

*Progetto***C. 1333***Data Scadenza Inchiesta***29-01-2024***Data Pubblicazione***2023-11***Classificazione***211-10***Titolo***Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza***Title***Guidance for carrying out a Base Radio Station complying with limits for human exposure to high frequency electromagnetic fields***Sommario*

Questa Guida ha lo scopo di indicare le metodologie previsionali per verificare che una Stazione Radio Base (SRB) rispetti i limiti normativi definiti dalla legislazione italiana per l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici ad alta frequenza generati intenzionalmente da apparati di telecomunicazione. La Guida intende essere d'ausilio a tutti coloro – gestori, costruttori, installatori, ispettori, enti pubblici – che sono, a vario titolo, interessati sia all'installazione e gestione dei sistemi di telecomunicazioni in oggetto, sia al controllo del rispetto dei limiti normativi vigenti per l'esposizione ai campi elettromagnetici irradiati nell'ambiente da tali sistemi, anche in presenza di altre possibili sorgenti di campo elettromagnetico. Laddove non esplicitamente specificato la Guida si applica nell'intervallo di frequenza compreso tra 100 kHz – 300 GHz.



INDICE

1		
2	1	Scopo e oggetto 3
3	2	Riferimenti..... 3
4	3	Definizioni e Acronimi 4
5	3.1	Definizioni 4
6	3.2	Acronimi utilizzati nel testo 11
7	4	Grandezze fisiche e costanti 12
8	4.1	Grandezze fisiche, simboli e unità di misura 12
9	4.2	Costanti fisiche..... 12
10	5	Limiti normativi 13
11	5.1	Generalità 13
12	5.2	Confronto con i valori di riferimento normativo 14
13	6	Antenne passive e attive..... 27
14	6.1	Regioni di campo elettromagnetico di una antenna 27
15	6.2	Antenne Passive (Antenne tradizionali per sistemi radiomobili) 28
16	6.3	Antenne attive (Antenne Massive MIMO – MaMIMO) 29
17	6.4	Diagramma di radiazione 31
18	7	Potenze e fattori di riduzione per il calcolo del campo Elettromagnetico 36
19	7.1	Fattori Implementativi (FI) 39
20	7.2	Fattori Tecnologici (FT)..... 39
21	7.4	Limitazione automatica della potenza o dell'EIRP 55
22	8	Stima del campo Elettromagnetico 56
23	8.1	Scelta dei punti di controllo 56
24	8.2	Metodologie Previsionali per il calcolo dei livelli di campo 64
25	8.3	Algoritmo per il calcolo dell'esposizione totale in un punto di controllo 72
26	8.4	Classi di attenzione 73
27	8.5	Utilizzo del fondo elettromagnetico nel calcolo previsionale 74
28	8.6	Requisiti minimi degli strumenti di calcolo previsionale 76
29	9	Procedimento per valutare la conformità previsionale di un impianto 79
30	9.1	Introduzione 79
31	9.2	Metodi per la verifica della conformità previsionale 80
32	9.3	Metodologie per la valutazione di modifiche di impianto con equivalenza del livello di esposizione e/o variazioni minime d'impatto elettromagnetico 83
33		
34	10	REPORT DI VERIFICA COMPUTAZIONALE 84
35		APPENDICI 86
36	Appendice A	Descrizione dei sistemi 86
37	Appendice B	Volumi di rispetto..... Errore. Il segnalibro non è definito.
38	Appendice C	Formato Elettronico di interscambio per la descrizione dei dati di impianto per la verifica secondo la Guida CEI 211.10 116
39		
40	Appendice D	Building Entry Loss (BEL) 130
41	Appendice E	Verifica funzionamento software 150
42	Appendice F) Metodi per la valutazione di variazioni minime di impatto elettromagnetico
43		155
44	Appendice G	Analisi EIRP SRB nella città di Torino 162
45	11	Bibliografia 163
46		

47

PREMESSA

48 La presente Guida fornisce gli strumenti ed indica i metodi per la valutazione previsionale del
49 campo elettromagnetico irradiato dalle Stazioni Radio Base (SRB per sistemi di
50 comunicazione), inclusi i ponti radio accessori funzionali all'operatività della stessa.

51 La Guida intende essere d'ausilio a tutti coloro – gestori, costruttori, installatori, ispettori, enti
52 pubblici – che sono, a vario titolo, interessati sia all'installazione e gestione dei sistemi di
53 telecomunicazioni in oggetto, sia al controllo del rispetto dei limiti normativi vigenti per
54 l'esposizione ai campi elettromagnetici irradiati nell'ambiente da tali sistemi, anche in presenza
55 di altre possibili sorgenti di campo elettromagnetico.

56

Inchiesta pubblica

57 **Guida alla realizzazione di una stazione radio base per rispettare i limiti di**
58 **esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza**

59 **1 Scopo e oggetto**

60 Questa Guida ha lo scopo di indicare le metodologie previsionali per verificare che una Stazione
61 Radio Base (SRB) rispetti i limiti normativi definiti dalla legislazione italiana per l'esposizione
62 della popolazione ai campi elettromagnetici ad alta frequenza generati intenzionalmente da
63 apparati di telecomunicazione.

64 Laddove non esplicitamente specificato la Guida si applica nell'intervallo di frequenza
65 compreso tra 100 kHz – 300 GHz.

66 La definizione dei limiti normativi per l'esposizione ai campi elettromagnetici è al di fuori dello
67 scopo di questa Guida. Laddove nella Guida siano riportati dei valori numerici associati a limiti
68 normativi essi sono riferiti alla popolazione e alla sola realtà nazionale italiana, in quanto
69 differenti da quelli di altri paesi. Per l'esposizione dei lavoratori occorre fare riferimento alla
70 normativa specifica.

71 Questa Guida utilizza criteri e modalità di progetto e di calcolo seguiti in ambito europeo ed
72 internazionale.

73 Per le metodologie di misura del campo elettromagnetico fare riferimento alla Guida CEI 211.7.

74 **2 Riferimenti**

75 **[1]** Legge n. 36, 22 febbraio 2001 – Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi
76 elettrici, magnetici ed elettromagnetici. GURI n. 55, 7.3.2001, e suoi decreti attuativi

77 **[2]** Decreto Ministero dell'Ambiente del 8 Luglio 2003 G.U. n. 199 del 28 Agosto 2003.
78 Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la
79 protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici
80 generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz

81 **[3]** Legge 17 Dicembre 2012, n. 221- Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-
82 legge 18 ottobre 2012, n. 179, recante ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese

83 **[4]** DECRETO del 2 dicembre 2014, Linee guida, relative alla definizione delle modalità con cui
84 gli operatori forniscono all'ISPRA e alle ARPA/APPA i dati di potenza degli impianti e alla
85 definizione dei fattori di riduzione della potenza da applicare nelle stime previsionali per tener
86 conto della variabilità temporale dell'emissione degli impianti nell'arco delle 24 ore. (14A09740)
87 (GU Serie Generale n.296 del 22-12-2014)

88 **[5]** DECRETO del 5 Ottobre 2016, Approvazione delle linee Guida sui valori di assorbimento
89 del campo elettromagnetico da parte delle strutture degli edifici (GU Serie Generale n.252 del
90 27-10-2016)

