

COMUNE DI NURACHI

Provincia di ORISTANO

VARIANTE AL PIANO URBANISTICO COMUNALE

DISLOCAZIONE DEGLI IMPIANTI PER LA TELEFONIA MOBILE E MAPPATURA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

PROGETTO
STUDIO MURA-TOMASELLO
Dott. Ing. Giovanni MURA

COLLABORATORI
Dott. Ing. Guido SANNA

COMMITTENTE
Amministrazione Comunale di Nurachi

IL SINDACO
dott. Filippo Scalas

RESP. DEL PROCEDIMENTO
dott. ing Antonio Mastinu

9.2

RELAZIONE TECNICA E SPECIALISTICA



Mura & Tomasello Associati
architettura ingegneria urbanistica



Data: Aprile 2012

Resp. Progetto: R.Barracu

Archivio: MT0957_NURACHI

Elaborazione: G. Sanna

File:

Verifica: G. Mura

Modello:

Approvazione: G. Mura

Elaborato: -

Agg.: -

Indice

1	Campo elettromagnetico irradiato dai sistemi di telefonia mobile.	3
1.1	Introduzione	3
1.2	Limiti di esposizione, valori di cautela e minimizzazione dei campi elettromagnetici	5
1.3	Stazioni radio base per la telefonia cellulare	5
1.4	Antenne delle stazioni radio base	6
1.5	Campo elettromagnetico irradiato	8
1.6	Data base territoriale	10
2	La normativa di riferimento.	12
2.1	Normativa internazionale	12
2.2	Normativa comunitaria	14
2.3	Normativa nazionale	15
3	RISULTATI. Esempi.	18
	Bibliografia	21
A	RISULTATI. Archivio dati inseriti nel simulatore.	22

Prefazione

Termini come inquinamento elettromagnetico e “elettrosmog” vengono comunemente usati dai mezzi di informazione, spesso in modo troppo generico, e sono talora sorgente di incertezza e preoccupazione per l’opinione pubblica. Si parla di elettrosmog ogni volta che si ha a che fare con campi elettromagnetici non ionizzanti di origine artificiale. L’elettrosmog è quindi causato non solo dai campi elettromagnetici emessi dalle antenne per la telefonia mobile, ma anche da moltissime altre sorgenti, alcune delle quali tenute senza sospetto nel proprio ambiente domestico. È evidente però che la proliferazione del mercato della telefonia mobile e delle relative installazioni necessarie al suo funzionamento non possa passare inosservata. Sorge quindi una domanda: come sorvegliare quella fonte di elettrosmog legata agli impianti fissi di telefonia mobile che oggi preoccupa maggiormente la popolazione?

Le amministrazioni pubbliche e le autorità di controllo ambientale e sanitario hanno risposto e rispondono attraverso normative, valutazioni preventive, monitoraggi dei livelli di campo elettromagnetico ed in generale attraverso azioni che cercano di applicare un principio di cautela già in fase di progettazione di opere pubbliche.

In questo contesto, negli ultimi anni, sono stati sviluppati protocolli di intesa tra gli enti di controllo, le regioni, le province, i comuni e i gestori di telefonia mobile. L’intesa ha solitamente il fine di disciplinare il rilascio di concessioni ed autorizzazioni per l’installazione di antenne per telefonia mobile all’interno del territorio amministrato, garantendo la corretta localizzazione ambientale e la massima razionalizzazione del sistema globale di antenne nel preciso interesse di rendere un servizio alla popolazione e minimizzando le emissioni compatibilmente con la qualità del servizio e, comunque, sempre nel rispetto della normativa vigente.

Gli obiettivi da perseguire sempre nei protocolli di intesa sono:

- favorire l’applicazione delle norme e dei principi prescritti dalle normative;
- velocizzare il rilascio delle autorizzazioni necessarie, snellendo l’iter amministrativo;
- garantire il razionale inserimento di nuovi impianti nel sistema esistente, per esempio attraverso l’approvazione di un piano annuale. In particolare, risulta molto utile la suddivisione del territorio in aree vincolate, aree di attenzione e aree preferenziali per l’installazione di impianti. Le procedure di rilascio dell’autorizzazione potrebbero essere velocizzate per gli impianti previsti nelle aree preferenziali perché, ad esempio, queste risultano già controllate preventivamente;
- favorire il monitoraggio e/o la valutazione teorica del livello di campo elettromagnetico sul territorio comunale, anche per rispondere prontamente ad eventuali richieste di chiarimento da parte della popolazione;

- favorire l'attuazione di campagne informative da parte di enti preposti individuati in sede di accordo nei confronti della popolazione.

In definitiva, l'adozione di accordi tra le amministrazioni e i gestori risulta efficace per tutti i soggetti: perché semplifica le procedure amministrative per i gestori, perché ottimizza gli aspetti legati all'impatto ambientale e perché favorisce la divulgazione di una corretta e trasparente informazione nei confronti della popolazione.

La relazione, nella quale i contenuti tecnici sono stati volutamente ridotti al minimo indispensabile, intende prevalentemente indicare i criteri generali che devono essere seguiti per verificare se un insieme di Stazioni Radio Base (SRB) per la telefonia cellulare rispetta i limiti e gli obiettivi richiesti dalla legislazione italiana nei confronti dell'esposizione dei cittadini ai campi elettromagnetici ad alta frequenza sotto l'ipotesi che non ci siano altre fonti di inquinamento elettromagnetico. I criteri riportati in questa relazione sono riconosciuti in ambito europeo e internazionale, ma i valori numerici fanno riferimento alla sola realtà nazionale, dal momento che in Italia i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici ad alta frequenza sono diversi (e tipicamente maggiormente cautelativi) rispetto a quelli presenti in altri paesi [1, 2, 3, 4].

