

Qualità dell'ambiente urbano

XI Rapporto

Edizione 2015

Focus su INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO E AMBIENTE URBANO



Qualità dell'ambiente urbano

XI Rapporto

Edizione 2015

Focus su INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO E AMBIENTE URBANO

**Evoluzione tecnologica e normativa nel settore
delle telecomunicazioni. Cosa può cambiare
nell'esposizione della popolazione
ai campi elettromagnetici**

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), le Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA), le Agenzie Provinciali per la Protezione dell'Ambiente (APPA) e le persone che agiscono per loro conto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

ISPRA, Stato dell'Ambiente 64/15
ISBN 978-88-448-0750-4

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli e Elena Porrazzo

Coordinamento editoriale

Daria Mazzella

ISPRA – Settore Editoria

PRESENTAZIONE

Era il 2003 quando si scelse di introdurre tra i compiti istituzionali dell'allora APAT, oggi ISPRA, il monitoraggio e la valutazione della qualità dell'ambiente urbano, con la pubblicazione annuale di un Rapporto, giunto con la presente alla sua XI edizione. Quella scelta si è rivelata nel tempo strategica se ad occuparsi del rapporto città-ambiente ci sono istituzioni come le Nazioni Unite, l'ICLEI, l'Agenzia europea per l'ambiente, e se le stesse Nazioni Unite hanno dall'anno scorso istituito la Giornata mondiale delle città (il 31 Ottobre di ogni anno). La dimensione urbana è diventata, oggi, centrale nell'analisi delle complesse dinamiche ambientali e nella sperimentazione di pratiche sostenibili, rappresentando al contempo sia una grande fonte di pressione ambientale, che la scala da cui partire per segnare il cambiamento. Da quel lontano 2003 molta strada è stata fatta, e molto è il patrimonio di conoscenza ambientale che è andato sviluppandosi e consolidandosi grazie al lavoro di condivisione svolto dalla rete costituita da ISPRA e dalle Agenzie ambientali Regionali (ARPA) e provinciali (APPA). Il percorso tracciato con l'iniziale analisi di otto realtà metropolitane, ci permette oggi – con questa undicesima edizione del Rapporto – di fotografare la qualità dell'ambiente in 85 tra le principali realtà urbane del nostro Paese.

L'analisi dell'ambiente alla scala urbana rappresenta una doppia sfida: sia sul piano tecnico-metodologico (uniformità dei modelli/metodi di stima, validità statistica del dato, etc.) che sul piano organizzativo e di coordinamento dei soggetti a vario titolo competenti. ISPRA ha raccolto questa duplice sfida, forte del grande patrimonio di conoscenza tecnica consolidatasi negli anni e alla mole di dati in possesso delle ARPA e delle APPA, i soggetti più vicini ai territori, e quindi più sensibili alla realtà locale. Dal 2012 il Consiglio Federale del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), da me presieduto, ha attribuito al Rapporto il logo rappresentativo del SNPA che contraddistingue proprio quei prodotti editoriali frutto di attività congiunte ISPRA/ARPA/APPA.

Il Rapporto è il frutto di sinergie non solo ISPRA/ARPA/APPA, ma anche tra ISPRA e gli altri soggetti che a livello nazionale producono dati ambientali, come ISTAT, ACI, Corpo Forestale dello Stato, nonché Regioni, Province e Comuni. Questo, a mio avviso, è il grande valore aggiunto di questo prodotto e ciò in ossequio alla profonda convinzione sull'indispensabile collaborazione e sinergia tra Enti ed Istituzioni: con ANCI è stato siglato un protocollo d'intesa sulle attività relative alle aree urbane già nel 2009 e con ISTAT abbiamo negli anni avviato un proficuo lavoro di confronto e arricchimento reciproco, attraverso Gruppi di lavoro interistituzionali come quello sul consumo di suolo e sul verde pubblico. Questi sono alcuni dei temi tipicamente "urbani" trattati nel Rapporto, che vuole rappresentare uno strumento di lavoro per i decisori. Particolarmente caro è il tema del consumo di suolo, perché fortemente interconnesso con le principali criticità ambientali delle città italiane (e non solo): dissesto idrogeologico, rischio di erosione e perdita di biodiversità, ma anche alterazione dei cicli bio-geochimici e della relazione suolo-atmosfera.

È fondamentale per un Paese come il nostro approvare quanto prima il disegno di legge sul consumo di suolo, fenomeno che rende più fragile il nostro Paese e più insicura la vita dei cittadini, comportando un costo ambientale evidente.

È chiaro dunque come l'attività di ricerca, monitoraggio e valutazione, nonché reporting relativamente all'ambiente urbano si caratterizzi per sua natura come un campo di attività necessariamente interdisciplinare, interessando tanto le discipline strettamente ambientali (come quelle legate all'analisi dello stato delle varie matrici) quanto quelle sociali e politiche (come quelle legate alle dinamiche demografiche e alle risposte delle amministrazioni in termini di politiche locali). È per questo che le attività di ISPRA e delle ARPA/APPA sulle aree urbane non finiscono con la pubblicazione del Rapporto; anzi si declinano in una pluralità di prodotti tecnici, di attività di ricerca, di confronti tra esperti, di supporto tecnico ai decisori. Oltre al Focus di approfondimento tematico che ogni anno accompagna il Rapporto, ISPRA ha istituito un Gruppo di lavoro sulla perimetrazione delle aree urbane, redatto le Linee guida di forestazione urbana sostenibile con Roma Capitale, e presta il necessario supporto tecnico ai lavori del Comitato nazionale per il verde pubblico, istituito presso il MATTM ai sensi della Legge 10/2013.

Il Focus di quest'anno su "*Inquinamento elettromagnetico e ambiente urbano*" mette in luce ciò che è cambiato a livello normativo, le caratteristiche delle nuove tecnologie che si sono affacciate nel mondo delle telecomunicazioni, e di come tutto questo si è tradotto in termini di variazione di livelli di campo elettromagnetico presenti nell'ambiente e a cui è esposta la popolazione.

Prodotti come questo sono espressione tangibile di come le istituzioni pubbliche possano (e debbano) essere collaborative nella realizzazione di obiettivi superiori comuni come la tutela dell'ambiente e della qualità della vita, e la pianificazione e gestione del territorio.

Presidente ISPRA
Prof. Bernardo De Bernardinis

PREMESSA

La Città è al centro del Rapporto Qualità dell'ambiente urbano di ISPRA, strumento di lavoro e di approfondimento ormai consolidato e utile ai diversi livelli di governo per approfondire i temi del vivere in ambito urbano coniugandoli alla complessità delle questioni del nostro tempo.

I cambiamenti del clima sono stati in queste ultime settimane ancora al centro della discussione internazionale nell'ambito di COP 21, la Conferenza internazionale sul clima di Parigi, l'appuntamento più importante per decisioni storiche sulla salvaguardia dell'ambiente dopo Kyoto e Copenaghen, che ha visto maggior consapevolezza da parte di tutti gli Stati rispetto ai mutamenti del clima dovuti all'aumento di pressioni sull'ambiente.

Le città e le grandi conurbazioni urbane hanno un ruolo strategico nella riduzione delle emissioni Co2, tema al centro del Vertice di Parigi. I Sindaci europei si erano già impegnati nel 2008, con il Covenant of Mayors, cui quasi 3.500 comuni italiani hanno aderito, a ridurre entro il 2020 del 20% le emissioni di Co2 nelle loro città, dotandosi ciascuna di un Piano di azione per l'energia sostenibile. Contemporaneamente molte città sono anche impegnate nei progetti 'Smart City', mettendo al centro dei loro programmi l'efficientamento energetico, la riduzione di emissioni e polveri, la mobilità sostenibile. E dopo il Patto dei Sindaci arriva il Compact of Mayor, una coalizione globale, su scala planetaria, impegnata su un terreno ancora più ampio. Lo scopo è quello di ridurre le emissioni del gas serra per migliorare la resistenza ai cambiamenti climatici, attraverso obiettivi da quantificare città per città, oltre che rispetto ad energia ed efficientamento energetico anche per materie come i trasporti ed i rifiuti.

Appare poi consolidato anche un approccio con una visione integrata e di lungo periodo, impostata sulla coesione della filiera istituzionale, dove i Governi Locali rivestono il ruolo centrale di attuatori delle politiche di ampio respiro, con la capacità di mettere a sistema tutti gli aspetti per un nuovo progetto di città, che veda riaffermati obiettivi di qualità, anche avvalendosi degli attuali e sperimentati strumenti di rigenerazione e riqualificazione urbana, sullo sfondo delle campagne di sostenibilità promosse dagli organismi internazionali ed in particolare dalla UE.

Acqua, aria, rumore, suolo, natura, trasporti, rifiuti, strumenti e azioni di governance ambientale, impegno delle Amministrazioni, sono i temi in cui il Rapporto annuale di ISPRA trova declinazioni e contenuti per offrire una verifica sullo stato dell'arte nella dimensione della sostenibilità delle maggiori città del Paese, definita attraverso interventi e strategie, perseguita alla luce degli attuali vincoli normativi.

I dati sulle 85 città oggetto dello studio dell'ISPRA 2015, sul cui territorio risiede circa il 28% della popolazione totale del Paese - oltre 17 milioni di persone - confermano un orientamento ormai concreto verso la riduzione dei fattori di pressione ambientale nelle città, sia attraverso l'adozione di misure di azione locale che di azioni di sensibilizzazione verso codici di comportamento da poter diffusamente applicare. Sono evidenti gli impegni delle Amministrazioni locali per mantenere la direzione verso strategie di sviluppo sostenibile nei limiti delle attuali risorse finanziarie, che in alcuni ambiti – quali quello del trasporto pubblico locale – stanno inibendo politiche di

sviluppo di settore e ne è chiaro esempio il fatto che mentre diminuiscono posti/km offerti e quindi il ricorso al TPL, aumentano le zone a traffico limitato. Anche il monitoraggio sul patrimonio naturale ne evidenzia la ricchezza ed al contempo le difficoltà di stabilire strategie e tutele costanti, le analisi in tema di acque vedono ancora una situazione della rete di distribuzione idrica urbana critica, con perdite di rete variabili tra il 10 e oltre il 60 per cento, anche se i sistemi fognario-depurativi si stanno finalmente allineando agli standard richiesti dalla normativa comunitaria e nazionale.

Il sistema di contabilità ambientale sulle città che ogni anno ISPRA propone potrebbe in questo contesto essere utile anche per una maggior consapevolezza rispetto alle azioni locali, consapevolezza quale condizione necessaria per una forte sinergia tra gli obiettivi vincolanti di riduzione delle emissioni assunti a livello internazionale e quelli, al momento di natura volontaria, che i governi locali stanno perseguendo anche nell'ambito del Patto dei Sindaci.

Bruno Valentini
Sindaco di Siena
Delegato alle politiche ambientali ANCI

CONTRIBUTI E RINGRAZIAMENTI

Il Focus su "Inquinamento elettromagnetico e ambiente urbano" è stato realizzato dal Servizio Agenti Fisici del Dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale di ISPRA (responsabile ing. Salvatore Curcuruto).

Alla realizzazione del Rapporto sulla Qualità dell'Ambiente Urbano e del Focus hanno contribuito:

Dipartimenti e Servizi Interdipartimentali ISPRA:

Dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale

Dipartimento Attività Bibliotecarie, Documentali e per l'Informazione

Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine

Dipartimento Difesa del Suolo

Dipartimento Difesa della Natura

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale

Servizio Interdipartimentale per le Certificazioni Ambientali

Rete dei Referenti "Realizzazione di un "rapporto di sistema" sull'ambiente urbano"

Nell'ambito delle attività del Comitato Tecnico Permanente di cui si è dotato il Consiglio Federale del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ISPRA/ARPA/APPA), Area 6, è stata costituita una rete di referenti composta da:

LEPORE Arianna, CATTANI Giorgio, DI MENNO DI BUCCHIANICO Alessandro – ISPRA

ARMATO Marilù – ARPA Sicilia

CHINI Marco – ARPA Toscana

DAMIANI Giovanni – ARTA Abruzzo

DI GIOSA Alessandro – ARPA Lazio

DI MURO Ersilia – ARPA Basilicata

FAVRE Sara – ARPA Valle D'Aosta

FILIPPI Elga – ARPA Liguria

MANGONE Marcello – ARPA Sardegna

MANUPPELLA Annamaria – ARPA Molise

MELZANI Raffaella – ARPA Lombardia

MENINI Luca – ARPA Veneto

MIORINI Beatrice – ARPA Friuli Venezia Giulia

NAPPI Pina – ARPA Piemonte

ORILISI Stefano – ARPA Marche

PETILLO Paola Sonia – ARPA Campania

PIERINI Alessandro – APPA Trento

POLUZZI Vanes – ARPA Emilia Romagna

RICCI Cecilia – ARPA Umbria

ROMANO Fabio – ARPA Calabria

SCHWARZ Helmut – APPA Bolzano

SGARAMELLA Erminia – ARPA Puglia

Hanno preso parte ai lavori: la Rete dei Referenti, BAIOTTO Fabio (ISPRA), CIRILLO Mario C. (ISPRA), VISENTIN Roberto (ISPRA), BERTI Camillo (ARPA Toscana), GIACOMICH Paola (ARPA Friuli Venezia Giulia), MACCONE Claudio (ARPA Emilia Romagna), SEGATTO Gianluca (Comune di Bolzano), SGORBATI Giuseppe (ARPA Lombardia), TAVA Maurizio (ARPA Trento), ZAMPONI Carlo (ARPA Abruzzo), ZIROLDO Giovanna (ARPA Veneto).

Autori

I contenuti del Focus sono stati forniti dai seguenti esperti ISPRA:

CURCURUTO Salvatore
ARDOINO Lucia
BARBIERI Enrichetta
LOGORELLI Maria

e dai seguenti **altri autori**:

de DONATO Stefano Renato, BAGLI Mariateresa, MONTI Roberta,
COLANTONIO Simone, ZANICHELLI Paolo, ANANIA Giuseppe, VOLTA Cristina,
TIBERTI Matteo, TADDEI Irene, TREPICCIONE Marco, POLI Maurizio, VIOLANTI
Silvia, FAVA Roberto, GAIDOLFI Laura, FRASCHETTA Mauro – ARPA Emilia
Romagna
BASSANINO Maurizio, CAZZULI Orietta, de BARTOLO Daniela, NAVA Elisa, ZAVATTI
Maria Elena – ARPA Lombardia
CREMONINI Roberto, ADDA Sara, ANGLÉSIO Laura, CAPUTO Enrica – ARPA
Piemonte
SARACENO Alessandro, BRUNETTI Adalberto, NARDELLI Pietro, SPARTERA Maria,
GUARNIERI CALÒ CARDUCCI Anna, OTTONELLI Simona, PRIMAVERA Gianluca –
ARPA Puglia
POLI Sabrina, UGOLINI Raffaella, TROTTI Flavio – ARPA Veneto
BAMPO Anna, BARBA Salvatore, BATTISTUTA Marco, BENES Massimiliano, BRINIS
Valentina, CASCHI Stefano, CONSIGLIERI Eleonora, MARTINI Massimo, MARZONA
Marco, MONTEFUSCO Chiara, MORETUZZO Mauro, POLES Nicola, SALVAGNI Miro,
TRAMONTIN Lucia – ARPA Friuli Venezia Giulia
GRILLO Enrico, FRANCI Daniele, AURELI Tommaso – ARPA Lazio
BOTTURA Valeria, CAPIO BORLINO Marco, CERISE Leo, IMPERIAL Erik, DESANDRÉ
Claudia – ARPA Valle d'Aosta
PEGORETTI Stefano – ARPA TRENTO
MALACARNE Carla, TONIUTTI Laura – Servizio Autorizzazioni e Valutazioni Ambientali
Trento
BARBATO Nicola, IMPROTA Giovanni - ARPA CAMPANIA

INDICE

INTRODUZIONE

Salvatore Curcuruto - ISPRA

1 – EVOLUZIONE DELLE TECNOLOGIE NELLA COMUNICAZIONE MOBILE: I SISTEMI DI TERZA E QUARTA GENERAZIONE

L. Ardoino, E. Barbieri – ISPRA

1.1 – Quadro introduttivo

1.2 - La rete cellulare

1.3 - I sistemi analogici (1G)

1.4 - I sistemi di seconda generazione (2G)

1.5 - I sistemi di terza generazione (3G)

1.6 - I sistemi di quarta generazione (4G)

2 – SVILUPPI NELLA NORMATIVA NAZIONALE SUI CAMPI ELETTRICI A SEGUITO DELL'EVOLUZIONE TECNOLOGICA NEL SETTORE DELLE TELECOMUNICAZIONI

S. Curcuruto, M. Logorelli – ISPRA

2.1 – Sviluppi normativi post Decreto Legislativo n. 259 del 1 agosto 2003 "Codice delle comunicazioni elettroniche" al fine di semplificare le procedure autorizzatorie di particolari tecnologie emergenti di telecomunicazione

2.2 – Modifiche applicate al DPCM 8/07/2003 (100 kHz – 300 GHz)

3 – ESPERIENZE DI MISURAZIONI DI CAMPI ELETTRICI E STUDI SU ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE SVOLTI DALLE ARPA/APPA

Confronto fra i livelli stimati di campo elettrico prodotti da antenne di telefonia mobile su edifici residenziali della provincia di Rimini negli anni 2014 e 2009
S. R. de Donato, M. Bagli, R. Monti- ARPA Emilia Romagna

Misure relative alle nuove tecnologie per telefonia mobile LTE e UMTS:

confronto fra diversi sistemi di misura e problematiche tecniche

S. Colantonio, P. Zanichelli, G. Anania, C. Volta, M. Tiberti, I. Taddei, M.

Trepiccione, M. Poli, S. Violanti, R. Fava, L. Gaidolfi - ARPA Emilia Romagna

Esposizione della popolazione a microonde emesse da un radar meteorologico mobile in ambito urbano

P. Zanichelli, I. Taddei, M. Poli, M. Frascetta, L. Gaidolfi – ARPA Emilia

Romagna, M. Bassanino – ARPA Lombardia, O. Cazzuli, R. Cremonini, S. Adda,

L. Anglesio, E. Caputo – ARPA Piemonte

Caratterizzazione di siti in presenza di Stazioni radio base in ambito urbano per l'applicazione di tecniche della norma CEI 211-7/E: un caso di studio a Como
D. de Bartolo, E. Nava, M.E. Zavatti e altri - ARPA Lombardia

Analisi del trend dei valori di campo elettromagnetico misurati nei controlli istituzionali nella città di Taranto dal 2012 a oggi: analisi generale e puntuale
A. Saraceno, A. Brunetti, P. Nardelli, M. Spartera, A. Guarnieri Calò Carducci, S. Ottonelli, G. Primavera - ARPA Puglia

Esposizione della popolazione al campo elettrico prodotto dalle stazioni radio base: risultati per i Comuni capoluogo del Veneto
S. Poli, R. Ugolini, F. Trotti - ARPA Veneto

Analisi dei dati storici delle Stazioni radio base (SRB) e delle misure in radiofrequenza (RF) in tre città della regione Friuli Venezia Giulia (Pordenone, Udine, Trieste)
A. Bampo, S. Barba, M. Battistutta, M. Benes, V. Brinis, S. Caschi, E. Consiglieri, M. Martini, M. Marzona, C. Montefusco, M. Moretuzzo, N. Poles, M. Salvagni, L. Tramontin - ARPA Friuli Venezia Giulia

Impatto dell'evoluzione tecnologica delle reti di telecomunicazione cellulare sull'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici in ambiente urbano
E. Grillo, D. Franci, T. Aureli - ARPA Lazio

Spazio elettromagnetico nella città di Aosta per stazioni radio base
V. Bottura, M. Cappio Borlino, L. Cerise, E. Imperial, C. Desandré - ARPA Valle d'Aosta

Un'analisi dei dati storici delle Stazioni radio base (SRB) e delle misure in radiofrequenza (RF) in alcuni siti dell'area del Comune di Trento
S. Pegoretti - APPA Trento, C. Malacarne, L. Toniutti - SAVA Trento

Esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza nelle aree urbane del Piemonte: evoluzione normativa e variazioni dei livelli di campo
S. Adda, L. Anglesio - ARPA Piemonte

Il rilascio dei pareri di compatibilità elettromagnetica: criteri di istruttoria e criticità di un caso tipico nella città di Napoli
N. Barbato, G. Improta - ARPA Campania

INTRODUZIONE

a cura di Salvatore Curcuruto - ISPRA

Da circa venti anni in Italia si era consolidato un quadro normativo che aveva introdotto già dal 1998 importanti in merito alla regolamentazione delle autorizzazioni per l'installazione degli impianti di radiotelecomunicazione e all'ambito radioprotezionistico. L'evoluzione tecnologica che ha recentemente caratterizzato soprattutto il mondo delle telecomunicazioni ha messo in discussione i dettati normativi vigenti ritenuti ormai obsoleti ed eccessivamente vincolanti dal punto di vista radioprotezionistico. I valori limite imposti dalla normativa nazionale vigente si basano su criteri più cautelativi rispetto a quelli stabiliti a livello internazionale tutelando la popolazione non solo dagli effetti sanitari accertati, ma anche da possibili effetti a lungo termine la cui connessione causa-effetto non è stata ancora dimostrata ed è tuttora oggetto di studio e ricerca. A livello internazionale infatti le linee guida formulate dalla Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)), riferimento della stessa Raccomandazione europea 12/07/1999, stabiliscono dei valori limite di esposizione con riferimento esclusivo agli effetti sanitari accertati.

Il Focus "Inquinamento elettromagnetico e ambiente urbano" mette in luce le caratteristiche delle nuove tecnologie che si sono affacciate nel settore delle telecomunicazioni, ciò che è cambiato a livello normativo e come tutto questo si è tradotto in termini di variazione di livelli di campo elettromagnetico presenti nell'ambiente e a cui è esposta la popolazione. Quest'ultimo aspetto viene argomentato attraverso la presentazione di alcuni lavori svolti dai colleghi delle ARPA/APPA relativamente a loro esperienze di misurazioni di campi elettromagnetici e/o studi su esposizione della popolazione finalizzate a cercare di verificare quanto questa evoluzione tecnologica e normativa abbia effettivamente avuto impatto sullo sviluppo della rete di telecomunicazione e quindi sulle condizioni di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici. La normativa di settore attribuisce alle ARPA-APPA un ruolo importante nell'ambito della protezione dell'ambiente dai campi elettromagnetici, assegnando ad esse compiti di controllo sulle emissioni generate dagli impianti esistenti e di valutazione preventiva dalle emissioni che sarebbero prodotte da nuovi impianti da installare o modifiche di impianti esistenti da attuare. Oltre alle attività di routine nell'ambito della protezione dell'ambiente, molte ARPA/APPA si sono nel tempo sempre più concentrate su attività di studio e di analisi delle sorgenti elettromagnetiche considerate maggiormente critiche (elettrorodotti, impianti radiotelevisivi e stazioni radio base) e del loro impatto ambientale in termini di livelli di campo elettromagnetico a cui la popolazione è esposta.

Infatti lo svolgimento di attività di misura non deriva soltanto dalla necessità di dare delle risposte alle richieste e agli esposti dei cittadini ma, spesso, rappresenta una vera e propria attività dell'Agenzia che si affianca a quella tradizionale di ispezione e vigilanza svolta tramite rilievi puntuali e a quella di valutazione preventiva tramite modelli di simulazione, permettendo di tenere costantemente sotto controllo diverse aree del territorio antropizzato, caratterizzato dalla presenza concomitante di molteplici fonti di pressione. Questo ha permesso nel tempo di sviluppare e consolidare diversi strumenti di raccolta dati e informazioni in grado di caratterizzare sempre meglio le sorgenti elettromagnetiche suscitate e di dare un forte impulso positivo all'aspetto sociale di tale problematica assolutamente da non sottovalutare. Proprio per le differenti situazioni che contraddistinguono le varie realtà locali anche in termini di strumenti e risorse a disposizione delle varie ARPA/APPA considerate è stato deciso di lasciare ad ogni Agenzia la possibilità di condividere la propria esperienza in tale ambito indipendentemente dal livello di dettaglio e completezza delle informazioni fornite per le aree urbane oggetto del presente Rapporto. Pertanto i contributi forniti da alcune ARPA/APPA in merito ad esperienze di misurazioni di campi elettromagnetici e di studi sull'esposizione della popolazione in ambito urbano hanno trattato in alcuni casi siti critici specifici in particolare aree in altri è stato possibile considerare tutto il territorio regionale evidenziando poi le informazioni specifiche dei vari Comuni coinvolti.

1. EVOLUZIONE DELLE TECNOLOGIE NELLA COMUNICAZIONE MOBILE: I SISTEMI DI TERZA E QUARTA GENERAZIONE

A cura di Lucia Ardoino¹, Enrichetta Barbieri¹

¹ISPRA

ABSTRACT

Il processo evolutivo dell'ultimo secolo, in ambito tecnologico, ha avuto come protagonisti principalmente due settori: quello dell'informatica con *internet* e quello delle telecomunicazioni con la *telefonia cellulare*. In entrambi i settori, la rapida evoluzione ha prodotto radicali modifiche sia ai grandi processi che ai piccoli eventi quotidiani, aprendo le porte, anche, a nuovi problemi, sia sociali che tecnici, da prendere in considerazione e risolvere.

Per meglio comprendere le ricadute che hanno oggi questi due fenomeni, oramai strettamente interconnessi, facciamo un rapido riepilogo storico delle tecnologie coinvolte e di come sono state recepite.

Obiettivo di questo capitolo è quello di fornire sia un *excursus* storico delle tecnologie che si sono succedute nella comunicazione mobile, sia una descrizione tecnica dettagliata di quelle più recenti. È chiaro che, per praticità, si fornirà un breve resoconto degli elementi più salienti delle tecnologie ormai dismesse e una descrizione più approfondita solo di quelle attualmente in uso.

Parole chiave

Telecomunicazioni, telefonia cellulare, trasmissione dati, UMTS, LTE.

Il processo evolutivo dell'ultimo secolo, in ambito tecnologico, ha toccato principalmente due settori: quello dell'informatica e quello delle telecomunicazioni mobili.

In ambito informatico, internet ha stravolto la comunicazione e la trasmissione a livello mondiale, riuscendo a garantire, grazie al protocollo TCP/IP, la connettività di computer, sistemi e reti di qualunque tipo: tutti, qualunque siano le piattaforme hardware e software, comunicano con un linguaggio di tipo assolutamente superiore e possono liberamente e gratuitamente accedere ad un'infinità di informazioni, contenuti e servizi. Presto, grazie al miglioramento della tecnologia VoIP (Voice over IP), internet incorporerà anche quella che a tutt'oggi è la più grande rete mondiale di comunicazione, la rete telefonica convenzionale, grazie alla più efficiente tecnica di "commutazione a pacchetto", su cui è basata tutta internet, rispetto alla tecnologia a "commutazione di circuito" della rete telefonica.

La telefonia mobile, dal canto suo, legata non solo all'avanzamento delle tecnologie ma anche a importanti fenomeni di carattere economico e sociale, ha stravolto la comunicazione individuale e ha innescato una reazione ad anello proprio nell'ambito delle trasformazioni sociali e di costume.

L'evoluzione dei due settori, comunque, ben presto è confluita in un unico fenomeno rappresentando uno dei principali motori dell'economia del secolo.

In entrambi i settori, la rapida evoluzione ha prodotto radicali modifiche sia ai grandi processi che ai piccoli eventi quotidiani di ognuno, aprendo le porte, anche, a nuovi problemi, sia sociali che tecnici, da prendere in considerazione e risolvere.

La telefonia mobile che, come già le trasmissioni radiotelevisive, utilizza come supporto del messaggio la propagazione del campo elettromagnetico via etere, ha avuto importanti ricadute sia in ambito sanitario che ambientale dando anche notevole impulso alla radioprotezione dalle radiazioni non ionizzanti, ivi includendo sia gli studi sugli effetti dell'interazione dei campi elettromagnetici coi sistemi biologici che la definizione di nuove norme e leggi sia ambientali che occupazionali. Si può dire, infatti, che per quanto le applicazioni dei campi elettromagnetici riguardino un'ampia gamma di settori, è stato proprio il massiccio sviluppo della telefonia cellulare che ha richiamato l'attenzione sulla necessità di approfondire lo studio delle interazioni bioelettromagnetiche, di definire nuovi criteri di radioprotezione e di nuove normative.

1.1 QUADRO INTRODUTTIVO

Prima di introdurre una descrizione delle tecnologie attualmente in uso per la comunicazione mobile, nell'ottica di comprendere cosa è cambiato e sta cambiando anche in termini di esposizione della popolazione, riteniamo utile fare un rapido riepilogo dell'intero fenomeno e delle tecnologie precedenti. È però opportuno precisare cosa intendiamo con "intero fenomeno", in quanto le tecnologie si sono evolute tanto rapidamente come mai era successo prima, che sarebbe forse più semplice considerare la prima comunicazione mobile e l'attuale, come eventi distinti; ciò anche in virtù del fatto che le esigenze dei primi utenti, tipicamente appartenenti ad ambienti di elevato status socio-economico, di effettuare comunicazioni essenziali

ma in tempo reale, sicure e non disturbate, hanno ben poco a che vedere con quelle degli utenti di oggi.

L'origine della comunicazione mobile risale agli anni '40 negli Stati Uniti e agli anni '50 in Europa grazie all'introduzione delle tecniche di modulazione di frequenza (FM) utilizzate per la codifica del messaggio su portante radio. Furono introdotti i primi sistemi analogici a banda e portante fissa, la cosiddetta "generazione 0", che assegnavano ad ogni conversazione, all'interno dell'intera area coperta, una portante radio, con canale di 120 kHz, per tutta la durata della conversazione.

Le caratteristiche tecnologiche e funzionali della rete stessa costituivano, però, il primo naturale limite al suo sviluppo, in termini sia di funzionalità (la mobilità era limitata all'area di copertura dell'operatore) che di capacità (il numero di utenti era limitato dalle poche portanti disponibili). Alla carente mobilità, bassa capacità e scarsa gamma di servizi, si univa il fatto che i terminali erano pesanti, costosi e interferenti, per cui il numero di utenti alla fine degli anni settanta era limitato, a livello mondiale, a meno di un milione di "abbonati".

Fu evidente fin dai primi anni, comunque, che un simile sistema non aveva "futuro" in quanto non sarebbe mai stato in grado di soddisfare la crescente richiesta che sarebbe derivata dall'eventuale miglioramento delle prestazioni.

Nelle prossime sezioni si descrivono le tecnologie che si sono succedute da quando, si può dire, la telefonia mobile comincia a diventare un fenomeno di massa, inizialmente limitato come numero di utenti ma non più come tipologia.

In ogni sezione, il sistema è presentato con una parte introduttiva che ne descrive le caratteristiche più rilevanti evidenziando anche le differenze coi sistemi precedenti e le motivazioni che ne hanno determinato l'implementazione, poi si entra nel dettaglio dell'architettura di rete, struttura generale e parti che la compongono ed infine viene descritta la tecnologia radio (altrimenti detto "segnale fisico"), quella direttamente correlata alla trasmissione e alla propagazione del campo elettromagnetico che la supporta, che rappresenta la parte più rilevante ai fini delle valutazioni dell'esposizione della popolazione.

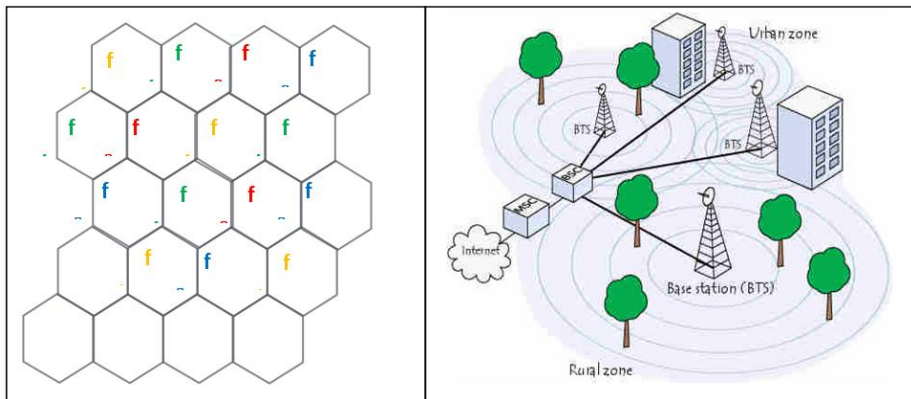
1.2 LA RETE CELLULARE

Il primo vero e proprio passo avanti nello sviluppo della telefonia mobile si ha con l'introduzione dei sistemi cellulari, ovvero la suddivisione dall'area coperta dal servizio in sottoaree, denominate celle. L'idea base fu concepita e sviluppata nel corso degli stessi anni '40, sperimentata negli anni '60 ed entrata in servizio commercialmente negli anni '80. Essa si basa su due elementi fondamentali, la suddivisione del territorio in celle e il riutilizzo delle frequenze: il principio di fondo consiste nel suddividere l'area coperta in celle contigue, ognuna provvista di un proprio ripetitore che utilizza un certo numero di frequenze diverse da tutte le celle adiacenti ma riutilizzate dalle celle più lontane.

Il numero e la dimensione delle celle dipendono dal numero di utenti, dalle caratteristiche del terreno e dalla presenza di oggetti e ostacoli. Teoricamente, si possono immaginare celle di forma esagonale (come in figura), anche se, in realtà, la

loro forma risulta sempre inevitabilmente irregolare a causa della non omogenea propagazione del campo elettromagnetico che supporta il segnale, dovuta principalmente alla presenza di ostacoli.

Figura 1 – Schema (teorico) della struttura della rete a celle col meccanismo del riutilizzo delle frequenze (A) e rappresentazione realistica della struttura con celle urbane e rurali (B): nelle aree urbane le celle sono piccole e di raggio inferiore a 1Km, nelle aree rurali le celle sono grandi e di raggio fino a 30Km.



Fonte: siti WEB

Un altro aspetto fondamentale, in una rete radiomobile, riguarda appunto la mobilità degli utenti: se, durante gli spostamenti, l'utente passa da una cella ad un'altra, è necessario che il terminale mobile si sintonizzi su una nuova frequenza in modo che la conversazione possa continuare e ciò senza che l'utente si accorga del cambio di frequenza. La procedura con la quale si effettua il cambio di frequenza nel passare da una cella all'altra viene detta *handover*.

Nei sistemi cellulari, aumentando il numero delle celle che coprono una certa area (riducendo, quindi, la loro dimensione), aumenta la capacità del sistema, cioè il numero di utenti gestibili contemporaneamente, ma diminuisce la distanza di riuso delle frequenze, cioè la distanza tra due celle che usano lo stesso canale, favorendo quindi, il rischio di interferenza tra canali che utilizzano la stessa frequenza (interferenza co-canale) ed aumenta il numero di *handover* che il sistema deve effettuare durante una conversazione (a parità di tragitto si sono attraversate più celle). D'altra parte, diminuendo la dimensione di una cella, si può anche pensare di ridurre la potenza trasmessa visto che il segnale deve percorrere distanze minori, in modo da ridurre l'interferenza e conservare intatta la distanza di riuso delle frequenze. Questa possibilità, però, trova un ostacolo nel fatto che bisogna sempre garantire una minima qualità prestabilita alla comunicazione (la cosiddetta QoS, *Quality of Service*): ciò significa che la riduzione della potenza da trasmettere in ciascuna cella non può comunque andare al di sotto di un minimo limite. Come in quasi tutte le applicazioni, quindi, si tratta di trovare un compromesso tra le varie

esigenze: qualità del servizio, dimensione delle celle, distanza di riuso delle frequenze e così via.

1.2 I SISTEMI ANALOGICI (1G)

Il primo sistema cellulare analogico introdotto, detto AMPS (*Advanced Mobile Phone Standard*), fu sviluppato negli USA e introdotto nel mercato nel 1979 a Chicago. Il sistema AMPS, con tecnica di accesso FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), utilizzava la banda 824-849 MHz per la connessione da terminale mobile a stazione radiobase (*uplink*) e la banda 869-894 MHz per la connessione stazione-terminale mobile (*downlink*), nelle quali erano allocati un totale di 832 canali ognuno avente larghezza di 30 kHz. Si diffuse in USA, Canada, Australia, Nuova Zelanda, Corea del sud, Singapore, Taiwan, Hong Kong, Brasile, Argentina, Messico.

La soluzione nord-europea, sviluppatasi parallelamente e in modo assolutamente indipendente dall'AMPS, fu il sistema NMT (*Nordic Mobile Telephone*), avviato per la prima volta in Svezia nel 1981 e subito dopo in Norvegia, Danimarca e Finlandia. Il sistema NMT operava inizialmente nella sola banda 450 MHz, ma successivamente, vista la congestione dovuta alla crescita più rapida del previsto, anche a 900 MHz. Nel 1985 contava, nei soli paesi scandinavi, oltre 175.000 abbonati ed era il network più grande del mondo. Si diffuse anche in Francia, Polonia, Svizzera, Austria, Regno Unito e, soprattutto, in Islanda ove, coesistendo con i sistemi digitali, è sopravvissuto fino al 1 settembre 2010.

Successivamente fu sviluppato nel Regno Unito lo standard TACS (*Total Access Communications System*), come versione modificata del sistema AMPS. La prima rete TACS iniziò la sua attività commerciale, nel Regno Unito stesso, nel 1985, fu introdotto in Italia, da SIP, nei primi mesi del 1990 e fu soppresso definitivamente il 31 dicembre 2005 cedendo l'intera banda al sistema GSM ancora in rapida espansione.

Le specifiche iniziali del sistema TACS assegnavano al sistema una banda complessiva di 70 MHz, (tra 890 e 960 MHz), nella quale venivano allocati 1000 canali. Successivamente, le specifiche sono state evolute nello standard E-TACS (*Enhanced TACS*), che assegna 1320 canali nella banda complessiva 872-950 MHz (quindi di ampiezza 78 MHz), di cui, naturalmente, alcuni canali dedicati al controllo e all'indirizzamento. Il segnale, analogico, è di tipo CW (*Continuous Wave*) con modulazione FM; la tecnica di accesso alla rete è SCPC-FD (*Single Channel per Carrier - Frequency Division*).

Il TACS e sistemi equivalenti portarono il numero di utenti mondiale, nel 1990, a circa 20 milioni. Le principali limitazioni erano costituite da:

- impossibilità di roaming internazionale,
- impossibilità di interoperabilità con altri sistemi e di trasmissione dati,
- ridotta capacità (in termini di utenti) dovuta alla limitatezza della banda e alle significative interferenze co-canale,
- assenza di cifrature e conseguente possibilità di intercettazioni.

1.3 I SISTEMI DI SECONDA GENERAZIONE (2G)

Lo sviluppo di cellulari di seconda generazione nacque, quindi, dalle necessità di:

- migliorare la qualità di trasmissione,
- incrementare la capacità del sistema e la copertura,
- consentire la trasmissione di dati e l'interoperabilità con altri sistemi, ma soprattutto, dalla necessità di definire uno standard esteso, perlomeno, a tutta l'Europa.

Gli ulteriori progressi nel campo dei semiconduttori e delle microonde consentivano, già negli anni ottanta, di introdurre la trasmissione numerica (o digitale) nelle comunicazioni mobili.

Il passaggio al digitale costituisce il secondo "salto di qualità" dopo l'introduzione delle celle e del riutilizzo delle frequenze.

1.4.1 LA FAMIGLIA GSM

Il sistema radiomobile GSM (*Global System for Mobile Communications*) nasce nel 1982, quando il CEPT (*Conférence Européenne de Postal et Télécommunications*) istituisce un gruppo di studio (*Groupe Spécial Mobile*- da cui l'acronimo originale GSM) con l'obiettivo di studiare e sviluppare un sistema radiomobile cellulare europeo, comune a tutti i paesi dell'Europa occidentale. Nel 1985 il gruppo decide di attivare un sistema basato su tecnologia digitale, in conseguenza della rapida evoluzione tecnologica dell'elaborazione numerica del segnale e dell'integrazione dei componenti elettronici. I principali vantaggi che offre un tale sistema numerico rispetto ad uno analogico si possono riassumere nei seguenti punti:

- consente di servire più utenti contemporaneamente, sia perché vengono utilizzate tecniche TDM (*Time Division Multiplexing*), sia perché appare meno sensibile a rumore ed interferenze, permettendo così di aumentare le dimensioni delle celle;
- consente un alto grado di riservatezza e di sicurezza, visto che le informazioni vengono cifrate direttamente dall'apparato utente;
- consente di effettuare trasmissioni dati.

Al sistema vennero assegnate le bande di frequenza 890-915 MHz per l'*Uplink*, e 935-960 MHz per il *Downlink*.

Nel 1987 l'ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*), l'ente europeo per l'unificazione normativa nel settore delle telecomunicazioni, assume la responsabilità dell'intero progetto e in seguito definisce le relative normative, standard e specifiche tecniche, compresa l'estensione della banda utilizzabile (1800 MHz).

Il primo servizio commerciale viene lanciato nel luglio 1991 e già nel 1993 si contano 36 reti GSM distribuite in 22 paesi. Nonostante sia stato standardizzato in Europa, il sistema GSM si è sviluppato un po' ovunque tanto che, pochi anni dopo, risultava operativo in oltre 150 paesi (differivano solo le portanti utilizzate). Rispetto alle reti

radio-cellulari precedenti lo standard GSM introduce una serie di miglioramenti e innovazioni, che possono essere sintetizzate in:

- possibilità di usare lo stesso terminale radio in tutti i paesi che utilizzano lo stesso standard di rete;
- miglioramento dell'efficienza spettrale;
- sicurezza della trasmissione radio;
- miglioramento della qualità fonica, della trasmissione dati e della compatibilità con gli standard internazionali OSI (*Open System Interconnection*) e ISDN (*Integrated Services Digital Network*);
- ampliamento dei servizi offerti, tra cui fax e brevi messaggi di testo (SMS);
- tecnologia di roaming (cioè viene offerta all'utente la possibilità di accedere al servizio anche al di fuori dell'area di copertura della rete di sottoscrizione).

Quella GSM è la famiglia di standard di maggiore successo che, comprendendo GSM900, GSM-railway, DCS1800, PCS1900, GSM400, supportava, già nei primi anni novanta, circa 250 dei 450 milioni di utenti cellulari al mondo, con un roaming internazionale in circa 150 paesi e 400 reti, per raggiungere, nel 1995, oltre un miliardo di utenti in tutto il mondo.

La fase 1 della standardizzazione del GSM900 fu completata in Europa dall'ETSI nel 1990, definendo i servizi di telefonia e trasmissione dati (a 9.6 kbit/s), ma venivano offerti ancora solo pochi e semplici servizi supplementari. Per questo gli standard GSM furono estesi, nella fase 2 nel 1995, per incorporare una vasta gamma di servizi supplementari paragonabili a quelli di reti digitali fisse.

Nel 1996 l'ETSI decise un ulteriore sviluppo del GSM per incorporare caratteristiche che saranno tipiche di sistemi di terza generazione. Il GSM fase 2+ comprende innovazioni come compressione e decompressione della voce (CODEC), *multirate* adattativo (AMR), servizi a *rate* elevato e nuovi principi di trasmissione grazie a HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) e GPRS (*General Packet Radio Service*), miglioramenti che di fatto si propongono come un ponte tra i sistemi di seconda e di terza generazione.

Una curiosità

Il 7 ottobre 1996, dopo un periodo di sperimentazione presso lo CSELT (il centro Ricerca e Sviluppo della Telecom), TIM lancia la prima carta prepagata ricaricabile per l'Italia, la TIM card. TIM diventa così la prima compagnia telefonica al mondo ad introdurre questo sistema di tariffazione, tanto da portare l'Italia ad uno dei primi posti per numero di contratti prepagati.

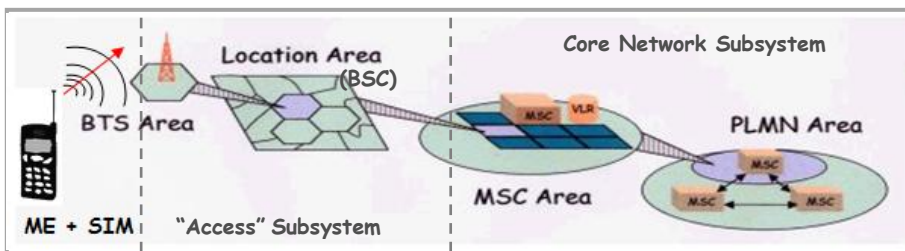
1.4.2 IL SISTEMA GSM: ARCHITETTURA DELLA RETE

In Figura 2 è riportata una descrizione di massima dell'architettura del sistema, in cui sono evidenziate le parti essenziali che lo compongono con le relative denominazioni "universali".

Si introducono, in ben due parti, due distinzioni che si riveleranno vincenti nel favorire lo sviluppo dei sistemi successivi: da una parte, nell'architettura del sistema si "autodefinisce" la separazione della rete in sottosistema di "accesso" BSS (*Base Station Subsystem o Access Subsystem*) e sottosistema di gestione dei dati e degli archivi (*Core Network Subsystem*), dall'altra, si introduce volutamente una netta distinzione tra il dispositivo radiomobile e i dati dell'abbonato.

Il dispositivo radiomobile ad uso dell'utente, infatti, MS (*Mobile Station*), è costituito da un terminale mobile (ME – *Mobile Equipment*) e da una SIM (*Subscriber Identity Module*) card, portabile, che contiene le informazioni dell'abbonato.

Figura 2 – Architettura di rete GSM: schema base dell'interfaccia radio di trasmissione, cioè della rete di accesso, che precede il core-network vero e proprio.



Fonte: Vecchia P, Ardoino L, Barbieri E, Analisi Della Potenza Emessa Da Telefoni Cellulari In Condizioni Reali Di Esercizio, - XXXII Congresso AIRP, Sett 2003, Giovinazzo (BA)

L'area coperta dal servizio è divisa in celle contigue (in realtà nella maggior parte delle aree, soprattutto urbane, è stata realizzata una certa sovrapposizione allo scopo di evitare "buchi" e di aumentare la capacità complessiva dell'area).

Ogni cella è servita da una stazione ricetrasmittente o stazione radiobase BTS (*Base Transceiver Station*), che effettua la connessione tra il dispositivo MS ed il resto della rete. Un gruppo di BTS costituisce un *cluster* controllato da una BSC (*Base Station Controller*), che controlla la gestione e l'assegnazione dei canali e la funzione di *handover* (il cambio di cella quando l'utente è in movimento). Un gruppo di BSC è gestito da una centrale di commutazione MSC (*Mobile Switching Center*) che costituisce il cuore del sistema radiocellulare (*Core Network*): essa è responsabile dell'indirizzamento delle chiamate (dalla fonte alla loro destinazione) ed agisce come interfaccia tra la rete GSM e le reti pubbliche di telefonia e dati; naturalmente, può anche essere collegato ad altri MSC sulla stessa rete e/o su altre reti GSM.

Fanno parte del *core-network*, oltre all' MSC, l' HLR (*Home Location Register*) che contiene i dati relativi agli utenti di un gestore, l' AUC (*Authentication Center*) che fornisce i codici per l'autenticazione e per la cifratura, il VLR (*Visitor Location*

Register) che contiene e mantiene aggiornate le informazioni relative alle MS che sono presenti nell'area da esso servita, e l'EIR (*Equipment Identity Register*) che contiene informazioni sulle MS.

1.4.3 GSM: caratteristiche del segnale e rete di accesso

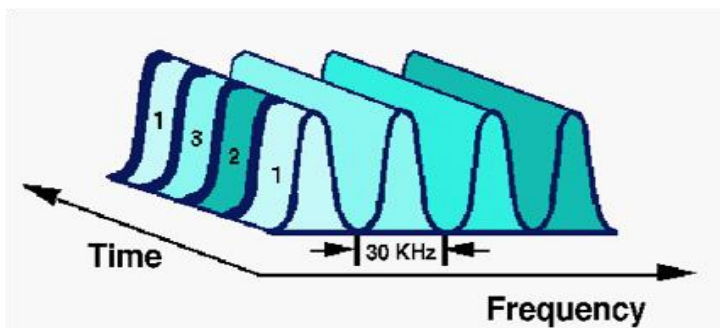
Il sistema GSM gestisce l'accesso alla rete mediante tecnica mista FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) - TDMA (*Time Division Multiple Access*); con la tecnica FDMA, già utilizzata nei sistemi 1G, la banda assegnata è divisa in canali di 200 kHz centrati su una frequenza (portante) diversa per ogni utente: la risorsa elementare è la portante radio. Con la TDMA, la banda assegnata è divisa in frazioni temporali, i *timeslot*, che rappresentano quindi la risorsa elementare. In particolare, nel GSM, l'elemento temporale è il frame (4,6 ms), suddiviso in 8 *timeslot* (0,577 ms) assegnati ciascuno ad un utente; raggruppamenti di frame generano intervalli temporali (multiframe, superframe) che separano l'invio delle informazioni aggiuntive di controllo tra MS e BTS (canali di servizio). In pratica, con la tecnica mista FDMA/TDMA, ad ogni utente è assegnato dalla BTS, un *timeslot* su una portante che può, nell'ottica dell'ottimizzazione delle risorse del servizio complessivo, essere modificata assegnandogli una nuova portante, anche se l'utente rimane all'interno della stessa cella (*frequency hopping*, FH).

La modulazione è di tipo GMSK (*Gaussian-filtered minimum shift keying*) ed inoltre, nel sistema GSM viene utilizzata "pesantemente" la codifica sia di sorgente che di canale: la prima, utilizzata per la compressione del segnale vocale, è finalizzata alla riduzione del *bit-rate*, mentre la seconda è utile per proteggere il segnale trasmesso dagli effetti del rumore e delle distorsioni del canale.

In sostanza, il segnale vocale viene convertito in sequenza numerica mediante un *analog-to-digital converter* (ADC), viene elaborato prima mediante codifica di sorgente e quindi mediante codifica di canale. A questo punto, viene costruito il *burst* e il segnale digitale viene inviato ad un modulatore GMSK, che lo riporta nel dominio analogico e lo trasla sulla portante a radio-frequenza, adatto quindi per essere inviato all'antenna sull'interfaccia radio.

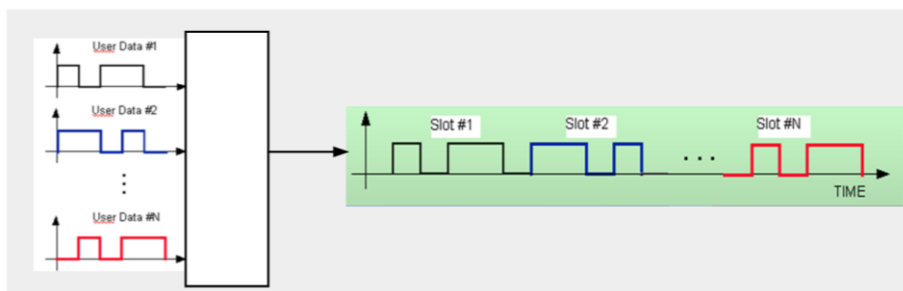
Si tratta di una procedura decisamente "robusta" che garantisce al segnale vocale qualità secondo tutti i parametri, robustezza, sicurezza, etc. tant'è che le tecnologie più evolute ancora oggi utilizzano piattaforme GSM per la fonia.

Figura 3 – Esempio di tecnica di accesso mista FDMA/TDMA con 30 kHz di singolo canale e tre timeslot. In realtà, nel segnale GSM, il canale è di 200 kHz e i timeslot sono 8 nella modalità originaria full-rate, e 16 nella modalità half-rate, introdotta in un secondo momento per aumentare la capacità delle celle soggette a fenomeni di congestione solo a determinati orari.



Fonte: siti WEB

Figura 4 – Schema della TDMA in cui N utenti utilizzano la stessa portante in slot temporali diversi (TDMA).



Fonte: siti WEB

Il sistema GSM disponeva di 124 canali (portanti) FDM nella parte originaria dello spettro (banda 900) più 50 nella parte estesa e 374 canali nella banda 1800.

Di questi, alcuni sono dedicati al trasporto delle informazioni di fonia e dati e sono denominati canali di traffico TCH (*Traffic Channels*), mentre altri sono dedicati allo scambio delle informazioni di servizio, chiamati canali di controllo e segnalazione e indicati genericamente come CCH (*Control Channels*).

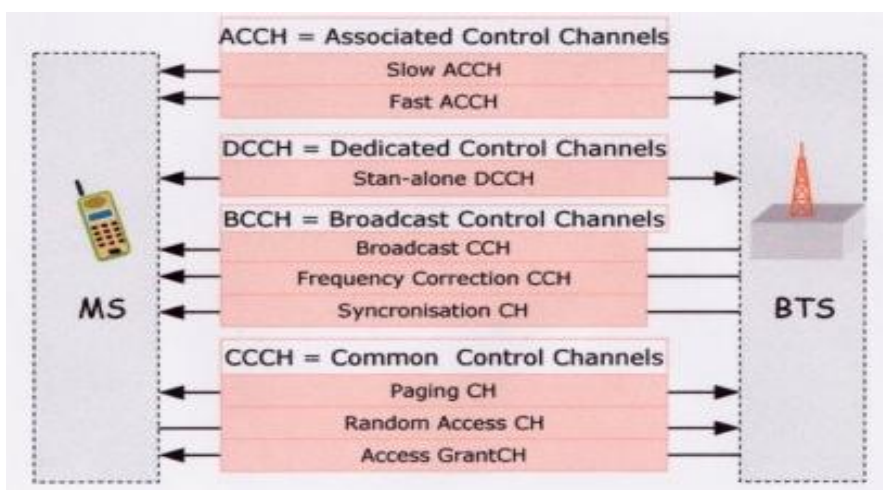
Tutti i canali, indipendentemente dalla banda 900 o 1800, sono identificati in modo univoco grazie ad un sistema di numerazione assoluto, l'ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*). Ogni BTS dispone di un certo numero N_c di portanti, diverse da quelle delle celle adiacenti, avendo quindi una disponibilità complessiva di canali pari a $(N_c \times 8)$. Tra queste portanti, ve ne è una (BCCH) sempre attiva alla

massima potenza consentita, mentre le altre si attivano secondo richiesta di accesso e traffico.

I canali di controllo, operativi su multipli di superframe e iperframe, sono raggruppati secondo lo schema di Fig. 5:

- il *Broadcast Control Channel* (BCCH), che trasmette le informazioni sulla BTS, 184 byte con l'ID della cella, l'operatore, etc.,
- il *Common Control Channels* (CCCH), che segnala al MS l'arrivo di una chiamata (*Paging Channel*) e, in caso di risposta, assegna i canali (*Random Access* e *Access Grant channels*),
- lo *Slow Associated Control Channel* (S-ACCH), per il trasporto di SMS, misurazioni e dati di (livello) intensità, etc.

Figura 5 – Canali di controllo della rete GSM.

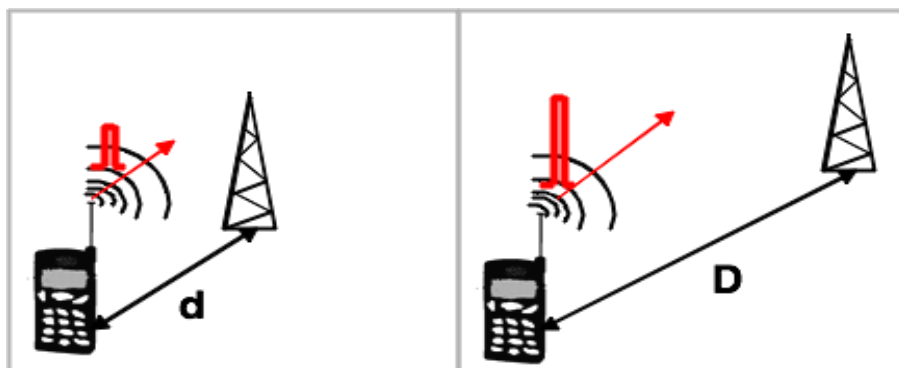


Fonte: siti WEB

Tra le informazioni gestite dai canali di controllo vi sono anche quelle per l'attuazione di funzionalità finalizzate all'ottimizzazione delle risorse della rete anche in termini energetici (trasmettitori, batterie del terminale mobile, etc). Alcuni di questi meccanismi sono, per esempio, la APC (*Adaptive Power Control*) e la DTX (*Discontinuous Transmission*): il primo, che consente le riduzioni di potenza trasmessa più consistenti, sia in *uplink* che in *downlink*, è il meccanismo complesso che determina la variazione della potenza emessa dalla stazione e dal terminale in funzione della mutua distanza (Figura 6), mentre, la DTX è il meccanismo grazie al quale il terminale mobile emette soltanto quando l'utente sta effettivamente parlando. Involontaria ma utile conseguenza di ciò, è stata la riduzione dell'esposizione dell'utilizzatore, per la riduzione della potenza emessa dal terminale, e della popolazione in generale, per la riduzione della potenza emessa dalla stazione.

Naturalmente, la regolazione del livello di potenza, così come l'attivazione o meno del *burst* (l'emissione nel *timeslot*) in assenza di voce, sono "decisioni" operate dalla rete sulla base delle rilevazioni e misurazioni effettuate direttamente durante la connessione, mediante i suddetti canali, con temporizzazioni dell'ordine dei 200 ms.

Figura 6 – Schema del controllo adattivo della potenza (APC) emessa dal terminale mobile: all'aumentare della distanza, la BTS riceve il segnale della MS più debole richiedendogli, quindi, di aumentare la potenza di emissione.



Fonte: siti WEB

1.4.4 EVOLUZIONE DEL GSM (2G+) O 2.5G: GPRS ED EDGE

Per cercare di superare subito i limiti della rete GSM per l'introduzione di servizi dati e multimediali, viene effettuato un primo processo di aggiornamento su diversi livelli. A livello radio sono state messe a punto funzionalità che permettessero una maggiore flessibilità nell'assegnazione delle risorse fisiche agli utenti per consentire, quando necessario, comunicazioni con velocità di trasmissione superiori a quella base del GSM (9,6 kbit/s). Dopo la soluzione HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) che permetteva velocità di trasmissione fino a 56 kbit/s ricorrendo all'uso di più di un *timeslot* per singola connessione in uplink, la reale innovazione di questa fase è rappresentata dal GPRS (*General Packet Radio Service*) che, grazie alla modalità di trasmissione a "commutazione di pacchetto", permetteva di trasmettere dati con una velocità limite (teorica) di 171 kbit/s.

La modalità a pacchetto, a differenza di quella "a circuito" utilizzata nel primo GSM, impegna le risorse di trasmissione della rete GSM solo quando c'è informazione da trasmettere. Le reti a commutazione di pacchetto usano la tecnica dello *store and forward* (memorizzazione ed inoltra) di un pacchetto alla volta. Le informazioni da trasmettere vengono frazionate in unità (pacchetti) comprendenti anche dati di controllo (per esempio il destinatario, la posizione relativa nel flusso dei pacchetti) ed inviate una alla volta secondo cammini indipendenti tra loro ma dipendenti dalle condizioni della rete (traffico e nodi guasti). All'arrivo i pacchetti vengono ri-assemblati come in un puzzle.

A questo punto la rete GSM si può pensare come formata da due sottoreti separate, o meglio, due sottoreti che sono logicamente isolate ma condividono BSS e HLR: - quella GSM a commutazione di circuito e - quella GPRS a commutazione di pacchetto. La sottorete GPRS è provvista di due nuovi elementi di rete: SGSN (Service GPRS Support Node) e GGSN (Gateway GPRS Support Node), la prima tiene traccia dei ME presenti nella propria area di servizio e scambia con essi i loro pacchetti, mentre la seconda fornisce la connettività con le altre reti di dati e gestisce l'instradamento dei pacchetti. Questi nuovi elementi utilizzano uno specifico protocollo e modulazione GMSK con una velocità massima (teorica) di 171,2 kbyte. Con la trasmissione a commutazione di pacchetto e questi elementi, il GPRS diventa molto efficiente nel caso di trasmissioni poco frequenti o intermittenti, in fase di set-up della connessione (che, non necessitando dell'instaurazione di un circuito dedicato, risulta velocizzata) e per gestire un numero maggiore di utenti sullo stesso canale. Di contro, non avendo effetto sulla capacità delle celle, il numero di canali disponibili resta invariato, ed inoltre, la velocità massima effettiva dipende dal numero di utenti che accedono al servizio nella stessa cella.

1.4 I SISTEMI DI TERZA GENERAZIONE (3G)

Le reti di terza generazione sono un'evoluzione delle reti di telefonia mobile di seconda generazione, che hanno avuto il grande vantaggio di essersi diffuse ampiamente e velocemente in tutto il mondo, diventando uno standard.

Le principali funzionalità richieste alle nuove piattaforme 3G erano:

- la capacità di supportare servizi dati a larga banda,
- comunicazioni di tipo simmetrico e asimmetrico,
- traffico a commutazione di circuito con elevato QoS,
- traffico a commutazione di pacchetto con diversi livelli di QoS,
- servizi *real-time* e non *real-time*,
- servizi basati su tariffazioni flessibili.

Per rispondere a tutto ciò, l'ITU (*International Telecommunication Union*) emana le specifiche "ITM-2000" su cui basare il nuovo standard, originariamente pensato per essere univoco e unificato a livello mondiale. In esse viene richiesto, principalmente, che il nuovo standard sia basato sulla trasmissione codificata (CDMA), che preveda trasmissioni tipo TDD (*Time Division Duplex*) ed FDD (*Frequency Division Duplex*) e pone i requisiti minimi di data-rate.

In pratica però, il 3G viene implementato in quattro differenti standard: UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), CDMA2000 (*Code Division Multiple Access*), TD-SCDMA (*Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*) e W-CDMA (*Wideband-Code Division Multiple Access*), tutti adottati dall'ITU.

Lo standard UMTS, basato sul W-CDMA, è quello prevalente nei paesi in cui veniva usato il GSM (la maggioranza di quelli europei) e viene definito e gestito dal 3GPP (Third Generation Partnership Project), insieme a GSM, GPRS e EDGE, mentre CDMA2000, molto simile, è lo standard prevalente in America, Giappone e Corea e gestito dal 3GPP2, organizzazione assolutamente indipendente dal 3GPP.

L'elemento innovativo della terza generazione, infatti, sta principalmente nell'utilizzo dello *spread spectrum* e della tecnica di accesso multiplo a canale condiviso (CDMA), che utilizza codici ortogonali (sequenze numeriche) con cui moltiplicare il segnale digitalizzato da trasmettere, utilizzando lo stesso canale utilizzato da altri segnali con diverse codifiche.