91 **[6]** DECRETO del 7 Dicembre 2016, Approvazione delle linee Guida, predisposte dall'ISPR e
92 dalle ARPA/APPA, relativamente alla definizione delle pertinenze esterne con dimensioni
93 abitabili (GU Serie Generale n. 17 del 24-1-2017)

94 **[7]** Norma CEI IEC 62232 (10-2022) Determinazione della intensità di campo elettromagnetico
95 a radiofrequenza (RF), della densità di potenza e del tasso di assorbimento specifico (SAR) per
96 valutare l'esposizione umana in prossimità di stazioni radio base

97 **[8]** Norma CEI IEC TR 62669 (2019-07) - Casi di studio a supporto della norma IEC 62232 -
98 Determinazione dell'intensità di campo RF, della densità di potenza e del SAR in prossimità
99 delle stazioni radio di base per la valutazione dell'esposizione umana

100 **[9]** Guida CEI 211-7 – Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici
101 nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana

102 **[10]** Appendice E alla Guida CEI 211-7 - Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio
103 base per sistemi di comunicazione mobile (2G, 3G, 4G, 5G)

104 [11] ICNIRP – Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)
105 published in: Health Physics 118(5): 483–524; 2020

106 [12] D.lgs. 259 del 2003, come modificato da ultimo dal D.lgs. 8 novembre 2021, n. 207 -
107 Attuazione della direttiva (UE) 2018/1972 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11
108 dicembre 2018, che istituisce il Codice europeo delle comunicazioni elettroniche

109 [13] Richard Rudd, Ken Craig, Martin Ganley, Richard Hartless, “Building Materials and
110 Propagation - Final Report”, Ofcom, 2604/BMEM/R/3/2.0, 14th September 2014

111 [14] Report ITU-R P.2346-4 (07/2021) – “Compilation of measurement data relating to building
112 entry loss” – July 2021, <https://www.itu.int/pub/R-REP-P.2346-4-2021>

113 [15] Report ITU-R M.2412-0 (10/2017) Guidelines for evaluation of radio interface technologies
114 for IMT-2020

115 [16] Recommendation ITU P.2109-1 – “Prediction of building entry loss” - 2019

116

117 **3 Definizioni e Acronimi**

118 **3.1 Definizioni**

119 **3.1.1**

120 **antenna**

121 la sezione di un sistema di trasmissione deputato ad emettere o ricevere onde
122 elettromagnetiche

123 **3.1.2**

124 **α_{24} o alfa₂₄ (parametro)**

125 Rapporto tra la potenza media, al connettore di antenna, irradiata in un intervallo temporale 1
126 giorno, rispetto alla potenza massima al connettore di antenna

127 **3.1.3**

128 **ampiezza del lobo a metà potenza**

129 È l'ampiezza angolare del lobo principale del diagramma di irradiazione compresa tra i due
130 angoli a metà potenza.

131 **3.1.4**

132 **angolo di down-tilt elettrico**

133 Differenza angolare tra la direzione di massima irradiazione e l'asse ortogonale al piano sul
134 quale giace la schiera. Il tilt risulta essere positivo quando la differenza angolare quando la
135 direzione di massima radiazione è al di sotto dell'asse ortogonale al piano sul quale giace la
136 schiera

137 **3.1.5**

138 **angolo a metà potenza**

139 è il valore angolare (tipicamente espresso in gradi), in corrispondenza del quale il diagramma
140 di irradiazione di potenza assume un livello pari alla metà del suo valore massimo.

141 **3.1.6**

142 **apertura del diagramma di radiazione a metà potenza**

143 in un taglio del diagramma di radiazione che contiene il lobo di massima intensità di radiazione,
144 l'apertura del diagramma a metà potenza (in inglese HPBW – Half Power Beam Width) è
145 l'angolo compreso tra le due direzioni in cui l'intensità di radiazione assume metà del valore
146 massimo. Vedi 3.1.3.

147 **3.1.7**

148 **attenuazione**

149 riduzione del livello di un segnale a causa di perdite o della propagazione

150 **3.1.8**
151 **asse del diagramma di radiazione a metà potenza**
152 direzione, in elevazione ed azimut individuata dalla bisettrice dell'apertura del diagramma di
153 radiazione a metà potenza (3.1.6) in elevazione ed azimut.

154 **3.1.9**
155 **beam, fascio**

156 Termine con cui viene indicata la distribuzione spaziale del campo elettromagnetico generato
157 dall'antenna nello scenario. Ad ogni beam o fascio è associato un diagramma di radiazione.

158 NOTA Nel caso di antenne MaMIMO l'antenna è in grado di generare una molteplicità finita di beam (GoB) o
159 sintetizzare un beam in tempo reale (EBB).

160 [IEEE Standard of definitions of terms for antennas IEEE STD 145-2013]

161 **3.1.10**
162 **beamforming e beamsteering**

163 il beamforming o beamsteering è una particolare tecnologia che consente di "direzionare" e
164 concentrare il segnale radio in una direzione piuttosto che in un'altra

165 **3.1.11**
166 **campo elettrico**

167 grandezza vettoriale che, in ogni punto di una data regione di spazio, rappresenta il rapporto
168 fra la forza **F** esercitata su una carica elettrica *q* ed il valore della carica medesima:

169
$$E = \frac{F}{q}$$

170 L'unità di misura del campo elettrico nel Sistema Internazionale è il volt al metro (V/m).

171 **3.1.12**
172 **campo magnetico H**

173 grandezza vettoriale pari al rapporto tra l'induzione magnetica **B** e la permeabilità magnetica μ
174 del mezzo:

175
$$H = \frac{B}{\mu}$$

176 L'unità di misura del campo magnetico nel Sistema Internazionale è l'ampere al metro (A/m).

177 **3.1.13**
178 **conducibilità elettrica**

179 rapporto tra la densità di corrente di conduzione in un mezzo e l'intensità del campo elettrico.
180 L'unità di misura della conducibilità è il Siemens su metro (S/m).

181 **3.1.14**
182 **Conformità, Sito Conforme**

183 Un sito risulta essere conforme se i livelli di esposizione, a seguito di misura, non superano i
184 limiti previsti dalla normativa vigente.

185 **3.1.15**
186 **Conformità previsionale, Sito conforme per via previsionale**

187 Un sito risulta essere conforme per via previsionale se i livelli di esposizione, ottenuti con le
188 metodologie di questa guida, non superano i limiti previsti dalla normativa vigente.

189 **3.1.16**
190 **distribuzione Cumulativa di probabilità – CDF**

191 probabilità che una variabile statistica assuma un valore minore o uguale ad una soglia. La
192 distribuzione cumulativa di probabilità è l'integrale o la somma di tutte le probabilità relative di
193 una variabile aleatoria inferiori o uguali ad un dato valore di frequenza di probabilità.

194 **3.1.17**
195 **densità di potenza**
196 potenza che passa attraverso una superficie normale alla direzione di propagazione
197 dell'energia di un'onda elettromagnetica divisa per l'area della superficie. L'unità di misura della
198 densità di potenza è Watt su metro quadrato (W/m²).

199 **3.1.18**
200 **diagramma di radiazione**
201 Distribuzione spaziale di una grandezza che caratterizza il campo elettromagnetico generato
202 da una antenna.