1. Campo elettromagnetico irradiato dai sistemi di telefonia mobile.

1.1 Introduzione

Le radiazioni elettromagnetiche sono caratterizzate da una propria lunghezza d'onda e da una propria frequenza. La loro propagazione, con trasporto di energia, avviene alla velocità della luce c . La velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica consente di mettere in relazione fra loro la frequenza f e la lunghezza d'onda λ del fenomeno elettromagnetico:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad . \quad (1.1)$$

Poiché la lunghezza d'onda e la frequenza sono inversamente proporzionali, tanto minore sarà la lunghezza d'onda, tanto maggiore sarà la frequenza. Una prima classificazione delle radiazioni elettromagnetiche può quindi essere fatta in base alla loro frequenza distinguendo:

- le radiazioni ionizzanti: sono quelle radiazioni la cui frequenza è sufficientemente elevata ($f > 300$ GHz) da conferire loro energia sufficiente per ionizzare la materia con cui interagiscono;
- le radiazioni non ionizzanti: non hanno energia sufficiente per ionizzare la materia con cui interagiscono.

In questa relazione ci si occupa solo di una piccola porzione dello spettro delle radiazioni non ionizzanti e precisamente di quelle frequenze che vengono utilizzate per i servizi di telefonia mobile:

- $880 \text{ MHz} \leq f \leq 915 \text{ MHz}$ e $925 \text{ MHz} \leq f \leq 960 \text{ MHz}$ (sistema GSM900),
- $1710 \text{ MHz} \leq f \leq 1785 \text{ MHz}$ e $1805 \text{ MHz} \leq f \leq 1880 \text{ MHz}$ (sistema GSM1800),
- $1920 \text{ MHz} \leq f \leq 1980 \text{ MHz}$ e $2110 \text{ MHz} \leq f \leq 2170 \text{ MHz}$ (sistema UMTS).

Per i servizi di telefonia mobile si ottiene allora:

- GSM900: $\lambda \simeq 0.32$ m,
- GSM1800: $\lambda \simeq 0.16$ m,
- UMTS: $\lambda \simeq 0.15$ m.

Le grandezze fisiche mediante le quali vengono caratterizzate le radiazioni elettromagnetiche sono fondamentalmente:

- Il **campo elettrico** \vec{E} , misurato in V/m.
- Il **campo magnetico** \vec{H} , misurato in A/m.
- La **densità di potenza** elettromagnetica S , misurata in W/m^2 .

I meccanismi di interazione fra campi elettromagnetici ad alta frequenza e sistemi biologici sono stati oggetto di indagini approfondite da circa cinquanta anni e sono discussi in molti lavori scientifici [5]. A livello macroscopico gli effetti di questi campi elettromagnetici possono essere ricondotti ad un processo di assorbimento di energia, dissipata nei tessuti sotto forma di calore, con conseguente riscaldamento generale o localizzato. Il meccanismo di assorbimento viene generalmente descritto attraverso il tasso di assorbimento specifico (SAR, Specific Absorption Rate) che esprime la potenza elettromagnetica assorbita per unità di massa corporea. Dal momento che l'organismo umano dispone di meccanismi di regolazione termica, la protezione dall'esposizione a campi elettromagnetici si attua imponendo che non venga superato un valore di soglia per il SAR. I valori di campo elettromagnetico massimo stabiliti dalla legislazione sono essenzialmente basati sulla limitazione a valori estremamente ridotti di questi effetti termici.

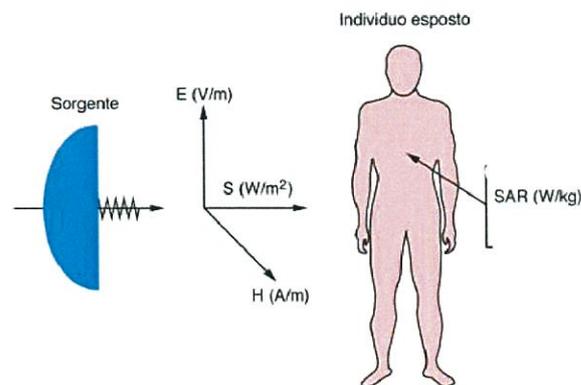


Figura 1.1: Interazione fra campi elettromagnetici e sistemi biologici

L'obiettivo delle sezioni che seguono è di mostrare come sia possibile essere in grado di valutare, a fini protezionistici, il campo elettromagnetico massimo generabile da tutte le antenne radio base della telefonia mobile presenti all'interno di un territorio comunale.

1.2 Limiti di esposizione, valori di cautela e minimizzazione dei campi elettromagnetici

Si fa qui riferimento ai limiti di esposizione e ai valori di cautela o di attenzione e agli obiettivi di qualità definiti dalla normativa italiana [4] e descritti in dettaglio nella seconda parte di questa relazione. Tali valori vengono di qui in avanti denominati limiti e si riferiscono alle grandezze: campo elettrico, campo magnetico e densità di potenza. Gli stessi strumenti qui utilizzati per verificare che un insieme di SRB complessivamente emetta un campo elettromagnetico inferiore ai limiti di legge possono essere efficacemente utilizzati anche per perseguire l'obiettivo di minimizzare il campo elettromagnetico compatibilmente con la qualità del servizio al fine di minimizzare l'esposizione della popolazione a queste radiazioni.

È bene sottolineare che esiste una sostanziale differenza fra la verifica di conformità di un impianto e la verifica di conformità all'interno di un'area geografica (come un territorio comunale). Infatti nel caso di esposizione ad un'unica sorgente la conformità dell'impianto si ottiene se il valore del campo elettromagnetico emesso dalla sorgente è al di sotto dei limiti di legge. Qualora invece più impianti (magari di diversi gestori o di altre sorgenti) contribuiscano al campo totale in una determinata area geografica bisogna verificare che l'insieme delle emissioni dovute a tutte le sorgenti sia al di sotto dei limiti di legge.

Essendo questa relazione motivata principalmente da fini protezionistici per la tutela della salute dei cittadini, si farà sempre riferimento a casi cautelativi: laddove per esempio non fossero noti i valori di potenza erogati da una particolare SRB si userà sempre il valore massimo di potenza erogabile. In questo modo quello che si ottiene non è il valore di campo che si può misurare in un dato punto, ma il valore di campo massimo che si potrebbe avere in quel punto nella peggiore situazione possibile.

1.3 Stazioni radio base per la telefonia cellulare

In questa sezione si riassumono le caratteristiche tecniche delle stazioni radio base che devono essere conosciute per procedere al calcolo del campo elettromagnetico.

