
1	8-radiodiffusione CH (3)	9-Mobile 700 UL (CH)	0.2	0.005	0.017	0.004	0.017	2.5	0.2	21.8	0.0	0.001	0.000
2	9-Mobile 700 UL (CH)	10-Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	0.4	0.017	0.010	0.017	0.009	0.4	1.7	0.2	11.8	0.000	0.001
3	10-Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	11-Mobile 700 DL (CH)	0.4	0.010	0.050	0.008	0.050	22.8	0.2	18.6	0.0	0.002	0.000
4	18-Mobile 1800 DL	19-DECT	0.2	0.122	0.061	0.121	0.028	0.4	53.7	1.6	53.7	0.002	0.032

B)

No.	Banda 1	Banda 2	Soglia di correlazione	valore medio non corretto banda 1 [V/m]	valore medio non corretto banda 2 [V/m]	valore medio corretto banda 1 [V/m]	Valore medio corretto banda 2 [V/m]	Proporzione di punti di dati corretti Volume 1	Proporzione di punti di dati corretti Volume 1	Riduzione media Fascia 1 [%]	Riduzione media Fascia 2 [%]	Deviazione media banda 1 [V/m]	Deviazione media banda 2 [V/m]
1	8-radiodiffusione CH (3)	9-Mobile 700 UL (CH)	0.2	0.056	0.183	0.044	0.183	5.6	3.2	21.6	0.1	0.012	0.000
2	9-Mobile 700 UL (CH)	10-Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	0.4	0.183	0.113	0.183	0.092	2.0	2.6	0.1	18.8	0.000	0.021
3	10-Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	11-Mobile 700 DL (CH)	0.4	0.113	0.401	0.091	0.400	29.9	0.3	19.7	0.1	0.022	0.001
4	18-Mobile 1800 DL	19-DECT	0.2	0.636	0.265	0.635	0.082	0.5	54.4	0.2	69.1	0.001	0.184

3. Risultati

3.1 Misure di percorso

3.1.1 Ambienti di misura

Nel 2021 sono state effettuate due campagne di misurazione di percorso. La prima campagna è durata dal 21.07 al 20.08 e la seconda dal 26.10 all'11.10. In totale sono stati misurati 75 microambienti, la cui distribuzione in Svizzera è illustrata nella seguente Figura 15. Oltre ai percorsi di misurazione all'aperto, sono state effettuate misurazioni anche in 53 spazi pubblici interni e sono stati raccolti dati di misurazione nei veicoli del trasporto pubblico per un periodo di circa 32 ore.

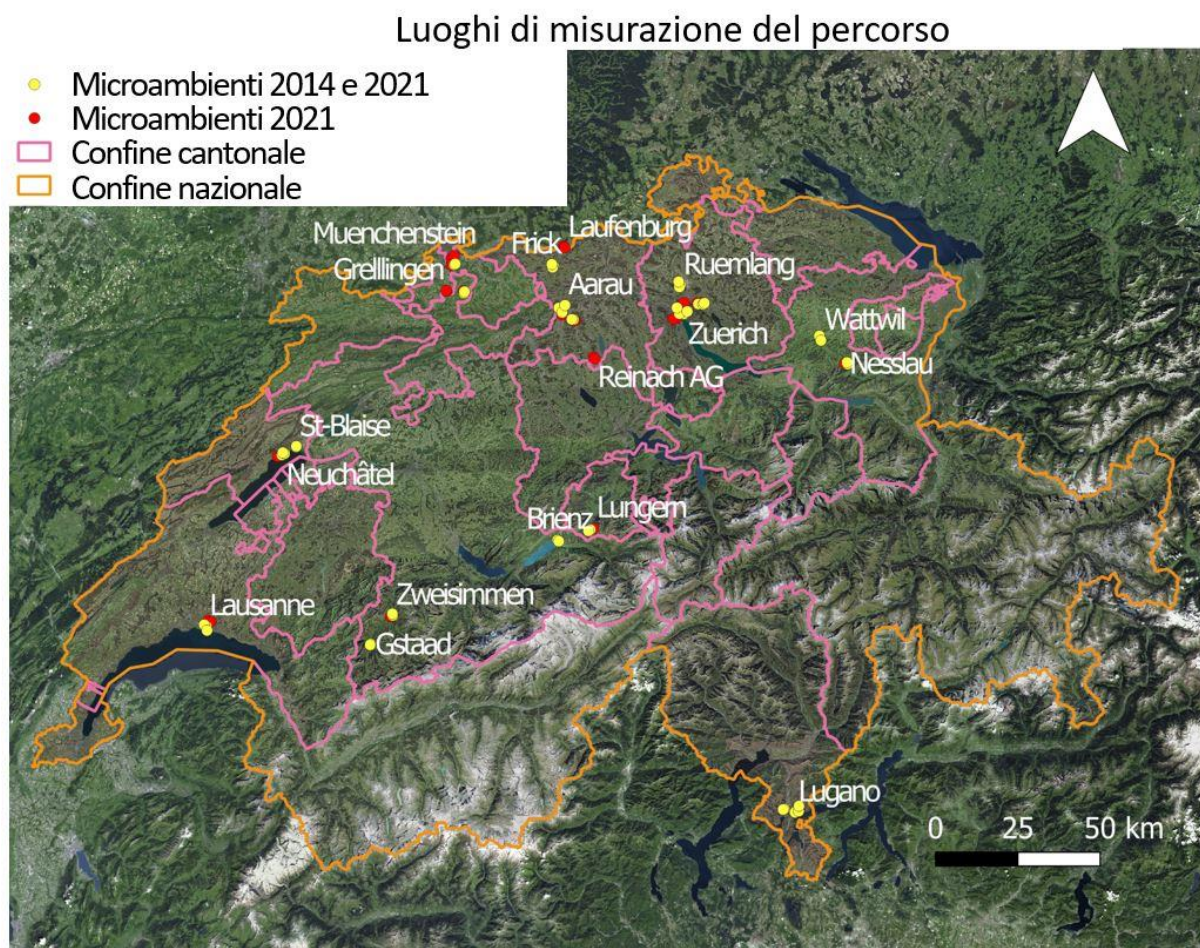


Figura 15: Mappa dei luoghi in cui sono state effettuate le misurazioni di percorso nel 2014 e nel 2021. Fonte: <https://wmnts.geo.admin.ch>

La Tabella 7 mostra il numero totale di punti di misura RMS registrati con una durata di misura di almeno 5 minuti per ogni ambiente di misura, la durata della misura e il numero di ambienti misurati per ogni tipo di ambiente di misura per l'unità RF. Il numero esatto di punti di misura varia leggermente tra l'unità RF per Peak e l'unità ELF, poiché le unità non possono essere accese e spente esattamente nello stesso momento.

L'elenco dei comuni visitati con la loro classificazione tipologica UST e i microambienti in essi definiti è riportato in Tabella 8.

Tabella 7: Numero di punti di misurazione RMS con durata di misurazione di almeno 5 minuti, tempi di misurazione e microambienti misurati per tipo di microambienti per il dispositivo RF.

	Tipo di microambiente / Tipo di ambiente di misura	Punti di misura	Durata di misurazione	Ambienti misurati
1	Treno	17994	29:59:24	62
2	Tram	501	00:50:06	5
3	Bus	1098	01:49:48	11
4	Metro	105	00:10:30	1
5	Funivia	439	00:43:54	2
6	Centro di una grande città	977	01:37:42	5
7	Zona residenziale centrale	1015	01:41:30	6
8	Zona residenziale decentrata	1504	02:30:24	8
9	Centro città	2797	04:39:42	17
10	Zona residenziale	3413	05:41:18	20
11	Zona industriale	1366	02:16:36	8
12	Zona di sport e tempo libero	554	00:55:24	3
13	Zona agricola	633	01:03:18	3
14	Zona naturale	940	01:34:00	5
15	Stazione	1582	02:38:12	17
16	Fermata di tram	284	00:28:24	5
17	Fermata di bus	544	00:54:24	7
18	Aeroporto	174	00:17:24	1
19	Supermercato	670	01:07:00	5
20	Ristoranti	4409	07:20:54	13
21	Museo	529	00:52:54	1
22	Campus universitario ETH/UNI/SUP	403	00:40:18	3
23	Biblioteca	151	00:15:06	1

Una ripartizione dettagliata del numero di ambienti di misurazione per tipo di ambiente e comune del sito si trova nell'Appendice II sia per i microambienti reali che per le aree pubbliche.

Tabella 8: Elenco dei comuni visitati, del numero N di microambienti visitati e della loro classificazione tipologica UST. (Ufficio federale di statistica, 2012).

Comunità		N	Tipologia di comune secondo l'UST
Aarau	AG	5	Città nucleo di un agglomerato di medie dimensioni (121)
Bioggio	TI	2	Comunità di lavoro urbana di un agglomerato di medie dimensioni (122)
Brienz (BE)	ES-SERE	2	Comunità turistica di un centro rurale (314)
Dübendorf	ZH	5	Comunità di lavoro urbana di un grande agglomerato (112)
Frick	AG	3	Comunità industriale di un centro rurale (316)
Gränichen	AG	3	Comunità residenziale urbana di un agglomerato di medie dimensioni (123)
Grellingen	BL	2	Comunità industriale periurbana a media densità (226)
Saanen	ES-SERE	2	Comunità turistica di un centro rurale (314)
Laufenburg	AG	3	Comunità industriale rurale in posizione centrale (326)
Losanna	VD	5	Città nucleo di un grande agglomerato (111)
Lugano	TI	3	Città nucleo di un agglomerato di medie dimensioni (121)
Lungern	ES-SERE	3	Comunità mista periferica rurale (338)
Münchenstein	BL	6	Comunità di lavoro urbana di un grande agglomerato (112)
Nesslau	SG	3	Comunità di servizio rurale in posizione centrale (327)
Neuchâtel	NE	4	Città nucleo di un agglomerato di medie dimensioni (121)
Reinach (AG)	AG	2	Comunità industriale urbana di un agglomerato piccolo o esterno (136)
Rümlang	ZH	3	Comunità industriale periurbana ad alta densità (216)
Seewen	BL	3	Comunità di servizio periurbana a bassa densità (237)
Saint-Blaise	NE	2	Comunità residenziale urbana di un agglomerato di medie dimensioni (123)
Wattwil	SG	3	Comunità industriale urbana di un agglomerato piccolo o esterno (136)
Zurigo	ZH	8	Città nucleo di un grande agglomerato (111)
Zweismen	ES-SERE	3	Comunità mista periferica rurale (338)

3.1.2 Esposizione ad HF

La distribuzione dei valori medi dell'esposizione totale alle radiofrequenze per tipo di ambiente di misura per tutti i punti di misura è mostrata in Figura 16 (valore medio dei valori effettivi RMS) e in Figura 17 (media dei valori di picco), dove i valori medi sono formati come descritto nella sezione 2.4.3 con la densità del flusso di potenza. Per determinare il valore medio più basso e quello più alto in ciascun caso, sono state considerate solo le misurazioni con una durata di almeno 5 minuti nello stesso ambiente di misurazione. Le esposizioni medie sono tutte inferiori a 0,67 V/m (valori effettivi RMS). I valori tendono a essere più elevati nelle aree di trasporto pubblico (stazione ferroviaria, fermate degli autobus, aeroporto) e nelle aree industriali, sportive e ricreative. Rispetto alla variabilità all'interno dello stesso tipo di ambiente di misura, le differenze tra gli ambienti di misura sono piuttosto ridotte. Per quanto riguarda i valori di picco, si osserva uno schema simile, semplicemente a un livello più alto. La media dei valori di picco è un massimo di 4,2 V/m (fermata del tram). La dispersione dei valori misurati in tutte le misurazioni per i valori RMS e di picco (senza aggregazione per ambiente di misura) possono essere ricavati da

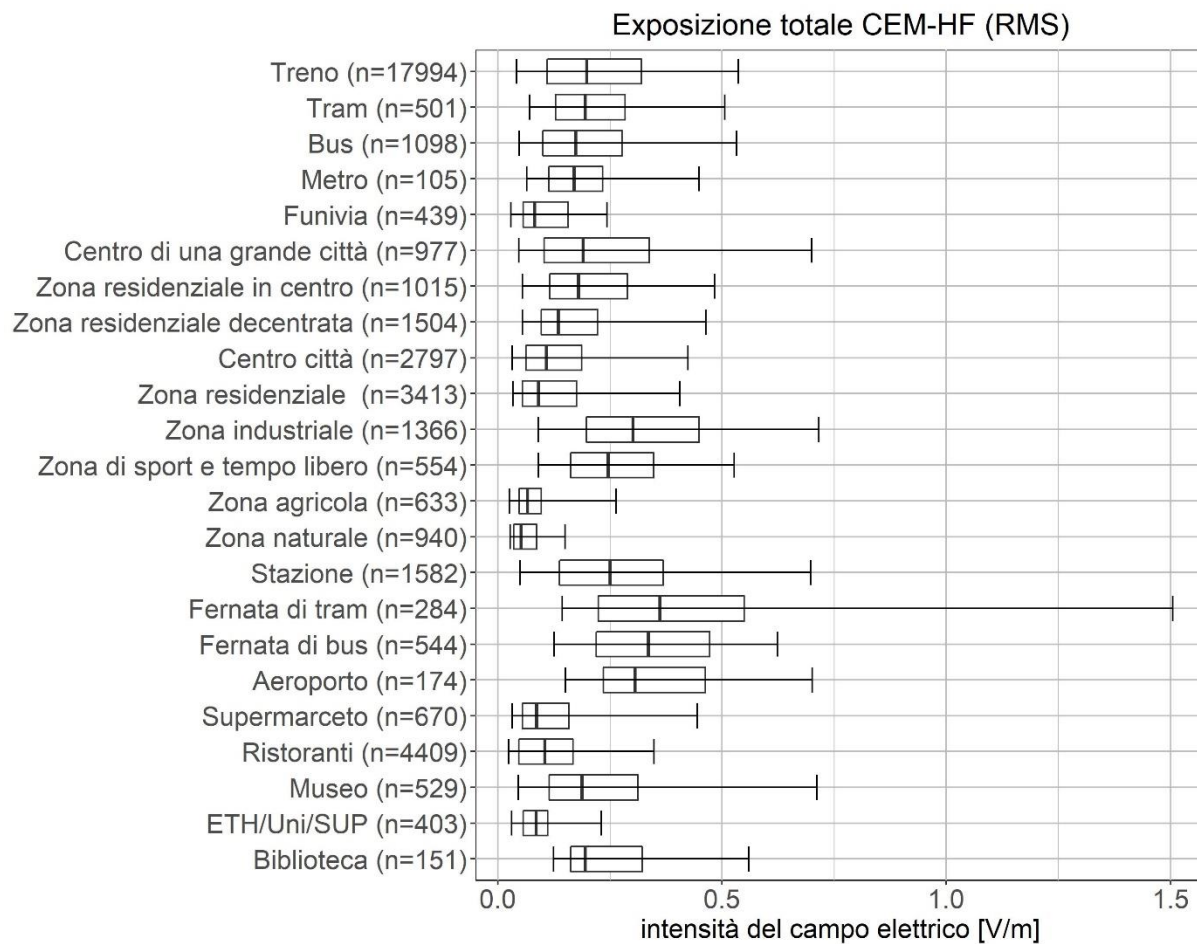


Figura 18 Figura 18 e Figura 19Figura 19.

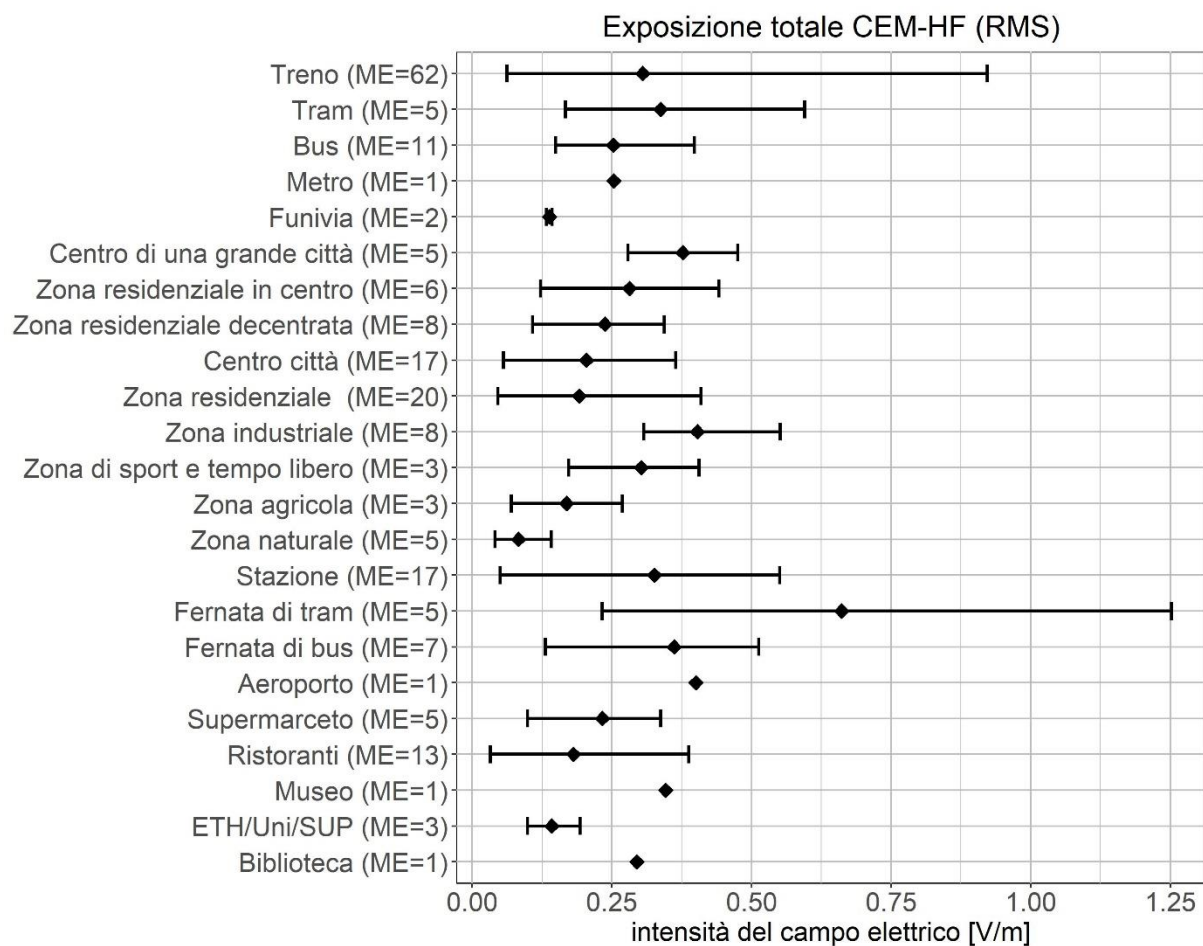


Figura 16: Confronto delle misure RMS HF-EMF dei diversi ambienti di misura. Il rombo mostra il valore medio di tutte le misure per tipo di ambiente di misura. L'intervallo mostra il valore medio più basso e più alto per ogni singolo ambiente di misura. "ME" indica il numero di ambienti di misura inclusi.