203 NOTA 1 - Le quantità che sono spesso usate per caratterizzare la radiazione da un'antenna sono proporzionali o
204 uguali alla densità di potenza, intensità di radiazione, direttività, fase, polarizzazione e modulo del campo.

205 NOTA 2 - Se la quantità non è specificata, il diagramma di radiazione si intende essere in potenza

206 **3.1.19**
207 **diagramma di irradiazione (in campo lontano)**
208 distribuzione spaziale dell'intensità di radiazione normalizzata generata da un'antenna nella
209 regione di campo lontano

210 **3.1.20**
211 **taglio conico del diagramma di Irradiazione**
212 percorso angolare sul diagramma di irradiazione ad elevazione costante.

213 **3.1.21**
214 **diagramma di irradiazione inviluppo**
215 diagramma di radiazione non fisico ottenuto prendendo, per ogni direzione di elevazione e di
216 azimut, il massimo del guadagno di ogni diagramma di radiazione che l'antenna può generare,
217 non normalizzato rispetto al suo guadagno massimo, per una data condizione operativa
218 (dispiegamento o scenario di copertura).

219 **3.1.22**
220 **diagramma di irradiazione verticale**
221 percorso angolare sul diagramma di irradiazione ad azimut costante contenente l'asse di
222 puntamento elettrico dell'antenna, in questo contesto.

223 **3.1.23**
224 **diagramma di Irradiazione Orizzontale**
225 percorso angolare sul diagramma di irradiazione ad elevazione costante contenente l'asse di
226 puntamento elettrico dell'antenna, in questo contesto. Il diagramma di radiazione orizzontale
227 coincide con il taglio conico (3.1.17) del diagramma di radiazione passante per il punto di
228 massimo.

229 **3.1.24**
230 **direttività in una direzione specifica**
231 rapporto tra l'intensità di radiazione in una direzione rispetto alla intensità di radiazione mediata
232 su tutte le direzioni

233 NOTA 1 Se la direzione non è specificata, si intende la direttività nella direzione del massimo dell'intensità di
234 radiazione

235 NOTA 2 La direttività talvolta è espressa in unità logaritmiche; se riferita al radiatore isotropo in termini di dBi o se
236 riferita al dipolo a mezz'onda il cui valore è pari a 2.15 dB in termini di dBd.

237 **3.1.25**
238 **Equivalent (or Effective) Isotropically Radiated Power (EIRP)**
239 Prodotto tra la potenza in ingresso all'antenna e il guadagno dell'antenna in una direzione
240 definita, rispetto al radiatore isotropo, in una direzione.

241 L'unità di misura dell'EIRP nel Sistema Internazionale è il watt

242
243

$$EIRP(\vartheta, \varphi) = G(\vartheta, \varphi)P_{potenza}$$

- 244 **3.1.26**
245 **fattore di utilizzazione**
246 **ciclo di utilizzazione (duty cycle)**
247 rapporto fra la durata dell'evento ed il periodo di ripetizione dell'evento; un fattore di
248 utilizzazione pari all'unità corrisponde al funzionamento continuo.
- 249 **3.1.27**
250 **frequenza f**
251 numero di cicli o periodi della grandezza nell'unità di tempo. L'unità di misura della frequenza
252 è l'Hertz (Hz).
- 253 **3.1.28**
254 **fattore a_{24h} giornaliero, a_{24h_day}**
255 Rapporto tra la potenza media giornaliera P_{24h_day} e la potenza massima ai morsetti di antenna
256 P_{Max_mor} , (che tiene conto dei fattori implementativi FI) specifico dell'impianto trasmittente in
257 termini di servizio, settore e banda di frequenza.
- 258 NOTA in [4]] a_{24h_day} è riportato come a_{24h}^{day}
- 259 **3.1.29**
260 **fattore a_{24h} giornaliero per settore angolare, $a_{24h_day_SA}$**
261 Fattore a_{24h} giornaliero nel settore angolare specifico (tipico delle antenne MaMIMO).
- 262 **3.1.30**
263 **fattore a_{24h} giornaliero per beam, $a_{24h_day_beam}$**
264 Fattore a_{24h} giornaliero nel beam specifico (tipico delle antenne MaMIMO GoB).
- 265 **3.1.31**
266 **fattore a_{24h} giornaliero autorizzato, a_{24h_aut}**
267 Fattore a_{24h} specifico dell'impianto trasmittente in termini di servizio, settore e banda di
268 frequenza, autorizzato dagli enti preposti.
- 269 **3.1.32**
270 **fattore a_{24h} giornaliero autorizzato per settore angolare, $a_{24h_aut_SA}$**
271 Fattore a_{24h} autorizzato nel settore angolare specifico (tipico delle antenne MaMIMO).
- 272 **3.1.33**
273 **fattore a_{24h} giornaliero autorizzato per beam, $a_{24h_aut_beam}$**
274 Fattore a_{24h} autorizzato nel beam specifico (tipico delle antenne MaMIMO GoB).
- 275 **3.1.34**
276 **F_{TDC} o duty cycle**
277 rapporto fra la durata ed il periodo di ripetizione di un evento; un fattore di utilizzazione pari
278 all'unità corrisponde al funzionamento continuo.
- 279 **3.1.35**
280 **fondo elettromagnetico**
281 campo elettromagnetico – nell'intervallo di frequenza considerato – emesso da sistemi radianti
282 diversi da quello sotto indagine.
- 283 **3.1.36**
284 **guadagno (in una direzione)**
285 rapporto tra l'intensità di radiazione in una direzione e l'intensità di radiazione che sarebbe
286 stata prodotta se la potenza accettata dall'antenna fosse stata irradiata in maniera isotropa.
- 287 NOTA 1 il guadagno non include le perdite per disadattamento sull'impedenza di ingresso, disadattamento sulla
288 polarizzazione e dal sistema al quale l'antenna è connessa.
- 289 NOTA 2 se l'antenna non ha perdite per dissipazione allora, in ogni direzione, il guadagno è pari alla direttività
- 290 NOTA 3 se la direzione non è specificata, si intende la direzione di massima radiazione.

291 **3.1.37**

292 **impedenza d'onda (impedenza caratteristica del mezzo)**

293 per un'onda piana che si propaga nella direzione positiva di un mezzo isotropo e senza perdite,
294 l'impedenza d'onda è il rapporto tra il campo elettrico ed il campo magnetico trasversali alla
295 direzione di propagazione dell'onda.

$$296 \quad \eta = \frac{E_{\perp}}{H_{\perp}}$$

297 Nel vuoto l'impedenza d'onda vale:

$$298 \quad \eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 120\pi \text{ } [\Omega]$$

299 **3.1.38**

300 **intensità di radiazione**

301 Potenza radiata per unità di angolo solido

302 **3.1.39**

303 **LoS (Linea di Vista)**

304 Collegamento tra un trasmettitore ed un ricevitore in linea retta e senza ostacoli.

305 **3.1.40**

306 **lunghezza d'onda λ**

307 rapporto tra la velocità di propagazione di un'onda e la sua frequenza. L'unità di misura della
308 lunghezza d'onda è il metro.

309 **3.1.41**

310 **Massive Multiple Input Multiple Output**

311 **MaMIMO**

312 Tecnica caratterizzata dall'impiego di un notevole numero di antenne che consente l'uso di
313 tecniche di beamforming e beamsteering oltre alle tecniche MIMO, migliorando le prestazioni
314 di comunicazione, capacità e copertura di un sistema.