Le stazioni GSM

Il sistema GSM sfrutta una tecnica mista di accesso multiplo in cui la banda assegnata ad ogni operatore è suddivisa in diverse portanti ognuna delle quali viene poi utilizzata dagli utenti in diversi istanti temporali. Il canale di traffico è quindi identificato da un determinato intervallo temporale e da una particolare portante radio all'interno della banda GSM: $880 \text{ MHz} \leq f \leq 915 \text{ MHz}$ e $925 \text{ MHz} \leq f \leq 960 \text{ MHz}$ per il sistema GSM900; $1710 \text{ MHz} \leq f \leq 1785 \text{ MHz}$ e $1805 \text{ MHz} \leq f \leq 1880 \text{ MHz}$ per il sistema GSM1800.

La potenza massima teorica emessa dall'antenna si ricava moltiplicando il numero di portanti per la potenza massima di ogni portante:

$$P_{massima} = N_{portanti}P_{portante} \quad . \quad (1.2)$$

Questo valore di potenza rappresenta una stima per eccesso della potenza per diversi motivi:

- quasi sempre i canali di traffico rimangono alimentati solo se effettivamente occupati da una conversazione e in assenza di traffico solo una portante rimane attiva per i canali di controllo,
- il sistema calibra i livelli di potenza da assegnare a ciascun canale di traffico.

Il valore espresso dalla formula 1.2 rappresenta quindi una stima per eccesso della potenza e il valore di campo elettromagnetico che verrà stimato usando la 1.2 è sicuramente maggiore del valore di campo elettromagnetico presente in un dato punto e istante.

Pertanto la potenza effettivamente utilizzata sarà:

$$P_{utilizzata} = SP_{massima} \quad , \quad (1.3)$$

con $S < 1$. Tuttavia a scopi cautelativi si assumerà sempre $S = 1$.

Le stazioni UMTS

Nel sistema UMTS la potenza viene assegnata a ciascun utente in funzione del servizio richiesto e in funzione della sua posizione rispetto alla SRB. Le frequenze utilizzate sono: $1920 \text{ MHz} \leq f \leq 1980 \text{ MHz}$ e $2110 \text{ MHz} \leq f \leq 2170 \text{ MHz}$. Anche in questo sistema sono presenti meccanismi di controllo della potenza che permettono di minimizzare la potenza trasmessa per ogni singola conversazione. Non esistono qui diverse portanti e tuttavia anche in questo caso si può dire che la potenza massima utilizzabile dall'impianto non viene mai raggiunta. Il valore della potenza effettivamente utilizzata può essere espresso dalla:

$$P_{utilizzata} = SP_{massima} \quad , \quad (1.4)$$

con $S < 1$. Tuttavia si farà qui sempre riferimento al caso peggiore in cui $S = 1$: ancora una volta a scopi cautelativi si considera quindi il caso di maggiore potenza possibile emessa dalla SRB determinando il campo massimo e non il campo presente in un certo punto e in un certo istante.

1.4 Antenne delle stazioni radio base

Le antenne installate sulle diverse SRB differiscono a seconda del tipo di utilizzo della particolare stazione: in particolare si devono distinguere le antenne per macrocelle rispetto

alle antenne per microcelle. Generalmente le antenne in questione sono direttive sia sul piano orizzontale sia sul piano verticale, in altre parole il segnale da loro emesso non viene irradiato in tutto lo spazio circostante ma principalmente all'interno di un cono dove si trovano i potenziali utilizzatori di questo segnale. Nella tipica configurazione trisetoriale ogni antenna deve garantire la copertura radioelettrica in un settore di 120°. Il diagramma orizzontale ha quindi una larghezza angolare di circa 120°, mentre il diagramma verticale ha una larghezza molto minore (di solito compresa fra i 5° e i 15°).

Nella figura 1.2 si riporta un tipico esempio con dati presi dal foglio tecnico per l'antenna Kathrein 742212.

XPol F-Panel 1710-2170 65° 18dBi 0°-8°T			
Type No.	742 212		
Frequency range	1710 – 1880 MHz	1850 – 1990 MHz	1920 – 2170 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 17.5 dBi	2 x 17.7 dBi	2 x 18 dBi
Half-power beam width Copolar +45°/-45°	Horizontal: 67° Vertical: 7°	Horizontal: 65° Vertical: 6.7°	Horizontal: 63° Vertical: 6.5°
Electrical tilt continuously adjustable	0°-8°	0°-8°	0°-8°
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	0° ... 2° ... 5° ... 8°T 17 ... 17 ... 15 ... 15 dB	0° ... 2° ... 5° ... 8°T 20 ... 20 ... 18 ... 18 dB	0° ... 2° ... 5° ... 8°T 20 ... 20 ... 18 ... 16 dB
Front-to-back ratio (180° ± 30°)	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 30 dB Total power: > 25 dB
Cross polar ratio Main direction Sector ±60°	Typically: 25 dB > 10 dB	Typically: 25 dB > 10 dB	Typically: 25 dB > 10 dB
Isolation, between ports	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< -150 dBc		
Max. power per input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		

Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Weight	7.5 kg
Wind load	Frontal: 130 N (at 150 km/h) Lateral: 110 N (at 150 km/h) Rearside: 310 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	1574 x 172 x 92 mm
Height/width/depth	1302 / 155 / 69 mm