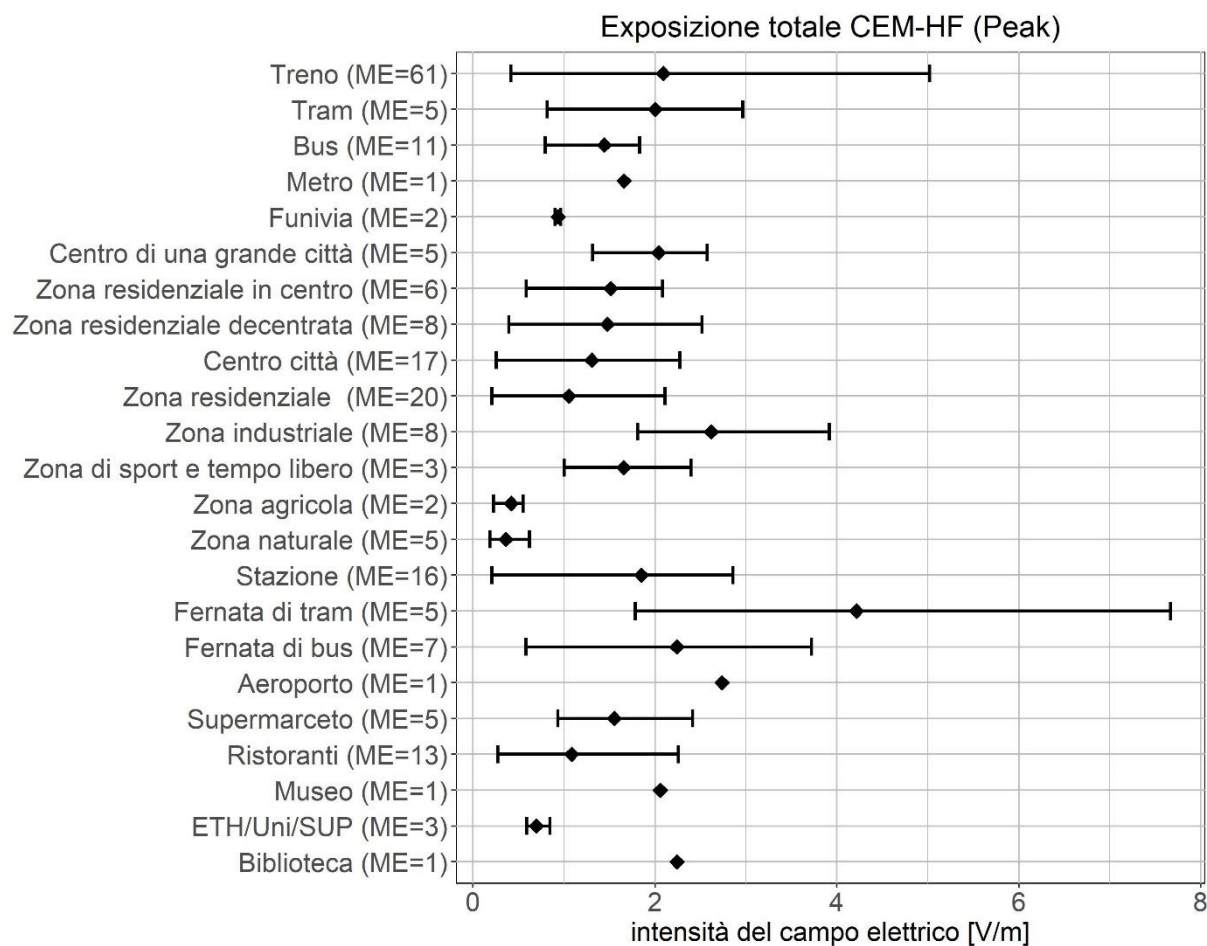


Figura 17: Confronto tra le RF-EMF di picco dei diversi ambienti di misura. Il rombo mostra il valore medio di tutte le misure per tipo di ambiente di misura. L'intervallo mostra il valore medio più basso e più alto per ogni singolo ambiente di misura. "ME" indica il numero di ambienti di misura inclusi.

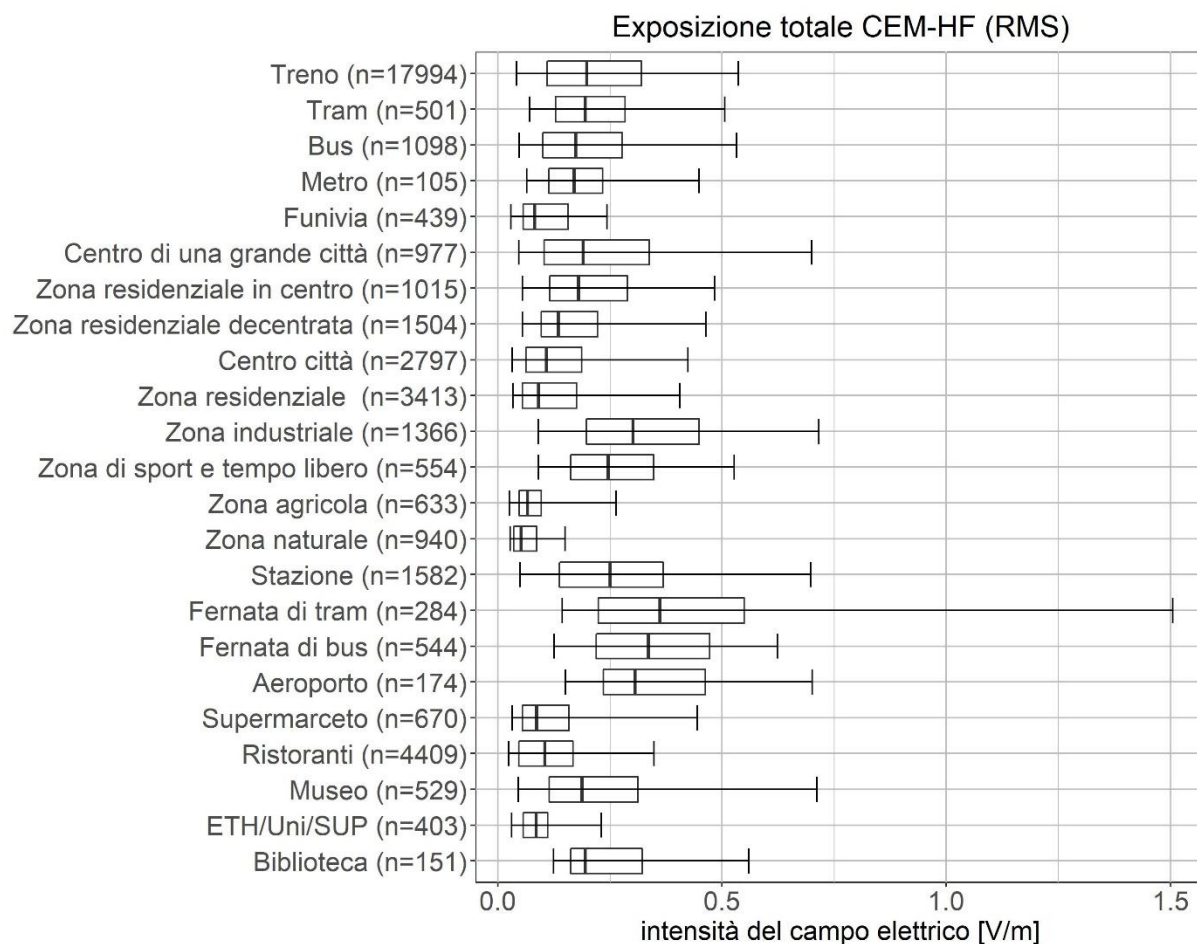


Figura 18: dispersione della CEM-HF RMS dei diversi ambienti di misura. La linea centrale mostra la mediana, le caselle il 25° e il 75° percentile e l'intervallo il 5° e il 95° percentile per tipo di ambiente di misurazione. "n" indica il numero di punti dati per tipo di ambiente di misura.

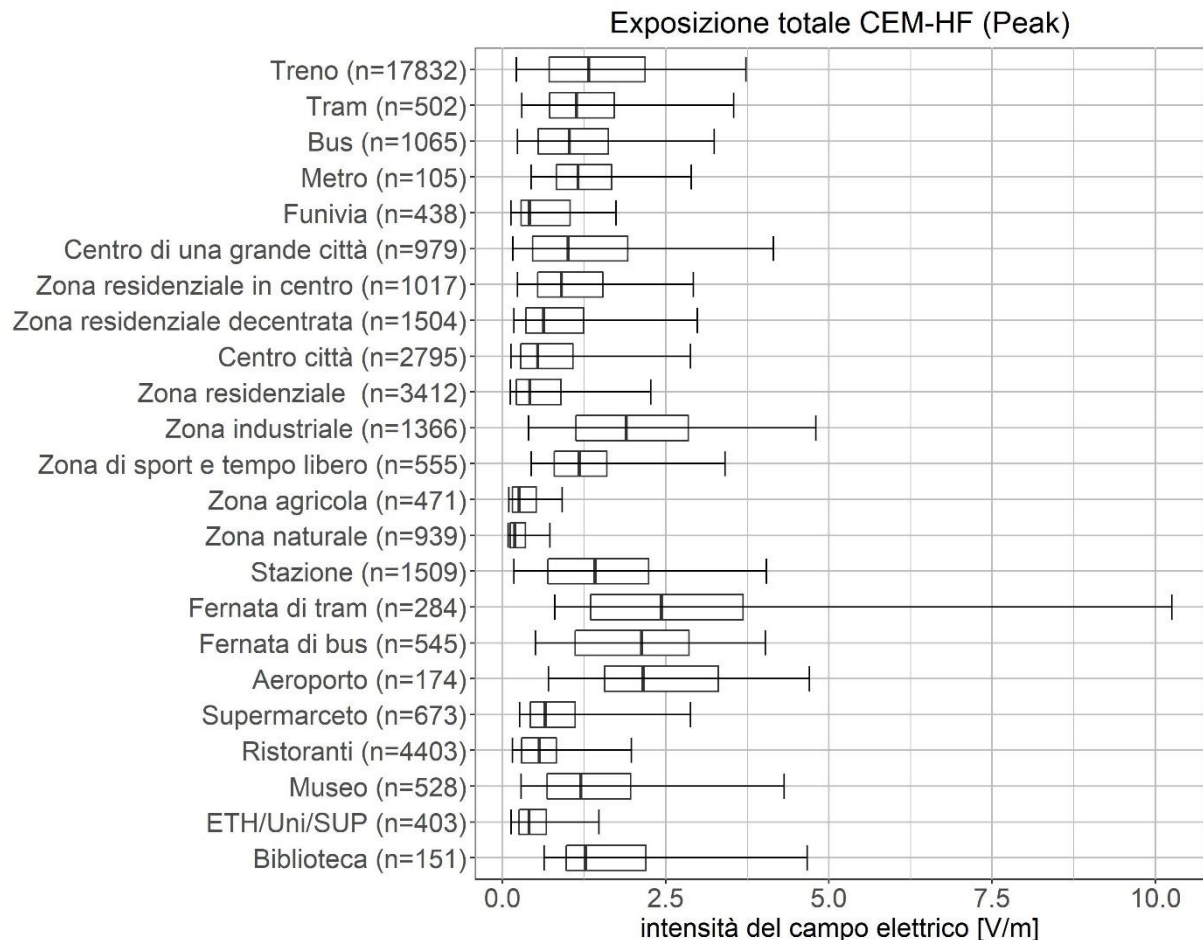


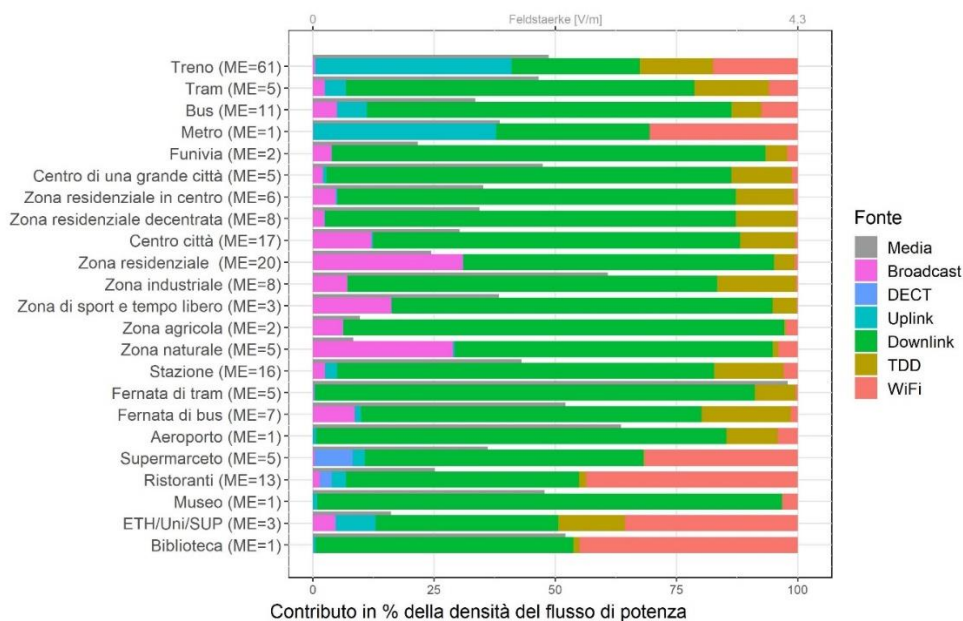
Figura 19: dispersione del picco CEM-HF dei diversi ambienti di misura. La linea centrale mostra la mediana, le caselle il 25° e il 75° percentile e l'intervallo il 5° e il 95° percentile per tipo di ambiente di misurazione. "n" indica il numero di punti dati per tipo di ambiente di misura.

3.1.3 Esposizione alle radiofrequenze per tipo di sorgente

Di seguito, viene mostrata la quota delle diverse sorgenti di CEM nell'esposizione totale alle radiofrequenze, suddivisa per ambiente di misurazione. La Figura 20 mostra le proporzioni dei valori A) RMS e B) di picco. Per la presentazione, i valori medi per ambiente di misurazione sono stati prima formati dai dati di misurazione e poi mediati sui singoli ambienti di misurazione per tipo di ambiente di misurazione. Sono state considerate solo le misurazioni con una durata di almeno 5 minuti all'interno dello stesso ambiente di misurazione. Per la maggior parte degli ambienti di misura, la principale fonte di esposizione è il "downlink" (antenne di telefonia mobile). Per la metropolitana, l'"uplink" (telefoni cellulari) è la principale fonte di esposizione, mentre per l'area naturale e le università è il "broadcast" (radiodiffusione).

Nell'allegato III, i parametri statistici per i dati di misurazione RF RMS, suddivisi per tipo di microambiente e categorie di servizio (broadcast, uplink, downlink, TDD, WLAN), sono elencati nelle tabelle da 17 a 21. A)

Contributo delle diverse sorgenti al CEM totale ad alta frequenza



B)

Contributo delle diverse sorgenti al CEM totale ad alta frequenza

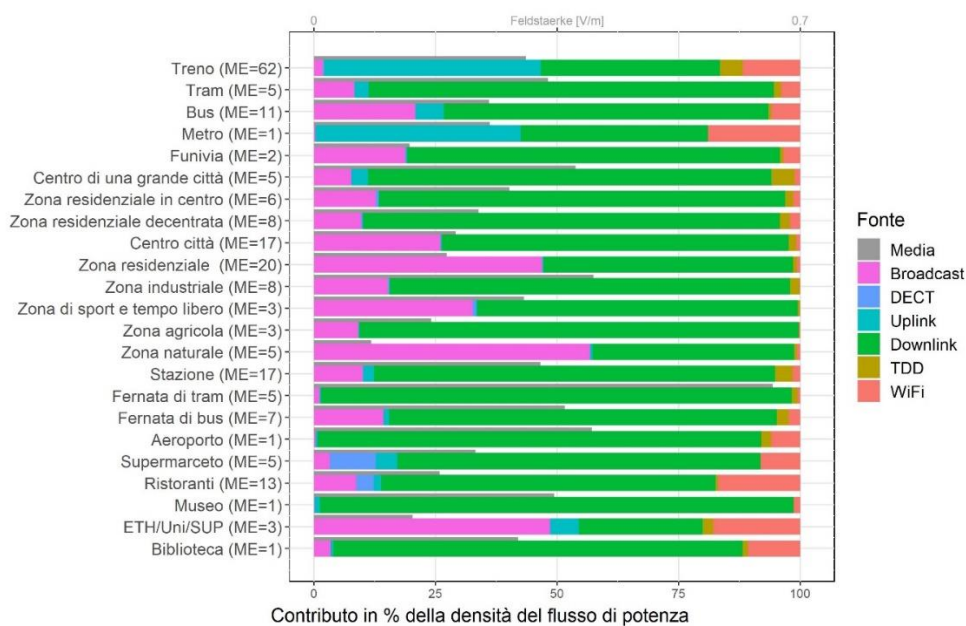


Figura 20: Asse x inferiore: quota delle diverse sorgenti di campi elettromagnetici sul totale dei campi elettromagnetici a radiofrequenza, in media su tutti i punti di misurazione per tipo di ambiente di misurazione: A) Valori RMS, B) valori di picco. "ME" indica il numero di ambienti di misura con una durata di misurazione di almeno 5 minuti. Asse x superiore: la media corrisponde al valore medio del totale RF-EMF delle sorgenti.