315 NOTA 1 – Vedi 3.1.24 per la definizione di MIMO

316 **3.1.42**

317 **Multiple Input Multiple Output**

318 **MIMO**

319 Tecnica utilizzata per aumentare la velocità di comunicazione di un sistema attraverso la
320 trasmissione di N (≥ 2) flussi di dati su N antenne diverse, con le stesse risorse in frequenza
321 e nel tempo, separati dall'uso di segnali di riferimento diversi e ricevuti da M (≥ 2) antenne

322 **3.1.43**

323 **media sull'intervallo temporale**

324 per una grandezza $g(t)$, la media temporale G_m sull'intervallo limitato tra gli estremi t_1 e t_2 è
325 definita come:

$$326 \quad G_m = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} g(t) dt$$

327 **3.1.44**

328 **NLoS**

329 collegamento tra un trasmettitore ed un ricevitore attraverso un percorso diverso dalla linea
330 retta ed in presenza di ostacoli.

331 **3.1.45**

332 **punto di controllo**

333 Il punto di controllo è un punto di indagine per la verifica del rispetto dei limiti normativi del
334 campo elettromagnetico, che deve essere individuato in una posizione significativa ai fini
335 dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici, ovvero in una zona normalmente
336 abitata o alla quale la popolazione può accedere liberamente.

- 337 **3.1.46**
338 **potenza media giornaliera, P_{24h_day}**
339 Potenza media trasmessa dall'antenna nell'arco delle 24 ore
- 340 **3.1.47**
341 **potenza media giornaliera per settore angolare, $P_{24h_day_SA}$**
342 Potenza media giornaliera trasmessa nel settore angolare specifico (tipico delle antenne
343 MaMIMO)
- 344 **3.1.48**
345 **potenza media giornaliera per beam, $P_{24h_day_beam}$**
346 Potenza media giornaliera trasmessa sul beam specifico (tipico delle antenne MaMIMO GoB)
- 347 **3.1.49**
348 **potenza media giornaliera autorizzata, P_{24h_aut}**
349 Potenza media nell'arco delle 24 ore autorizzata dagli enti preposti
- 350 **3.1.50**
351 **potenza media giornaliera autorizzata per settore angolare, $P_{24h_aut_SA}$**
352 Potenza media giornaliera autorizzata nel settore angolare specifico (tipico delle antenne
353 MaMIMO)
- 354 **3.1.51**
355 **potenza media giornaliera autorizzata per beam, $P_{24h_aut_beam}$**
356 Potenza media giornaliera autorizzata nel beam specifico (tipico delle antenne MaMIMO GoB)
- 357 **3.1.52**
358 **percentile**
359 dato un insieme di valori ordinati in maniera non decrescente, la percentuale di valori che si
360 trovano al di sotto (o al di sopra) della soglia stabilita.
- 361 **3.1.53**
362 **potenza di ingresso**
363 la potenza che viene consegnata alla porta di ingresso di un dispositivo
- 364 **3.1.54**
365 **potenza riflessa**
366 porzione della potenza di ingresso ad un dispositivo che non viene accettata e che quindi viene
367 rinviata verso il generatore a causa del disadattamento alla porta d'ingresso
- 368 **3.1.55**
369 **rapporto Front-to-Back**
370 è il rapporto tra la massima direttività dell'antenna e la direttività in una specifica direzione
371 opposta alla massima. Di solido è definita in un angolo solido.
- 372 **3.1.56**
373 **Stazione Radio Base (SRB)**
374 Installazione, fissa o temporanea, comprensiva di uno o più trasmettitori ed una o più antenne
375 utilizzata nelle reti di comunicazioni radiomobili atta a fornire il servizio su una specifica area
376 di copertura.
- 377 L'area di copertura della stazione radio base può essere suddivisa in settori. Per gli scopi di
378 questa guida si utilizza indistintamente il termine SRB o BTS o nodo.
- 379 NOTA Nel contesto di questo documento i trasmettitori radar ed i trasmettitori radio e TV non sono considerati
380 Stazioni Radio Base.

381 **3.1.57**

382 **Settore Angolare (SA)**

383 Porzione di superficie sferica, il cui centro è posto sul centro di fase/elettrico dell'antenna,
384 delimitato da:

- 385 • un angolo di elevazione iniziale ed un angolo di elevazione finale;
386 • un angolo di azimut iniziale ed un angolo di azimut finale

387 rispetto ad un sistema di riferimento polare associato all'antenna.

388 **3.1.58**

389 **taglio del diagramma di radiazione (in campo lontano)**

390 traiettoria di punti definiti attraverso le coordinate di elevazione ed azimut sulla sfera dove è
391 definito il diagramma di radiazione (in campo lontano).

392 Il luogo dei punti per cui l'angolo di elevazione è costante e l'angolo di azimut variabile è
393 chiamato taglio conico. Il luogo dei punti in cui l'angolo di elevazione è variabile e l'angolo di
394 azimut è costante è chiamato taglio su una grande circonferenza. Il taglio conico avente l'angolo
395 di elevazione pari a 90 gradi è un taglio su una grande circonferenza.

396 **3.1.59**

397 **tilt**

398 Angolo, sul piano di elevazione, tra la direzione meccanica di puntamento dell'antenna e l'asse
399 del diagramma di radiazione a metà potenza. Un angolo di tilt negativo significa che l'asse del
400 diagramma di radiazione a metà potenza si trova al di sopra dell'angolo di puntamento
401 meccanico dell'antenna.

402 **3.1.60**

403 **volume di rispetto**

404 Il volume di rispetto è il luogo geometrico dei punti delimitato da una superficie all'interno della
405 quale il campo elettrico, il campo magnetico o la densità di potenza risultano essere sempre
406 maggiori ai limiti normativi; di conseguenza tutti i punti all'esterno del volume di rispetto hanno
407 un valore di campo elettrico, campo magnetico o densità di potenza inferiore o uguale ai limiti
408 normativi

409 **3.2 Acronimi utilizzati nel testo**

410	AC	Admission Control
411	BCCH	Broadcast Control Channel
412	BEL	Building Entry Loss
413	BTS	Base Transceiver Station
414	CDMA	Code Division Multiple Access
415	CTR	Carta Tecnica Regionale
416	DCS	Digital Cross Connect System
417	DTX	Discontinuous Transmission
418	EMF	Electro Magnetic Field
419	ETSI	European Telecommunication Standards Institute
420	FDD	Frequency Division Duplexing
421	FDMA	Frequency Division Multiple Access
422	FFT	Fast Fourier Transform
423	GSM	Global System for Mobile Communications
424	ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
425	ITU	International Telecommunication Union
426	LAN	Local Area Network
427	MRT	Modello Ray Tracing
428	MSL	Modello di Spazio Libero
429	MSLP	Modello di Spazio Libero Pesato
430	NR	New Radio/5G
431	PC	Power Control
432	PdC	Punto di Controllo
433	RVC	Report di Verifica Computazionale
434	SAR	Specific Absorption Rate
435	SRB	Stazione Radio Base
436	SSI	Sistema Sotto Indagine SSI
437	TDD	Time Division Duplexing
438	TDMA	Time Division Multiple Access
439	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
440		