Figura 1.2: Principali dati del foglio tecnico di una antenna

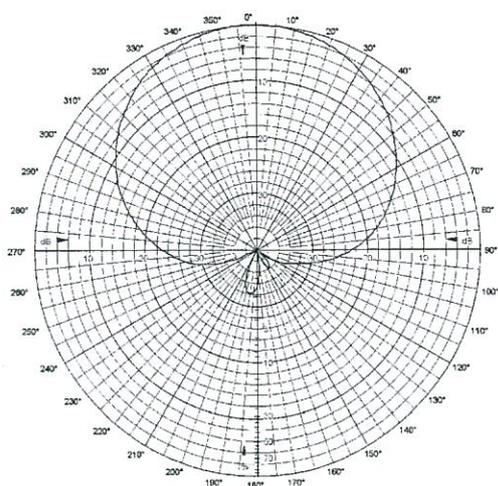


Figura 1.3: Piano orizzontale di radiazione dell'antenna Kathrein 742212

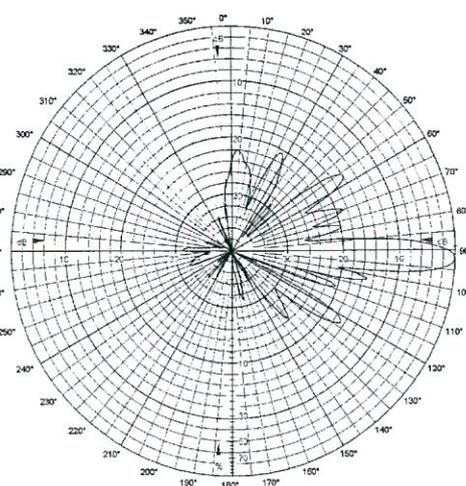


Figura 1.4: Piano verticale di radiazione dell'antenna Kathrein 742212

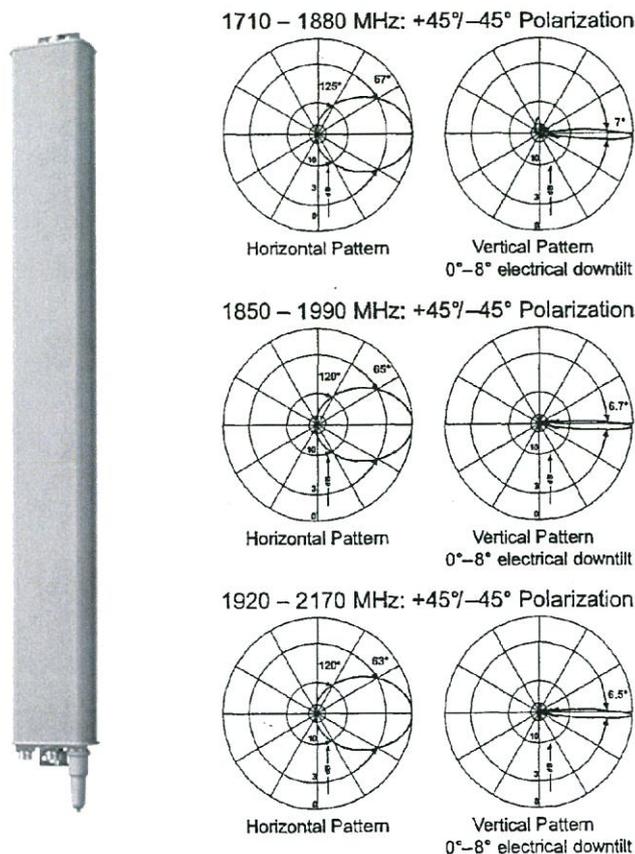


Figura 1.5: Aspetto dell'antenna Kathrein 742212 e relativi diagrammi di radiazione

1.5 Campo elettromagnetico irradiato

Le grandezze fisiche che occorre valutare per determinare l'esposizione ai campi elettromagnetici irradiati da una antenna sono: la densità di potenza (S misurato in watt su metro quadro, W/m^2), il campo elettrico nel suo valore efficace (E misurato in volt per metro, V/m) e il campo magnetico nel suo valore efficace (H misurato in ampere su metro, A/m).

La distribuzione del campo elettromagnetico nello spazio circostante una data sorgente dipende dalle caratteristiche radioelettriche della sorgente stessa e dalla disposizione dei suoi componenti rispetto ai punti di misura considerati.

Poiché il campo elettromagnetico irradiato nell'ambiente da una qualsiasi sorgente presenta caratteristiche diverse man mano che ci si allontana dalla sorgente stessa, è usuale distinguere diverse zone:

- La zona di **CAMPO REATTIVO**, che si estende dalla superficie della sorgente fino ad una distanza di transizione dell'ordine della lunghezza d'onda; nel caso della

telefonia cellulare la lunghezza d'onda del campo elettromagnetico è al massimo di 30 centimetri circa e quindi la zona di campo reattivo è qui di scarso interesse dal momento che si tratta di una zona non accessibile alla popolazione.

- La zona di **CAMPO RADIATIVO**, che si estende dall'estremo della zona di campo reattivo fino a distanza infinita.

La zona di **CAMPO RADIATIVO** a sua volta si può dividere in due regioni:

- La zona di **CAMPO VICINO RADIATIVO** che si estende dall'estremo della zona di campo reattivo fino ad una distanza R_0 pari a 3λ o a $2D^2/\lambda$ (il maggiore dei due valori), essendo D la dimensione massima della sorgente irradiante. Le dimensioni tipiche delle antenne delle SRB sono dell'ordine del metro e quindi questa regione si estende tipicamente da qualche decina di centimetri dall'antenna fino a una decina di metri dall'antenna stessa.
- La zona di **CAMPO LONTANO** che si estende dall'estremo della zona di campo vicino radiativo fino a distanza infinita.

Una distinzione accurata delle diverse caratteristiche del campo elettromagnetico nelle varie zone non è solamente una precisazione accademica, ma, ai fini delle procedure da adottare, assume un'importanza essenziale al variare della lunghezza d'onda del campo. Infatti, per le bande di frequenza della telefonia mobile la lunghezza d'onda è tale per cui la valutazione del campo irradiato ha senso solo in zona di campo radiativo (vicino e lontano).

In tutta la zona di campo radiativo è applicabile con buona approssimazione una relazione che lega le tre grandezze elettromagnetiche cui si è prima fatto riferimento (campo elettrico, campo magnetico e densità di potenza):

$$S = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 Z_0 \quad , \quad (1.5)$$

con Z_0 impedenza caratteristica del vuoto ($Z_0 = 377 \Omega$). Ne segue che le tre grandezze elettromagnetiche di riferimento non sono fra di loro indipendenti e la conoscenza di una di esse permette di determinare anche i valori delle altre due. Di conseguenza basta mettere a punto un procedimento per il calcolo di una di queste grandezze e le altre ne risulteranno automaticamente determinate. Nel seguito si farà quindi riferimento al solo campo elettrico E come grandezza elettromagnetica da determinare ai fini protezionistici.