3.1.4 Esposizione NF

Il valore medio della somma delle tre principali fonti di esposizione alle NF-MF (corrente ferroviaria, corrente domestica, corrente del tram) e le armoniche corrispondenti sono state calcolate per ogni tipo di ambiente di misura, come mostrato in Figura 21. I valori medi per ogni tipo di ambiente di misura sono calcolati per ogni ambiente di misura e tengono conto solo delle misure con una durata di almeno 5 minuti. L'esposizione NF-MF media più elevata è stata misurata nei treni, con una media di 1.20 μ T, seguita dalle stazioni ferroviarie, dalle fermate degli autobus, dalle fermate dei tram e dai tram. La dispersione dei valori misurati su tutte le misurazioni per l'esposizione a LF (senza aggregazione per ambiente di misurazione) è riportata nella Figura 22.

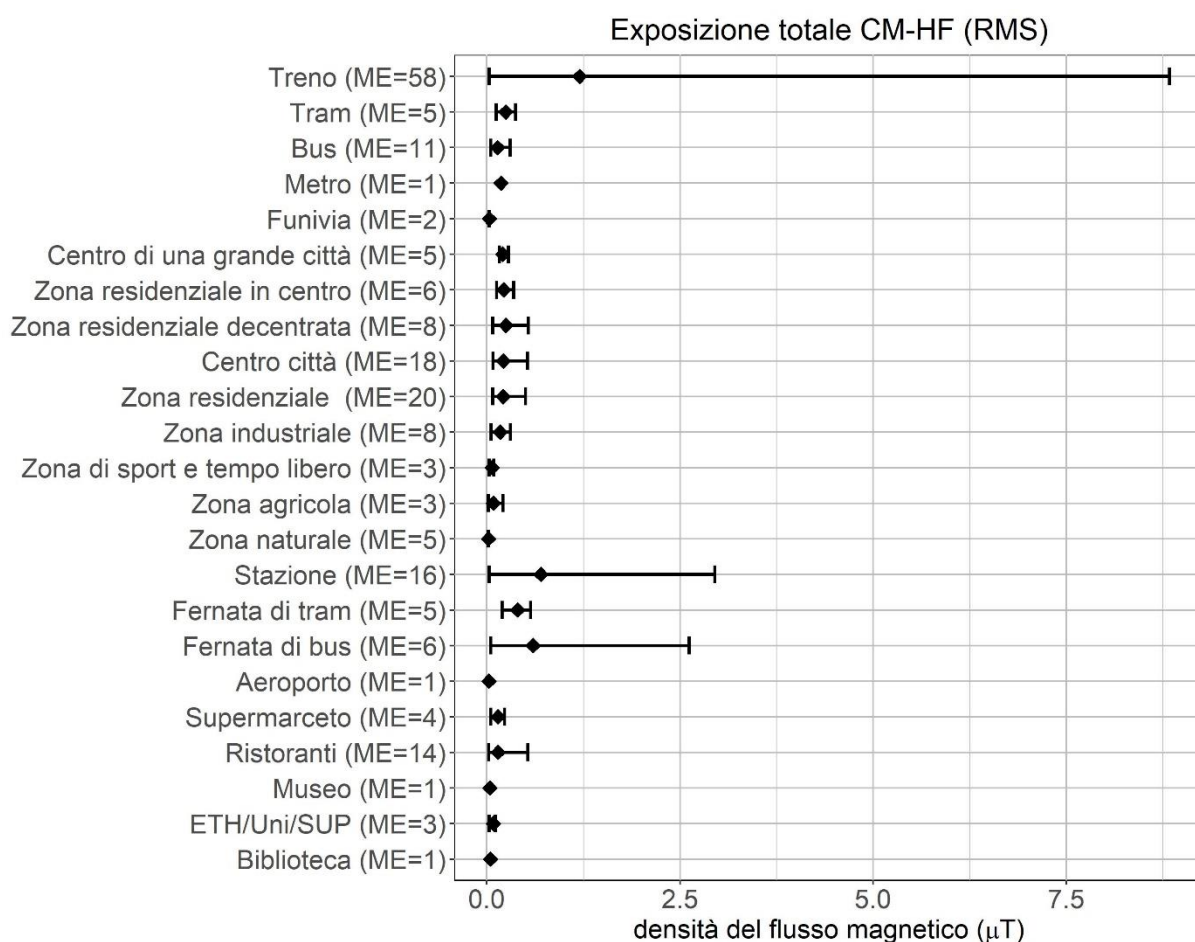


Figura 21: Confronto della NF-MF dei diversi ambienti di misura. Il rombo mostra il valore medio di tutte le misure per tipo di ambiente di misura. L'intervallo mostra il valore medio più basso e più alto per ogni singolo ambiente di misura. "ME" indica il numero di ambienti di misura inclusi.

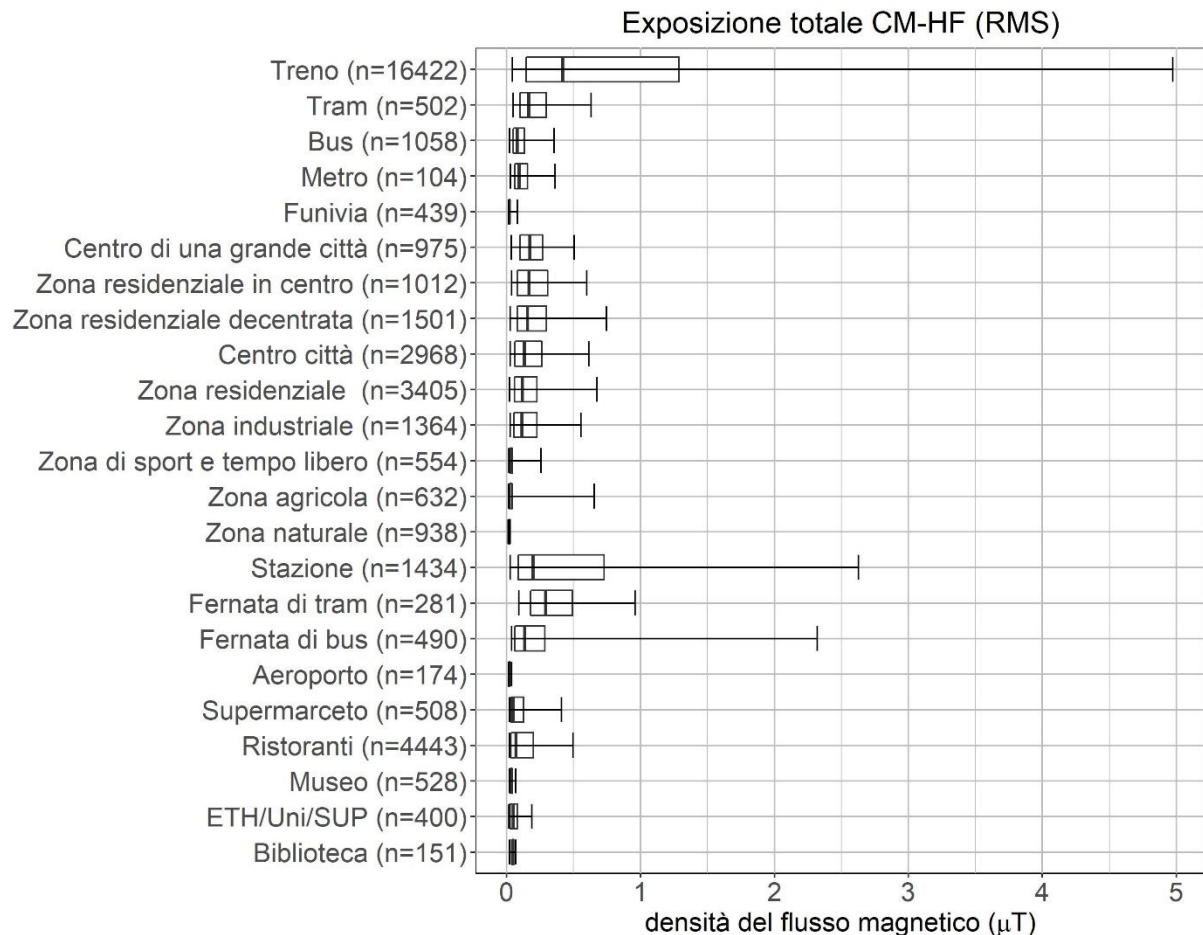


Figura 22: Scatter della LF-MF dei diversi ambienti di misura. La linea centrale mostra la mediana, le caselle il 25° e il 75° percentile e l'intervallo il 5° e il 95° percentile per tipo di ambiente di misurazione. "n" indica il numero di punti dati per tipo di ambiente di misura.

Quando si confronta Figura 21 con Figura 22 si nota che il valore medio più alto di una misurazione in un treno è superiore al 95° percentile di tutti i valori misurati nei treni. Ciò può essere spiegato dal fatto che una sequenza di misura relativamente breve con un'elevata intensità di campo in un treno è rappresentata con un valore medio elevato in Figura 21 ma nell'insieme di tutte le misurazioni si trova al di sopra del 95° percentile e quindi non è raffigurato in Figura 22. Questo può essere il caso, ad esempio, per un breve viaggio in treno per pendolari con un'alta percentuale di fasi di accelerazione e frenata.

3.1.5 NF Esposizione per tipo di fonte

Figura 23 mostra la quota delle diverse sorgenti di CEM nell'esposizione HF, divisa per l'ambiente di misurazione. Per la presentazione, i valori medi per ambiente di misura sono stati prima formati dai dati di misura e poi mediati sui singoli ambienti di misura per tipo di ambiente di misura.

Poiché il viaggio verso le misurazioni del percorso è stato effettuato esclusivamente con i mezzi pubblici, alcuni dei tipi di ambiente di misurazione elencati erano situati in modo sproporzionato vicino alle stazioni ferroviarie (ad esempio, fermate degli autobus o ristoranti). Di conseguenza, questi tipi di ambienti di misura presentano una quota media di corrente di trazione superiore a quella che ci si aspetterebbe da una selezione completamente casuale dei luoghi di misura.

Contributo delle diverse sorgenti al CEM totale ad bassa frequenza

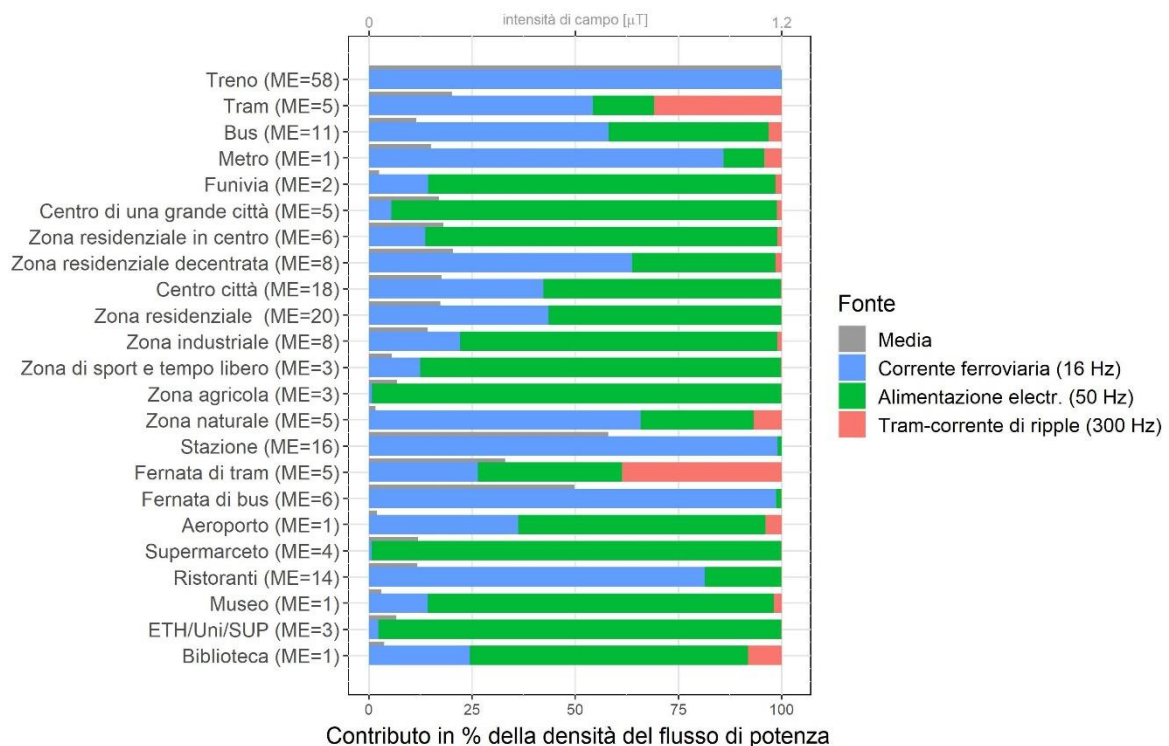


Figura 23: Asse X inferiore: quota delle diverse sorgenti di campi magnetici sul totale dei campi magnetici (RMS), in media su tutti i punti di misura per tipo di ambiente di misura. "ME" indica il numero di ambienti di misura con una durata di misurazione di almeno 5 minuti. Asse x superiore: la somma corrisponde al valore medio della NF-MF totale delle sorgenti.

3.1.6 Sfruttamento del valore limite di immissione

Lo sfruttamento del valore limite di immissione calcolato secondo la regola di sommatoria ORNI è mostrato in Figura 24 per i punti di misurazione con una durata di almeno 6 minuti. Per i dati RMS RF, è stato calcolato un valore quadratico mobile medio di 6 minuti per ogni misurazione. Per ogni punto di misurazione, l'esaurimento del valore limite di immissione è stato calcolato su tutte le bande di frequenza. Per rappresentare la dispersione statistica dell'esaurimento del valore limite, non

è stato formato un ulteriore riepilogo per ambiente di misurazione o sorgente NIR, cioè i tempi di misurazione sono inclusi singolarmente nel grafico. Mentre le misure con meno di 6 minuti di dati di misurazione sono state filtrate nel caso dei dati RF, tutte le misure sono state incluse nel caso dei dati LF, poiché l'ORNI non prevede la media per queste frequenze.

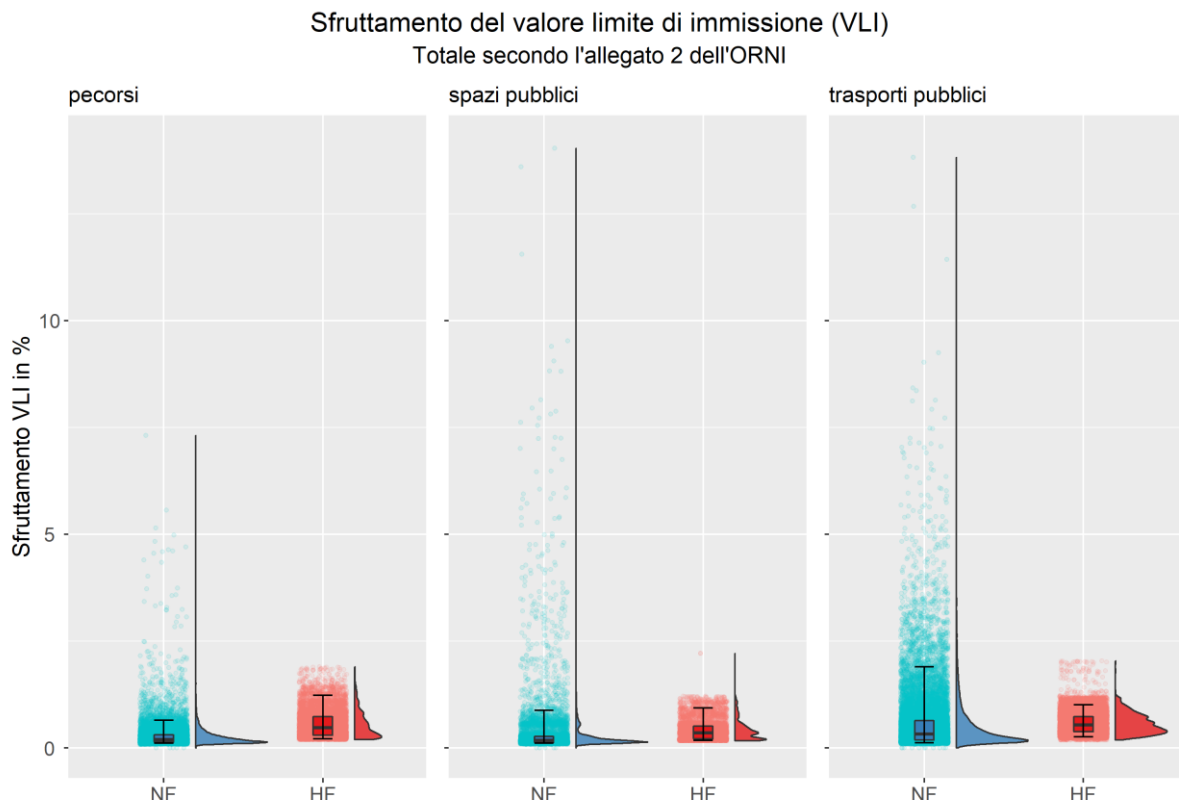
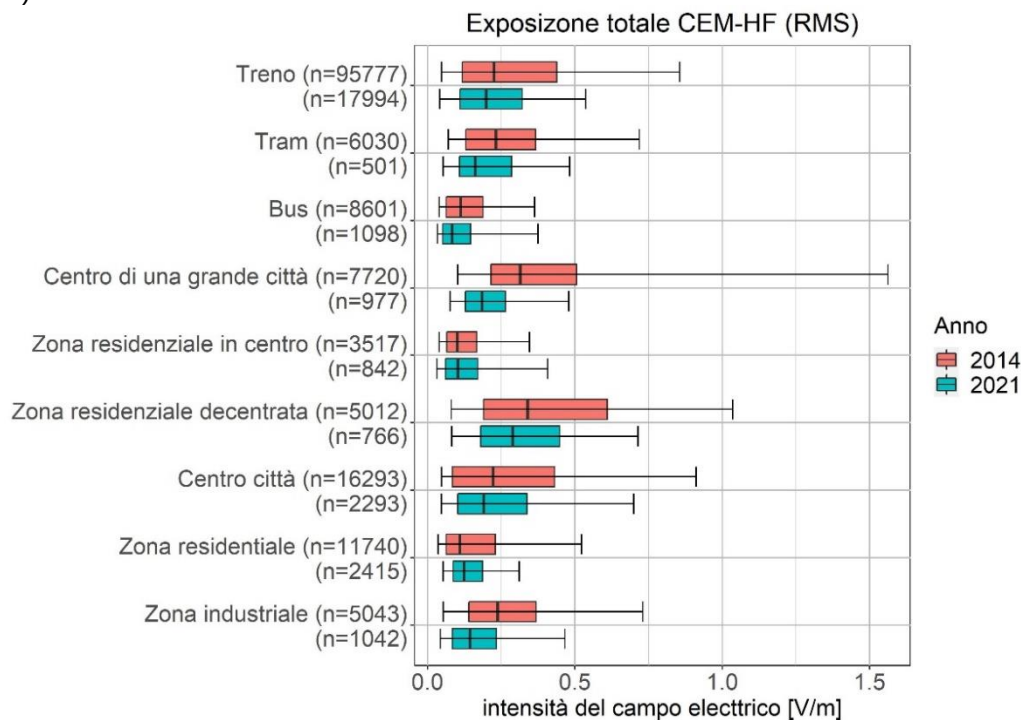