1.5.1 L'"ENTE" DI STANDARDIZZAZIONE TECNICA A LIVELLO MONDIALE: IL 3GPP

Nel 1998, i maggiori enti di standardizzazione mondiali si unirono a formare il 3GPP (Third Generation Partnership Project) con lo scopo di lavorare ad un progetto comune, per mettere a punto soluzioni tecnologiche con protocolli standardizzati a livello internazionale.

L'obiettivo originale del 3GPP era quello di definire lo standard per un sistema mobile di terza generazione basato sulla *Core Network* tipo GSM e sulla tecnologia di accesso radio *Universal Terrestrial Radio Access* (UTRA), rispondendo ai requisiti di: - aumentare la capacità del servizio, - incrementare la velocità dei dati mediante la riduzione dei tempi di latenza, - ridefinire l'accesso radio *packet-optimized*, garantire la perfetta integrazione di questa evoluzione con i sistemi esistenti.

Il 3GPP conta attualmente 8 Enti di standardizzazione, denominati OP (*Organizational Partners*): ETSI per l'Europa, ATIS per gli USA, ARIB e TTC per il Giappone, TTA per la Corea, CCSA per la Cina e, infine, il TSDSI per l'India (aggiuntosi da poco). L'organo direttivo di più alto rango è il PCG (Project Coordination Group), cui competono le questioni politico-economico-organizzative, mentre per lo svolgimento delle attività tecniche, è organizzato in 4 TSG (*Technical Specification Group*), ognuno con una specifica area di competenza, che portano avanti le rispettive attività organizzative, a loro volta, in WG (*Working Group*). Si riuniscono regolarmente, al più trimestralmente, per discutere e risolvere, soprattutto, le questioni tecnico-politiche su cui i gruppi di lavoro non riescono a trovare consenso al loro interno.

Le aree di competenza dei 4 TSG sono:

- Radio Access Networks (RAN),
- Service & Systems Aspects (SA),
- Core Network & Terminals (CT) and
- GSM EDGE Radio Access Networks (GERAN).

Attualmente il 3GPP, oltre a redigere le *Release* di LTE e LTE Advanced, nonché quelle relative alle generazioni precedenti tuttora operative (UMTS, HSPA, GSM/GPRS/EDGE), è impegnato a definire le specifiche tecniche della quinta generazione (5G) che dovrebbe essere implementata entro il 2020.

1.5.2 L'UMTS

L'UMTS nasce, quindi, come evoluzione dei sistemi 2G a cui è vincolato per l'integrazione, anziché essere una riprogettazione totale del sistema, ruolo che toccherà ai sistemi di quarta generazione.

L'elemento innovativo "rivoluzionario" sta principalmente nell'uso dello *spread spectrum* (banda larga), combinato con una codifica binaria ortogonale, come

modalità di accesso alla rete (CDMA). La tecnologia, inoltre, nell'ottica di garantire l'integrazione coi sistemi esistenti, adotta sia l'approccio TDD, in cui *uplink* e *downlink* utilizzano la stessa portante "multiplando" nel tempo, e FDD, in cui invece, le due trasmissioni avvengono su portanti distinte, come nel GSM/GPRS.

1.5.2.1 UMTS: architettura della rete

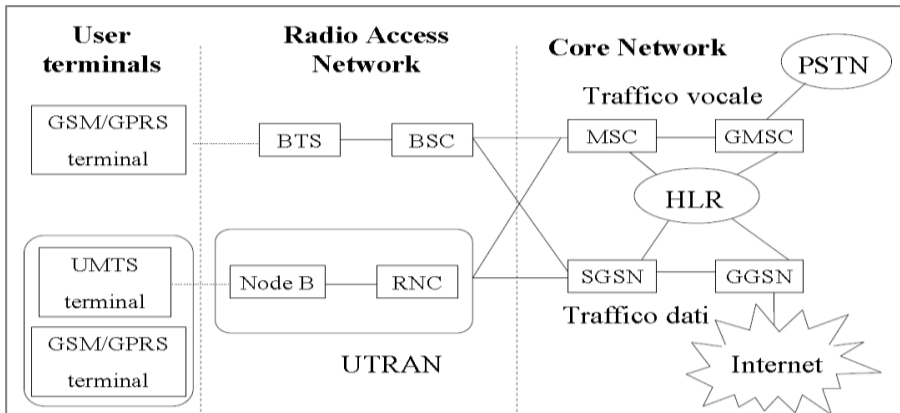
I sistemi GPRS (generazione 2+) e UMTS (3G) sono accomunati dalla separazione tra gli elementi della rete che si occupano della gestione delle risorse radio, e quelli che invece regolano il flusso dei dati all'interno della rete fissa e realizzano l'interconnessione con altre reti. Ciò che rende diversi i due sistemi è appunto il tipo di accesso radio utilizzato (*access-radio subsystem*) mentre il *network sub system* è mantenuto senza grandi variazioni.

Il passaggio da GPRS a UMTS è quindi un esempio di come la separazione tra i diversi elementi della rete permetta di riutilizzare il *network subsystem* con diverse tecnologie di accesso sull'interfaccia radio. È proprio quest'ultima, infatti, che influisce maggiormente sulla qualità dei servizi offerti dalle reti radiomobili, poiché la trasmissione sul canale radio è molto critica e necessita di particolari accorgimenti per poter soddisfare, con adeguati livelli qualitativi, la crescente richiesta di servizi ad elevato *bit-rate*.

Rispetto al sistema GSM/GPRS cambiano le denominazioni e, talvolta le tecniche operative, ma le funzionalità restano le stesse: il *Base Station Subsystem* diventa UTRAN (*UMTS terrestrial radio access network*), mentre la *Network SubSystem* (NSS) diventa CN (*Core Network*), composta essenzialmente dagli stessi elementi che compongono NSS: MSC, HLR, VLR, GGSN e SGSN, EIR.

UTRAN, ove, come abbiamo detto, risiedono le principali differenze coi sistemi precedenti, è composto da due elementi funzionali: RNC (Radio Network Controller) equivalente al BSC, e NodeB equivalente alla BTS (Figura 7). Gli RNC, che a differenza delle BSC sono connessi direttamente tra loro per facilitare le procedure di handover, implementano le principali funzioni di Radio Resource Management: power control, handover, admission control, gestione dei codici, etc. e gestiscono la Macrodiversità. Il NodeB, corrispondente della BTS, ne potenzia però il ruolo: controlla uno o più settori, implementa il livello fisico del segnale (spreading/despreading) e alcuni algoritmi di resource management.

Figura 7 – Architettura dei sistemi 3G che permettono l'interfacciamento totale coi precedenti 2G.



Fonte: siti WEB

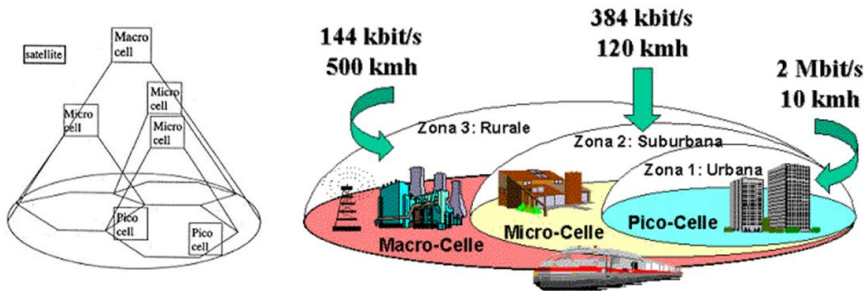
La *core network* è basata sul trasporto di tipo ATM/IP. La scelta della soluzione mista è dovuta al fatto che ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) è in grado di fornire un'elevata velocità di commutazione e diversi parametri di QoS, mentre IP, a causa della sua grande diffusione, permette un facile interfacciamento con una moltitudine di altri sistemi. In questo modo si sono soddisfatti i principali requisiti di: - trasferimento real-time con grandi quantità di dati ed elevato QoS, - di applicazioni basate su protocolli standard e - di consentire una tariffazione flessibile che può dipendere dalla durata della connessione, ma anche dalla quantità di dati trasferiti o dalla qualità di servizio richiesta.

Dal punto di vista dell'utente, ciò che rende diverso il sistema UMTS da GPRS è una maggiore disponibilità di servizi ed una maggiore velocità di trasferimento dati; essa è resa possibile da un'allocazione delle risorse radio molto flessibile ed efficiente, in quanto per la trasmissione di dati a pacchetto, a seconda del livello di attività di un terminale mobile, possono essere allocati dalla rete canali comuni a contesa o canali dedicati.

A livello di rete di accesso, comunque, una delle principali differenze risiede nel fatto che le celle hanno una struttura gerarchica e hanno dimensioni estremamente diversificate. Come nel GSM, infatti, esistono pico-celle, micro-celle e macro-celle ma in questo caso, le aree più critiche in termini di carico, tipo quelle urbane, sono coperte sia dalle celle più piccole sia da quelle di maggiori dimensioni che le contengono (Fig. 8).

Nel seguito vengono descritte le principali funzionalità implementate nella rete UMTS per ottimizzare, come richiesto, la qualità dei servizi garantendo sempre la massima rapidità nell'accesso.

Figura 8 – Struttura "gerarchica" delle celle UMTS.



Fonte: siti WEB

Macrodiversità

Questa struttura delle celle consente di mettere a punto meccanismi con i quali, all'occorrenza, un utente UMTS può essere servito da più celle in contemporanea. Questa funzionalità, detta Macrodiversità e operante sia in downlink che in uplink con diversi vantaggi, consiste nel fatto che il terminale mobile riceve (e invia) la stessa informazione utile da più stazioni contemporaneamente. Ogni link da e verso una delle stazioni utilizza una differente coppia di codici (*spreading + scrambling*).

La funzionalità è resa possibile dall'utilizzo di speciali ricevitori (Ricevitori Rake), che possono estrarre la stessa informazione utile da segnali provenienti da sorgenti differenti, considerandoli come l'effetto di cammini multipli dello stesso segnale. Il ricevitore Rake ha una serie di *finger* che effettuano una operazione di *despreading* su ciascun percorso di ritardo del segnale, e tutti i contributi recuperati vengono inviati ad un unico rivelatore che li ricombina in fase e ne effettua la somma.

Il vantaggio è che ciascuna cella coinvolta nel collegamento potrà trasmettere con potenze molto basse, con conseguente aumento delle capacità di cella, e i ricevitori possono utilizzare tutte le componenti trasmesse combinandole.

Power Control

Il principio generale di qualunque algoritmo di *Power Control* (che abbiamo già visto nel GSM) è molto semplice: "chi si trova più vicino alla stazione radio base deve trasmettere con potenze inferiori rispetto a chi si trova più lontano". Questo è applicato anche nell'architettura della rete UMTS, in cui però, oltre all'attenuazione con la distanza, vengono definiti ulteriori parametri per determinare i livelli di potenza. Nell'UMTS, infatti, il controllo di potenza è basato sulla qualità: il terminale mobile deve trasmettere alla minima potenza possibile che garantisca le specifiche di qualità fissate per il servizio che si sta attuando; deve, nello specifico, modificare la potenza trasmessa mantenendo il rapporto segnale/rumore ricevuto dalla stazione base pari ad una soglia assegnata.

Cell breathing

Per meglio gestire il *trade-off* tra capacità e copertura, il sistema è dotato di un'altra funzionalità, il *Cell breathing*: è l'effetto per cui le dimensioni di una cella si restringono al crescere del *rate* del servizio offerto o del numero di utenti presenti. Naturalmente, quando una cella si restringe, le adiacenti si espandono.

Dal momento che i terminali dispongono di minor potenza delle stazioni, la copertura di una cella è determinata dalle connessioni *uplink*. Ad elevati rate (o per carichi di traffico elevati), il basso SF impone una maggiore potenza ricevuta, che si traduce in una massima *path loss* sostenibile $L(SF)$, a partire dalla quale viene calcolata la massima distanza di un terminale dalla BS.

Handover

Gli *handover* nel sistema UMTS sono effettuati per due motivi: - deterioramento del canale (dovuto per esempio alla mobilità dell'utente) e - bilanciamento del traffico: se una cella è troppo carica, le MS vengono ridistribuite sulle celle adiacenti.

Vengono attuati tre tipi di *handover*:

- *Hard handover*: il canale radio viene spento in una cella e acceso in un'altra (come avveniva nel GSM);
- *Soft handover*: viene modificato l'*active set* (l'insieme delle stazioni *NodeB* connesse simultaneamente al terminale) relativo alla connessione: sono coinvolti più *NodeB*;
- *Softer handover*: avviene quando le celle che si trovano nell'*active set* appartengono ad un unico *NodeB*.

1.5.2.2 UMTS: CARATTERISTICHE DEL SEGNALE

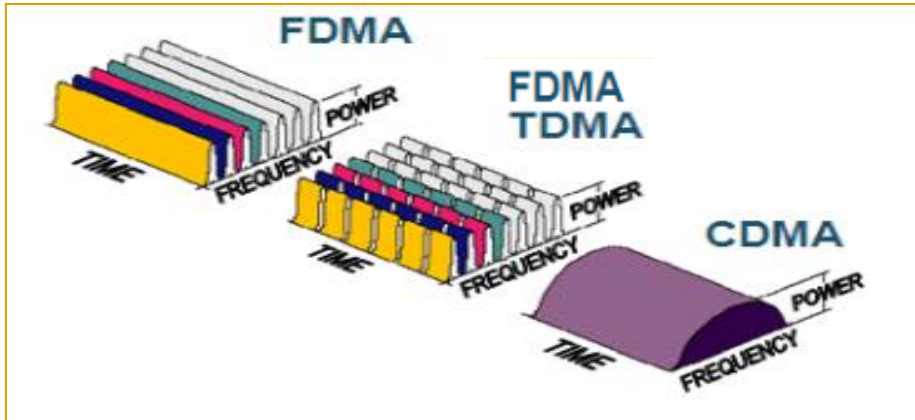
Nell'UMTS l'accesso multiplo è gestito mediante tecnica CDMA (Code Division Multiple Access).

La tecnica CDMA si differenzia da tutte le precedenti perché permette la trasmissione di più segnali nella stessa banda di frequenza e nello stesso istante (cioè l'intera banda e tutti gli slot all'interno di una trama, sono a disposizione di tutti gli utenti). La separazione è ottenuta assegnando a ciascun utente un codice (sequenza) diverso. Tali sequenze sono utilizzate per codificare in modo univoco l'informazione di un utente per trasmetterla insieme a tutte le altre ma poterla distinguere. La risorsa elementare è la sequenza associata a ciascun segnale.

Questa operazione va sotto il nome di *spreading* e prevede, esattamente, che a ciascun segnale da trasmettere sia associata, con un'operazione di moltiplicazione, una sequenza numerica (codice) con velocità di trasmissione (chip rate) molto maggiore della velocità dell'informazione stessa. Le sequenze assegnate agli utenti che condividono lo stesso canale sono scelte in modo da essere ben poco correlate tra loro; in realtà, a causa del *multipath* e dei diversi ritardi di propagazione dei vari utenti, i segnali codificati non sono ortogonali.

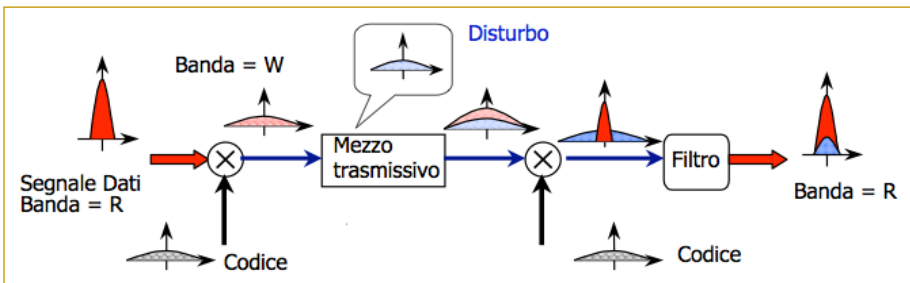
La separazione del codice dall'informazione, in fase di ricezione, prende il nome di *despreading*.

Figura 9 - Tecniche di accesso a confronto.



Fonte: siti WEB

Figura 10 – Schema elementare dello Spreading per un singolo segnale da trasmettere.



Fonte: siti WEB

Un ruolo fondamentale, nella codifica, lo gioca lo *Spreading Factor* (SF), il numero di chip associati ad un simbolo, che varia per i diversi servizi e per gli utenti, da un valore minimo di 4 ad un massimo di 256. Il valore SF ottimale per la circostanza è una "decisione" presa dalla rete e "negoziata" con la MS simulando gli effetti sulle trasmissioni degli altri utenti.

Da esso dipende il "*symbol rate*" (velocità di trasmissione dei simboli):

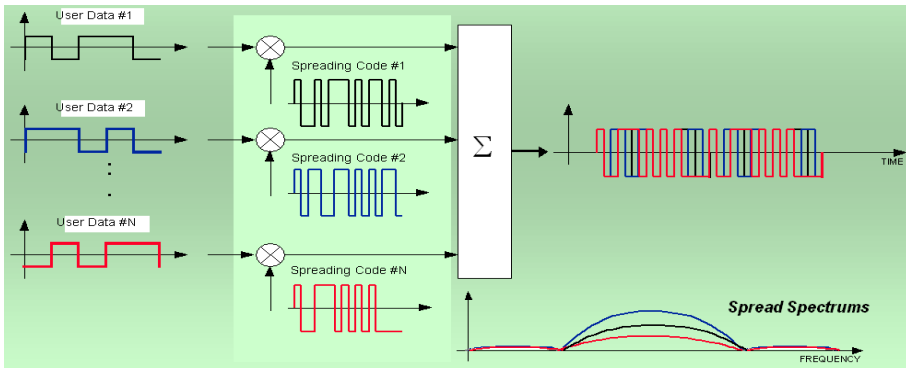
$$\text{Symbol rate} = (\text{chip rate}) / \text{SF}$$

Il *chip rate* è fisso da standard e vale 3,84 Mchip/s e SF varia, appunto, da 4 a 256 chip/symbol; si determinano così "*symbol rate*" da offrire all'utente variabili da 15 kbit/s (SF=256) a 960 kbit/s (SF=4). La scelta è un compromesso tra velocità e protezione dall'interferenza:

con SF bassi, si hanno *rate* elevati, ma il codice associato non offre elevata protezione dall'interferenza o dagli effetti del canale radio. È necessario

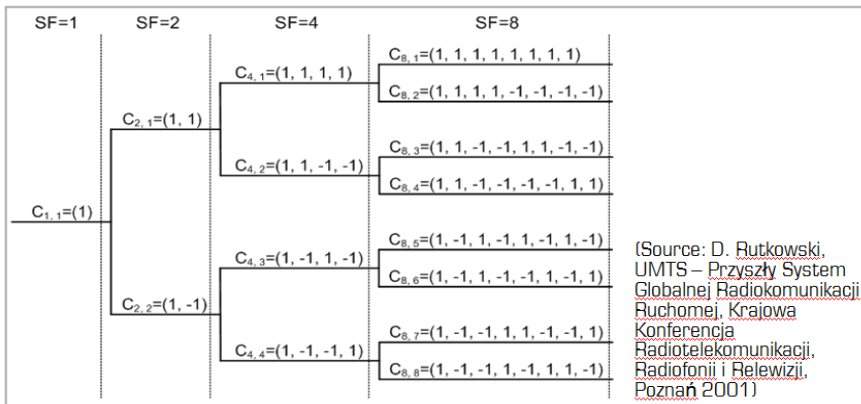
trasmettere potenze elevate; SF bassi possono quindi essere utilizzati all'interno delle celle più piccole e a bassa mobilità; con SF elevati, si hanno bassi *rate*, ma il codice è sufficientemente lungo da proteggere il segnale trasmesso dall'interferenza e dagli effetti del canale radio; solitamente la trasmissione richiede un basso valore di potenza.

Figura 11 – Schema dello Spread Spectrum utilizzato per trasmettere diversi segnali (user data 1, ...) simultaneamente sulla stessa portante.



Fonte: siti WEB

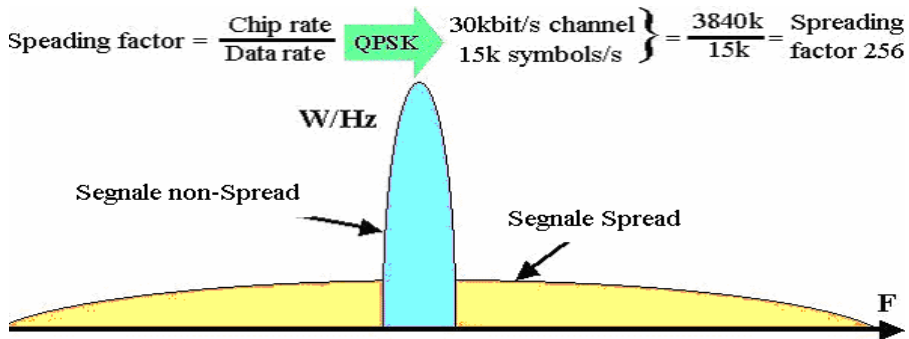
Figura 12 – Albero di sequenze ortogonali (spreading code) con diversi SF.



Vediamo che legame ha tutto questo con la larghezza di banda e la potenza del segnale. La Figura 13 fornisce un'utile descrizione del processo di *spreading* di un segnale (rappresentato semplicemente attraverso i due spettri).

La codifica CDMA "diffonde" il segnale in una banda più ampia, ma il livello medio di potenza del segnale ne viene notevolmente ridotto. Ciò perché il livello di energia dei singoli Bit non varia con la codifica, e tale energia viene distribuita sui singoli Chip che sono in quantità ben maggiore, quindi più bassa potenza per unità di banda (W/Hz).

Figura 13 – Significato dello spread signal.



Fonte: siti WEB

Il codice utilizzato per distinguere tra loro trasmissioni WCDMA è ottenuto come il prodotto di due tipi di codici: *Spreading* e *Scrambling*

Codici di *spreading* sono utilizzati per distinguere trasmissioni che originano dalla stessa sorgente, mentre codici di *scrambling* servono per distinguere tra loro trasmissioni che originano da sorgenti diverse.

La trama UMTS (tempo-continua) ha durata di 10 ms (frame), ed è suddivisa in 15 *timeslot* ciascuno della durata di 2560 *chip*. La banda di frequenza associata a un canale è 5 Mhz. La potenza è costante su ogni slot, mentre il *bit rate* di sorgente è costante su ogni frame.

Nelle due direzioni di un collegamento UMTS vengono utilizzate differenti strutture di canale: in *uplink* viene utilizzata una differente modalità di elaborazione dei segnali RF rispetto al *downlink* oltre che valori differenti di SF.

Nel *downlink*, che utilizza una struttura di canale comune per controlli e dati, viene utilizzata la modulazione quaternary phase shift keying (QPSK).

1.5 I SISTEMI DI QUARTA GENERAZIONE (4G)

I sistemi di quarta generazione, a differenza dei precedenti che si sono sviluppati a seguito dell'introduzione di nuovi elementi tecnici (copertura a celle, digitale, banda larga), vengono messi a punto più che altro per superare i limiti delle ultime versioni 3G sia in termini di connettività che di qualità dei servizi.

I principali requisiti da soddisfare, a questo punto, sono quelli di:

- Alta efficienza spettrale
- Elevato Data Rate di picco
- Riduzione dei tempi di latenza
- Flessibilità nella frequenza e nella larghezza di banda.

La rivoluzione del 4G, in pratica, sta nel fatto che la netta separazione tra *Access Network* e *Core Network*, introdotta col 2G e che tanto ha facilitato l'evoluzione "continua" e graduale dei sistemi precedenti, viene meno a causa della ri-

progettazione dell'intera architettura, dall'accesso del dispositivo utente (UE – *User Equipment*) all'interfacciamento ultimo con le reti esterne.

Nel dicembre del 2008 il 3GPP presentava la sua *Release 8* con l'obiettivo di illustrare le caratteristiche della nuova rete EPS (*Evolved Packet System*), costituita dal nuovo accesso radio E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Access Network*), meglio noto come LTE (*Long Term Evolution*) e dalla nuova *Core Network EPC* (*Evolved Packet Core*), interamente con trasmissione a pacchetto (*packet-only*) e *all-IP*.

Il primo servizio commerciale risale a fine 2009 nei paesi nordici (TeliaSonera – Stoccolma e Oslo), mentre in Italia parte alla fine del 2012 (Vodafone e TIM).

A differenza delle evoluzioni precedenti, l'adozione della nuova tecnologia da parte degli utenti è stata molto rapida contribuendo ad accelerare il processo di innovazione stesso con nuove e più complesse funzionalità. Nel 4G, infatti, l'intervallo di tempo intercorso tra l'attivazione delle reti sperimentali (2008-2009) e gli attuali miglioramenti (per esempio l'introduzione della *Carrier Aggregation*), è stato particolarmente breve.

Data la coesistenza con i sistemi delle precedenti generazioni, è stato necessario ridefinire le bande di frequenza a disposizione di tutti i sistemi, con le relative modalità di utilizzo *Duplex*. Le frequenze riservate a tutti i sistemi attualmente esistenti in Europa sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1 – Frequenze assegnate ai sistemi operativi in Europa (MHz)

Sistema	UL	DL	Duplex Mode
LTE 800	832 - 862	791 - 821	FDD
R-GSM	876 - 880	921 - 925	FDD
UMTS 900 / GSM 900	880 - 915	925 - 960	FDD
DCS 1800 / LTE 1800	1710 - 1785	1805 - 1880	FDD
UMTS 2000	1920 - 1980	2110 - 2170	FDD
	1900 - 1920	1900 - 1920	TDD
	2010 - 2025	2010 - 2025	TDD
LTE 2600	2500 - 2570	2620 - 2690	FDD
	2570 - 2620	2570 - 2620	TDD

Fonte: norma tecnica CEI 211-7/E

1.6.1 LTE E LTE-ADVANCED: ARCHITETTURA DI RETE

Il progetto *Long Term Evolution* (LTE), presentato nella *Release 8* dal 3GPP, si concentrò sul rafforzamento della *Universal Terrestrial Radio Access* (UTRA) e sull'ottimizzazione dell'architettura dell'accesso radio di 3^a generazione, definendo le specifiche di LTE/E-UTRA (Evolved-UTRA) ed E-UTRAN allo scopo di procedere a grandi passi verso l'era 4G.

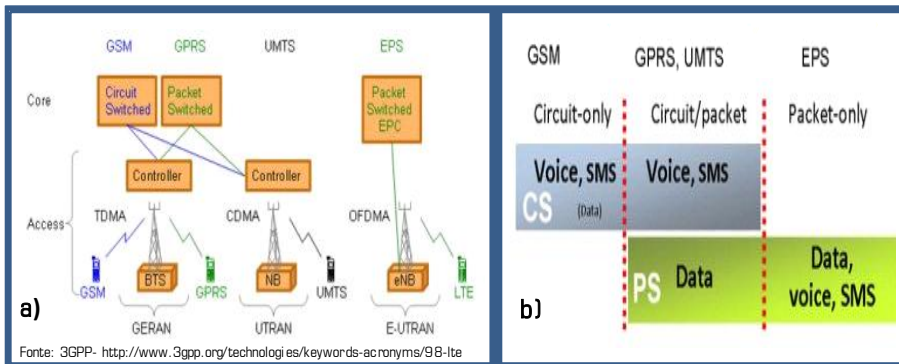
Uno dei punti forti dell'architettura della nuova rete, che segna il passaggio per il successivo ingresso nell'era 4G è certamente il *core network* EPC (*Evolved Packet Core*) previsto all-IP, ovvero con trasmissione completamente a commutazione di pacchetto (*packet-only*).

La Figura 14 (a) riporta schematicamente le principali differenze tra l'architettura LTE e quelle precedenti (2G e 3G) in termini, soprattutto, di uso dei circuiti di commutazione.

È evidente come la tecnologia LTE "potenzi" il ruolo del NodeB (*Evolved NodeB*) (già presente nella rete UMTS), "elidendo" il Controller ed inglobandone le funzioni in parte nell'eNodeB stesso, e in parte nell'EPC.

La Figura 14 (b) schematizza l'evoluzione nell'uso delle due modalità di commutazione. Nel sistema GSM (standard che supportava esclusivamente voce ed SMS), era prevista la sola funzionalità CS (la risorsa viene assegnata alla connessione per tutta la durata della sessione su canale dedicato). Il primo passo verso una trasmissione dati a pacchetto PS (i dati impegnano le risorse per il solo tempo di richiesta del servizio), con canale condiviso fra più utenti, viene fatto con lo standard GPRS ma utilizzando stessa interfaccia e stesso metodo di accesso dello standard GSM.

Figura 14 – a) Schema delle principali differenze tra i sistemi 2G/3G e il nuovo sistema EPS. b) schema dell'uso dei domini CS e PS.

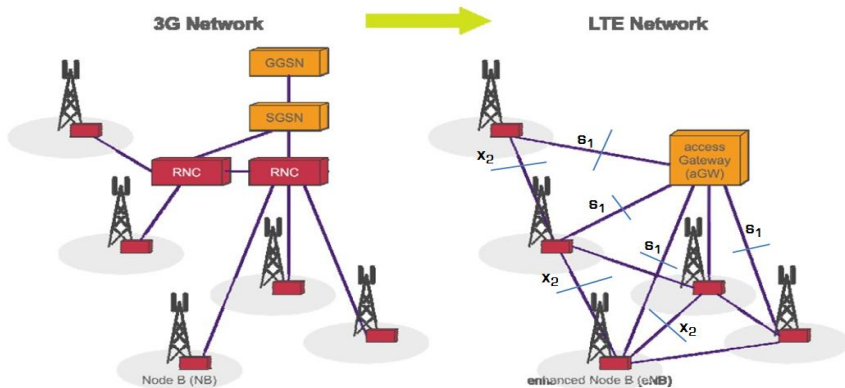


Fonte: siti WEB

Per raggiungere velocità di trasmissione dati più elevate bisogna attendere, come già visto, lo standard UMTS in cui viene sviluppata una nuova tecnologia di accesso basata sulla WCDMA. La rete UMTS (prima rete mobile in grado di supportare

contemporaneamente servizi voce, SMS e videocomunicazione), però, utilizzava una commutazione a circuito per connessione di servizi in tempo reale, e una connessione veloce a pacchetto per i servizi di trasmissione dati, in cui, l'indirizzo IP veniva assegnato al terminale utente all'avvio della sessione e rilasciato quando il servizio era concluso. Quindi l'UMTS, nonostante avesse acquisito alcuni elementi di rete "più evoluti" rispetto al passato, manteneva ancora la dualità tra commutazione a circuito e a pacchetto. Il nuovo sistema *Evolved Packet System* (EPS) rompe definitivamente questo meccanismo di dualità e pone le basi per un sistema basato esclusivamente sulla commutazione a pacchetto e uso dell' IP come protocollo chiave per trasmettere tutti i servizi, sia quelli in tempo reale che dati. Si parla quindi di sistema *packet-only* o anche *all-IP*: all'accensione del terminale mobile la rete assegna un indirizzo IP che verrà rilasciato solo allo spegnimento. In tal modo il terminale ha sempre un indirizzo IP assegnato e, quindi, una connettività sempre "pronta all'uso", senza tempi di latenza all'avvio delle sessioni. L'ultimo elemento che impediva di avere una rete *packet-only*, era il passaggio dei servizi voce ed SMS da CS a PS che, come previsto dalle prime *release*, avrebbe dovuto essere attuato mediante soluzione *Voice over LTE* (VoLTE) basata su IMS (*IP Multimedia Subsystem*). Purtroppo, tale migrazione ha richiesto più tempo del previsto e il *packet-only* non è ancora stato realizzato del tutto: la nuova rete deve continuare ad "appoggiarsi", almeno per quanto riguarda i servizi voce, alle reti 2G/3G su dominio CS mediante la cosiddetta funzionalità CS FallBack. Per attuare il CS FallBack è fondamentale garantire la sovrapposizione della copertura LTE con quella WCDMA/GSM. Passiamo ora ad illustrare, comunque, le caratteristiche più salienti dell'architettura dei sistemi con accesso radio LTE.

Figura 15 – Schema di massima delle differenze tra architettura di rete EPS e sistemi 3G



Fonte: siti WEB

Confrontando gli schemi architetturali con quelli dei sistemi 3G, ciò che salta subito all'occhio è la semplificazione (almeno nelle connessioni esterne) della rete LTE.

L'accesso radio è costituito da un unico componente, l'*eNodeB* con *ruolo* assimilabile a quelli del NodeB e RNC congiunti dell'UMTS.

Uno degli obiettivi dell'LTE è stato proprio quello di minimizzare il numero di nodi e, per questo motivo, la rete si sviluppa essenzialmente come un insieme di *eNodeB* connessi tra di loro tramite l'interfaccia X2 e connessi all'EPC per mezzo dell'interfaccia S1, senza più nessun controllore intelligente, e con tanti *eNodeB* che includono al loro interno tutte le funzionalità relative all'accesso radio, compresa la gestione delle risorse.

Un'architettura base, quella del sistema EPS, di tipo *flat*, ovvero, in cui non si ha un controllo centralizzato e ciascuna stazione si coordina autonomamente e indipendentemente dalle altre e in cui i pochi nodi coinvolti sono in grado di gestire il traffico dati in maniera efficiente, minimizzando i tempi di latenza nei trasferimenti dei pacchetti, accelerando il set-up nelle connessioni e riducendo il tempo richiesto per gli *handover*. Ne risulta, di fatto, una notevole riduzione della quantità di dati di segnalazione ma anche dei tempi di latenza.

A causa dell'assenza del Controller, però, la rete LTE non supporta meccanismi di *soft handover*, come l'UMTS, e l'*handover* è sempre di tipo "*hard*", con una breve interruzione della connessione attiva durante il passaggio da un nodo all'altro. In effetti, la mancanza di un elemento centrale di controllo aumenta la probabilità di errori e rende più problematica la gestione di certe funzionalità. Tuttavia, sono stati introdotti diversi meccanismi di inoltro dei dati (*buffer* e *forwarding*) che limitano le perdite di dati utente durante il periodo di interruzione della connessione e mascherano l'effetto della brusca interruzione dei servizi.

In base all'interfaccia utilizzata e alle zone di copertura tra cui il passaggio avviene, sono previsti due tipi di *handover*: Intra-pool (o X2-Handover), e Inter-pool (o S1-Handover). L'*Intra-pool handover* si riferisce al caso in cui un terminale si sposta da un *eNodeB* ad un altro, ovvero all'interno della stessa *Tracking Area* (TA), anche detta semplicemente, *pool area*, mentre l'*inter-pool handover* è quello che si verifica quando il terminale mobile si sposta da una *pool area* ad un'altra.

La procedura è molto simile a quella *hard handover inter RNC* di UMTS, con la differenza principale che il messaggio di "*status transfer*" rende il tipo di *handover* (S1 o X1) trasparente al terminale; altra differenza rispetto all'UMTS è la presenza di una serie di messaggi aggiuntivi per il passaggio di consegna tra i due MME. Vedremo inoltre che la modalità con cui viene realizzato un *handover* dipende anche dal livello di QoS assegnato.

Prima di continuare, però, è necessario integrare le poche informazioni finora fornite sul il terminale mobile.

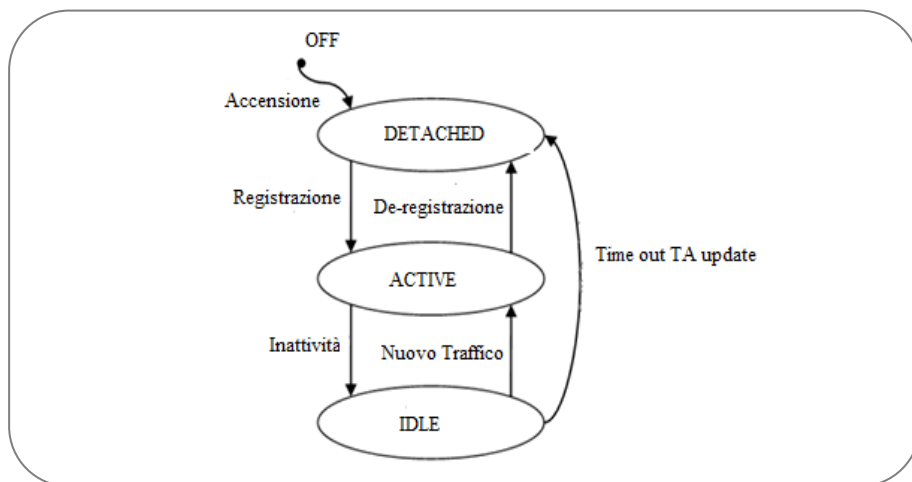
Nella tecnologia LTE il terminale, finora chiamato MS, viene denominato *User Equipment* (UE) in quanto oggi il terminale è sempre più uno "*smartphone*": è ancora costituito da due parti, il *Mobile Equipment* (ME) e la *Universal Subscriber Identity Module* (USIM), ma adesso, il ME contiene *hardware* e *software* che implementano le

funzionalità LTE (gestione delle risorse radio, della comunicazione, della mobilità, della sicurezza, etc.) un po' più complessi rispetto anche ai terminali UMTS.

Gli UE sono classificati in 10 possibili categorie, a seconda delle loro specifiche prestazioni e capacità. Quando l'UE si connette alla rete, l'eNodeB seleziona i parametri operativi più adatti alla comunicazione in base alla categoria del terminale stesso. Il terminale mobile, l'UE dunque, all'interno della rete di eNodeB LTE, può trovarsi in tre stati possibili: *detached*, *idle*, *active*.

All'accensione, si trova nello stato *detached*, cioè attivo ma non ancora connesso alla rete. Subito dopo, si instaurano le operazioni necessarie alla registrazione presso un nodo e, al termine, il dispositivo passa nello stato *active*.

Figura 16 – Stati possibili di un terminale mobile (UE)



Fonte: siti WEB

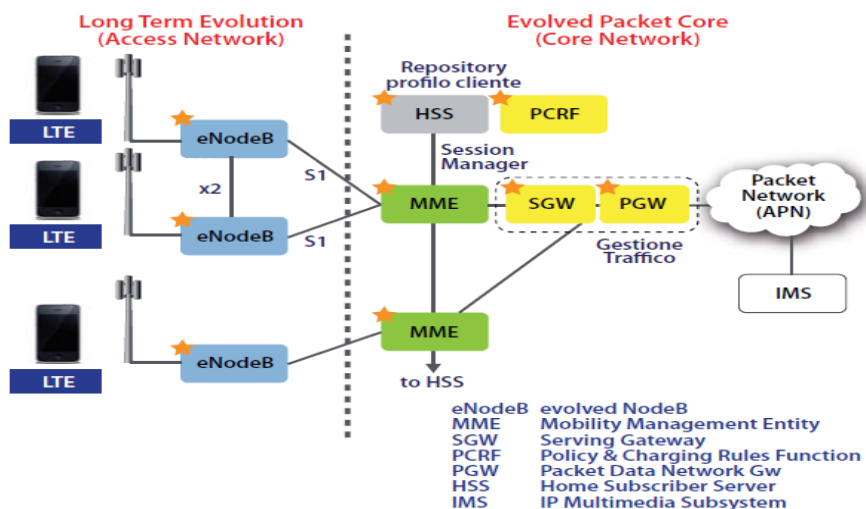
Quando l'UE non trasmette e non riceve dati per un determinato tempo, si porta automaticamente nello stato *idle*. In questo stato la posizione del terminale è nota a livello di *Tracking Area* (TA), ovvero un insieme di eNodeB gestite dallo stesso MME (*Mobility Management Entity*)/S-GW (*Serving Gateway*).

Nel caso di chiamata in arrivo, il terminale sarà avvisato tramite operazioni di *paging* su tutti i nodi nella TA e si porterà automaticamente nello stato di Active.

A quel punto la sua posizione sarà nota a livello di nodo e potranno verificarsi gli *handovers*.

La Figura 16, in cui si possono osservare anche i diversi blocchi che compongono l'EPC, fornisce maggiori dettagli dell'architettura della rete LTE che andiamo a descrivere per comprendere meglio come sono stati riorganizzati i vari *item* e cosa c'è di nuovo.

Figura 17 –Architettura di una rete EPS: dettagli dell'EPC.



Fonte: Semenzato P. et al., Easy LTE, Telecom Italia.

I principali nodi logici che costituiscono l' EPC sono:

- **Home Subscriber Server (HSS):** è il database che contiene tutte le informazioni riguardanti l'utente, le informazioni relative alla sicurezza e allo stato di registrazione presso i domini di rete e i servizi sottoscritti; effettua l'autenticazione dell'utente mediante l'*Authentication Center (AuC)* che si occupa di generare le chiavi per la cifratura dei dati e per la mutua autenticazione dell'utente e della rete;
- Il **Serving Gateway (S-GW):** è il nodo che fa da interfaccia tra la rete di accesso E-UTRAN e le altre reti 3GPP (UMTS/GPRS), e si occupa anche della gestione della mobilità tra un eNodeB e un altro;
- Il **PDN Gateway (P-GW):** si occupa dell'assegnazione degli indirizzi IP agli UE e della gestione dei flussi informativi, in conformità a specifiche di QoS;
- **Mobility Management Entity (MME):** è il principale nodo di controllo della *core network* CN. Gestisce la segnalazione tra UE e CN e si occupa delle procedure d'instaurazione della connessione per un terminale che si connette per la prima volta alla rete. Inoltre tiene traccia della posizione del terminale mobile, gestisce le operazioni di *paging* e si occupa dell'assegnazione delle identità temporanee ai singoli UE;
- **Policy Control and Charging Rules Function (PCRF).** È il nodo responsabile del controllo del QoS;

Inoltre l'EPC è collegato alle reti esterne, che possono includere l'IP *Multimedia Nucleo Network Subsystem (IMS)*.

Per quanto riguarda il PCRF e la gestione del QoS, come già per l'UMTS, anche in LTE si ha la possibilità di effettuare connessioni con diverse qualità di servizio (QoS).

A ciascun flusso informativo è associata una specifica classe di QoS e il flusso IP con la sua specifica classe costituisce un *bearer*. La rete è in grado di gestire contemporaneamente più *bearers* di uno stesso utente: ad esempio durante una comunicazione vocale (VoiP), un utente potrebbe accedere ad sito web, o scaricare un file tramite il protocollo FTP. La rete è strutturata in modo da gestire efficacemente le diverse QoS garantendo al tempo stesso sicurezza e privacy degli utenti e delle loro informazioni.

Con riferimento al QoS ad esempio, sono possibili due tipi di handover: *seamless* o *lossles*, che vengono selezionati dalla rete nella fase di preparazione dell' *handover*.

Il *seamless handover* è selezionato dalla rete per gestire servizi la cui classe di QoS è particolarmente sensibile ai ritardi, mentre il *lossless handover* è la soluzione scelta dalla rete per gestire i servizi non real-time, in cui non è tanto fondamentale contenere i ritardi di trasmissione, quanto, piuttosto, garantire un basso tasso di errori e ridurre quanto possibile le perdite di pacchetti.

I *bearers* possono essere classificati in due categorie principali sulla base del livello di QoS che forniscono:

- **Minimum guaranteed bit rate (GBR)**: questi bearers hanno risorse dedicate durante tutta la durata della trasmissione. Sono quindi dedicati a flussi informativi ad elevata priorità come quelli voce (VoiP). Garantiscono alti data rate, ritardi contenuti e tassi d'errore contenuti. Per default GBR garantisce un bit rate minimo, ma in alcuni casi è possibile stabilire anche un bit rate massimo Maximum Bit Rate (MBR).
- **Non-GBR**: questi bearers possono essere utilizzati per applicazioni che non richiedono bitrate particolarmente elevati, come ad esempio web browsing o trasferimenti FTP. Non ci sono risorse allocate per questi bearers.

1.6.2 LE CARATTERISTICHE DEL SEGNALE

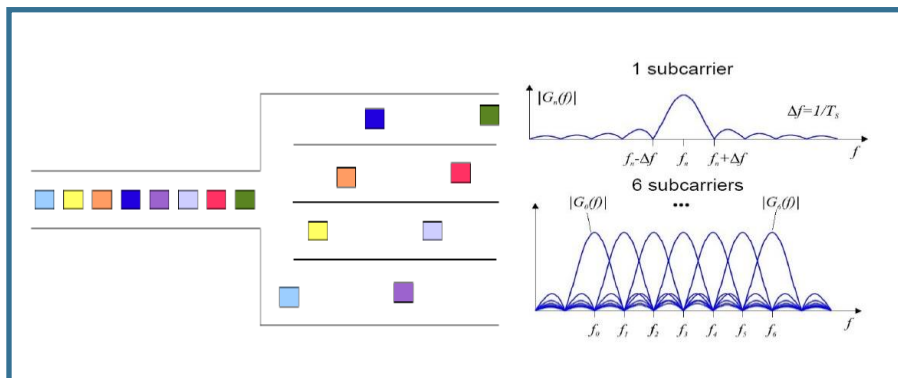
Allo scopo di soddisfare tutti i requisiti richiesti dallo standard, lo "strato" fisico LTE fa uso di due schemi di modulazione digitale del segnale: *OFDMA* (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access*) per la tratta di *downlink* e *SC-FDMA* (*Single Carrier – Frequency Division Multiple Access*) per quella di *uplink*.

Tecnica OFDMA

La tecnica OFDMA è un'evoluzione della modulazione digitale multi-portante OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), già ampiamente utilizzata in sistemi wireless (DVB-T, Wi-Fi, ecc.) in cui la larghezza di banda disponibile si suddivide in una moltitudine di sottoportanti a banda stretta ortogonali. Queste sottoportanti possono essere condivise tra più utenti.

In questo modo, il flusso di dati da trasmettere viene suddiviso in N "sottoflussi", ciascuno dei quali viene modulato individualmente (tipicamente QPSK, 16QAM o 64QAM) e i simboli modulati vengono poi trasmessi in parallelo su N portanti con spaziatura Δf in frequenza (tale da poter essere ritenute "ortogonali", ovvero non ingenerare interferenza mutua tra i flussi), utilizzando algoritmi veloci di Fast Fourier Transform inversi (IFFT) (vd. Figura 18).

Figura 18 - Flusso di dati trasmesso in parallelo ed esempio di sottoportanti distanziate in frequenza di Δf .



Fonte: siti WEB

La trasmissione su più sottoportanti ortogonali risulta utile soprattutto su canali di trasmissione molto distorti. Infatti, trasmettendo l'intero flusso a velocità f_B su un'unica portante, occupando la banda totale a disposizione B , si avrebbe forte interferenza intersimbolica e, quindi, necessità di una complessa equalizzazione di canale; trasmettendo invece N flussi, ciascuno a velocità f_B/N in N sottobande di

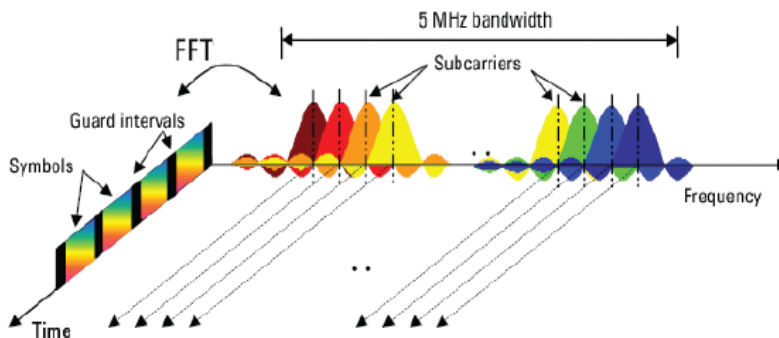
larghezza $\Delta f = B/N$, si può dire che, se Δf è sufficientemente piccola, la funzione di trasferimento di canale per ciascuna sottobanda può essere considerata non distorcente e quindi la funzione di equalizzazione non risulta necessaria o viene comunque molto semplificata.

Affinché le sottoportanti possano essere considerate ortogonali deve essere verificata, per la spaziatura in frequenza, la relazione $\Delta f = 1/T_s$, dove $T_s = N/B$ (intervallo di simbolo) è la durata di trasmissione dei simboli sulle sottoportanti.

Per ridurre sensibilmente l'effetto prodotto dall'ISI (*Intersymbol Interference*), effetto determinato dalla sovrapposizione di repliche del segnale (echi) in ricezione, ciascun simbolo OFDM trasmesso viene preceduto da un intervallo di guardia di durata Δ , anche detto *Cyclic Prefix* (CP), ovvero una breve replica della parte finale del segnale ottenuto dalla somma dei simboli su ciascuna sottobanda. Pertanto, il tempo totale di simbolo risulterà essere $T = \Delta + T_s$.

Il prefisso ciclico CP verrà poi scartato al ricevitore dove il segnale verrà ricostruito con le N sottoportanti sempre mediante algoritmi di FFT.

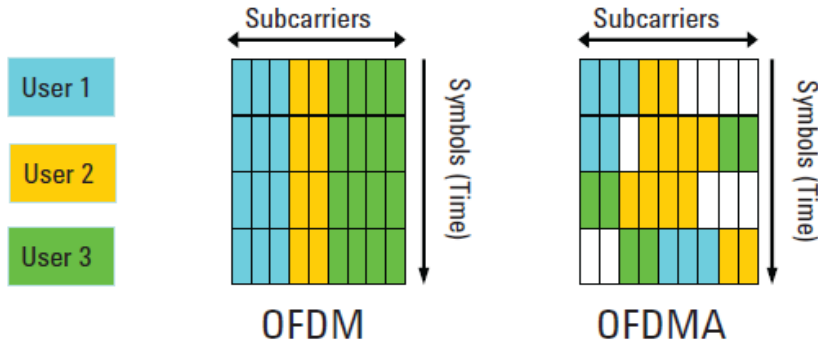
Figura 19 - Rappresentazione del tempo e della frequenza di un segnale OFDM



Fonte: siti WEB

In definitiva, nella *multiplazione* OFDMA, ad ogni utente è associato, per un determinato intervallo di tempo, un sottoinsieme delle sotto-portanti in cui viene suddivisa la banda disponibile. Lo schema di riferimento è ancora quello della modulazione OFDM in cui però le sotto-portanti non sono più assegnate a blocchi di dati distinti allo stesso utente, ma ad utenti diversi (Fig 20). L'assegnazione non è statica ma varia dinamicamente nel tempo, a seconda delle esigenze degli utenti e dello stato della rete. In particolare, ciascuna sottoportante viene allocata in un intervallo di 15 kHz, oppure di 7.5 kHz, e la larghezza di banda complessiva del segnale può essere scelta in maniera flessibile tra 1.4 MHz e 20 MHz.

Figura 20 - Un puro segnale OFDM può essere affetto da fading selettivo e interferenza. L'OFDMA invece, permette che sottoinsiemi di sottoportanti siano allocati dinamicamente tra i diversi utilizzatori. Ne deriva un sistema più robusto e con maggiore capacità.



Fonte: siti WEB

Uno degli svantaggi principali nell'uso di questa modulazione è l'elevato PAR (*peak-to-average ratio*) definito come il rapporto tra il fattore il picco e il valore RMS (*root-mean-square*). Un segnale con un PAR elevato, per essere ricevuto correttamente, richiede l'uso di amplificatori di potenza con elevata linearità, che aumentano i costi dei ricevitori. Questo non è un problema per le stazioni radio, ma sarebbe un grosso problema per i terminali che risulterebbero molto costosi. Proprio per questo motivo, la strategia di moltiplicazione adottata in *uplink* è la SC-FDMA.

La tecnica di modulazione SC-FDMA utilizzata nella tratta di *uplink* è una tecnica molto simile alla OFDMA. Anche in questo caso la banda disponibile viene suddivisa in una serie di sotto-portanti ortogonali tra loro ma le portanti non sono più trasmesse in parallelo, come nella OFDMA, bensì sequenzialmente.

La modalità di trasmissione sequenziale permette di ridurre le fluttuazioni del segnale involuppo trasmesso, ottenendo un PAR più basso rispetto a quello che si avrebbe con una modulazione OFDMA, ma bisogna però considerare che il segnale è più facilmente affetto da interferenza intersimbolica e pertanto è necessario impiegare sistemi di equalizzazione adattativi nel dominio della frequenza.

Nella modulazione SC-FDMA, il segnale trasmesso sulle singole sotto-portanti risulta essere una combinazione di tutti i simboli trasmessi allo stesso istante, a differenza di quella OFDMA in cui ciascuna sotto-portante veniva modulata indipendentemente dalle altre.

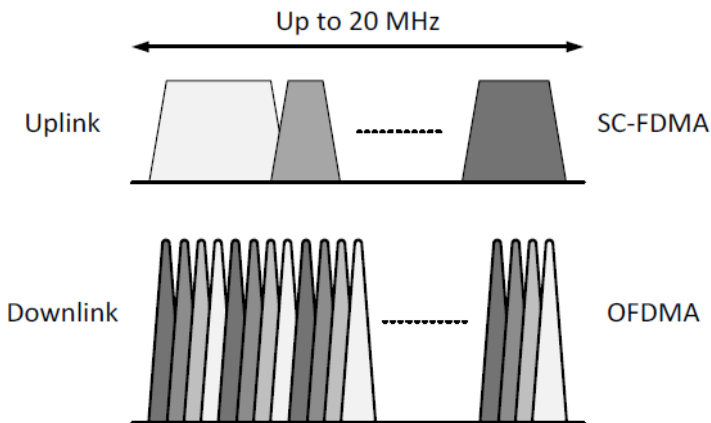
In pratica il flusso di dati in ingresso per ogni utente viene suddiviso in blocchi di lunghezza M , modulato con modulazione QPSK, 16QAM o 64QAM, e poi mappato nel dominio della frequenza, attraverso una FFT su M punti. Successivamente, una FFT inversa riporta nuovamente il blocco nel dominio del tempo per la trasmissione sul canale, ma stavolta considerando un numero di punti N maggiore degli M iniziali (alla

sequenza vengono aggiunti $N-M$ zeri, i cosiddetti *zero-padding*, spazi lasciati liberi per le trasmissioni di altri utenti). Questa operazione realizzata con diversi possibili approcci (Localizzato o Distribuito) è molto simile a quello che viene fatto per effettuare lo *spreading* nella modulazione CDMA e permette di distribuire il contenuto informativo su una banda di frequenze più ampia.

Nell'approccio di tipo "distribuito" denominato *IFDMA* (*Interleaved FDMA*) ad esempio, le M sotto-portanti assegnate a ciascun utente sono poste a distanza prefissata le une dalle altre intervallate da quelle assegnate ad altri utenti. La separazione tra le sotto-portanti degli utenti è realizzata aggiungendo tanti zeri quanti sono gli utenti che trasmettono contemporaneamente.

La IFDMA risulta maggiormente immune agli errori di trasmissione, poiché l'informazione da trasmettere viene effettivamente distribuita su tutta la banda disponibile. Il vantaggio principale nell'uso della SC-FDMA è rappresentato dalla possibilità di ricorrere ad operazioni di FFT/IFFT, che sono algoritmi veloci, di facile implementazione e dai costi contenuti.

Figura 21 Differenze tra modulazione OFDMA (downlink) e SC-FDMA (uplink)



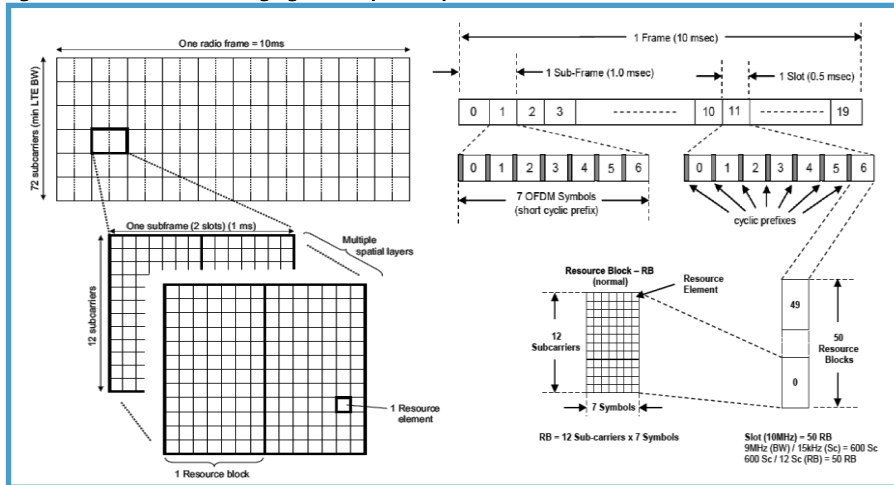
Fonte: siti WEB

In definitiva si può dire che le risorse disponibili, sia in *uplink* che in *downlink*, sono gestite secondo una struttura a griglia tempo-frequenza ben determinata (Figura 22). Nel dominio del tempo, il *frame* radio ha una durata di 10 ms, e consiste di 20 *slot* ciascuno di 0.5 ms. Due slot adiacenti formano un *sub-frame* di durata 1 ms.

L'allocazione dinamica degli utenti avviene in blocchi di sottoportanti: ciascuno *slot* alloca 1 *Resource Block* (RB), costituito da 7 simboli su 12 sottoportanti (da 15 kHz) o 24 sottoportanti (da 7.5kHz).

Un RB ha quindi un'occupazione di banda di 180 kHz, ed un'occupazione temporale minima pari a 1 *slot* (0.5ms) all'interno del quale sono trasmessi 7 simboli. In ogni RB sono contenuti 84 Resource Elements (RE) = Unità minima per l'allocatione dei dati e il controllo di potenza.

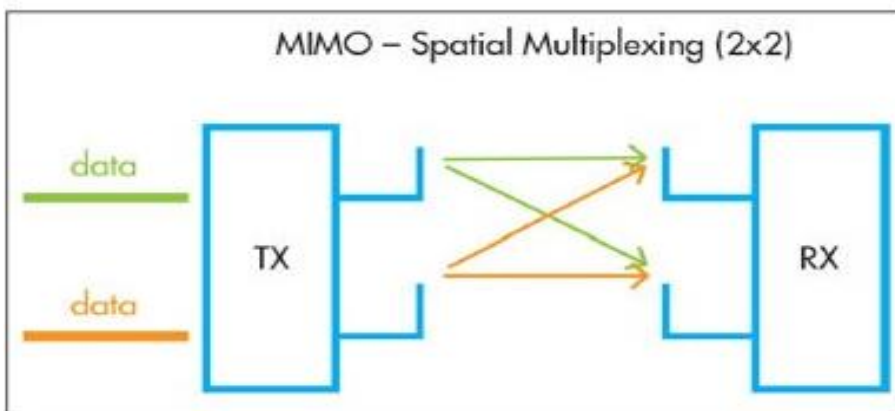
Figura 22 - Struttura a griglia tempo-frequenza del Frame radio



Fonte: siti WEB

Per ottenere migliori prestazioni in termini di *data-rate* complessivo del sistema di trasmissione, viene utilizzata la tecnica MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). In pratica si utilizzano sistemi di antenne multiple, N connesse al nodo e M al terminale.

Figura 23 - Esempio MIMO 2x2. uso di due antenne multiple, raddoppio (teorico, in condizioni ideali) del data-rate.



Fonte: siti WEB

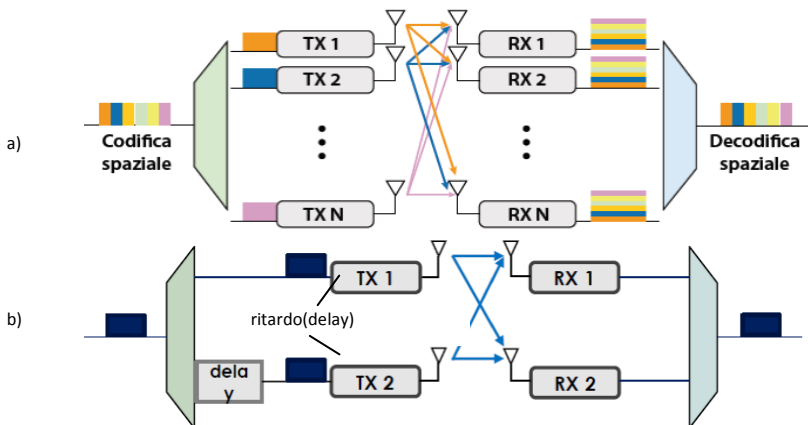
A seconda delle condizioni del canale si possono distinguere due modalità di MIMO: *Spatial Multiplexing e Transmit Diversity*.

Lo *Spatial Multiplexing* sfrutta la propagazione *multipath* per creare un certo numero di canali di trasmissione indipendenti tra il trasmettitore e il ricevitore e trasmetterli simultaneamente. Applicando poi opportuna decodifica ed elaborazione del segnale questi verranno estratti in modo indipendente dal ricevitore.

Questa tecnica può essere usata per aumentare la velocità nel trasferimento dati disponibile di un singolo utente (*Single User MIMO SU-MIMO*) o per *multiplexare* i dati provenienti da diversi utenti (*Multiple User MIMO - MU-MIMO*). Il numero massimo di canali multiplex che può essere supportato corrisponde al più piccolo numero di antenne sul trasmettitore e ricevitore. Mentre il SU-MIMO incrementa la velocità di trasmissione (data rate), il MU-MIMO permette di incrementare la capacità complessiva del sistema. Ogni antenna trasmittente propaga un diverso flusso di dati e le antenne in ricezione possono ricevere flussi di dati da tutte quelle che trasmettono.

La *Transmit Diversity* (o *Space Frequency coding*) tecnica già nota dal WCDMA sfrutta la dissolvenza indipendente dei diversi percorsi di segnale tra le diverse antenne di trasmissione e ricezione per migliorare l'affidabilità di un collegamento di comunicazione. In pratica le antenne trasmettono repliche dello stesso segnale opportunamente ritardate e codificate. Ciò consente al ricevitore di beneficiare in ricezione della "somma" dei segnali trasmessi (guadagno di diversità) aumentando il rapporto segnale/rumore. Questa tecnica è particolarmente utile per i canali di controllo del sistema per ottenere un funzionamento più robusto in condizioni scarsa ricezione del segnale come ad esempio capita a bordo cella.

Figura 24 - Le due diverse Modalità previste nella tecnica MIMO: a) *Spatial Multiplexing*; flussi di dati distinti vengono trasmessi in parallelo su antenne diverse; b) *Transmit Diversity*; le antenne trasmettono repliche dello stesso segnale opportunamente ritardate e codificate.