Considerato che nella grande maggioranza delle installazioni ci si trova in presenza di più antenne trasmettenti che coprono radioelettricamente i medesimi settori, risulta necessario operare le valutazioni di campo elettromagnetico considerando contemporaneamente tutte le emissioni. Dal momento che le sorgenti di segnale non risultano correlate fra loro,

il campo elettrico totale dovuto alle SRB può essere ottenuto sommando quadraticamente il campo elettrico causato da ogni singola sorgente:

$$E = \sqrt{\sum_{k=1}^M E_k^2} \quad , \quad (1.6)$$

dove M rappresenta il numero complessivo di antenne per la telefonia mobile presenti sul territorio comunale.

Noti i parametri elettromagnetici fin qui discussi e la posizione di ogni SRB, il modello elettromagnetico sviluppato consentirà in definitiva di determinare il campo elettrico massimo che può essere provocato dalle emittenti dei servizi di telefonia mobile riscontrabile in un qualunque punto del territorio comunale.

È bene sottolineare che qualsiasi procedura di valutazione previsionale di grandezze fisiche che faccia ricorso a modelli di calcolo è soggetta ad errori dipendenti dall'incertezza con la quale si conoscono i parametri che direttamente o indirettamente contribuiscono nella catena di valutazione teorica della grandezza in esame. I parametri in questione possono essere riassunti nei seguenti:

- potenza ai morsetti dell'antenna,
- guadagno massimo dell'antenna,
- diagrammi di irradiazione dell'antenna,
- dimensioni fisiche del sistema radiante,
- frequenza di lavoro del sistema radiante,
- posizione geografica delle antenne con errori di posizionamento inferiori al metro.

Nell'ambito di queste valutazioni, in caso di incertezza nella conoscenza dei dati, si prenderà sempre il valore più cautelativo, cioè quello che dà origine al massimo campo elettromagnetico possibile.

Il risultato grafico più comunemente utilizzato per evidenziare la distribuzione di campo elettrico nello spazio è il contour plot: si disegnano quindi le curve isolivello su sezioni significative del territorio comunale. Le sezioni più significative sono sezioni orizzontali a diverse quote. Tale tecnica produce risultati di immediata valutazione a patto di avere scelto in modo significativo il numero dei piani di visualizzazione e la loro corrispondente quota.

1.6 Data base territoriale

Considerato che l'obiettivo finale è di fornire tutte le informazioni necessarie per la verifica di conformità rispetto alla normativa in merito alla protezione nei confronti dei campi elettromagnetici, risulta di fondamentale importanza stabilire in che modo i livelli di

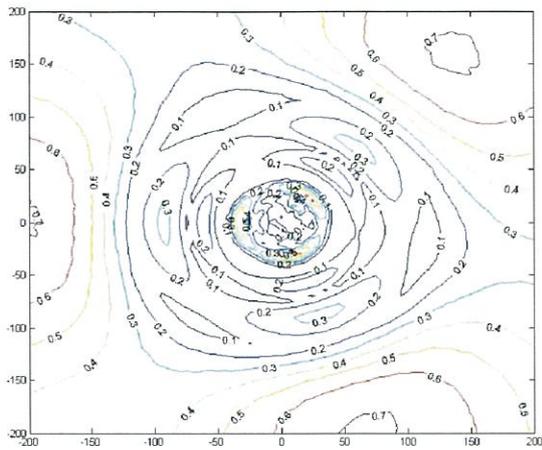


Figura 1.6: Esempio di rappresentazione del campo elettrico attraverso contour plot



Figura 1.7: Esempio di rappresentazione del campo elettrico attraverso contour plot sovrapposto alle informazioni cartografiche bidimensionali

campo possano essere messi in relazione con riferimenti utili a identificare all'interno del territorio comunale la posizione cui si fa riferimento. Evidentemente è utile disporre allora non solo delle coordinate geografiche delle antenne delle diverse SRB ma anche di un riferimento cartografico che consenta di individuare le strade e gli edifici presenti sul territorio comunale. La conformità verrà verificata qualora i livelli di campo valutati in tutti i punti accessibili alla popolazione risultino inferiori ai limiti di legge.

Poiché l'analisi prevede in generale una rappresentazione grafica tridimensionale delle zone di interesse, l'ideale sarebbe di disporre di mappe cartografiche tridimensionali; in alternativa si può comunque procedere anche attraverso la sovrapposizione delle curve isolivello del campo su mappe cartografiche bidimensionali: ovviamente questo secondo procedimento non automatico risulterà meno agevole ma non impedirà di arrivare al risultato finale avendo cura di controllare la corretta georeferenziazione e i corretti riferimenti altimetrici.

2. La normativa di riferimento.

2.1 Normativa internazionale

Nel 1992, durante l'ottavo Congresso internazionale dell'IRPA (International Radiation Protection Association), fu costituita una commissione scientifica: l'ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection). Compito di questa commissione è di indagare i rischi sanitari che possono essere associati alle diverse forme di radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti ($f < 300$ GHz), sviluppare linee guida internazionali per la definizione dei relativi limiti di esposizione e trattare ogni aspetto della protezione da queste radiazioni.

Nel 1998 l'ICNIRP, portata a termine la revisione delle precedenti linee guida dell'IRPA, pubblicò le sue linee guida valide per frequenze fino a 300 GHz [5]. Per quanto riguarda la definizione dei limiti di esposizione, l'ICNIRP distingue due diversi tipi di limiti:

- i “limiti primari o di base” che vengono espressi mediante grandezze dosimetriche il cui valore, strettamente correlato agli effetti sanitari, è quello presente all'interno del corpo e non è, quindi, valutabile se non mediante esperimenti di laboratorio o simulazioni al computer ottenute con l'applicazione di opportuni modelli matematici. Il limite raccomandato viene determinato in base ai livelli di soglia relativi alle risposte acute che si evidenziano nei vari intervalli di frequenza presi in considerazione (stress indotto dall'aumento della temperatura corporea, effetti comportamentali, stimolazione di strutture e tessuti eccitabili) e ai valori dei fattori di sicurezza che si è deciso di adottare. In questo contesto riveste particolare importanza il tasso di assorbimento specifico (SAR, *Specific Absorption Rate*) che può essere mediato sull'intero corpo umano (SAR mediato sul corpo) o anche definito localmente su un piccolo tessuto (SAR locale). Il SAR si misura in Wkg^{-1} e permette di avere una informazione sulla potenza assorbita da un organismo esposto a campi elettromagnetici, e quindi una stima della entità e della natura del potenziale danno nei suoi vari organi. Il SAR può essere espresso in funzione delle grandezze elettromagnetiche interne al corpo, per esempio in funzione della densità di potenza;
- i limiti derivati o livelli di riferimento caratterizzati dalle grandezze radiometriche, esterne al corpo umano, misurate nell'ambiente in cui avviene l'esposizione in assen-

za del soggetto esposto. Si tratta perciò di grandezze esterne, facilmente misurabili con una strumentazione relativamente poco costosa e largamente diffusa sul mercato.