Figura 24: Distribuzione statistica dello sfruttamento del valore limite di immissione su punti di misurazione con una durata di misurazione di almeno 6 minuti per ambiente di misurazione (senza media). Le diverse frequenze sono state sommate secondo la regola della somma (ORNI Allegato 2). Nei diagrammi, i singoli valori misurati (per NF) o i singoli valori medi di 6 minuti (per HF) sono indicati come punti a sinistra (jitter plot). Nel boxplot sovrapposto, la linea centrale mostra la mediana, i riquadri il 25° e il 75° percentile e l'area il 5° e il 95° percentile dei singoli valori misurati. Le curve a destra di ciascuna mostrano la distribuzione di frequenza dei singoli valori misurati (per NF) e i valori medi di 6 minuti (per HF). La scalatura del diagramma è limitata ai valori disponibili (esaurimento massimo circa 15%) per rendere visibile la struttura dei valori.

3.1.7 Confronto con i dati di misurazione del 2014

Figura 25 mostra un confronto tra le misure del 2021 e quelle del 2014 (Röösli M. F. M., 2015) negli stessi microambienti per A) esposizione totale e B) esposizione a RF-EMF mobili. Si nota che i valori del 2021 sono inferiori a quelli del 2014. Il confronto è stato effettuato per il totale dei campi elettromagnetici a radiofrequenza e per la somma quadrata di tutte le bande di frequenza della telefonia mobile. Va notato che da un lato ci sono differenze nelle bande di frequenza misurate, dall'altro che oggi (2021) vengono utilizzate più bande di frequenza per la radiofonia mobile rispetto al 2014. Il confronto prende in considerazione tutte le frequenze di radiofonia mobile nei dati del 2021 per tenere conto di un possibile spostamento della potenza di trasmissione su nuove frequenze. Un confronto delle bande di frequenza misurate nelle due campagne di misura è riportato nell'Allegato IV.

A)



B)

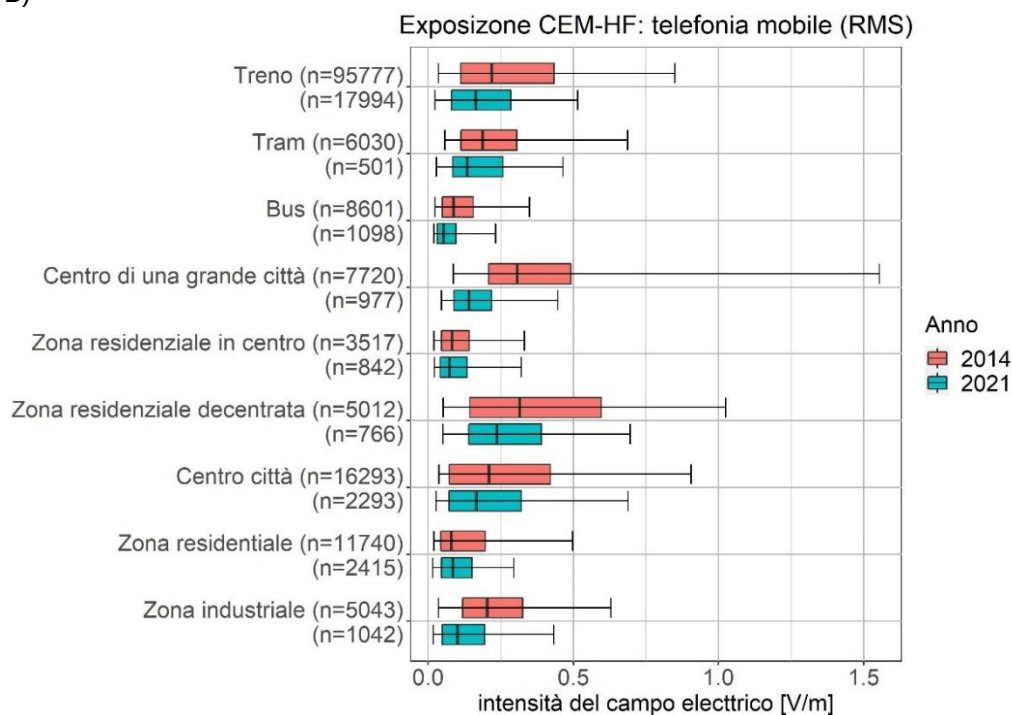


Figura 25: Confronto tra A) esposizione totale B) RF-EMF mobile per tipo di ambiente di misurazione per le misurazioni del 2021 e quelle del 2014. La linea centrale indica la mediana, le caselle indicano il 25° e il 75° percentile e l'intervallo indica il 5° e il 95° percentile per tipo di ambiente di misurazione. "n" indica il numero di punti dati per tipo di ambiente di misura.

3.2 Misure spot

Fino alla preparazione del rapporto (stato 18.03.2022), è stato possibile effettuare 4 misurazioni spot. Pertanto, la base dei dati non consente ancora di fare affermazioni sulla distribuzione statistica dell'esposizione negli appartamenti. Le cifre riportate corrispondono ai dati di misurazione attualmente disponibili e verranno aggiornate man mano che la base di dati verrà ampliata.

3.2.1 Esposizione totale alle radiofrequenze

La dispersione dei valori misurati su tutte le misure (senza aggregazione per luogo di misurazione) è mostrata in Figura 26 (valori effettivi RMS) e Figura 27 (valori di picco). I dati sono raggruppati in base alla fonte NIR autorevole e alla misurazione parziale dello spot.

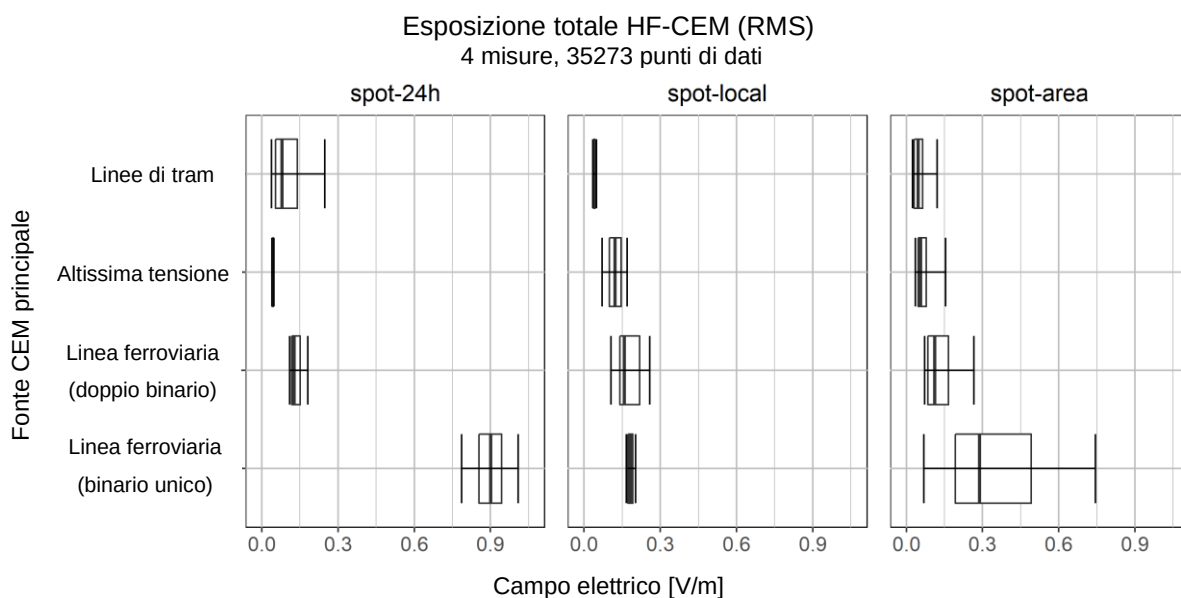


Figura 26: Diffusione dei valori RMS HF-CEM delle misurazioni spot, divisi per misurazioni parziali (24h, locale, area) e per la fonte principale di CEM nelle vicinanze del sito di misurazione. La linea centrale indica la mediana, le caselle il 25° e il 75° percentile e l'area il 5° e il 95° percentile.

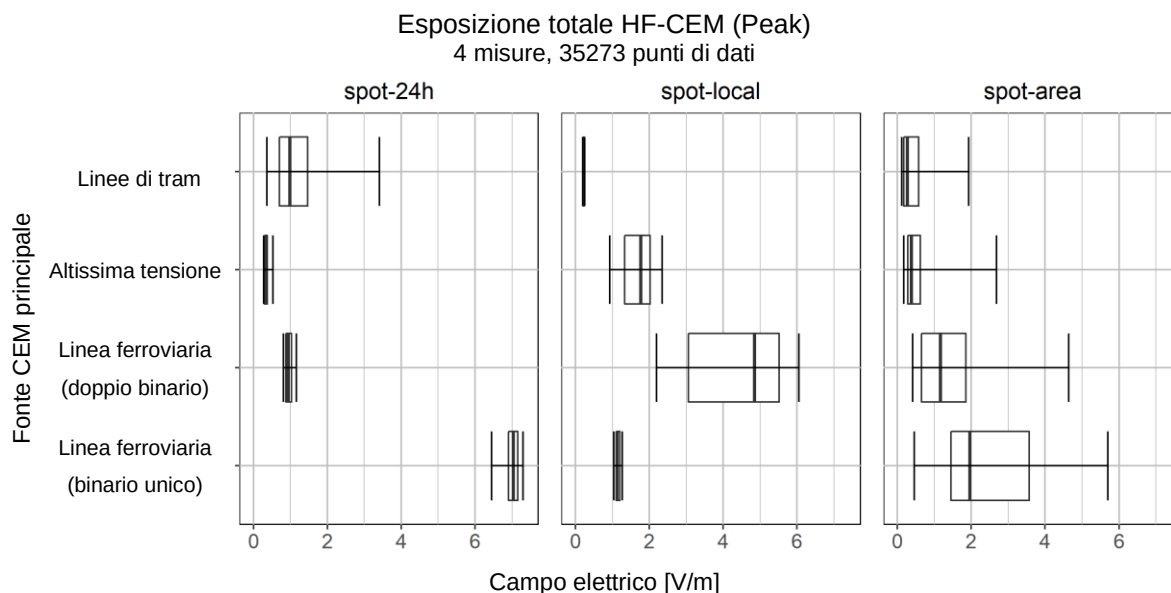


Figura 27: Scatter delle misure di picco HF-CEM delle misure spot, divise per misurazioni parziali (24h, locale, area) e per la fonte primaria di CEM nelle vicinanze del sito di misura. La linea centrale indica la mediana, le caselle il 25° e il 75° percentile e l'area il 5° e il 95° percentile.

3.2.2 Esposizione totale a NF

La dispersione dei valori misurati tra tutte le misure (senza aggregazione per luogo di misurazione) può essere ricavata da Figura 28. I dati sono raggruppati in base alla sorgente NIR pertinente e alla misura parziale spot.

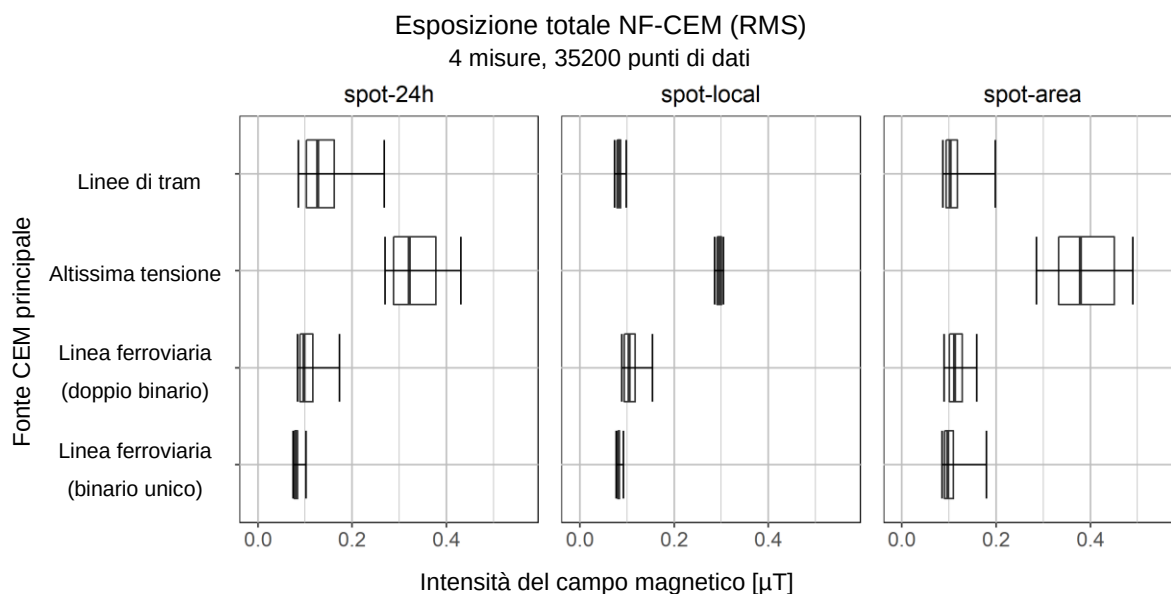


Figura 28: Scatter dei valori RMS campo magnetico NF delle misure spot, divisi per misurazioni parziali (24h, locale, area) e per la fonte principale di campo magnetico nelle vicinanze del sito di misura. La linea centrale indica la mediana, le caselle il 25° e il 75° percentile e l'area il 5° e il 95° percentile.

3.2.3 Esposizione alle RF per tipo di sorgente

Di seguito viene mostrata la quota delle diverse sorgenti di CEM nell'esposizione totale alle radiofrequenze, suddivisa in base al tipo di sorgente primaria, che è stata determinante per la scelta del sito per la misurazione spot. Figura 29 Figura 29 rappresenta le proporzioni dei valori RMS, in Figura 30 Figura 30 sono mostrati i rapporti dei valori di picco. Per la presentazione, i valori medi per misura sono stati prima formati dai dati di misurazione e poi mediati sulle singole misurazioni per tipo di fonte primaria. I valori medi sono formati con la densità del flusso di potenza come descritto nella sezione 2.4.3 con la densità del flusso di potenza. Poiché attualmente è disponibile una sola misurazione per tipo di sorgente, i grafici a barre corrispondono a una misurazione ciascuno.

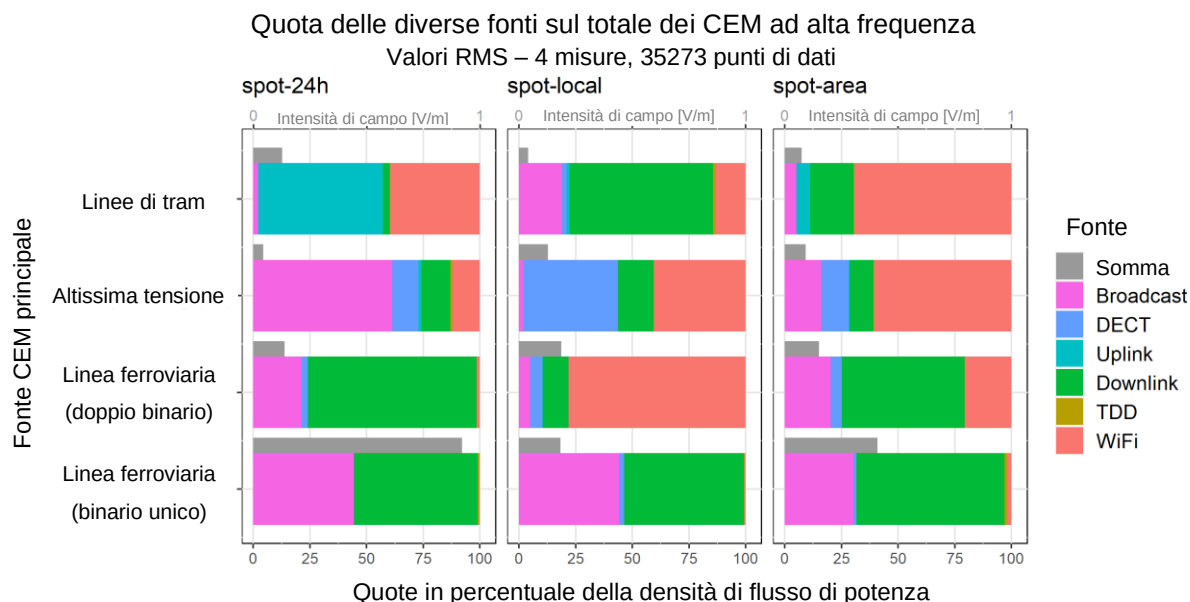


Figura 29: Asse x inferiore: quota delle diverse sorgenti sul totale dei campi elettromagnetici a radiofrequenza (RMS), mediata su tutti i punti di misurazione e divisa per misurazioni parziali (24 ore, locale, area) e per la fonte primaria di campi elettromagnetici nelle vicinanze del sito di misurazione. Asse x superiore: la somma corrisponde al valore medio del totale dei campi elettromagnetici a radiofrequenza delle sorgenti.