Fonte: siti WEB

In definitiva per buone condizioni radio si utilizza lo *Spatial Multiplexing* che permette di ottenere aumento del data rate di picco e aumento dell'efficienza spettrale. Mentre, in pessime condizioni radio (es. a bordo cella), si utilizza la *Transmit Diversity*.

A partire dalla *Release 10*, il 3GPP introduce l'LTE-Advance, evoluzione dell' LTE che di fatto, attraverso nuove funzionalità, incrementa le prestazioni della rete e porta lo standard a soddisfare meglio i requisiti stabiliti dall'ITU, aprendo finalmente le porte alla 4G.

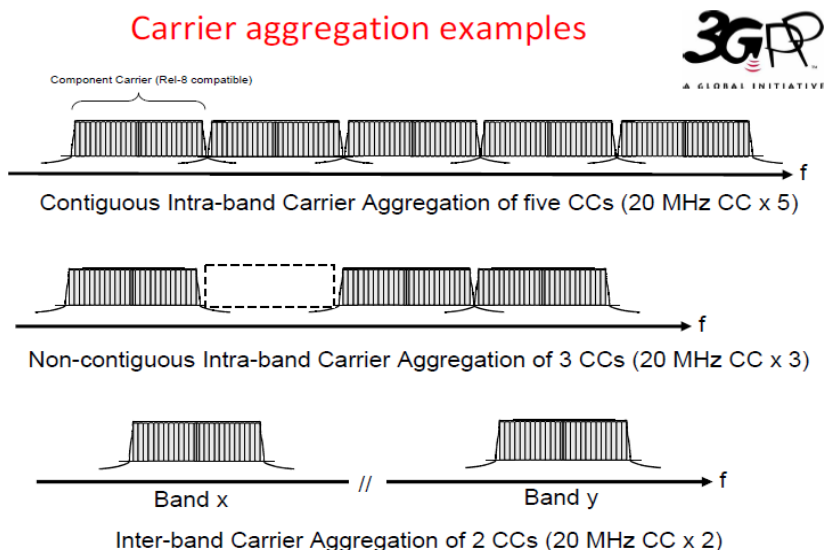
Le funzionalità di maggiore rilievo introdotte negli ultimi anni mirano essenzialmente a incrementare l'efficienza spettrale, aumentare la velocità di trasmissione dati, aumentare le capacità della rete.

Per quanto riguarda l'efficienza spettrale, ovvero il numero di bit che possono essere trasmessi nell'unità di tempo e di frequenza (bps/Hz), essa rappresenta un parametro di qualità della rete e indica quindi, quanto il sistema riesce a sfruttare in maniera più o meno efficiente la banda disponibile. Una maggiore velocità di trasmissione dati si ottiene disponendo di una banda più ampia, ma lo spettro radio è una risorsa molto preziosa e quindi, anche per motivi di complessità realizzativa, non è possibile aumentare indefinitamente il canale a disposizione.

Una tra le funzionalità più importanti inserite nelle *release* successive alla 10 è la *Carrier Aggregation* che sfrutta porzioni disgiunte o contigue di spettro in modo tale che la larghezza complessiva possa superare il limite di 20 MHz, definito per un singolo canale LTE, tramite l'aggregazione di più bande che vengono "affasciate", a livello trasmissivo, fino a 5 differenti canali radio, ciascuno con larghezza massima di 20 MHz, al fine di ottenere un canale complessivo pari a 100 MHz, e in grado di offrire un *throughput* teorico pari alla somma dei *throughput* offerti dai singoli canali, cioè fino a 5 volte superiori a quelli raggiungibili senza aggregazione.

Ad esempio, considerando una configurazione LTE base di tipo MIMO 2x2, il *throughput* di picco raggiungibile (funzione della relativa categoria di terminale specificata) passa da circa 150 Mbps su 20 MHz a circa 750 Mbps su 100 MHz di banda aggregata complessiva.

Figura 25 Carrier aggregation: Aggregazione di portanti anche disgiunte.



Fonte: siti WEB

Una maggiore efficienza spettrale si ottiene anche facendo leva sulla disponibilità di più collegamenti radio, ecco perché in LTE-Advanced si utilizzano tecniche MIMO con sistemi 8x8 in *downlink*, e fino a 4x4 in *uplink* e schemi MIMO avanzati quali il MU-MIMO (Multi-User MIMO).

Inoltre, viene introdotta una tecnica per aumentare la capacità del sistema radio che consiste nel focalizzare la trasmissione nella direzione in cui si trova l'utente (*Beamforming*), ottenendo quindi, a parità di potenza, una qualità più alta o la copertura di utenti ad una distanza maggiore. L'effetto di focalizzazione si ottiene attraverso un sistema composto da più antenne, alimentate in maniera opportuna, che convoglia la radiazione in una direzione preferenziale.

Il numero di antenne che compone il sistema radiante e la modalità con cui vengono alimentate permettono di sagomare il diagramma di radiazione sia nella direzione che nell'ampiezza desiderate. Come regola generale, maggiore è il numero di antenne costituenti il sistema radiante, maggiore è il numero di gradi di libertà ottenibili nella direzionalità del fascio e nella sua forma.

La tecnologia radio LTE è in continua evoluzione per permettere di soddisfare i requisiti sempre più stringenti in termini di capacità e di qualità del servizio. Si tratta di un processo continuo, per far fronte a nuovi servizi e nuove esigenze di mercato che richiedono sempre maggiori prestazioni. Nei prossimi anni ulteriori funzionalità di LTE-Advanced si renderanno progressivamente disponibili con livelli crescenti di complessità.

1.6 L'EVOLUZIONE DEI LIVELLI DI ESPOSIZIONE

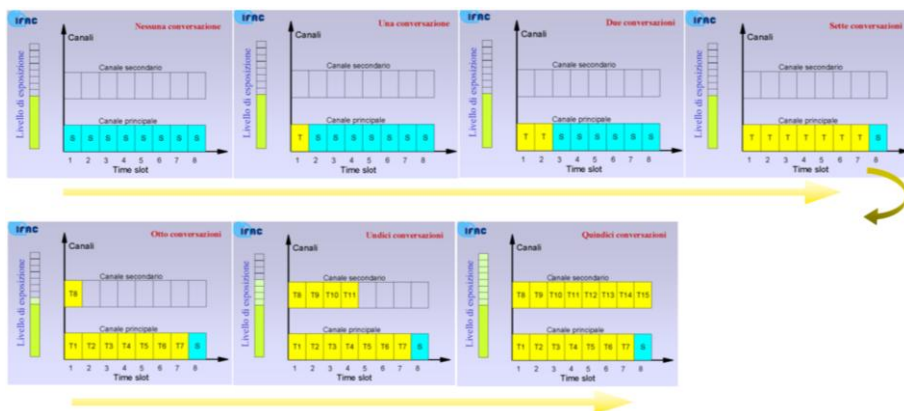
Nella descrizione delle varie "piattaforme", o tecnologie come le abbiamo definite finora, non si è parlato di potenza emessa ne' dal terminale ne' dalla SRB/NodeB. In realtà, ovviamente, anche le potenze di emissione sono regolamentate e definite nelle specifiche tecniche e negli standard di ogni tecnologia, attraverso tabelle decisamente complesse e che distinguono i diversi casi. L'omissione di tale argomento è stata voluta principalmente per due motivi:

- avrebbe determinato un inutile appesantimento della trattazione, richiedendo molte specificazioni,
- le effettive potenze emesse dalle stazioni, sia come massima potenza dell'impianto che come valori medi, dipendono da una moltitudine di fattori, ivi comprese le specificità locali dei vari paesi, le caratteristiche territorio-popolazione e le richieste del servizio.

Come per gli altri aspetti, infatti, anche ai fini della potenza di emissione, il traffico e le richieste di accesso giocano un ruolo fondamentale nel funzionamento delle reti che hanno dovuto evolversi verso soluzioni sempre più "dinamiche".

A titolo di esempio, le figure seguenti mostrano come varia l'emissione delle stazioni (e quindi, l'esposizione) nella tecnologia GSM e UMTS solo in relazione al traffico e alla richiesta di servizio, indipendente da tutte le funzionalità di *power control*, dalle caratteristiche della cella (territorio) e dell'impianto, dalle distanze.

Figura 26 – Variazione del livello di emissione (esposizione) di una BTS al variare dell'occupazione di timeslot sulla portante BCCH sempre attiva alla massima potenza (colonna di sinistra) e poi sulle portanti traffico attive solo quando necessario.



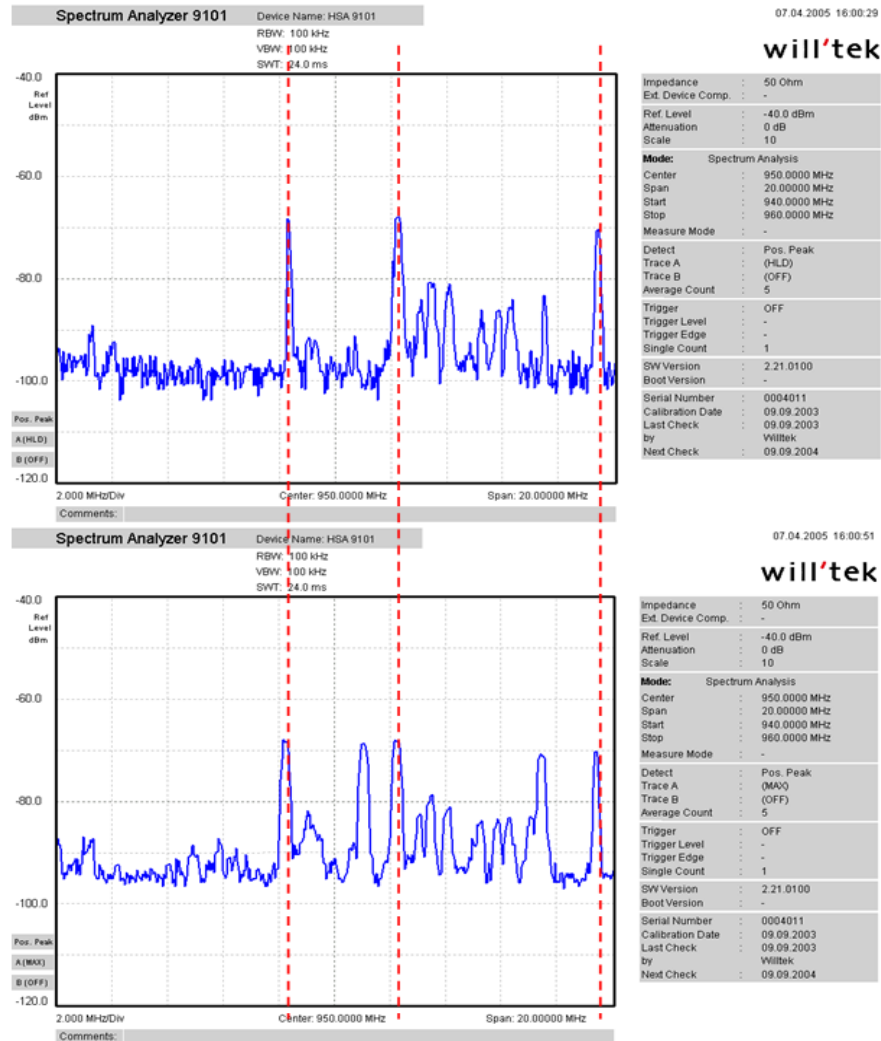
Fonte: D. Andreuccetti, "Sorgenti per comunicazione mobile e modalità di esposizione", Convegno Salute e campi elettromagnetici, Pontecchio Marconi (BO), 31 marzo 2009

La figura 26 è una utile schematizzazione semplificata, di come può variare l'emissione di una stazione GSM (BTS) a seconda di come la rete gestisce *timeslot* e portanti (in realtà più complessa); l'analisi spettrale riportata in figura 27 mostra la

realizzazione di ciò attraverso il risultato di una misura a banda stretta in prossimità di una BTS.

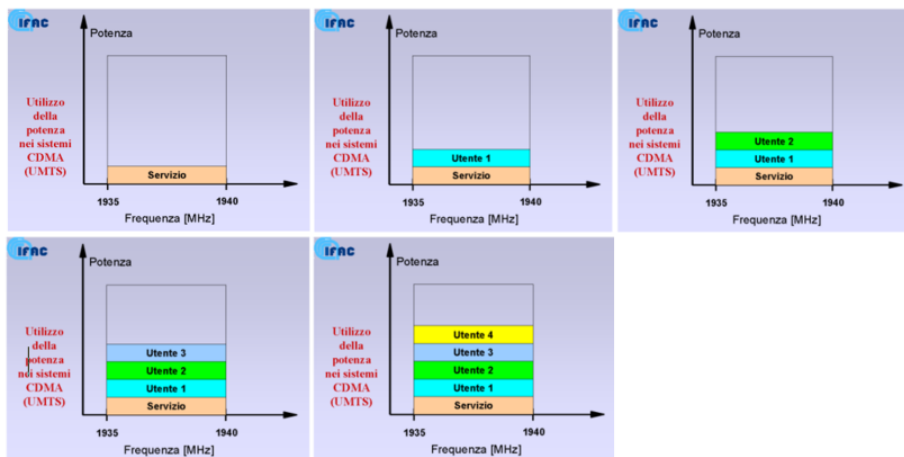
La figura 28 è ancora una schematizzazione di come il numero di utenti (traffico) determina la variazione della potenza emessa da una stazione UMTS (NodeB) e la figura 29 mostra il corrispondente spettro.

Figura 27 – Spettri dei segnali prodotti da due stazioni GSM a distanza di pochi secondi: le linee tratteggiate richiamano l'attenzione sul fatto che le portanti BCCH sono sempre attive allo stesso livello (dB) mentre le portanti traffico variano rapidamente passando anche da valori pressoché nulli al massimo.



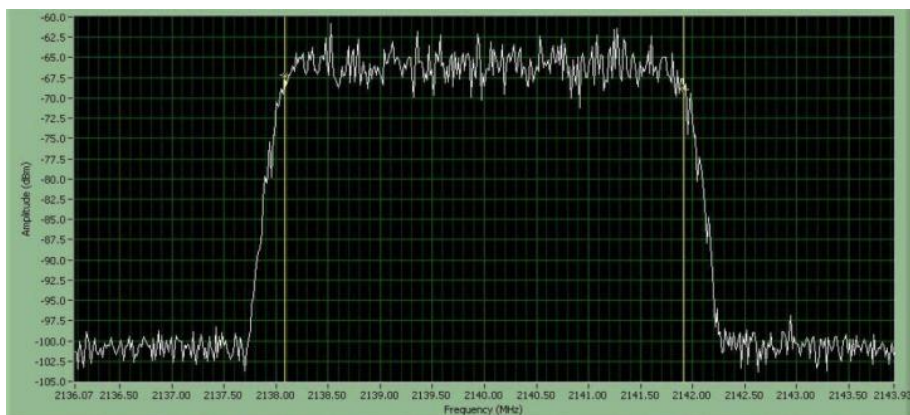
Fonte: siti WEB

Figura 28 – Variazione del livello di emissione (esposizione) di un NodeB al variare del numero di utenti.



Fonte: D. Andreuccetti, "Sorgenti per comunicazione mobile e modalità di esposizione", Convegno Salute e campi elettromagnetici, Pontecchio Marconi (BO), 31 marzo 2009

Figura 29 – Spettro di un segnale UMTS.



Fonte: siti WEB

È chiaro quindi, anche in accordo con le normative nazionali e gli standard tecnici, che nella misura dei livelli di densità di potenza locale del segnale emesso da una stazione radio base di qualunque tipo, finalizzata alla valutazione dell'esposizione, non ci si può limitare alla misura istantanea di tale livello, ma va stimato anche il massimo livello raggiungibile, corrispondente al caso di trasmissione in condizioni di esercizio a massima potenza dell'impianto (compatibilmente con le caratteristiche di modulazione del segnale), definito in base al traffico previsto per la locazione dell'impianto.

BIBLIOGRAFIA

- 3GPP TSG RAN R1-072261 (2007). *LTE Performance Evaluation - Uplink Summary*.
- 3GPP TSG RAN R1-072444 (2007). *Summary of Downlink Performance Evaluation*.
- 3GPP TSG RAN TR 25.892 (2004). *Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement (Release 6)*.
- 3GPP TSG RAN TS 36.211 (2010). *Physical Channels and Modulation (Release 8)*.
- 3GPP TSG RAN TS 36.213 (2008). *Physical Layer Procedures (Release 8)*.
- Andreozzi M, De Vito G, 2013. *Il Sistema Mobile di quarta generazione LTE*, Mondo Digitale, n. 46.
- Andreuccetti D, 2009. *Sorgenti per comunicazione mobile e modalità di esposizione*, Convegno Salute e campi elettromagnetici, Pontecchio Marconi (BO).
- Barbiroli M, 2012. *Introduzione all'UMTS*, lezione del corso di Propagazione, Dipartimento di Elettronica Informatica e Sistemistica, Università di Bologna.
- Ferrero U, Gamberini M, 2013. *Da LTE a LTE-Advanced: L'Evoluzione Tecnologica*, Notiziario Tecnico Telecom, n.2.
- Galante MP, Romano G, 2015. *Evoluzione dei sistemi radiomobili: il ruolo del 3GPP*, Notiziario Tecnico Telecom, n.2
- Galante U,Guardini I, Madella M, 2015. *Evoluzione dell'architettura e servizi della rete mobile*, Notiziario Tecnico Telecom, n.2.
- GSM 05.05 (ETS 300 577) 1997: *Digital cellular telecommunication system (Phase 2); Radio transmission and reception*.
- GSM 05.08 (ETS 300 578) 1995: *Digital cellular telecommunication system (Phase 2); Radio subsystem link control*.
- Guzzon E, 2012. *Appunti per il corso di Elaborazione numerica dei segnali per telecomunicazioni- Introduzione alle tecniche di accesso al mezzo e alle procedure di acquisizione iniziale di codice*, Comlab.
- Guzzon E, 2012. *Appunti per il corso di telecomunicazioni wireless - Long Term Evolution*, Comlab.
- Holma H, Toskala A, 2002. *UMTS - Accesso Radio ed Architettura di Rete* (trad. a cura di F. Muratore, S. Barberis). Telecom Italia Lab.
- Huang JH, et al., 2002. Design and performance analysis for data transmission in GSM/GPRS system with voice activity detection, IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 51 (4).
- Nohrborg M, 2006 *Lte Overview- for 3GPP* (website).
<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
- Norma CEI 211-7/E (2009): *Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana Appendice E: Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio base per sistemi di comunicazione mobile (2G, 3G, 4G)*.
- Semenzato P. et al., *Easy LTE*, Telecom Italia.
<http://www.telecomitalia.com/content/dam/telecomitalia/it/archivio/documenti/Innovazione/Libri/Libro%20LTE.pdf>

Wannstrom J, 2013. *LTE-Advanced for 3GPP* (website).
<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

2. SVILUPPI NELLA NORMATIVA NAZIONALE SUI CAMPI ELETTRICITÀ E MAGNETICI A SEGUITO DELL'EVOLUZIONE TECNOLOGICA NEL SETTORE DELLE TELECOMUNICAZIONI

A cura di Salvatore Curcuruto¹, Maria Logorelli¹

¹ Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale

ABSTRACT

Alla luce dell'evoluzione tecnologica che ha contraddistinto negli ultimi anni il settore delle telecomunicazioni è emersa la volontà di modificare un quadro normativo ritenuto sotto certi aspetti ormai obsoleto ed "eccessivamente" vincolante dal punto di vista radioprotezionistico. Sono state introdotte delle semplificazioni a più livelli delle procedure autorizzatorie di alcune particolari tecnologie di telecomunicazione basate su soglie di potenza e/o limiti dimensionali degli apparati. Altro importante passo in campo normativo è rappresentato dalla modifica delle modalità di misurazione e calcolo dei valori limite normativi fissati dal DPCM 8/07/2003 (100 kHz e 300 GHz), introdotta a seguito della necessità evidenziata più volte dai gestori di telefonia mobile di ottenere una maggiore flessibilità nel dispiegamento della rete, in primo luogo in termini di reperimento e localizzazione ottimale dei siti ma anche agevolando la possibilità di operare in site-sharing con diversi sistemi radio.

Ciò che si cambia comporta spesso delle scosse di assestamento che causano criticità non sempre risolvibili ma quanto meno a volte arginabili attraverso azioni sinergiche da parte dei soggetti coinvolti. Un processo di evoluzione tecnologica e normativa caratterizzato da azioni mirate sia a valutare attentamente le conseguenze che determinati cambiamenti normativi avrebbero potuto comportare e sia ad attuare iniziative volte a smussare le criticità scaturite dall'attuazione di alcuni dettati normativi entrati in vigore. Tutto questo sempre nell'ottica di tutela della salute dei cittadini.

PAROLE CHIAVE

telecomunicazione, autorizzazione, controllo, impianto, semplificazione

Il recente sviluppo tecnologico che negli ultimi cinque anni ha riguardato il settore delle telecomunicazioni ha comportato la necessità di modificare un quadro normativo nazionale sotto certi aspetti obsoleto e, secondo l'opinione degli operatori della telefonia mobile, eccessivamente vincolante.

Gli sviluppi tecnologici avvenuti principalmente nel settore della telefonia mobile hanno comportato infatti la necessità di riconfigurare gran parte dei circa 45 mila impianti esistenti sul territorio italiano; nella maggior parte dei casi si tratta di modifiche ad impatto elettromagnetico limitato, tipicamente legato allo spostamento di potenza tra diverse bande di frequenza (con conseguente rimodulazione delle emissioni elettromagnetiche a causa dei diversi diagrammi di antenna al variare della frequenza di trasmissione), o all'aggiunta di nuovi trasmettitori su nuove bande di frequenza in siti già esistenti.

Per far fronte a questa mole di attività, è stato innanzitutto necessario apportare delle modifiche ai dettati normativi relativi ai procedimenti autorizzatori che, partendo dal Decreto Legislativo n. 259 del 1 agosto 2003 "Codice delle comunicazioni elettroniche", consentissero di gestire con efficacia l'adattamento della rete di telecomunicazione alle nuove esigenze in campo tecnologico. Parallelamente gli stessi operatori di telefonia mobile già qualche anno fa evidenziarono che la necessità di progettare la rete mobile nel rispetto dei limiti sulle emissioni elettromagnetiche più restrittivi rispetto alla normativa europea e delle normative vigenti generalmente applicate nei vari paesi, stava determinando una minore flessibilità nel dispiegamento della rete, in primo luogo in termini di reperimento e localizzazione ottimale dei siti ma anche vanificando spesso la possibilità di operare in site-sharing con diversi sistemi radio (GSM, UMTS, LTE) e con diversi operatori a causa della saturazione dello "spazio elettromagnetico" disponibile. Quest'ultima criticità ha portato ad una modifica delle modalità di misurazione e calcolo dei valori limite normativi fissati dal DPCM 8/07/2003 (100 kHz e 300 GHz) che inevitabilmente ha avuto importanti ripercussioni sia sull'attività di controllo degli organismi competenti di cui all'art. 14 della Legge Quadro n. 36/2001 e sia in ambito sociale. Nel seguito vengono riportati in modo dettagliato i vari sviluppi normativi sia in campo autorizzatorio sia in campo radioprotezionistico, le criticità che ne sono scaturite e alcune azioni intraprese dai soggetti coinvolti al fine di smussare le spigolosità del nuovo quadro normativo.

1.2 SVILUPPI NORMATIVI POST DECRETO LEGISLATIVO N. 259 DEL 1 AGOSTO 2003 "CODICE DELLE COMUNICAZIONI ELETTRONICHE" AL FINE DI SEMPLIFICARE LE PROCEDURE AUTORIZZATORIE DI PARTICOLARI TECNOLOGIE EMERGENTI DI TELECOMUNICAZIONE

L'articolo 87 del Decreto Legislativo n. 259 del 1 agosto 2003 "Codice delle comunicazioni elettroniche" (nel seguito CCE) che disciplina i procedimenti autorizzatori relativi alle infrastrutture di comunicazione elettronica per impianti radioelettrici ha rappresentato per anni il principale riferimento normativo in campo autorizzatorio.

Secondo il comma 1 di tale articolo, l'installazione di infrastrutture per impianti radioelettrici (impianti radiotrasmittenti, ripetitori di servizi di comunicazione elettronica, stazioni radio base per telefonia mobile con tecnologia GSM/UMTS, impianti dedicati alla televisione digitale terrestre, reti a radiofrequenza dedicate alle emergenze sanitarie ed alla protezione civile, reti radio a larga banda punto-multipunto) e la modifica delle caratteristiche di emissione di questi ultimi, viene autorizzata dagli Enti locali, previo accertamento da parte dell'Organismo competente ad effettuare i controlli, di cui all'articolo 14 della Legge quadro n.36/2001, della compatibilità del progetto con i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità stabiliti uniformemente a livello nazionale stabiliti uniformemente a livello nazionale in relazione al disposto dalla citata Legge quadro 36/2001, e relativi provvedimenti di attuazione.

Secondo il comma 3 dello stesso articolo, l'istanza di autorizzazione, relativa all'installazione degli impianti di cui al comma 1, deve essere conforme ad un modello specificato (modello A dell'allegato n. 13 del CCE) e deve essere corredata della documentazione atta a comprovare il rispetto dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, relativi alle emissioni elettromagnetiche, di cui alla Legge quadro n.36/2001 e relativi provvedimenti di attuazione.

Viene inoltre specificato che nel caso di installazione di impianti, con tecnologia UMTS o altre, con potenza in singola antenna uguale o inferiore a 20 W, fermo restando il rispetto dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità di sopra indicati, è sufficiente la denuncia di inizio attività, conforme ai modelli predisposti dagli Enti locali, e ove non predisposti, al modello B di cui all'allegato n. 13 del CCE.

Pertanto già nel CCE era stata introdotta una prima semplificazione dell'iter autorizzatorio per alcuni tipi di tecnologie di telecomunicazione. Il modello B di cui all'allegato n. 13 del CCE infatti richiede informazioni relative all'impianto in questione e alle aree circostanti senza entrare nello specifico di descrizione del terreno circostante l'impianto, di stima del campo generato e delle relative modalità di simulazione numerica adottate. Viene quindi anticipato il concetto di procedura autorizzatoria semplificata basata su una soglia di potenza che negli anni prenderà sempre più piede prima a livello regionale e poi nazionale.

Il comma 5 dell' articolo 87 dispone che il responsabile del procedimento può richiedere, per una sola volta, entro quindici giorni dalla data di ricezione dell'istanza,

il rilascio di dichiarazioni e l'integrazione della documentazione prodotta. Il termine di cui al comma 9 inizia nuovamente a decorrere dal momento dell'avvenuta integrazione documentale.

Il comma 9 dell'articolo 87 dispone, infine, che le istanze di autorizzazione e le denunce di attività di cui al presente articolo, nonché quelle relative alla modifica delle caratteristiche di emissione degli impianti già esistenti, si intendono accolte qualora, entro novanta giorni dalla presentazione del progetto e della relativa domanda, fatta eccezione per il dissenso di cui al comma 8, non sia stato comunicato un provvedimento di diniego. Gli Enti locali possono prevedere termini più brevi per la conclusione dei relativi procedimenti, ovvero ulteriori forme di semplificazione amministrativa, nel rispetto delle disposizioni stabilite dal presente comma.

Proprio in riferimento a queste ultime disposizioni del comma 9, alcune Regioni in passato hanno ritenuto opportuno adottare delle ulteriori semplificazioni degli iter autorizzatori relative a particolari tipologie di impianti e/o a specifiche soglie di potenza. Secondo quanto riportato nel "Rapporto sulle criticità ambientali legate ai campi elettromagnetici" di ISPRA [...] nel 2008 infatti erano già tredici le Regioni/Province autonome che avevano sviluppato degli strumenti normativi per esplicitare il concetto di semplificazione amministrativa prevista dal CCE in ordine alle richieste di autorizzazione/denunce di inizio attività per le nuove installazioni e per le modifiche degli impianti esistenti. Negli anni a seguire quindi sulla scia di quanto disposto dall'articolo 87 relativamente agli impianti con tecnologia UMTS o altre, con potenza in singola antenna uguale o inferiore a 20 W, emerse l'esigenza, in alcune realtà locali, di ricalibrare il proprio quadro normativo relativo agli iter autorizzatori in funzione del nuovo scenario tecnologico che cominciava a prendere piede sul territorio nazionale.

Successivamente, con l'emanazione della Legge n.73/2010, viene introdotto l'articolo 87-bis che va ad integrare quanto disposto dall'articolo 87 del CCE, introducendo a livello nazionale una semplificazione delle procedure autorizzative per determinate tipologie di impianti.

Tale articolo dispone infatti che, al fine di accelerare la realizzazione degli investimenti per il completamento della rete di banda larga mobile, nel caso di installazione di apparati con tecnologia UMTS, sue evoluzioni o altre tecnologie su infrastrutture per impianti radioelettrici preesistenti o di modifica delle caratteristiche trasmissive di impianti radioelettrici già installati, fermo restando il rispetto dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità di cui all'articolo 87 nonché di quanto disposto al comma 3 bis del medesimo articolo, è sufficiente la denuncia di inizio attività, conforme ai modelli predisposti dagli enti locali e, ove non predisposti, al modello B di cui all'allegato n. 13 del CCE. Qualora entro trenta giorni dalla presentazione del progetto e della relativa domanda sia stato comunicato un provvedimento di diniego da parte dell'Ente locale o un parere negativo da parte dell'Organismo competente di cui all'articolo 14 della Legge quadro n.36/2001, la denuncia è priva di effetti.

È importante sottolineare come le procedure semplificate introdotte con l'art. 87-bis non siano vincolate ad uno specifico valore di potenza al connettore d'antenna

dell'impianto in fase di autorizzazione. Inoltre nell'ambito dello stesso articolo l'Organismo competente di cui all'articolo 14 della Legge quadro n.36/2001 comincia ad assumere un ruolo determinante visto che il parere tecnico negativo emesso da quest'ultimo ha il potere di annullare la stessa denuncia di inizio attività entro il limite temporale stabilito.

Nel novembre del 2011, a valle di un quesito posto dalla Regione Piemonte al Ministero dello Sviluppo Economico (nel seguito MISE) riguardante la corretta interpretazione dell'articolo 87-bis introdotto dalla Legge n.73/2010, tale Ministero dichiarò che, "ferma restando la competenza di ciascun Ente locale di regolamentare i provvedimenti relativi al rilascio delle autorizzazioni per l'installazione degli impianti necessari alla rete a banda larga mobile, si ritiene che, nell'ambito operativo dell'articolo 87-bis (in realtà nel testo originale è presente un refuso e si fa riferimento all'articolo 87), possano rientrare non solo le tecnologie c.d. a banda larga mobile ma anche quelle diverse e antecedenti, se utilizzate per implementare la rete di banda larga mobile".

Altro aggiornamento normativo in tale ambito risulta essere l'articolo 35 della Legge n.111/2011 relativo, tra le altre cose, alle semplificazioni in materia di impianti di telecomunicazioni (commi 4 e 5). Il comma 4 dispone che, al fine di ridurre gli adempimenti amministrativi e semplificare la realizzazione di impianti radioelettrici di debole potenza e di ridotte dimensioni, le modifiche degli impianti di cui all'articolo 87 del CCE e le procedure semplificate per determinate tipologie di impianti di cui all'articolo 87-bis della Legge n.73/2010, nonché le procedure per le installazioni di impianti radio per trasmissione punto-punto e punto-multipunto e di impianti radioelettrici per l'accesso a reti di comunicazione ad uso pubblico con potenza massima in singola antenna inferiore o uguale a 7 W e con dimensione della superficie radiante non superiore a 0,5 metri quadrati, sono soggette a comunicazione all'Ente locale e all'Organismo competente ad effettuare i controlli di cui all'articolo 14 della Legge quadro n.36/2001, da effettuarsi contestualmente all'attivazione dell'impianto. Il comma 5 invece stabilisce che all'articolo 87, comma 9 del CCE dopo le parole "un provvedimento di diniego" vengano inserite le seguenti:"o un parere negativo da parte dell'organismo competente ad effettuare controlli, di cui all'articolo 14 della Legge quadro n.36/2001".

Pertanto l'articolo 35 non fa altro che rafforzare il concetto di semplificazione autorizzatoria per determinate tipologie di impianti disponendo che la comunicazione all'Ente locale e all'Organismo competente ad effettuare i controlli di cui all'articolo 14 della LQ 36/2001 e l'attivazione dell'impianto possano avvenire contestualmente (quindi non occorre più attendere i limiti temporali fissati dagli articoli 87 e 87 bis dalla presentazione del progetto all'attivazione dell'impianto) ed estendendo il rafforzamento del ruolo dell'organismo competente ad effettuare controlli, di cui all'articolo 14 della legge 22 febbraio 2001, n.36 introdotto dall'articolo 87 bis all'intero articolo 87. Pertanto il parere tecnico emesso dall'organo di controllo in questione se negativo annulla le istanze di autorizzazione e le denunce di attività di cui all'articolo 87 del CCE, nonché quelle relative alla modifica delle caratteristiche di emissione degli impianti già esistenti.

Il comma 4 dell'articolo 35 della Legge n.111/2011 è stato poi modificato dall'articolo 14 comma 10-ter della Legge n.221/2012 nel seguente modo :”Al fine di agevolare la diffusione della banda ultralarga in qualsiasi tecnologia e di ridurre i relativi adempimenti amministrativi, sono soggette ad autocertificazione di attivazione, da inviare contestualmente all'attuazione dell'intervento all'ente locale e agli organismi competenti ad effettuare i controlli di cui all'articolo 14 della Legge quadro n.36/2001, le installazioni e le modifiche, ivi comprese le modifiche delle caratteristiche trasmissive degli impianti di cui all'articolo 87-bis del CCE, degli impianti radioelettrici per trasmissione punto-punto e punto-multipunto e degli impianti radioelettrici per l'accesso a reti di comunicazione ad uso pubblico con potenza massima in singola antenna inferiore o uguale a 10 watt e con dimensione della superficie radiante non superiore a 0,5 metri quadrati”. Viene quindi modificato il valore di potenza massima in singola antenna da 7 Watt (articolo 35 comma 4) a 10 watt (articolo 14 comma 10 ter).

Il comma 2 dell'articolo 14 della Legge n.221/2012 dispone invece che “il responsabile del procedimento può richiedere, per una sola volta, entro quindici giorni dalla data di ricezione dell'istanza, il rilascio di dichiarazioni e l'integrazione della documentazione prodotta. Il termine di cui al comma 9 riprende (prima era “inizia nuovamente”) a decorrere dal momento dell'avvenuta integrazione documentale.

L'articolo 1 comma 86 della Legge n.147/2013 dispone che dopo il comma 4 dell'articolo 35 Legge n.111/2011, venga inserito il comma 4 bis che dispone che “ai medesimi fini indicati al comma 4, l'installazione e l'attivazione di apparati di rete caratterizzati da una potenza massima trasmessa in uplink inferiore o uguale a 100 mW, e da una potenza massima al connettore di antenna, in downlink, inferiore o uguale a 5 W, e aventi un ingombro fisico non superiore a 20 litri, possono essere effettuate senza alcuna comunicazione all'ente locale e agli organismi competenti ad effettuare i controlli di cui all'articolo 14 della Legge quadro n.36/2001”.

Questa ulteriore modifica normativa ha sollevato numerose perplessità che hanno spinto ad aprile 2014 l'ISPRA e il sistema agenziale ARPA/APPA a presentare al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare (in seguito MATTM) una nota tecnica contenente alcune criticità legate all'applicazione del comma 4 bis in questione (vedi paragrafo 1.1).

L'ultimo aggiornamento in campo normativo è rappresentato dall'articolo 6 comma 3 della Legge n.164/2014 che dispone che dopo l'articolo 87 bis del CCE, venga inserito il seguente: “Art. 87 ter (Variazioni non sostanziali degli impianti). — 1. Al fine di accelerare la realizzazione degli investimenti per il completamento delle reti di comunicazione elettronica, nel caso di modifiche delle caratteristiche degli impianti già provvisti di titolo abilitativo, che comportino aumenti delle altezze non superiori a 1 metro e aumenti della superficie di sagoma non superiori a 1,5 metri quadrati, è sufficiente un'autocertificazione descrittiva della variazione dimensionale e del rispetto dei limiti, dei valori e degli obiettivi di cui all'articolo 87, da inviare contestualmente all'attuazione dell'intervento ai medesimi organismi che hanno rilasciato i titoli”.

Nel paragrafo seguente vengono evidenziate le ripercussioni e le criticità scaturite dalle modifiche normative appena descritte.

2.1.1 ANALISI DELLE RIPERCUSSIONI E DELLE CRITICITÀ RILEVATE DAI NUOVI DETTATI NORMATIVI IN CAMPO AUTORIZZATORIO

Gli sviluppi normativi post CCE al fine di semplificare le procedure autorizzatorie di particolari tecnologie emergenti di telecomunicazione hanno avuto ripercussioni di una certa entità in particolare sul ruolo e l'attività svolta dall'organismo competente ad effettuare i controlli di cui all'articolo 14 della Legge quadro n.36/2001.

Secondo quanto disposto da quest'ultimo infatti le amministrazioni provinciali e comunali, al fine di esercitare le funzioni di controllo e di vigilanza sanitaria e ambientale per l'attuazione della presente legge, utilizzano le strutture delle Agenzie regionali per la protezione dell'ambiente. Ciò conferisce al sistema agenziale un ruolo centrale e strategico in grado di fornire elementi utili e indispensabili per mettere in luce e analizzare le criticità e le ripercussioni che tali modifiche normative hanno comportato sul territorio.

Il ruolo delle Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente (nel seguito ARPA/APPA) nel processo di autorizzazione di nuovi impianti di cui all'art.87 del CCE, nonché di modifica delle caratteristiche di emissione degli impianti già esistenti, diventa più centrale considerato il diverso "peso" assegnato al parere tecnico espresso in sostanza dall'ARPA/APPA competente nel processo di autorizzazione dell'impianto.

Alcune perplessità sono state sollevate dal Sistema agenziale riguardo i tempi entro cui sono accolte le istanze di autorizzazione e le denunce di inizio attività di cui all'art.87 del CCE; il responsabile del procedimento può richiedere, per una sola volta, entro quindici giorni dalla data di ricezione dell'istanza, il rilascio di dichiarazioni e l'integrazione della documentazione prodotta. Il termine di cui al comma 9 dell'articolo 87 così come modificato dall'articolo 14 comma 2 della Legge 221/2012 riprende e non inizia più nuovamente a decorrere dal momento dell'avvenuta integrazione documentale. Quindi si potrebbe verificare il caso che non vi sia il tempo necessario e sufficiente per analizzare i documenti tecnici aggiuntivi richiesti dalle ARPA/APPA.

I due scogli maggiori nell'ambito delle criticità normative in campo autorizzatorio sono rappresentati dall'articolo 1 comma 86 della Legge n.147/2013 e dall'art.6 comma 3 della Legge n.164/2014 descritti nel precedente paragrafo.

Le problematiche susseguite all'applicazione del comma 4-bis introdotto dall'articolo 1 comma 86 ha spinto l'ISPRA e il Sistema agenziale ARPA/APPA a formulare una nota tecnica inviata al MATTM nel dicembre del 2014 e di cui si riportano di seguito alcune informazioni (tale nota tecnica è consultabile al seguente link <http://www.agentifisici.isprambiente.it/documenti-cem/note-tecniche.html?download=830;pra-su-art-86-della-legge-27-dicembre-2013-n-147-legge-di-stabilita-2014>).

In sostanza, il comma 4 bis azzerava gli oneri amministrativi a carico degli operatori nel caso di installazione di una particolare tipologia di apparati, che d'ora in poi sfuggiranno al controllo degli organismi competenti di cui all'articolo 14 della Legge quadro n. 36/2001. Tra le caratteristiche dei dispositivi che potranno essere

liberamente installati, sia in ambiente indoor che outdoor, quella che risalta maggiormente è la potenza massima al connettore d'antenna in downlink, pari a 5 W, un valore assolutamente non trascurabile. Dall'esperienza di ISPRA emerge che, escludere da qualsiasi tipo di tracciabilità apparati caratterizzati da una potenza in antenna di 5 W, potrebbe portare a situazioni in cui, in prossimità delle installazioni, i livelli di esposizione del pubblico possono risultare significativi, specialmente nei casi in cui il guadagno d'antenna di tali dispositivi sia dell'ordine dei 5÷10 dB o superiore, considerando appunto le possibilità di installazione anche indoor di questi apparati. Quanto sopra detto può essere meglio chiarito con un esempio. Considerando valida l'approssimazione di propagazione in spazio libero, il valore di campo elettrico generato da un apparato ad una certa distanza da esso può essere valutato teoricamente attraverso la presente relazione:

$$E [V/m] = \frac{\sqrt{P \cdot G(\theta, \phi) \cdot 30}}{d}$$

dove

$E[V/m]$ è il valore efficace del campo elettrico in V/m,

P è la potenza al connettore d'antenna del dispositivo in W,

$G(\theta, \phi)$ è il guadagno d'antenna del dispositivo nella direzione di interesse in unità lineari,

d è la distanza in metri tra sorgente e ricevente.

Ammettendo che il guadagno dell'antenna in questione sia pari a 10 dBi e che la potenza al connettore d'antenna valga 5 W, mediante la relazione sopra riportata si ottiene, ad esempio, che il volume di rispetto a 6 V/m (valore di attenzione di cui al DPCM 8 luglio 2003, G.U. n. 199 del 28 agosto 2003) ha un'estensione massima di circa 6,5 m, un valore per nulla trascurabile soprattutto nel caso di installazioni indoor. Utilizzando gli stessi dati di input, si ottiene che il valore di campo elettrico alla distanza di 3 m dall'apparato, lungo la direzione di massima emissione, vale circa 13 V/m.

Alla luce di ciò, l'esperienza suggerisce che la soluzione semplificativa adottata non sia in linea con la normativa radioprotezionistica vigente nel nostro paese in quanto apparati con una potenza significativa al connettore d'antenna (nel caso in esame 5 W) non dovrebbero essere oggetto di libera installazione, senza alcuna forma di controllo da parte degli organismi deputati.

Nella stessa nota venne messo in risalto che in passato successivamente all'emanazione dell'articolo 35 comma 4 della Legge n.111/2011 ci furono numerosi momenti di incontro e fattiva collaborazione con i gestori degli impianti in bassa e in alta frequenza e vennero siglati dei protocolli di intesa al fine di definire procedure e buone prassi che fossero esemplificative tanto per i gestori quanto per i tecnici delle ARPA/APPA (vedi paragrafo 1.2).

Tenendo conto di tutto quanto sopra detto, e della positiva esperienza maturata proprio con la firma e l'attuazione dei protocolli d'intesa sopra citati, si ritenne utile sottolineare l'importanza di intraprendere azioni, anche per gli apparati ricadenti nel comma 4-bis dell'art.35 della Legge n.111/2011, finalizzate a procedere in modo analogo a quanto fatto per gli apparati di cui al comma 4 dell'art. 35 della stessa legge, utilizzando quindi il protocollo di intesa sottoscritto da ISPRA e dagli operatori della telefonia mobile e Wi-MAX per quanto riguarda le installazioni singole, oppure definendo protocolli di intesa ad hoc sulla falsariga di quello sottoscritto con Telecom Italia (mini-ripetitori) per le installazioni multiple a carattere nazionale.

Quanto detto, oltre a raggiungere obiettivi di semplificazione di interesse di tutte le parti, consente di mantenere la tracciabilità degli apparati e di permettere contestualmente agli organismi di controllo di svolgere al meglio il proprio compito, nell'ottica della massima trasparenza e della tutela della salute dei cittadini.

Per quanto riguarda invece l'art.6 comma 3 della Legge n.164/2014 vi sono stati recenti incontri tra ISPRA, gestori e ARPA/APPA che hanno evidenziato delle importanti criticità legate all'interpretazione del concetto di "variazione non sostanziale dell'impianto" introdotta dallo stesso articolo.

L'art.87 ter introdotto dalla Legge n.164/2014 è stato unanimemente interpretato dalle ARPA/APPA come applicabile alle sole modifiche geometriche dell'impianto; invece, i gestori hanno tentato di utilizzarlo anche per modifiche radioelettriche e anche per nuove installazioni. Allo stato attuale non vi è comunque nessun atto ufficiale che fornisca chiarimenti su quanto sopra menzionato.

2.1.2 PROTOCOLLI DI INTESA CON GESTORI DI TELEFONIA MOBILE

Si riportano di seguito alcuni dettagli dei protocolli d'intesa siglati tra ISPRA e alcuni operatori di telefonia mobile e consultabili al seguente link <http://www.agentifisici.isprambiente.it/?Itemid=116>

Protocollo di intesa per l'attivazione di impianti di debole potenza e ridotte dimensioni ai sensi dell'art. 35 comma 4 della Legge 15 luglio 2011 n. 111, e per il tracciamento delle modifiche degli impianti senza alcuna variazione dell'impatto elettromagnetico ai sensi della Legge 36/2001

Il protocollo in questione, frutto della fattiva collaborazione tra il Sistema Agenziale e gli operatori, ha definito, in sostanza, i contenuti dell'autocertificazione di attivazione che gli operatori sono tenuti ad inviare all'ente locale e agli organismi competenti ad effettuare i controlli, contestualmente all'installazione di impianti di debole potenza e ridotte dimensioni, sia in ambiente indoor che outdoor. Tale comunicazione, oltre all'indicazione precisa del punto di installazione, contiene la scheda radioelettrica dell'apparato e tutte le informazioni necessarie ad una corretta valutazione del relativo impatto elettromagnetico.

Il documento definisce l'iter autorizzatorio per due differenti procedure:

- 1) attivazione di impianti di debole potenza e ridotte dimensioni;
- 2) tracciamento delle modifiche degli impianti senza alcuna variazione dell'impatto elettromagnetico.

Procedura numero 1:

Attivazione di impianti di debole potenza e ridotte dimensioni.

Vengono elencati i dati tecnici, relativi agli impianti, che devono essere specificati nelle comunicazioni di cui all'articolo 35, comma 4 della Legge n.111/2011.

Tali dati sono necessari ad una corretta valutazione dell'impatto elettromagnetico da parte del Sistema Agenziale.

Non è comunque preclusa la possibilità di prevedere una documentazione più semplificata, previ eventuali specifici accordi da stipulare tra i gestori di telefonia mobile o di impianti WiMAX e l'ARPA/APPA competente a livello locale.

Vengono distinti i casi di impianti indoor (quali ad esempio quelli installati in aeroporti, stazioni ferroviarie, capannoni per fiere ed esposizioni, etc.) e impianti outdoor.

Caso 1- impianti indoor (quali ad esempio quelli installati in aeroporti, stazioni ferroviarie, capannoni per fiere ed esposizioni, etc...)

- Scheda radio-elettrica dell'impianto, contenente potenza (per ogni banda di frequenza), frequenza, marca e modello di antenna installata, altezza del centro elettrico rispetto al piano calpestabile più vicino, guadagno in dBi, direzione di massimo irraggiamento ed eventuali tilt.
- Diagrammi angolari di irradiazione orizzontale e verticale del sistema radiante
- Indirizzo completo dei seguenti dati: comune, via, numero civico e piano di installazione o foglio mappale con coordinate UTM WGS 84 della dislocazione dell'impianto.
- Descrizione sintetica del posizionamento degli impianti e della loro collocazione.
- Tale documentazione⁴ sarà eventualmente integrata con specifiche piante ed elaborati sul posizionamento del sistema radiante nel caso in cui si riscontrino condizioni installative di potenziali criticità.

Caso 2- impianti outdoor:

- Scheda radio-elettrica dell'impianto, contenente potenza (per ogni banda di frequenza), frequenza, marca e modello di antenna installata, altezza del centro elettrico rispetto al piano calpestabile più vicino, guadagno in dBi, direzione di massimo irraggiamento ed eventuali tilt;
- Indirizzo completo dei seguenti dati: comune, via, numero civico e piano di installazione o foglio mappale con coordinate UTM WGS 84 della dislocazione dell'impianto.

- Planimetria generale in scala 1:2000, di raggio pari almeno a 100 metri centrata sull'impianto, con l'indicazione dell'altezza degli edifici esistenti ed in costruzione (specificando se dichiarata come numero di piani fuori terra, altezza alla gronda o altezza dal suolo), del nord geografico e delle curve isolivello altimetriche a passo 10 metri

Procedura numero 2:

Comunicazione ai sensi della Legge 36/2001 per il tracciamento delle modifiche degli impianti senza alcuna variazione dell'impatto elettromagnetico.

Vengono concordati una serie di dati radioelettrici aggiuntivi che gli operatori si impegnano a comunicare alle ARPA-APPA includendoli nella scheda tecnica dell'impianto prevista dal CCE:

- tipologia di sistema trasmesso (GSM, UMTS, LTE o WiMAX);
- numero massimo di trasmettitori per ogni sistema.

Sebbene la comunicazione di tali dati non sia prevista dal CCE al fine del rilascio del parere, la loro conoscenza è necessaria per l'espletamento delle attività di monitoraggio e controllo da parte delle ARPA/APPA nonché per il popolamento dei catasti elettromagnetici regionali.

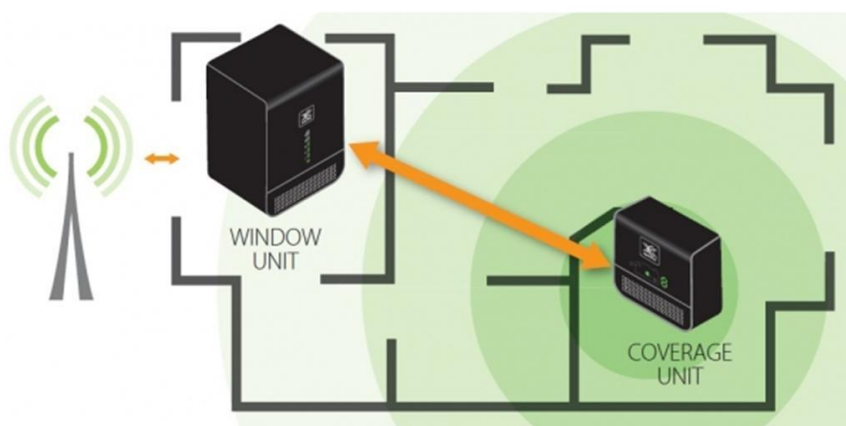
Nel caso di successive modifiche dei soli dati radioelettrici aggiuntivi, lasciando quindi inalterate tutte le altre caratteristiche radioelettriche ed emmissive dei sistemi, gli operatori si impegnano a darne comunicazione ufficiale alle ARPA/APPA entro 15 giorni dall'avvenuta modifica, al fine di consentire le attività di controllo.

Protocollo di intesa relativo all'installazione di Ripetitori di piccole dimensioni e a bassa potenza, ai sensi dell'art. 35, comma 4 del D.L. 6 luglio 2011, n. 98, come convertito dalla Legge 15 luglio 2011, n. 111

Questo secondo protocollo di intesa ha l'obiettivo di condividere una comunicazione unica di attivazione, inviata dal gestore sottoscrivente il documento in oggetto ad ISPRA, per l'installazione di ripetitori di piccole dimensioni e a bassa potenza che ricadono nell'ambito di applicazione del comma 4 dell'articolo 35 sopra citato. In pratica il gestore in questione, che per esigenze commerciali ha l'intenzione di installare una serie di mini-ripetitori UMTS sull'intero territorio nazionale, poiché i dispositivi in questione sono sempre gli stessi e possono essere descritti una tantum in via preventiva, ha inviato ad ISPRA un'unica comunicazione di attivazione a carattere nazionale, comprensiva della documentazione tecnica atta a descrivere le caratteristiche radioelettriche dei mini-ripetitori e le modalità di installazione dei medesimi. Inoltre, il gestore in questione si è impegnato a popolare un database, messo a disposizione da ISPRA, con i dati aggiornati sulle installazioni effettuate secondo le specifiche e con le modalità concordate e descritte nella comunicazione di

attivazione unica allegata al protocollo, al fine di consentire la costituzione di una banca dati accessibile alle ARPA/APPA per il reperimento delle informazioni necessarie allo svolgimento delle proprie funzioni di controllo.

Figura 1 Schematizzazione di utilizzo di un mini ripetitore



Fonte: http://nextivityinc.com/files/RS2SB_Datasheet.pdf

Il documento definisce l'iter autorizzatorio per l'installazione di piccoli apparati necessari al miglioramento della copertura indoor del segnale di telefonia mobile. ISPRA ha effettuato test di laboratorio sui ripetitori oggetto della Comunicazione di Attivazione Unica ai fini della caratterizzazione spaziale della loro emissione elettromagnetica (tali ripetitori sono stati messi a disposizione dal gestore in questione). Il gestore in questione, anche in funzione degli sviluppi tecnologici e delle esigenze di mercato, potrà inserire in gamma ulteriori tipologie di mini ripetitori, dandone contestuale comunicazione ad ISPRA e consentendo all'Istituto di effettuare la relativa caratterizzazione elettromagnetica degli apparati.

2.2 MODIFICHE APPLICATE AL DPCM 8/07/2003 (100 KHZ – 300 GHZ)

L'articolo 14 comma 8 della Legge n.221/2012 ferme restando, per quanto non espressamente disciplinato dal presente articolo, le vigenti disposizioni contenute nel DPCM 8/07/2003 (100 kHz e 300 GHz), prevede che:

a) i valori di attenzione indicati nella tabella 2 all'allegato B del citato DPCM 8/07/2003 si assumono a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti anche a lungo termine eventualmente connessi con le esposizioni ai campi generati alle suddette frequenze nei seguenti casi:

- 1) all'interno di edifici utilizzati come ambienti abitativi con permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere;
- 2) solo nel caso di utilizzazione degli edifici come ambienti abitativi per permanenze non inferiori a quattro ore continuative giornaliere, nelle pertinenze esterne, come definite nelle Linee Guida di cui alla successiva lettera d) , quali balconi, terrazzi e cortili (esclusi i tetti anche in presenza di lucernai ed i lastrici solari con funzione prevalente di copertura, indipendentemente dalla presenza o meno di balaustre o protezioni anti-caduta e di pavimentazione rifinita, di proprietà comune dei condomini);

b) nel caso di esposizione a impianti che generano campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici con frequenza compresa tra 100 kHz e 300 GHz, non devono essere superati i limiti di esposizione di cui alla tabella 1 dell'allegato B del citato DPCM 8/07/2003, intesi come valori efficaci. Tali valori devono essere rilevati ad un'altezza di m. 1,50 sul piano di calpestio e mediati su qualsiasi intervallo di sei minuti. I valori di cui al comma 8, lettera a) del presente articolo, invece, devono essere rilevati ad un'altezza di m. 1,50 sul piano di calpestio e sono da intendersi come media dei valori nell'arco delle 24 ore;

c) ai fini della progressiva minimizzazione della esposizione ai campi elettromagnetici, i valori di immissione dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz, calcolati o misurati all'aperto nelle aree intensamente frequentate, non devono superare i valori indicati nella tabella 3 dell'allegato B del citato DPCM 8/07/2003, detti valori devono essere determinati ad un'altezza di m 1,50 sul piano di calpestio e sono da intendersi come media dei valori nell'arco delle 24 ore.

d) Le tecniche di misurazione e di rilevamento dei livelli di esposizione da adottare sono quelle indicate nella norma CEI 211-7 o specifiche norme emanate successivamente dal CEI. Ai fini della verifica mediante determinazione del mancato superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità si potrà anche fare riferimento, per l'identificazione dei valori mediati nell'arco delle 24 ore, a metodologie di estrapolazione basate sui dati tecnici e storici dell'impianto. Le tecniche di calcolo previsionale da adottare sono quelle indicate nella norma CEI 211-10 o specifiche norme emanate successivamente dal CEI. Ai fini della verifica attraverso stima previsionale del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità, le istanze previste dal decreto legislativo n. 259 del

2003 saranno basate su valori mediati nell'arco delle 24 ore, valutati in base alla riduzione della potenza massima al connettore d'antenna con appositi fattori che tengano conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore. Questi fattori di riduzione della potenza saranno individuati in apposite Linee Guida predisposte dall'ISPRA e dalle ARPA/APPA secondo le modalità di seguito indicate. Laddove siano assenti pertinenze esterne degli edifici di cui alla lettera a), i calcoli previsionali dovranno tenere in conto dei valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici così come definiti nelle suddette Linee Guida. Gli operatori forniscono all'ISPRA e alle ARPA/ APPA i dati di potenza degli impianti secondo le modalità contenute nelle medesime Linee Guida. Tali dati dovranno rappresentare le reali condizioni di funzionamento degli impianti. Eventuali condizioni di funzionamento anomalo degli impianti dovranno essere tempestivamente segnalate agli organi di controllo e di vigilanza sanitaria e ambientale di cui all'articolo 14 della Legge quadro n.36/2001.

Con l'emanazione del DM 2 dicembre 2014 "Linee guida, relative alla definizione delle modalità con cui gli operatori forniscono all'ISPRA e alle ARPA/APPA i dati di potenza degli impianti e alla definizione dei fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tener conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore" vengono raggiunti solo in parte gli obiettivi delle Linee Guida succitate. Le questioni più "delicate" ("attenuazione degli edifici" e "pertinenze esterne") vengono implicitamente rimandate ad un successivo decreto.

Intanto l'art. 6 comma 5 della Legge n.164/2014 dispone che all'articolo 14, comma 8, lettera a), numero 2), del decreto-legge 18 ottobre 2012, n. 179, convertito, con modificazioni, dalla legge 17 dicembre 2012, n. 221, le parole: "degli edifici come ambienti abitativi" sono soppresse e dopo le parole: "pertinenze esterne" sono inserite le seguenti: "con dimensioni abitabili".

Nel paragrafo seguente vengono evidenziate le cause che hanno portato e mettere in discussione il DPCM 8/07/2003 (100 kHz-300 Ghz) e le valutazioni effettuate in ambito tecnico sulle proposte di modifica della normativa vigente appena descritte al fine di fornire elementi utili di supporto al legislatore per la tematica in questione.

2.2.1 ANALISI DELLE CAUSE E VALUTAZIONE TECNICHE RELATIVE ALLE PROPOSTE DI MODIFICA DEL DPCM 8/07/2003 (100 KHZ-300 GHZ)

Prima dell'entrata in vigore della Legge n.221/2012 i gestori di telefonia mobile interessati al nuovo sistema "4G-LTE" espressero le difficoltà di sviluppo della nuova tecnologia a causa delle criticità di installazione dovute alle attuali procedure dettate dalle norme nazionali e dai relativi recepimenti regionali e presentarono al MiSE alcune proposte di revisione della normativa sui campi elettromagnetici tese alla modifica dei criteri di determinazione dei campi elettromagnetici generati da sistemi radioelettrici e dei luoghi ove effettuare le rilevazioni stesse.

Secondo quanto dichiarato dal MATTM apparve evidente che gli elementi in discussione richiedessero un'attenta e completa valutazione, i cui esiti avrebbero potuto comportare anche l'eventuale stesura di un nuovo provvedimento normativo quale aggiornamento della norma in essere, che mantenesse le attuali condizioni di tutela dell'ambiente e della popolazione esposta.

Il MATTM richiese quindi ad ISPRA, in coordinamento con le ARPA/APPA, un supporto tecnico in merito a:

- valutazione della documentazione prodotta dal MiSE a tale riguardo;
- determinazione e quantificazione delle eventuali criticità;
- analisi di possibili soluzioni a quadro normativo vigente;
- eventuale formulazione di proposte alternative di norme, anche con il coinvolgimento degli stakeholder.

Venne successivamente istituito un "tavolo tecnico ristretto" composto da ISPRA, da rappresentanti delle ARPA/APPA, dalla Fondazione Ugo Bordoni (nel seguito FUB), dal MATTM e dal Ministero della Salute, al quale gli operatori di telefonia mobile, vennero invitati a fornire elementi tecnici utili in loro possesso. Il risultato di tale tavolo ristretto fu la stesura di un Rapporto tecnico contenente elementi utili di supporto al legislatore per la tematica in questione e di cui si riportano di seguito alcune interessanti informazioni (tale Rapporto tecnico è intitolato *"Documento istruttorio a supporto del legislatore per le modifiche del quadro normativo sui CEM-RF elaborato da ISPRA-ARPA e FUB"* ed è consultabile al seguente link <http://www.agentifisici.isprambiente.it/?Itemid=116>). I contenuti del Rapporto appena menzionato presentano una fotografia all'anno 2012 delle attività condotte in circa 15 anni (dal DM n.381/98) in materia di campi elettromagnetici, consentendo di disporre di un aggiornamento di conoscenze per quanto concerne il punto di vista normativo, lo stato dell'ambiente, le previsioni di sviluppo di nuove sorgenti e, quindi, di gestione delle nuove fonti di pressione per il contenimento degli impatti ad esse collegati. Infatti, in quindici anni, si è maturata una profonda e diffusa conoscenza dei fenomeni emissivi delle diverse tipologie di impianto (radio, TV, Stazioni radio base, ecc.) e, quindi, delle condizioni di esposizione del pubblico. Non ultimo, il continuo sviluppo delle tecnologie ha portato alla necessità di disporre di continui aggiornamenti delle norme tecniche di settore, per consentire un'attività di controllo esaustiva e di garanzia per l'individuo. In quegli anni il sistema normativo radioprotezionistico ha sicuramente comportato evidenti benefici quali, ad esempio, lo sviluppo della rete di comunicazione cellulare con impatto elettromagnetico limitato, un "clima elettromagnetico" diffuso negli ambienti urbani considerevolmente contenuto rispetto agli obiettivi massimi della norma, l'attenuazione dei conflitti sociali. Ovviamente, come rovescio della medaglia, ciò ha determinato la presenza sul territorio di un numero ben più elevato di impianti, con conseguente impatto visivo, architettonico e ambientale, in senso lato, maggiore. Tutto ciò, alla luce di esigenze di ulteriore e indispensabile implementazione di nuove tecnologie cellulari, ha portato alla necessità di analizzare in dettaglio tutte le questioni in gioco: limiti e potenzialità

degli sviluppi della rete di radiocomunicazione, capacità della normativa di gestire tale sviluppo, margini di accettabilità ambientale e costi per l'ambiente stesso, condizionamenti nelle attività di controllo. È da premettere che l'esperienza di questi anni ha dimostrato appunto che l'approccio già cautelativo della norma, rafforzato anche dalle modalità attuative della stessa, porta generalmente ad una sensibile distanza tra i valori limiti previsti dalla norma stessa e quei valori che vengono documentati con le misure e che, poi, rappresentano le reali condizioni espositive del pubblico. Probabilmente, questa "distanza" ha origine nella modalità stessa di valutazione del limite normativo, attualmente definito come media su sei minuti, quindi dal punto di vista radioprotezionistico i "peggiori" sei minuti. In effetti, al verificarsi di tale circostanza, contribuisce comunque anche il non utilizzo da parte dei gestori di tutta la potenza effettivamente oggetto di autorizzazione; fatto presumibilmente dovuto, al momento, ad un sovradimensionamento degli impianti in fase di richiesta di autorizzazione alla installazione, come risulta da esperienze comuni nel Sistema delle ARPA/APPAs. Queste considerazioni, opportunamente supportate dai dati illustrati dettagliatamente nel Rapporto in questione, ha portato alla possibilità di analizzare quali soluzioni alternative medie dei valori su 4 ore o 24 ore. Lo studio dei diversi fattori si è concluso, quindi, con l'individuazione di tre possibili scenari, funzionali a fornire al decisore politico le alternative fattibili per agevolare la crescita del Sistema Paese, garantendo comunque livelli di compatibilità ambientale in linea con i risultati ottenuti attraverso il pregevole lavoro fin qui svolto. Le alternative proposte si differenziano tra loro in base al periodo temporale sul quale si effettua la media dei valori di campo, rispettivamente 24 ore, 4 ore e 6 minuti. Gli scenari sopra detti sono stati costruiti all'interno di un Gruppo di lavoro tecnico (ISPRA-ARPA/APPAs-FUB), sulla base di informazioni e dati provenienti da tutti gli attori coinvolti nel processo, principalmente le stesse ARPA/APPAs e gli operatori della telefonia cellulare tramite la FUB. Come accade in tutti i gruppi di lavoro, il prodotto è il risultato di mediazioni su esigenze diverse e punti di vista differenti, elaborati e discussi comunque con spirito costruttivo e sempre con l'obiettivo di predisporre un prodotto basato su dati oggettivi e facilmente documentabili. Il confronto tra le possibili soluzioni si basa su criteri comuni che vengono analizzati nei diversi casi di studio:

- Impatto ambientale e sanitario,
- Criticità nel rapporto tra mondo istituzionale e cittadini,
- Applicabilità pratica delle scelte operative da attuare in fase di autorizzazione e controllo.