L'idea alla base della filosofia di protezione dell'ICNIRP è la seguente: **se in un ambiente si misurano valori inferiori ai limiti derivati, in nessuna circostanza l'esposizione determinerà il superamento dei limiti di base.**

Nelle tabelle 2.1 e 2.2, per le frequenze di interesse in questa relazione, sono mostrati i limiti di base proposti dall'ICNIRP, per i lavoratori professionalmente esposti a radiazioni elettromagnetiche e per la popolazione.

Intervallo di frequenze	SAR corpo intero ($\frac{W}{kg}$)	SAR locale testa, tronco ($\frac{W}{kg}$)	SAR locale arti ($\frac{W}{kg}$)
$10 \text{ MHz} \leq f \leq 10 \text{ GHz}$	0,4	10	20

Tabella 2.1: Limiti di base per i lavoratori professionalmente esposti

Intervallo di frequenze	SAR corpo intero ($\frac{W}{kg}$)	SAR locale testa, tronco ($\frac{W}{kg}$)	SAR locale arti ($\frac{W}{kg}$)
$10 \text{ MHz} \leq f \leq 10 \text{ GHz}$	0,08	2	4

Tabella 2.2: Limiti di base per la popolazione

Nelle tabelle 2.3 e 2.4 si riportano invece i limiti derivati o di riferimento raccomandati dall'ICNIRP assumendo condizioni di massimo accoppiamento del campo con gli individui esposti, in modo da fornire il massimo grado di protezione.

Intervallo di frequenza	Intensità campo elettrico ($\frac{V}{m}$)	Intensità campo magnetico ($\frac{A}{m}$)	Densità potenza onda piana equivalente ($\frac{W}{m^2}$)
$400 \text{ MHz} \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$	$3\sqrt{f}$	$0,008\sqrt{f}$	$f/40$
$2 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	137	0,36	50

Tabella 2.3: Limiti di riferimento per i lavoratori

Intervallo di frequenza	Intensità campo elettrico ($\frac{V}{m}$)	Intensità campo magnetico ($\frac{A}{m}$)	Densità potenza onda piana equivalente ($\frac{W}{m^2}$)
$400 \text{ MHz} \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$	$1,375\sqrt{f}$	$0,0037\sqrt{f}$	$f/200$
$2 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	61	0,16	10

Tabella 2.4: Limiti di riferimento per la popolazione

2.2 Normativa comunitaria

Anche a livello sovranazionale la Commissione Europea (CE) ha seguito con interesse, fin dagli anni '70, la problematica della protezione dalle radiazioni non ionizzanti, intraprendendo a varie riprese azioni per giungere all'emanazione di raccomandazioni o direttive in questo settore.

Su questa base, nel 1999, il Consiglio dell'Unione Europea ha emanato una Raccomandazione (1999/519/CE) agli Stati membri e ha fatto proprie le indicazioni fornite dall'ICNIRP per la protezione della popolazione.

Nel 2004 è stata anche ratificata una Direttiva comunitaria (2004/40/CE) sulla tutela e la protezione dei lavoratori. In sostanza la Direttiva stabilisce requisiti minimi e lascia agli Stati membri la facoltà di adottare disposizioni più favorevoli per la protezione dei lavoratori, per esempio fissando valori inferiori per i limiti di esposizione. Nell'ambito di queste normative, viene comunque sottolineato il fatto che la riduzione dell'esposizione ai campi elettromagnetici può essere realizzata in maniera anche più efficace attraverso l'applicazione di misure preventive fin dalla progettazione dei posti di lavoro, nonché attraverso la scelta delle attrezzature, dei procedimenti e dei metodi di lavoro, allo scopo di ridurre in via prioritaria i rischi.

La Direttiva, come già detto, fa sostanzialmente proprie le linee guida emanate per i lavoratori dall'ICNIRP, ma apporta qualche variazione lessicale coerentemente con quanto contenuto in precedenti Direttive su altri agenti fisici. Nella Direttiva vengono definiti i valori limite di esposizione e i valori di azione. I limiti di esposizione sono basati direttamente sugli effetti sulla salute accertati e su considerazioni biologiche e coincidono con i limiti di base dell'ICNIRP. Il rispetto di questi limiti garantisce che i lavoratori esposti ai campi elettromagnetici siano protetti da tutti gli effetti nocivi per la salute attualmente conosciuti. I valori di azione si riferiscono a parametri direttamente misurabili, individuati nelle linee guida ICNIRP come livelli di riferimento, e sono espressi in termini di intensità di campo elettrico (E), intensità di campo magnetico (H) e densità di potenza (S). Il rispetto di questi valori assicura il rispetto dei valori limite di esposizione.

2.3 Normativa nazionale

Il 14 febbraio 2001 è stata approvata dal Parlamento italiano la “Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici” che, con la sua pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale, è diventata legge dello Stato il 7 marzo del 2001.

Questa legge stabilisce i principi fondamentali volti:

- ad assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici, e della popolazione dagli effetti dell’esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ai sensi e nel rispetto dell’articolo 32 della Costituzione;
- a promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine e attivare misure di cautela da adottare in applicazione del principio di precauzione di cui all’articolo 174, paragrafo 2, del Trattato istitutivo dell’Unione Europea;
- ad assicurare la tutela dell’ambiente e del paesaggio e promuovere l’innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l’intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici, ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.