441 **4 Grandezze fisiche e costanti**

442 **4.1 Grandezze fisiche, simboli e unità di misura**

443 **Tabella 4-1: Grandezze fisiche di interesse**

Grandezza	Simbolo	Unità di Misura	
Campo elettrico	E	Volt al metro	V/m
Campo magnetico	H	Ampere al metro	A/m
Conducibilità elettrica	s	Siemens al metro	S/m
Densità di corrente	J	Ampere al metro quadrato	A/m ²
Densità di massa	r	Chilogrammi al metro cubo	kg/m ³
Densità di potenza	S	Watt al metro quadrato	W/m ²
Frequenza	f	Hertz	Hz
Induzione elettrica	D	Coulomb al metro quadrato	C/m ²
Induzione magnetica	B	Tesla (Weber al metro quadrato)	T (Wb/m ²) ⁽¹⁾
Lunghezza d'onda	λ	Metro	m
Periodo dell'oscillazione	P	Secondo	s
Pulsazione	ω	Radiante al secondo	Rad/s
Tasso di assorbimento specifico	SAR	Watt al chilogrammo	W/kg
Temperatura	T	Kelvin	K

(1) 1 T corrisponde a 8×10⁵ A/m

444

445 **4.2 Costanti fisiche**

446 **Tabella 4-2: Costanti fisiche di interesse**

Costante Fisica	Simbolo	Valore
Velocità della luce nello spazio libero	c	2,998×10 ⁸ m/s
Costante dielettrica dello spazio libero	ε ₀	8,854×10 ⁻¹² F/m
Permeabilità magnetica dello spazio libero	μ ₀	4π × 10 ⁻⁷ H/m
Impedenza dello spazio libero	Z ₀ (o η ₀)	120π ≈ 377 Ω

447

448 5 Limiti normativi

449 5.1 Generalità

450 Le Linee Guida Internazionali [ICNIRP] [11]] definiscono i limiti di esposizione al campo
451 elettromagnetico attraverso i Limiti di Base (Basic Restrictions) espressi in termini di SAR o in termini
452 di densità di potenza assorbita a seconda della tipologia di esposizione o della frequenza.

453 Accanto ai Limiti di Base, le Linee Guida Internazionali [ICNIRP], definiscono i Livelli di Riferimento
454 (Reference Levels) con il fine di fornire una modalità più pratica per verificare il rispetto di un limite.
455 Il rispetto dei Livelli di Riferimento garantisce quello dei Limiti di Base; da questo punto di vista la
456 conformità alle Linee Guida Internazionali [ICNIRP] è verificata se può essere dimostrato che
457 l'esposizione non supera le soglie definite dai Limiti di Base o dai Livelli di Riferimento.

458 I Livelli di Riferimento, a seconda del tipo di esposizione e dell'intervallo di frequenza, sono espressi
459 in termini di campo elettrico incidente, campo magnetico incidente, densità di potenza incidente.

460 Fare riferimento a [ICNIRP] [11]] per una ampia e dettagliata analisi sulla definizione dei Limiti di
461 Base e Livelli di Riferimento e la relazione tra di essi.

462 La presente Guida fa riferimento alle soglie per l'esposizione ai campi elettromagnetici espresse in
463 termini di:

- 464 • Limiti di Esposizione
- 465 • Valori di Attenzione
- 466 • Obiettivi di Qualità

467 così come definite in] e riportate, per praticità, nelle tabelle Tabella 5-1: , Tabella 5-2 e Tabella 5-3.
468 Nell'ambito di questa Guida si usa l'espressione "limiti di riferimento normativo" per indicare l'insieme
469 dei Limiti di Esposizione, Valori di Attenzione e Obiettivi di Qualità al fine di una loro referenziazione
470 unica; laddove necessario si farà esplicitamente riferimento allo specifico limite di riferimento
471 normativo.

472 **Tabella 5-1: Limiti di Esposizione**

	Intensità di campo elettrico E [V/m]	Intensità di campo magnetico H [A/m]	Densità di potenza [W/m ²]
	LE	LH	LS
0.1 < f <= 3 MHz	60	0.2	-
3 < f <= 3000 MHz	20	0.05	1
3 < f <= 300 GHz	40	0.1 (*) ¹	4

Da non superare in nessun luogo accessibile alla popolazione, tali valori devono essere rilevati ad un'altezza di m 1.50 sul piano di calpestio e mediati su qualsiasi intervallo di sei minuti.

473

1 (*) Il limite di conformità riportato in [2] per il campo magnetico al di sopra di 3 GHz, pari a 0.01 A/m, risulta essere non congruente con i limiti di conformità in campo elettrico e in densità di potenza. Infatti, il prodotto tra il limite di conformità in campo elettrico ed in campo magnetico non risulta essere pari al limite di conformità in densità di potenza: in letteratura si trova infatti il valore corretto del limite di conformità per l'intensità di campo magnetico, pari a 0.1 A/m.

474

Tabella 5-2: Valori di Attenzione

	Intensità di campo elettrico E [V/m]	Intensità di campo magnetico H [A/m]	Densità di potenza [W/m ²]
	LE	LH	LS
0.1 MHz < f <= 300 GHz	6	0.016	-
3 MHz < f <= 300 GHz	-	-	0.1

Da non superare all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e loro pertinenze esterne come definite dal [6]. Tali valori 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.

475

476

477

Tabella 5-3: Obiettivi di Qualità

	Intensità di campo elettrico E [V/m]	Intensità di campo magnetico H [A/m]	Densità di potenza [W/m ²]
	LE	LH	LS
0.1 MHz < f < 300 GHz	6	0.016	-
3 MHz < f <= 300 GHz	-	-	0.1

Da non superare nelle aree intensamente frequentate al fine di una progressiva minimizzazione dell'esposizione. Tali valori 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

478

479

480

481

482

483

484

- LE è il limite espresso in termini di campo elettrico, specifico della banda di frequenza considerata;
- LH è il limite espresso in termini di campo magnetico, specifico della banda di frequenza considerata;
- LS è il limite espresso in termini di densità di potenza, specifico della banda di frequenza considerata.

485

5.2 Confronto con i valori di riferimento normativo

486

487

488

489

La procedura di verifica della conformità previsionale di un impianto consiste nell'effettuare il confronto tra i valori del campo elettrico e/o il campo magnetico e/o la densità di potenza, calcolati utilizzando le metodologie definite in questa Guida, con i valori specifici previsti per i limiti di riferimento normativo definiti dalla normativa vigente [5.1].

490

491

492

Il processo di verifica della conformità previsionale viene applicato ad uno o più punti di controllo ove spesso insistono una molteplicità di contributi di esposizione provenienti dalle sorgenti dislocate nello scenario.

493

494

495

496

Poiché alcuni limiti di riferimento normativo assumono valori differenti in funzione della frequenza, viene introdotto il concetto di coefficiente di conformità: esso rappresenta una quantità adimensionale calcolata sommando i contributi di tutte le sorgenti che insistono sul punto di controllo, espressi in termini di valore efficace normalizzato al limite specifico previsto dalla normativa vigente.

497

498

Qualora il coefficiente di conformità risulti minore o uguale all'unità, i limiti di riferimento normativo non risultano superati e le sorgenti sono conformi ai limiti normativi.