I criteri citati possono essere valutati attraverso precisi indicatori quali: analisi statistica dell'esposizione del pubblico, numero di installazioni necessarie per il dispiegamento delle reti, valutazione della cosiddetta carbon footprint, problematiche in ambito comunicazionale, aspetti operativi dei rilievi strumentali durante le misure (es. tempi di media), ecc..Dalle ipotesi individuate, analizzate e comparate, si può in sintesi riportare quanto segue:

- ognuna di esse presenta vantaggi e svantaggi, che nel documento si è provato a quantificare;
- le soluzioni proposte risultano tutte applicabili, sia nella fase autorizzativa che nelle fasi di controllo, con impatti però diversi per gli enti competenti;
- i vantaggi e gli svantaggi di cui sopra si riflettono anche nel rapporto comunicazionale con il pubblico, per motivi comunque differenti.

Sintetizzando le conclusioni raggiunte per i vari scenari analizzati, si evince che la soluzione "Media su 24 ore" (che ad oggi risulta disposizione normativa vigente) sicuramente garantisce una più funzionale gestione delle nuove installazioni, minori vincoli sulla scelta di nuovi siti, ottimizzazione della rete di comunicazioni mobili, minor numero di nuovi impianti/nuovi siti con ciò che ne consegue in termini di benefici per il minore impatto ambientale in senso lato, sostanziale mantenimento delle condizioni attuali di "clima elettromagnetico" diffuso, a fronte, però, della creazione di punti sul territorio, cosiddetti hot spot, dove l'esposizione, a causa della co-localizzazione degli impianti, può aumentare giusto in prossimità degli stessi, in particolare in realtà fortemente antropizzate. In ogni caso, l'elemento più delicato di questa soluzione è sicuramente l'aspetto comunicazionale, ovvero la necessità di spiegare ai cittadini perché si passa da una misura mediata su sei minuti ad una media, ovviamente più permissiva, sulle 24 ore, giustificando comunque ciò con tutti gli argomenti oggetto del presente rapporto.

Una situazione simile si può descrivere per la soluzione "Media su 4 ore" per la quale sono evidenziabili gli stessi benefici e gli stessi svantaggi della soluzione precedente in forma naturalmente più contenuta. A differenza della precedente soluzione, l'aspetto comunicazionale acquisirebbe una rilevanza minore in quanto già la norma attuale ha un riferimento di "attenzione" sulle 4 ore e ciò potrebbe agevolare la giustificazione della variazione della modalità di stima dei 6 V/m nel passaggio dai sei minuti attuali alle future 4 ore. Tra l'altro, in questo eventuale passaggio, la variazione dei livelli di campo elettromagnetico misurati sarebbe molto contenuta.

La soluzione della "Media su 6 minuti", ovvero il mantenimento delle condizioni previste dalla norma attuale però imponendo l'obbligo dell'utilizzo di fattori correttivi in sede valutativa, peraltro già previsti dalle norme tecniche di settore e, ad oggi, parzialmente utilizzati, risulta quasi opposta alle altre. Infatti essa comporta sicuramente difficoltà maggiori nella implementazione della nuova tecnologia e nello sviluppo della rete (è necessario un numero significativo di nuovi impianti, maggiore delle soluzioni precedenti, con le relative conseguenze in termini di impatto ambientale, come documentato nel presente rapporto), mentre le conseguenze sugli aspetti comunicazionali riguardano, se non la diversa modalità di valutazione dei limiti (perché rimane invariata), la moltiplicazione degli impianti e la probabile creazione di nuovi poli di tensione sociale con i cittadini che vedono nuove realizzazione in una realtà, soprattutto nelle grosse aree urbane, giudicata dal pubblico ormai satura. È da aggiungere, inoltre, la presumibile difficoltà a trovare nuove collocazioni proprio nelle suddette realtà urbane. Inoltre nella comune prassi, specie nelle aree cittadine ad elevata densità abitativa, la presenza di una antenna il cui lobo di irradiazione a 6

V/m intercetta o anche semplicemente lambisce una qualsiasi pertinenza esterna (e spesso un lastrico solare, un tetto o un balcone) può costituire, di conseguenza, motivo di adozione di un parere negativo per la specifica installazione.

Questo ha comportato, nel tempo, una serie di effetti negativi quali, a titolo di esempio:

- la proliferazione di nuove strutture in luogo del riutilizzo di quelle esistenti;
- operazioni di “depotenziamento” degli impianti per consentire l’inserimento delle nuove
- tecnologie;
- realizzazione di strutture di sostegno antenne più alte del necessario;
- posizionamento ed orientamento delle antenne spesso non ottimale rispetto al grado di efficienza atteso.

Oltretutto, nei calcoli previsionali, in un’ottica di ulteriore e maggiore cautela, viene utilizzata la condizione dello spazio libero, per cui la presenza di pareti e solai si ritiene ininfluenza ai fini del calcolo della esposizione equiparando in questo modo l’ambiente esterno, spesso non abitabile, con quello interno.

Perciò nel Rapporto in questione viene sottolineata l’importanza dell’uso dei coefficienti di attenuazione (già citati nella Norma CEI 211-10) dovuti alla presenza di pareti di diversi materiali; ciò consentirebbe agli operatori ulteriori ottimizzazioni delle reti che potrebbero comportare anche una consistente riduzione del numero di impianti dovuti alle maggiori possibilità di utilizzo del co-siting, ferma restando la garanzia del rispetto degli attuali valori limite (valori di attenzione e obiettivi di qualità).

Infine, le analisi delle diverse situazioni, dallo stato attuale alle possibili alternative, ha comunque evidenziato la necessità di chiarire, in modo da lasciare poco spazio ad interpretazioni diverse, la definizione di “pertinenze esterne” che al momento, nell’attuale DPCM 8/07/2003, non appare adeguatamente chiara comportando ciò, in molte situazioni, e spesso ingiustificatamente, difficoltà nell’utilizzo o nell’ampliamento dei siti esistenti.

Anche alla luce dei risultati del Rapporto succitato è stata disposta la formulazione delle Linee Guida di cui all’articolo 14, comma 8 della Legge n.221/2012 che vengono descritte nel paragrafo seguente.

2.2.2 APPROFONDIMENTI SULLE LINEE GUIDA DI CUI ALL’ARTICOLO 14, COMMA 8 DELLA LEGGE N.221/2012

Le Linee Guida di cui all’articolo 14, comma 8 della Legge n.221/2012 hanno l’obiettivo di definire:

- le pertinenze esterne degli edifici utilizzati come ambienti abitativi per permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere [art. 14, comma 8, lettera a), punto 2];
- le modalità con cui gli operatori forniscono all’ISPRA e alle ARPA/APPA i dati di potenza degli impianti [art. 14, comma 8, lettera d)];

- i valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici [art. 14, comma 8, lettera d)];
- i fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tener conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore [art. 14, comma 8, lettera d)] , nel seguito indicati come α_{24h} .

Tali Linee Guida potranno essere soggette ad aggiornamento con periodicità semestrale su indicazione del MATTM, che provvederà alla relativa approvazione.

Attraverso l'emanazione del DM 2 dicembre 2014 sono state definite le modalità con cui gli operatori forniscono all'ISPRA e alle ARPA/APPA i dati di potenza degli impianti e i fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tener conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore. Pertanto attualmente non sono stati trattati tutti i punti previsti dalle Linee Guida e le questioni più "delicate" ("attenuazione degli edifici" e "pertinenze esterne") vengono implicitamente rimandate ad un successivo decreto.

In merito alle modalità di fornitura dei dati di potenza degli impianti all'ISPRA e alle ARPA/APPA viene stabilito che gli operatori forniscono i dati di potenza degli impianti attraverso la realizzazione di un database consultabile on line contenente:

- valore della potenza massima P_{max} erogabile ai morsetti di antenna (come definita dalla norma CEI 211-10, per quanto applicabile anche agli impianti radio/TV);
- valore medio P_i , su un intervallo di 60 minuti (calcolato su un numero di campioni statisticamente significativo), della potenza dell'impianto ai morsetti d'antenna (come definita dalla norma CEI 211-10, per quanto applicabile anche agli impianti radio/TV), che sarà prodotto per tutti gli impianti con cadenza non superiore a un mese.

I valori di potenza devono riferirsi alle reali condizioni di funzionamento degli impianti e devono essere forniti in modo univoco e inequivocabile:

- per impianto;
- per servizio;
- per settore;
- specificando la banda di frequenza (per le Stazioni Radio Base) o la frequenza (per gli impianti radio/TV).

In assenza di indicazioni specifiche da parte dell'operatore per il singolo impianto, il singolo servizio, il singolo settore e la particolare banda di frequenza (per le Stazioni Radio Base) o frequenza (per gli impianti radio/TV), si assume che l'emissione sia costante nell'arco delle 24 ore e che la potenza emessa sia pari al valore P_{max} della potenza dichiarato dall'operatore stesso nel momento in cui ha presentato all'autorità competente l'istanza relativa a quell'impianto.

La banca dati dovrà:

- avere un accesso riservato: l'operatore fornirà almeno un accesso con username e password all'ISPRA e ad ogni ARPA/APPA;

- permettere all'utente ISPRA/ARPA/APPA di esportare i dati in un formato elettronico di uso comune (ad esempio in formato ".csv", ".txt" o ".xls" non protetto);
- contenere, oltre ai dati di potenza, informazioni riguardanti le eventuali condizioni di funzionamento anomalo degli impianti.

Tutti i dati contenuti nel database dovranno essere storicizzati per un periodo non inferiore agli ultimi 12 mesi.

Relativamente ai fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tener conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore, per ogni segnale elettromagnetico generato da un impianto, corrispondente ad una tipologia di servizio, emesso in un particolare settore su una determinata banda di frequenza (per le Stazioni Radio Base) o frequenza (per gli impianti radio/TV), che d'ora innanzi chiameremo "SEGNALE", sia P_i la potenza media ad esso associata nell'intervallo temporale i -esimo di 60 minuti, si definisce il coefficiente α_{24h} relativo al "SEGNALE" come il valore massimo su base annua del coefficiente giornaliero α_{24h}^{day} definito come:

$$\alpha_{24h}^{day} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{P_i}{P_{max}}$$

dove:

P_{max} : potenza massima erogabile ai morsetti di antenna

m : numero di intervalli temporali di durata pari a 60 minuti compresi in un giorno, cioè 24 ore.

Il fattore α_{24h} , così definito, verrà utilizzato per calcolare il livello medio su 24 ore del campo elettrico associato al singolo SEGNALE, al fine di effettuare le valutazioni previsionali necessarie per l'espletamento dell'iter istruttorio di cui al CCE.

In particolare, il valore medio sulle 24 ore del campo elettrico, E_{24h} , sarà dato dalla seguente relazione:

$$E_{24h} = E_{max} \sqrt{\alpha_{24h}}$$

dove E_{max} è il valore di campo elettrico massimo del "SEGNALE", valutato sulla base di P_{max} , potenza massima erogabile ai morsetti d'antenna.

Il valore di α_{24h} deve essere fissato in maniera univoca per ogni "SEGNALE".

Tale valore di α_{24h} viene trasmesso dall'operatore all'organo di controllo contestualmente alla presentazione dell'istanza di cui al CCE, mediante una dichiarazione sostitutiva dell'atto di notorietà in cui viene giustificata in maniera

documentata la motivazione della scelta effettuata. Nel caso in cui tale valore non venisse fornito dall'operatore, esso sarà assunto pari ad 1.

Gli operatori, sulla base dell'esperienza acquisita nel tempo e dei dati raccolti, in particolare relativamente alle nuove tecnologie, comunicheranno gli aggiornamenti del valore di α_{24h} da utilizzare nelle valutazioni preventive.

Se un operatore intende aumentare il valore di α_{24h} lasciando inalterata la potenza massima P_{max} dovrà presentare specifica istanza ai sensi del D.Lgs. 259/03, analogamente a quanto avviene per ogni altra modifica della potenza dell'impianto che ne incrementi l'immissione al recettore.

Se un operatore intende aumentare il valore di α_{24h} procedendo contemporaneamente ad una riduzione della potenza massima P_{max} tale da far sì che il prodotto $P_{max} * \alpha_{24h}$ resti inalterato, la procedura di cui sopra si semplifica in una mera comunicazione agli organi competenti, contestuale all'attivazione dell'intervento.

In fase di prima attivazione di un nuovo servizio successivamente alla pubblicazione delle presenti Linee Guida, il valore di α_{24h} potrà essere ricavato dall'analisi degli α_{24h} di uno o più impianti già esistenti con caratteristiche tecniche simili (di cui dovranno essere forniti i dati identificativi).

Relativamente alle questioni da trattare nelle Linee Guida rimaste in sospeso, a seguito di una richiesta di approfondimenti pervenuta ad ISPRA dal MATTM, sono stati istituiti due differenti gruppi di lavoro (GdL) interni al Sistema Agenziale.

Tali GdL hanno redatto le parti mancanti delle Linee Guida che sono state inviate al MATTM, insieme ad una serie di documenti a corredo, per le opportune valutazioni del caso. Vengono descritti, nel seguito, i risultati cui sono giunti i due GdL di cui sopra.

In merito alla definizione delle pertinenze esterne degli edifici utilizzati come ambienti abitativi per permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere, in seguito alla modifica introdotta dall'art. 6, comma 5 della legge 164/2014, non bisogna più definire "le pertinenze esterne degli edifici utilizzati come ambienti abitativi per permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere" ma "le pertinenze esterne con dimensioni abitabili utilizzate per permanenze non inferiori a quattro ore continuative giornaliere". Per quanto attiene alla definizione di pertinenze esterne di dimensioni abitabili, si assume una superficie minima di 2 metri quadrati con profondità pari ad almeno 1,2 metri. Tale dimensione minima consente infatti lo stazionamento e la manovra agevole di persone a ridotta mobilità [rif. art. 8, punto 8.0.2 (Spazi di manovra con sedia a ruote), lettera H del DM 236/89] e l'allestimento di tavolino da esterno corredato di seduta [rif. Neufert – Enciclopedia pratica per progettare e costruire, ottava edizione].

Secondo quanto stabilito i balconi, terrazzi, logge e verande devono avere una superficie minima di 2 metri quadrati e una profondità minima di 1,2 metri; il lastrico solare posto al servizio di una proprietà esclusiva deve considerarsi pertinenza di quest'ultima ed è di dimensioni abitabili se ha una superficie minima di 2 metri quadrati e una profondità minima di 1,2 metri. Poiché è difficile individuare univocamente un limite dimensionale tra giardini e tenute o parchi, di natura privata, nel caso di questi ultimi sono considerati "pertinenza", ai sensi del presente

documento, gli spazi destinati ordinariamente e durevolmente alla fruizione umana contenuti in un'area contigua all'edificio principale costituita dal luogo dei punti aventi una distanza minore o uguale a 50 metri dalle pareti perimetrali dello stesso edificio. Tettoie e gazebi sono considerati pertinenze esterne di dimensioni abitabili solamente nel caso in cui si trovino nell'area costituita dal luogo dei punti aventi una distanza minore o uguale a 50 metri dalle pareti perimetrali dell'edificio cui sono annesse. Sarà cura dell'operatore, o di un suo delegato, documentare e indicare nella cartografia presentata (articolo 87 del CCE) ai fini del "previo accertamento [...] della compatibilità del progetto con i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità [...]" i casi di:

- ✓ edifici o porzioni di edifici non classificabili come "edifici utilizzati per permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere" quali magazzini, cantine, garage, sottotetti non abitabili, box auto, fienili, legnaie, ecc.;
- ✓ luoghi non classificabili come pertinenze esterne di dimensioni abitabili, ai sensi di quanto stabilito nelle Linee Guida in oggetto.

Relativamente alla definizione dei valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici per tenere conto delle differenti proprietà schermanti offerte dai materiali in funzione della frequenza, sulla base anche della letteratura disponibile, si adottano i seguenti due diversi fattori di riduzione:

- pareti e coperture senza finestre, o altre aperture di analoga natura, in prossimità di impianti con frequenza di trasmissione superiore a 400 MHz: 6 dB;
- pareti e coperture senza finestre, o altre aperture di analoga natura, in presenza di segnali a frequenze inferiori a 400 MHz: 3 dB.

In considerazione della possibilità di esposizione nella condizione a "finestre aperte", indipendentemente dalla frequenza di funzionamento degli impianti, si adotta il seguente fattore di attenuazione:

- pareti e coperture con finestre o altre aperture di analoga natura: 0 dB.

I fattori di attenuazione saranno applicati sulla base delle indicazioni riportate sulla documentazione e/o sulla cartografia fornite dall'operatore.

In assenza di tali indicazioni, gli edifici saranno sempre considerati come provvisti di finestre (tale considerazione vale anche nel caso di pareti di copertura, in cui è possibile la presenza di abbaini o lucernai).

Per quanto riguarda le pareti con finestre o altre aperture di analoga natura, i fattori di attenuazione da applicare potranno essere aggiornati in funzione di ulteriori studi pubblicati in letteratura. A tale proposito è stato sviluppato un documento da ISPRA e alcune ARPA in merito alle risultanze dell'attività sperimentale portata avanti da tecnici di ISPRA e delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente di Liguria, Piemonte, Umbria e Veneto sui valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici (C. Baratta, S. Curcuruto, M. Stortini, V. Mollica, M. Oggianu, M. Valle, S. Adda, L. Anglesio, G. D'Amore, M. Angelucci, M. Strappini, L. Belleri, F. Guaiti, G. Lorenzetto, *"Valori di assorbimento del campo elettromagnetico*

da parte delle strutture degli edifici – Rapporto finale sull'attività sperimentale", luglio 2014).

L'attività ha avuto come scopo la valutazione sperimentale del valore di attenuazione del campo elettromagnetico generato da impianti di teleradiocomunicazione nei casi di presenza di pareti e coperture con finestre o altre aperture di analoga natura.

Dall'attività sperimentale sono emersi risultati molto variabili con evidenza, in taluni casi, di effetti di "amplificazione" dell'intensità del campo elettromagnetico.

Anche se tali effetti, attribuibili a fenomeni di riflessione e diffrazione della radiazione elettromagnetica con le strutture dell'edificio e con gli arredi delle stanze, sono emersi con maggiore sistematicità per la frequenza di 900 MHz, non possono essere esclusi anche per la frequenza di 400 MHz.

Tenendo conto della necessità radioprotezionistica di considerare il caso peggiore tra quelli oggetto della valutazione, pertanto, si ritiene adeguato considerare pari a 0 dB (assenza di attenuazione) il valore di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici nei casi di presenza di pareti e coperture con finestre o altre aperture di analoga natura, indipendentemente dalla frequenza di trasmissione dell'impianto.

Tali valutazioni risultano peraltro coerenti con la letteratura scientifica sui coefficienti di penetrazione negli edifici della radiazione a radiofrequenza ("building penetration loss"), le cui stime con modelli empirici indicano la possibilità di attenuazioni inferiori a quelle di spazio libero con particolare riferimento a sorgenti in visibilità ottica rispetto alle pareti con finestre.

Le procedure seguite nel corso dell'attività sperimentale sono descritte nella versione finale del documento *"Valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici – Protocollo di misura ai sensi dell'art. 14, comma 8, della legge 221/2012"*, redatto da un GdL di cui hanno fatto parte tecnici di ISPRA e delle ARPA di Liguria, Piemonte, Toscana, Umbria e Veneto. Sono state individuate le caratteristiche dei siti di misura ritenuti idonei ossia gli ambienti abitativi con permanenze continuative non inferiori a quattro ore giornaliere (es. abitazioni private, uffici) che soddisfino i requisiti di seguito elencati:

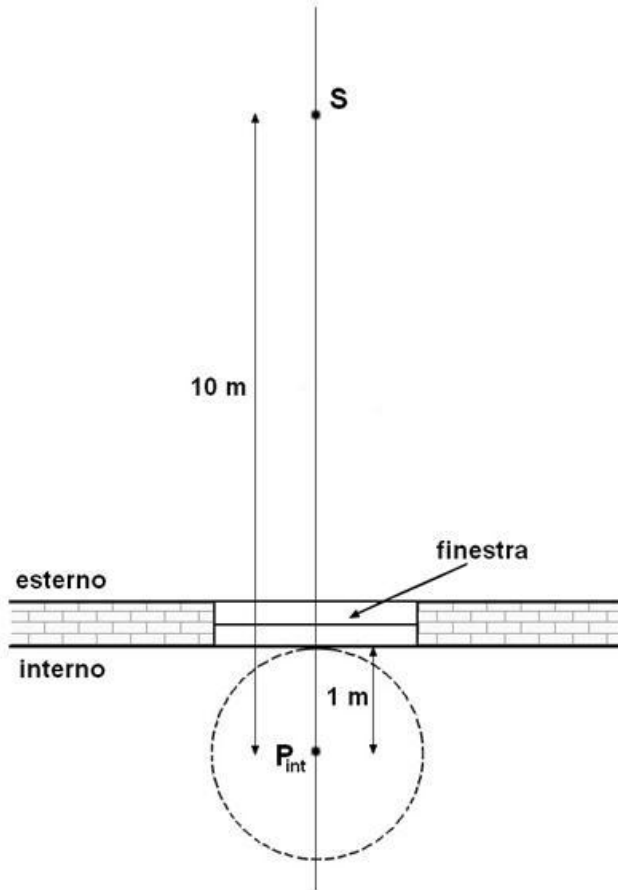
- presenza di un impianto (una stazione radio base per telefonia mobile o un impianto radiotelevisivo) in visibilità ottica da una finestra dell'ambiente abitativo;
- l'impianto in questione deve essere posizionato su un palazzo immediatamente adiacente a quello in cui si trova il sito di misura;
- possibilità di effettuare i rilievi in due punti distinti, uno all'esterno e uno all'interno dell'ambiente abitativo, in corrispondenza tra loro;
- la posizione del sito di misura rispetto all'impianto deve essere tale che il livello di campo elettromagnetico misurato per il segnale indagato sia significativo (almeno $0,1 \div 0,2$ V/m).

È stata individuata come sorgente del segnale un generatore a radiofrequenza collegato ad un'antenna trasmittente di tipo dipolare in polarizzazione verticale posta a 1,5 m di altezza sul piano di calpestio (no impianto reale).

Il sito di misura prescelto è un ambiente abitativo con permanenza continuativa non inferiore a quattro ore giornaliere (es. abitazione privata, ufficio) con la disponibilità di almeno 10 m di spazio davanti alla parete di interesse in modo tale da consentire il posizionamento dell'antenna trasmittente ad una distanza opportuna dalla parete. In aggiunta, la posizione della finestra deve essere tale che venga garantito l'allineamento sorgente-punto di misura.

Siti adeguati possono essere, ad esempio, edifici con locali al piano terra in cui siano presenti cortili o giardini di ampiezza adeguata e senza la presenza di strutture metalliche che possano perturbare il segnale generato.

Figura 2 - Rappresentazione grafica del posizionamento della sorgente di campo elettrico (S) e del punto di misura (P_{int}) nel sito di misurazione prescelto per svolgere l'attività finalizzata alla valutazione sperimentale del valore di attenuazione del campo elettromagnetico generato da impianti di teleradiocomunicazione nei casi di presenza di pareti e coperture con finestre o altre aperture di analoga natura.



Fonte: Baratta C., Curcuruto S., Stortini M., Mollica V., Oggianu M., Valle M., Adda S., Anglesio L., D'Amore G., Francia F., Licitra G., Silvi A. M., Angelucci M., Strappini M., Belleri L., Guaiti F., Lorenzetto G., 2014 "Valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici – Protocollo di misura ai sensi dell'art. 14, comma 8, della legge 221/2012"

dove P_{int} è il punto interno all'ambiente abitativo, posizionato in corrispondenza della mezzeria della finestra (o porta-finestra), alla distanza di 1 m dalla finestra e ad un'altezza dal piano di calpestio pari a 1,5 m.

Caratteristica fondamentale di ciascun punto di misura è che non devono essere presenti oggetti conduttori entro un cerchio di raggio 1 m centrato sul punto di misura stesso.

Il Trasmettitore consiste in un generatore di segnale e un dipolo a $\frac{1}{2}$ onda accordato ($f = 400$ MHz e 900 MHz) mentre il ricevitore comprende un analizzatore di spettro e una sonda mono o triassiale.

Figura 3 - Posizionamento della sorgente di segnale a radiofrequenza nel sito di misura per valutare sperimentalmente il valore di attenuazione del campo elettromagnetico generato da impianti di teleradiocomunicazione nei casi di presenza di pareti e coperture con finestre o altre aperture di analoga natura.



Fonte: Baratta C., Curcuruto S., Stortini M., Mollica V., Oggianu M., Valle M., Adda S., Anglesio L., D'Amore G., Angelucci M., Strappini M., Belleri L., Guaiti F., Lorenzetto G., "Valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici – Rapporto finale sull'attività sperimentale" (2014)

Figura 4 - Posizionamento della sorgente di segnale a radiofrequenza e del ricevitore e sonda di misura nel sito di misurazione prescelto per svolgere l'attività finalizzata alla valutazione sperimentale del valore di attenuazione del campo elettromagnetico generato da impianti di radiotelecomunicazione nei casi di presenza di pareti e coperture con finestre o altre aperture di analoga natura.



Fonte: Baratta C., Curcuruto S., Stortini M., Mollica V., Oggianu M., Valle M., Adda S., Anglesio L., D'Amore G., Angelucci M., Strappini M., Belleri L., Guaiti F., Lorenzetto G., "Valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici – Rapporto finale sull'attività sperimentale" (2014)

Per calcolare il valore di attenuazione del campo elettromagnetico dovuto alle pareti con finestre o altre aperture di analoga natura, è necessario, per ciascuna delle due frequenze considerate, misurare il valore di campo elettrico che si otterrebbe, nel punto di misura, in assenza della parete finestrata. Ciò non è ovviamente possibile ma, in via approssimata, si può procedere individuando almeno due aree pianeggianti, prive di ostacoli, di dimensione minima 30 m x 20 m, caratterizzate da differenti tipologie di superficie (es. piazzale asfaltato, area parcheggio con autobloccanti o sterrato, campo di calcio in terra o erba o sintetico, etc.) ed effettuando la misurazione in "spazio libero".

Figura 5 Posizionamento della sorgente di segnale a radiofrequenza e del ricevitore di segnale con sonda di misura in spazio libero al fine di valutare sperimentalmente il valore di attenuazione del campo elettromagnetico generato da impianti di teleradiocomunicazione nei casi di presenza di pareti e coperture con finestre o altre aperture di analoga natura.



Fonte: Foto ISPRA

Figura 6 Posizionamento della sorgente di segnale a radiofrequenza e del ricevitore di segnale con sonda di misura in spazio libero al fine di valutare sperimentalmente il valore di attenuazione del campo elettromagnetico generato da impianti di radiotelecomunicazione nei casi di presenza di pareti e coperture con finestre o altre aperture di analoga natura.



Fonte:Foto ISPRA

Per ciascuna delle due frequenze di trasmissione di 400 MHz e 900 MHz, il valore di attenuazione del campo elettromagnetico dovuto alle pareti con finestre o altre aperture di analoga natura vale:

$$attenuazione_{finestra} [dB] = \log_{10} \frac{E_{sl}^2}{E_{int}^2}$$

dove

$attenuazione_{finestra} [dB]$ = valore di attenuazione del campo elettromagnetico dovuto alla parete con finestra, espresso in dB

E_{sl} = valore efficace di campo elettrico, espresso in V/m, calcolato una tantum

E_{int} = valore efficace di campo elettrico, espresso in V/m, misurato nei punti di misura interni P_{int}

BIBLIOGRAFIA

Baratta C., Curcuruto S., Stortini M., Mollica V., Oggianu M., Valle M., Adda S., Anglesio L., D'Amore G., Angelucci M., Strappini M., Belleri L., Guaiti F., Lorenzetto G., 2014 *Valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici – Rapporto finale sull'attività sperimentale* pag.72

Baratta C., Curcuruto S., Stortini M., Mollica V., Oggianu M., Valle M., Adda S., Anglesio L., D'Amore G., Francia F., Licitra G., Silvi A. M., Angelucci M., Strappini M., Belleri L., Guaiti F., Lorenzetto G., "Valori di assorbimento del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici – Protocollo di misura ai sensi dell'art. 14, comma 8, della legge 221/2012" (2014) pag.72

DM n.381/1998 *"Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana"*

DM 2 dicembre 2014 *"Linee guida, relative alla definizione delle modalità con cui gli operatori forniscono all'ISPRA e alle ARPA/APPA i dati di potenza degli impianti e alla definizione dei fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tener conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore"*

DPCM 8/07/2003 *"Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati dagli elettrodotti"*

DPCM 8/07/2003 *"Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz"*

Decreto Legislativo n. 259/2003 *"Codice delle comunicazioni elettroniche"*

Legge n.36/2001 *"Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici"*

ISPRA-ARPA-FUB, Manuali e Linee Guida 95/2013 *"Documento istruttorio a supporto del legislatore per le modifiche del quadro normativo sui CEM-RF elaborato da ISPRA-ARPA e FUB"* pag.63

ISPRA - alcuni operatori di telefonia mobile, Manuali e Linee Guida 96/2013 *"Protocollo di intesa relativo all'installazione di Ripetitori di piccole dimensioni e a bassa potenza, ai sensi dell'art. 35, comma 4 del D.L. 6 luglio 2011, n. 98, come convertito dalla Legge 15 luglio 2011, n. 111"* pag.57

ISPRA – Telecom Italia, Manuali e Linee Guida 97/2013 *"Protocollo di intesa per l'attivazione di impianti di debole potenza e ridotte dimensioni ai sensi dell'art. 35 comma 4 della Legge 15 luglio 2011 n. 111, e per il tracciamento delle modifiche degli impianti senza alcuna variazione dell'impatto elettromagnetico ai sensi della Legge 36/2001"* pag.59

Legge n.73/2010 *"Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 25 marzo 2010, n.40, recante disposizioni urgenti tributarie e finanziarie in materia di contrasto alle frodi fiscali internazionali e nazionali operate, tra l'altro, nella forma dei cosiddetti «caroselli» e «cartiere», di potenziamento e razionalizzazione della*

riscossione tributaria anche in adeguamento alla normativa comunitaria, di destinazione dei gettiti recuperati al finanziamento di un Fondo per incentivi e sostegno della domanda in particolari settori”

Legge n.111/2011 “Conversione in legge, con modificazioni, del DL 98/11 recante disposizioni urgenti per la stabilizzazione finanziaria”

Legge n.221/2012 “Conversione in legge, con modificazioni, del DL n.179/2012, recante ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese”

Legge n.147/2013 “Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Legge di stabilità 2014)”

Legge n.164/2014 “Conversione in legge, con modificazioni, del DL 133/2014, recante misure urgenti per l’apertura dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l’emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive”

3. ESPERIENZE DI MISURAZIONI DI CAMPI ELETTROMAGNETICI E STUDI SU ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE SVOLTI DALLE ARPA/APPA

Confronto fra i livelli stimati di campo elettrico prodotti da antenne di telefonia mobile su edifici residenziali della provincia di Rimini negli anni 2014 e 2009

S. R. de Donato, M. Bagli, R. Monti- ARPA Emilia Romagna

Misure relative alle nuove tecnologie per telefonia mobile LTE e UMTS: confronto fra diversi sistemi di misura e problematiche tecniche

S. Colantonio, P. Zanichelli, G. Anania, C. Volta, M. Tiberti, I. Taddei, M. Trepiccione, M. Poli, S. Violanti, R. Fava, L. Gaidolfi - ARPA Emilia Romagna

Esposizione della popolazione a microonde emesse da un radar meteorologico mobile in ambito urbano

P. Zanichelli, I. Taddei, M. Poli, M. Frascchetta, L. Gaidolfi – ARPA Emilia Romagna, M. Bassanino – ARPA Lombardia, O. Cazzuli, R. Cremonini, S. Adda, L. Anglesio, E. Caputo – ARPA Piemonte

Caratterizzazione di siti in presenza di Stazioni radio base in ambito urbano per l'applicazione di tecniche della norma CEI 211-7/E: un caso di studio a Como

D. de Bartolo, E. Nava, M.E. Zavatti e altri - ARPA Lombardia

Analisi del trend dei valori di campo elettromagnetico misurati nei controlli istituzionali nella città di Taranto dal 2012 a oggi: analisi generale e puntuale

A. Saraceno, A. Brunetti, P. Nardelli, M. Spartera, A. Guarnieri Calò Carducci, S. Ottonelli, G. Primavera - ARPA Puglia

Esposizione della popolazione al campo elettrico prodotto dalle stazioni radio base: risultati per i Comuni capoluogo del Veneto

S. Poli, R. Ugolini, F. Trotti - ARPA Veneto

Analisi dei dati storici delle Stazioni radio base (SRB) e delle misure in radiofrequenza (RF) in tre città della regione Friuli Venezia Giulia (Pordenone, Udine, Trieste)

A. Bampo, S. Barba, M. Battistutta, M. Benes, V. Brinis, S. Caschi, E. Consiglieri, M. Martini, M. Marzona, C. Montefusco, M. Moretuzzo, N. Poles, M. Salvagni, L. Tramontin - ARPA Friuli Venezia Giulia

Impatto dell'evoluzione tecnologica delle reti di telecomunicazione cellulare sull'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici in ambiente urbano

E. Grillo, D. Franci, T. Aureli - ARPA Lazio

Spazio elettromagnetico nella città di Aosta per stazioni radio base

V. Bottura, M. Cappio Borlino, L. Cerise, E. Imperial, C. Desandré - ARPA Valle d'Aosta

Un'analisi dei dati storici delle Stazioni radio base (SRB) e delle misure in radiofrequenza (RF) in alcuni siti dell'area del Comune di Trento

S. Pegoretti - ARPA Trento, C. Malacarne, L. Toniutti - SAVA Trento

Esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza nelle aree urbane del Piemonte: evoluzione normativa e variazioni dei livelli di campo

S. Adda, L. Anglesio - ARPA Piemonte

Il rilascio dei pareri di compatibilità elettromagnetica: criteri di istruttoria e criticità di un caso tipico nella città di Napoli

N. Barbato, G. Improta - ARPA Campania

CONFRONTO FRA LIVELLI STIMATI DI CAMPO ELETTRICO PRODOTTI DA ANTENNE DI TELEFONIA MOBILE SU EDIFICI RESIDENZIALI DELLA PROVINCIA DI RIMINI NEGLI ANNI 2014 E 2009

Stefano Renato de Donato¹, Mariateresa Bagli¹, Roberta Monti¹

¹Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente dell'Emilia Romagna

ABSTRACT

Sono stati calcolati i livelli di campo elettrico prodotti da Stazioni Radio Base sugli edifici residenziali del Comune di Rimini negli anni 2009 e 2014. L'analisi delle differenze riscontrate evidenzia un incremento dei livelli di campo elettrico stimati nel 2014 rispetto al 2009 per circa il 45% degli edifici esaminati. L'aumento dei livelli di campo elettrico è riconducibile all'aumento del numero di antenne per telefonia mobile (da 2238 nel 2009 a 3385 nel 2014) e all'aumento di potenza totale erogata dai sistemi trasmissivi (dai 38314 watt del 2009 ai 110163 watt nel 2014) dovuto in parte anche alle nuove tecnologie digitali implementate dai gestori per rispondere alle sempre maggiori richieste di connessione in mobilità.

PAROLE CHIAVE

Stazioni Radio Base, Telefonia mobile, Livelli di campo elettrico, Esposizione ai campi elettromagnetici

1. INTRODUZIONE

Attraverso l'utilizzo di un apposito software modellistico elaborato dall'ARPA di Rimini si è attualizzato uno studio finalizzato alla stima del contributo delle Stazioni Radio Base (SRB) sui singoli edifici residenziali ubicati nell'intero territorio della provincia di Rimini, già avviato nel 2009 (De Donato e Bagli, 2009). Il software utilizzato per le stime di campo elettromagnetico in alta frequenza è conforme alla norma CEI 211-10/2002 e quindi, in particolare, utilizza un algoritmo valido in campo libero ed in campo lontano. La cartografia digitale provinciale di base è costituita da un file vettoriale contenente le informazioni sugli edifici e da un file contenente le curve di livello del terreno a partire dal quale è stato costruito un DTM a passo 5 metri.

A partire dal catasto ARPA delle SRB presenti in Provincia, ed approssimando ogni edificio con il suo centroide (cui viene attribuita la relativa quota sul livello del suolo), è stato stimato il campo elettrico in corrispondenza al colmo del tetto di ogni edificio. Il lavoro è stato condotto prendendo in considerazione separatamente le situazioni delle antenne autorizzate sul territorio provinciale nel 2009 e nel 2014.

Ciò ha permesso di quantificare la variazione di campo elettrico nell'ambiente dovuto all'ottimizzazione della rete di trasmissione esistente e all'introduzione delle nuove tecnologie.

2. UTILIZZO DEL PROGRAMMA

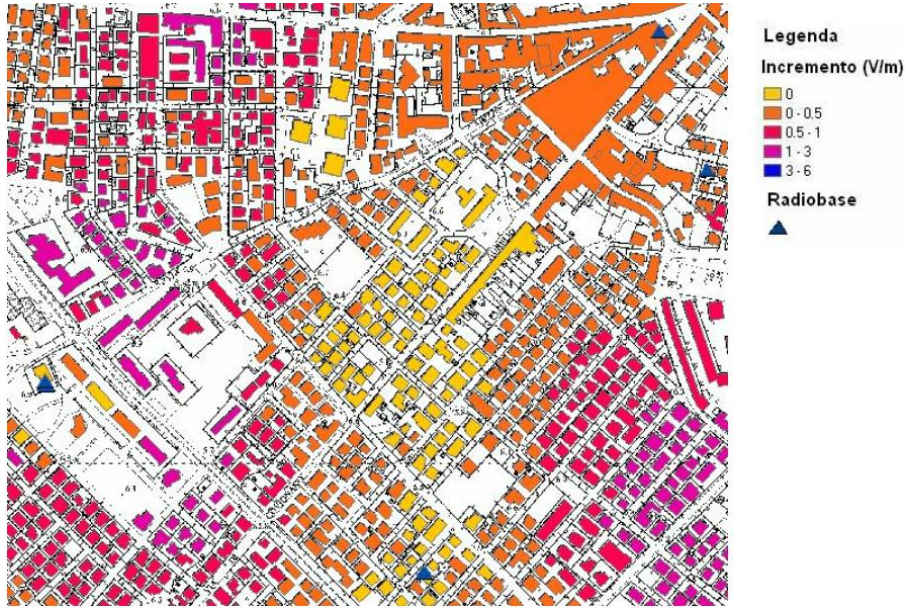
L'impostazione del programma prevede la definizione di due file di input: il primo relativo alle sorgenti ed il secondo ai punti di valutazione. Il file sorgenti è un file che riporta, per ogni singola antenna: le coordinate di localizzazione, l'altezza, la potenza totale, il guadagno, l'orientamento, il tilt meccanico ed infine l'identificazione del file contenente i diagrammi d'antenna orizzontale e verticale a passo di un grado. Il file relativo ai punti di valutazione è costruito in modo che ogni edificio sia rappresentato dal relativo centroide. In tal modo le informazioni contenute nel file sono le coordinate x e y del centroide rappresentante l'edificio, l'altezza dello stesso edificio sul livello del suolo e la quota del punto sul livello del mare. Il software consente quindi di determinare per ogni edificio il valore di campo elettrico totale calcolato in corrispondenza dell'altezza dal suolo dell'edificio stesso.

3. RISULTATI

Il modello di calcolo è stato applicato alle 2238 antenne per telefonia mobile presenti sull'intero territorio della provincia di Rimini nel 2009 e successivamente alle 3385 antenne SRB presenti nel 2014. Gli edifici considerati sono i 71321 presenti nel territorio provinciale alla data del 2009. Sono quindi stati esclusi dalla valutazione gli edifici entrati a far parte della provincia di Rimini successivamente all'annessione a quest'ultima di sette nuovi Comuni. Le caratteristiche delle antenne sono quelle fornite dai gestori all'interno delle richieste di autorizzazione. Le variazioni di livello di campo elettrico fra il 2014 e il 2009 sono state rappresentate,

per ogni edificio, graficamente ed in modo georeferenziato come mostrato, a titolo di esempio, in figura 1.

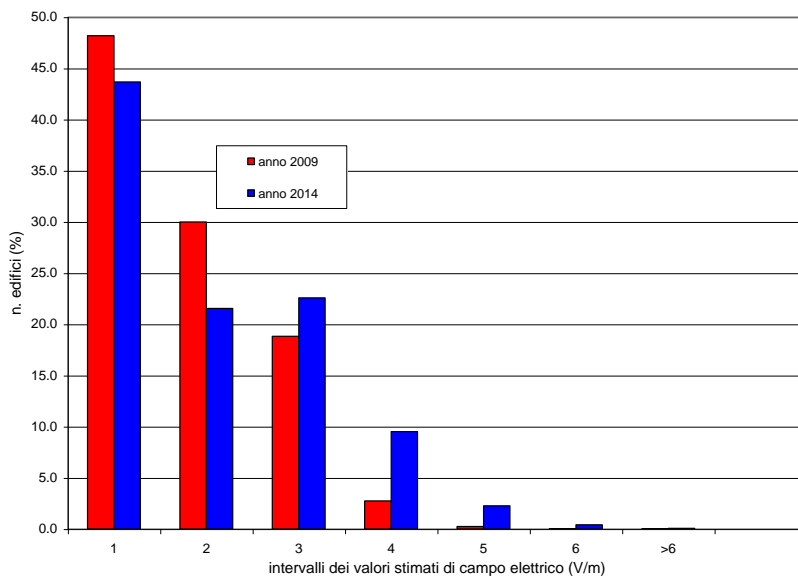
Figura 1 - Rappresentazione in ArcGis degli incrementi di campo elettrico sugli edifici, presenti nel territorio della provincia di Rimini alla data del 2009, tra il 2014 e il 2009.



Fonte ARPA Emilia Romagna

In figura 2 sono riportate le distribuzioni dei livelli di campo elettrico stimati sugli edifici separatamente per gli anni 2009 e 2014.

Figura 2 - Distribuzione dei valori stimati di campo elettrico sugli edifici, presenti nel territorio della provincia di Rimini alla data del 2009, per gli anni 2009 e 2014.

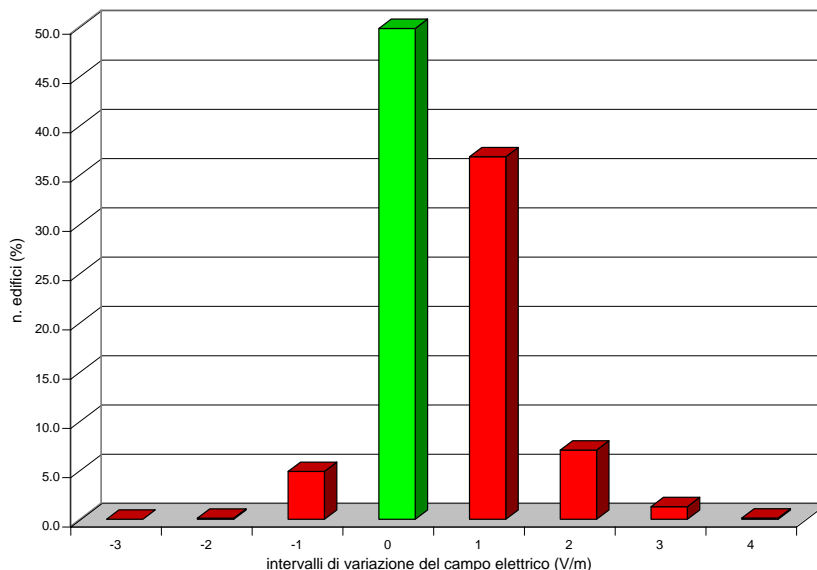


Fonte ARPA Emilia Romagna

Dalla figura si evidenzia come il 97% degli edifici nel 2009 aveva valori inferiori ai 3 V/m, mentre nel 2014 tale percentuale scende a circa l'88%.

In figura 3 è rappresentata la distribuzione delle differenze fra i livelli di campo elettrico stimati sui singoli edifici nel 2014 e quelli stimati nel 2009.

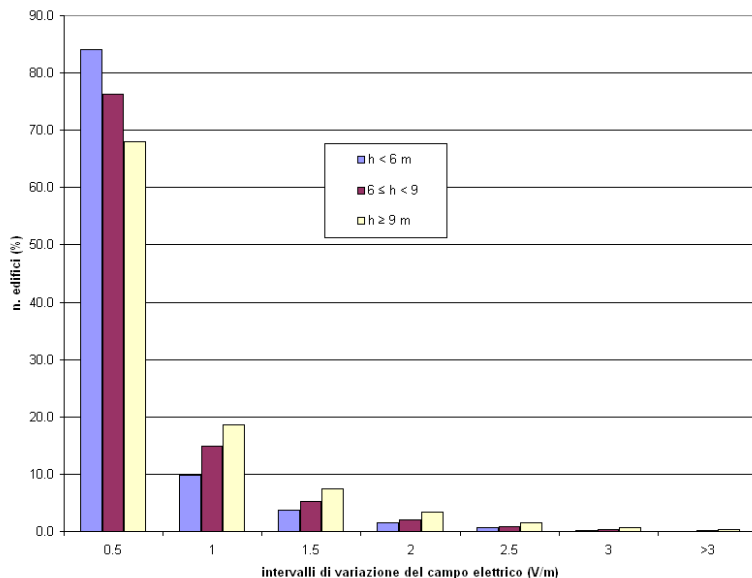
Figura 3 - Distribuzione delle differenze fra i valori stimati di campo elettrico sugli edifici, presenti nel territorio della provincia di Rimini alla data del 2009, per gli anni 2014 e 2009



Fonte ARPA Emilia Romagna

Risulta dalla figura 3 che circa il 50% degli edifici non subisce variazioni dei livelli di campo elettrico stimati nelle due annate considerate, il 5% degli edifici vede una diminuzione dei livelli nel 2014 rispetto al 2009, mentre circa il 45% mostra un aumento dei livelli di campo elettrico stimati nel 2014 rispetto al 2009. Il valore medio delle diminuzioni dei valori di campo elettrico risulta pari a 0.19 V/m con una deviazione standard di 0.27 V/m. L'aumento medio sugli edifici che vedono un peggioramento della situazione nel 2014 rispetto al 2009 è di 0.62 V/m con una deviazione standard di 0.55 V/m. Com'era lecito aspettarsi, risulta inoltre dalla figura 4 che gli incrementi di campo elettrico più significativi sono percentualmente più elevati sugli edifici con altezza maggiore.

Figura 4 - Distribuzione delle differenze fra i valori stimati di campo elettrico sugli edifici, presenti nel territorio della provincia di Rimini alla data del 2009, (2014 – 2009) in funzione dell'altezza degli edifici (h)



Fonte ARPA Emilia Romagna

4. CONCLUSIONI

In provincia di Rimini sono stati individuati, partendo da opportuna cartografia vettoriale, 71321 edifici a carattere residenziale. Su questi, approssimati ognuno dal proprio centroide, è stato calcolato, in corrispondenza della sommità del tetto, il campo elettrico generato dai sistemi di trasmissione per telefonia mobile tenendo conto delle specifiche caratteristiche di ciascun impianto. Le valutazioni sono state condotte separatamente per l'anno 2009 e 2014.

Ne risulta che, rispetto al 2009, il 45% degli edifici registra, nel 2014, un aumento dei livelli di campo elettrico stimato. Tale aumento risulta in media pari a 0.62 V/m, con circa il 20% di edifici con aumenti maggiori od uguali ad 1 V/m.

L'aumento dei livelli di campo elettrico stimato è dovuto all'aumento del numero di antenne per la telefonia mobile installate sullo stesso territorio che sono passate da 2238 nel 2009 a 3385 nel 2014 che si esprime anche in aumento di potenza totale erogata dai sistemi trasmissivi (dai 38314 watt del 2009 ai 110163 watt nel 2014). Ciò è dovuto sia alla presenza di nuovi siti d'installazione, che ha permesso ai gestori della telefonia di avere ad oggi maggiore copertura territoriale, sia all'aggiunta, su siti esistenti, di nuovi servizi per l'implementazione di nuove tecnologie che ha permesso di evolvere la telefonia mobile da un sistema prettamente dedicato alla comunicazione vocale (con sistemi GSM) a quello di

gestione anche di servizi multimediali e interattivi, inizialmente con tecnologia UMTS e poi anche con quella definita LTE che consente velocità di connessione superiori. La diminuzione dei valori di campo elettrico nel 2014 rispetto al 2009 si registra, infine, in circa il 5% degli edifici: ciò avviene soprattutto in edifici prossimi ad antenne autorizzate nel 2009 ma per le quali il gestore non ha poi proceduto alla realizzazione preferendo altre collocazioni e che quindi non si sono riproposte nel 2014 nella medesima posizione geografica.

BIBLIOGRAFIA

De Donato S.R. e Bagli M.T., 2009 *La stima dei livelli di campo elettrico prodotto da antenne radiotelevisive e di telefonia mobile sui singoli edifici residenziali della Provincia di Rimini*. In: Atti del IV Convegno Nazionale "Controllo ambientale degli agenti fisici: nuove prospettive e problematiche emergenti", Vercelli, 24-27 marzo 2009.

MISURE RELATIVE ALLE NUOVE TECNOLOGIE PER TELEFONIA MOBILE LTE E UMTS: CONFRONTO FRA DIVERSI SISTEMI DI MISURA E PROBLEMATICHE TECNICHE

Simone Colantonio¹, Paolo Zanichelli¹, Giuseppe Anania¹, Cristina Volta¹, Matteo Tiberti¹, Irene Taddei¹, Marco Trepiccione¹, Maurizio Poli¹, Silvia Violanti¹, Roberto Fava¹, Laura Gaidolfi¹

¹Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente dell'Emilia Romagna

ABSTRACT

Vengono focalizzate le metodologie strumentali al fine di rilevare i valori di campo elettrico prodotti dai servizi forniti dalle SRB con tecnologie LTE e UMTS e quindi valutare l'esposizione della popolazione. La stessa Norma CEI 211-7/E, conformemente agli standard europei riportati nella EN 50492:2008+A1:2014, individua differenti metodiche di misura, la più accurata delle quali prevede l'utilizzo di un analizzatore di segnale vettoriale corredato di demodulatore per segnali LTE e UMTS. Sono stati quindi confrontati i valori di campo elettrico rilevati da diverse catene di misura in dotazione ad Arpa Emilia Romagna e quindi con i valori teorici derivati dai modelli di valutazioni "a spazio libero".

PAROLE CHIAVE

Stazioni Radio Base, Telefonia mobile, Segnali di riferimento, MIMO, Esposizione ai campi elettromagnetici

1. INTRODUZIONE

Gli sviluppi tecnologici nel campo delle telecomunicazioni mobili ha introdotto nuovi segnali, come LTE 4G. Pertanto le metodiche di misura dei segnali UMTS e LTE sono fondamentali per valutare l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici alle alte frequenze: a questo scopo, la recente normativa tecnica italiana CEI 211-7/E ha definito tecniche di misura ed estrapolazione. I segnali misurati, e la conseguente esposizione della popolazione, sono soggetti a variazioni nel tempo durante la giornata a causa delle reali condizioni di traffico. Il metodo più accurato di estrapolazione per valutare i massimi livelli di esposizione si basa sulla misura del canale costante nel tempo attraverso l'utilizzo di un analizzatore di spettro vettoriale corredato con demodulatore LTE e UMTS. Arpa Emilia-Romagna ha sperimentato un caso studio allo scopo di applicare i metodi proposti nella Guida tecnica CEI, allo scopo di identificare le problematiche tecniche e le difficoltà sperimentali che si riscontrano nelle misure in campo. Inoltre, i metodi di misura necessitano la conoscenza di alcuni parametri specifici di funzionamento delle SRB che devono essere forniti direttamente dai gestori della rete.

Le misure sono state eseguite con differenti tipi di catene strumentali al fine di confrontarne i risultati dei rilievi.

Infine, sono stati confrontati i valori di campo elettrico derivati dalle estrapolazioni alla massima potenza autorizzata con i valori stimati attraverso i modelli di simulazione in campo libero, utilizzati in fase di valutazione del progetto del sito sottoposto alle misure.

2. METODI E STRUMENTAZIONE

L'approccio strumentale si è basato sulle indicazioni riportate nella Guida Tecnica CEI 211-7/E e nello standard europeo EN 50492:2008+A1:2014. I segnali LTE e UMTS, i cui reali valori di campo elettrico prodotti dipendono dal carico di traffico, sono caratterizzati da alcuni "segnali di riferimento" ("*Reference Signals*") che permangono in rapporto fisso con la potenza massima emessa dalla SRB e sono perciò indipendenti dal carico di traffico: si considera quindi il "*Reference Signal (RS)*" ed il Canale Pilota ("*Common Pilot Channel – CPICH*"), rispettivamente per il segnale LTE e UMTS. Note queste componenti, il calcolo dei valori di campo elettrico in relazione al massimo carico di traffico necessita di alcuni parametri della rete, secondo le equazioni (1) per LTE e (2) per UMTS:

$$E_{LTE} = \sqrt{\frac{n_{RS}}{BF}} * \sqrt{\sum_n E_{RS_ANTn}^2} \Rightarrow E_{LTE} = \sqrt{\frac{n_{RS}}{BF}} * E_{RS} \quad (1)$$

$$E_{UMTS} = \frac{E_{CPICH}}{\sqrt{\rho_{CA}}} \quad (2)$$

Per LTE, E_{RS} nell'equazione (1) corrisponde alla somma dei valori di campo elettrico associate a ciascun segnale RS per ciascun ramo MIMO (E_{RS_ANTn}) trasmesso dalla SRB, n_{RS} corrisponde al rapporto fra la massima potenza emessa dalla SRB e la potenza del *Reference Signal RS* (n_{RS} è costante, una volta fissata la larghezza di banda occupata dal segnale LTE) e BF ("*Boosting Factor*") è un fattore di incremento della potenza (solitamente 1 o 2) del segnale RS che può essere implementato dal gestore della rete. Per UMTS, E_{CPICH} è il valore di campo elettrico misurato associato al solo Canale Pilota, mentre ρ_{CA} è il rapporto fra la potenza associata al canale pilota e quella massima trasmissibile. Mentre i valori del BF e ρ_{CA} sono parametri della rete e devono quindi essere forniti dai gestori, i valori degli altri parametri possono essere definiti da specifiche standard o misurati attraverso specifica strumentazione, come gli analizzatori di segnali vettoriali in grado di demodulare i segnali LTE e UMTS. Questa tecnica strumentale è la sola applicabile quando occorre verificare il superamento dei limiti di esposizione della popolazione definiti dalla normativa italiana. L'uso dell'analizzatore vettoriale (o strumentazione simile) è necessario al fine di identificare appropriatamente il contributo delle celle oggetto di misura; infatti, senza la possibilità di rilevare il "*Cell ID*" (per LTE) o lo "*Scrambling Code*" (per UMTS) non si può escludere la probabilità di una sovrastima dei valori dei segnali a causa dell'emissione di alcune portanti derivanti da altre SRB presenti nei dintorni di quella in esame.

Sono state impiegate due differenti tipologie di catene strumentali:

- A. Keysight Technologies N9020A Signal Analyzer con *personality* LTE e UMTS, R&S HLO50 antenna log-periodica e cavo coassiale a bassa perdita;
- B. Narda Selective Radiation Meter SRM 3006 con opzione demodulatore LTE e UMTS, antenna isotropica triassiale per campo elettrico (3502/01) e cavo di connessione.

In particolare, le misure sono state eseguite con un analizzatore di tipo A e due differenti analizzatori di tipo B (nel seguito indicati con B1 e B2). Una volta misurati i valori di E_{RS_ANTn} and E_{CPICH} per ciascuna portante, i valori di campo sono stati estrapolati alle condizioni di potenza massima utilizzando le equazioni (1) e (2), avendo richiesto ai gestori, successivamente alle misure, i valori dei parametri specifici della rete.

Infine, a conclusione del lavoro, si sono confrontati i valori di campo elettrico estrapolati alle condizioni di massima potenza con il valore derivato nello stesso punto di misura dalle stime prodotte attraverso il software di simulazione, eseguite in relazione al processo autorizzatorio dell'impianto.

Il valore teorico di campo elettrico viene stimato nell'ipotesi di propagazione in campo libero e in campo lontano, utilizzando la formula nota:

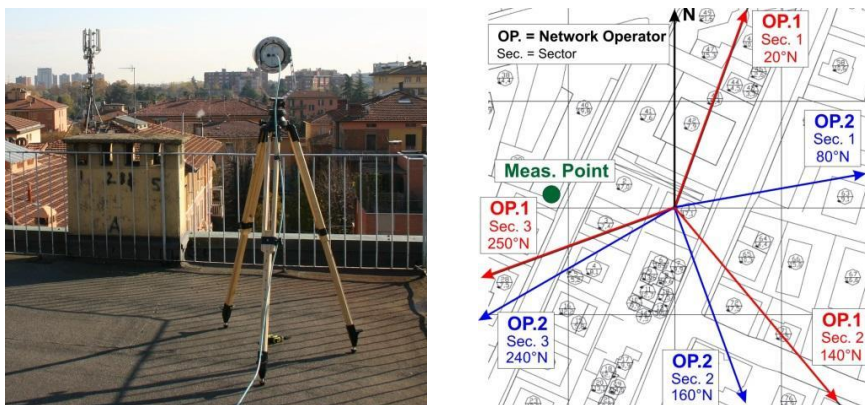
$$E = \sqrt{\frac{\eta}{4\pi} \frac{P_t}{r^2}} G \quad (3)$$

dove η è l'impedenza del vuoto (aria), P_t è la potenza totale al connettore d'antenna, G è il guadagno totale dell'antenna trasmittente e r è la distanza fra l'antenna e il punto di misura. L'utilizzo di 3 differenti software di valutazione, presenti in Arpa Emilia Romagna, che ha fornito risultati confrontabili, ha permesso di validare la consistenza dei modelli utilizzati.

3. CARATTERISTICHE DEL SITO DI MISURA E DELLE SORGENTI

Le misure di campo elettrico sono state eseguite in area urbana, presso un sito installato su un tetto nella città di Bologna: due operatori sono presenti sullo stesso palo, ciascuno con le proprie antenne su 3 settori. Il punto di misura è localizzato sul lastrico solare di un edificio adiacente, distante 46.4 m dalla SRB, in visibilità ottica con il sito in esame e abbastanza allineato con la direzione di emissione del 3° settore di entrambi i gestori, i cui segnali risultano quindi predominanti rispetto agli altri settori. La distanza fra il punto di misura e la SRB (sia sul piano orizzontale che verticale) è stata rilevata tramite puntatore laser (*Laser Technology mod. Impulse 200 LR*); attraverso un processo di triangolazione, è stata identificata sulla mappa l'esatta posizione del punto di misura per definirne l'azimuth, parametro essenziale da impiegare nel modello di simulazione (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Rappresentazione del sito di misura presso un lastrico solare di un edificio nella città di Bologna e della SRB presente nelle sue vicinanze



Fonte ARPA Emilia Romagna

Sono stati quindi acquisiti dai due gestori i parametri della rete (ID della cella per LTE e lo *scrambling code* per UMTS) relativi al 3° settore; la tecnologia LTE per

entrambi gli operatori è costituito da un sistema MIMO 2x2, non implementato nelle antenne per UMTS. Le antenne impiegate in questo settore corrispondono alla marca Kathrein modello 742236V01 e 742270V03, rispettivamente per l'OP.1 e OP.2; tutte le antenne presentano un tilt meccanico di -2 gradi ed uno elettrico di +4 gradi per entrambe i servizi; in Tabella 1.1 vengono riportate le principali caratteristiche radioelettriche e i parametri della rete.