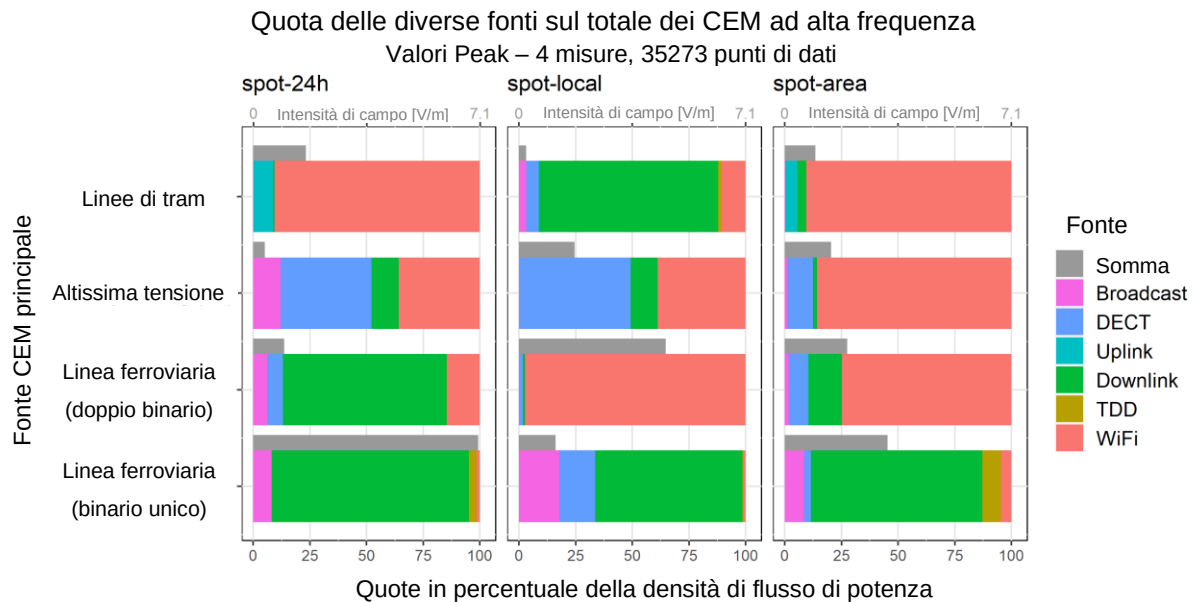


Figura 30: Asse x inferiore: quota delle diverse sorgenti nel totale dei campi elettromagnetici a radiofrequenza (picco), mediata su tutti i punti di misurazione e divisa per misurazioni parziali (24 ore, locale, area) e per la fonte primaria di campi elettromagnetici nelle vicinanze del sito di misurazione. Asse x superiore: la somma corrisponde al valore medio del totale RF-EMF delle sorgenti.

3.2.4 Esposizione a LF per tipo di fonte

In Figura 31 viene mostrata la quota delle diverse sorgenti di campo magnetico nell'esposizione totale a LF, suddivisa in base al tipo di sorgente primaria, che è stata determinante per la scelta del luogo per la misurazione dello spot. Per la presentazione, i valori medi per misura sono stati prima calcolati dai dati di misurazione e poi mediati sulle singole misurazioni per tipo di fonte primaria. Poiché attualmente è disponibile una sola misura per tipo di sorgente, il grafico a barre corrisponde a una misura.

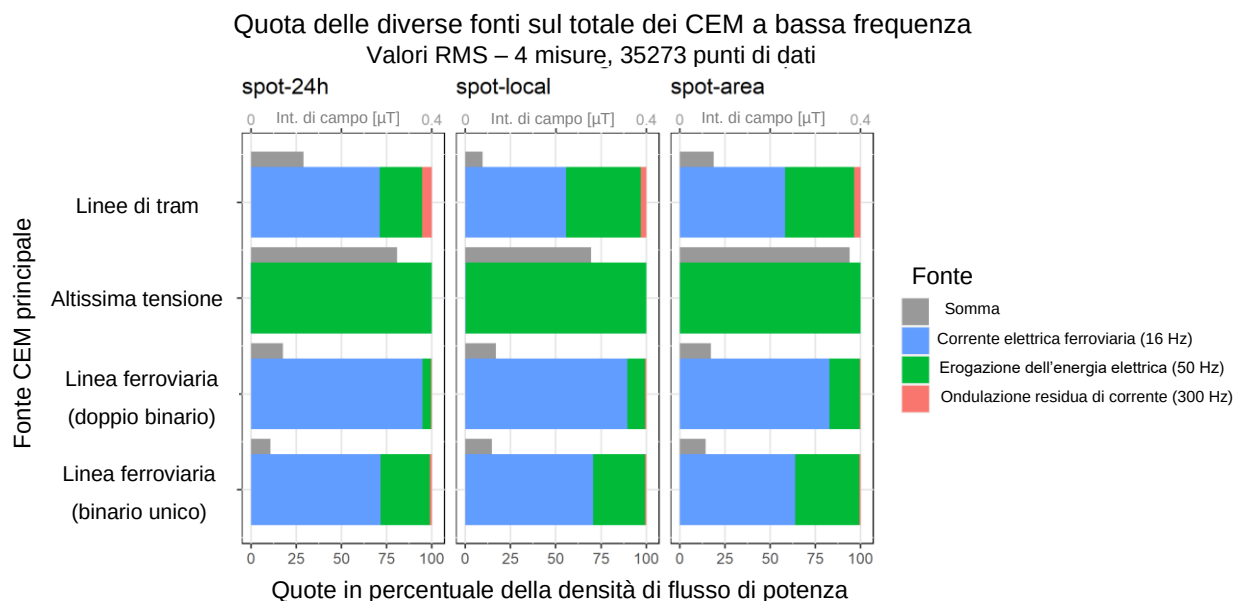


Figura 31: Asse x inferiore: quota delle diverse sorgenti nel campo magnetico totale (RMS), mediata su tutti i punti di misurazione e suddivisa in base alla misurazione parziale (24h, locale, area) e alla sorgente primaria di campo magnetico nelle vicinanze del sito di misurazione. Per la corrente domestica e la corrente del tram, oltre alla frequenza fondamentale vengono prese in considerazione le prime due armoniche. Asse x superiore: la somma corrisponde al valore medio del campo magnetico NF totale delle sorgenti.

3.2.5 Sfruttamento del valore limite di immissione

L'esaurimento del valore limite di immissione calcolato secondo la regola di sommatoria ORNI è mostrato in Figura 32 per tutti i punti dati. Per i dati RF, è stato calcolato un valore medio quadratico mobile di 6 minuti per ogni misurazione. Per ogni punto di misurazione, è stato quindi calcolato l'esaurimento del VLI per tutte le bande di frequenza. Per rappresentare la dispersione statistica dello sfruttamento del valore limite, non è stato formato un ulteriore riepilogo per luogo di misurazione o sorgente NIR, cioè tutti i tempi di misurazione sono inclusi singolarmente nel grafico.

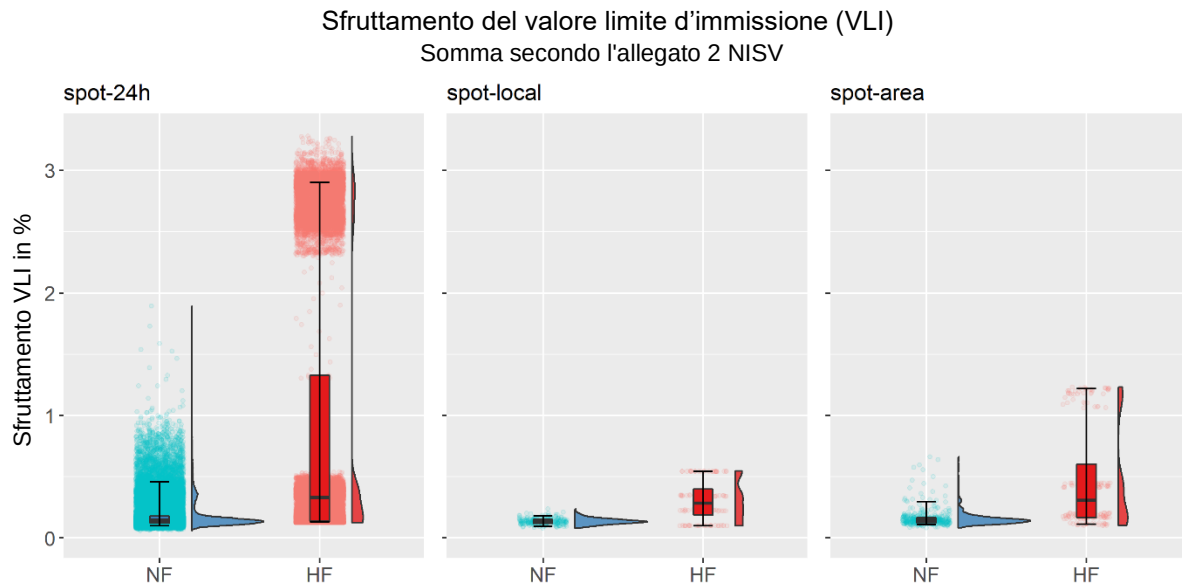


Figura 32: Distribuzione statistica dello sfruttamento del valore limite d'immissione su tutti i punti di misura (senza media). Le diverse frequenze sono state sommate secondo la regola della somma (ORNI Allegato 2). Nei diagrammi, i singoli valori misurati (per NF) o i singoli valori medi di 6 minuti (per HF) sono indicati come punti a sinistra (jitter plot). Nel boxplot sovrapposto, la linea centrale mostra la mediana, i riquadri il 25° e il 75° percentile e l'area il 5° e il 95° percentile dei singoli valori misurati. Le curve a destra di ciascuna mostrano la distribuzione di frequenza dei singoli valori misurati (per NF) o i valori medi di 6 minuti (per HF). La scalatura del diagramma è limitata ai valori disponibili (esaurimento massimo circa 3%) per rendere visibile la struttura dei valori.

3.2.6 Distribuzione dei punti di misura per le misure spot

La distribuzione delle misure spot effettuate a partire dal 1° trimestre del 2022 e le proposte del sito rispetto alle sorgenti NIR rilevanti sono elencate in Tabella 9. Tabella 10 elenca i tipi di edifici in cui sono state effettuate le misurazioni spot. Figura 33 mostra la posizione delle misure spot effettuate in Svizzera. Un elenco completo di tutti i luoghi di misurazione, compresi i microambienti associati, è disponibile nell'Appendice VI.

Tabella 9: Distribuzione dei luoghi di misurazione e dei luoghi proposti per le misurazioni spot con indicazione dei perimetri di influenza, al primo trimestre del 2022. Per le linee ferroviarie in galleria, non è stato definito un perimetro fisso per motivi di fattibilità.

Fonte del parametro	Perimetro	Numero Progetto	Numero Suggestimenti	Numero misurato
Radio mobile piccola	50	10	3	0
Mezzo radio mobile	100	10	3	0
Radio mobile di grandi dimensioni	150	10	3	0
Radio/TV fino a 10 kW	100	5	1	0
Radio/TV >10 a 50 kW	500	5	0	0
Radio/TV da 50 a 200 kW	2000	5	0	0
Linee ad altissima tensione 220/380kV (linea aerea)	200	7	2	1
Linee ad altissima tensione 220/380 kV (linea di terra)	50	3	0	0
Linee ad alta tensione 36-150kV (linea aerea)	100	5	0	0
Linee ad alta tensione 1-36kV (linea aerea)	50	5	0	0
Linee ad alta tensione 240/400V (linea aerea)	20	5	0	0
Sottostazioni	200	2	0	0
Stazioni di trasformazione	20	3	0	0
Linee ferroviarie a binario unico	50	7	4	1
Linee ferroviarie a doppio binario	100	10	4	1
Linee ferroviarie in galleria a doppio binario	-	3	0	0
Linee di tram	20	5	1	1
Totale		100	21	4

Tabella 10: Distribuzione dei tipi di edifici con misurazioni spot, al primo trimestre del 2022.

Tipo di edificio	Numero Misure
Casa indipendente	2
Casa appartamento	1
Con il commercio/industria	0
Agriturismo	1

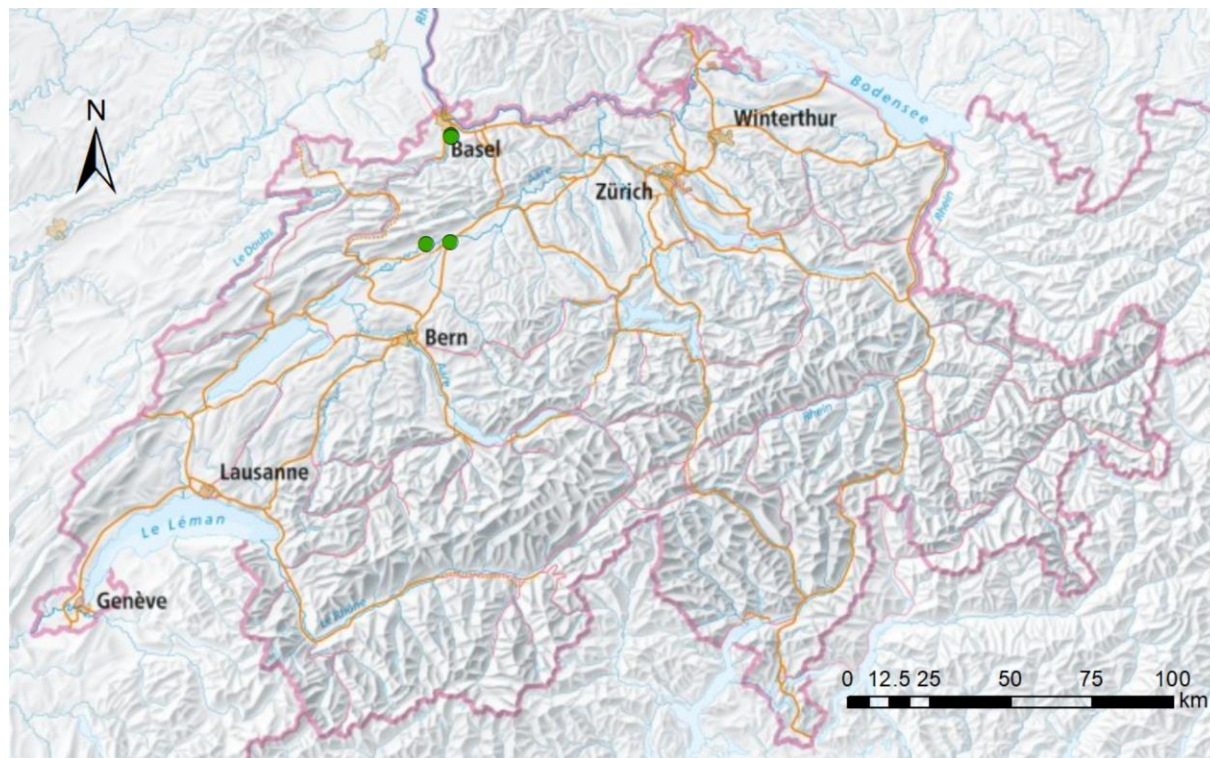


Figura 33: Mappa dei luoghi in cui sono state effettuate le misurazioni spot.

3.3 Misure continue stazionarie

Per le misure permanenti stazionarie, è attualmente in corso una misura di prova (dal 18.03.2022) presso il sito FaW di Zurigo. Nel corso del secondo trimestre del 2022, i primi siti di misurazione definitivi saranno equipaggiati con i dispositivi per la misurazione continua stazionaria.