499

500

Nell'ambito delle Linee Guida ICNIRP [11] – eq. 3] il coefficiente di conformità, espresso in termini di livelli di riferimento è dato da

$$C = \sum_{i=100 \text{ kHz}}^{30 \text{ MHz}} \max \left\{ \left(\frac{E_{\text{inc},i}}{E_{\text{inc,RL},i}} \right)^2 ; \left(\frac{H_{\text{inc},i}}{H_{\text{inc,RL},i}} \right)^2 \right\} + \sum_{i>30 \text{ MHz}}^{2 \text{ GHz}} \max \left\{ \left(\frac{E_{\text{inc},i}}{E_{\text{inc,RL},i}} \right)^2 ; \left(\frac{H_{\text{inc},i}}{H_{\text{inc,RL},i}} \right)^2 ; \left(\frac{S_{\text{inc},i}}{S_{\text{inc,RL},i}} \right)^2 \right\} + \sum_{i>2 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{S_{\text{inc},i}}{S_{\text{inc,RL},i}} \right) \leq 1$$

Equazione 5-1

In cui:

- $E_{\text{inc},i}$ è il campo elettrico incidente mediato sull'intero corpo alla frequenza i -esima
- $E_{\text{inc,RL},i}$ è il livello di riferimento per il campo elettrico incidente mediato sull'intero corpo alla frequenza i -esima
- $H_{\text{inc},i}$ è il campo magnetico incidente mediato sull'intero corpo alla frequenza i -esima
- $H_{\text{inc,RL},i}$ è il livello di riferimento per il campo magnetico incidente mediato sull'intero corpo alla frequenza i -esima
- $S_{\text{inc},i}$ è la densità di potenza incidente mediata sull'intero corpo alla frequenza i -esima
- $S_{\text{inc,RL},i}$ è il livello di riferimento per la densità di potenza incidente mediata sull'intero corpo alla frequenza i -esima

In analogia a quanto previsto dall'allegato C del DPCM 8 Luglio 2003] relativo al processo di riduzione a conformità a seguito di misure strumentali, viene definito il coefficiente di conformità previsionale come sommatoria, estesa alle N sorgenti che gravano sul punto di controllo, dei contributi normalizzati di campo elettrico, campo magnetico e densità di potenza.

$$C = \sum_{n=1}^N C_n \leq 1$$

Equazione 5-2

In cui C_n è il contributo normalizzato dell'esposizione della sorgente n -esima, definito come

$$C_{n-E} = \frac{E_n^2}{LE(f)^2}$$

Equazione 5-3

quando è disponibile il campo elettrico, alla frequenza della sorgente;

$$C_{n-H} = \frac{H_n^2}{LH(f)^2}$$

Equazione 5-4

529 quando è disponibile il campo magnetico, alla frequenza della sorgente;

530
$$C_{n-S} = \frac{S_n}{LS(f)}$$

531 Equazione 5-5

532 quando è disponibile la densità di potenza, alla frequenza della sorgente;

533 Per ragioni di praticità, talvolta è utile esprimere la sommatoria (Equazione 5-2) indicizzata in base
 534 ai 3 intervalli di frequenza previsti nel]. In particolare detto N_i il numero delle sorgenti che
 535 contribuiscono all'esposizione in uno specifico intervallo di frequenza in un determinato punto di
 536 controllo, si ha:

537
$$N_1 + N_2 + N_3 = N$$

538

539 Per i Limiti di Esposizione:

540
$$C = \sum_{n=1}^{N_1} C_{n-E,H} \Big|_{0.1 < f \leq 3 \text{ MHz}} + \sum_{n=1}^{N_2} C_{n-E,H,S} \Big|_{3 \text{ MHz} < f \leq 3 \text{ GHz}} + \sum_{n=1}^{N_3} C_{n-E,H,S} \Big|_{3 < f \leq 300 \text{ GHz}} \leq 1$$

541 Equazione 5-6

542 Per i Valori di Attenzione ed Obiettivi di Qualità:

543
$$C = \sum_{n=1}^{N_1+N_2+N_3} C_{n-E,H} \Big|_{0.1 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}} \leq 1$$

544
$$C = \sum_{n=1}^{N_1+N_2+N_3} C_{n-S} \Big|_{3 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}} \leq 1$$

545
$$C = \sum_{n=1}^{N_1} C_{n-E,H} \Big|_{0.1 < f \leq 3 \text{ MHz}} + \sum_{n=1}^{N_2+N_3} C_{n-E,H,S} \Big|_{3 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ GHz}} \leq 1$$

546 Equazione 5-7

547 **5.2.1 Coefficiente di conformità previsionale per Valori di Attenzione e Obiettivi di Qualità**

548 Con riferimento all'attuale normativa italiana, per i valori di Attenzione e Obiettivi di Qualità
549 l'Equazione 5-2 diventa

550

$$551 \quad C = \frac{1}{6^2} \sum_{n=1}^{N_E} E_n^2 \Big|_{0.1\text{MHz} \leq f \leq 300\text{GHz}} + \frac{1}{0.016^2} \sum_{n=1}^{N_H} H_n^2 \Big|_{0.1\text{MHz} < f \leq 300\text{GHz}} + \frac{1}{0.1} \sum_{n=1}^{N_S} S_n \Big|_{3\text{MHz} < f \leq 300\text{GHz}} \leq 1$$

552

$$553 \quad N_E + N_H + N_S = N$$

554 Equazione 5-8

555 In cui:

- 556
- 557 • N_E è il numero di sorgenti per cui l'esposizione è stata valutata in termini di campo elettrico
 - 558 • N_H è il numero di sorgenti per cui l'esposizione è stata valutata in termini di campo magnetico
 - 559 • N_S è il numero di sorgenti per cui l'esposizione è stata valutata in termini di densità di potenza

560 NOTA se per la stessa sorgente sono disponibili i livelli di esposizione sia in termini di campo elettrico che di campo magnetico che di densità di potenza, si utilizza solo quello che ha il coefficiente di conformità più elevato.

561 In analogia a quanto previsto dall'allegato C del DPCM 8 Luglio 2003] sull'esclusione dei segnali
562 che danno un contributo inferiore a 1/100 del limite in potenza, viene definito il numero di cifre dopo
563 la virgola da utilizzare nell'indicare i valori di campo elettrico, campo magnetico e densità di potenza
564 nelle espressioni per il calcolo del coefficiente di conformità previsionale:

- 565
- 566 • 1 cifra decimale per il campo elettrico
 - 567 • 4 cifre decimali per il campo magnetico
 - 568 • 4 cifre decimali per la densità di potenza.

569 Il coefficiente di conformità previsionale deve invece essere espresso con 3 cifre significative dopo la virgola.

570 **5.2.1.1 Approfondimenti ed esempi pratici**

571 **Esempio 5-1**

572 La Tabella 5-4: Esempio di esposizione conforme ai limiti di riferimento normativo mostra un esempio
573 di calcolo del coefficiente di conformità per un punto in cui siano disponibili campo elettrico o campo
574 magnetico o densità di potenza. Nella tabella i termini C_E , C_H e C_S sono i coefficienti di conformità
575 parziali per la sorgente specifica e per la quantità presa come termine per definire l'esposizione. Per
576 questo esempio il quadro di esposizione risulta conforme ai limiti di riferimento normativo.