Tabella 1.1 - Caratteristiche radioelettriche e parametri della rete dei sistemi SRB (3° settore)

	CANALI UMTS			CANALI LTE			
	Frequenza centrale (MHz)	P (W)	P _{CA} (%)	Frequenza centrale (MHz)	P (W)	BF	n _{RS}
OP.1	CH1: 2167.6	16	5.51	CH1: 1870.1	39.50	1	600
	CH2: 2162.6	16	5.51				
OP.2	CH1: 2152.6	6.91	15.7	CH1: 1817.5	26.91	2	900
	CH2: 2147.6	6.91	3.9				
	CH3: 2142.6	6.91	3.9				

Fonte ARPA Emilia Romagna

4. RISULTATI

Arpa ha eseguito le misure nel giugno 2014 con una catena strumentale dotata di analizzatore vettoriale (A) e due catene con analizzatori di spettro dotati di demodulatori per segnali LTE e UMTS (B). Il primo tipo di misure ha avuto lo scopo di caratterizzare qualitativamente i segnali, valutare l'ordine di grandezza del campo elettrico generato dalla SRB e verificare la risposta delle due differenti catene strumentali.

Questo primo gruppo di misure ha permesso di evidenziare che:

- ✓ I contributi principali derivano dalla SRB oggetto di indagine, ed in particolare da una delle 3 celle di irradiazione (cella 3)
- ✓ I valori ottenuti dalle due catene di misura sono confrontabili fra loro (Tabella 2.1 e 2.2)

Tabella 2.1 – Valori di campo elettrico misurati dalle diverse catene e valori estrapolati alla potenza massima – Segnale UMTS

CANALI UMTS								
	Frequenza centrale (MHz)	E_{CPICH} (V/m)			E_{UMTS} (P max) (V/m)			differenza relativa max (dB)
		A	B1	B2	A	B1	B2	
OP.1	CH1: 2167.6	0.44	0.44	0.53	1.87	1.87	2.26	1.6
	CH2: 2162.6	0.36	0.38	0.50	1.53	1.62	2.13	2.9
OP.2	CH1: 2152.6	0.44	0.40	0.51	1.11	1.01	1.29	2.1
	CH2: 2147.6	0.20	0.19	0.25	1.01	0.96	1.27	2.4
	CH3: 2142.6	0.20	0.19	0.24	1.01	0.96	1.22	2.0

Fonte ARPA Emilia Romagna

Tabella 2.2 – Valori di campo elettrico misurati dalle diverse catene e valori estrapolati alla potenza massima – Segnale LTE

CANALI LTE								
	Frequenza centrale (MHz)	E_{RS} (V/m)			E_{LTE} (P max) (V/m)			differenza relativa max (dB)
		A	B1	B2	A	B1	B2	
OP.1	CH1: 1870.1	0.13	0.12	0.14	3.18	2.94	3.43	1.3
OP.2	CH1: 1817.5	0.072	0.060	0.071	1.53	1.27	1.51	1.6

Fonte ARPA Emilia Romagna

Per entrambi i tipi di segnali, i valori risultanti hanno mostrato un buon accordo entro 2.9 dB, compreso nel range della stima dell'incertezza estesa, come riportato nel prossimo parametro. I valori misurati dalle catene definite A e B1 risultano confrontabili entro 1.6 dB. La stima dell'incertezza è stata eseguita identificando tutti i principali contributi al risultato finale, in accordo con la metodica indicata in S. Adda et al (2014), CENELEC (2008, 2014), E. Karabetsos et al. Nella seguente

tabella sono riportate le principali sorgenti di errore insieme al loro valore relativo: i contributi maggiori derivano dal Fattore d'Antenna e dalla linearità della risposta; non possono inoltre essere trascurate le perturbazioni ambientali.

Tabella 2.3 – Stima dei contributi all'incertezza di misura

			Incertezza relativa u_v (%)		
Sorgente	Distr. Prob.	Divisore (k)	A	B1	B2
Attenuazione del cavo	Normale	2	2.3	2.3	2.3
Frequenza	Normale	2	2.3	2.3	2.3
Fattore d' antenna	Normale	2	12.2	12.2	12.2
Linearità *	Normale	2	13.0	13.0	13.0
Isotropia **	Rettangolare	1.73	na	0.8	1.2
Perturbazione ambiente	Normale	2	7.7	6.6	8.8
<i>Mismatch***</i>	<i>U shape</i>	1.41	1.1	na	na
Incertezza estesa (k=2) %			19.8	19.3	20.2
Incertezza estesa (k=2) dB			1.6	1.5	1.6

Fonte ARPA Emilia Romagna

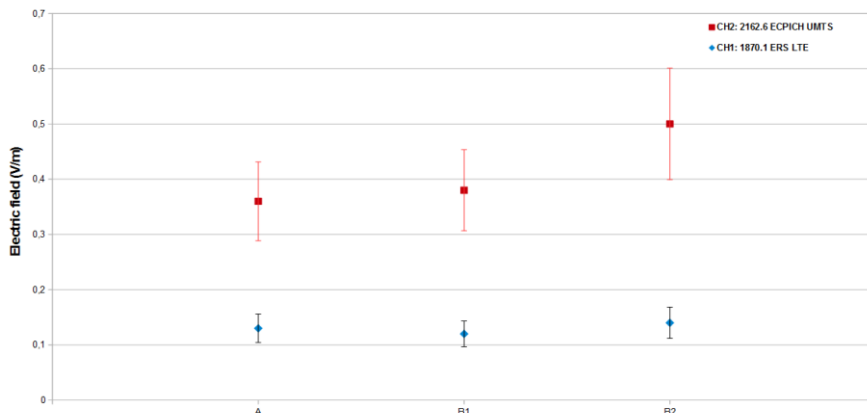
Note

* valutata solo per B1

** solo per antenna isotropa

***non disponibile per B1 e B2

Figura 2.1 – Confronto per due differenti set di misura: UMTS a 2162.6 MHz e LTE a 1870.1 MHz



Fonte ARPA Emilia Romagna

Considerando le incertezze stimate, tutti i valori sperimentali derivati dalle 3 diverse catene strumentali mostrano un buon accordo entro l'intervallo di confidenza del 95%.

Sono stati infine confrontati i valori di campo elettrico stimati attraverso i modelli di simulazione in campo libero con i valori estrapolati alla massima potenza: i risultati sono mostrati nella seguente tabella.

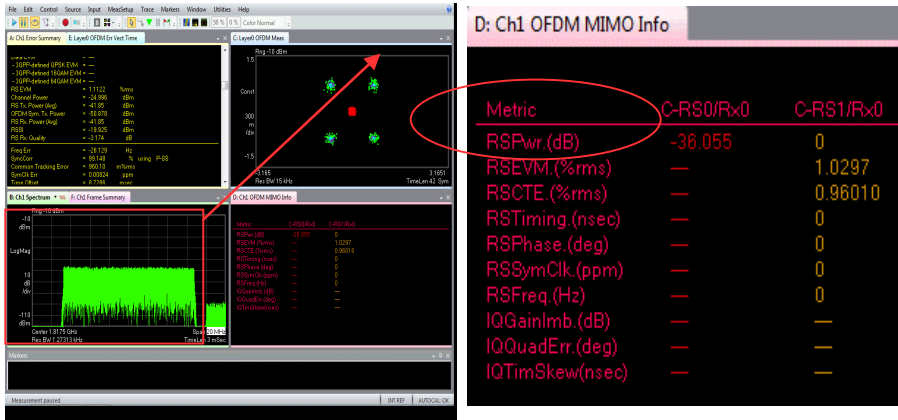
Tabella 2.4 –Confronto fra i valori di campo derivati dal modello di valutazione ed i valori estrapolati alla potenza massima

	operatore	E (modello) (V/m)	E (Pmax) (V/m)			Differenza massima (dB)
			A	B1	B2	
UMTS	OP. 1	3.9	2.4	2.5	3.1	4.2
	OP. 2	2.3	1.8	1.7	2.2	2.7
LTE	OP. 1	4.2	3.2	2.9	3.4	3.1
	OP. 2	2.8	1.5	1.3	1.5	6.8
totale	totale	6.8	4.6	4.4	5.3	3.8

Fonte ARPA Emilia Romagna

Come riportato in Tabella 2.4, si osserva una sovrastima dei valori stimati dal modello di calcolo rispetto ai valori estrapolati, in un range che va da 2.7 a 4.2 dB per UMTS e da 3.1 a 6.8 dB per LTE. Rispetto alla maggiore differenza (6.8 dB) per il segnale LTE dall'OP.2, le misure hanno rilevato la presenza di un solo ramo del sistema MIMO, invece dei 2 comunicati in precedenza dal gestore stesso, malfunzionamento confermato successivamente dallo stesso gestore. Con il corretto funzionamento del MIMO 2x2, la differenza fra i segnali sarebbe risultata circa 3 dB invece di 6.8 dB.

Figura 2.2 – Misure di E_{RS_ANTn} per il sistema LTE (OP.2)



Fonte ARPA Emilia Romagna

Escludendo questo malfunzionamento le differenze fra i valori di campo elettrico risultanti dal modello ed i valori estrapolati possono essere imputabili principalmente all'incertezza sui parametri di base di input del modello, come il valore del tilt e dei diagrammi di antenna e l'approssimazione del modello in campo libero. Rispetto all'ambiente in cui si propaga il campo, sebbene per il sito d'indagine sia stata verificata la condizione di campo lontano, il software utilizzato, basato sulla condizione di propagazione in campo libero, quindi senza ostacoli, non può quindi tenere in considerazione effetti di riflessione o rifrazione che invece possono essere importanti.

BIBLIOGRAFIA

S. Adda, G. d'Amore, L. Anglesio, S. d'Elia, R. Suman, *Misura dell'esposizione umana a campi elettromagnetici da segnali LTE: l'applicazione dell'appendice E alla norma CEI 211-7* atti XXXVII convegno nazionale AIRP, pp 342-354, 2014

CEI 211-7/E: 2013-09 *Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana Appendice E: Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio base per sistemi di comunicazione mobile (2G, 3G, 4G)*

CENELEC EN 50492:2008-11, EN 50492/A1:2014-03 *Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations*

E. Karabetos, G. Filippopoulos *Uncertainty estimation in electromagnetic field measurements for assessing compliance with safety limits*, Proceedings of the XXVIIIth URSI General Assembly in New Delhi (October 2005)

NARDA Application Note *Accounting for measurement uncertainty in the SRM-3000*

ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE A MICROONDE EMESSE DA UN RADAR METEOROLOGICO MOBILE IN AMBITO URBANO

P. Zanichelli¹, I. Taddei¹, M. Poli¹, M. Frascetta¹, L. Gaidolfi¹, M. Bassanino², O. Cazzuli², R. Cremonini³, S. Adda³, L. Anglesio³, E. Caputo³

¹ Agenzia regionale per la Prevenzione e l'Ambiente dell'Emilia Romagna

² Agenzia regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia

³ Agenzia regionale per la Protezione dell'Ambiente del Piemonte

ABSTRACT

In occasione dell'Esposizione Universale EXPO 2015, ARPA Lombardia ha provveduto a fornire a EXPO S.p.A. un servizio specifico e dedicato di assistenza meteorologica per tutta la durata dell'evento. Tra le attività si è realizzato il monitoraggio meteorologico intensivo dell'area installando, tra l'altro, un radar meteorologico polarimetrico in banda X. Il radar, di proprietà di ARPA Piemonte e gestito dall'Unità di Radarmeteorologia del Dipartimento Sistemi Previsionali di ARPA Piemonte, è stato collocato in luogo non accessibile al pubblico, sulla copertura di uno degli edifici all'interno dell'area di Fiera Milano adiacente al sito EXPO.

Negli ultimi anni in ambito metropolitano si sta diffondendo l'utilizzo di reti di radar meteorologici in banda X a supporto della gestione dell'idrologia urbana e del rischio naturale (*urban floods, severe storm*), in quanto strumenti utili per un monitoraggio accurato, ad elevata risoluzione spaziale e temporale su aree estese. D'altro canto, trattandosi proprio di ambito urbano ad elevata densità abitativa, si pone il problema di valutare gli aspetti di radioprotezione connessi all'eventuale esposizione della popolazione alla radiazione elettromagnetica irradiata dall'antenna.

L'installazione di ARPA Lombardia per EXPO offre l'opportunità di effettuare una valutazione di campo elettromagnetico prodotta da un radar in banda X in ambito urbano. Per questo è stata attivata una specifica collaborazione tra ARPA Lombardia e ARPA Emilia-Romagna, che ha fornito il supporto tecnico per l'effettuazione delle misure. Alle rilevazioni, eseguite il 22 giugno 2015 con la collaborazione del Dipartimento Sistemi Previsionali di ARPA Piemonte, ha partecipato anche la Struttura Radiazioni Non Ionizzanti del Dipartimento Tematico Radiazioni di ARPA Piemonte. I risultati dell'indagine, che ovviamente non ha la pretesa di considerarsi un effettivo interconfronto tra tecniche di misura differenti, hanno comunque messo in evidenza la confrontabilità delle metodologie utilizzate nelle rilevazioni oltre a dimostrare, anche nelle condizioni particolarmente cautelative impiegate, l'ampio rispetto dei livelli di riferimento per la popolazione indicati dalle Linee Guida ICNIRP, sia per i valori mediati su 6 minuti, sia per i valori di picco.

PAROLE CHIAVE: campi elettromagnetici, radar, esposizione, microonde

1. MODALITÀ DI ESECUZIONE DELL'INDAGINE, SET DI ESERCIZIO DEL RADAR E STRUMENTAZIONE DI MISURA

Il contesto di installazione del radar è quello della prima periferia di una grande città con insediamenti industriali, commerciali e, nel caso di specie, fieristici che si inseriscono in un contesto anche residenziale (Fig. 1.1).

Figura 1.1 Sito radar e punti misura



Fonte ARPA Emilia Romagna e Google earth

Il radar è di tipo mobile/rilocabile e, attraverso una gru, è stato installato sulla copertura piana di un capannone presente nell'area Fiera di Milano, adiacente al sito EXPO.

Nelle prime scansioni dell'atmosfera, caratterizzate da basse elevazioni ed in particolare quella d'inizio a $+1.5^\circ$, il fascio primario di radiazione è in grado di intercettare l'edificio circostante che si trova a maggiore altezza rispetto a quella d'installazione.

Tale situazione, negli edifici di maggiore prossimità, ricorre in riferimento a porzioni della costruzione che ospita i padiglioni 8-12-16 e 20 della Fiera. Per tale ragione, i due punti di rilievo sono stati individuati nell'area sopraelevata destinata a parcheggi auto collocati a lato dei suddetti padiglioni. Inoltre, i due punti sottendono, con discreta approssimazione, direzioni lungo le quali, a maggiore distanza, si trovano gli edifici più alti (Hotel NH Fiera e Palazzo Wind Telecomunicazioni in Fig. 1.1).

Il piano carrabile di entrambi i punti indagati si trova a circa 5 m sopra il centro elettrico dell'antenna radar e le rispettive distanze sono risultate di 158 m (P.to 1) e 309 m (P.to 2), come evidenziato dai rilievi effettuati con distanziometro laser dotato di inclinometro e GPS a precisione submetrica in post-elaborazione (Fig. 1.3).

Il radar meteorologico, le cui principali caratteristiche sono riepilogate nella Tabella 1.1, è di proprietà di Arpa Piemonte che ne ha curato anche il funzionamento, adattandolo, nel corso dei rilievi, alle specifiche esigenze valutative.

Tabella 1.1: Principali caratteristiche del radar meteorologico in banda X

Frequenza di lavoro nominale (GHz)	9.375		
Potenza di picco nominale (kW)	75		
Tempo di accensione (τ) (μ s)	0.5	1.0	2.0
Frequenza di ripetizione (PRF) (Hz)	250 ÷ 2000		
Amp. del lobo princ. a -3 dB ($^{\circ}$)	1.3		
Guadagno antenna (dBi)	43		
Polarizzazione	H e V		
Massima velocità di rotazione ($^{\circ}$ /s)	36		
Tilt minimo di esercizio ($^{\circ}$)	+1.5 (nel sito EXPO)		
Diametro antenna (m)	1.8		
Range operativo (km)	~80		
Dinamica ricevitore (dB)	≥ 90		

Fonte ARPA Emilia Romagna

La sequenza operativa di scansione dell'atmosfera è costituita da 6 elevazioni (1.5, 3, 5.5, 10, 20 e 89 gradi) con *sector blanking* in direzione Sud – Sud Ovest, PRF 1200 Hz e impulso da 1 μ s.

Il *sector blanking* (blocco emissione radiazione su una porzione dell'area di esplorazione) si è reso necessario a scopo precauzionale al fine di evitare l'intercettazione, da parte del fascio primario di radiazione, degli edifici di maggiore altezza presenti proprio nella direzione Sud – Sud Ovest in cui sono stati individuati i due punti di indagine.

In condizioni di normale esercizio, con il *sector blanking* correttamente impostato, i livelli di campo elettrico presenti nei due punti di misura risultano nulli in conseguenza dell'intervento del blocco emissione radiazione. Tuttavia, al fine di acquisire informazioni sui livelli di esposizione anche nel caso si verificano anomalie al funzionamento del radar che portino al mancato intervento di alcune protezioni, l'operatività del radar è stata o manualmente forzata (casi a. e c.) o simulata (caso b.) per riprodurre i seguenti malfunzionamenti che determinano condizioni estremizzate di maggiore esposizione:

- a. avaria al sistema di protezione denominato "*sector blanking*". Tale sistema impedisce l'emissione di radiazione quando l'azimut ed il tilt dell'antenna radar sono tali da portare il lobo primario di radiazione ad intercettare gli edifici più alti prossimi. L'ipotesi presa in esame è che tale protezione non intervenga e l'erogazione di radiazione, in riferimento ai due punti successivi, avvenga normalmente;

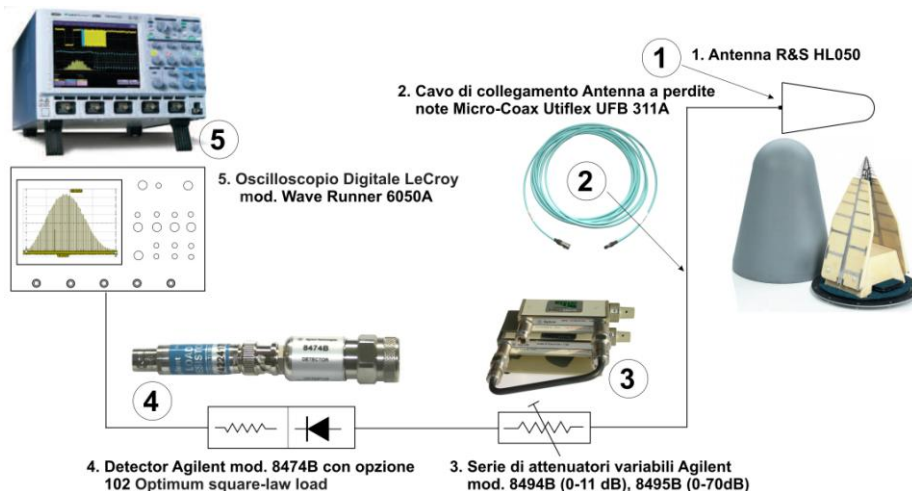
- b. avaria al sistema di rotazione dell'antenna con blocco nella direzione del recettore ed avaria al sistema di blocco erogazione radiazione anche in presenza dell'allarme rotazione antenna, con mantenimento delle condizioni suddette per almeno 6 minuti. Il recettore è investito dal lobo primario di radiazione;
- c. avaria al sistema di sequenze programmate con antenna in rotazione sempre all'alzo, tale per cui il recettore è investito dal lobo primario di radiazione, tempo di esposizione del recettore pari al tempo di illuminazione valutato per valori superiori alla sensibilità strumentale e campo elettrico che investe il recettore pari al valore massimo di picco. In questo caso il recettore riceve una esposizione pari a quella massima possibile nel periodo di illuminazione e nulla per tutto il resto della rotazione dell'antenna.

Un controllo della potenza erogata dal radar nel corso dei rilievi, effettuato da Arpa Piemonte, ne ha evidenziato la variabilità, soprattutto nella sessione mattutina inerente il punto 1; tuttavia, i dati riportati di seguito, si riferiscono, con ragionevole certezza, a valori compresi tra 55 e 65 kW. La frequenza di lavoro, rilevata mediante analizzatore di spettro, è risultata essere di 9.367 GHz. Gli impulsi sono stati impostati per una durata di 1 μ s, con una frequenza di ripetizione (PRF) pari a 1000 Hz ed una velocità di rotazione dell'antenna pari a 14°/s.

La gestione del radar ha inoltre permesso di individuare l'esatta elevazione in corrispondenza della quale si massimizza il campo elettrico all'antenna ricevente del set di misura. È stato pure verificato che, rispetto ai valori individuati (4.8° per il p.to 1 e 1.5° per il p.to 2), ad un aumento o diminuzione dell'alzo seguiva sempre una riduzione del campo ricevuto.

I rilievi finalizzati alla verifica del rispetto dei livelli di riferimento, effettuati da Arpa Emilia Romagna in supporto tecnico ad Arpa Lombardia, sono stati eseguiti, con la catena di misura (CS-A) in dotazione alla sezione di Reggio Emilia, nei due punti di indagine sopra individuati. Arpa Piemonte – Dipartimento Tematico Radiazioni – Struttura Radiazioni Non Ionizzanti, ha eseguito rilievi nel solo punto 1, utilizzando una diversa catena di misura (CS-B), che ha consentito di ottenere dati utili per un confronto. Il *set* CS-A opera nel dominio del tempo e si basa sull'uso del *detector* Agilent mod. 8474B e dell'oscilloscopio digitale LeCroy Wave Runner mod. 6050A; completano il *set* l'attenuatore variabile Agilent mod. 8495B, il cavo a basse perdite Micro-Coax Utiflex UFB 311A e l'antenna R&S HL050 (Fig. 1.2).

Figura 1.2 - Catena di misura CS-A



Fonte ARPA Emilia Romagna

Il procedimento consiste nella rivelazione degli impulsi emessi dal radar mediante il *detector* e nella successiva misura dei parametri di caratterizzazione (ampiezza, durata, PRF), per entrambe le polarizzazioni dell'antenna, con l'oscilloscopio; quest'ultimo dispone di una discreta profondità di memoria (24 Mpts) che, associata ad una adeguata velocità di campionamento, consente, in un'unica rotazione dell'antenna radar, di acquisire tutti i parametri d'interesse. Con la funzione di segmentazione della memoria è inoltre facilmente misurabile anche il periodo di rotazione dell'antenna.

Il campo elettrico che investe l'antenna è ottenuto attraverso la seguente relazione:

$$E(V/m) = 10^{\frac{mV \cdot k_D + dB_{AAD} + dB_{AF} - 13.01}{20}}$$

mV	tensione letta sull'oscilloscopio in mV
k_D	coefficiente di conversione del <i>detector</i> da mV a dBm
dB_{AAD}	attenuazione, espressa in dB, introdotta tra l'antenna e il <i>detector</i>
dB_{AF}	<i>antenna factor</i> (k), alla frequenza operativa del radar, espresso in dB

Mentre dB_{AAD} e dB_{AF} sono dati forniti dal costruttore, per la determinazione del coefficiente di conversione del *detector* k_D è stato necessario ricorrere alla sua taratura: mediante generatore settato con parametri analoghi a quelli di esercizio dei radar, è stata ottenuta sperimentalmente la curva che rappresenta la tensione in uscita dal *detector* in funzione della potenza applicata al suo ingresso (Zanichelli P. et al., 2011).

Il *set* CS-B opera nel dominio della frequenza e si basa sull'uso dell'analizzatore di spettro Agilent N9020A (20 Hz – 26.5 GHz); completano il *set* gli attenuatori BIRD (10-20 dB), il cavo SUCOFLEX e l'antenna Horn AH SYSTEM Inc. SAS-571 (700 MHz – 18 GHz).

Le misure sono state eseguite secondo quanto previsto dalla norma CEI 211-7/B, utilizzando l'analizzatore di spettro in modalità "pulse spectrum".

Gli spettri sono stati acquisiti posizionando l'antenna nelle due posizioni ortogonali, in modalità *MaxHold* per circa 10' per asse, al fine di acquisire un sufficiente numero di campioni e ricostruire il valore di picco dell'impulso. Si è quindi effettuata la somma quadratica dei valori acquisiti per i due assi verticale ed orizzontale e si è proceduto al calcolo del valore medio.

Per entrambi i *set*, l'antenna di misura è stata posizionata su palo telescopico, in dotazione a ciascun mezzo mobile, ad una quota dal piano carrabile pari ad 8 m, altezza che ben realizza anche le condizioni di campo imperturbato previste dalla norma CEI 211-7.

A completamento delle misure di campo elettrico sopra illustrati, sono stati eseguiti, con strumentazione in dotazione ad Arpa Emilia Romagna – sezione di Reggio Emilia (Fig. 1.3), rilievi di parametri geometrici e topografici come la distanza dei punti di indagine dal radar, la relativa altezza verticale rispetto al centro elettrico della sorgente e la terna di coordinate. Tali parametri sono stati utili a conferma delle scelte localizzative effettuate, per l'individuazione preliminare delle elevazioni di massimo segnale all'antenna ricevente e per eventuali confronti con simulazioni previsionali.

Figura 1.3 *Strumentazione per i rilievi geometrici e topografici*



Fonte ARPA Emilia Romagna

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La disciplina inerente le installazioni radar, ai sensi del DPCM 8 luglio 2003 (art. 1 comma 3), viene rimandata a successivo decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, ai sensi dell'art. 4, comma 2, lettera a), della legge 22 febbraio 2001, n. 36 che, allo stato attuale, non è ancora stato emanato.

In assenza del DPCM di cui al comma 3 dell'art. 1 del DPCM 8 luglio 2003 suddetto, occorre riferirsi a quanto previsto al comma 4 dell'art. 1 che recita: *"A tutela dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz, generati da sorgenti non riconducibili ai sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999"*.

La Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999, relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz, recepisce integralmente le Linee Guida dell'ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*), un'organizzazione scientifica internazionale riconosciuta dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità). Le Linee Guida sono state pubblicate nel 1998 (ICNIRP, 1998).

L'ICNIRP, rilevando che dal 1998 si sono conclusi diversi programmi nazionali e internazionali di ricerca ed altri nuovi sono stati avviati in modo sempre più mirato e che i risultati di tali studi e ricerche sono oggi pubblicati e disponibili in particolare per frequenze superiori a 100 kHz, ha iniziato un processo di revisione delle Linee Guida del 1998. È comunque Sua opinione, nonostante il processo di revisione avviato, che la letteratura scientifica pubblicata dopo le Linee Guida del 1998 non fornisca evidenze di effetti avversi per la salute quando sono rispettate le Restrizioni di Base contenute nelle Linee Guida stesse e che queste ultime non necessitano di una revisione immediata per le alte frequenze (ICNIRP, 2009).

Per l'esposizione della popolazione, i livelli di riferimento indicati, intesi come media temporale su qualsiasi periodo di 6 minuti, sono riportati in tabella 2.1.

Tabella 2.1: livelli di riferimento per la popolazione indicati dall'ICNIRP e dalla Raccomandazione (medie su qualsiasi periodo di 6 minuti)

Intervallo di frequenza f	Campo elettrico E (V/m)	Densità di potenza (W/m ²)
10 – 400 MHz	28	2
400 – 2000 MHz	$1.375 * \sqrt{f}$	f/200
2 – 300 GHz	61	10

Fonte ICNIRP 1998

Inoltre, per segnali di tipo pulsato con frequenze superiori a 10 MHz, quali quelli del radar in oggetto, si raccomanda che i valori di picco della densità di potenza equivalente o del campo elettrico non superino, rispettivamente di 1000 volte o di 32 volte, i corrispondenti livelli di riferimento indicati in Tabella 2.1. In sostanza, nel nostro caso, poiché la frequenza di lavoro del radar è pari a 9.367 GHz, i valori di picco da non superarsi risultano essere pari a 10000 W/m² per la densità di potenza, ovvero 1952 V/m per il campo elettrico.

I corrispondenti valori medi, su un qualunque arco di 6 minuti, sono indicati nell'ultima riga della Tabella 2.1 sopra riportata, cioè 10 W/m² per la densità di potenza e 61 V/m per il campo elettrico.

3. RISULTATI E CONCLUSIONI

I risultati dei rilievi effettuati nel punto 1 ed utili per un confronto, sono riportati nella seguente tabella 3.1

Tabella 3.1: confronto tra i rilievi del campo elettrico di picco nel punto 1

Potenza di picco (kW)	Tilt radar (°)	Campo elettrico di picco (E _p) rilevato				Scarti E _{pEMR} -E _{pPIEM} (dB)
		Arpa EMR (CS-A)		Arpa PIEM (CS-B)		
		V/m	dB _{V/m}	V/m	dB _{V/m}	
60	0	65.4	36.3	58.8	35.4	0.9
60	4.5	942.6	59.5	1032.4	60.3	-0.8

Come si evidenzia dagli scarti riportati in tabella 3.1, le due catene strumentali mostrano un ottimo accordo contenuto entro ±1 dB.

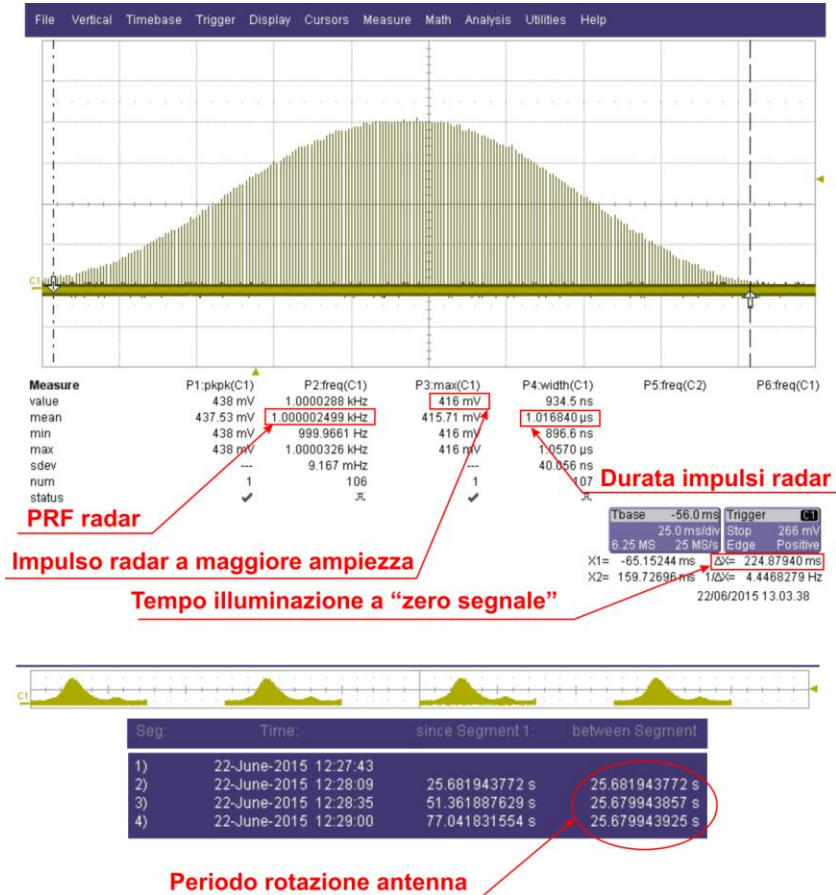
Questo riscontro conferma la validità di entrambe le metodiche di rilevamento e fornisce ulteriori rassicurazioni in merito ai risultati inerenti le verifiche del rispetto dei livelli di riferimento.

Nella successiva tabella 3.2 e nella Fig. 3.1 sono riportati i parametri temporali rilevati con la catena CS-A e necessari per il calcolo dei valori di campo elettrico mediati su 6 minuti.

Tabella 3.2: verifiche del rispetto dei livelli di riferimento rilievo dei parametri temporali

PRF (Hz)	Durata impulso(ns)	Tempo di rotazione per un giro completo antenna (s)	Tempo illuminazione rilevato a "zero segnale" (s)
1000	1020	25.7	0.23 (P.to 1)
			0.21 (P.to 2)

Figura 3.1 Esempio di print screen con evidenziati i parametri d'interesse necessari per il calcolo dei valori di campo elettrico mediati su 6 minuti.



Fonte Arpa Emilia Romagna

PRF, durata impulso e tempo di rotazione sono in ottimo accordo con quelli impostati nel radar e descritti nel paragrafo 1. Il tempo di illuminazione indicato è stato valutato, ai fini protezionistici, in senso conservativo a "zero segnale". È tuttavia stato misurato anche il corrispondente valore a metà potenza, pari a circa 0.1 s. A tale valore corrisponde un apertura del fascio a -3 dB, calcolata per proporzione diretta a partire dal tempo di rotazione rilevato, pari a 1.4°, che è in ottimo accordo con il valore riportato sul *datasheet* dell'antenna del radar (1.3°).

Nelle tabelle 3.3 e 3.4 sono riportati i valori di campo elettrico di picco e mediati su 6 minuti da confrontarsi con i livelli di riferimento previsti dalla normativa vigente.

Tabella 3.3: rilievo del campo elettrico di picco e confronto con i riferimenti normativi per valori di picco

P.to Rilievo	Potenza di picco (kW)	Tilt radar (°)	Campo elettrico di picco (E_p) rilevato (V/m)	Riferimento normativo Campo elettrico di picco (V/m)
1	60	4.8	987	1952
2	62	1.5	552	

Le simulazioni effettuate con la formula di spazio libero nei due punti indagati, forniscono valori che sono in linea, entro 1.2 dB, con quelli misurati.

Tabella 3.4: Valori mediati del campo E nelle ipotesi a., b. e c. del paragrafo 1 e confronto con i riferimenti normativi per valori mediati su 6 minuti

P.to Rilievo	Potenza di picco (kW)	Tilt radar (°)	E_{medio} 6 min antenna ferma: caso a+b (V/m)	E_{medio} 6 min antenna rot.: caso a+c (V/m)	Riferimento normativo campo elettrico RMS 6 min (V/m)
1	60	4.8	31.2	3.0	61
2	62	1.5	17.5	1.6	

Dal confronto con i rispettivi livelli di riferimento normativo, si evince che i livelli di campo elettrico riscontrati, sia relativamente ai valori di picco che medi, sono sempre risultati inferiori a quelli indicati dalla Raccomandazione dell'Unione Europea del 12 luglio 1999, relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz.

BIBLIOGRAFIA

ICNIRP, 1998. *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. Health Physics Vol. 74 (4), pagg. 494-522

ICNIRP, 2009. *Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)"*. Health Physics 97 (3), pagg. 257-259

Zanichelli P., Frascetta M., Tiberti M., Righi S., Poli M., Violanti S., Alberoni P. P., 2011. *Sorveglianza fisica ambientale sulle emissioni elettromagnetiche provenienti dai Radar in uso al Servizio Idro-Meteo-Clima di Arpa della Regione Emilia-Romagna*. Atti convegno AIRP Reggio Calabria

CARATTERIZZAZIONE DI SITI IN AMBITO URBANO IN PRESENZA DI STAZIONI RADIO BASE PER L'APPLICAZIONE DI TECNICHE DELLA NORMA CEI 211-7/E: UN CASO DI STUDIO A COMO

D. de Bartolo¹, E. Nava¹, M.E. Zavatti¹ e altri¹

¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia

ABSTRACT

Il recente sviluppo delle reti di telefonia mobile e l'implementazione della tecnica LTE, hanno portato a stimare, per numerosi siti in Lombardia, sulla base dei dati tecnici autorizzativi, valori di campo elettromagnetico (in ambiente adibito a permanenza superiore alle 4 ore) che si avvicinano al livello di attenzione di 6 V/m.

La normativa nazionale vigente, prevede, che i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz siano intesi come media dei valori nell'arco delle 24 ore e la guida tecnica CEI 211-7/E introduce tecniche di estrapolazione che consentono di ottenere il valor medio sulle 24 ore a partire da misure selettive di breve durata,

A partire dalla caratterizzazione di un sito SRB in ambito urbano si è indagato sull'ottimizzazione delle modalità di misura selettive di breve durata e di applicazione delle tecniche di estrapolazione allo scopo di poter procedere con un piano di controllo di siti di interesse. .

PAROLE CHIAVE

Stazioni radio base, valori di attenzione, misure, campo elettromagnetico

1. PREMESSA

Il Decreto Legge, n. 179 del 18 ottobre 2012, coordinato con la Legge di conversione del 17 dicembre 2012, n. 221, prevede, che i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz siano intesi come media dei valori nell'arco delle 24 ore, mentre il limite di esposizione viene ancora considerato sui 6 minuti.

Al quadro normativo sono seguite, nel settembre 2013, la norma CEI 211-7, appendice E "Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio base per sistemi di comunicazione mobile (2G, 3G, 4G), tecniche relative alle procedure di misura" e, nel dicembre 2014, le "Linee guida, relative alla definizione delle modalità con cui gli operatori forniscono all'ISPRA e alle ARPA/APPA i dati di potenza degli impianti e alla definizione dei fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tener conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore" (G.U. 296 del 22/12/2014).

In attuazione a queste disposizioni, le misure possono essere utilizzate per le verifiche del rispetto o superamento dei livelli stabiliti dalla normativa tramite confronto diretto con la soglia d'interesse, solo se sono mediate su un intervallo temporale pari a quello definito dalla normativa stessa, ovvero 6 minuti per il limite di esposizione e 24 ore per il valore di attenzione e per l'obiettivo di qualità.

2. SITUAZIONE IN LOMBARDIA

In Lombardia a causa del notevole sviluppo della rete di telefonia mobile, dell'implementazione della tecnologia LTE e dell'elevata urbanizzazione, numerosi sono attualmente i siti nel cui intorno i valori di campo elettromagnetico simulati, tramite software dedicati, a partire dai dati tecnici degli impianti installati, si avvicinano al valore di attenzione di 6 V/m. Risulta quindi particolarmente importante effettuare controlli in campo con modalità conformi alle norme tecniche vigenti.

È stato quindi avviato uno studio con l'obiettivo di conciliare la necessità di misurare valori statisticamente significativi con le esigenze logistiche in sede di controllo a campo.

In particolare è stata indagata la fattibilità di misure in banda stretta e l'ottimizzazione delle modalità di acquisizione del dato finalizzato all'applicazione delle tecniche di estrapolazione.

Tramite le tecniche di estrapolazione previste dalla norma CEI 211-7/E si può infatti accertare il superamento del valore di attenzione o dell'obiettivo di qualità, definiti come valori medi sulle 24 ore, con misure di durata molto inferiore.

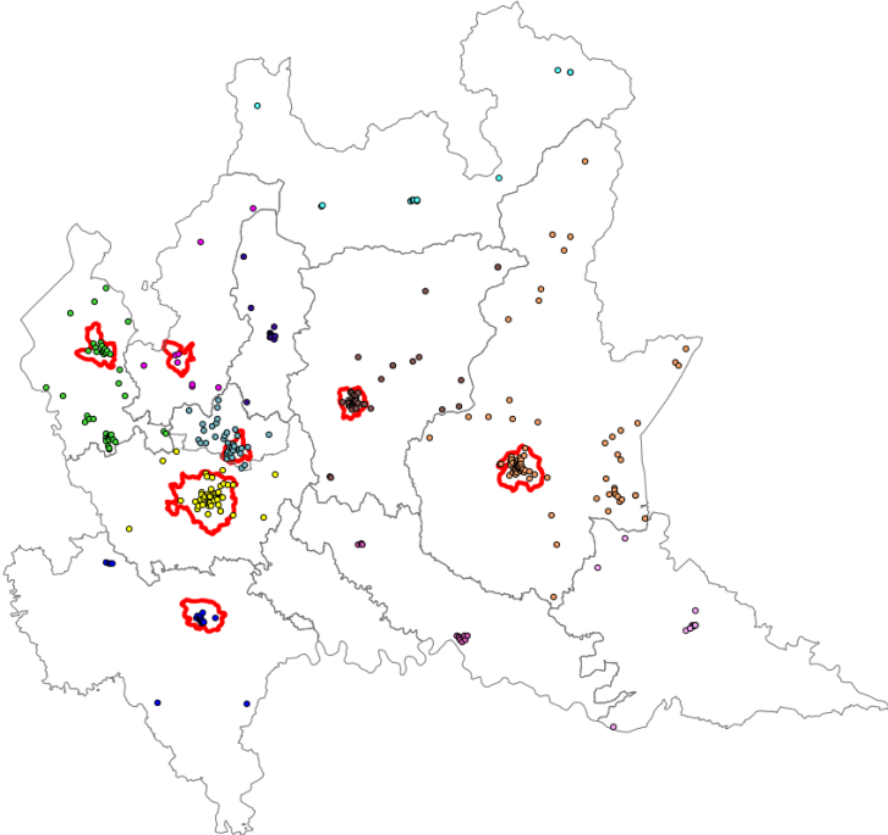
Allo scopo di definire la periodicità ottimale di acquisizione dell'analizzatore di spettro è stato studiato l'andamento temporale dei segnali registrati, per combinare i tempi di risposta dello strumento e del sistema di gestione del dato con i tempi di variazione dei segnali in ambiente. Tali tecniche sono particolarmente indicate in situazioni di controllo in campo che spesso vengono svolte in abitazioni private.

3. CRITERI DI PIANIFICAZIONE DEI CONTROLLI

Per avere un primo quadro descrittivo, sulla base dei dati tecnici degli impianti presentati dai gestori in fase di autorizzazione, SCIA e comunicazione, sono stati identificati i siti in Lombardia per cui le valutazioni hanno evidenziato valori di campo elettrico superiori a 5.2 V/m. Tali siti sono rappresentati nella mappa 3.1 mostrata di seguito, nella quale sono anche evidenziati i confini comunali delle città oggetto del rapporto aree urbane (Bergamo, Brescia, Como, Milano, Monza, Pavia e Varese).

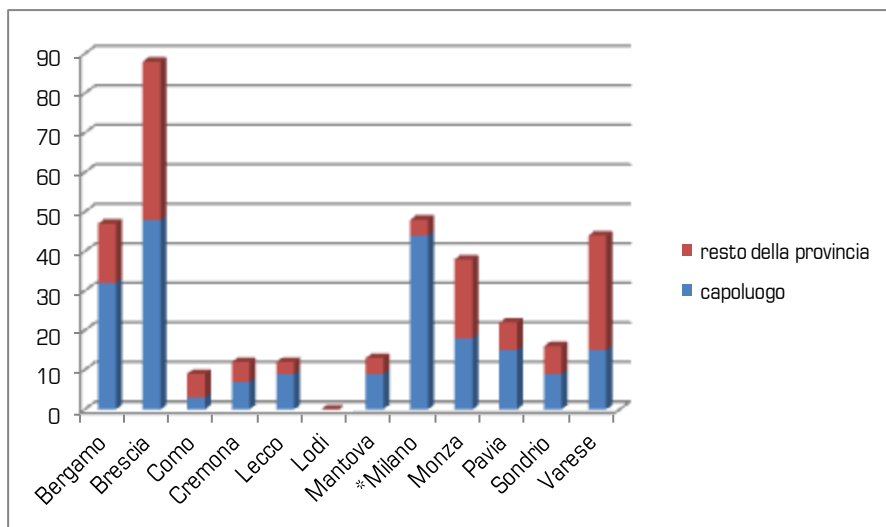
Nei grafici e nella figura per Milano sono stati conteggiati solo i siti con valori stimati superiori ai 6 V/m, poiché in questo caso i siti con valori superiori a 5.2 V/m sono molto numerosi.

Mappa 3.1: siti SRB in Lombardia per cui le simulazioni di campo elettrico hanno fornito valori superiori a 5.2 V/m in locali adibiti alla permanenza superiore alle 4 ore. Nella mappa sono tracciati confini provinciali e, in rosso, i confini delle città oggetto del rapporto aree urbane.



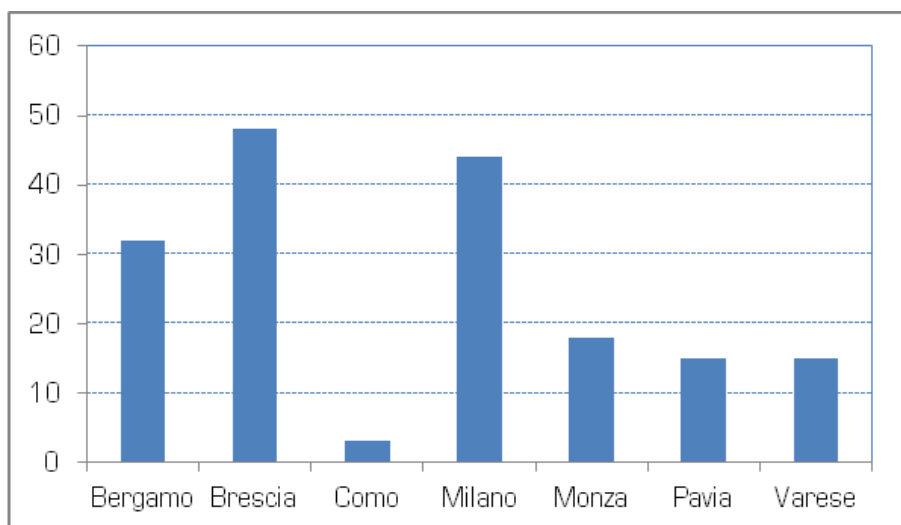
Fonte: Arpa Lombardia. Dicembre 2014

Grafico 3.1: numero di siti SRB in Lombardia per cui le simulazioni di campo elettrico hanno fornito valori superiori a 5.2 V/m in locali adibiti alla permanenza superiore alle 4 ore. Capoluoghi e province. Per Milano sono stati conteggiati solo i siti con valori stimati superiori ai 6 V/m, poiché in questo caso i siti con valori superiori a 5.2 V/m sono molto numerosi.



Fonte: Arpa Lombardia. Dicembre 2014

Grafico 3.2: numero di siti SRB nei comuni di Bergamo, Brescia, Como, Milano, Monza, Pavia e Varese per cui le simulazioni di campo elettrico hanno fornito valori superiori a 5.2 V/m in locali adibiti alla permanenza superiore alle 4 ore.



Fonte: Arpa Lombardia. Dicembre 2014

In questo primo anno di attività sono stati individuati complessivamente circa 50 siti in cui effettuare le misure di verifica, la maggior parte delle quali è tuttora in corso. Dalle prime misure effettuate è possibile fare alcune considerazioni preliminari per la valutazione della situazione di livello di campo elettromagnetico nelle aree urbane della Lombardia.

Si riscontra che il valore misurato è generalmente inferiore a quello stimato dalle simulazioni modellistiche e tale differenza può essere dovuta non solo ad un'impresione intrinseca nella valutazione, ma soprattutto al fatto che non sempre si è a conoscenza dell'effettivo stato di attivazione o modifica della configurazione dell'impianto, poiché la configurazione di accensione raramente rispecchia quella dell'autorizzazione e il gestore non sempre attiva tutte le portanti dichiarate o tutta la potenza autorizzata.

Inoltre nelle valutazioni di campo elettromagnetico si considera cautelativamente la situazione di tilt peggiore, mentre il tilt installato può non essere quello che massimizza il campo elettromagnetico nel recettore di interesse.

4. CRITERI DI ESECUZIONE DELLE MISURE

Per caratterizzare le modalità di esecuzione delle misure è stato individuato un sito di studio indoor, presso i locali al terzo piano dell'edificio che ospita il Dipartimento sede ARPA di Como.

Pur non trattandosi di un sito in cui le simulazioni forniscono valori di campo superiori ai 5.2 V/m, tale punto di misura ha l'indiscusso vantaggio di essere facilmente accessibile, ha vista diretta degli impianti di tre diversi gestori ubicati a circa duecento metri di distanza, con installate le tecniche di trasmissione UMTS e LTE.

Sono stati analizzati gli andamenti dei segnali UMTS ed LTE più significativi, appartenenti a due diversi gestori. Il punto di misura si trova tra due diverse celle per il primo gestore, mentre è allineato con la direzione principale di puntamento della cella del secondo gestore.

Nel grafico 4.1 è riportato l'andamento dei valori di campo elettrico misurato nel sito di studio con la stazione di monitoraggio selettiva PMM mod. AMS-8060.

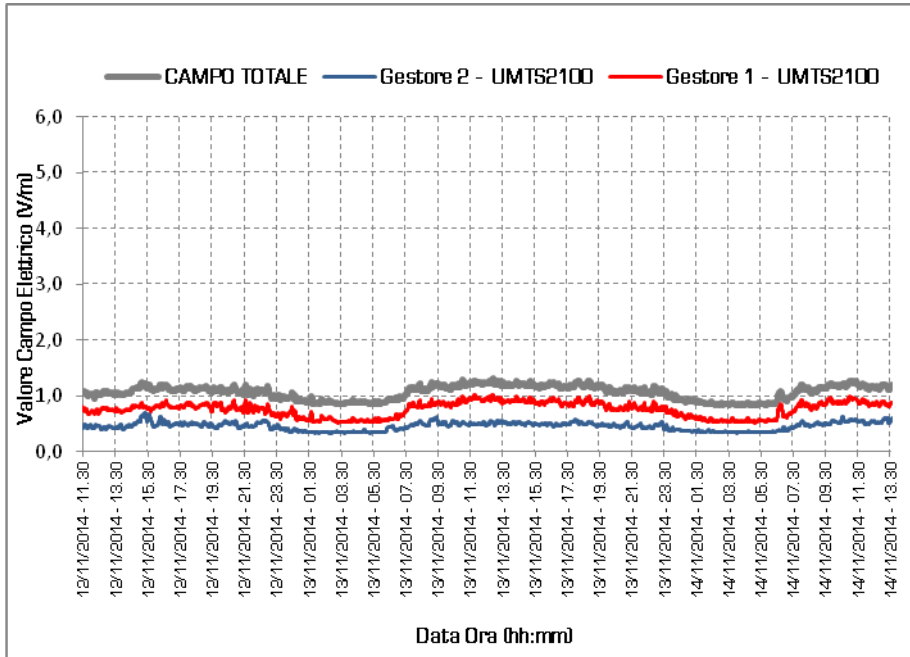
Vengono rappresentati il valore di campo elettrico totale ed i contributi dei gestori oggetto di studio.

La stazione selettiva è in grado di monitorare su lunghi periodi fino a 20 differenti bande nell'intervallo di frequenza 75 MHz - 3 GHz e può essere programmata impostando le bande di frequenza corrispondenti a quelle dei sistemi di trasmissione (gsm/dcs lte800/1800/2600 e umts900/2100) richiesti, in fase di progetto, dai singoli gestori indagati.

I risultati dei rilievi in continuo vengono quindi restituiti specificando, per ogni gestore, i sistemi trasmissivi previsti/non previsti in fase autorizzativa e il contributo al valore di campo elettromagnetico dei sistemi attivi al momento della misura; i singoli

contributi vengono espressi, come richiesto dalla vigente normativa, quale media nell'arco delle 24 ore.

Grafico 4.1: andamento dei valori di campo elettrico (V/m) misurato nel sito di studio con al stazione di monitoraggio selettiva PMM mod. AMS-8060. Campo elettrico totale e contributi dei singoli gestori.



Fonte: Arpa Lombardia. Novembre 2014

Le misure in banda stretta sono state effettuate con l'analizzatore di spettro vettoriale FSHB della Rohde & Schwarze con la relativa antenna isotropica e da un PC che consente il controllo in remoto dello strumento e il salvataggio automatico dei file acquisiti.

Per ogni segnale è stato acquisito il valore del channel power e della potenza assegnata allo scrambling code del canale pilota (P-CPICH), nel caso dell'UMTS, e del Reference Signal (RS) per l'LTE). Le misure in ciascuna banda di frequenza si sono protratte per almeno 24 ore e sono state ripetute nell'arco di alcuni mesi.

Per caratterizzare il campo elettrico in un sito complesso occorre reimpostare i parametri di acquisizione su ciascun canale/tecnica trasmissiva. Ciascun segnale è stato acquisito per almeno 24 ore e quindi si è passati alla misura del segnale successivo. Tale metodo consente di fare una misura mediata sulle 24 ore del singolo segnale, ma, per la caratterizzazione del sito (2 gestori che tramettono in tecnologia UMTS ed LTE), richiede almeno 4 giorni di acquisizione. Inoltre il valore di campo complessivo che si ottiene dalla combinazione delle componenti, non corrisponde in

nessun istante a quello effettivamente presente. Si ritiene quindi di dover escludere dalla prassi operativa l'esecuzione di misure con analizzatore di spettro mediate sulle 24 ore.

Le tecniche di estrapolazione sono in pratica le uniche applicabili per misure in banda stretta in campo.

Per definire le modalità di acquisizione di un segnale statisticamente significativo, le acquisizioni sono state ripetute con diverse impostazioni dell'analizzatore. Una prima parte dell'analisi è stata dedicata a definire la frequenza ottimale di campionamento degli spettri. Per caratterizzare l'andamento temporale del segnale con il miglior dettaglio possibile, inizialmente si è cercato di infittire la frequenza di campionamento degli spettri. Benché l'elettronica della catena strumentale consenta di effettuare misure ogni due secondi, nelle acquisizioni sequenziali occorre considerare oltre al tempo necessario all'analizzatore per processare il segnale, il tempo di trasferimento e memorizzazione nel PC di supporto.

L'impostazione di una frequenza di acquisizione ogni 30 secondi è risultata essere il miglior compromesso.

È stata quindi analizzata la serie temporale delle misure dei canali pilota di ciascun segnale.

Nel caso del gestore 2 la variabilità del canale pilota nell'arco di alcuni giorni sul segnale UMTS è inferiore al 3%. Nel caso del gestore 1 si registrano sia per il segnale UMTS che per il segnale LTE scostamenti dal valore medio pari al doppio dell'incertezza strumentale. Tale variabilità dovrebbe dipendere dalla geometria (distanza, punto di misura non allineato con la direzione principale di puntamento delle antenne, fenomeni di fading e riflessioni) ed indica l'effettiva necessità di ulteriori approfondimenti.

Nelle misure a campo, dove non è nota a priori la fenomenologia del segnale, diventa pertanto necessario individuare il tempo di misura minimo che consenta di acquisire un segnale sufficientemente stabilizzato. L'analisi statistica suggerisce la possibilità di prendere in considerazione per le applicazioni a campo almeno una misura di 3 minuti.

Le misure effettuate hanno infine consentito di confrontare le tecniche di misura previste dalla norma CEI 211-7, tabella paragrafo 5.4, per il confronto con i limiti tramite misura in banda stretta (colonna 4) con l'estrapolazione dei valori misurati (colonna 5). Il primo gestore ha fornito un valore $\alpha_{24\text{day}}=1$ sia per il segnale UMTS che per il segnale LTE, mentre il gestore 2 ha fornito per il segnale UMTS i valori $\alpha_{24\text{day}}=0,43$ per il giorno 18/10/2014 e $\alpha_{24\text{day}}=0,40$ per il giorno 19/10/2014, nelle altre giornate di misura il valore risulta non disponibile. Il confronto tra la media sulle 24 ore dei valori di campo elettrico misurato in Channel Power, con il valore estrapolato applicando il coefficiente $\alpha_{24\text{day}}$ alla media sulle 24 ore del canale pilota UMTS e dei Reference Signal LTE per il gestore 1 porta ad avere un valore estrapolato leggermente cautelativo rispetto alla misura in Channel Power mediata sulle 24 ore, mentre fornisce risultati assolutamente congruenti tra loro per il secondo gestore, che ha fornito i valori di $\alpha_{24\text{day}}$ specifici per le giornate di studio.

5. CONCLUSIONI

ARPA Lombardia ha avviato un percorso di ottimizzazione delle procedure di controllo dei campi elettromagnetici ponendo particolare attenzione nel conciliare la necessità di misurare valori statisticamente significativi con le esigenze logistiche in sede di controllo a campo.

Dal punto di vista operativo, sono stati definiti dei criteri per la stesura di un piano dei controlli, scegliendo i siti con valore di campo stimato nelle simulazioni preliminari superiore a 5,2 V/m. In molte situazioni individuate tuttavia, la specifica configurazione del momento in cui sono state effettuate le misure può essere accertata solo in sede di controllo, ma nulla di più generale si può concludere sul sito indagato in relazione alla situazione autorizzativa e quindi potenzialmente in funzione.

Per quanto riguarda il punto di misura una difficoltà concreta è rappresentata dall'accesso al recettore in corrispondenza del quale la stima di campo fornisce i valori più elevati, poiché non sempre i cittadini sono disponibili ad accogliere le misure nella propria abitazione. In questi casi si effettuano misure in punti meno significativi e non si ottengono informazioni dirette sui punti più critici.

Pertanto, nelle misure "a campo", dove non è nota a priori la fenomenologia del segnale, l'esecuzione di misure in banda larga per 24 ore, con la caratterizzazione dello stato di funzionamento dell'impianto tramite analisi spettrale, potrebbe essere un approccio risolutivo per molti casi, tenendo tuttavia conto che la possibilità di operare per tempi lunghi è funzione anche della disponibilità dal proprietario dell'abitazione.

Si ritiene invece di dover escludere dalla prassi operativa l'esecuzione di misure con analizzatore di spettro mediate sulle 24 ore.

Le tecniche di estrapolazione sono in pratica le uniche applicabili per misure in banda stretta in campo, in particolare laddove si presentino valori prossimi al limite.

Le informazioni fornite dal caso di studio a Como, hanno consentito ad ARPA di valutare la robustezza dei risultati ottenuti in sede di controllo e di avere un riferimento di base per stabilire modalità operative, che dovranno essere sottoposte ad ulteriore conferma incrementando il numero e la casistica dei siti indagati.

BIBLIOGRAFIA

Adda S., d'Amore G., Anglesio L., d'Elia S., Suman R., 2014. *Misura dell'esposizione umana a campi elettromagnetici da segnali LTE: l'applicazione dell'appendice E alla norma CEI 211-7*. Atti Convegno Nazionale di radioprotezione promosso da IRPA-AIRP, Aosta, 15-17 ottobre 2014.

de Bartolo D., Mossetti S., Nava E., Zavatti M., 2013. *Nota tecnica: interconfronto regionale sulle metodologie di valutazione degli impianti alle radiofrequenze*, Bollettino AIRP Vol 72 n.1-2 pp. 35-40, ISSN 1591-3481 e-ISSN 2281-180X.

de Bartolo D., Mossetti S., Nava E., Zavatti M.: *Il controllo delle esposizioni ai campi elettromagnetici: novità e lavori in corso*, 2013. Bollettino AIRP Vol 72 n.1-2 pp. 41-44 ISSN 1591-3481 e-ISSN 2281-180X.

de Bartolo, D., Maggioni T., Nava E., Zavatti ME., Bottura V., Cappio Borlino M., Cerise L., Imperial E., Desandrè C., 2014. *Comunicazione con i cittadini e percezione del rischio per quanto riguarda i campi elettromagnetici: l'esperienza di ARPA valle d'Aosta e ARPA Lombardia*, Atti Convegno Nazionale di radioprotezione promosso da IRPA-AIRP, Aosta, 15-17 ottobre 2014.

Mathou M., Bottura V., Cappio Borlino M., Vaccarone D., D'Elia S., Adda S., 2012. *Misure di campo elettrico da stazioni radiobase UMTS e analisi della relazione con la potenza in antenna*, Bollettino AIRP Vol.171, n.3-4, pp.83-92.

Nava E., Cazzaniga P., Mossetti S., Raimondo A., 2013. *Misure in banda stretta del campo elettrico generato per la telefonia mobile mediato sulle 24 ore: primi risultati*, Atti XXXVI Convegno Nazionale di Radioprotezione IRPA-AIRP, Palermo 17-20 settembre 2013, ISBN 978-88-88648-38-5.

Nava, E., Mossetti S. *Comunicare dei rischi dei campi elettromagnetici alla generazione 2.0*, 2014. Bollettino AIRP Vol. 173, pp. 29-36, ISSN 1591-3481/ e-ISSN 2281-180X.

Nava E., Mossetti S., de Bartolo D., Cosenza C., Veronese I., Cantone M.C., 2015. *Prime misure di campo elettromagnetico mediato sulle 24 ore: applicazione di diverse tecniche proposte dalla norma CEI 211-7/E*. Atti del congresso AIRP 2015, in pubblicazione.

ANALISI DEL TREND DEI VALORI DI CAMPO ELETTROMAGNETICO MISURATI NEI CONTROLLI ISTITUZIONALI NELLA CITTÀ DI TARANTO DAL 2012 A OGGI: ANALISI GENERALE E PUNTUALE.

Alessandro Saraceno¹, Adalberto Brunetti¹, Pietro Nardelli¹, Maria Spartera¹, Anna Guarnieri Calò Carducci¹, Simona Ottonelli¹, Gianluca Primavera¹

¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Puglia

ABSTRACT

ARPA Puglia esegue, nell'ambito della propria attività istituzionale, misure dei livelli di campo elettromagnetico sul territorio regionale.

Il presente lavoro si pone come obiettivo la valutazione dell'incremento dei livelli di campo elettromagnetico a seguito dell'avvento della tecnologia 4G (Long Term Evolution) tramite un approccio sia modellistico che strumentale.

Partendo dall'analisi generale dei risultati delle misure effettuate nel periodo 2012-2015 per la città di Taranto, è stato analizzato un sito specifico.

PAROLE CHIAVE

Campo elettromagnetico, LTE, ambiente urbano

1.INTRODUZIONE

Il presente lavoro si pone come obiettivo quello di effettuare una valutazione dell'impatto della tecnologia 4G sul livello complessivo di campo elettromagnetico a partire dai dati disponibili, ovvero quelli prodotti nell'ambito dell'attività istituzionale svolta da ARPA Puglia nel periodo 2012-2015. Tale attività consiste nell'esecuzione di misure finalizzate al rilascio dei pareri tecnici preventivi ed, a seguito di comunicazione di avvenuta attivazione dell'impianto, dei pareri di conformità. Il rilascio del parere preventivo, in particolar modo, prevede la valutazione mediante simulazione dei valori di campo elettrico attesi, tenendo conto dei valori di fondo misurati in prossimità di potenziali recettori.

Per questa ragione, focalizzando l'attenzione sulla città di Taranto, il criterio adottato per la valutazione dell'impatto della tecnologia 4G è stato quello di:

1. Eseguire l'analisi e la valutazione qualitativa dei dati relativi al periodo 2012-2015;
2. Eseguire lo studio di un sito specifico interessato dall'implementazione della tecnologia LTE, mediante il confronto quantitativo dei dati emersi dalla simulazione e quelli misurati ante e post LTE;
3. Eseguire l'estrapolazione dell'incremento percentuale tra i livelli di campo riscontrati prima e dopo l'attivazione dell'LTE, sia mediante simulazione che attraverso misurazioni strumentali.