3.3.1 Luoghi di misurazione Misure continue stazionarie

I punti di misura in cui vengono effettuate le misurazioni continue stazionarie sono elencati in Tabella 11 e

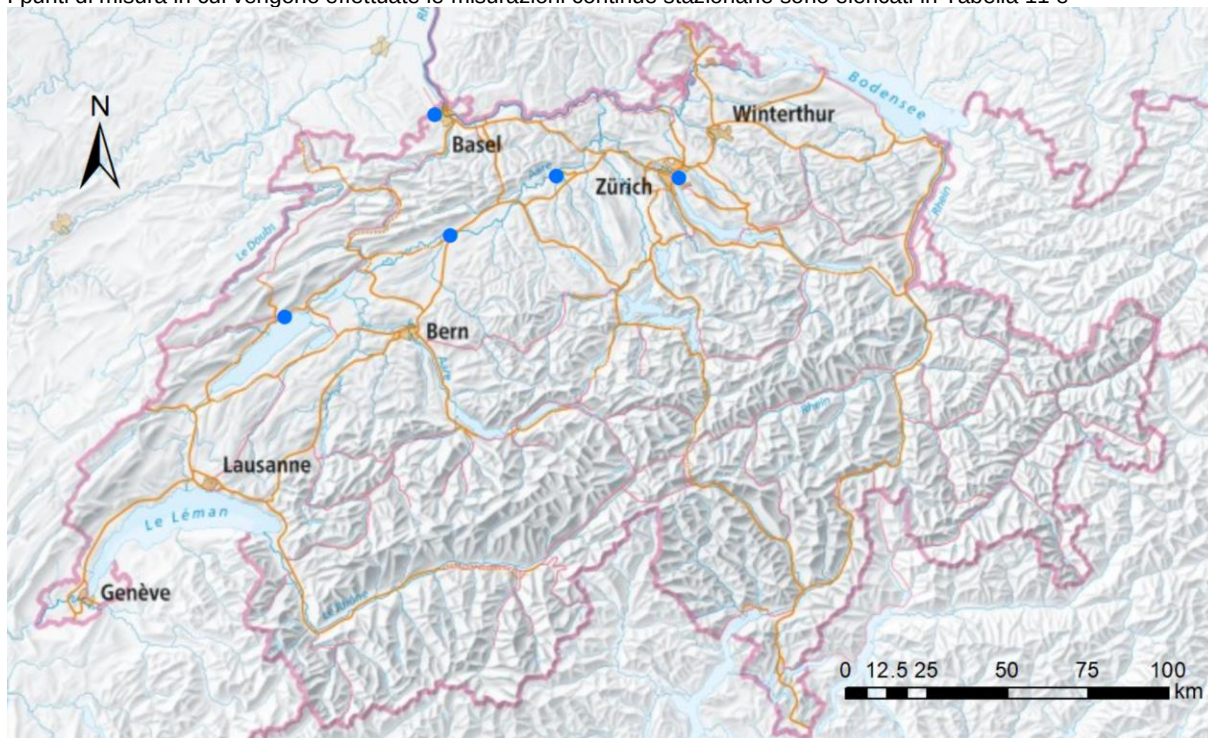


Figura 34.

Tabella 11: Luoghi per le misurazioni continue stazionarie.

Luogo di misurazione	Comune di ubicazione
Campi al lavoro - Edificio ET del Centro ETH	8032 Zurigo
Swiss TPH - nuovo edificio	4123 Allschwil
G+P - Aarau	5000 Aarau
G+P - Deitingen	4543 Deitingen
G+P - Neuchâtel	2000 Neuchâtel

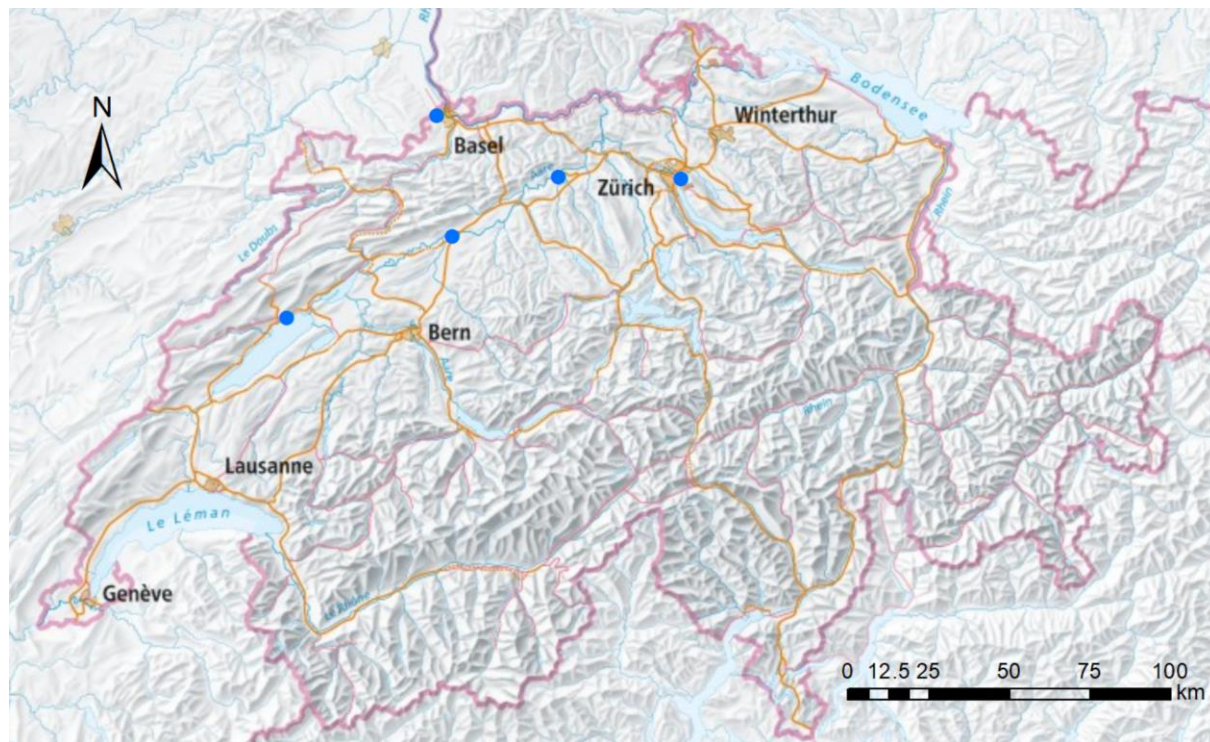


Figura 34: Mappa dei siti selezionati per le misurazioni permanenti stazionarie (punti blu).

4. Discussione

L'obiettivo principale per il 2021 era lo sviluppo del concetto di misurazione, la definizione delle procedure di misurazione e lo sviluppo dell'infrastruttura dei dati di misurazione. Al momento della stesura del presente rapporto, i dati erano stati raccolti con successo utilizzando tutti i metodi di misurazione previsti (nel caso delle misurazioni permanenti stazionarie, solo in un sito di prova). In totale, sono stati registrati 453.959 dati di misura dall'inizio della campagna di misurazione (al database del 18.03.2022), il che corrisponde a ben 15 milioni di valori di misura con le 35 bande di frequenza misurate. Da un punto di vista tecnico, è stato quindi possibile dimostrare che la metodologia selezionata è adatta a registrare ed elaborare i dati in conformità al concetto di misurazione. Negli anni successivi, con l'aumentare della base di dati, saranno possibili ulteriori analisi quantitative dei dati di misura.

Le intensità di campo misurate nel primo anno di raccolta dei dati hanno raggiunto un massimo di circa il 15% del limite di immissione nelle aree accessibili al pubblico, mentre nella stragrande maggioranza dei casi si sono attestate su percentuali a una sola cifra. Nelle abitazioni private misurate finora, lo sfruttamento massimo del valore limite di immissione è stato inferiore al 4%. Il numero di misure effettuate negli appartamenti è di 4 su 100 previste.

I valori di RF-EMF misurati nelle misurazioni del percorso per i quartieri residenziali e per le aree accessibili al pubblico hanno valori medi compresi tra 0,1 e 0,7 V/m (cfr. Figura 16) sono simili a quelli di studi analoghi all'estero. (Jalilian H., 2019) (Sagar S., 2018). Così, in 26 studi di misurazione condotti tra il 2015 e il 2018, principalmente in Paesi europei, le esposizioni medie per vari microambienti esterni erano comprese tra 0,07 e 1,27 V/m.. In ambienti chiusi, i valori medi erano compresi tra 0,04 e 0,76 V/m e nei trasporti pubblici tra 0,14 e 0,69 V/m. In Francia, nel 2014, nel 2017 e nel 2020, sono state effettuate misurazioni dei campi elettromagnetici a radiofrequenza in oltre 1000 piazze dei municipi, utilizzando una sonda a banda larga e separatamente per le bande di downlink. (Agence Nationale des Fréquences, 2020). La mediana delle immissioni totali di campi elettromagnetici a radiofrequenza nel 2020 era di 0,34 V/m nelle aree urbane e di 0,15 V/m nelle aree rurali. Per il downlink, la mediana era di 0,30 V/m nelle aree urbane e di 0,05 V/m nelle aree rurali. Le medie aritmetiche per le RF-EMF erano di 0,62 V/m nelle aree urbane (downlink: 0,53 V/m) e di 0,54 V/m nelle aree rurali (downlink: 0,10 V/m). I valori in Francia tendono a essere più alti rispetto alle misurazioni effettuate in Svizzera. Ciò è probabilmente dovuto anche al fatto che le piazze dei municipi sono tipicamente situate in posizione centrale, mentre le misurazioni del presente studio coprono un'area più ampia.

Per quanto riguarda le misure di NF-EMF, gli studi comparativi internazionali sono meno numerosi. Tuttavia, i valori misurati sono paragonabili alle misurazioni dell'esposizione alle persone effettuate in Svizzera e in Italia nel 2012/13, su ³(Struchen B., 2016). Valori simili sono stati raccolti anche dal PSI negli anni '90 in uno studio di misurazione completo (Buwal Bulletin 3/95).

Le immissioni RF-EMF totali misurate e le immissioni misurate dalle stazioni base di telefonia mobile sono comparabili con una campagna di misurazione effettuata in Svizzera nel 2014. (Röösli M. F. M., 2015) comparabile. Secondo Figura 25 le immissioni di RF-EMF sembrano essere leggermente inferiori nella maggior parte dei microambienti, anche se ciò non è ancora stato verificato statisticamente.

³ Le "misurazioni personali" si riferiscono a una procedura di misurazione in cui una persona porta con sé dispositivi di misurazione per un certo periodo di tempo (in genere alcuni giorni) e registra le immissioni nella sua vita quotidiana individuale. Nelle misurazioni su percorso, invece, i dispositivi di misurazione sono anch'essi portati da una persona, ma la misurazione avviene lungo un percorso selezionato anziché nella vita quotidiana dell'individuo.

Nei centri urbani i valori sono rimasti invariati. Quando si confronta il totale dei campi elettromagnetici a radiofrequenza, si deve tenere conto del fatto che tra il 2014 e il 2021 diverse bande di frequenza sono state assegnate ad altre applicazioni tecniche o sono state assegnate nuove bande di frequenza e quindi sono state misurate bande di frequenza diverse nei due periodi di misurazione. Nel confrontare le frequenze radio mobili, sono state prese in considerazione tutte le bande di frequenza utilizzate in ciascun caso, al fine di registrare un eventuale spostamento della potenza di trasmissione verso nuove frequenze.

Una possibile ragione per i valori leggermente più bassi o invariati delle immissioni medie tra il 2014 e il 2021, nonostante l'aumento del traffico di dati radio mobile, è l'evoluzione verso tecnologie di trasmissione più dinamiche ed efficienti: mentre nel 2014 la tecnologia 2G era ancora diffusa e il 4G si stava appena affermando, alla fine del 2021 solo Sunrise offriva ancora servizi 2G e il 5G sarà disponibile in molte località. Da allora anche la quota del 3G si è ridotta a scapito del più efficiente 4G. I moderni standard di telefonia mobile consentono alle antenne mobili di ridurre la potenza di trasmissione in risposta al traffico di dati/chiamate quando non è necessario per soddisfare la domanda. In questo modo è possibile che le immissioni mediate temporalmente e geograficamente diminuiscano anche se la quantità di dati trasmessi aumenta. Il fatto che l'introduzione di tecnologie più efficienti compensi l'aumento dell'uso dei dati in termini di esposizione è stato riscontrato finora anche negli studi di misurazione personale in Svizzera. Pertanto, il livello di esposizione personale ai campi elettromagnetici a radiofrequenza nel 2015 era leggermente inferiore rispetto a uno studio comparabile del 2007/2008, sebbene il volume di dati mobili fosse aumentato di 400 volte. (Röösli M. D. S., 2019). Il calo è dovuto principalmente alla riduzione dell'esposizione alle emissioni dei telefoni cordless. Tuttavia, è stato riscontrato un leggero aumento dell'esposizione al downlink tra il 2007/08 e il 2015. Ciò è anche in linea con lo studio di misurazione francese citato in precedenza. Nelle aree urbane, la mediana per il downlink era di 0,23 V/m nel 2014, 0,27 V/m nel 2017 e 0,30 V/m nel 2020. Nelle aree rurali, il downlink non è cambiato quasi per niente (2014: 0,06 V/m, 2017: 0,05 V/m e 2020: 0,05 V/m). In termini di esposizione totale a RF-EMF, la mediana nelle aree urbane è aumentata da 0,25 V/m a 0,34 V/m e nelle aree rurali da 0,13 V/m a 0,15 V/m tra il 2014 e il 2020. Dal momento che la procedura di misurazione per lo studio di misurazione svizzero del 2014 (Röösli M. F. M., 2015) la procedura di misurazione non era del tutto identica, non si può escludere completamente che ciò influisca sull'andamento temporale osservato. Un'interpretazione di queste differenze è quindi ancora prematura e le differenze sono piccole rispetto all'incertezza di misura totale per poter assegnare chiaramente le cause delle differenze. I dati degli anni successivi saranno ora più confrontabili con i valori misurati nel 2021, poiché le misurazioni vengono effettuate con la stessa procedura.

4.1 Rappresentatività dei dati

Lo scopo delle misurazioni è quello di raccogliere dati rappresentativi dell'esposizione della popolazione. Ciò significa che le misurazioni vengono effettuate dove le persone trascorrono effettivamente il loro tempo nella vita quotidiana. Si tratta di aree residenziali, luoghi pubblici, nonché del sistema di trasporto pubblico, comprese le fermate degli autobus e gli spazi interni accessibili al pubblico (ad esempio supermercati, ristoranti, musei). La rappresentatività dei comuni e dei microambienti selezionati è stata analizzata quantitativamente con l'aiuto di sistemi di geoinformazione, calcolando e confrontando le variabili caratteristiche dei comuni o dei microambienti e della Svizzera nel suo complesso. Ad esempio, è possibile confrontare l'entità della quota di popolazione urbana rispetto alla popolazione

totale in tutti i micro-ambiti e nella Svizzera nel suo complesso. Tali analisi continueranno a essere effettuate periodicamente in futuro nell'ambito della pianificazione dei microambienti e consentiranno di monitorare costantemente la rappresentatività dei microambienti selezionati e di apportare correzioni ai microambienti pianificati per garantire la rappresentatività dell'insieme dei microambienti. Le misurazioni nei luoghi di lavoro sono state deliberatamente evitate perché ci si aspetta un alto grado di dispersione in questi luoghi, per cui la raccolta di dati rappresentativi sarebbe molto difficile o potrebbe essere ottenuta solo con campioni molto grandi.

L'esecuzione di misurazioni del percorso per 15 minuti nei microambienti ha il limite di non poter registrare le fluttuazioni sistematiche delle immissioni nel corso della giornata, della settimana e dell'anno all'interno di un microambiente. Tuttavia, queste fluttuazioni sono generalmente sistematiche e saranno catturate in futuro con le misurazioni continue stazionarie previste da questo progetto. In genere, le immissioni sono più elevate durante il giorno che di notte, ma con differenze relativamente piccole nei valori orari tra le 8:00 e le 20:00. Lo studio concettuale ha dimostrato che le misurazioni dei percorsi in orari diversi non comportano distorsioni sistematiche. (Röösli M. F. M., 2015). Tuttavia, per le misurazioni nel trasporto pubblico, la tempistica è molto influente. Durante le ore di punta, le immissioni di campi elettromagnetici a radiofrequenza sono significativamente più elevate rispetto alle ore in cui i mezzi di trasporto sono poco occupati, perché le immissioni in uplink dei dispositivi mobili dei passeggeri contribuiscono in misura relativamente maggiore (cfr. Figura 20). Rispetto agli studi precedenti, le immissioni misurate nel trasporto pubblico sono piuttosto inferiori nel presente studio. Una possibile spiegazione è che il trasporto pubblico è stato spesso utilizzato al di fuori delle ore di punta per raggiungere le aree di misurazione e per spostarsi tra le aree.

Negli studi di misurazione dell'esposizione delle persone, la percentuale di spostamenti durante le ore di punta sembra essere piuttosto elevata. (Birks L.E., 2018). Per le misurazioni in ambienti chiusi si è tenuto conto, quando possibile, del modello comportamentale abituale della popolazione. Ad esempio, le misurazioni nei ristoranti sono state effettuate durante il "picco di mezzogiorno" (telefonia mobile, alimentazione) e possono quindi essere considerate rappresentative. Ciò che non è rappresentativo, tuttavia, è il viaggio preferito con i mezzi pubblici e quindi la permanenza nelle aree pubbliche vicino alle stazioni ferroviarie. In questi ambienti di misura, è probabile che la quota del campo magnetico della corrente ferroviaria sia sproporzionatamente forte. Tuttavia, questa restrizione non si applica alle sezioni di misura generali all'interno dei microambienti.

Per la selezione delle misure spot, è stato scelto un approccio diverso per ottenere la rappresentatività rispetto alle misure del percorso. Come spiegato nella sezione dedicata al metodo, una selezione casuale avrebbe lo svantaggio di perdere situazioni ad alta esposizione, che sono rare, con un numero relativamente ridotto di abitazioni selezionate. Non è stato quindi possibile fare affermazioni sulle situazioni tipiche di chi vive vicino a una sorgente esterna. Pertanto, è stata effettuata una ricerca mirata delle abitazioni particolarmente interessate da una cosiddetta sorgente NIR primaria. La selezione di queste fonti NIR primarie per la ricerca del sito è stata effettuata utilizzando sistemi di geoinformazione, mentre la selezione delle abitazioni nelle loro vicinanze è stata effettuata con l'aiuto di fotografie aeree e fotografie accessibili al pubblico (Google StreetView). Sono stati privilegiati gli edifici con destinazioni d'uso facilmente riconoscibili (residenziali o commerciali) e con confini chiari. Pertanto, un'abitazione rappresenta una tipica situazione di alto inquinamento rispetto alla fonte primaria. Per altre sorgenti NIR secondarie, si può ipotizzare che la selezione sia approssimativamente casuale e quindi considerata rappresentativa. Per le sorgenti interne e il comportamento degli occupanti, la selezione è del tutto casuale, ma la dispersione individuale può essere molto ampia, per cui con una dimensione

del campione di 100 abitazioni l'incertezza è relativamente grande e possono sfuggire anche sorgenti interne rare. A questo proposito, sarà interessante vedere se, una volta raccolti tutti i dati, sarà possibile individuare una chiara struttura nella distribuzione delle immissioni da fonti interne in tutte le abitazioni. Al momento, il numero di misurazioni spot effettuate è ancora troppo esiguo per poter effettuare valutazioni separate. In futuro, tuttavia, si prevede di effettuare una valutazione per situazioni di carico elevato e per situazioni rappresentative.