577

Tabella 5-4: Esempio di esposizione conforme ai limiti di riferimento normativo

Sorgente	Frequenza	E	LE	C _E	H	LH	C _H	S	LS	C _S
	MHz	V/m	V/m		A/m	A/m		W/m ²	W/m ²	
1	1	2.5	6.0	0.174						
2	1				0.0010	0.0160	0.004			
3	800	1.9	6.0	0.100						
4	800				0.0020	0.0160	0.016			
5	800							0.0010	0.1000	0.010
6	900	2.3	6.0	0.147						
7	900				0.0010	0.0160	0.004			
8	900							0.0020	0.1000	0.020
9	2000	2.0	6.0	0.111						
10	2000				0.0040	0.0160	0.063			
11	2000							0.0020	0.1000	0.020
12	3700	1.5	6.0	0.063						
13	3700				0.0050	0.0160	0.098			
14	3700							0.0020	0.1000	0.020
15	27000	1.2	6.0	0.040						
16	27000				0.0050	0.0160	0.098			
17	27000							0.0005	0.1000	0.005
C Parziali				0.635			0.283			0.075
C	0.993									
Esito	Conforme									

578

Inchiesta pubblica

579 **Esempio 5-2**

580 La Tabella 5-5 mostra un esempio di esposizione non conforme ai limiti di riferimento normativo.

581

Tabella 5-5

Sorgente	Frequenza	E	LE	C _E	H	LH	C _H	S	LS	C _S
	MHz	V/m	V/m		A/m	A/m		W/m ²	W/m ²	
1	1	2.5	6.0	0.174						
2	1				0.0010	0.0160	0.004			
3	800	2.1	6.0	0.123						
4	800				0.0020	0.0160	0.016			
5	800							0.0010	0.1000	0.010
6	900	2.3	6.0	0.147						
7	900				0.0010	0.0160	0.004			
8	900							0.0020	0.1000	0.020
9	2000	2.0	6.0	0.111						
10	2000				0.0040	0.0160	0.063			
11	2000							0.0020	0.1000	0.020
12	3700	1.5	6.0	0.063						
13	3700				0.0050	0.0160	0.098			
14	3700							0.0020	0.1000	0.020
15	27000	1.2	6.0	0.040						
16	27000				0.0050	0.0160	0.098			
17	27000							0.0005	0.1000	0.005
C Parziali				0.658			0.283			0.075
C	1.016									
Esito	Non Conforme									

582

583 **Esempio 5-3**

584 La Tabella 5-6 mostra un esempio di calcolo del coefficiente di conformità per un punto posto nella
 585 zona di campo lontano di tutte le sorgenti. I contributi delle sorgenti espressi in termini di campo
 586 magnetico o densità di potenza sono ricondotti a campo elettrico. Per questo esempio il quadro di
 587 esposizione risulta conforme ai limiti di riferimento normativo.

588

Tabella 5-6

Sorgente	Frequenza	E	LE	C _E	H	S
	MHz	V/m	V/m		A/m	W/m ²
1	1	2.5	6.0	0.174		
2	1	0.3	6.0	0.003	0.0010	
3	800	2.1	6.0	0.123		
4	800	0.7	6.0	0.014	0.0020	
5	800	0.6	6.0	0.010		0.0010
6	900	2.3	6.0	0.147		
7	900	0.4	6.0	0.004	0.0010	
8	900	0.8	6.0	0.018		0.0020
9	2000	1.8	6.0	0.090		
10	2000	1.5	6.0	0.063	0.0040	
11	2000	0.9	6.0	0.023		0.0020
12	3700	1.5	6.0	0.063		
13	3700	1.9	6.0	0.100	0.0050	
14	3700	0.9	6.0	0.023		0.0020
15	27000	1.2	6.0	0.040		
16	27000	1.9	6.0	0.100	0.0050	
17	27000	0.4	6.0	0.004		0.0005
C Parziali				0.999		
C	0.999					
Esito	Conforme					

589

590 **Esempio 5-4**

591 La Tabella 5-7

592 mostra un esempio di calcolo del coefficiente di conformità in campo lontano in cui l'esposizione
593 risulta non conforme ai limiti di riferimento normativo.

594

Tabella 5-7

Sorgente	Frequenza	E	LE	C _E	H	S
	MHz	V/m	V/m		A/m	W/m ²
1	1	2.5	6.0	0.174		
2	1	0.4	6.0	0.004	0.0010	
3	800	2.1	6.0	0.123		
4	800	0.7	6.0	0.014	0.0020	
5	800	0.6	6.0	0.010		0.0010
6	900	2.3	6.0	0.147		
7	900	0.4	6.0	0.004	0.0010	
8	900	0.8	6.0	0.018		0.0020
9	2000	1.9	6.0	0.100		
10	2000	1.5	6.0	0.063	0.0040	
11	2000	0.9	6.0	0.023		0.0020
12	3700	1.5	6.0	0.063		
13	3700	1.9	6.0	0.100	0.0050	
14	3700	0.9	6.0	0.023		0.0020
15	27000	1.2	6.0	0.040		
16	27000	1.9	6.0	0.100	0.0050	
17	27000	0.4	6.0	0.004		0.0005

C Parziali				1.010		
C	1.010					
Esito	Non Conforme					

595 **5.2.2 Coefficiente di Conformità previsionale per il Limite di Esposizione**

596 Riferita all'attuale normativa italiana per il Limite di Esposizione l'Errore. L'origine riferimento non è
597 stata trovata. diventa:

$$C = \left(\frac{1}{60^2} \sum_{n=1}^{N_E} E_n^2 + \frac{1}{0.2^2} \sum_{n=1}^{N_H} H_n^2 \right) \Bigg|_{0.11 \text{ MHz} < f \leq 3 \text{ MHz}} + \left(\frac{1}{20^2} \sum_{n=1}^{N_E} E_n^2 + \frac{1}{0.05^2} \sum_{n=1}^{N_H} H_n^2 + \frac{1}{1} \sum_{n=1}^{N_S} S_n \right) \Bigg|_{3 \text{ MHz} < f \leq 3 \text{ GHz}} \\
 + \left(\frac{1}{40^2} \sum_{n=1}^{N_E} E_n^2 + \frac{1}{0.1^2} \sum_{n=1}^{N_H} H_n^2 + \frac{1}{4} \sum_{n=1}^{N_S} S_n \right) \Bigg|_{3 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}} \leq 1$$

$$N_E + N_H + N_S = N$$

Equazione 5-9

602 In cui:

- 603 • N_E è il numero di sorgenti per cui l'esposizione è stata valutata in termini di campo elettrico
- 604 • N_H è il numero di sorgenti per cui l'esposizione è stata valutata in termini di campo magnetico
- 605 • N_S è il numero di sorgenti per cui l'esposizione è stata valutata in termini di densità di potenza

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali

606
607

NOTA se per la stessa sorgente sono disponibili i livelli di esposizione sia in termini di campo elettrico che di campo magnetico che di densità di potenza, si utilizza solo quello che ha il coefficiente di conformità più elevato.

Inchiesta pubblica

608 **5.2.2.1 Approfondimenti ed esempi pratici**

609 **Esempio 5-5**

610 La Tabella 5-8

611 mostra un esempio di calcolo del coefficiente di conformità per un punto in cui siano disponibili
 612 campo elettrico o campo magnetico o densità di potenza. Nella tabella i termini C_E , C_H e C_S sono i
 613 coefficienti di conformità parziali per la sorgente specifica e per la quantità presa come termine per
 614 definire l'esposizione. Per questo esempio il quadro di esposizione risulta conforme ai limiti di
 615 riferimento normativo.