È tuttavia opportuno specificare, ai fini della corretta interpretazione dei risultati che verranno illustrati nel corso del documento, che le misure istituzionali effettuate per il rilascio di pareri preventivi e di conformità:

- si riferiscono indistintamente a tutti i tipi di impianti, compresi quelli ubicati in un contesto urbano non ad alta densità abitativa e quelli in cui non è attivo il 4G;
- sono state eseguite mediante strumentazione in banda larga, constatata l'assenza di siti critici per i quali è necessario procedere con ulteriori approfondimenti strumentali mediante strumentazione in banda selettiva, in conformità a quanto previsto dalla norma CEI 211-7.

Per quanto attiene, invece, la modellizzazione dei livelli di campo elettrico effettuata sul sito specifico ai fini del rilascio del parere tecnico preventivo, si sottolinea che questa è stata effettuata:

- considerando il coefficiente di riduzione (α_{24h}) pari a 1, non essendo stato popolato dal gestore l'apposito database previsto ai sensi del Decreto MATTM del 2 dicembre 2014;
- non imponendo,cautelativamente, ulteriori fattori di riduzione e controllo della potenza relativi ai sistemi GSM e DCS. Al fine di garantire la coerenza della metodologia di misura e della strumentazione utilizzata tra le misure effettuate nel 2012-2015 e quelle effettuate pre e post LTE per l'analisi del sito specifico, si è deciso di effettuare anche queste ultime mediante strumentazione in banda larga.

Benché sia noto come l'uso di strumentazione in banda larga tenda a sovrastimare la misura del campo elettrico prodotto da impianti LTE e benché l'utilizzo di un

analizzatore di spettro vettoriale, conformemente a quanto indicato nella norma CEI 211-7/E, avrebbe rappresentato la scelta strumentale più idonea ai fini della valutazione del valore di campo elettrico, la soluzione adoperata ha consentito tuttavia di rendere omogenei e confrontabili i due set di dati (quelli storici e quelli relativi al sito specifico).

L'analisi che verrà presentata nei paragrafi successivi rappresenta, dunque, la primissima fase della valutazione, seppur approssimata, del grado di incidenza della tecnologia 4G in ambiente urbano.

2. CITTÀ DI TARANTO: MONITORAGGIO DEI LIVELLI DI CAMPO ELETTROMAGNETICO PERIODO 2012-2015

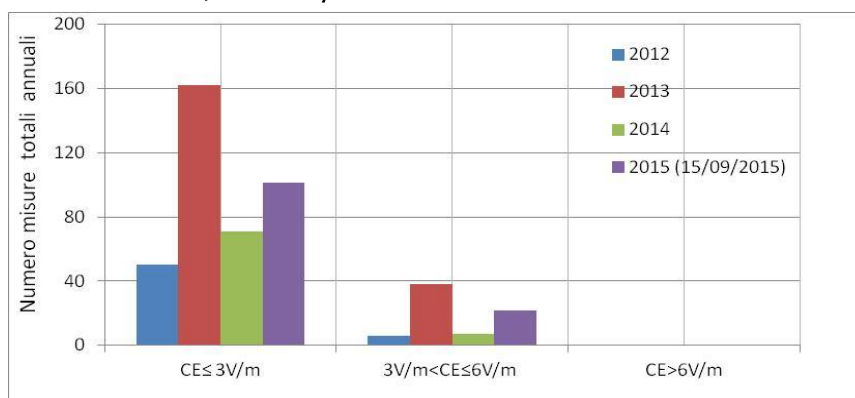
Il Dipartimento di Taranto di Arpa Puglia, nell'ambito della suddetta attività istituzionale, ha svolto nel periodo 2012-2015, relativamente alla città di Taranto, le misure sintetizzate in Tabella 1 e schematizzate in Figura 1-2. Per l'anno corrente, i dati sono stati aggiornati fino al giorno 15.09.2015.

Tabella 1 - Misure di Campo Elettrico (CE) effettuate nella Città di Taranto nel periodo 2012-2015

ANNO	Misure totali	Misure pareri preventivi	Misure post-attivazione	Misure Totali $CE \leq 3V/m$	Misure Totali $3V/m < CE \leq 6V/m$	Misure Totali $CE > 6V/m$
2012	56	50	6	50	6	0
2013	200	135	65	162	38	0
2014	78	11	67	71	7	0
2015	123	43	80	101	22	0

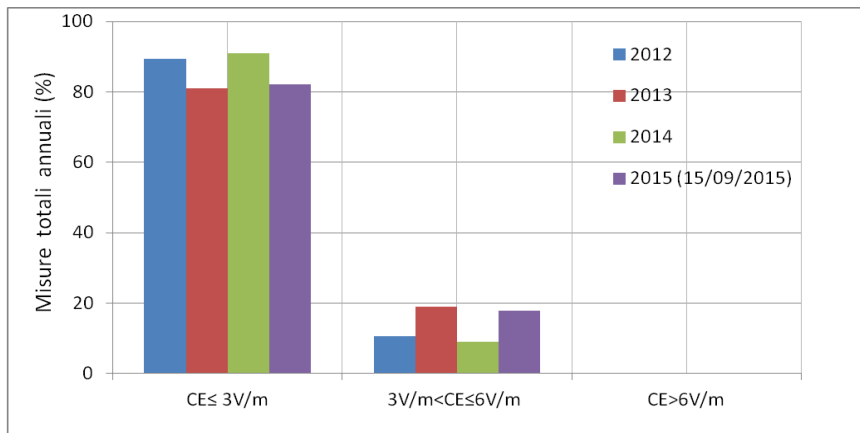
Fonte: Dati ARPA Puglia

Figura 1 - Misure di Campo Elettrico (CE) effettuate nella Città di Taranto nel periodo 2012-2015, suddivise per classi di valori.



Fonte: Dati ARPA Puglia

Figura 2 - Misure di Campo Elettrico (CE) effettuate nella Città di Taranto nel periodo 2012-2015, suddivise per classi di valori e normalizzate rispetto al numero di misure totali effettuate in un anno.



Fonte: Dati ARPA Puglia

Le misure, eseguite mediante strumentazione in banda larga, evidenziano l'assenza di casi critici caratterizzati da valori di campo elettrico superiori all'obiettivo di qualità pari a 6 V/m ex DPCM 08/07/2003.

3. ANALISI DI UN CASO SPECIFICO

Partendo dai risultati di carattere generale presentati nel Paragrafo 2, è stata approfondita la valutazione dell'esposizione della popolazione al campo elettromagnetico focalizzando l'attenzione su di un sito specifico sul quale fosse stata implementata la tecnologia LTE.

3.1 INQUADRAMENTO URBANISTICO ED ELETTROMAGNETICO

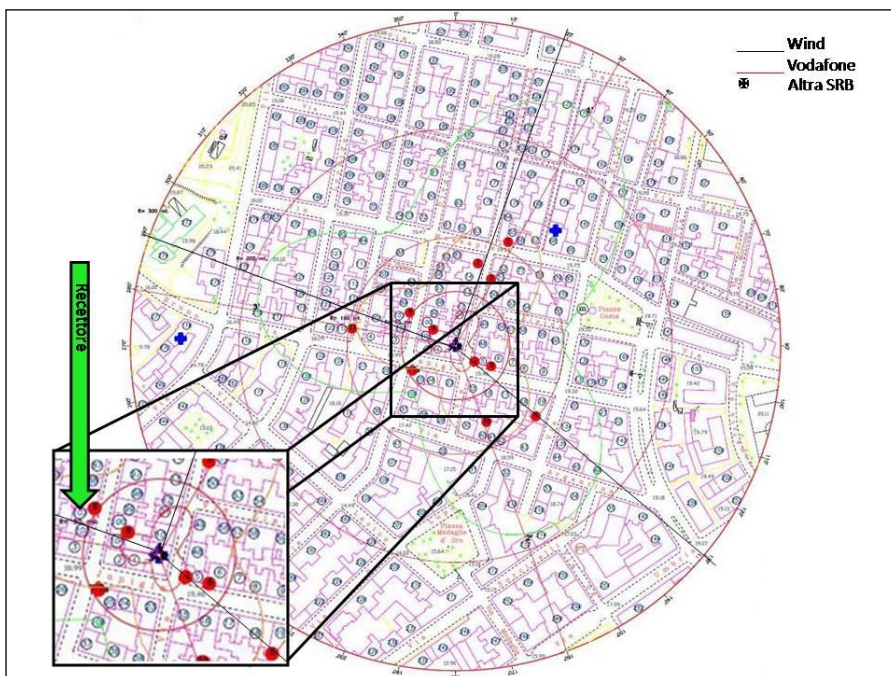
La sorgente presa in esame è situata nel centro abitato del Comune di Taranto, in Via Capecelatro n. 52. L'immobile ricade in "Zona edilizia esistente del tipo B" del P.R.G. vigente, ad alta densità abitativa.

Sul sito in esame insistono i sistemi radianti delle Stazioni Radio Base (SRB) dei gestori Wind e Vodafone, ed in un raggio di 300 m sono presenti altre 2 SRB (a 141 e 254 m rispettivamente).

Il recettore, inoltre, è ubicato in una area ove insistono diverse sorgenti di campo elettromagnetico oltre a quelle in esame, per cui il livello di fondo elettromagnetico è determinato da diversi ed eterogenei contributi.

Nella mappa tematica in Figura 3 è riportata la planimetria del sito considerato, mostrando nell'*inset* l'oggetto di studio entro un raggio di circa 50 mt con indicati i settori dei due gestori e la posizione del recettore in esame.

Figura 3 - Planimetria Generale di Via Capecelatro nella Città di Taranto.



Fonte: Relazione di Conformità Vodafone

3.2 ANALISI DEI LUOGHI E CONFIGURAZIONI RADIOELETTRICHE

Le principali caratteristiche della SRB e del Recettore considerati nel caso preso in esame possono essere riassunte come segue:

1. SRB

- ✓ Indirizzo: Via Capecelatro,52-Taranto
- ✓ Longitudine: 17° 15' 6.87" E – Latitudine: 40° 27' 45.47" N
- ✓ Quota sul livello del mare: 19.2 m
- ✓ Altezza del centro elettrico Vodafone: 33.6 m dal livello stradale
- ✓ Altezza del centro elettrico Wind: 36.6 m dal livello stradale

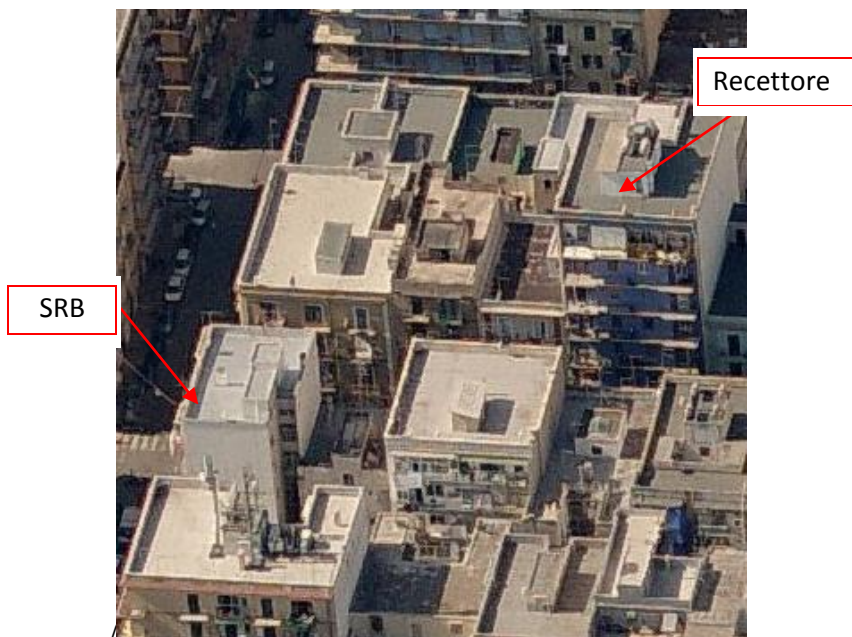
2. Recettore

- ✓ Indirizzo: Via Diego Peluso, 80-Taranto
- ✓ Tipologia: civile abitazione
- ✓ Quota sul livello del mare: 19.2 m
- ✓ Punto di studio: pertinenza esterna con possibilità di permanenza superiore alle quattro ore (balcone 8° piano)
- ✓ Altezza del punto di studio: 27 m dal livello stradale
- ✓ Altezza punto di valutazione del campo elettrico: 28.5 m dal livello stradale

- ✓ Distanza in piano dalla SRB: 50 m
- ✓ Azimuth rispetto alla SRB: 305° N

In Figura 4 è riportata la vista aerea del particolare dell'area d'interesse con l'ubicazione della SRB e del recettore.

Figura 4 - Vista aerea del particolare dell'area d'interesse con l'ubicazione della SRB (Via Capecelatro, 52-Taranto) e del recettore (Via Diego Peluso, 80-Taranto)



Fonte: www.bing.com/maps/

3.3 STIMA DEI VALORI ATTESI DI CAMPO ELETTRICO

Nel corso degli anni, le due SRB prese in esame sono state oggetto di differenti interventi sia di ampliamento delle portanti radio nonché dell'introduzione delle differenti innovazioni tecnologiche. Allo stato attuale solo il gestore Vodafone ha implementato e attivato la tecnologia LTE (800 e 1800 MHz), presente assieme all'UMTS2100, mentre il gestore Wind ha attivato le tecnologie GSM900, DCS1800 e UMTS2100.

In Tabella 2 sono specificate le potenze dei singoli sistemi di trasmissione attivi sugli impianti dei due gestori prima e dopo l'attivazione dell'LTE. Tali dati sono ricavati da una perizia giurata rilasciata dai gestori, in base a quanto stabilito dal Regolamento Regionale n.14/2006.

Tabella 2 - Potenza complessiva dei settori attivi al connettore d'antenna (espressa in Watt) sugli impianti dei due gestori prima e dopo l'attivazione dell'LTE

	Configurazione radioelettrica ante- LTE				Configurazione radioelettrica post- LTE			
	GSM	DCS	UMTS	LTE	GSM	DCS	UMTS	LTE
WIND	90.76	83.99	55.17	//	90.76	83.99	55.17	//
VODAFONE	//	//	132.00	//	//	//	180.10	109.30

Fonte: Dati forniti dai gestori Wind e Vodafone ad ARPA Puglia in occasione della richiesta dei relativi pareri di conformità ai sensi del R.R.14/2006.

Le date di attivazione relative ai sistemi dei due gestori sono quelle riportate sulle comunicazioni di attivazione agli atti del Dipartimento di Taranto di ARPA Puglia e, precisamente:

- Vodafone ante-LTE: 18 Gennaio 2011
- Vodafone post- LTE: 30 Luglio 2015
- Wind: 29 Novembre 2013

Per questo sito, è stato effettuato un confronto tra la variazione percentuale di campo elettrico ante e post LTE derivante da simulazione con quella derivante da misure in banda larga eseguite prima e dopo l'attivazione del 4G, come verrà descritto nei paragrafi seguenti.

3.3.1 DATI PRODOTTI DALLA SIMULAZIONE

Per la stima dei livelli di campo elettrico, effettuata mediante il software NFA3D di Telecomunicazioni Aldena Srl versione 1.4.08 in condizioni di "campo lontano" e senza l'introduzione di fattori di attenuazione, sono stati utilizzati i valori effettivi di potenza massima al connettore d'antenna dichiarati dai gestori. In considerazione della presenza di diverse sorgenti ubicate in prossimità dell'area d'interesse, come introdotto nel paragrafo 3.1, si è ritenuto opportuno misurare il valore di campo elettrico di fondo, pari a (1.67 ± 0.35) V/m con entrambi gli impianti spenti.

Il punto di studio è risultato particolarmente significativo per la sua distanza dalla SRB e la sua variazione di quota rispetto al centro elettrico dei sistemi radianti. Dalle varie simulazioni, infatti, è emerso che sul balcone dell'ottavo piano dell'edificio ubicato in Via Diego Peluso n.80 nel Comune di Taranto, i massimi valori attesi sono quelli schematizzati in Tabella 3.

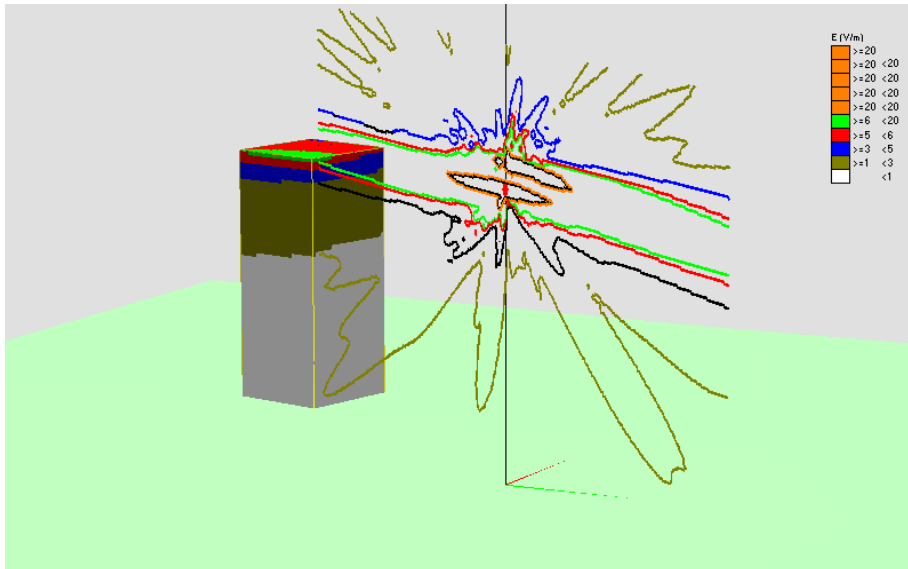
Tabella 3 - Valori stimati di campo elettrico (CE) presso il balcone dell'ottavo piano dell'edificio ubicato in Via Diego Peluso n.80 nel Comune di Taranto

	CE fondo misurato (V/m)	CE stimato complessivo senza LTE (V/m)	CE stimato complessivo con LTE (V/m)
Balcone	1.67	3.07	3.98

Fonte: Dati ARPA Puglia

Dall'analisi dei dati riportati in tabella emerge che l'introduzione del sistema LTE da parte del solo gestore Vodafone introduce un incremento quadratico del livello di campo elettrico complessivo pari a 2.53 V/m, che corrisponde ad una variazione percentuale del campo elettrico complessivo tra pre e post-LTE pari a 22.8% . In Figura 5 sono schematizzati i livelli di campo elettrico attesi, mediante simulazione, sulla facciata dell'edificio nel caso post-LTE; si sottolinea, in modo particolare, che la zona blu sulla facciata dell'edificio (passante per il punto di studio) corrisponde ad un valore di campo elettrico compreso tra 3 V/m e 5 V/m, mentre la zona verde che interessa parte della gronda del medesimo edificio, corrisponde ad un valore di campo elettrico compreso tra 6 V/m e 20 V/m.

Figura 5 - Intersezione delle isolinee con l'edificio ubicato in Via Diego Peluso n.80 nel Comune di Taranto



Fonte: Dati ARPA Puglia

3.3.2 DATI MISURATI SPERIMENTALMENTE

In base a quanto emerso dalla simulazione dei livelli di campo elettromagnetico, descritta nel paragrafo precedente, si è ritenuto opportuno eseguire misure di campo elettrico nel punto di studio, mediante la strumentazione in banda larga in dotazione al Dipartimento di Taranto di ARPA Puglia¹, ed i cui risultati sono riassunti in Tabella 4.

Tabella 4: Valori misurati di campo elettrico (CE) di fondo, pre-LTE e post-LTE con associata l'incertezza strumentale estesa della misura (I) dell'ottavo piano dell'edificio ubicato in Via Diego Peluso n.80 nel Comune di Taranto.

	CE fondo misurato (V/m)	I (± V/m)	CE complessi vo senza LTE (V/m)	I (± V/m)	CE complessi vo con LTE (V/m)	I (± V/m)
Balcone	1.67	0.35	3.17	0.66	4.31	0.90

Fonte: Dati ARPA Puglia

Dall'analisi di tali risultati si evince che l'introduzione del sistema LTE da parte del solo gestore Vodafone introduce un incremento quadratico del livello di campo elettrico complessivo pari a 2.92 V/m, che corrisponde ad una variazione percentuale del campo elettrico complessivo tra pre e post-LTE pari a 26.4 %.

4. CONCLUSIONI

In base a quanto emerso dai dati illustrati nei paragrafi precedenti, è possibile trarre conclusioni di carattere generale e puntuale.

I dati relativi a tutte le misure eseguite nella città di Taranto nel periodo di osservazione 2012-2015 non evidenziano, nella loro globalità, un trend relativo all'incremento dei livelli di campo elettrico a seguito dell'introduzione della tecnologia 4G. Ciò è dovuto al fatto che tutte le misure sono state effettuate su vasta scala, comprendendo tutti i tipi di impianti, inclusi quelli ove non è attivo il sistema 4G.

¹ La strumentazione consiste in un misuratore a banda larga PMM mod. 8053B con intervallo di frequenza: 5 Hz – 40 GHz, ed una sonda di campo elettrico PMM mod. EP333 con campo di frequenza 0.3-3.6 GHz e sensibilità pari a 0.15 V/m.

Invece, considerando un singolo e specifico impianto, si è potuto osservare un incremento di campo elettrico misurato pari a 26.4%, risultato in accordo con l'incremento di campo elettrico atteso a seguito della stima teorica pari a 22.8%. Anche i valori assoluti misurati prima e dopo l'attivazione del sistema LTE sono in accordo con i valori assoluti stimati ante e post-LTE, confermando dunque la validità del criterio adottato nelle simulazioni per la valutazione della esposizione della popolazione.

È opportuno sottolineare, tuttavia, la presenza di alcune criticità nell'approfondimento del caso specifico:

- i risultati strumentali sono influenzati dal valore di fondo, che risulta essere elevato per la presenza di altre sorgenti limitrofe; l'esecuzione di misure di campo elettrico in banda selettiva, anziché in banda larga, avrebbe consentito di isolare il contributo di campo elettrico prodotto dai singoli sistemi e dunque di effettuare una stima più precisa del campo elettrico;
- le simulazioni effettuate hanno riguardato un caso relativamente semplice di sito, caratterizzato dalla presenza di antenne di due gestori ma dall'attivazione del sistema 4G solo da uno di essi. Il panorama attuale, tuttavia, risulta essere caratterizzato dalla sempre maggiore presenza (soprattutto in ambito urbano) di siti più complessi condivisi da più gestori.

È proprio su tali impianti complessi che ARPA Puglia intende focalizzare la propria attenzione nel prossimo futuro, confrontando i dati risultanti dalle simulazioni con quelli sperimentali ottenuti effettuando misure in banda selettiva vettoriale in accordo alla norma tecnica CEI 211-7/E.

BIBLIOGRAFIA

DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2003, *"Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz."* (GU n. 199 del 28-8-2003)

CEI 211-7, 2001, *"Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 Ghz, con riferimento all'esposizione umana"*

CEI 211-7/E, 2013 *"Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana. Appendice E: Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio base per sistemi di comunicazione mobile (2G, 3G, 4G)"*

ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE AL CAMPO ELETTRICO PRODOTTO DALLE STAZIONI RADIO BASE: RISULTATI PER I COMUNI CAPOLUOGO DEL VENETO

Sabrina Poli¹, Raffaella Ugolini¹, Flavio Trotti¹

¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Veneto

ABSTRACT

Per descrivere in maniera sintetica l'esposizione della popolazione al campo elettrico prodotto dalle Stazioni Radio Base (SRB) installate in Veneto è stato ripetuto l'indicatore di esposizione già elaborato per i Comuni capoluogo nel 2009. I valori di campo elettrico sono stati mediati sulle sezioni di censimento ISTAT del 2011, contenenti i dati dei residenti, al fine di costruire la distribuzione della popolazione rispetto a determinati intervalli di campo elettrico, da 0 V/m fino a 6 V/m. I valori di campo elettrico sono stati calcolati ad un'unica altezza, pari a 5 metri e corrispondente al primo piano degli edifici. Per ogni città sono stati stimati i due indicatori statistici, la mediana e il 95° percentile, rappresentativi dell'esposizione, rispettivamente della metà e della maggioranza della popolazione. Con l'eccezione di Belluno, che, come atteso, è la città con i valori inferiori, nei rimanenti 6 centri la mediana è compresa tra 1.9 V/m e 2.1 V/m, e il 95° percentile tra 2.8 V/m e 3.3 V/m. I livelli più elevati sono registrati a Padova, il comune con la più elevata potenza emessa. Dal confronto con l'indicatore valutato nel 2009, è emerso un aumento netto dell'esposizione della popolazione, in conseguenza del maggior numero di impianti installati e della potenza emessa. L'incremento di circa 1 V/m e 0.9 V/m, rispettivamente delle mediane e del 95° percentile, evidenziano che la metà dei residenti delle città del Veneto e la maggioranza di essi sono ora esposti in media ad un campo più elevato di circa 1 V/m – 0.9 V/m rispetto a 6 anni fa. La distribuzione della popolazione rispetto le classi di campo elettrico considerate nello studio assume la tipica forma a campana. Inoltre, rispetto al 2009, la distribuzione si allarga maggiormente ed è spostata verso gli intervalli di valori più alti.

PAROLE CHIAVE

indicatore, telefonia, antenne, distribuzione

1. INTRODUZIONE

L'indicatore di esposizione è stato sviluppato per descrivere in maniera sintetica l'esposizione della popolazione al campo elettrico prodotto dalle SRB installate in Veneto. Il calcolo dell'indicatore, già elaborato per i 7 Comuni capoluogo nel 2009, è stato ripetuto nel 2015, permettendo così sia di aggiornare la distribuzione della popolazione del comune rispetto ai livelli di campo elettrico e sia di confrontare i risultati ottenuti.

2. GLI IMPIANTI DI TELEFONIA IN VENETO

Il numero di impianti della rete cellulare installati nel Veneto è aumentato nel corso degli anni, passando da 2884 nel 2004 a 5862 nel 2015 (settembre).

Numerose sono state anche le riconfigurazioni degli impianti già presenti effettuate dai gestori della telefonia mobile per adeguare la rete alle nuove esigenze di mercato. L'introduzione dei servizi che permettono una sempre più elevata velocità di traffico dati (UMTS prima e LTE poi) necessitano, per garantire la copertura del segnale, di un numero maggiore di impianti.

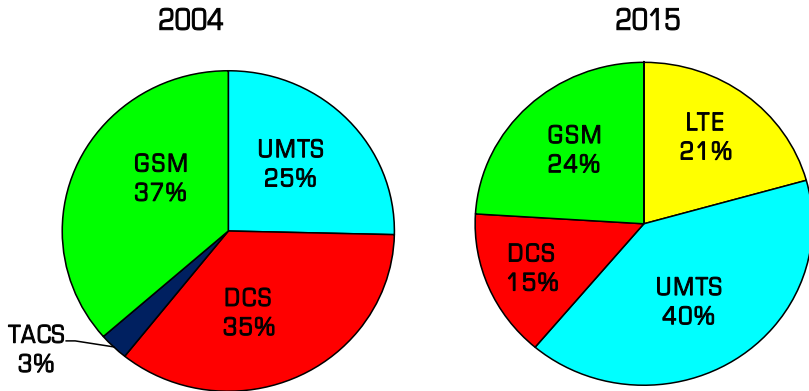
Negli ultimi anni le tecnologie tradizionali maggiormente diffuse fino al 2004 (GSM 37% e DCS 35%), sono state progressivamente sostituite da quelle che permettono il traffico dati: l'UMTS (3G), introdotto nel 2004, è oggi presente nel 40% degli impianti, l'LTE (4G), introdotto solo da un paio d'anni, ha già raggiunto il 21%.

In Figura 2.1 è mostrato come negli anni è cambiata la distribuzione dei servizi.

All'aumento del numero di servizi e quindi di antenne attive corrisponde un aumento della potenza di trasmissione degli impianti.

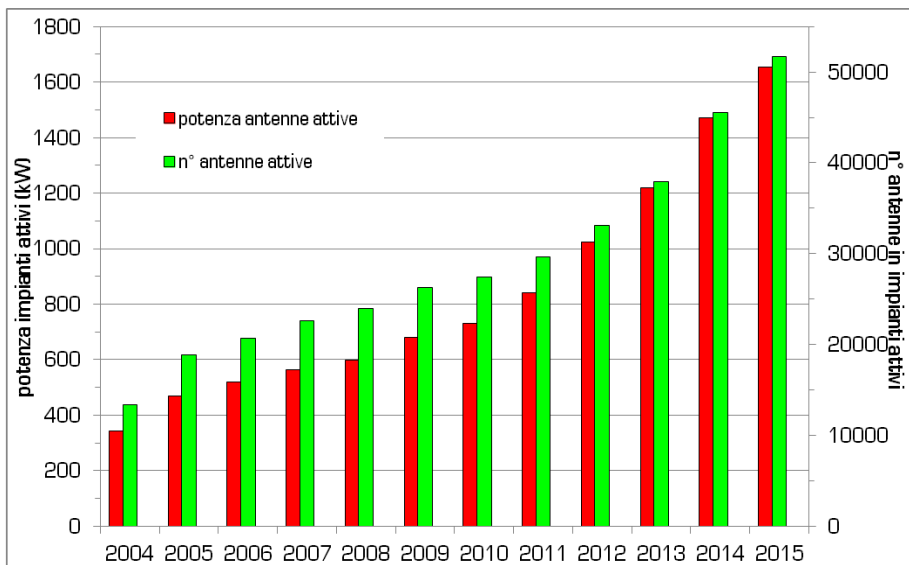
Nell'istogramma di Figura 2.2 viene riportato, per ciascun anno dal 2004 al 2015, il numero di antenne attive, e la potenza totale degli impianti considerati (in kW). Si nota chiaramente la crescita più rapida sia nel numero delle antenne che nella potenza complessiva degli impianti a partire dal 2011 - 2012, ossia dagli anni in cui si sono sviluppate le tecnologie UMTS e LTE.

Figura 2.1. Distribuzione in percentuale dei servizi installati sugli impianti SRB attivi nel Veneto nel 2004 (aggiornamento 31/12/2004) e nel 2015 (aggiornamento 30/09/2015).



Fonte: Database impianti di radio-telecomunicazione ARPAV.

Figura 2.2. Numero di antenne attive e potenza totale degli impianti dal 2004 al 2015.



Fonte: Database impianti di radio-telecomunicazione ARPAV.

3. PROCEDURA DI CALCOLO DELL'INDICATORE DI ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE AL CAMPO ELETTRICO PRODOTTO DALLE STAZIONI RADIO BASE

L'indicatore di esposizione è stato costruito considerando la distribuzione della popolazione residente all'interno di un territorio rispetto ai livelli di campo elettrico prodotto dagli impianti installati. La procedura di calcolo può essere suddivisa in due fasi, delle quali la prima è finalizzata alla determinazione dei livelli di campo elettrico prodotto dagli impianti, mentre la seconda riguarda lo studio della distribuzione della popolazione rispetto ai livelli di campo elettrico.

a) Determinazione dei livelli di campo elettrico

Nel calcolo del campo elettrico, sono state considerate tutte le Stazioni Radio Base attive all'interno del territorio comunale e quelle presenti entro un raggio di almeno 500 m dal confine, che apportano un contributo al campo elettrico nell'area di studio. Per ogni edificio presente all'interno del territorio comunale, è stato calcolato il valore di campo elettrico a 5 metri s.l.s., in quanto, sulla base dei dati ISTAT del 1981, il primo piano risulta, nella Regione Veneto, il più popolato. La quota di 5 metri deriva dall'altezza tipica del primo piano di un'abitazione, pari a 3 metri, alla quale sono stati sommati 2 metri per considerare tutta la lunghezza del corpo umano.

Il calcolo del campo elettrico è stato effettuato utilizzando l'applicativo NirGis sviluppato da ARPAV in ambiente QGIS (applicazione desktop GIS Open Source); NirGis è uno strumento in grado di gestire ed elaborare i dati del data base regionale georeferenziato delle sorgenti a radiofrequenza (aggiornato in tempo reale e condiviso con i gestori mediante un'interfaccia web) e attraverso un software di calcolo (DLL sviluppata anch'essa da ARPAV) permette di realizzare valutazioni modellistiche del campo elettrico in condizioni di campo lontano e spazio libero (situazione questa generalmente cautelativa dal punto di vista ambientale), con restituzione del dato su cartografia informatizzata (Poli et al., 2011)

b) Valutazione dell'esposizione della popolazione

La seconda fase dell'elaborazione è stata finalizzata allo studio della distribuzione della popolazione rispetto ai livelli di campo elettrico. Ogni comune capoluogo è stato suddiviso in base alle sezioni di censimento ISTAT disponibili (2011), e ad ogni sezione è stato assegnato il valore di campo elettrico ottenuto mediando i valori calcolati nei punti interni alla sezione stessa. Così facendo, nota la popolazione residente in ciascuna sezione, è stata costruita la distribuzione della popolazione in funzione dei livelli di campo elettrico prodotto dalle Stazioni Radio Base cui è esposta. Si sottolinea che, eseguendo il calcolo del valore di campo elettrico ad un'unica altezza (5 m s.l.s.), tutta la popolazione è stata associata a quel livello e cioè considerata residente al primo piano degli edifici.

4. RISULTATI 2015

I risultati dell'elaborazione dell'indicatore, presentati di seguito, sono suddivisi in due parti.

a) Campo elettrico calcolato nei Comuni capoluogo

In Tabella 4.1 sono indicati i dati relativi alle Stazioni Radio Base attive nei 7 Comuni capoluogo (aggiornamento 30.09.15). Nella stessa tabella sono mostrati anche la popolazione totale, come risultante dal censimento del 2011, e il valore medio del campo elettrico, valutato sui singoli punti di calcolo (come indicato nel paragrafo 3a è stato calcolato un valore di campo elettrico per ogni edificio all'altezza di 5 m s.l.s.).

Tabella 4.1. Informazioni relative agli impianti (SRB) attivi (aggiornamento 30.09.15) nei Comuni capoluogo del Veneto, popolazione risultante dal censimento 2011 e valore di campo elettrico medio.

Comune	Stazioni Radio Base		Popolazione	Valore medio del campo elettrico (V/m)
	Numero	Potenza (kW)		
Belluno	50	13.9	35.591	0.8
Padova	314	97.0	205.613	2.0
Rovigo	88	31.1	49.397	1.3
Treviso	121	41.5	81.014	1.7
Venezia	334	88.6	253.483	1.5
Vicenza	175	41.2	111.181	1.7
Verona	308	71.8	250.422	1.6

Fonti: Database impianti ARPAV; ISTAT censimento 2011.

Il valore medio di campo elettrico più elevato è stato calcolato nel comune di Padova, che presenta sul territorio la maggiore potenza emessa dagli impianti attivi; Venezia è la seconda città per potenza complessiva e prima per numero di impianti, ma il campo elettrico medio risulta di molto inferiore a Padova. Come vedremo nel paragrafo 6, questo comportamento potrebbe dipendere da alcune caratteristiche proprie dell'edificato del comune. Come atteso, è Belluno il comune con campo elettrico medio più basso, in conseguenza del minor numero di impianti e minore potenza emessa.

b) Studio dell'esposizione della popolazione

Per stimare gli indicatori statistici rappresentativi dell'esposizione, la popolazione di ogni sezione è stata ripartita su intervalli di campo elettrico di ampiezza 0.1 V/m. Nella Tabella 4.2 sono riportati la mediana e il 95° percentile del campo elettrico, valutati per ogni comune a partire dai punti di calcolo mediati su ogni sezione di censimento. La metà della popolazione è esposta a livelli di campo elettrico uguali o

inferiori alla mediana, mentre il 95% è esposta a valori uguali o inferiori al 95° percentile.

Tabella 4.2. Indicatori statistici di esposizione della popolazione al campo elettrico prodotto dalle Stazioni Radio Base nei 7 Comuni capoluogo del Veneto (Calcolo effettuato con dati aggiornati al 30.09.15)

Comune	Indicatore di esposizione: valore di campo elettrico (V/m)	
	mediana	95° percentile
Belluno	1.3	2.6
Padova	2.1	3.3
Rovigo	1.9	2.9
Treviso	2.0	3.2
Venezia	1.9	2.8
Vicenza	2.0	2.9
Verona	1.9	2.9

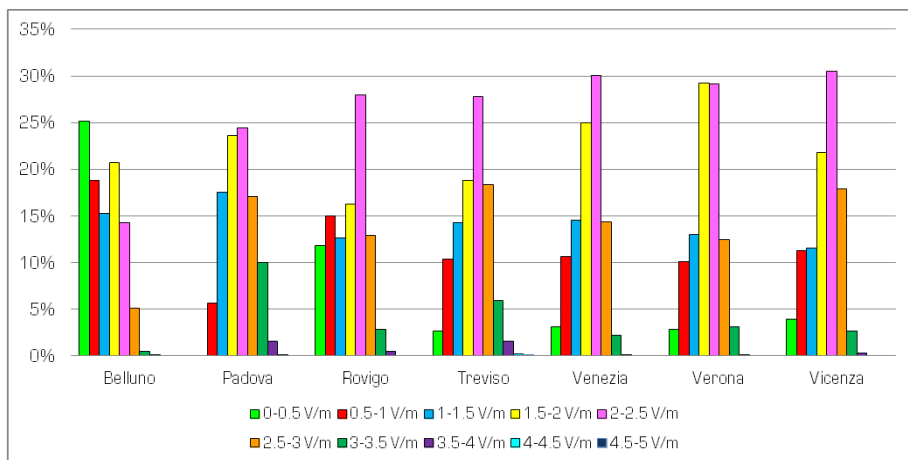
Fonte: Database impianti ARPAV

Nel grafico di Figura 4.1 sono rappresentate le distribuzioni della popolazione (espressa in percentuale) secondo le classi di esposizione al campo elettrico indicate in legenda. Si può osservare come la popolazione di tutti i Comuni, ad eccezione di Belluno, si ripartisca nelle classi considerate con una forma simile ad una distribuzione a campana, centrata sulla mediana indicata in Tabella 4.2.

Ricordando l'approssimazione del paragrafo 3b, ossia di considerare la popolazione tutta residente al primo piano degli edifici, si può osservare che:

- In tutti i Comuni metà della popolazione è esposta a livelli di campo elettrico inferiori a 2.1 V/m e il 95% a livelli inferiori a 3.3 V/m.
- La mediana e il 95° percentile più elevati sono stati calcolati a Padova, mentre a Belluno si registra l'esposizione più bassa.
- In tutti i Comuni si verificano esposizioni superiori a 3 V/m; la distribuzione che si allarga maggiormente verso i valori più elevati si osserva a Treviso.

Figura 4.1. Rappresentazione grafica dell'indicatore di esposizione al campo elettrico calcolato nei 7 Comuni capoluogo del Veneto (Calcolo effettuato con dati aggiornati al 30.09.15)

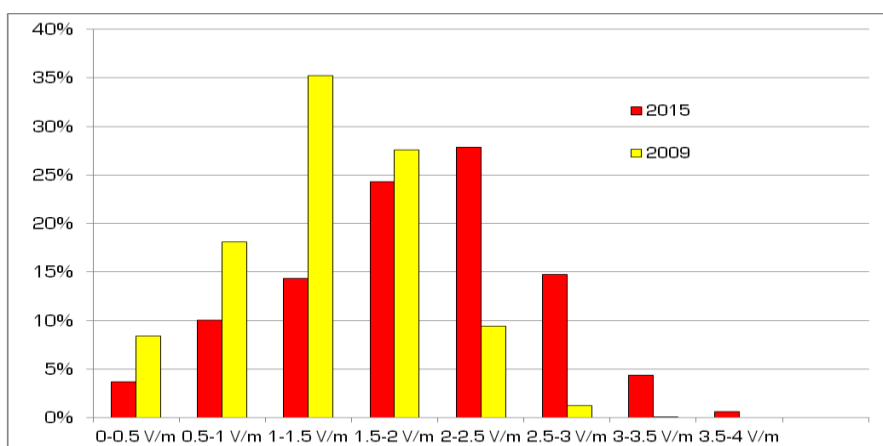


Fonte: Database impianti ARPAV

5. CONFRONTO RISULTATI 2009 E 2015

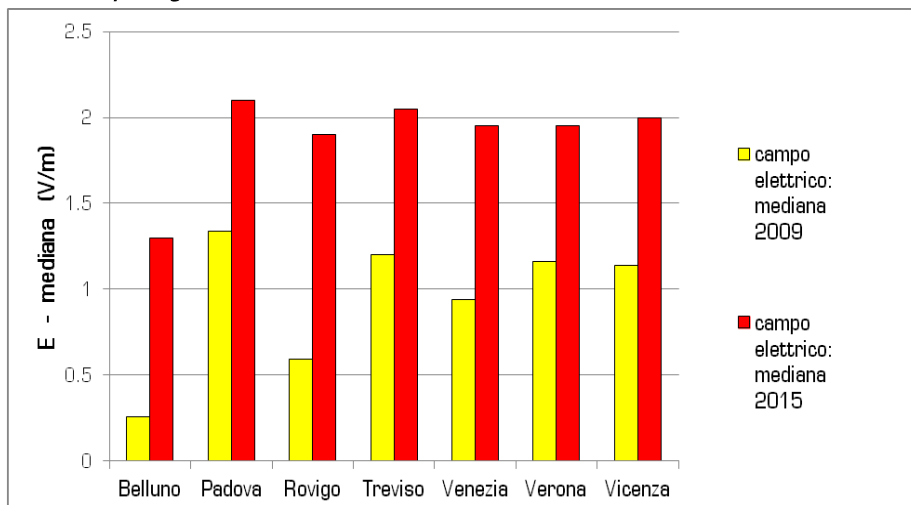
Il calcolo dell'indicatore di esposizione della popolazione per le 7 città del Veneto è stato condotto per la prima volta nel 2009 (sezioni di censimento del 2004), considerando anche allora la popolazione tutta residente al primo piano degli edifici. È quindi possibile confrontare i risultati di 6 anni fa con quelli recenti (Trotti et al., 2010), (Poli et al., 2008). In Figura 5.1 sono confrontate, per ogni comune, le mediane del campo elettrico del 2009 e del 2015 e in Figura 5.2 sono mostrate le distribuzioni in percentuale della popolazione totale dei 7 Comuni capoluogo.

Figura 5.1. Mediana del campo elettrico valutata nel 2009 e nel 2015.



Fonte: Database impianti ARPAV

Figura 5.2 Distribuzione della popolazione nelle classi di campo elettrico: confronto tra l'indicatore calcolato nel 2009 e nel 2015. È stata sommata la popolazione dei 7 Comuni capoluogo.



Fonte: Database impianti ARPAV

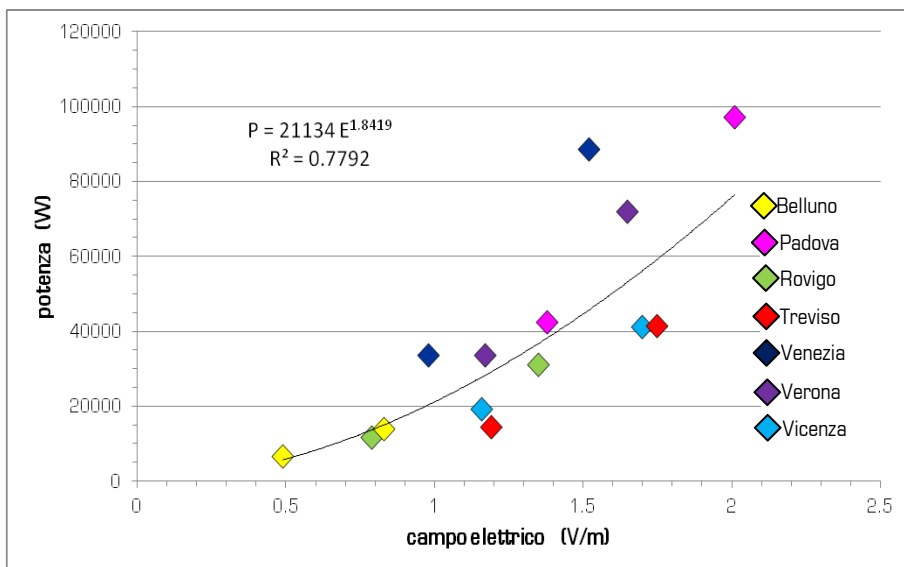
Dall'analisi dei grafici si può osservare che:

- Le mediane del 2015 sono decisamente più elevate di quelle del 2009 per ogni comune, in conseguenza dell'incremento del numero di impianti installati e della potenza complessiva emessa. Mediamente l'incremento è di 1.0 V/m con variazioni più marcate a Belluno e Rovigo; l'analisi è stata condotta anche sul 95° percentile, che risulta più alto di circa di 0.9 V/m; con andamento analogo, il valore medio di campo elettrico, valutato sui singoli punti di calcolo, cresce di 0.5 V/m.
- Il 50% degli abitanti è esposto a valori di campo elettrico inferiori a 1.1 V/m nel 2009 e a 2 V/m nel 2015.
- La distribuzione della popolazione assume una forma di tipo gaussiano più evidente nel 2015; la distribuzione si sposta e si allarga verso valori maggiormente elevati di campo elettrico rispetto al 2009.
- Fino a 1.5 V/m la percentuale di popolazione in ciascuna classe è inferiore nel 2015 rispetto al 2009, con maggiore evidenza per l'intervallo 1-1.5 V/m; a partire da 1.5 V/m invece, il trend si inverte, e aumenta, in ciascuna classe, la percentuale di abitanti nel 2015 rispetto al 2009.
- La percentuale di popolazione esposta a livelli di campo elettrico superiori a 3 V/m, ossia metà del valore di attenzione, passa da meno dello 0.1% nel 2009 a 5% nel 2015.

6. RELAZIONE TRA CAMPO ELETTRICO E POTENZA

È stata verificata la dipendenza tra campo elettrico medio calcolato nel 2009 e nel 2015 per i Comuni capoluogo e la potenza emessa da tutti gli impianti *attivi*.

Figura 6.1 Relazione tra campo elettrico medio e potenza emessa dagli impianti per ciascun Comune capoluogo. Sono rappresentati i dati del 2009 e del 2015.



Fonte: Database impianti ARPAV

L'andamento dei dati (Figura 6.1) è ben interpolato da una funzione di potenza che evidenzia una relazione quasi quadratica tra i due parametri, con quadrato del coefficiente di correlazione pari a 0.78. Tale relazione non è del tutto scontata: la dipendenza fisica tra quadrato del campo elettrico e la potenza è ovviamente valida per un singolo impianto, mentre in questo caso si stanno analizzando campi "medi" su tutta l'area comunale e la potenza complessiva degli impianti presenti e funzionanti in tale zona. La curva del grafico evidenzia come ad un notevole incremento della potenza emessa, il valore medio di campo elettrico per tutto il territorio comunale aumenti in maniera meno rapida. La correlazione diventa più significativa ($R^2 = 0.85$) se si esclude dall'analisi dei dati il comune di Venezia. È probabile che ciò sia dovuto alle peculiarità urbanistiche dell'area urbana che comprende sia territori insulari che di terraferma ed è articolato attorno ai due distinti centri, Venezia (al centro dell'omonima laguna) e Mestre (sulla terraferma).

7. CONCLUSIONI

È stato calcolato l'indicatore di esposizione della popolazione al campo elettrico prodotto dalle Stazioni Radio Base attive nei Comuni capoluogo del Veneto (Belluno, Padova, Rovigo, Treviso, Venezia, Verona e Vicenza); il calcolo è stato effettuato considerando tutti gli impianti attivi all'interno del territorio comunale e quelli presenti entro un raggio di almeno 500 m dal confine.

I valori di campo elettrico sono stati mediati sulle sezioni di censimento ISTAT del 2011, contenenti i dati dei residenti, al fine di costruire la distribuzione della popolazione rispetto a determinati intervalli di campo elettrico, da 0 V/m fino a 6 V/m. È importante ricordare che i valori di campo elettrico sono stati calcolati ad un'unica altezza, pari a 5 metri e corrispondente al primo piano degli edifici. Conseguentemente, tutta la popolazione è stata associata a tale quota, e cioè considerata residente al primo piano. Questa assunzione può comportare una sottostima delle esposizioni ai livelli più bassi e più alti del campo elettrico.

Per ogni città sono stati stimati i due indicatori statistici, la mediana e il 95° percentile, rappresentativi dell'esposizione, rispettivamente della metà e della maggioranza della popolazione. Con l'eccezione di Belluno, che, come atteso, è la città con i valori inferiori, nei rimanenti 6 centri la mediana è compresa tra 1.9 V/m e 2.1 V/m, e il 95° percentile tra 2.8 V/m e 3.3 V/m. I livelli più elevati sono registrati a Padova, il comune con la più elevata potenza emessa.

Dal confronto con l'indicatore valutato nel 2009, è emerso un aumento netto dell'esposizione della popolazione, in conseguenza del maggior numero di impianti installati e della potenza emessa. L'incremento di circa 1 V/m e 0.9 V/m, rispettivamente delle mediane e del 95° percentile, evidenziano che la metà dei residenti delle città del Veneto e la maggioranza di essi sono ora esposti in media ad un campo più elevato di circa 1 V/m – 0.9 V/m rispetto a 6 anni fa.

La distribuzione della popolazione rispetto le classi di campo elettrico considerate nello studio assume la tipica forma a campana. Inoltre, rispetto al 2009, la distribuzione si allarga maggiormente ed è spostata verso gli intervalli di valori più alti. In termini numerici, considerando la popolazione totale delle 7 città del Veneto, e facendo riferimento a 3 V/m, ossia a metà del valore di attenzione stabilito dalla normativa, si osserva che la percentuale di persone esposte a più di 3 V/m passa da meno dello 0.1% nel 2009 a 5% nel 2015.

È stata infine analizzata la relazione tra campo elettrico medio di ogni città e la potenza complessiva degli impianti sia per il 2009 che per il 2015. I 14 punti sono correlati tramite una relazione circa quadratica tra campo e potenza, nonostante si tratti di stime medie e complessive su aree vaste e non riferite ad un'unica sorgente.

Lo strumento di analisi elaborato permette di sintetizzare chiaramente l'impatto degli impianti di telefonia cellulare sul territorio e sulla popolazione e di monitorarne i cambiamenti nel tempo, fornendo così indicazioni utili sia in ambito preventivo che di controllo.

BIBLIOGRAFIA

Poli S., Trotti F., Binotto R., De Luca G., Ugolini R., Valente A., 2011. *Il progetto ETERE di Arpa Veneto*. In: Ecoscienza "Nuove frontiere per i campi elettromagnetici", pagg. 40-41.

Trotti F., Poli S., Ugolini R., 2010. *Radiazioni non ionizzanti: campi elettromagnetici a radiofrequenza*. In: Ambiente e territorio 2010, pagg. 69-75.

Poli S., Ugolini R., 2008. *Popolazione esposta al campo elettrico prodotto dalle Stazioni Radio Base*. In: Rapporto sugli Indicatori Ambientali del Veneto, pagg. 176-177.

ANALISI DEI DATI STORICI DELLE STAZIONI RADIO BASE (SRB) E DELLE MISURE IN RADIOFREQUENZA (RF) IN TRE CITTÀ DELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA (PORDENONE, UDINE, TRIESTE)

A. Bampo¹, S. Barba¹, M. Battistutta¹, M. Benes¹, V. Brinis¹, S. Caschi¹, E. Consiglieri¹, M. Martini¹, M. Marzona¹, C. Montefusco¹, M. Moretuzzo¹, N. Poles¹, M. Salvagni¹, L. Tramontin¹

¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia

ABSTRACT

L'introduzione delle nuove tecnologie di telecomunicazione ha portato ad un notevole aumento del numero e della potenza degli impianti fissi di telefonia mobile presenti sul territorio del Friuli Venezia Giulia.

Nel presente documento viene valutata, tramite analisi di dati statistici, la variazione dei valori di campo elettromagnetico ai quali è esposta la popolazione residente nelle tre città più popolate della Regione (Trieste, Udine, Pordenone).

Verrà dapprima quantificata l'entità della modifica degli impianti, si passerà poi ad analizzare la variazione di potenza trasmessa delle SRB (Stazioni Radio Base) che determina i livelli di campo elettrico massimi teorici considerati nella fase autorizzativa precedente all'installazione dei singoli impianti. Infine, verrà condotto uno studio sui valori effettivamente misurati sul territorio nel corso di vari anni, mostrando il reale effetto dell'introduzione della tecnologia LTE sui valori del campo elettrico di fondo.

PAROLE CHIAVE

Tecnologia, stazioni radio base, potenza, sito

1. INTRODUZIONE

La telefonia mobile ha iniziato a diffondersi capillarmente e massivamente nei primi anni del 2000. Nel primo decennio del nuovo millennio l'utilizzo del cellulare era limitato alle comunicazioni vocali; sembrava quindi che, una volta completata la rete di impianti necessaria a soddisfare le telefonate, le problematiche dell'inquinamento elettromagnetico avrebbero perso rilevanza stabilizzandosi su valori di esposizione costanti.

L'evoluzione tecnologica dei dispositivi e delle tecniche di comunicazione ha invece radicalmente modificato l'utilizzo e le funzioni del telefonino.

La funzione originaria, cioè quella di poter effettuare chiamate vocali, è stata sostituita da una serie di servizi e funzioni differenti tra loro e anche la struttura del cellulare è migrata verso altri tipi di dispositivi, gli *smartphone*, che insieme ai *tablet* e ai *PC portatili* consentono agli utenti di effettuare molteplici operazioni: dal check-in per l'aeroporto alla gestione del conto in banca, dalla creazione di documenti all'acquisto di abbigliamento, ... tutto attraverso la rete mobile. La tecnologia e la rete devono quindi supportare le attività più varie di scambio e comunicazione dati che, proprio per l'estrema versatilità delle funzioni e delle applicazioni, vengono effettuate continuamente da ciascun dispositivo. Oltre alle tecniche di trasmissione, le nuove modalità di utilizzo modificano anche altre caratteristiche emmissive quali, ad esempio, la distribuzione temporale nell'arco della giornata (perché l'attività dell'impianto non è più concentrata in fascia diurna (1)) o la potenza degli impianti, che sono chiamati a supportare carichi di attività e servizi sempre maggiori.

L'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici è quindi in continua evoluzione. Poiché rientra tra i compiti di ARPA la protezione della popolazione dai campi elettromagnetici generati dagli impianti di telecomunicazione, l'Agenzia ha nel corso degli anni effettuato numerose attività di controllo, sia con valutazioni preventive (pareri precedenti all'installazione e/o modifica degli impianti) sia con misure del campo elettrico effettuate sul territorio regionale. Tali dati, inseriti nel *Catasto Regionale degli Impianti Radioelettrici* (istituito nel 2000 e aggiornato quotidianamente), sono oggi utilizzati per analizzare le variazioni delle caratteristiche tecniche degli impianti nel tempo e la variazione statistica dei livelli di esposizione reale.

L'analisi si è concentrata sulle tre città più popolose della regione FVG: Pordenone, Trieste e Udine che sono le città con più di 50 000 abitanti, ed ha riguardato gli ultimi anni dal 2009 al 2015; la fotografia che si ottiene è l'incidenza dello sviluppo delle nuove tecnologie (essenzialmente l'introduzione del *LTE*) sulle principali aree urbane che, già dal 2012, sono state interessate da tali sviluppi. Ovviamente l'implementazione di sempre nuove tecnologie nei medesimi impianti determina un progressivo aumento delle potenze utilizzate tanto da determinare una sempre più fitta occupazione dello spazio elettromagnetico (3).

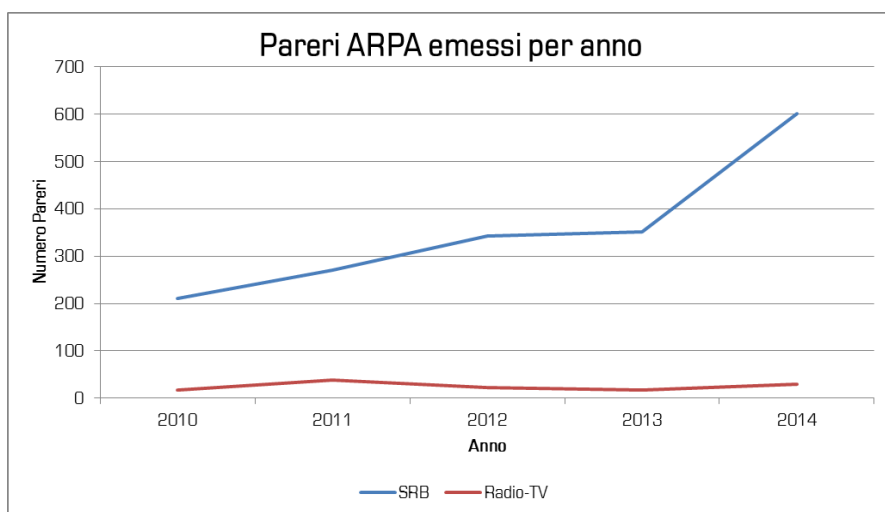
2. ANALISI DELL'EVOLUZIONE DEI LIVELLI DI CAMPO ELETTROMAGNETICO SUL TERRITORIO

ARPA dispone di un catasto regionale informatizzato contenente i dati radioelettrici di tutti gli impianti per telecomunicazioni presenti sul territorio regionale (2) unitamente ad uno storico delle misure del campo elettrico. I dati contenuti in questo archivio vengono continuamente aggiornati ed in buona parte sono consultabili sul sito internet dell'Agenzia, sia dai cittadini che dai gestori telefonici e dagli studi tecnici che si occupano della stesura dei progetti di impatto elettromagnetico.

Per analizzare l'impatto dell'introduzione delle nuove tecnologie di comunicazione sulla popolazione, sono state condotte delle analisi sui dati disponibili inerenti le SRB (Stazioni Radio Base).

Per delineare il quadro della tematica si riporta l'andamento del numero di valutazioni preventive effettuate dall'Agenzia per nuove installazioni o modifiche agli impianti esistenti sull'intero territorio del Friuli Venezia Giulia suddivise per anno.

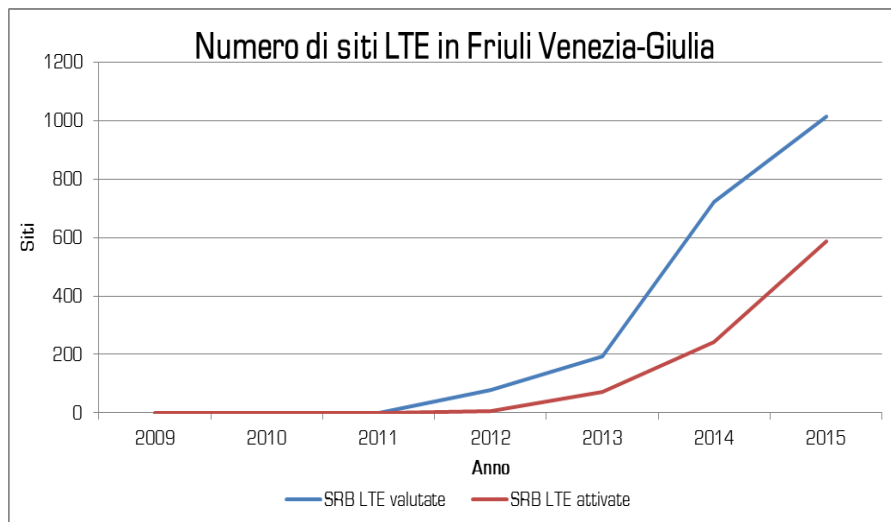
Figura 2.1 – Numero di impianti nuovi o modificati valutati da ARPA Friuli Venezia Giulia in ogni singolo anno (dal 2010 al 2014)



Fonte: Dati ARPA Friuli Venezia Giulia

Dal grafico si evince come il numero di impianti modificati dal 2010 al 2014 cresca di anno in anno, con un incremento di notevole entità nel 2014. Per verificare l'ipotesi che quest'aumento sia frutto dell'introduzione della tecnologia LTE e non di ridistribuzioni e ottimizzazioni alle reti telefoniche dei gestori, si presenta il numero totale di impianti LTE oggetto di valutazione preventiva ed il corrispondente numero di impianti attivati, all'interno dell'intero territorio regionale.

Figura 2.2 – Variazione del numero dei siti con tecnologia LTE in Friuli Venezia Giulia dal 2009 al 2015



Fonte: Dati ARPA Friuli Venezia Giulia

Da questo grafico è possibile osservare come la tecnologia *LTE*, che è stata introdotta in Friuli Venezia Giulia a partire dal 2012, abbia avuto una crescita importante nell'anno 2014. Si osserva anche come gli impianti vengano effettivamente realizzati circa un anno dopo l'emissione del parere ARPA. Nei primi sei mesi del 2015 sono stati attivati più siti LTE che nell'intero anno precedente. Per questo motivo si può ragionevolmente supporre che gli effetti del picco di "autorizzazioni" avvenuto nel 2014 saranno osservabili nei dati del 2015.

Successivamente all'analisi della quantità di siti modificati, sono state condotte analisi più mirate atte ad osservare l'effettiva evoluzione del campo elettrico a cui sono esposti i cittadini sul territorio. Per caratterizzare l'entità del campo, si è scelto di analizzare due indicatori differenti:

- Somma della potenza massima trasmissiva degli impianti: poiché potenza ed intensità di campo elettromagnetico sono direttamente legate (4), dall'analisi della potenza si può ricavare una stima del campo elettrico. Per le caratteristiche delle tecnologie cellulari, che non trasmettono sempre a piena potenza, il valore ottenuto da questa tipologia di analisi è una stima teorica cautelativa difficilmente raggiungibile nel caso reale.
- Misure effettuate sul territorio: queste indicano in modo oggettivo i valori di campo elettrico a cui è esposta la popolazione sul territorio. Vengono eseguite principalmente in prossimità di strutture sensibili (quali possono essere ad esempio scuole, case di riposo o luoghi a permanenza prolungata degli individui) e nei pressi delle sorgenti di campo (es. Impianti di telefonia mobile).

Per entrambi gli indicatori, vengono presentati i risultati ottenuti nelle aree urbane delle città più densamente popolate della regione: Trieste, Udine e Pordenone.