Le posizioni delle misurazioni permanenti stazionarie non sono rappresentative dell'intera area della Svizzera. Tuttavia, lo scopo delle misurazioni non è la distribuzione spaziale, ma la registrazione dello sviluppo temporale delle immissioni NIR nei singoli siti. Si presume che le misurazioni siano rappresentative a questo scopo perché, da un lato, non sono disponibili dati comparativi per la convalida e perché, dall'altro, i siti sono stati selezionati in modo puramente casuale (non sono disponibili informazioni su, ad esempio, progetti nuovi o di conversione di antenne di telefonia mobile o linee elettriche nelle vicinanze dei siti di misurazione). Se si vuole ottenere una rappresentatività per l'intera area della Svizzera, il numero di siti dovrebbe essere aumentato a livello cantonale.

In sintesi, i primi risultati mostrano che il concetto di misura scelto è utile per caratterizzare la tipica situazione NIR nell'ambiente. I valori misurati erano chiaramente inferiori ai valori limite di immissione, che sono decisivi per quanto riguarda gli effetti sulla salute. Nel complesso, la comprensione dell'esposizione alle NIR nella vita quotidiana è migliorata in modo significativo grazie a questi risultati e a quelli previsti per il futuro.

5. Bibliografia

- Agence Nationale des Fréquences. (2020). *Studio dell'esposizione*. Francia:
<https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/expacement/20210716-campagne-mairies-2020.pdf>.
- Birks L.E., S. B.-B.-Z. (2018). Variabilità spaziale e temporale dell'esposizione ambientale personale ai campi elettromagnetici a radiofrequenza nei bambini in Europa. *Ambiente Internazionale*, pag. 117: 204-214.
- Ufficio federale di statistica. (2012). *Tipologia comunale e tipologia urbana/rurale*.
- Eeftens M., D. S. (2020). Uno studio di valutazione della qualità del mondo reale in sei dispositivi di misurazione ExpoM-RF. *Ricerca ambientale*, pag. 182:109049.
- Eeftens M., S. B. (2018). Gestione della diafonia nelle misure di campo elettromagnetico dei dispositivi portatili. *Bioelettromagnetica*, pag. 39(7): 529-538.
- Jalilian H., E. M. (2019). Esposizione pubblica ai campi elettromagnetici a radiofrequenza nei microambienti quotidiani: una revisione sistematica aggiornata per l'Europa. *Ricerca ambientale*, pag. 176:108517.
- JCGM, J. C. (2008). *Valutazione dei dati di misura - Guida all'espressione dell'incertezza di misura*. JCGM.
- Röösli M., D. S. (2019). Comunicazione mobile e salute: quanto siamo irradiati? *Hausarzt Praxis*, pag. 14 (2): 41-44.
- Röösli M., F. M. (2015). *Concetto di campionamento per la misurazione delle radiazioni non ionizzanti con esposimetri*. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/externe-studien-berichte/stichprobenkonzeptfuermessungendernichtionisierendenstrahlungmit.pdf>.
- Sagar S., A. S. (2018). Confronto dei livelli di esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza in diversi microambienti quotidiani in un contesto internazionale. *Ambiente Internazionale*, pag. 114: 297-306.
- Struchen B., L. I. (2016). Analisi dell'esposizione personale e in camera da letto alle ELF-MF nei bambini in Italia e in Svizzera. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, pag. 26(6):586-596.

6. Fonti di dati

Tabella 12: Set di dati utilizzati per la pianificazione dei percorsi di misurazione e dei siti di misurazione con le relative fonti e licenze.

Informazioni	Fonte	Licenza
Posizione delle antenne radio mobili	geo.admin.ch	Pubblica
Ubicazione delle stazioni di trasmissione	geo.admin.ch	Pubblica
Coordinate Linee elettriche	- Swissgrid AG - Axpo Grid AG - Primeo Energy - Gruppo E SA - openinframap.org	Con accordo sull'uso dei dati o pubblico
Coordinate delle linee ferroviarie	geo.admin.ch (SwissTLM3D)	Pubblica
Tipologia comunale UST	Atlante BFS	Pubblica
Tipologia comunale ARE	geo.admin.ch	Pubblica
Zone edificabili	geo.admin.ch	Pubblica
Tipologia di paesaggio	geo.admin.ch	Pubblica
Confini comunali	geo.admin.ch	Pubblica
Copertura del suolo CORINE	wsl.ch	Pubblica
Registro edilizio e abitativo (GWS) (contiene informazioni sulla popolazione)	UST	Contratto di utilizzo dei dati
Statistiche sull'edilizia e sulle abitazioni (GWS)	UST	Contratto di utilizzo dei dati

Appendice

I Glossario

Tabella 13: Iossario

Designazione	Descrizione
AC	Corrente alternata: corrente alternata
CEM	Campo elettromagnetico
DAB	Digital Audio Broadcasting: standard di trasmissione digitale per la radio.
DC	Corrente continua: corrente continua
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications: standard per le comunicazioni radio, utilizzato principalmente per i telefoni senza fili.
DL	Downlink: Flusso di dati dall'antenna radio mobile al telefono cellulare
ELF	Frequenza estremamente bassa: intervallo di frequenza compreso tra 3 e 30 Hz (secondo la definizione dell'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni). In questo rapporto, il termine viene utilizzato come proxy per tutte le frequenze inferiori a 100 kHz.
EMF	Campo elettromagnetico: termine collettivo che indica i campi elettromagnetici e le loro interazioni.
FFT	Trasformata rapida di Fourier: termine collettivo per le procedure matematiche di conversione dei segnali tra spazio temporale e spazio di frequenza.
FM	Modulazione di frequenza: metodo di applicazione di un segnale utile a un segnale portante mediante variazioni della frequenza del segnale portante.
GIS	Sistema di geoinformazione
GPS	Global Positioning System: servizio di localizzazione satellitare
HF	Alta frequenza, utilizzata come sinonimo di RF in questo rapporto.
ISM	Banda industriale, scientifica e medica: gamme di frequenza prive di licenza utilizzate per una serie di dispositivi tecnici (ad esempio Bluetooth, WiFi, forni a microonde).
ME	Microambiente / Mikroumgebung
MySQL	Sistema di gestione di database di Oracle
NF	Bassa frequenza, utilizzata in questo rapporto come sinonimo di ELF.
NIS	Radiazioni non ionizzanti
PAM/PAMR	Radio mobile professionale: sistemi di comunicazione radio
Picco	Valore di picco (massimo)
Polycom	Rete radio svizzera basata su Tetrapol, sistema radio nazionale ufficiale delle autorità per la polizia, i servizi di emergenza, ecc.
R	Linguaggi di programmazione gratuiti per applicazioni statistiche
RF	Radiofrequenza: intervallo di frequenza non chiaramente definito (principalmente) nella gamma dei MHz e dei GHz, utilizzato per la maggior parte delle tecnologie di comunicazione.
RMS	radice quadrata media: valore matematico effettivo dell'intensità di campo dei campi alternati.
TDD	Duplex a divisione di tempo: Metodo di trasmissione in cui il flusso di dati tra due dispositivi (ad esempio, telefono cellulare e antenna del telefono cellulare) è ritardato nel tempo in entrambe le direzioni (uplink e downlink) con la stessa frequenza.
Tetrapol	Sistema radio digitale sviluppato per applicazioni di sicurezza pubblica.
TRASPORTO PUBBLICO	Trasporto pubblico
TV	Televisione: servizi televisivi

Designazione	Descrizione
UFANO	Ufficio federale dell'ambiente
UL	Uplink: Flusso di dati dal telefono cellulare all'antenna del telefono cellulare
UST	Ufficio federale di statistica
VLI	Valore limite di immissione
WiFi	Consorzio aziendale per la certificazione dei dispositivi WLAN, usato nel linguaggio comune come sinonimo di WLAN.
WLAN	Wireless Local Area Network: reti locali senza fili

II Elenco delle comunità di localizzazione del microambiente

Microambienti

Tabella 14: Elenco dei comuni del sito con il numero totale di microambienti per comune e suddivisi per tipo di microambiente esterno.

Comunità	Riserva naturale	Agricoltura-area	Sport/Area ricreativa	Area industriale	Area residenziale	Centro città	Decentrato Area residenziale	Centrale Area residenziale	Grande città centro	Totale
Aarau	1			1			1	1	1	5
Basilea										0
Bioggio					1	1				2
Brienz					1	1				2
Duebendorf			1	1	2	1				5
Duggingen										0
Frick				1	1	1				3
Graenichen					2	1				3
Grellingen					1	1				2
Gstaad					1	1				2
Laufenburg	1				1	1				3
Losanna	1						2	1	1	5
Lugano							1	1	1	3
Lungern		1			1	1				3
Montreux										0
Muenchenstein	1		1	1	2	1				6
Nesslau		1			1	1				3
Neuchatel							2	1	1	4
Reinach					1	1				2
Ruemlang				1	1	1				3
Seewen		1			1	1				3
Spiez										0
Saint-Blaise					1	1				2
Wattwil				1	1	1				3
Yverdon										0
Zurigo			1	2			2	2	1	8
Zweisimmen	1				1	1				3
Totale	5	3	3	8	20	17	8	6	5	75

Ambienti di misurazione interni/pubblici

Tabella 15: Elenco dei comuni di ubicazione con il numero totale di microambienti per comune e suddivisi per tipo di microambiente interno o pubblico.

Comunità	Biblioteca	ETH/UNI/FH	Museo	Ristoranti	Supermercato	Aeroporto	Fermata dell'autobus	Fermata del tram	Stazioni	Totale
Aarau									2	2
Basilea									1	1
Bioggio									1	1
Brienz				1	1					2
Duebendorf				1	1					2
Duggingen				1						1
Frick							1			1
Graenichen										0
Grellingen				1					1	2
Gstaad									1	1
Laufenburg				1						1
Losanna			1	1			1		1	4
Lugano				1	1		1		1	4
Lungern										0
Montreux				1					1	2
Muenchenstein				1	1					2
Nesslau									1	1
Neuchatel	1	1					2	1	0	5
Reinach				1						1
Ruemlang										0
Seewen										0
Spiez									2	2
Saint-Blaise										0
Wattwil					1		1			2
Yverdon									1	1
Zurigo		2		2		1		4	4	13
Zweisimmen				1					1	2
Totale	1	3	1	13	5	1	7	5	17	53

III Caratteristiche Dati di misura HF RMS

I quantili sono mostrati senza aggregazione per ambiente di misurazione. Le medie per ogni tipo di ambiente di misura sono calcolate per ogni ambiente di misura.

Tabella 16: Parametri statistici (in V/m) dell'esposizione totale a RF-EMF (RMS).

Microambienti	numero di misure	05. perc.	25. perc.	Mediano	75. perc.	95. perc.	Numero di ME	Medio
Treno	17994	0.041	0.11	0.199	0.321	0.536	62	0.305
Tram	501	0.077	0.129	0.184	0.264	0.479	5	0.337
Bus	1098	0.043	0.084	0.144	0.234	0.466	11	0.252
Metro	105	0.089	0.144	0.189	0.253	0.463	1	0.253
Funivia	439	0.029	0.056	0.082	0.156	0.243	2	0.138
Centro di una grande città	977	0.047	0.103	0.19	0.338	0.7	5	0.377
Zona residenziale centrale	1015	0.055	0.116	0.18	0.289	0.483	6	0.281
Zona residenziale decentrata	1504	0.055	0.097	0.135	0.222	0.464	8	0.237
Centro città	2797	0.031	0.062	0.108	0.187	0.424	17	0.204
Zona residenziale	3413	0.034	0.055	0.091	0.176	0.405	20	0.191
Zona industriale	1366	0.09	0.198	0.301	0.449	0.716	8	0.403
Zona di sport e tempo libero	554	0.091	0.162	0.246	0.347	0.527	3	0.303
Zona agricola	633	0.026	0.048	0.066	0.097	0.264	3	0.169
Zona naturale	940	0.027	0.035	0.052	0.087	0.15	5	0.083
Stazione	1582	0.058	0.146	0.252	0.352	0.599	17	0.326
Fermata di tram	284	0.132	0.214	0.388	0.546	1.492	5	0.661
Fermata di bus	544	0.124	0.214	0.329	0.451	0.623	7	0.361
Aeroporto	174	0.151	0.235	0.306	0.463	0.701	1	0.4
Supermercato	670	0.031	0.057	0.093	0.169	0.452	5	0.233
Ristoranti	4409	0.024	0.046	0.104	0.167	0.348	13	0.181
Museo	529	0.046	0.114	0.188	0.312	0.711	1	0.346
ETH/UNI/FH	403	0.031	0.056	0.086	0.111	0.231	3	0.142
Biblioteca	151	0.124	0.162	0.195	0.322	0.561	1	0.294

Tabella 17: Parametri statistici (in V/m) dell'esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza (RMS) da radiodiffusione:

Bande 01-0098M-fm, 02-0202M-dab, 03-0385M-poly, 04-0423M-ism, 05-0453M-pmr, 06-0508M-tv, 07-0584M-tv, 08-0660M-tv.

Microambienti	numero di misure	05. perc.	25. perc.	Mediano	75. perc.	95. perc.	Numero di ME	Medio
Treno	17994	0.008	0.01	0.014	0.026	0.075	62	0.042
Tram	501	0.028	0.049	0.069	0.11	0.196	5	0.097
Bus	1098	0.013	0.035	0.05	0.084	0.184	11	0.115
Metro	105	0.008	0.009	0.01	0.014	0.024	1	0.014
Funivia	439	0.019	0.037	0.045	0.064	0.115	2	0.06
Centro di una grande città	977	0.014	0.03	0.043	0.07	0.154	5	0.104
Zona residenziale centrale	1015	0.016	0.042	0.063	0.11	0.209	6	0.101
Zona residenziale decentrata	1504	0.018	0.038	0.052	0.075	0.139	8	0.074
Centro città	2797	0.011	0.017	0.037	0.069	0.218	17	0.104
Zona residenziale	3413	0.015	0.024	0.039	0.079	0.289	20	0.131
Zona industriale	1366	0.018	0.037	0.08	0.141	0.35	8	0.157
Zona di sport e tempo libero	554	0.037	0.065	0.119	0.197	0.373	3	0.173
Zona agricola	633	0.01	0.015	0.03	0.05	0.087	3	0.051
Zona naturale	940	0.015	0.021	0.03	0.064	0.121	5	0.062
Stazione	1582	0.012	0.024	0.031	0.078	0.206	17	0.104
Fermata di tram	284	0.037	0.051	0.055	0.074	0.127	5	0.073
Fermata di bus	544	0.02	0.042	0.051	0.128	0.227	7	0.137
Aeroporto	174	0.013	0.017	0.023	0.027	0.034	1	0.024
Supermercato	670	0.008	0.009	0.013	0.018	0.067	5	0.042
Ristoranti	4409	0.009	0.012	0.023	0.039	0.112	13	0.054
Museo	529	0.007	0.009	0.009	0.012	0.016	1	0.011
ETH/UNI/FH	403	0.012	0.015	0.024	0.042	0.109	3	0.099
Biblioteca	151	0.042	0.042	0.043	0.045	0.071	1	0.055

Tabella 18: Parametri statistici (in V/m) dell'esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza (RMS) delle antenne di telefonia mobile (downlink):

Bande 11-0771M-dl, 12-0809M-dl, 15-0943M-dl, 16-1480M-sdl, 18-1843M-dl, 21-2145M-dl, 25-2657M-dl.

Microambienti	numero di misure	05. perc.	25. perc.	Mediano	75. perc.	95. perc.	Numero di ME	Medio
Treno	17994	0.007	0.028	0.088	0.186	0.442	62	0.185
Tram	501	0.023	0.07	0.124	0.206	0.429	5	0.308
Bus	1098	0.007	0.022	0.071	0.181	0.429	11	0.206
Metro	105	0.023	0.04	0.065	0.138	0.343	1	0.157
Funivia	439	0.018	0.04	0.058	0.137	0.215	2	0.121
Centro di una grande città	977	0.02	0.063	0.158	0.293	0.663	5	0.343
Zona residenziale centrale	1015	0.029	0.089	0.145	0.261	0.463	6	0.257
Zona residenziale decentrata	1504	0.018	0.052	0.097	0.203	0.462	8	0.22
Centro città	2797	0.02	0.04	0.073	0.141	0.365	17	0.173
Zona residenziale	3413	0.017	0.032	0.057	0.109	0.285	20	0.137
Zona industriale	1366	0.053	0.155	0.245	0.394	0.695	8	0.366
Zona di sport e tempo libero	554	0.032	0.061	0.135	0.265	0.515	3	0.246
Zona agricola	633	0.007	0.025	0.046	0.08	0.262	3	0.16
Zona naturale	940	0.007	0.013	0.023	0.052	0.106	5	0.053
Stazione	1582	0.051	0.122	0.209	0.296	0.559	17	0.296
Fermata di tram	284	0.106	0.181	0.36	0.538	1.489	5	0.651
Fermata di bus	544	0.063	0.166	0.282	0.419	0.589	7	0.323
Aeroporto	174	0.108	0.222	0.293	0.432	0.682	1	0.382
Supermercato	670	0.006	0.009	0.029	0.091	0.396	5	0.201
Ristoranti	4409	0.005	0.008	0.036	0.127	0.334	13	0.15
Museo	529	0.036	0.1	0.181	0.308	0.71	1	0.342
ETH/UNI/FH	403	0.008	0.017	0.037	0.068	0.144	3	0.072
Biblioteca	151	0.082	0.135	0.167	0.284	0.546	1	0.27

Tabella 19: Parametri statistici (in V/m) dell'esposizione a RF-EMF (RMS) da telefoni cellulari (uplink): bande 09-0718M-ul, 13-0847M-ul, 14-0898M-ul, 17-1748M-ul, 20-1957M-ul, 23-2535M-ul.