L’ambito della legge comprende tutte le applicazioni civili e militari, con l’unica eccezione dell’esposizione intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

Vengono introdotte le definizioni di limite di esposizione, valore di attenzione, e obiettivo di qualità quali strumenti per realizzare le finalità relative ai tre ambiti espressi sopra:

Limite di esposizione: è il valore di campo elettrico che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori.

Valore di attenzione: è il valore di campo elettrico che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine.

Obiettivi di qualità: la legge si prefigge anche la tutela dell’ambiente e del paesaggio e la promozione delle azioni di risanamento per minimizzare, nel tempo, il rischio dovuto ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, utilizzando le migliori tecnologie disponibili. Per questo sono previsti obiettivi di qualità, che comprendono: valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico per le emissioni degli impianti, fissati dallo Stato in modo che siano omogenei su tutto il territorio nazionale. Sono più restrittivi dei valori di esposizione e dei valori di attenzione, ma rappresentano un obiettivo da raggiungere nel tempo.

Per quanto riguarda la ripartizione delle competenze stabilita dalla legge, rientrano tra le competenze dello Stato la determinazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, il coordinamento e la promozione della ricerca tecnico-scientifica e l'istituzione di un catasto delle sorgenti. Risultano invece di competenza delle Regioni e degli Enti locali l'individuazione dei siti per gli impianti di telecomunicazione e le procedure autorizzative, l'adozione dei piani di risanamento per l'adeguamento ai valori stabiliti dallo Stato. La legge prevede anche la costituzione di un Comitato Interministeriale per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento elettromagnetico e una serie dettagliata di controlli amministrativi volti a limitare l'esposizione umana.

Nell'agosto 2003 è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale uno dei Decreti attuativi della legge quadro. Questo prende il titolo: "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".

Il Decreto adotta, in alcune situazioni che verranno chiarite in seguito, il principio di cautela, per cui si delinea un quadro normativo italiano del tutto peculiare. Il Decreto distingue, all'interno dell'intervallo di frequenze cui si riferisce, fra sorgenti fisse per telecomunicazione e trasmissioni radiotelevisive e sorgenti non riconducibili a queste. Per la limitazione dei campi generati da sorgenti non riconducibili alla prima tipologia, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 1999, cioè in sostanza quanto raccomandato a quelle frequenze, per la popolazione, nelle linee guida dell'ICNIRP.

Tuttavia, nel caso di esposizioni a campi elettromagnetici aventi sempre frequenze comprese fra 100 kHz e 300 GHz ma prodotte da sistemi fissi per telecomunicazioni e per trasmissioni radiotelevisive, il decreto individua restrizioni diverse, basate sull'adozione di limiti di esposizione, di valori di attenzione e di obiettivi di qualità.

In particolare per quanto riguarda i limiti di esposizione, il decreto impone che i livelli di campo elettrico, magnetico e di densità di potenza, mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano e su qualsiasi intervallo di sei minuti, non devono superare i valori indicati nella tabella 2.5.

Intervallo di frequenza	Intensità campo elettrico ($\frac{V}{m}$)	Intensità campo magnetico ($\frac{A}{m}$)	Densità di potenza ($\frac{W}{m^2}$)
$3 \text{ MHz} \leq f \leq 3 \text{ GHz}$	20	0,05	1

Tabella 2.5: Limiti di esposizione nella normativa italiana

Il medesimo decreto individua anche i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità i cui valori, pur nelle loro distinte definizioni, sono identici e sono riportati nella tabella

2.6.

Intervallo di frequenza	Intensità campo elettrico ($\frac{V}{m}$)	Intensità campo magnetico ($\frac{A}{m}$)	Densità di potenza ($\frac{W}{m^2}$)
$3 \text{ MHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	6	0,016	0,10

Tabella 2.6: Valori di attenzione e obiettivi di qualità nella normativa italiana

Anche i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità devono intendersi come valori mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano e su qualsiasi intervallo di sei minuti. La differenza tra i due è dovuta al fatto che i valori di attenzione devono essere raggiunti "all'interno" (in edifici e ambienti abitativi, come stanze, portici e balconi), mentre gli obiettivi di qualità devono essere raggiunti all'aperto (aree intensamente frequentate, utili a soddisfare bisogni sociali, sanitari o ricreativi).

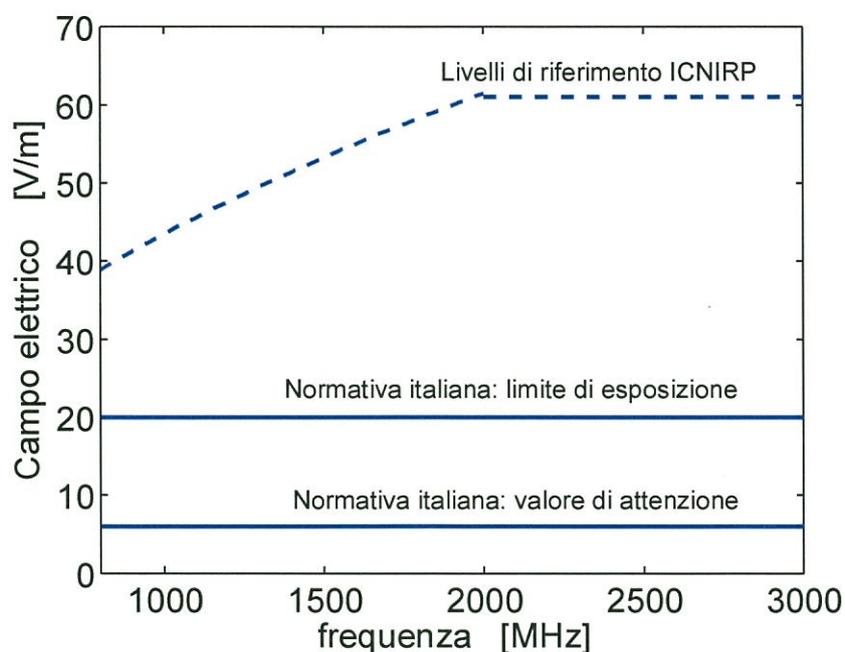


Figura 2.1: Confronto tra i limiti dell'ICNIRP e la normativa nazionale

3. RISULTATI. Esempi.

Al termine della valutazione previsionale, si dispone del valore del campo elettromagnetico generato dagli impianti di telefonia mobile su tutto il territorio comunale a svariate quote sul livello del terreno. Per tale motivo sono state inserite, in siti individuati in accordo con la amministrazione comunale, stazioni radio base tipicamente utilizzate dai diversi gestori di telefonia per garantire la necessaria copertura per offrire i servizi di telefonia con la necessaria qualità del servizio. I dati inseriti fanno riferimento alle tecnologie GSM 900, GSM 1800 e UMTS e i siti identificati garantiscono sia la copertura del servizio che il rispetto della normativa.