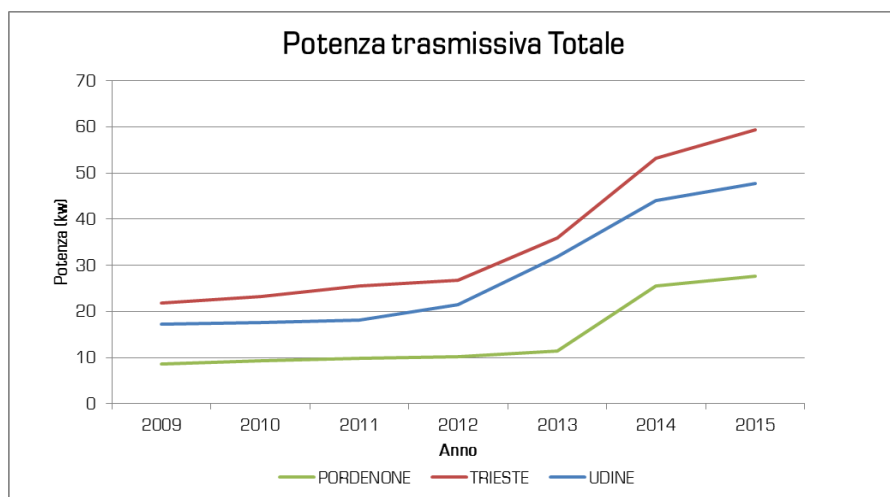
La scelta di limitare l'analisi a soli due indicatori con caratteristiche semplici da individuare è stata dettata dall'intento di poter replicare lo studio su diverse realtà territoriali in modo immediato, senza impegno di particolari potenzialità di calcolo e/o tecniche analitiche.

3. VALUTAZIONE DEGLI AUMENTI DI POTENZA DEGLI IMPIANTI

Nel database/catasto ARPA sono contenute informazioni riguardo agli impianti. In particolare, è nota la potenza trasmissiva relativa ad ogni tecnologia e ad ogni elemento che costituisce una SRB. Da questi dati è possibile determinare la potenza trasmissiva totale degli impianti collocati sul territorio regionale e valutare la variazione annuale di potenza richiesta dai gestori tramite attivazione di nuovi impianti e potenziamento di quelli esistenti.

Nei grafici che seguono, si deve prestare particolare attenzione all'interpretazione dei dati corrispondenti all'anno 2015: al momento della stesura del presente documento infatti, sono disponibili solamente i dati dei primi sei mesi dell'anno. La potenza e la variazione complessive rilevate a fine anno saranno quindi maggiori.

Figura 3.1 – Andamento della potenza trasmissiva degli impianti SRB - confronto tra le città di Pordenone, Trieste e Udine nel periodo temporale 2009-2015



Fonte: Dati ARPA Friuli Venezia Giulia

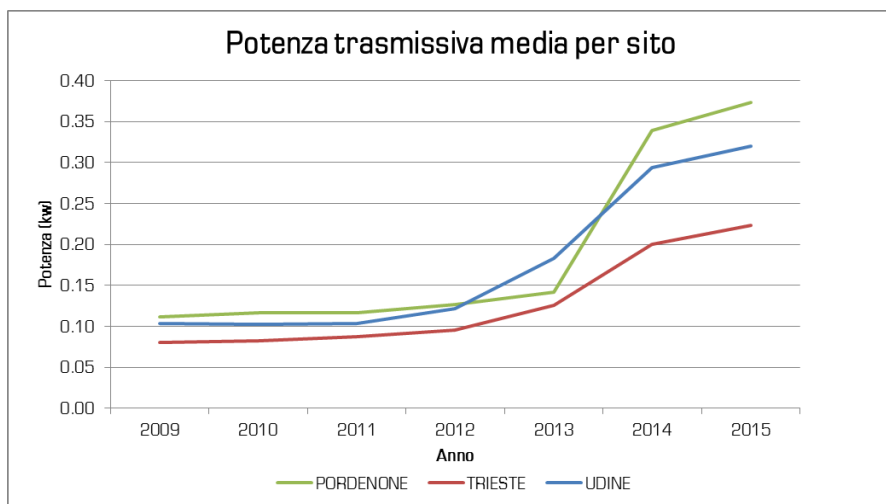
Come si può osservare dai grafici presentati, alle tre città corrispondono realtà e potenze impiegate molto diverse tra loro: a Trieste, città che tra l'altro ha

sperimentato per prima l'introduzione della tecnologia 4G, la potenza totale è nell'ordine dei 60 kW, a Udine di 50 kW e a Pordenone di 30 kW.

In tutte le città è ben evidente la variazione di potenza richiesta nel 2014, conseguentemente all'aggiornamento delle reti telefoniche che utilizzano le nuove tecnologie trasmissive.

Si noti anche come, in tutte e tre le città esaminate, la potenza totale aumenti di anno in anno, definendo un *trend* chiaro che porterà certamente al raggiungimento di potenze ancora maggiori nei prossimi anni.

Figura 3.2 – Andamento della potenza trasmissiva media per impianto SRB - confronto tra le città di Pordenone, Trieste e Udine nel periodo temporale 2009-2015



Fonte: Dati ARPA Friuli Venezia Giulia

Osservando la potenza trasmissiva totale media per impianto, si nota come questa sia rimasta pressoché invariata, in tutte e tre le città, prima dell'adozione della tecnologia *LTE*. In seguito all'implementazione dei sistemi *4G* si osserva, nella città di Pordenone, il massimo valore di potenza per impianto.

Tale dato può essere interpretato come una diversa strategia (voluta o imposta dalle esigenze territoriali e/o amministrative) di implementazione delle reti: Pordenone è caratterizzata da una minor proliferazione degli impianti che però presentano potenze più elevate (nel 2015: n.74 impianti con circa 370W ciascuno) mentre Trieste è caratterizzata da un numero maggiore di impianti con una potenza media contenuta (nel 2015: n.226 impianti con circa 220W ciascuno).

È utile osservare che le considerazioni riportate si basano sulle informazioni tratte dalle valutazioni preventive e quindi non sono direttamente rapportabili alle misure in quanto non corrispondono alla reale attivazione degli impianti.

4. EVOLUZIONE DEI VALORI DI CAMPO ELETTRICITÀ MISURATI

Il *Catasto Regionale degli Impianti Radioelettrici* del Friuli Venezia Giulia presenta una sezione dedicata alla archiviazione delle misure di campo elettromagnetico effettuate dall'ARPA dal 2000 ad oggi. Attingendo da tale database i punti effettuati anno per anno nelle singole città oggetto del focus, si sono ottenuti i dati riportati nella tabella 4.1.

Tabella 4.1 Numero di misure effettuate per anno nelle città di Trieste, Udine, e Pordenone nel periodo temporale 2009-2015

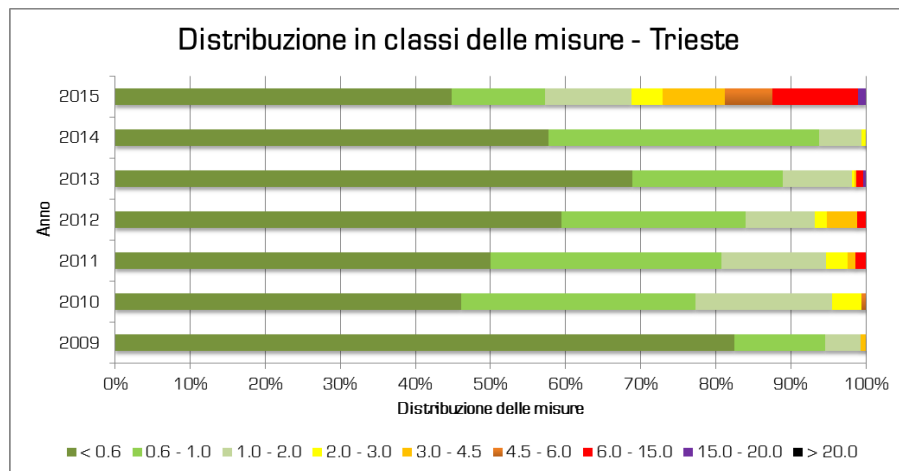
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	<i>totale</i>
Trieste	148	154	208	175	325	319	96	<i>1425</i>
Udine	73	99	27	236	281	412	121	<i>1249</i>
Pordenone	33	57	37	65	60	254	24	<i>530</i>
totale	<i>254</i>	<i>310</i>	<i>272</i>	<i>476</i>	<i>666</i>	<i>985</i>	<i>241</i>	<i>3204</i>

Fonte: Dati ARPA Friuli Venezia Giulia

Come già osservato, si deve tenere presente che il dato corrispondente all'anno 2015 è estremamente più basso di quello dell'anno precedente in quanto tiene conto solo del primo semestre dell'anno.

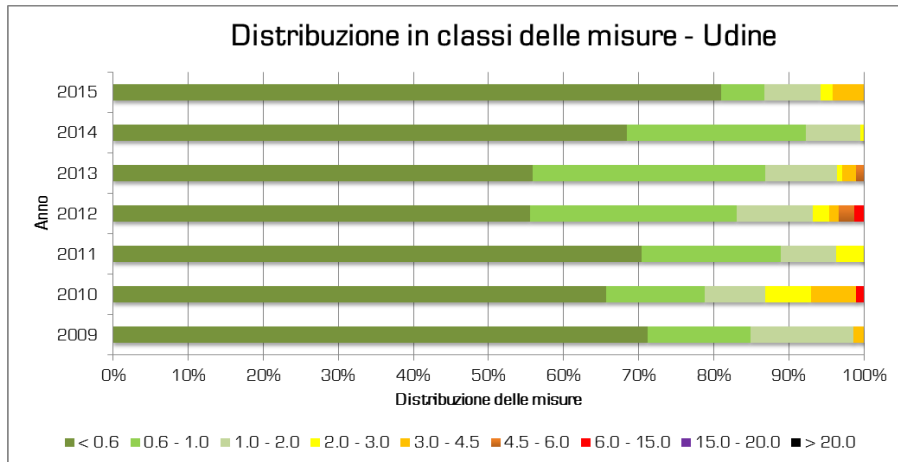
Si riportano di seguito le misure effettuate nelle singole città suddivise per classe di valori e per anno di misurazione.

Figura 4.1 – Valori ottenuti dalle misure effettuate nella città di Trieste nel periodo temporale 2009-2015



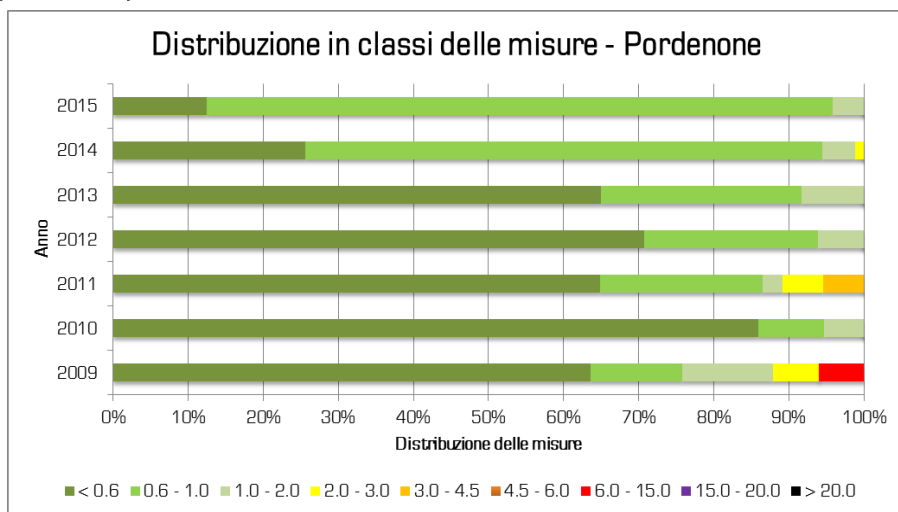
Fonte: Dati ARPA Friuli Venezia Giulia

Figura 4.2 – Valori ottenuti dalle misure effettuate nella città di Udine nel periodo temporale 2009-2015



Fonte: Dati ARPA Friuli Venezia Giulia

Figura 4.3 – Valori ottenuti dalle misure effettuate nella città di Pordenone nel periodo temporale 2009-2015



Fonte: Dati ARPA Friuli Venezia Giulia

Dall'analisi dei dati emerge come il progressivo aumento della potenza (sia totale che media per sito) non si traduca in un altrettanto evidente variazione del quadro dell'esposizione. Come accennato un motivo potrebbe risiedere nel fatto che la nuova

tecnologia *LTE* risulta *in aria*, in modo diffuso, solo dalla fine del 2014 e pertanto emerge solo nelle misure condotte nell'anno corrente (che, come osservato, coprono solo la prima parte dell'anno). Un altro fattore può essere individuato nelle modalità di trasmissione delle nuove tecnologie (*UMTS* e *LTE*), che implementano un risparmio di energia quando non è necessaria l'attività di rete.

Relativamente alle misure nella città di Trieste è opportuno osservare che nel 2015 è stata avviata, in collaborazione con la Regione FVG ed il Comune, una campagna di misure mirata alla caratterizzazione del sito Radio-Televisivo di Conconello in cui vi sono diversi punti di criticità rispetto ai limiti di legge. Nello specifico della presente analisi la notevole percentuale di misure superiori ai 4.5V/m è concentrata prevalentemente in tale area.

In generale si può affermare che le misure caratterizzate da valori prossimi ai limiti di legge sono, nel caso delle città considerate, sempre collocabili in prossimità di impianti Radio e TV e pertanto non rilevanti rispetto allo studio sull'attivazione delle nuove tecnologie.

Una osservazione delle misure più mirata agli impianti SRB, è che i livelli di campo elettrico presenti nelle città sono relativamente bassi nonostante l'aumento delle potenze degli impianti. Tuttavia considerando in particolare il primo intervallo delle misure (tra 0.3 e 0.6 V/m – 0.3 V/m rappresenta la soglia di sensibilità dello strumento) si osserva che a Trieste ed in particolare a Pordenone il trend degli ultimi anni è di una costante riduzione della percentuale di misure in questa classe con conseguente spostamento verso intervalli superiori. Per Pordenone questo può essere correlato anche con l'aumento medio della potenza per sito.

È utile ricordare che con il Decreto Legge 179/2012 e s.m.i. è stata introdotta la possibilità per i gestori di considerare nella progettazione (e quindi nelle stime previsionali) sia il fattore α_{24} (per tener conto della variabilità temporale dei livelli di emissione degli impianti *UMTS* ed *LTE* nelle 24 ore) sia il fattore di attenuazione delle pareti degli edifici; entrambi questi fattori rendono meno cautelative le stime previsionali con il conseguente potenziale aumento dei livelli di campo misurato. Da notare che in Friuli Venezia Giulia i gestori di telefonia hanno introdotto l'utilizzo di tali parametri solo in casi sporadici.

5. CONCLUSIONI

Dallo studio è emerso che la potenza dedicata alle trasmissioni cellulari aumenta di anno in anno in tutte le città oggetto di questo studio. Dai dati analizzati si può ragionevolmente supporre che questo *trend* continuerà anche nel prossimo futuro.

L'introduzione della tecnologia *LTE*, adottata dal 2012 ed implementata in modo efficace nel 2014, ha portato ad un notevole incremento delle potenze trasmissive sia totali che medie degli impianti.

Le misure mostrano come, ad eccezione di alcuni scenari problematici, la situazione del campo elettrico sia ampiamente entro i limiti di legge. Emerge l'evidenza, soprattutto nelle città di Pordenone e Trieste, di un trend d'aumento dei valori di fondo del campo elettromagnetico negli ultimi anni.

È utile sottolineare che l'attivazione degli impianti *LTE* è avvenuta, in modo diffuso, a partire dalla fine del 2014 e pertanto gli effetti della nuova tecnologia emergono nelle misure condotte nel corso dell'anno corrente.

L'introduzione dei parametri *alpha24*, che in Friuli Venezia Giulia cominciano ad essere applicati alla data del presente articolo, ci si attende possa portare ad un ulteriore innalzamento delle potenze utilizzate dagli impianti e al conseguente aumento del campo elettromagnetico a cui sono esposti i cittadini.

Pertanto si ritiene di continuare la raccolta dati al fine di verificare come gli effetti della tecnologia *4G* e delle modifiche alla normativa possano emergere nelle misure dei prossimi anni in modo più evidente di quanto emerso finora.

BIBLIOGRAFIA

(1) S. Adda et al., 2013, Entrata in vigore della legge 221/2012: stima dell'aumento medio dell'esposizione della popolazione a campi elettromagnetici a radiofrequenza. Arpa Piemonte, Atti del XXXVI Congresso Nazionale di Radioprotezione AIRP - Riassunti, 18-20 Settembre 2013, Palermo.

(2) A. Bampo et al., 2012. Catasto degli impianti radioelettrici per telecomunicazioni: un nuovo approccio per la comunicazione dei dati. ARPA Friuli Venezia Giulia, AIRP - Atti del XXXV Congresso Nazionale di Radioprotezione, Venezia, 17 - 19 ottobre 2012.

(3) Valeria Bottura et al, 2014. Spazio elettromagnetico in Valle d'Aosta per stazioni radio base. Arpa Valle d'Aosta, AIRP - Atti del XXXVII Congresso Nazionale di Radioprotezione, Aosta, 15-17 ottobre 2014.

(4) 2002, *Guida CEI 211-10 "Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza"*.

IMPATTO DELL'EVOLUZIONE TECNOLOGICA DELLE RETI DI TELECOMUNICAZIONE CELLULARE SULLA ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI IN AMBIENTE URBANO

Enrico Grillo¹, Daniele Franci¹, Tommaso Aureli¹

¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Lazio

ABSTRACT

Il presente studio è finalizzato alla valutazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici in funzione dell'evoluzione tecnologica delle reti di telecomunicazione cellulare in un contesto fortemente urbanizzato. L'evoluzione delle reti è stata schematizzata in quattro fasi, corrispondenti alle progressive innovazioni tecnologiche e per ciascuna fase è stata effettuata una simulazione dell'impatto elettromagnetico prodotto dagli impianti presenti in un'area del centro storico di Roma. L'esposizione della popolazione è stata successivamente valutata combinando i risultati delle simulazioni effettuate con il software *3DSimulation* con dati statistici e territoriali elaborati con QGIS. I risultati mostrano un progressivo incremento dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici in funzione delle diverse fasi di sviluppo della rete con la predizione di situazioni di criticità che emergeranno con il continuo sviluppo delle reti.

PAROLE CHIAVE

simulazione, campo elettrico, esposizione umana, reti di telecomunicazione cellulare

1. INTRODUZIONE

L'esigenza di fornire agli utenti un numero sempre maggiore di servizi in mobilità ha determinato, in questi ultimi anni, una progressiva evoluzione delle reti di telecomunicazione cellulare, accompagnata da un incremento delle tecnologie trasmissive utilizzate e il conseguente aumento della potenza complessiva installata.

Questo studio è finalizzato alla valutazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici prodotti dalle Stazioni Radio Base (SRB) tenendo conto dell'evoluzione tecnologica delle reti di telefonia in un contesto fortemente urbanizzato come quello del centro storico di Roma. Nello specifico lo sviluppo della rete è stato schematizzato con una sequenza di fasi successive caratterizzate dalla nascita di nuove tecnologie e dall'adeguamento di quelle preesistenti.

A partire dai dati tecnici degli impianti presenti in un'area delimitata del centro storico di Roma si è valutato l'impatto elettromagnetico da questi generato nelle diverse fasi evolutive della rete, attraverso il software *3DSimulation*, sviluppato all'interno dell'Agenzia (Franci *et al.*, 2015), che permette di effettuare una simulazione accurata del campo elettrico prodotto da una o più SRB dislocate nello spazio. Combinando i risultati forniti da *3DSimulation* con i dati urbanistici e censuari, l'esposizione della popolazione è stata descritta, per ciascuna fase di evoluzione della rete, mediante indicatori statistici rappresentativi.

2. EVOLUZIONE TECNOLOGICA DELLA RETE DI TELEFONIA MOBILE

L'evoluzione delle reti di telefonia mobile è stata schematizzata in quattro diverse fasi:

- 1) La **fase 2G**, legata essenzialmente ai servizi di fonia e che comprende le tecnologie GSM (*Global System for Mobile Communications*) a 900 MHz e DCS (*Digital Cellular System*) a 1800 MHz;
- 2) La **fase 3G**, nella quale la rete si arricchisce dei servizi UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) a 2100 MHz per soddisfare la nascente esigenza dei servizi dati in mobilità. Lo sviluppo di questa fase è trainato dalla comparsa di un nuovo operatore che, fornendo esclusivamente servizi di terza generazione, ha stimolato l'innovazione tecnologica della rete degli altri gestori;
- 3) La **fase 3.5G**, nella quale la crescita esponenziale della richiesta di connettività a banda larga impone l'allargamento della rete UMTS con l'attivazione di nuove frequenze nella banda 2100 MHz e la nascita dei servizi di connettività veloce HSPA (*High-Speed Packet Access*);
- 4) La **fase 4G**, nella quale alle preesistenti tecnologie si aggiungono anche servizi di telefonia esclusivamente dedicati alla connessione a banda ultralarga LTE (*Long Term Evolution*). In tale fase è presente anche il servizio UMTS a 900 MHz, nato con la razionalizzazione delle frequenze radio.

Seguendo l'evoluzione della rete secondo queste quattro fasi è stato valutato l'andamento dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici limitatamente ad un'area urbana circoscritta.

Figura 1 - Ortofoto dell'area di indagine presso il centro storico di Roma con la dislocazione delle SRB



Fonte: Google Earth

L'area oggetto dello studio è un quadrato di 500 metri di lato nella zona centrale di Roma, all'interno della quale sono state geolocalizzate tutte le SRB esistenti corredate dalle caratteristiche tecniche di ciascuna. Tutti i dati relativi alle SRB, nelle quattro fasi di sviluppo della rete, provengono dal database di ARPA Lazio. L'ortofoto relativa all'area di interesse, insieme alla posizione delle diverse SRB, è riportata in Figura 1.

Una prima indicazione dello sviluppo delle reti di telecomunicazione cellulare in funzione dell'evoluzione tecnologica può essere ricavata dalla Tabella 1, che mostra la potenza totale associata agli impianti presenti nell'area di indagine. Dal confronto dei dati risulta un sostanziale incremento della potenza totale installata nelle diverse fasi di sviluppo.

Tabella 1 - Potenza totale associata agli impianti presenti nell'area di indagine nel centro storico di Roma e incremento percentuale rispetto alla fase 2G in funzione della fase tecnologica

<u>Fase</u>	<u>Potenza totale [W]</u>	<u>Variazione percentuale [%]</u>
2G	930	-
3G	1550	+66.8 %
3.5G	1990	+114.3 %
4G	2390	+157.0 %

Fonte: Dati ARPA Lazio

3. METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE IN AMBIENTE URBANO

L'analisi dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici generati da SRB in ambiente urbano viene effettuata interfacciando *3DSimulation* con un software GIS (*Geographic Information System*), utilizzato per affrontare la parte geostatistica dell'analisi. Tra le diverse soluzioni esistenti, la scelta è ricaduta sull'utilizzo del software QGIS (QGIS Development Team, 2009), uno dei più famosi ed utilizzati software GIS open source.

Dopo la definizione dell'area di indagine e la geolocalizzazione degli impianti (Figura 1), il passo successivo consiste nel recuperare l'informazione sulla disposizione dell'edificato urbano all'interno dell'area. Tale informazione può essere reperita presso il sito web del Portale Cartografico Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/GN/>), sotto forma di file .shp (shapefile) compatibile con QGIS. Oltre a definire dettagliatamente il perimetro di ogni edificio presente nell'area di interesse, lo shapefile contiene anche l'informazione sulla quota della base dell'edificio e sulla quota della gronda, fornendo così una dettagliata descrizione tridimensionale della geometria di tutti gli edifici presi in considerazione. Infine le informazioni censuarie sul numero di abitanti che popolano l'area – necessarie al fine di definire dei parametri rappresentativi dell'esposizione della popolazione – sono reperite presso il sito dell'ISTAT (<http://www.istat.it/it/>) e si riferiscono al censimento nazionale del 2011. Anche il dato censuario è disponibile sotto forma di shapefile e può quindi essere importato direttamente in QGIS.

Lo shapefile dell'ISTAT fornisce il dato della popolazione suddiviso per singola zona censuaria, la quale può contenere numerosi edifici al suo interno. Al fine di associare un numero univoco di abitanti per ciascun edificio, il totale degli abitanti di un'area censuaria è stato ripartito tra i diversi edifici proporzionalmente al loro volume, secondo l'Equazione 1 riportata di seguito.

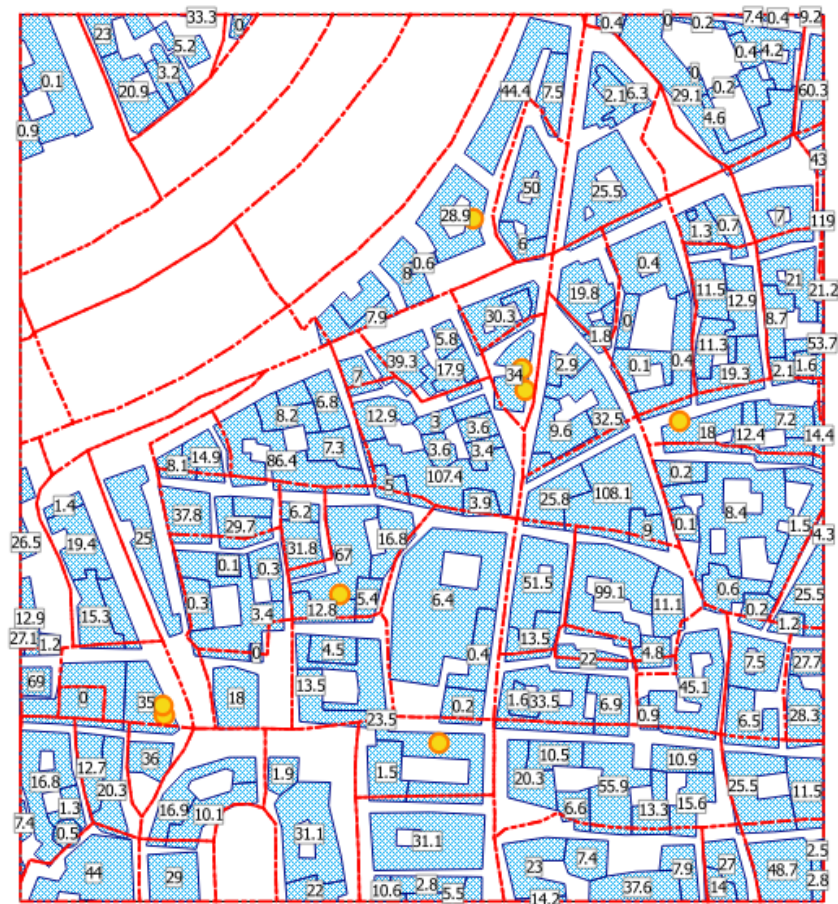
$$(1) \quad N_i = N_{TOT} \frac{V_i}{\sum_j V_j}$$

dove N_i e V_i sono rispettivamente il numero di abitanti associati all' i -esimo edificio e il suo volume, N_{TOT} è il totale degli abitanti nell'area censuaria e la sommatoria si estende sui volumi di tutti gli edifici appartenenti all'area censuaria di riferimento. Il risultato dei passaggi fin qui descritti è mostrato in Figura 2, che rappresenta il profilo dell'edificato urbano con l'indicazione del numero di abitanti associato a ciascun edificio, la dislocazione delle SRB e i confini delle diverse zone censuarie. Partendo dalla Figura 2, il software *3DSimulation* consente di valutare l'impatto su ogni singolo edificio. Per tenere in considerazione le diverse altezze, ciascun edificio viene schematizzato come se fosse composto da tre livelli sovrapposti:

- C. Tre metri rispetto alla quota della base, rappresentativo dell'esposizione del primo piano;
- D. Metà altezza dell'edificio;
- E. Tre metri sotto la quota della gronda, rappresentativo dell'esposizione dell'ultimo piano.

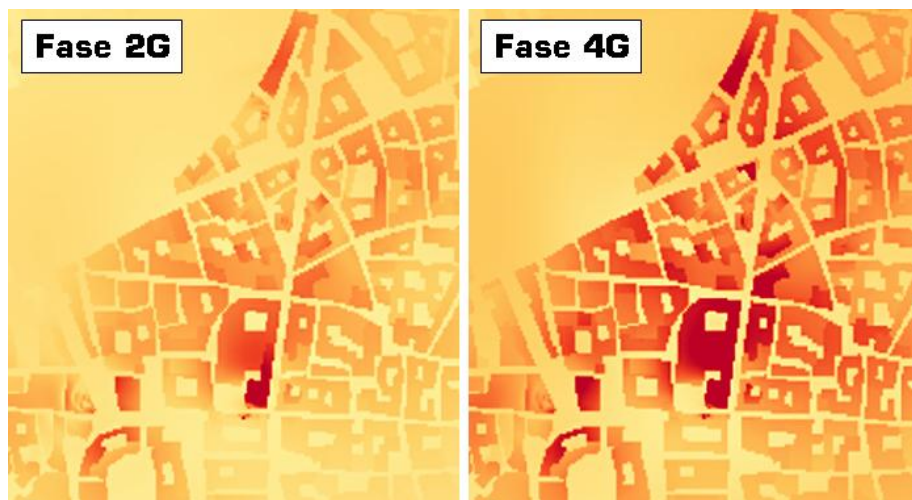
Per ciascun livello si effettua il calcolo del campo elettrico previsionale con l'algoritmo di spazio libero, ottenendo così la distribuzione del campo elettrico in funzione delle coordinate geografiche. Il risultato di questa operazione è mostrato in Figura 3 dove è riportata la distribuzione del campo relativo al livello dell'ultimo piano, per due stadi di evoluzione della rete cellulare che verranno prese in considerazione in questo studio: la fase 2G (sinistra) e la fase 4G (destra). La distribuzione del campo elettrico relativa a ciascuno dei tre livelli considerati viene quindi integrata sulla superficie di ciascun edificio e normalizzata alla superficie stessa, al fine di ottenere il valore di campo elettrico medio per ciascuno dei tre livelli di ogni edificio.

Figura 2 - Rappresentazione dell'area di studio nel centro storico di Roma con l'edificato urbano, la dislocazione delle SRB e i confini delle singole zone censuarie.



Fonte: Dati ARPA Lazio

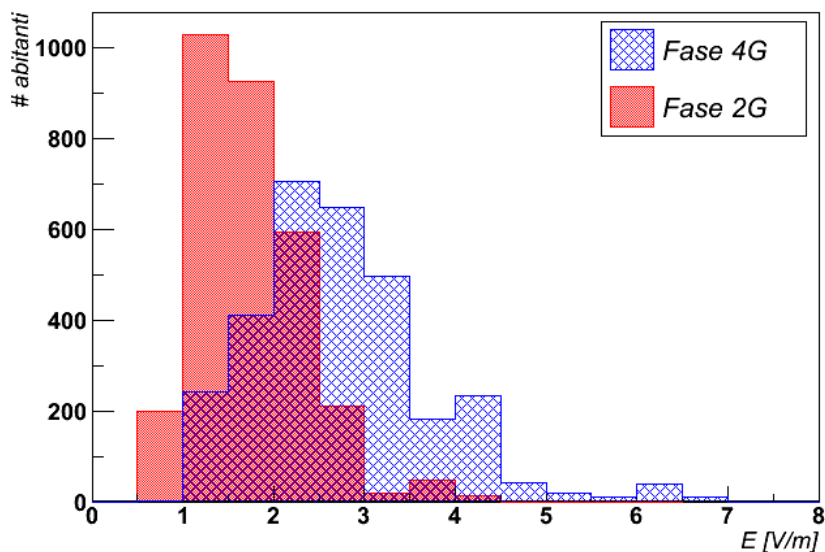
Figura 3 Distribuzione del campo elettrico relativa al livello dell'ultimo piano degli edifici presenti nell'area di studio nel centro storico di Roma: fase 2G (sinistra) e fase 4G (destra).



Fonte: Dati ARPA Lazio

Infine, assumendo che il numero di abitanti di ciascun edificio sia equamente ripartito tra i tre livelli considerati, la procedura descritta permette di ricavare la distribuzione del numero di abitanti dell'area di indagine che risulta essere esposto a un determinato valore di campo elettrico. Tale distribuzione descrive in maniera completa l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici e da essa possono essere ricavati degli indicatori statistici che descrivono lo stato elettromagnetico di un'area urbana in pochi, ma significativi, parametri. La Figura 4 mette a confronto la distribuzione ottenuta nella fase 2G e nella fase 4G. L'integrale di ciascuna delle due distribuzioni rappresenta il numero totale di abitanti - 3038 nel caso specifico - presenti nell'area di indagine.

Figura 4 - Distribuzione del numero di abitanti dell'area di indagine nel centro storico di Roma esposti a un determinato valore di campo elettrico per la fase 2G e 4G

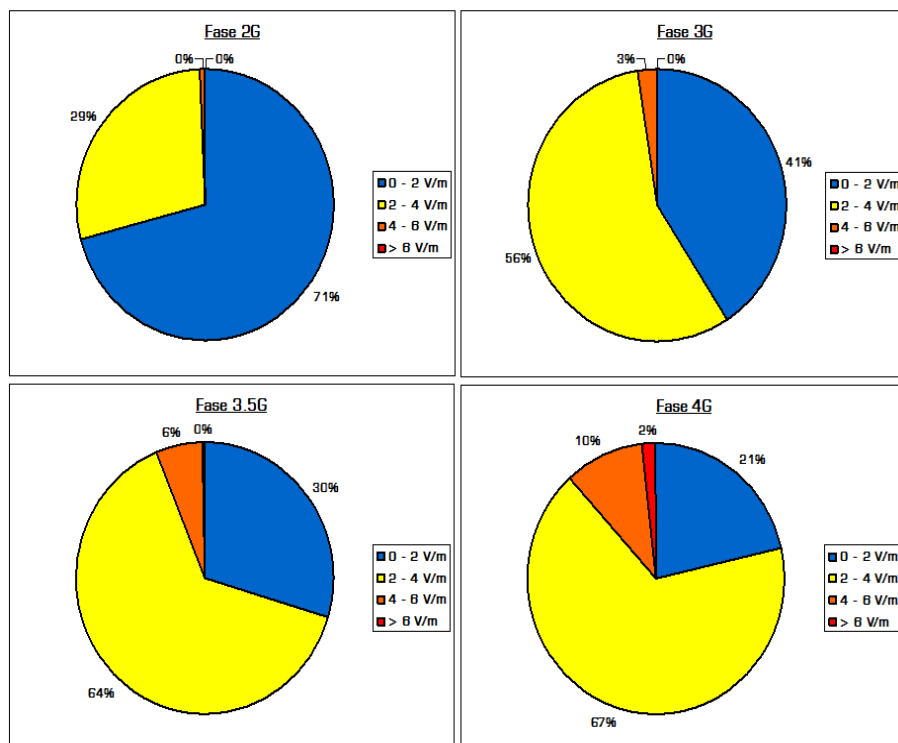


Fonte: Dati ARPA Lazio

4. RISULTATI E CONCLUSIONI

La procedura illustrata nel paragrafo precedente è stata replicata per le quattro fasi dell'evoluzione della rete, ottenendo la distribuzione illustrata in Figura 4 per ciascuna di esse. La Figura 5 mostra la percentuale di popolazione esposta a 4 classi di campo elettrico crescente, per ciascuna delle fasi tecnologiche studiate.

Figura 5 - Percentuale di abitanti dell'area di indagine nel centro storico di Roma esposti a 4 classi di campo elettrico per ciascuna fase tecnologica.



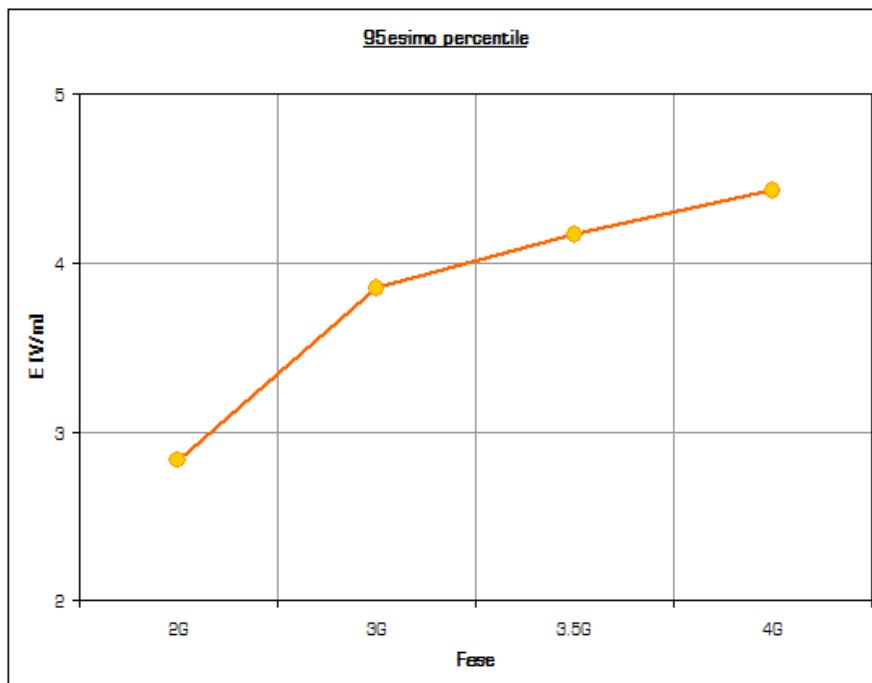
Fonte: Dati ARPA Lazio

La figura quantifica l'aumento dell'esposizione complessiva della popolazione al progredire dell'evoluzione tecnologica. Al fine di condensare le informazioni contenute nei grafici in Figura 4 e Figura 5, è possibile definire una serie di indicatori statistici che rappresentano in maniera sintetica l'andamento della esposizione in funzione della fase tecnologica in esame. Il parametro scelto è il 95esimo percentile delle distribuzioni di esposizione, il cui andamento in funzione della fase è mostrato in Figura 6. Il grafico mostra in maniera immediata che l'evoluzione tecnologica è direttamente correlata all'aumento dell'esposizione, evidenziando allo stesso tempo il massimo incremento in corrispondenza del passaggio dalla fase 2G a quella 3G.

Un'importante considerazione può essere fatta analizzando attentamente la composizione delle classi di esposizione presentate in Figura 5.

La classe di massima esposizione, corrispondente a valori di campo superiori al valore di attenzione di 6 V/m, non risulta essere popolata nelle fasi 2G, 3G e 3.5G. Tuttavia con l'avvento della fase 4G si riscontra che una piccola percentuale della popolazione – nel caso specifico il 2% - risulta suscettibile di essere esposta a campi elettrici superiori a 6 V/m.

Figura 6 - 95esimo percentile della distribuzione dell'esposizione della popolazione nell'area di indagine nel centro storico di Roma in funzione della fase tecnologica considerata.



Fonte: Dati ARPA Lazio

Tale eventualità conferma l'importanza, ancora più marcata a seguito degli ultimi aggiornamenti della rete, di avere a disposizione uno strumento predittivo dell'esposizione della popolazione in grado di evidenziare in maniera efficiente le potenziali criticità. Va comunque considerato che, al fine di rendere omogenei i risultati rispetto alle varie fasi tecnologiche, le simulazioni presentate in questo studio sono state effettuate nella condizione di massimo carico degli impianti, senza tener conto della variabilità temporale dell'emissione elettromagnetica tipica delle normali condizioni di esercizio.

Il legislatore, prevedendo le criticità legate all'evoluzione tecnologica delle reti a banda ultralarga, ha recentemente modificato la modalità con cui viene valutato l'impatto elettromagnetico degli impianti con l'introduzione del parametro α_{24h} (Legge 17 dicembre 2012 n. 221 e Decreto Ministeriale 2 dicembre 2014), che tiene conto della variabilità temporale dell'emissione nelle normali condizioni di esercizio.

L'esperienza di ARPA Lazio con l'utilizzo del parametro α_{24h} nelle simulazioni con il software *3DSimulation*, dimostra che esso determina una riduzione dei valori previsionali del campo elettromagnetico (Franci *et al.*, 2015). Di contro, il progressivo aumento delle tecnologie e della potenza installata per singolo impianto ha determinato negli ultimi anni l'aggravarsi di situazioni puntuali di criticità, con livelli prossimi al valore di attenzione di 6 V/m. Tali criticità, maggiormente presenti laddove si evidenzia una concentrazione di impianti di diversi gestori in un'area limitata, sono state rilevate strumentalmente con monitoraggi sulle 24 ore del campo elettrico in banda larga. È pertanto facile prevedere che, nei prossimi anni, la continua implementazione delle reti di telecomunicazione cellulare con l'aggiunta di nuovi servizi forniti all'utenza, determinerà un progressivo aumento della esposizione della popolazione e situazioni di superamento degli attuali limiti fissati dalla normativa nazionale, con la conseguente necessità da parte del sistema agenziale di gestire le azioni di risanamento.

BIBLIOGRAFIA

Franci D., Grillo E. e Aureli T., 2015. *La valutazione previsionale dell'esposizione ai campi elettromagnetici prodotti da SRB in aree densamente urbanizzate*, Bollettino AIRP Anno XLII Vol. 174, n. 1-2, Aprile 2015

QGIS Development Team, 2009. *QGIS Geographic Information System*, <http://qgis.osgeo.org>

Decreto Ministeriale 2 Dicembre 2014, G.U. n. 296 del 22 dicembre 2014

Legge 17 dicembre 2012 n. 221 S.O. n. 208 G.U. n. 294 del 18 dicembre 2012

SPAZIO ELETTROMAGNETICO NELLA CITTÀ DI AOSTA PER STAZIONI RADIO BASE

Valeria Bottura¹, Marco Cappio Borlino¹, Leo Cerise¹, Erik Imperial¹, Claudia Desandré¹
¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta

ABSTRACT

La diffusione delle nuove tecnologie per la comunicazione globale ha portato i gestori di telefonia mobile ad intensificare lo sviluppo delle loro reti su tutto il territorio nazionale. Questo nuovo approccio alle comunicazioni ha portato anche ad un cambiamento della normativa nazionale che era ormai stabile e consolidata da un decennio. Anche sul territorio comunale della città di Aosta è oramai consolidata la richiesta di espansione e potenziamento della rete di telefonia mobile per l'accessibilità a internet. Oltre al potenziamento dei siti di radiotrasmissione esistenti, vi è la creazione di nuovi siti che, in una città come Aosta inserita in un contesto paesaggistico montano e di carattere fortemente turistico, ha comportato non solo effetti sull'aspetto puramente di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici, ma anche un importante impatto complessivo sul territorio in termini di infrastrutture da creare. Grazie ai dati contenuti nel catasto regionale degli impianti di radiotelecomunicazione è stato possibile valutare gli aumenti percentuali di potenza richiesti rispetto alla situazione esistente nelle singole postazioni negli anni. In questi anni la richiesta di aumento di potenza, percentuale rispetto all'esistente, negli impianti per il quali è stata presentato un progetto di potenziamento è stato di entità elevatissime, prevedendo un impatto sul territorio quasi doppio rispetto a quanto già realizzato. Arpa nella fase di espressione dei pareri tecnici all'interno del procedimento amministrativo di autorizzazione all'installazione o modifica degli impianti ha cominciato a vedere il cambiamento della rete di telecomunicazione: in siti in cui in passato i valori di campo elettrico stimati erano sempre stati abbondantemente inferiori ai valori di riferimento normativi, le simulazioni con i nuovi dati forniscono risultati vicini ai valori limite.

PAROLE CHIAVE

telefonia, tecnologie, SRB, potenziamento, esposizione

1. INTRODUZIONE

La diffusione delle nuove tecnologie per la comunicazione globale ha portato i gestori di telefonia mobile ad intensificare lo sviluppo delle loro reti su tutto il territorio nazionale. Oggi tutti vogliono avere l'opportunità di accedere ai servizi offerti dai vari operatori, tutti vogliono potersi collegare ad internet per vedere la posta elettronica oppure leggere informazioni o scaricare video, e soprattutto vogliono poter fare tutto ciò ovunque si trovino e non più solamente da casa o da postazioni fisse. I nuovi telefoni cellulari, smartphone, i tablet, i computer portatili e tutti i nuovi dispositivi elettronici sono in grado di offrire quanto richiesto a patto di avere a disposizione una connessione alla rete dati. Si sono così velocemente diffusi access point e zone in cui sono presenti i collegamenti WiFi, ma è soprattutto la rete di telefonia mobile che ha dovuto adeguarsi alle nuove richieste. Già con l'attivazione, qualche anno fa, della terza generazione di telefonia cellulare, nota come Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), sul territorio nazionale era stata garantita la copertura con il segnale, ma l'aumento repentino degli utenti di tali servizi e la nascita della quarta generazione, Long Term Evolution (LTE), ancora più efficiente rispetto a questi tipi di servizi, ha spinto gli operatori a potenziare ulteriormente gli impianti UMTS già esistenti, ad affiancarli con impianti a tecnologia LTE e a coprire in modo sempre più capillare il territorio.

Ciò comporta da parte degli operatori la richiesta alle amministrazioni competenti di autorizzazioni all'installazione e all'esercizio di nuovi impianti e di conseguenza comporta per le ARPA un'attività di controllo teorico preventivo simulazioni per verificare la compatibilità degli impianti in progetto con i limiti normativi per la tutela della popolazione dall'esposizione ai campi elettromagnetici introdotti dalla legge n. 36 del 22/02/2001, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" e definiti dai decreti applicativi successivi.

Il primo effetto visibile di tale rapida espansione è stato che è cominciato a scarseggiare quello che fra gli addetti ai lavori viene definito "**spazio elettromagnetico**" cioè il margine tra l'intensità del campo elettrico presente in un punto e il valore di riferimento normativo da non superare ai fini della protezione della popolazione: la riduzione dello spazio elettromagnetico implica la riduzione di possibilità di attivazione di nuovi impianti di radiotrasmissione perché quelli esistenti occupano porzioni consistenti del margine citato. In primo luogo ciò si è visto nei grandi centri urbani dove la densità di popolazione è elevata e il limite normativo da rispettare, il valore di attenzione di 6 V/m, relativamente basso, ma anche nelle zone in cui il limite di esposizione da rispettare è quello più ampio di 20 V/m si va verso una saturazione dello spazio elettromagnetico disponibile.

Tutto ciò ha evidenziato che alcuni procedimenti amministrativi e i limiti stessi, forse troppo severi, frenavano in alcuni casi la subitanea esigenza dei gestori di diventare operativi. C'è stata quindi una forte pressione di tali operatori affinché si modificasse la normativa nazionale, stabile e consolidata da un decennio. La variazione più

significativa apportata alla normativa² per venire incontro alle esigenze dei gestori è stata quella di cercare di aumentare proprio lo spazio elettromagnetico a loro disposizione. Rispetto alle modalità prima in vigore è stata modificata la definizione di valore di attenzione e obiettivo di qualità per i quali l'intervallo su cui mediare i valori di campo istantanei misurati in un punto è stato esteso dai precedenti 6 minuti a 24 ore. Ciò consente, considerati i valori di campo generalmente bassi nelle ore notturne, di rispettare i riferimenti normativi anche in presenza di valori di campo massimi su 6 minuti che con la precedente formulazione sarebbero risultati superiori ai limiti. Parallelamente è stato anche introdotto un coefficiente di attenuazione della potenza da utilizzare nelle stime modellistiche che tiene conto di questa media su 24 ore in modo che già durante la fase istruttoria dei procedimenti amministrativi si abbia un allineamento con le verifiche da effettuare su 24 ore: si tratta, di fatto, di un ammorbidimento dei requisiti che facilita il potenziamento delle reti.

2. SPAZIO ELETTROMAGENTICO NELLA CITTÀ DI AOSTA

Come nel resto d'Italia le prime richieste di espansione sono giunte per il potenziamento nei centri urbani maggiori e la città di Aosta, vedi Foto 1 e Foto 2, non ha fatto eccezione. Da alcuni anni oramai vi è una rincorsa dei gestori a fornire una copertura dei servizi sempre più capillare dell'intero territorio comunale sia con l'installazione di nuovi impianti che con la modifica di quelli esistenti. In un primo momento i gestori hanno provveduto ad installare nuove postazioni nelle zone della città che ancora risultavano debolmente coperte dal segnale, ma questa operazione non è risultata così semplice anche a causa della natura turistica e montana del territorio che ponevano molti vincoli di tipo paesaggistico ed ambientale. Successivamente essi hanno cominciato ad implementare i servizi a disposizione dei cittadini aumentando di fatto le potenze degli impianti esistenti.

² Legge 17 dicembre 2012, n. 221, recante "Ulteriori misure urgenti per la crescita del paese" pubblicata sul Supplemento ordinario n. 208 della Gazzetta Ufficiale n. 294 del 18 dicembre 2012.



"Foto aerea" (foto Arpa VDA)



"Centro storico" (foto Arpa VDA)

L'Arpa nell'espressione di pareri all'interno del procedimento amministrativo di autorizzazione all'installazione o modifica degli impianti ha cominciato a vedere il cambiamento della rete di telecomunicazione: in siti in cui in passato i valori di campo

elettrico stimati erano sempre stati abbondantemente inferiori ai valori di riferimento normativi, le simulazioni con i nuovi dati forniscono risultati vicini ai valori limite.

Per come è organizzato il procedimento amministrativo specifico in Valle d'Aosta, la situazione di valore di campo elettrico simulato superiore alla metà del riferimento normativo comporta l'espressione di un parere positivo da confermare dopo l'entrata in esercizio dell'impianto. Di conseguenza i tecnici dell'Agenzia devono effettuare misurazioni all'interno delle abitazioni con possibile massima esposizione dopo l'entrata in esercizio degli impianti ma prima del rilascio di nuovi pareri, con il problema legato al susseguirsi spasmodico da parte dei gestori delle richieste di modifica per l'incremento della tecnologia. Inoltre vi è anche la difficoltà di ottenere la disponibilità dei cittadini ad aprire le proprie case per accedere alle zone di controllo, non sempre è stato facile ottenere tale permesso nonostante l'intervento dell'amministrazione comunale, e ciò ha dilatato i tempi di espressione dei pareri stessi. Nei casi, inoltre, in cui il valore simulato è inferiore ai limiti ma molto vicino ad essi, l'Agenzia, come previsto dalla legge regionale³, richiede all'operatore informazioni più precise sull'altezza degli edifici dal suolo e sulla differenza di quota tra gli edifici e il centro elettrico delle antenne che tengano conto delle effettive curve di livello: questo comporta una sospensione del procedimento in attesa delle integrazioni, con conseguente slittamento dei termini temporali per il rilascio dell'autorizzazione. Al di là delle difficoltà logistiche e autorizzative, la conseguenza principale di questa espansione è l'aumento dell'esposizione della popolazione.

Oltre all'effettuazione di interventi di misura mirati sul territorio per appurare i nuovi livelli di esposizione, si può valutare l'entità degli aumenti proprio a partire dal numero delle richieste dei gestori e dalle potenze in esse contenute. Grazie al fatto che l'Arpa Valle d'Aosta opera in sinergia con gli enti competenti per il rilascio dell'autorizzazione, condividendo i dati sul catasto regionale degli impianti di radiotelecomunicazione (SIRVA, figura 1) che contiene tutti i dati radio-tecnici, urbanistico - architettonici e amministrativi legati alle istanze di richiesta per l'installazione e l'esercizio di tali impianti, si possono elaborare opportunamente i dati per ottenere una vista di insieme degli aumenti potenziali di esposizione su tutto il territorio comunale.

³ Legge regionale 4 novembre 2005, n. 25, Disciplina per l'installazione e l'esercizio di stazioni radioelettriche e di strutture di radiotelecomunicazioni.

Figura 1. Schermata del Sistema Informativo Radiotelecomunicazioni Valle d'Aosta (SIRVA)

The screenshot shows the SIRVA web application interface. At the top, there is a navigation bar with 'HOME', 'PROGETTO', 'CATALOGO SERVIZI', 'ASSISTENZA', and 'AREA RISERVATA'. Below this, the user is logged in as 'Valeria Buttara' from 'ARPA - Sezione Agenti Fisici ARPA'. The main content area is titled 'FUNZIONALITÀ PER LA GESTIONE DEL CATASTO RTC'. On the left, there is a sidebar with navigation options like 'Home', 'Anagrafe soggetti', 'Catasto RTC', 'Back-office', 'Autorizzazioni', 'Progetti di rete', 'DTA', 'Verifiche tecniche', 'Procedimento unico', and 'Guida in linea'. The main table displays a list of radio stations with the following columns: Tipologia, Operatore, Data inizio validità, Data fine validità, Stato, Data inizio validità, Data fine validità, Potenza complessiva, Riceve da, Punta verso, Note, and F. The table contains 7 rows of data, each representing a different radio station with its specific details.

Tipologia	Operatore	Data inizio validità	Data fine validità	Stato	Data inizio validità	Data fine validità	Potenza complessiva	Riceve da	Punta verso	Note	F
Ponte Radio	AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTE			Esistente accesso	22/06/2011		0,02				
Ponte Radio	AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTE			Autorizzato (PU)	22/06/2011	22/06/2011	0,02				
Ponte Radio	AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTE			Richiesto rinnovo	29/04/2011	22/06/2011	0,02				
Ponte Radio	AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTE			Esistente accesso	04/07/2005	22/06/2011	0,02				
Ponte Radio	AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTE			Autorizzato	23/05/2005	04/07/2005	0,02				
Ponte Radio	AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTE			Progetto	03/12/2004	23/05/2005	0,02				

Fonte: Regione autonoma Valle d'Aosta

Partendo da tale ricco archivio di dati è stato possibile valutare gli aumenti percentuali del numero di impianti e della potenza richiesta rispetto alla situazione esistente per le stazioni di telefonia (Stazioni Radio Base- SRB) negli ultimi anni 2012, 2013 e 2014.

Sono stati estratti i dati degli impianti esistenti per i quali sono state richieste modifiche, i dati corrispondenti a tali modifiche e i dati degli impianti nuovi da realizzare dove non ve ne erano già di presenti.

Nella tabella sottostante (tab. 1) si evidenziano le percentuali di impianti, nuovi o per i quali è stata richiesta una modifica, rispetto a tutte le stazioni SRB esistenti accese nell'anno di riferimento.

Tabella 1. Percentuali di impianti per i quali è stata richiesta una modifica e percentuale di richiesta di nuove realizzazioni rispetto a tutte le stazioni SRB esistenti accese nell'anno di riferimento relativamente alla città d'Aosta, triennio 2012-2014.

Anni	Stazioni esistenti accese	Richiesta Modifica	Richiesta nuovo impianto	% richiesta modifica	% richiesta nuovo impianto
2012	25	3	8	12	32
2013	26	2	2	8	8
2014	29	19	4	66	14

Fonte dati: ARPA Valle d'Aosta

I dati riportati in tabella 1 confermano quanto prima espresso, si vede infatti che nell'anno 2012 vi è una notevole percentuale di richieste per la realizzazione di nuovi impianti, nel 2014 invece è predominante la richiesta di modifica degli impianti esistenti. Inoltre si nota che non tutti gli impianti nuovi sono stati realizzati: tra l'autorizzazione e la realizzazione può trascorrere parecchio tempo. È stata quindi valutata la percentuale di aumento della potenza in ogni anno, come indice dell'eventuale impatto sull'esposizione della popolazione. Si riportano di seguito nella tabella 2 i risultati nei tre anni.

Tabella 2. Percentuale di aumento di potenza degli impianti per cui è stata richiesta una modifica e percentuale di aumento di potenza richiesta per nuove realizzazioni nell'anno di riferimento relativamente alla città d'Aosta, triennio 2012-2014.

Anni	Potenza esistente (W)	Potenza richiesta (W)	Potenza totale (W)	% di aumento	Ptot/Pes
2012	3845	1998	5843	52	1.52
2013	4647	1091	5738	23	1.23
2014	4836	5698	10533	118	2.18

Fonte dati: ARPA Valle d'Aosta

Nella colonna potenza esistente è riportata la somma della potenza degli impianti attivi nell'anno di riferimento, nella colonna potenza richiesta è indicata la potenza in più richiesta tra modifica degli impianti esistenti e costruzione di nuovi impianti e nella colonna potenza totale c'è il valore di potenza che impatterebbe sul territorio se tutta la potenza richiesta fosse attivata. Nel solo 2014 è stato richiesto un aumento di potenza superiore all'esistente. Singolarmente su alcuni impianti esistenti per cui è stata richiesta la modifica queste percentuali hanno raggiunto valori ancora più alti superando in un caso il 500%. Finora sono stati presentati i dati relativi alle richieste di autorizzazione, è possibile a questo punto confrontare i reali aumenti di potenza tra

i vari anni e nel triennio 2012-2014. Si riportano in tabella 3 le elaborazioni tenendo conto delle potenze effettivamente installate di anno in anno.

Tabella 3. Percentuale di aumento di potenza effettiva nel singolo anno e nel triennio 2012-2014 degli impianti SRB funzionanti nella città d'Aosta

Anni	Potenza attiva ad inizio anno (W)	Potenza attiva a fine anno (W)	Incremento di potenza reale nell'anno (W)	% di aumento	Pfine/Pinizio
2012	3845	4647	802	21	1.21
2013	4647	4836	189	4	1.04
2014	4836	6907	2071	43	1.43
Triennio	3845	6907	3062	80	1.80

Fonte dati: ARPA Valle d'Aosta

Nell'ultima colonna della tabella 3 è stato riportato il rapporto tra la potenza totale attiva a fine anno e quella di partenza ad inizio anno. Questo numero dà un'idea molto immediata dell'aumento della pressione sul territorio: gli impianti di telefonia mobile nel triennio 2012-2014 hanno quasi raddoppiato la loro pressione sul territorio.

3. CONCLUSIONI

L'ampliamento della connettività in banda larga comporta anche nella città di Aosta un potenziamento della rete di telefonia mobile, sia in termini di aumento di potenza delle postazioni già esistenti che di installazione di nuovi impianti. Lo spazio elettromagnetico quindi tende ad esaurirsi: ciò si traduce, nel caso di piena realizzazione delle modifiche richieste, in un aumento consistente della pressione sulla popolazione dovuta all'esposizione ai campi elettromagnetici e sull'ambiente per l'installazione di nuovi impianti. Tale aumento è già molto significativo nel triennio 2012-2014: si vede infatti che, in tale periodo, la pressione sul territorio cittadino è quasi raddoppiata.

I numeri ricavati da questo lavoro mostrano, inoltre, un notevole incremento dell'attività dell'Agenzia sia in fase di valutazione preventiva sia in fase di controllo sul territorio dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici generati dagli impianti per la telefonia mobile.

UN'ANALISI DEI DATI STORICI DELLE STAZIONI RADIO BASE (SRB) E DELLE MISURE IN RADIOFREQUENZA (RF) IN ALCUNI SITI DELL'AREA DEL COMUNE DI TRENTO

Stefano Pegoretti¹, Carla Malacarne², Laura Toniutti²

¹ Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Trento

² Servizio Autorizzazioni e Valutazioni Ambientali - Trento

ABSTRACT

Il presente studio è rivolto ad un'analisi dei dati storici relativi ad alcune Stazioni Radio Base (SRB) presenti nel comune di Trento e dei valori di campo elettromagnetico misurato in prossimità delle stesse.

L'analisi è circoscritta all'intervallo temporale 2012-2014, periodo che ha visto la progressiva introduzione della tecnologia LTE. Dei 122 siti ospitanti SRB, presenti all'interno del comune di Trento, ne è stato estratto un sottoinsieme geograficamente significativo, che ne ricomprende 56.

I dati presi in esame riguardano la potenza totale, divisa in autorizzata ed attivata, il numero di misure di campo elettrico registrate sia dall'APPA che dai gestori, e i valori di esposizione misurati, medi e massimi.

L'analisi dei dati ha messo in evidenza un significativo aumento dei valori di potenza autorizzati e attivati, a cui –pur nella limitata rappresentatività statistica dei dati, in parte dovuta alla particolare procedura di valutazione introdotta in Provincia di Trento– sembra non corrispondere un pari incremento dei valori di campo elettrico misurati.

PAROLE CHIAVE

misura di controllo, esposizione, telefonia mobile, campi elettromagnetici, potenza.

1. Introduzione

I campi elettromagnetici rappresentano una delle forme di inquinamento ambientale che continuano a suscitare forte interesse e attenzione da parte della popolazione, anche in ragione della capillare diffusione di impianti di telecomunicazione sia sul territorio che nella maggior parte degli ambienti residenziali e lavorativi.

Va considerato che l'intero settore delle comunicazioni digitali è in continua evoluzione e rapida espansione. Il settore della telefonia mobile è soggetto a continui aggiornamenti sia per la realizzazione di nuovi siti, finalizzati a garantire nuove coperture sul territorio e/o l'accesso ad un maggior numero di utenti, sia per il potenziamento e ammodernamento della maggior parte degli impianti già presenti (attivazioni di nuovi sistemi di comunicazione o di nuove portanti), che ospitano trasmettitori di diversa generazione (GSM, DCS, UMTS e LTE).