Microambienti	numero di misure	05. perc.	25. perc.	Mediano	75. perc.	95. perc.	Numero di ME	Medio
Treno	17994	0.005	0.019	0.05	0.127	0.373	62	0.204
Tram	501	0.005	0.008	0.018	0.04	0.117	5	0.057
Bus	1098	0.005	0.007	0.019	0.042	0.129	11	0.061
Metro	105	0.021	0.058	0.101	0.168	0.322	1	0.165
Funivia	439	0.005	0.005	0.005	0.006	0.01	2	0.006
Centro di una grande città	977	0.005	0.006	0.009	0.016	0.065	5	0.069
Zona residenziale centrale	1015	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015	6	0.01
Zona residenziale decentrata	1504	0.005	0.005	0.005	0.01	0.016	8	0.01
Centro città	2797	0.005	0.005	0.005	0.006	0.012	17	0.008
Zona residenziale	3413	0.005	0.005	0.005	0.005	0.011	20	0.009
Zona industriale	1366	0.005	0.005	0.006	0.011	0.025	8	0.015
Zona di sport e tempo libero	554	0.005	0.005	0.005	0.006	0.039	3	0.016
Zona agricola	633	0.005	0.005	0.005	0.005	0.007	3	0.006
Zona naturale	940	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	5	0.006
Stazione	1582	0.005	0.01	0.021	0.041	0.114	17	0.049
Fermata di tram	284	0.006	0.008	0.01	0.013	0.038	5	0.031
Fermata di bus	544	0.007	0.012	0.017	0.027	0.069	7	0.039
Aeroporto	174	0.011	0.015	0.019	0.027	0.042	1	0.026
Supermercato	670	0.005	0.006	0.012	0.026	0.1	5	0.049
Ristoranti	4409	0.005	0.005	0.009	0.015	0.04	13	0.022
Museo	529	0.005	0.005	0.008	0.018	0.067	1	0.036
ETH/UNI/FH	403	0.006	0.01	0.016	0.028	0.066	3	0.035
Biblioteca	151	0.01	0.01	0.011	0.012	0.024	1	0.021

Tabella 20: Parametri statistici (in V/m) dell'esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza (RMS) dei servizi mobili TDD:

Bande 10-0748M-tdd, 24-2593M-tdd, 26-3475M-nr, 27-3605M-nr, 28-3735M-nr.

Microambienti	numero di misure	05. perc.	25. perc.	Mediano	75. perc.	95. perc.	Numero di ME	Medio
Treno	17994	0.004	0.004	0.005	0.008	0.058	62	0.066
Tram	501	0.004	0.007	0.014	0.031	0.075	5	0.041
Bus	1098	0.004	0.004	0.005	0.012	0.036	11	0.019
Metro	105	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	1	0.004
Funivia	439	0.004	0.005	0.006	0.008	0.023	2	0.011
Centro di una grande città	977	0.004	0.004	0.012	0.029	0.102	5	0.081
Zona residenziale centrale	1015	0.004	0.005	0.011	0.032	0.071	6	0.036
Zona residenziale decentrata	1504	0.004	0.004	0.006	0.028	0.049	8	0.034
Centro città	2797	0.004	0.004	0.006	0.013	0.043	17	0.025
Zona residenziale	3413	0.004	0.004	0.005	0.009	0.029	20	0.017
Zona industriale	1366	0.005	0.01	0.023	0.042	0.124	8	0.056
Zona di sport e tempo libero	554	0.005	0.007	0.01	0.017	0.037	3	0.02
Zona agricola	633	0.004	0.004	0.004	0.005	0.008	3	0.005
Zona naturale	940	0.004	0.004	0.004	0.005	0.008	5	0.006
Stazione	1582	0.005	0.008	0.018	0.049	0.137	17	0.062
Fermata di tram	284	0.02	0.031	0.042	0.08	0.134	5	0.073
Fermata di bus	544	0.004	0.019	0.028	0.048	0.116	7	0.056
Aeroporto	174	0.017	0.034	0.044	0.065	0.099	1	0.058
Supermercato	670	0.004	0.004	0.004	0.005	0.01	5	0.006
Ristoranti	4409	0.004	0.004	0.004	0.008	0.023	13	0.012
Museo	529	0.004	0.004	0.005	0.005	0.007	1	0.005
ETH/UNI/FH	403	0.004	0.004	0.009	0.027	0.031	3	0.021
Biblioteca	151	0.027	0.028	0.029	0.03	0.041	1	0.031

Tabella 21: Parametri statistici (in V/m) dell'esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza (RMS) da WLAN: bande 22-2438M-wifi, 29-5200M-wifi, 30-5325M-wifi, 31-5450M-wifi, 32-5575M-wifi, 33-5700M-wifi, 34-5825M-wifi, 35-5950M-wifi.

Microambienti	numero di misure	05. perc.	25. perc.	Mediano	75. perc.	95. perc.	Numero di ME	Medio
Treno	17994	0.007	0.023	0.054	0.109	0.214	62	0.105
Tram	501	0.008	0.015	0.029	0.058	0.135	5	0.067
Bus	1098	0.006	0.008	0.015	0.04	0.09	11	0.061
Metro	105	0.031	0.064	0.082	0.117	0.188	1	0.11
Funivia	439	0.006	0.007	0.007	0.007	0.007	2	0.026
Centro di una grande città	977	0.007	0.011	0.018	0.038	0.072	5	0.04
Zona residenziale centrale	1015	0.007	0.01	0.014	0.026	0.066	6	0.033
Zona residenziale decentrata	1504	0.006	0.007	0.009	0.06	0.07	8	0.034
Centro città	2797	0.005	0.006	0.008	0.011	0.057	17	0.018
Zona residenziale	3413	0.006	0.006	0.007	0.009	0.054	20	0.016
Zona industriale	1366	0.006	0.006	0.007	0.01	0.02	8	0.013
Zona di sport e tempo libero	554	0.006	0.006	0.006	0.007	0.008	3	0.007
Zona agricola	633	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	3	0.006
Zona naturale	940	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	5	0.007
Stazione	1582	0.007	0.012	0.023	0.039	0.081	17	0.04
Fermata di tram	284	0.012	0.016	0.023	0.053	0.061	5	0.045
Fermata di bus	544	0.008	0.015	0.028	0.067	0.097	7	0.055
Aeroporto	174	0.04	0.048	0.054	0.071	0.128	1	0.097
Supermercato	670	0.015	0.022	0.03	0.047	0.127	5	0.066
Ristoranti	4409	0.008	0.014	0.024	0.043	0.101	13	0.074
Museo	529	0.016	0.024	0.031	0.041	0.067	1	0.039
ETH/UNI/FH	403	0.012	0.02	0.037	0.061	0.085	3	0.06
Biblioteca	151	0.06	0.061	0.066	0.078	0.207	1	0.096

IV Confronto tra le bande di frequenza HF-EMF del 2014 e del 2021

Tabella 22: Confronto tra le bande di frequenza misurate nel presente rapporto (2021) e in una campagna di misura simile del 2014. (Röösli M. F. M., 2015) è stato misurato. Il rapporto ha confrontato l'esposizione totale con tutte le bande definite nel 2014 e nel 2021, nonché l'esposizione da "radio mobile". Le bande classificate come radio mobili nelle due campagne di misura sono ombreggiate in grigio nella tabella.

Volume n. (2021)	Descrizione (2021)	Frequenza centrale 2021 (MHz)	Larghezza di banda 2021 (MHz)	Frequenza centrale 2014 (MHz)	Larghezza di banda 2014 (MHz)
1	Radio FM	97.75	35	97.75	20.5
2	DAB/DAB+	202	75	-	-
3	Polycom / TETRAPOL	385	35	-	-
4	TETRAPOL, amatoriale, ISM 433	422.5	35	-	-
5	PMR/PAMR (radio professionale)	452.5	35	-	-
6	Trasmissione CH (1)	507.5	75	630	320
7	Trasmissione CH (2)	583.5	75		
8	Trasmissione CH (3)	659.5	75		
9	Mobile 700 UL (CH)	718	35		
10	Mobile 700 TDD (CH, Sunrise)	748	35		
11	Mobile 700 DL (CH)	770.5	35	806	30
12	Mobile 800 downlink	808.5	35		
13	Mobile 800 uplink	847	35		
14	Collegamento mobile 900	897.5	35		
15	Mobile 900 downlink	942.5	35		
16	Mobile 1400 SDL (CH)	1479.5	75	-	-
17	Collegamento mobile 1800	1747.5	75	1747.5	75
18	Mobile 1800 downlink	1842.5	75	1842.5	75
19	DECT	1897.5	35	1890	20
20	Mobile 2100 uplink	1957	75	1950	60
21	Mobile 2100 downlink	2145	75	2140	60
22	ISM 2,4 GHz	2438	100	2442.5	85
23	Mobile 2600 uplink	2535	75	2535	70
24	Mobile 2600 TDD (Swisscom)	2592.5	35	-	-
25	Mobile 2600 downlink	2657	75	2655	70
26	Mobile 3500 (1)	3475	100	-	-
27	Mobile 3500 (2)	3605	100		
28	Mobile 3500 (3)	3735	100		
29	WiFi 5 GHz (1)	5200	100	5512.5	725
30	WiFi 5 GHz (2)	5325	100		
31	WiFi 5 GHz (3)	5450	100		
32	WiFi 5 GHz (4)	5575	100		

Volume n. (2021)	Descrizione (2021)	Frequenza centrale 2021 (MHz)	Larghezza di banda 2021 (MHz)	Frequenza centrale 2014 (MHz)	Larghezza di banda 2014 (MHz)
33	WiFi 5 GHz (5)	5700	100		
34	WiFi / SRD 5,8 GHz (1)	5825	100		
35	WiFi / SRD 5,8 GHz (2)	5950	100	-	-

V Elenco dei comuni selezionati per le misurazioni

Tabella 23: Elenco dei 70 comuni selezionati per le misurazioni del percorso e dei punti (al 22.04.2022).

	Comunità	Cantone	Tipologia di comune secondo l'UST
1	Basilea	BS	Città nucleo di un grande agglomerato (111)
2	Berna	ESSERE	
3	Geneve	GE	
4	Losanna	VD	
5	Zurigo	ZH	
6	Allschwil	BL	Comunità di lavoro urbana di un grande agglomerato (112)
7	Duebendorf	ZH	
8	Freienbach	SZ	
9	Liestal	BL	
10	Muenchenstein	BL	
11	Bettingen	BS	Comunità residenziale urbana di un grande agglomerato (113)
12	Kehrsatz	BE	
13	Lausen	BL	
14	Carrucola	VD	
15	Zufikon	ZH	
16	Aarau	AG	Città nucleo di un agglomerato di medie dimensioni (121)
17	Bienne	ESSERE	
18	Friburgo	FR	
19	Lugano	TI	
20	Lucerna	LU	
21	Neuchatel	NE	
22	Soletta	SO	
23	San Gallo	SG	
24	Winthertur	ZH	
25	Bioggio	TI	Comunità di lavoro urbana di un agglomerato di medie dimensioni (122)
26	Herisau	AR	
27	Neuhausen sulle cascate del Reno	SH	
28	Malvagio	BE	Comunità residenziale urbana di un agglomerato di medie dimensioni (123)
29	Graenichen	AG	
30	Ipsach	BE	
31	Nidau	BE	

	Comunità	Cantone	Tipologia di comune secondo l'UST
32	Saint-Blaise	NE	
33	Zermatt	VS	Comunità turistica urbana di un agglomerato piccolo o esterno (134)
34	Appenzello	AR	Comunità industriale urbana di un agglomerato piccolo o esterno (136)
35	Glarona	GL	
36	Reinach	AG	
37	Rossemaison	JU	
38	Visp	VS	
39	Wattwil	SG	
40	Cheseaux-Noreaz	VD	Comune di servizio urbano di un agglomerato piccolo o esterno (137)
41	Delemont	JU	
42	Svitto	SZ	
43	Yverdon	VD	
44	Ruemlang	ZH	Comunità industriale periurbana ad alta densità (216)
45	Belp	ESSERE	Comunità di servizi periurbana ad alta densità (217)
46	Hergiswil	NW	
47	Deitingen	SO	Comunità industriale periurbana a media densità (226)
48	Erstfeld	UR	
49	Grellingen	BL	
50	Selzach	SO	
51	Grolley	FR	Comunità di servizi periurbana a media densità (227)
52	Walchwil	ZG	
53	Chatillon	JU	Comunità agricola periurbana a bassa densità (235)
54	Tecknau	BL	Comunità industriale periurbana a bassa densità (236)
55	Seewen	ESSERE	Comunità di servizio periurbana a bassa densità (237)
56	Unterbaech	VS	
57	Brienz	ESSERE	Comunità turistica di un centro rurale (314)
58	Gstaad (Saanen)	ESSERE	
59	Frick	AG	Comunità industriale di un centro rurale (316)
60	Langnau nell'Emmental	ESSERE	Comunità di servizio di un centro rurale (317)
61	Bowil	ESSERE	Comunità agricola rurale in posizione centrale (325)
62	Gonten	AI	
63	Diessenhofen	TG	Comunità industriale rurale in posizione centrale (326)
64	Laufenburg	AG	
65	Ruete	AI	
66	Nesslerau	SG	Comunità di servizio rurale in posizione centrale (327)
67	Disentis	GR	Comunità turistica periferica rurale (334)
68	Escholz matt-Marbach	LU	Comunità agricola periferica rurale (335)
69	Lungern	OW	Comunità mista periferica rurale (338)
70	Zweisimmen	ESSERE	

VI Elenco dei punti di misurazione spot

Tabella 24: Elenco delle misurazioni spot con il comune di ubicazione, l'ID del microambiente e la categoria dell'edificio (GKAT) dal registro degli edifici del GWS.

ID spot	Comunità	Fonte primaria	Tipo di casa	GKAT
spot_002	Muenchenstein	Linee ad altissima tensione 220/380kV (linea aerea)	EFH	1021
spot_003	Muenchenstein	Linee di tram	MFH	1030
spot_019	Soletta	Linee ferroviarie a binario unico	EFH	1021
spot_021	Deitingen	Linee ferroviarie a doppio binario	Agriturismo	1025

VII Correzione della diafonia

Tabella 25: Riduzione dell'esposizione totale a RF-EMF dopo la correzione della diafonia. I valori medi non corretti e corretti, la percentuale di riduzione e le differenze assolute tra i valori medi non corretti e corretti per tipo di ambiente di misura per i valori RMS e di picco.

Tipo di ambiente di misura	RMS						Picco					
	Numero di misure	Numero di ME	Valore medio non corretto [V/m]	Valore medio corretto [V/m]	Riduzione media [%]	Riduzione media [V/m]	Numero di misure i	Numero di ME	Valore medio non corretto [V/m]	Valore medio corretto [V/m]	Riduzione media [%]	Riduzione media [V/m]
Treno	17994	62	0.308	0.305	1.0	0.003	17832	61	2.104	2.091	0.6	0.013
Tram	500	5	0.339	0.337	0.6	0.002	501	5	2.01	2.002	0.4	0.008
Autobus	1046	10	0.236	0.233	1.3	0.003	1013	10	1.418	1.401	1.2	0.017
Metro	105	1	0.255	0.253	0.8	0.002	105	1	1.665	1.659	0.4	0.006
Funivia	439	2	0.138	0.138	0.0	0.000	438	2	0.934	0.932	0.2	0.002
Grande centro città	977	5	0.385	0.377	2.1	0.008	979	5	2.088	2.039	2.3	0.049
Zona residenziale centrale	1015	6	0.285	0.281	1.4	0.004	1017	6	1.525	1.512	0.9	0.013
Area residenziale decentrata	1504	8	0.240	0.237	1.3	0.003	1504	8	1.485	1.477	0.5	0.008
Centro città	2796	17	0.212	0.204	3.8	0.008	2794	17	1.332	1.304	2.1	0.028
Area residenziale	3411	20	0.194	0.191	1.5	0.003	3410	20	1.064	1.052	1.1	0.012
Area industriale	1365	8	0.408	0.403	1.2	0.005	1365	8	2.644	2.618	1.0	0.026
Area sportiva/ricreativa	553	3	0.305	0.303	0.7	0.002	554	3	1.679	1.655	1.4	0.024
Area agricola	633	3	0.169	0.169	0.0	0.000	471	2	0.426	0.419	1.6	0.007
Riserva naturale	939	5	0.083	0.083	0.0	0.000	938	5	0.361	0.359	0.6	0.002
Stazione	1582	17	0.330	0.326	1.2	0.004	1509	16	1.863	1.85	0.7	0.013
Fermata del tram	284	5	0.663	0.661	0.3	0.002	284	5	4.223	4.215	0.2	0.008
Fermata dell'autobus	494	6	0.383	0.379	1.0	0.004	495	6	2.391	2.376	0.6	0.015
Aeroporto	174	1	0.407	0.400	1.7	0.007	174	1	2.767	2.736	1.1	0.031

Tipo di ambiente di misura	RMS						Picco					
	Numero di misure	Numero di ME	Valore medio non corretto [V/m]	Valore medio corretto [V/m]	Riduzione media [%]	Riduzione media [V/m]	Numero di misure i	Numero di ME	Valore medio non corretto [V/m]	Valore medio corretto [V/m]	Riduzione media [%]	Riduzione media [V/m]
Supermercato	669	5	0.239	0.233	2.5	0.006	672	5	1.586	1.553	2.1	0.033
Ristoranti	4408	13	0.183	0.181	1.1	0.002	4402	13	1.094	1.083	1.0	0.011
Museo	529	1	0.347	0.346	0.3	0.001	528	1	2.062	2.057	0.2	0.005
ETH/UNI/FH	403	3	0.143	0.142	0.7	0.001	403	3	0.695	0.694	0.1	0.001
Biblioteche	151	1	0.295	0.294	0.3	0.001	151	1	2.241	2.24	0.0	0.001