A titolo illustrativo si riporta un esempio di quanto ottenuto per quattro diverse quote sul livello del terreno.

Breve commento alle immagini che seguono:

- le zone acromatiche rappresentano regioni con campo elettrico inferiore a 0.15 V/m;
- le zone di colore blu rappresentano regioni con campo elettrico compreso fra 0.15 e 1.5 V/m. In queste zone il campo elettrico raggiunge al massimo un valore pari a un quarto dell'obiettivo di qualità previsto dalla normativa italiana;
- le zone di colore magenta rappresentano regioni con campo elettrico compreso fra 1.5 e 3 V/m. In queste zone il campo elettrico raggiunge al massimo, al confine con le eventuali zone verdi, metà del valore previsto dagli obiettivi di qualità della normativa italiana;
- le zone verdi rappresentano regioni con campo elettrico compreso fra 3 e 6 V/m.
- eventuali zone nere (non presenti in figura) rappresentano regioni con campo elettrico maggiore di 6 V/m. Trattandosi di zone in cui il campo elettrico è superiore ai limiti di attenzione, sarebbe qui necessario il controllo da parte degli uffici competenti che non siano ivi situati luoghi adibiti a permanenze prolungate da parte della popolazione.



Figura 3.1: Rappresentazione del campo elettrico a diverse altezze dal suolo: (a) 1 m sul livello del suolo; (b) 5 metri sul livello del suolo



Figura 3.2: Rappresentazione del campo elettrico a diverse altezze dal suolo: (a) 15 metri sul livello del suolo; (b) 20 metri sul livello del suolo

Bibliografia

- [1] CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), *Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza compresa tra 10 kHz - 300 GHz*, Norma CEI 211-7, 2001.
- [2] CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), *Guida alla realizzazione di una stazione radio base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza*, Norma CEI 211-10, 2002.
- [3] CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), *Guida alla realizzazione di una stazione radio base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza*, Norma CEI 211-10 V1 (appendice), 2004.
- [4] 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).
- [5] *ICNIRP Guidelines. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*, Health Physics, vol. 75, pp. 494-522, 1998.

A. RISULTATI. Archivio dati inseriti nel simulatore.

FILE DATI ANTENNA : nura02d2.dat

Elevazione rispetto al suolo : 25.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 120.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 25.00 W
Tipo di antenna : *kathreink739686900t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM900
Luogo : PALABIDDA

FILE DATI ANTENNA : nura02d3.dat

Elevazione rispetto al suolo : 25.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 240.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 25.00 W
Tipo di antenna : *kathreink739686900t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM900
Luogo : PALABIDDA

FILE DATI ANTENNA : nura02s2.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 120.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 22.85 W
Tipo di antenna : *kathreink7422341800t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM1800
Luogo : PALABIDDA

FILE DATI ANTENNA : nura02s3.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 240.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 22.85 W
Tipo di antenna : *kathreink7422341800t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM1800
Luogo : PALABIDDA

FILE DATI ANTENNA : nura02u2.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 120.00 °
Tilt meccanico : 6 °
Potenza ai morsetti : 17.55 W
Tipo di antenna : *kathreink7422342000t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : UMTS
Luogo : PALABIDDA

FILE DATI ANTENNA : nura02u3.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 240.00 °
Tilt meccanico : 6 °
Potenza ai morsetti : 17.55 W

Tipo di antenna : *kathreink7422342000t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : UMTS
Luogo : PALABIDDA

FILE DATI ANTENNA : nura03d1.dat

Elevazione rispetto al suolo : 25.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 0.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 25.00 W
Tipo di antenna : *kathreink739686900t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM900
Luogo : TIROAVOLO

FILE DATI ANTENNA : nura03d2.dat

Elevazione rispetto al suolo : 25.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 120.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 25.00 W
Tipo di antenna : *kathreink739686900t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM900
Luogo : TIROAVOLO

FILE DATI ANTENNA : nura03d3.dat

Elevazione rispetto al suolo : 25.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 240.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 25.00 W
Tipo di antenna : *kathreink739686900t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM900
Luogo : TIROAVOLO

FILE DATI ANTENNA : nura03s1.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 0.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 22.85 W
Tipo di antenna : *kathreink7422341800t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM1800
Luogo : TIROAVOLO

FILE DATI ANTENNA : nura03s2.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 120.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 22.85 W
Tipo di antenna : *kathreink7422341800t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM1800
Luogo : TIROAVOLO

FILE DATI ANTENNA : nura03s3.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 240.00 °
Tilt meccanico : 4 °
Potenza ai morsetti : 22.85 W
Tipo di antenna : *kathreink7422341800t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : GSM1800
Luogo : TIROAVOLO

FILE DATI ANTENNA : nura03u1.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 0.00 °
Tilt meccanico : 6 °
Potenza ai morsetti : 17.55 W
Tipo di antenna : *kathreink7422342000t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : UMTS
Luogo : TIROAVOLO

FILE DATI ANTENNA : nura03u2.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 120.00 °
Tilt meccanico : 6 °
Potenza ai morsetti : 17.55 W
Tipo di antenna : *kathreink7422342000t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : UMTS
Luogo : TIROAVOLO

FILE DATI ANTENNA : nura03u3.dat

Elevazione rispetto al suolo : 27.00 m
Quota sul livello del mare : 5.00 m
Orientazione rispetto al nord: 240.00 °
Tilt meccanico : 6 °
Potenza ai morsetti : 17.55 W
Tipo di antenna : *kathreink7422342000t0*
Gestore : xxx
Tipo di servizio : UMTS
Luogo : TIROAVOLO