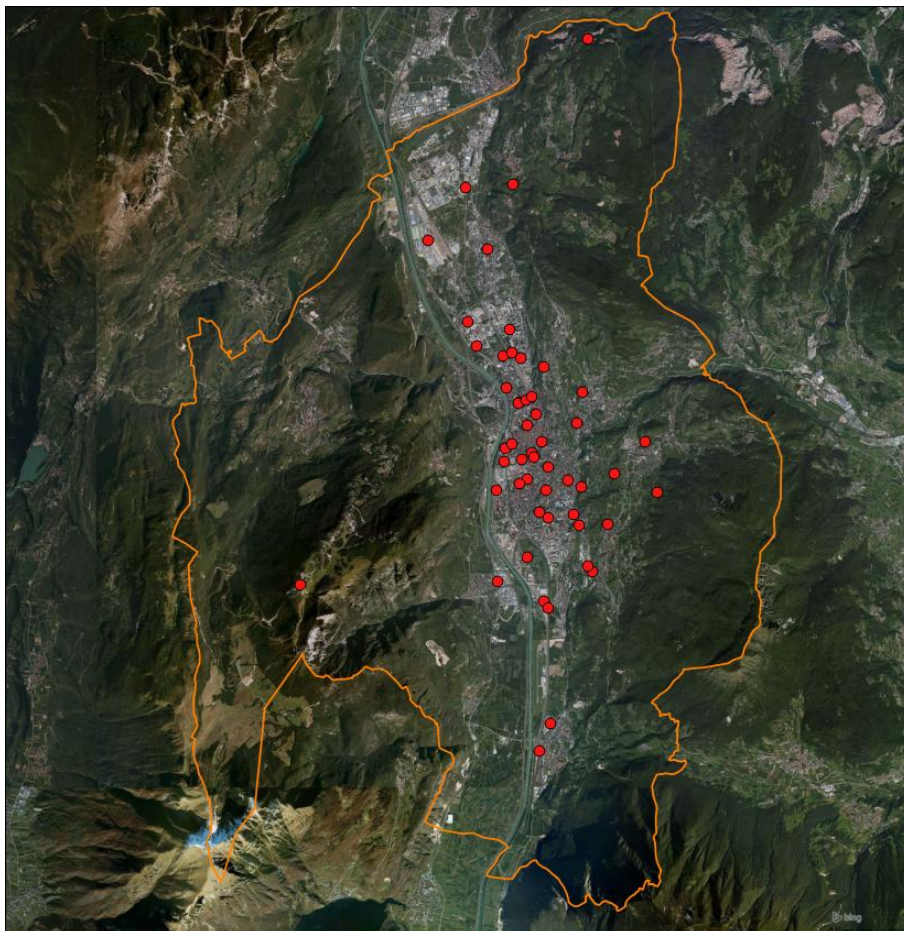
Nell'analisi condotta ci si è proposti di valutare l'evoluzione subita dalla potenza degli impianti nell'intervallo temporale 2012-2014, partendo quindi dal periodo in cui sono arrivate le prime richieste per l'inserimento della tecnologia LTE.

Essendo il focus di questo rapporto incentrato sulle aree urbane, è stata presa in esame la situazione del Comune di Trento.

Dei 122 siti¹ di telefonia presenti all'interno del comune di Trento ne è stato estratto un sottoinsieme di 56, (corrispondente quindi al 46%), scelti in modo tale da fornire una distribuzione rappresentativa di tutte le situazioni all'interno dell'area comunale: urbana, periferica o extraurbana.

¹ Per sito si intende un'area circoscritta di raggio massimo 50 metri ospitante una o più strutture di sostegno, a loro volta ospitanti uno o più impianti.

Figura 1.1: rappresentazione della distribuzione dei 56 siti considerati nell'analisi presentata; in arancione i confini amministrativi del comune di Trento



Fonte: Motore di ricerca Bing

In figura 1.1 è riportata una mappa in cui è visibile la distribuzione geografica dei siti presi in esame. Come si può notare è presente una concentrazione più massiccia nel fondo valle, dove la densità demografica risulta maggiore.

Per quanto riguarda l'iter di autorizzazione degli impianti di telecomunicazione, in generale, in Provincia di Trento trova applicazione la disciplina provinciale, che prevede, diversamente dalle altre Regioni, il rilascio delle autorizzazioni direttamente da parte della Provincia. Tale normativa ha subito negli ultimi anni diverse modifiche, volte ad una revisione dell'intera procedura autorizzativa. Nello specifico, le novità

maggiormente rilevanti riguardano la sostanziale equiparazione delle procedure relative all'autorizzazione degli impianti radiotelevisivi con quelli di telecomunicazione, la gestione tramite Conferenze di Servizi e la previsione di nuove delibere per la semplificazione delle procedure di autorizzazione, con particolare riferimento all'introduzione di nuova modulistica, all'aggiornamento della procedura a garanzia della tutela degli impianti della rete radiomobile provinciale e del servizio pubblico radiotelevisivo, all'introduzione di nuove casistiche di esonero, all'aggiornamento della gestione del catasto.

Inoltre, a partire dal 2013, in Provincia di Trento si è iniziato a dare applicazione alla procedura denominata "siti complessi", che prevede la sostituzione dell'effettuazione delle misure di fondo del campo elettrico a corredo delle istanze di autorizzazione presentate dai gestori (spesso poco rappresentative a causa di una crescente difficoltà di accesso alle aree residenziali private), con una valutazione complessiva del sito mediante simulazione che tenga conto di tutti gli impianti autorizzati nel raggio di 200 metri, contemporaneamente attivi. Tale procedura, prevista attualmente per i soli impianti di telefonia mobile, ha effettivamente permesso di ottenere, da parte dei gestori, valutazioni della distribuzione dei valori di esposizione al campo elettrico maggiormente realistiche, e comunque cautelative, con conseguente diminuzione del numero di pratiche sospese nei procedimenti di rilascio delle autorizzazioni.

2. MATERIALI E METODI

Del totale dei siti presenti al 2015 nel comune di Trento, pari a 122, per ragioni tecniche legate all'aggiornamento del catasto provinciale, ne sono stati selezionati per l'analisi 56. L'estrazione è avvenuta cercando di ottenere un campione rappresentativo sia dal punto di vista della distribuzione spaziale sul territorio, sia dal punto di vista della "tipologia di impianto", che per potenze e sistemi installati può differenziarsi tra aree densamente abitate, periferiche o extraurbane.

Per ciascun sito, sono state prese in esame le seguenti variabili:

- numero di gestori di telefonia mobile presenti con almeno una tecnologia di trasmissione;
- potenza complessiva "attiva" (è la potenza totale che risulta attiva a seguito di comunicazioni di attivazione da parte dei gestori);
- potenza complessiva "autorizzata" (è la potenza richiesta dai gestori e autorizzata dal competente organo provinciale, ma per la quale non è stata ancora comunicata l'attivazione del relativo impianto);
- numero, valore medio e valore massimo delle misure di fondo effettuate dai gestori e presentate in fase di istanza di autorizzazione;
- numero, valore medio, valore massimo e valore massimo su 24 ore del monitoraggio, relativi a eventuali campagne di misura condotte da APPA.

Tale set di variabili è stato categorizzato per ciascun anno di riferimento, ovvero 2012, 2013 e 2014.

3. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Nella tabella 3.1 sono riportati i risultati delle analisi condotte. Come si può notare, risulta evidente, per il triennio preso in esame, un incremento costante dei valori di potenza, sia effettivamente "attivata" che richiesta (e autorizzata); inoltre, si evince che mediamente può trascorrere un tempo anche piuttosto lungo tra l'autorizzazione all'utilizzo di nuovi valori di potenza e l'effettiva attivazione della stessa. La potenza autorizzata e quindi "potenziale", per ciascun anno, risulta sempre maggiore di quella effettivamente attivata, per cui è ragionevole aspettarsi un aumento della potenza attivata anche per il 2015.

Analoghe considerazioni sono valide se si considera la potenza media attiva e autorizzata per singolo sito: mediamente, per un singolo sito la potenza autorizzata (in un determinato anno) risulta essere di circa 100 W maggiore di quella attivata.

Per quanto riguarda il comune di Trento, in tre anni la potenza media attiva per sito ha subito un incremento del 42%, analogo a quello della potenza media autorizzata (pari al 45%). Incrementi del tutto simili si ottengono anche considerando il singolo gestore.

Tabella 3.1: valori di potenza "attiva" e "autorizzata", espressi in W, per i vari indicatori relativi ai 56 siti presi in esame nella città di Trento.

indicatore	2012	2013	2014
potenza totale attiva	18242	22131	25962
potenza totale autorizzata	23134	27764	33554
potenza media attiva per sito	326	395	464
potenza media autorizzata per sito	413	496	599
potenza totale attiva per gestore	9220	11214	12879
potenza totale autorizzata per gestore	12074	14684	17206
potenza media attiva per sito e gestore	165	200	230
potenza media autorizzata per sito e gestore	216	262	307

Fonte: Dati APPA Trento e Servizio Autorizzazioni e Valutazioni Ambientali – Trento

Per quanto riguarda invece i valori di campo elettrico di fondo misurati dai gestori, i risultati dell'analisi sono presentati in tabella 3.2.

Tabella 3.2: valori relativi alle misure di campo elettrico di fondo, espresse in V/m, effettuate dai gestori e presentate in fase di richiesta di autorizzazione.

	2012	2013	2014
numero misure	562	210	27
valore medio	0.7	0.8	0.9
valore massimo	8.2	3.3	2.3

Fonte: Dati APPA Trento e Servizio Autorizzazioni e Valutazioni Ambientali - Trento

Risulta più che evidente come ci sia stata una drastica diminuzione del numero di misure complessive eseguite dai gestori, che non rispecchia il numero di richieste di autorizzazione presentate. Questo si può piuttosto spiegare considerando l'introduzione della procedura denominata "siti complessi", che, come già ricordato, consente al gestore di sostituire le misure di fondo in campo con una valutazione complessiva del sito mediante simulazioni. Con i limiti all'analisi statistica introdotti da quanto appena discusso, il valore medio di campo elettrico misurato dai gestori si mantiene sempre su valori molto bassi.

Diverso invece il caso dei valori massimi misurati, che mostrano una marcata variabilità. Tale andamento "anomalo" riflette il fatto che con la diminuzione del numero di misure complessive diminuisce anche la probabilità di misura delle situazioni critiche. Tuttavia l'introduzione della procedura "siti complessi" permette di ottenere stime previsionali più rappresentative della situazione complessiva, utilizzabili anche come strumento di pianificazione delle campagne di misura da parte dell'organo di controllo. Per quanto riguarda infine le misure condotte da APPA, la numerosità non è sufficiente per una trattazione statistica significativa: sono state eseguite campagne di misura (con misure puntuali all'interno delle abitazioni e monitoraggi in continuo dell'ordine del mese) per 8 dei 56 siti presi in esame. Con l'aggravio (dal punto di vista operativo e temporale) di dover condurre misure di 24 ore, e dovendo comunque soddisfare le richieste che arrivano dall'intero territorio provinciale, risulta purtroppo difficile condurre campagne di misura mirate a uno studio più approfondito e dettagliato del clima elettromagnetico presente nei principali centri urbani del territorio provinciale – tra cui Trento e i maggiori centri a vocazione turistica. In merito a questi ultimi, è stata riscontrata una crescente sensibilità, da parte della popolazione residente, alla tematica "campi elettromagnetici", sia per quanto riguarda gli aspetti sanitari che paesaggistici. Interventi che implicano la sostituzione di antenne o la realizzazione di nuove strutture/impianti si traducono spesso in proteste dei cittadini che in prima battuta si riversano sull'Ente comunale, che a sua volta richiede l'intervento degli Enti provinciali. Tale intervento si esplica su due fronti:

- incontri informativi con la popolazione per illustrare gli aspetti sia normativi/autorizzativi che sanitari relativi agli impianti presenti in zona, dove

vengono anche presentate simulazioni dei valori di campo elettrico prodotti da tali impianti e messi in relazione con i limiti normativi;

- campagne di misura specifiche per la verifica strumentale dei valori di campo elettrico, con il coinvolgimento diretto della popolazione residente nell'intorno degli impianti oggetto di interesse.

Tuttavia, questa crescente sensibilità non sempre si traduce in una conseguente disponibilità, da parte dei cittadini, a rendere accessibile la propria abitazione per le misurazioni o i monitoraggi del campo elettrico da parte del personale tecnico APPA. Le risorse dell'Ente pubblico vengono quindi spesso destinate a zone che risultano "critiche" più dal punto di vista della percezione del rischio da parte della popolazione che della reale esposizione: può capitare così che la pianificazione delle campagne di misura sia dettata più da esigenze di rassicurazione che da effettive situazioni di potenziali elevate esposizioni. Pur con queste limitazioni, e considerando il fatto che non sempre si hanno a disposizione misure effettuate dai gestori nello stesso anno in cui sono state effettuate le misure APPA, si registra un discreto accordo tra i due set di misure. In tutti i casi APPA ha registrato valori (sia puntuali che di monitoraggio) ben al di sotto del limite normativo.

4. CONCLUSIONI

Scopo del presente studio è l'analisi storica nel periodo 2012-2014 di un campione rappresentativo di SRB all'interno del territorio comunale di Trento. Per ogni sito considerato i parametri valutati nell'analisi sono: il numero di gestori di telefonia mobile presenti con almeno una tecnologia di trasmissione, la potenza complessiva attiva e autorizzata, il numero, valore medio e valore massimo delle misure di fondo effettuate dai gestori, il numero, valore medio, valore massimo e valore massimo su 24 ore del monitoraggio, relativi alle campagne di misura condotte da APPA.

Dall'analisi emerge un significativo aumento dei valori di potenza a cui sembra non corrispondere un pari incremento dei valori di campo elettrico misurati. Tale risultato, di fatto atteso in ragione delle statistiche di utilizzo degli impianti, è imputabile anche ad altri fattori, come l'introduzione della procedura di valutazione complessiva dei siti richiesta ai gestori in alternativa alle misure di fondo e la difficoltà di accesso agli edifici potenzialmente più esposti in caso di non collaborazione da parte dei residenti.

ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI A RADIOFREQUENZA NELLE AREE URBANE DEL PIEMONTE: EVOLUZIONE NORMATIVA E VARIAZIONI DEI LIVELLI DI CAMPO

Sara Adda¹, Laura Anglesio¹

¹Arpa Piemonte

ABSTRACT

Le modifiche introdotte negli ultimi anni nella normativa relativa alle autorizzazioni degli impianti per telecomunicazioni e ai limiti di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza hanno contribuito, insieme alle evoluzioni tecnologiche del mondo delle telecomunicazioni, a modificare il quadro delle sorgenti di campo elettromagnetico presenti sul territorio regionale e delle condizioni di esposizione.

Nei paragrafi seguenti vengono analizzate tali modifiche sia a livello generale del Piemonte, sia a livello delle singole realtà urbane: ne emerge una situazione di forte incremento di impianti e di potenze installate, un aumentato impegno dell'organo di controllo al fine di garantire un'adeguata protezione della popolazione, un lieve aumento dei livelli di esposizione in situazioni specifiche (in generale, però, la variazione nell'esposizione è poco significativa).

PAROLE CHIAVE:

campi elettromagnetici, radiofrequenza, telecomunicazioni, esposizione

1. INTRODUZIONE

Nell'arco degli ultimi 5 anni, sono state introdotte una serie di modifiche sia sulla normativa che regolamenta le autorizzazioni per l'installazione e modifica degli impianti per telecomunicazioni, finalizzate prevalentemente ad agevolare lo sviluppo delle reti in banda larga, sia su quella relativa ai limiti di esposizione.

È possibile verificare quanto queste modifiche normative abbiano effettivamente avuto impatto sullo sviluppo della rete, ed indirettamente sulle condizioni di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici, monitorando il numero di richieste di pareri per l'installazione/modifica degli impianti per telecomunicazioni prima e dopo la pubblicazione delle normative stesse.

Si analizzano di seguito le norme e le corrispondenti variazioni nel numero di richieste pervenute ad Arpa Piemonte.

A) Il 22 maggio 2010 è stato convertito il legge (L73/2010) il DL 40 del 25/03/2010, che introduceva l'art 87bis da aggiungere al DL259/2003 (Codice delle Comunicazioni Elettroniche). Tale articolo prevedeva un iter autorizzativo agevolato (tramite Denuncia di Inizio Attività) per gli impianti con tecnologia UMTS, sue evoluzioni o altre tecnologie da implementare per il completamento della rete di banda larga mobile. Confrontando il numero di richieste pervenute tra maggio 2009 e fine aprile 2010 con quello del periodo maggio 2010 – maggio 2011, si rileva un incremento di oltre il 95%.

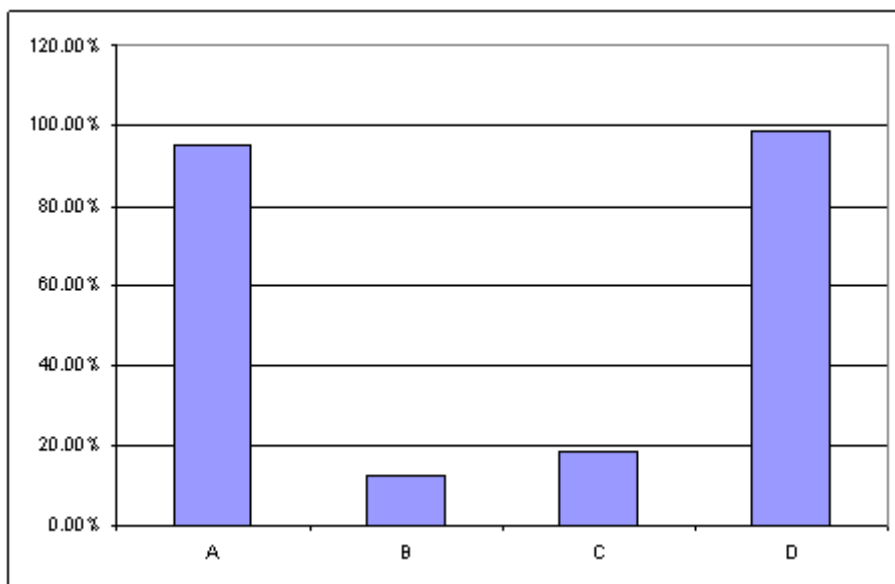
B) Il DL 259/2003 è stato ulteriormente modificato con il DL 28 maggio 2012, che introduce, nelle procedure per l'installazione/modifica di impianti per telecomunicazioni, l'istituto della SCIA (Segnalazione Certificata di Inizio Attività), con una maggiore liberalizzazione rispetto alla precedente DIA. Questo intervento normativo non ha portato ad un incremento sostanziale nel numero di richieste (nell'anno successivo si è avuto un incremento nel numero di richieste del 12.5%, contro un 9% dell'anno precedente)

C) Il 17 dicembre 2012 la legge 221 (conversione del DL 179 dell'ottobre 2012) modifica il DPCM 08/07/2003 introducendo la media su 24 ore per il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità. Introduce inoltre dei fattori correttivi per la media su 24 ore da utilizzare in sede di valutazione teorica preventiva, effettuata all'interno dell'iter autorizzativo degli impianti. In concreto, però, l'impatto di questa norma sull'iter autorizzativo si è realizzato soltanto a partire dal dicembre 2014, con la pubblicazione delle linee guida del sistema delle Agenzie. In effetti, l'incremento nel numero di pratiche non è stato così netto in corrispondenza di questa norma, ma più graduale nel tempo (incremento 2013: 18.6%; incremento 2014: 26%)

D) Il DL 133/2014 (convertito il legge 164 dell'11 novembre 2014) introduce l'art 87ter da aggiungere al DL259/2003. Tale articolo semplifica ulteriormente l'iter degli impianti per telecomunicazioni in determinate condizioni: esso prevede, per la modifica non sostanziale di impianti esistenti, una mera autocertificazione da parte del gestore. Il successivo DM 02/12/2014 promulga invece le linee guida del sistema agenziale per l'uso dei fattori di correzione nella valutazioni teoriche preventive.

Confrontando il periodo novembre 2014-marzo 2015 con lo stesso periodo dell'anno precedente, si evidenzia un aumento del numero di pratiche pari al 99% circa.

Grafico 1.1: incrementi nel numero di pratiche per installazione/modifica di impianti TLC tra il periodo precedente all'entrata in vigore delle norme (A,B,C,D) ed il periodo successivo.



Fonte dati: Arpa Piemonte

Dalla figura si può osservare come l'introduzione di iter semplificati per alcune tipologie di impianti (art. 87bis e 87ter del DL259) abbia causato un notevole incremento nel numero di richieste.

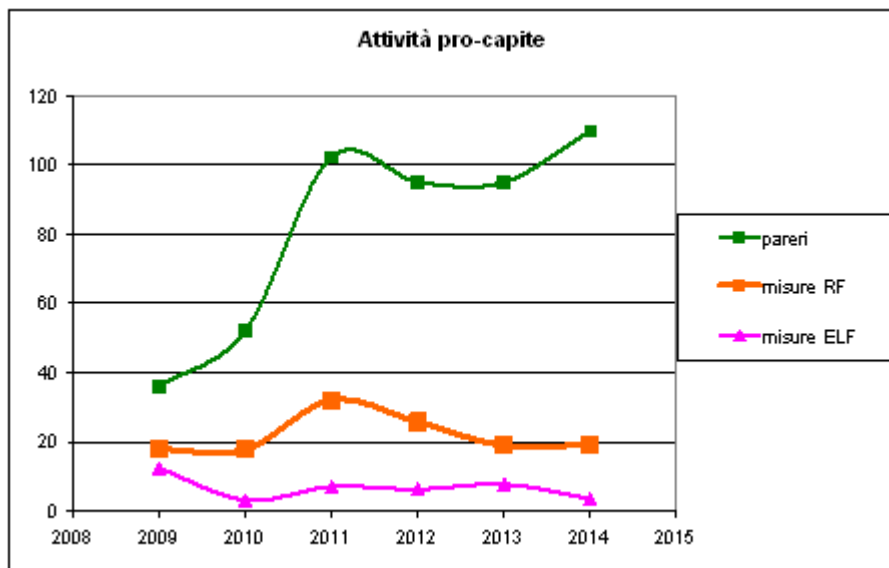
Questo incremento corrisponde sia ad un aumento della potenza complessivamente installata sul territorio, come meglio specificato più avanti, sia ad una maggiore difficoltà da parte di Arpa a gestire i procedimenti di emissione dei pareri, anche a discapito dell'attività di misura in campo.

In effetti, le tempistiche per il rilascio dei pareri sono andate aumentando, in particolare per gli impianti di telefonia: da una media di 24 giorni nel 2012, a 44 nel 2013 e 63 nel 2014.

Anche l'efficacia dei controlli ne risente: il tempo medio per l'elaborazione di una relazione tecnica di misura è passato da poco più di un mese (nel 2013) a poco più di 2 mesi (nel 2014), in conseguenza sia del maggior carico di lavoro dovuto al rilascio pareri, sia della maggiore complessità di misure ed elaborazione dati a seguito dell'introduzione della valutazione dell'esposizione media nelle 24 ore (DL221).

Nel grafico seguente, ad ulteriore riprova di quanto illustrato, è possibile seguire nel tempo l'andamento dell'attività pro-capite dei tecnici del Dipartimento Radiazioni, in termini di numeri di pareri e misure.

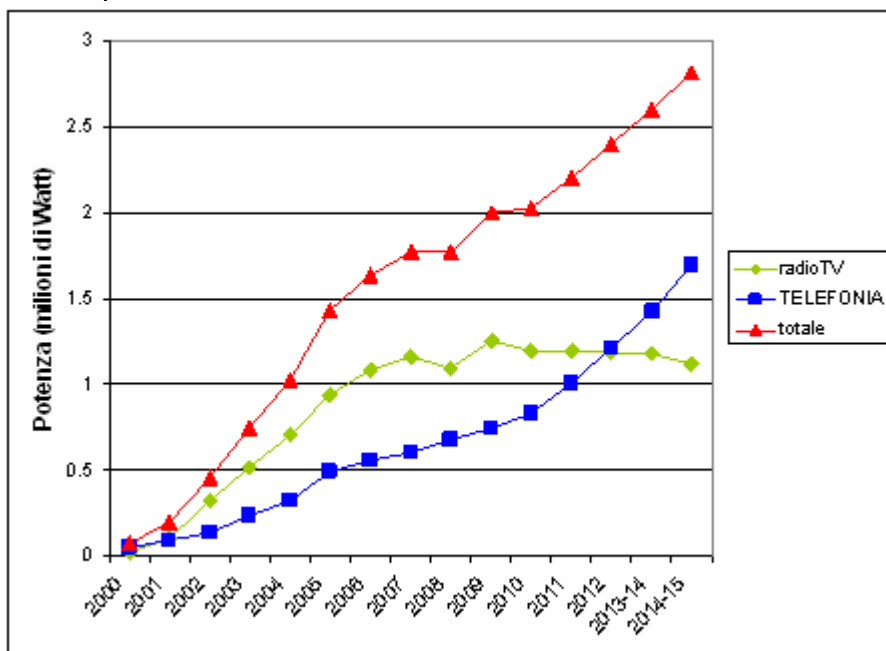
Grafico 1.2: andamento negli anni dell'attività pro-capite dei tecnici del Dipartimento Tematico Radiazioni di Arpa Piemonte



Fonte dati: Arpa Piemonte

Passiamo quindi ad esaminare gli incrementi di potenza installata su tutto il territorio regionale: nella figura è possibile vedere come la potenza degli impianti per telefonia sia andata crescendo con maggiore rapidità negli anni a partire dal 2010, superando nel 2012 la potenza complessiva degli impianti radiotelevisivi.

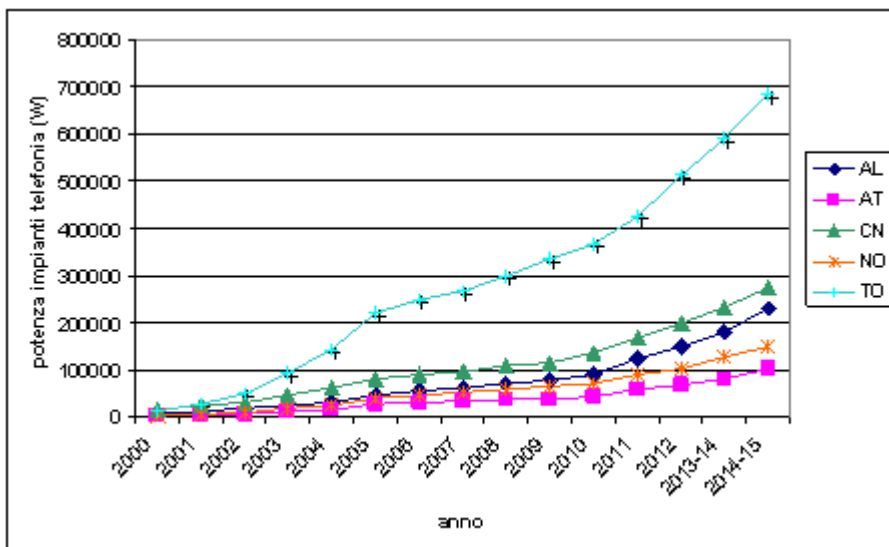
Grafico 1.3: potenza complessiva degli impianti per telecomunicazioni su tutto il territorio piemontese dal 2000 al 2015



Fonte dati: Arpa Piemonte

Di seguito un maggiore dettaglio sull'andamento delle potenze degli impianti per telefonia nelle singole province interessate per questo rapporto. Da tenere in conto il fatto che tali andamenti sono ben rappresentativi di quanto accaduto nelle aree urbane dei capoluoghi di provincia, in quanto sono gli impianti installati nelle città a contribuire in misura maggiore alla potenza complessiva (ad esempio, la potenza installata nella città di Torino si è mantenuta, negli ultimi 10 anni, all'incirca pari al 25-30% della potenza complessiva nella provincia). Si osserva come l'andamento regionale si riproduca senza grandi modifiche anche a livello provinciale, segnando un incremento più rapido della potenza a partire dal 2010.

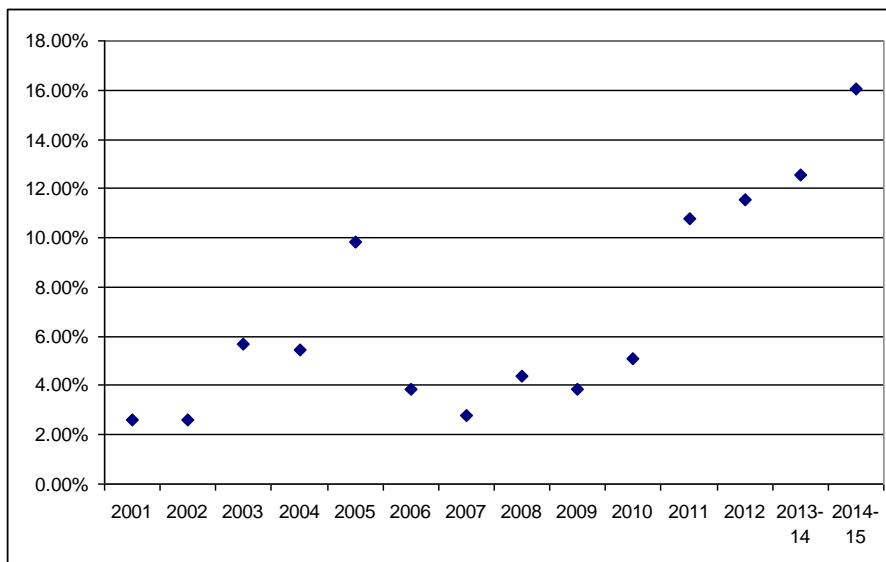
Grafico 1.4: potenza degli impianti per telefonia installati sui territori delle diverse province piemontesi.



Fonte dati: Arpa Piemonte

Tale effetto può essere meglio visualizzato nella figura sottostante, che riporta la percentuale di incremento annuo di potenza in rapporto alla potenza totale rilevata a marzo 2015. È possibile osservare come gli anni a partire dal 2011 siano caratterizzati da crescite annue molto nette rispetto agli anni precedenti (tranne che per il 2005, in corrispondenza del periodo di massimo sviluppo della rete 3G).

Grafico 1.5: percentuale di incremento annuo di potenza in rapporto alla potenza totale rilevata a marzo 2015.



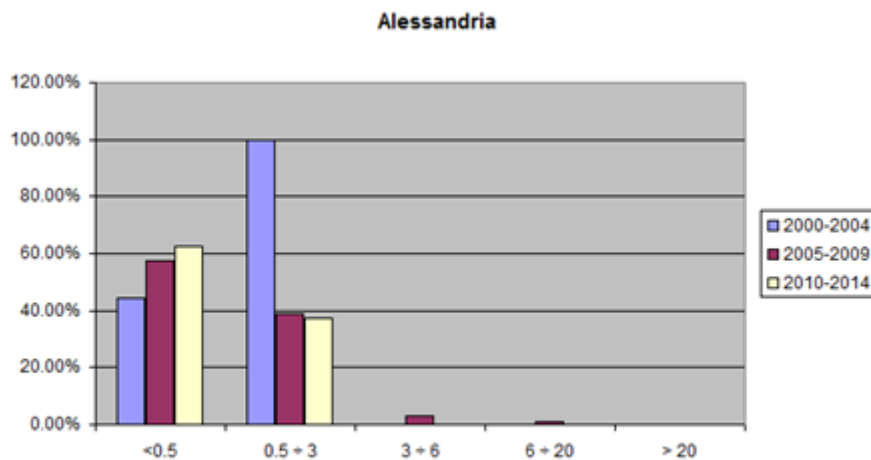
Fonte dati: Arpa Piemonte

Ciò sembra essere correlato non soltanto all'evoluzione della rete cellulare e alla comparsa di nuovi sistemi (ad esempio il 4G), ma anche alla diversa situazione normativa, sia per quanto riguarda gli iter autorizzativi degli impianti, sia per quanto riguarda la modifica relativa ai valori di attenzione ed obiettivi di qualità per l'esposizione della popolazione.

Vediamo quindi se le evoluzioni sopra citate abbiano modificato o meno le condizioni di esposizione della popolazione in ciascuna delle aree urbane identificate.

2. CITTÀ DI ALESSANDRIA

Grafico 2.1: distribuzione dei livelli di campo elettrico (medie su 6 minuti) rilevati in diversi periodi nella città di Alessandria.

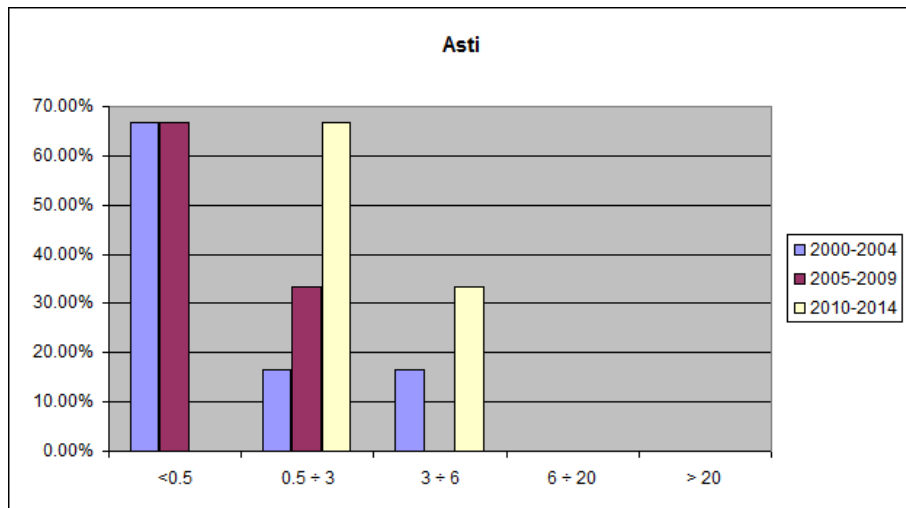


Fonte dati: Arpa Piemonte

Per la città di Alessandria non si rilevano modifiche nella distribuzione dei valori di campo elettrico misurati nell'arco di tre diversi quinquenni: l'aumento di potenza negli impianti installati non risulta avere un impatto rilevabile sui livelli medi di esposizione, anche se presumibilmente ne avrà sui livelli puntuali in prossimità di alcuni impianti.

3. CITTÀ DI ASTI

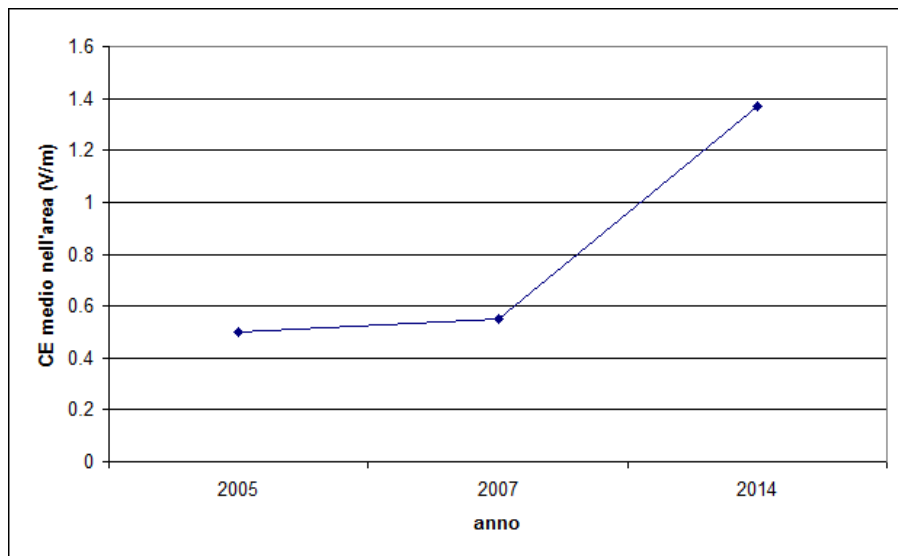
Grafico 3.1: distribuzione dei livelli di campo elettrico (medie su 6 minuti) rilevati in diversi periodi nella città di Asti.



Fonte dati: Arpa Piemonte

Per la città di Asti, dall'analisi statistica delle misure effettuate (raggruppate per quinquenni) sembra risultare un aumento medio dell'esposizione della popolazione. Tale osservazione è confermata dall'analisi delle misure in una specifica area della città (zona di diametro poche centinaia di metri per garantire maggiore omogeneità nelle condizioni di esposizione e di misura): Il valore medio di campo elettrico nell'area (dati rilevati durante il 2014) risulta più elevato di quello valutato per le misure del 2005 e 2007.

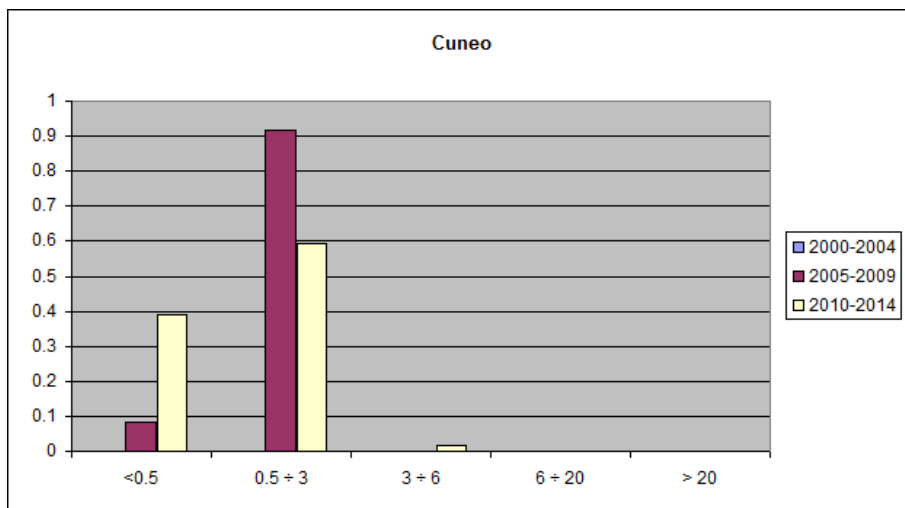
Grafico 3.2: livelli medi di campo elettrico in un'area limitata della città di Asti in diversi anni



Fonte dati: Arpa Piemonte

4. CITTÀ DI CUNEO

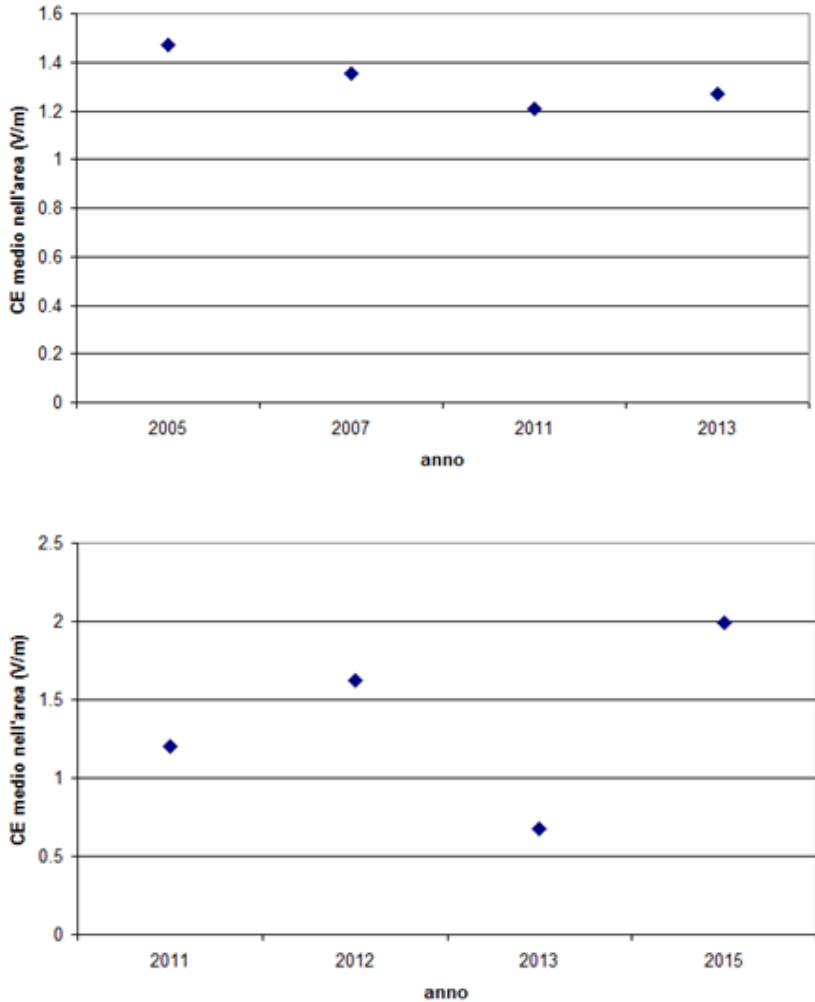
Grafico 4.1: distribuzione dei livelli di campo elettrico (medie su 6 minuti) rilevati in diversi periodi nella città di Cuneo.



Fonte dati: Arpa Piemonte

Per la città di Cuneo non si nota un'evoluzione netta nella distribuzione dell'esposizione, e questo viene confermato dall'analisi per aree omogenee: dalle figure seguenti non è possibile osservare nessuno specifico trend di crescita dei livelli medi di campo elettrico nelle due aree prese in considerazione.

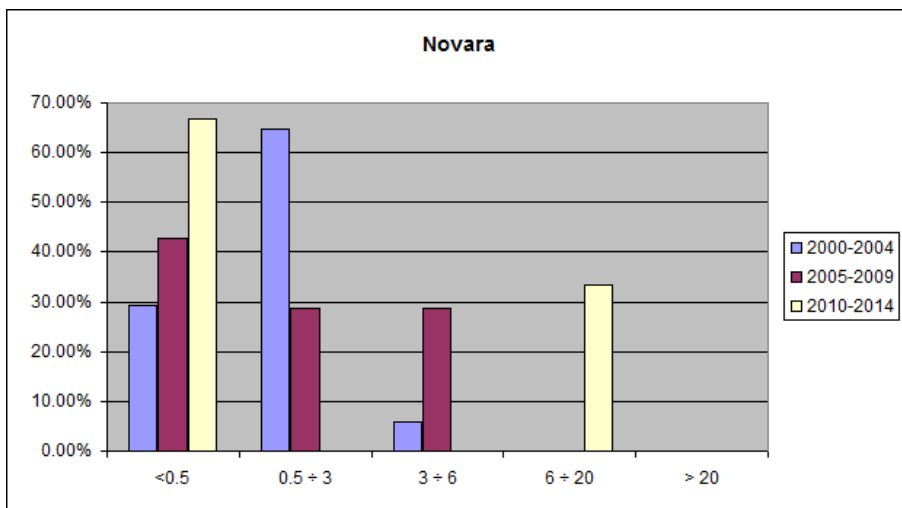
Grafico 4.2: livelli medi di campo elettrico in due aree limitate della città di Cuneo in diversi anni



Fonte dati: Arpa Piemonte

5. CITTÀ DI NOVARA

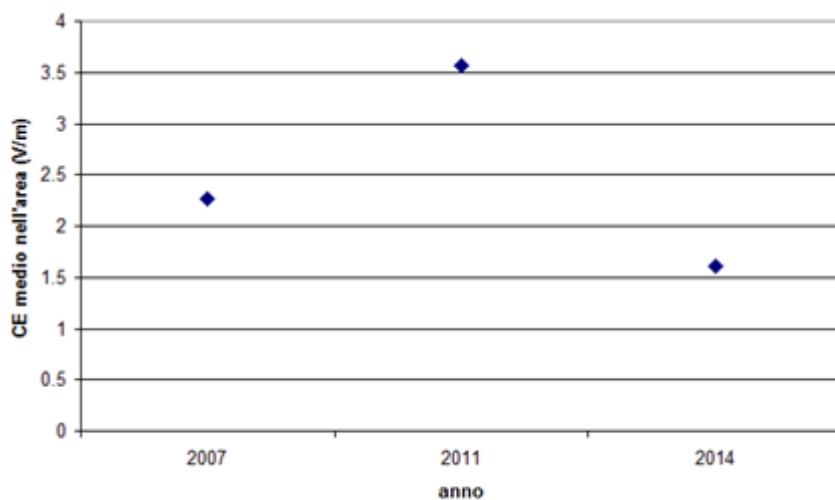
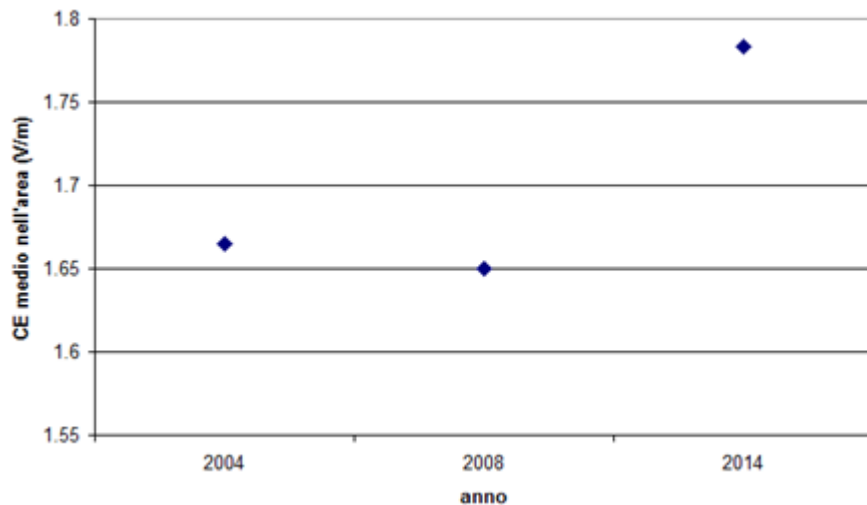
Grafico 5.1: distribuzione dei livelli di campo elettrico (medie su 6 minuti) rilevati in diversi periodi nella città di Novara.



Fonte dati: Arpa Piemonte

Anche per la città di Novara non si nota un'evoluzione netta nella distribuzione dell'esposizione, e questo viene confermato dall'analisi per aree omogenee riportata nei due grafici sottostanti: si rilevano casi puntuali di aumento dei livelli di campo elettrico, ma mediamente l'evoluzione tecnologica e normativa non ha prodotto variazioni sensibili.

Grafico 5.2: livelli medi di campo elettrico in due aree limitate della città di Novara in diversi anni

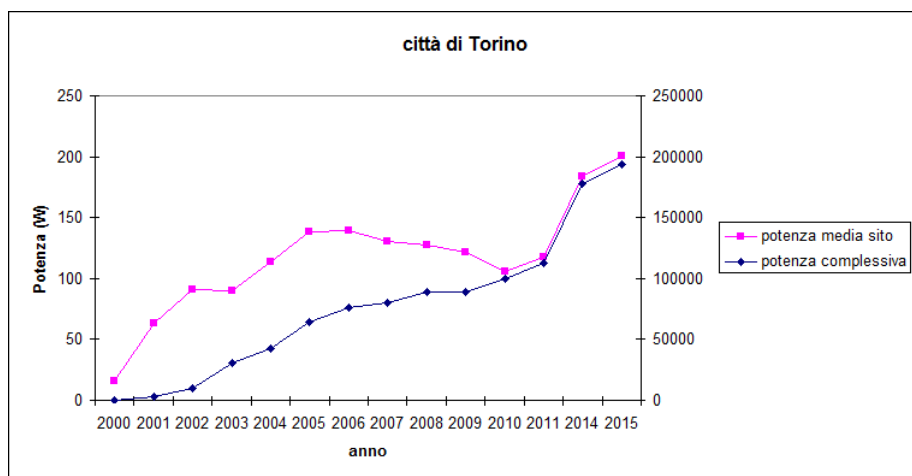


Fonte dati: Arpa Piemonte

6. CITTÀ DI TORINO

Per la città di Torino, si riporta di seguito un'analisi dell'evoluzione nel tempo della potenza degli impianti per telefonia, non soltanto in termini di potenza complessiva installata su tutta l'area urbana, ma anche di potenza media del singolo sito. E' possibile osservare come, dopo un periodo di ottimizzazione della rete nell'ottica del rispetto dei valori di attenzione ed obiettivi di qualità (e conseguente lieve diminuzione della potenza media del singolo sito), negli ultimi anni la potenza installata su ciascun sito sia cresciuta rapidamente, sia in relazione alle sempre maggiori esigenze di copertura e di fornitura di nuovi servizi, sia all'introduzione di agevolazioni per lo sviluppo della rete a banda larga e alla modifica dell'impianto normativo per la protezione della popolazione.

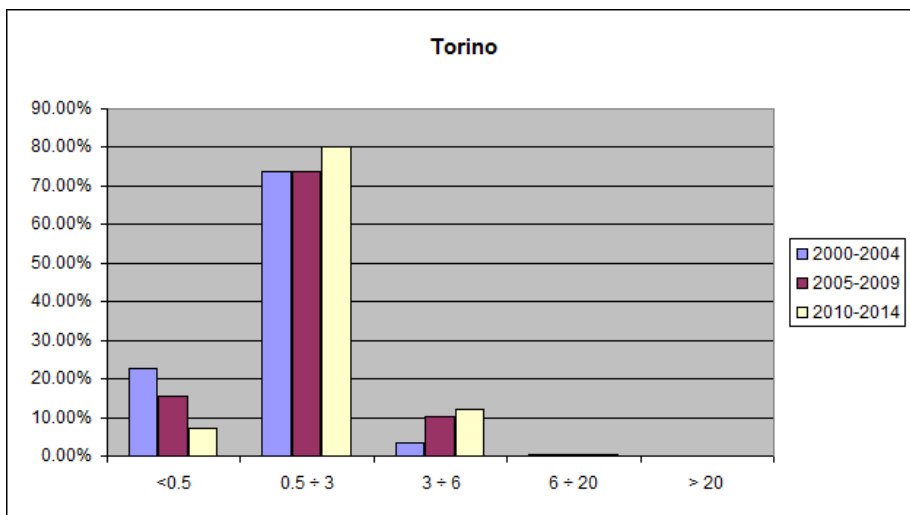
Grafico 6.1: potenza complessiva degli impianti per telefonia nella città di Torino e potenza media per ciascun sito



Fonte dati: Arpa Piemonte

Per quanto riguarda l'impatto di tale evoluzione sui livelli di esposizione al campo elettrico, vediamo di seguito come anche in questo caso ad un aumento complessivo di potenza degli impianti non corrisponda una modifica rilevabile dei livelli di esposizione, che comunque sono mediamente più elevati rispetto a tutte le altre aree urbane del Piemonte.

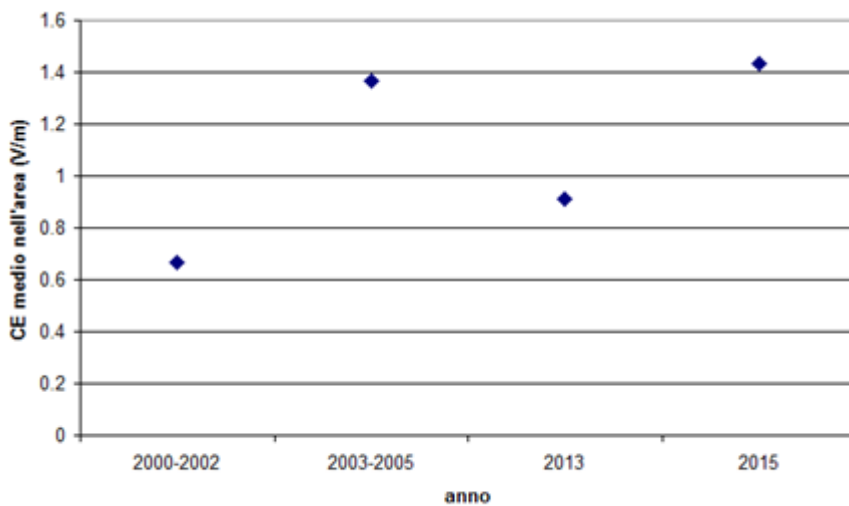
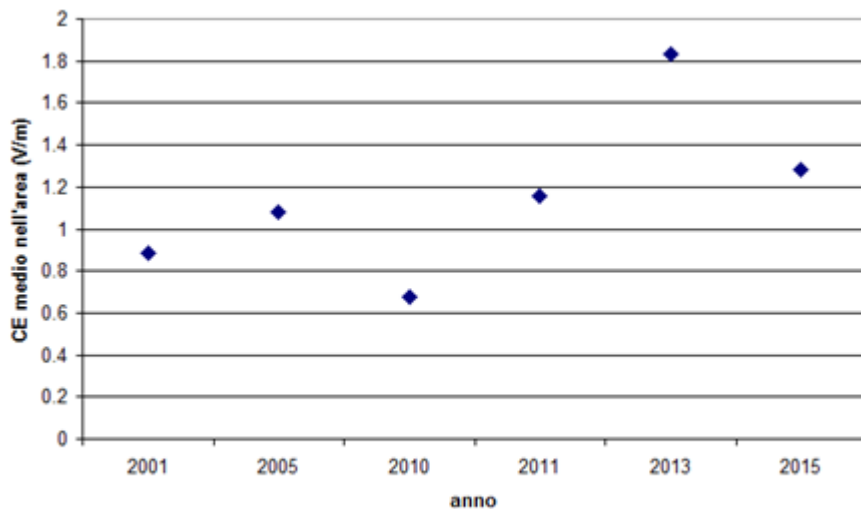
Grafico 6.2: distribuzione dei livelli di campo elettrico (medie su 6 minuti) rilevati in diversi periodi nella città di Torino



Fonte dati: Arpa Piemonte

In questo caso, l'analisi per aree omogenee tende a mostrare un trend di lieve aumento dei livelli di campo elettrico (non particolarmente significativo), come visibile nei due esempi sottostanti.

Grafico 6.3: livelli medi di campo elettrico in due aree limitate della città di Torino in diversi anni



Fonte dati: Arpa Piemonte

Sull'area di Torino è stato inoltre possibile effettuare un'analisi comparativa tra la situazione precedente e quella successiva alla modifica normativa relativa alla media su 24 ore del valore di attenzione, in particolare per ciò che riguarda la variazione dei livelli diurni di campo elettrico (medie su 6 minuti) rispetto al livello medio sulle 24 ore.

Tale analisi prende spunto da un lavoro [1] svolto nel 2013 prendendo in considerazione i dati di oltre cento centraline per il monitoraggio in continuo sul territorio regionale, e valutando l'entità degli scarti (in percentuale) tra le medie su 6 minuti del campo elettrico durante le ore diurne e la media su 24 ore.

Per l'area di Torino centro, una prima osservazione è quella relativa al valore massimo, nel periodo di monitoraggio di ciascuna centralina, dello scarto percentuale tra la moda dei livelli di campo elettrico su 6 minuti (ore diurne) e la media su 24h.

L'analisi è stata svolta su una decina di centraline nella zona del centro di Torino, calcolando poi il valore medio per le centraline considerate. Per il biennio di misure 2011-12, lo scarto massimo tra moda 6 minuti e media 24 ore era mediamente pari all'11% circa. Per il biennio 2014-15 tale scarto è salito al 25% circa.

Si osserva perciò come nell'ultimo biennio si rilevino più frequentemente valori su 6 minuti elevati rispetto alla media su 24 ore, in confronto a quanto riscontrato prima delle modifiche normative. Invece il livello medio di esposizione non si modifica sensibilmente.

Di seguito si riporta un'analisi più dettagliata per due zone di Torino per le quali sono presenti monitoraggi prolungati precedenti al 2013 e successivi al 2014.

Sito Einaudi/Duca degli Abruzzi

Misure 2012

Il valore massimo su 6 minuti di campo elettrico nel periodo è pari a 4.44V/m

Analisi della distribuzione degli scarti tra valori medi su 6 minuti nelle ore diurne e medie su 24 ore nel periodo di monitoraggio:

1° quartile: 0.6%

mediana 2.2%

3° quartile 5.0%

Misure 2015

Il valore massimo su 6 minuti di campo elettrico nel periodo è pari a 4.36 V/m

Analisi della distribuzione degli scarti tra valori medi su 6 minuti nelle ore diurne e medie su 24 ore nel periodo di monitoraggio:

1°quartile: 1.1%

mediana: 3.9%

3° quartile: 6.8%

Il valore mediano degli scarti è leggermente aumentato, e la distribuzione si è allargata, a confermare la presenza di situazioni in cui il valore medio su 6 minuti è più elevato rispetto alla media su 24 ore in rapporto al monitoraggio precedente.

Sito via Filadelfia/via Tunisi

Misure 2011-2012

Il valore massimo su 6 minuti di campo elettrico nel periodo è pari a 3.37 V/m

il valore più frequente della media su 24 ore è 2.05V/m

Rapporto: 1.64

Analisi della distribuzione degli scarti tra valori medi su 6 minuti nelle ore diurne e medie su 24 ore nel periodo di monitoraggio

1° quartile: -1.1%

mediana 3.8%

3° quartile 10.5%

Misure 2014

Il valore massimo di campo elettrico nel periodo è pari a 4.07 V/m

il valore più frequente della media su 24 ore è 2.9 V/m

rapporto: 1.39

Analisi della distribuzione degli scarti tra valori medi su 6 minuti nelle ore diurne e medie su 24 ore nel periodo di monitoraggio

1° quartile: -0.5%

mediana 1.9%

3° quartile: 4.7%

In questo caso non si rilevano differenze significative tra i dati rilevati nel 2012 e quelli nel 2014.

IL RILASCIO DEI PARERI DI COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA: CRITERI DI ISTRUTTORIA E CRITICITÀ DI UN CASO TIPICO NELLA CITTÀ DI NAPOLI

Nicola Barbato¹, Giovanni Improta¹

¹ARPA CAMPANIA

ABSTRACT

L'ARPA Campania (ARPAC) per gli impianti di telecomunicazione esprime un parere di compatibilità elettromagnetica in osservanza alla legislazione vigente e sulla base della documentazione tecnica allegata alla istanza di realizzazione/modifica presentata dagli operatori. Sono rappresentate, relativamente alla città di Napoli e provincia, le prescrizioni normalmente contenute nei pareri di compatibilità dell'ARPAC e i criteri per il popolamento di un database di Impianti considerati critici al fine della priorità di controllo. Inoltre è descritta la modalità istruttoria adottata per un'istanza di un caso critico ossia l'installazione di una Stazione Radio Base nel Centro di Napoli.

PAROLE CHIAVE

Stazione Radio Base (SRB), parere di compatibilità elettromagnetica, controllo.

La normativa vigente in materia di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici prevede che le ARPA rilasciano per gli impianti di telecomunicazione un parere di compatibilità elettromagnetica sulla base della documentazione tecnica allegata alla istanza di realizzazione/modifica presentata dagli operatori. Nella relazione di impatto elettromagnetico il progettista dell'impianto deve, tra l'altro, eseguire misure del fondo elettromagnetico nei punti significativi del sito oggetto dell'intervento ed effettuare una stima del campo generato dall'impianto. L'ARPAC sulla base della documentazione allegata all'istanza esprime il parere favorevole con le prescrizioni che il gestore:

- effettui le misure di verifica a sito attivo;
- precisi, nel caso che non sia stata realizzata la configurazione radioelettrica prevista dal progetto, l'effettiva configurazione attivata;
- comunichi l'attivazione di ogni ulteriore aliquota dell'impianto.

La ratio di dette disposizioni è quella di evitare che il gestore, soprattutto nelle aree urbane, saturi lo spazio elettromagnetico, impedendo di fatto la presenza di ulteriori operatori. Infatti in zone densamente popolate come nel comune di Napoli ed in altri comuni della provincia la presenza di numerosi impianti, di aumenti dei servizi dovuti all'avvento delle nuove tecnologie (LTE e reti BWA) ha comportato un incremento dei livelli di campo elettromagnetico. Considerata le difficoltà operative (difficoltà di accesso ai siti di misura nonostante il supporto del Comune e della Polizia Locale) e la onerosità (in termini di tempo e risorse umane) di effettuare le misure di controllo, l'ARPAC dedica particolare impegno alla istruttoria della documentazione con maggiore attenzione agli impianti nei quali la somma del fondo elettromagnetico e del contributo dell'impianto supera il valore di 4.5 V/m. In ogni caso gli impianti che previsionalmente superano il valore di 4.5 V/m sono inseriti in un elenco degli impianti da controllare con priorità. Il Dipartimento di Napoli ha rilasciato nell'ultimo anno 318 pareri di compatibilità elettromagnetica relativi agli impianti collocati in tutta la provincia di Napoli. Di essi, applicando il criterio sopraddetto, nella città di Napoli 20 impianti su un totale di 106 (pari al 19%) sono stati inseriti nell'elenco di impianti "critici" mentre valutando l'insieme di tutti gli altri comuni della provincia sono stati classificati come critici 24 impianti su un totale di 212 (pari al 11%).

In riferimento alla istanza di un gestore per la realizzazione di una Stazione Radio Base da ubicare in zona centrale del Comune di Napoli, i tecnici istruttori hanno segnalato che, dalla documentazione tecnica allegata all'istanza, in alcuni punti i valori totali di campo elettromagnetico (fondo e contributo previsionale calcolato cautelativamente anche per i due gestori già presenti) era superiore ai 4.5 V/m. Pertanto, prima di rilasciare parere favorevole, è stato effettuato, nel mese di marzo 2015, un sopralluogo e misure nei punti significativi per il quali si è avuta la possibilità di accesso. Infatti una delle maggiori criticità incontrate dagli operatori dell'Agenzia è la grande diffidenza della popolazione e quindi acconsentire l'accesso alle proprietà private per i rilievi. Talvolta anche quando il sopralluogo è effettuato in modo congiunto con la Polizia Municipale o Forze dell'Ordine. Nel caso specifico sono stati effettuati 17 punti di misura riscontrando in un punto il superamento del valore di attenzione. La relazione di misura è stata trasmessa al Comune per l'attivazione

della procedura di riduzione a conformità specificando i due gestori già attivi; e nell'attesa della definizione e conclusione del procedimento è stato comunicato al terzo gestore richiedente la sospensione della istanza di rilascio di parere. Il Comune di Napoli ha avviato, pertanto, il procedimento di riduzione a conformità, come previsto dalla normativa vigente, comunicandolo a gestori interessati. A seguire la comunicazione da parte dei gestori di aver proceduto ad una idonea riduzione del campo elettromagnetico generato ha effettuato nuove misure con il supporto della Polizia Municipale al fine di avere anche maggiori possibilità di accesso ai punti ritenuti critici. Dai rilievi è emerso che nel punto di superamento indicato nella relazione di misura, il valore del livello di campo elettromagnetico era rientrato nel limite. Tuttavia è stato riscontrato un altro punto (non accessibile per l'impossibilità di contattare i residenti nel corso del precedente sopralluogo) in cui il livello di campo elettromagnetico risultava essere superiore al limite. Data la complessità e la criticità del caso, anche per la scelta del sito, il Comune di Napoli ha prescritto, oltre alla riduzione a conformità degli impianti già attivi, che i gestori interessati presentino un'unica relazione di impatto elettromagnetico in modo che la configurazione radioelettrica degli impianti, quando attivate a regime, garantiscano il rispetto dei limiti vigenti con margini significativi. Inoltre è stato richiesto anche la riduzione dell'"impatto visivo" con l'accorpamento delle strutture.

ISPRA

ARTA Abruzzo

ARPA Basilicata

ARPA Calabria

ARPA Campania

ARPA Emilia-Romagna

ARPA Friuli Venezia Giulia

ARPA Lazio

ARPA Liguria

ARPA Lombardia

ARPA Marche

ARPA Molise

ARPA Piemonte

ARPA Puglia

ARPA Sardegna

ARPA Sicilia

ARPA Toscana

ARPA Umbria

ARPA Valle d'Aosta

ARPA Veneto

ARPA Bolzano

ARPA Trento