616

Tabella 5-8

Sorgente	Frequenza	E	LE	C_E	H	LH	C_H	S	LS	C_S
	MHz	V/m	V/m		A/m	A/m		W/m ²	W/m ²	
1	1	2.5	6.0	0.174						
2	1				0.0010	0.0160	0.004			
3	800	1.9	6.0	0.100						
4	800				0.0020	0.0160	0.016			
5	800							0.0010	0.1000	0.010
6	900	2.3	6.0	0.147						
7	900				0.0010	0.0160	0.004			
8	900							0.0020	0.1000	0.020
9	2000	2.0	6.0	0.111						
10	2000				0.0040	0.0160	0.063			
11	2000							0.0020	0.1000	0.020
12	3700	1.5	6.0	0.063						
13	3700				0.0050	0.0160	0.098			
14	3700							0.0020	0.1000	0.020
15	27000	1.2	6.0	0.040						
16	27000				0.0050	0.0160	0.098			
17	27000							0.0005	0.1000	0.005
C Parziali				0.635			0.283			0.075
C	0.993									
Esito	Conforme									

617

618 **Esempio 5-6**

619 La Tabella 5-9

620 mostra un esempio di esposizione non conforme ai limiti di riferimento normativo.

621

Tabella 5-9

Sorgente	Frequenza	E	LE	C _E	H	LH	C _H	S	LS	C _S
	MHz	V/m	V/m		A/m	A/m		W/m ²	W/m ²	
1	1	2.5	6.0	0.174						
2	1				0.0010	0.0160	0.004			
3	800	2.1	6.0	0.123						
4	800				0.0020	0.0160	0.016			
5	800							0.0010	0.1000	0.010
6	900	2.3	6.0	0.147						
7	900				0.0010	0.0160	0.004			
8	900							0.0020	0.1000	0.020
9	2000	2.0	6.0	0.111						
10	2000				0.0040	0.0160	0.063			
11	2000							0.0020	0.1000	0.020
12	3700	1.5	6.0	0.063						
13	3700				0.0050	0.0160	0.098			
14	3700							0.0020	0.1000	0.020
15	27000	1.2	6.0	0.040						
16	27000				0.0050	0.0160	0.098			
17	27000							0.0005	0.1000	0.005
C Parziali				0.658			0.283			0.075
C	1.016									
Esito	Non Conforme									

622

623 **Esempio 5-7**

624 La Tabella 5-10 mostra un esempio di calcolo del coefficiente di conformità per un punto posto nella
 625 zona di campo lontano di tutte le sorgenti. I contributi delle sorgenti espressi in termini di campo
 626 magnetico o densità di potenza sono ricondotti a campo elettrico; il termine C_E è il coefficiente di
 627 conformità parziale per la sorgente specifica. Per questo esempio il quadro di esposizione risulta
 628 conforme ai limiti di riferimento normativo.

629

Tabella 5-10

Sorgente	Frequenza	E	LE	C_E	H	S
	MHz	V/m	V/m		A/m	W/m ²
1	1	2.5	6.0	0.174		
2	1	0.3	6.0	0.003	0.0010	
3	800	2.1	6.0	0.123		
4	800	0.7	6.0	0.014	0.0020	
5	800	0.6	6.0	0.010		0.0010
6	900	2.3	6.0	0.147		
7	900	0.4	6.0	0.004	0.0010	
8	900	0.8	6.0	0.018		0.0020
9	2000	1.8	6.0	0.090		
10	2000	1.5	6.0	0.063	0.0040	
11	2000	0.9	6.0	0.023		0.0020
12	3700	1.5	6.0	0.063		
13	3700	1.9	6.0	0.100	0.0050	
14	3700	0.9	6.0	0.023		0.0020
15	27000	1.2	6.0	0.040		
16	27000	1.9	6.0	0.100	0.0050	
17	27000	0.4	6.0	0.004		0.0005
C Parziali				0.999		
C	0.999					
Esito	Conforme					

630

631 **Esempio 5-8**

632 La Tabella 5-11 mostra un esempio di calcolo del coefficiente di conformità in campo lontano in cui
 633 l'esposizione risulta non conforme ai limiti di riferimento normativo.

634

Tabella 5-11

Sorgente	Frequenza	E	LE	C _E	H	S
	MHz	V/m	V/m		A/m	W/m ²
1	1	2.5	6.0	0.174		
2	1	0.4	6.0	0.004	0.0010	
3	800	2.1	6.0	0.123		
4	800	0.7	6.0	0.014	0.0020	
5	800	0.6	6.0	0.010		0.0010
6	900	2.3	6.0	0.147		
7	900	0.4	6.0	0.004	0.0010	
8	900	0.8	6.0	0.018		0.0020
9	2000	1.9	6.0	0.100		
10	2000	1.5	6.0	0.063	0.0040	
11	2000	0.9	6.0	0.023		0.0020
12	3700	1.5	6.0	0.063		
13	3700	1.9	6.0	0.100	0.0050	
14	3700	0.9	6.0	0.023		0.0020
15	27000	1.2	6.0	0.040		
16	27000	1.9	6.0	0.100	0.0050	
17	27000	0.4	6.0	0.004		0.0005

C Parziali				1.010		
C	1.010					
Esito	Non Conforme					

635

636 **5.2.3 Utilizzo del fondo elettromagnetico nelle stime previsionali**

637 Nella maggior parte delle situazioni accade che il calcolo del coefficiente di conformità venga eseguito
 638 su un contesto di esposizione preesistente. La necessità di aggiornare una sorgente o l'aggiunta di
 639 una nuova sorgente per il dispiegamento di un nuovo sistema richiede una nuova valutazione del
 640 coefficiente di conformità, che tenga conto delle caratteristiche della nuova sorgente, attraverso una
 641 nuova verifica computazionale della conformità previsionale della sola nuova sorgente. In tale
 642 situazione, talvolta, si hanno a disposizione solo i valori cumulativi del livello di esposizione per ogni
 643 intervallo di frequenza relativo ad un limite, che derivano da una precedente verifica della conformità
 644 previsionale o da misure [9]] nei punti di controllo.

645 Detto C_{pre} il coefficiente di conformità preesistente, come specificato in 5.2.1 e 5.2.2, il nuovo
 646 coefficiente di conformità C_{post} è dato da:

- 647 • modifica di una sorgente

648
$$C_{post} = C_{pre} - C_{sorgente\ pre-modifica} + C_{sorgente\ post-modifica}$$

649 Equazione 5-10

- 650 • aggiunta di una sorgente

651
$$C_{post} = C_{pre} + C_{sorgente\ aggiunta}$$

652 Equazione 5-11

653 In cui i termini $C_{\text{sorgente pre-modifica}}$, $C_{\text{sorgente post-modifica}}$ e $C_{\text{sorgente aggiunta}}$ sono calcolati con le Equazione
654 5-3, Equazione 5-4 o Equazione 5-5.

655 Il coefficiente di conformità pre-esistente, così determinato, potrebbe non considerare eventuali
656 effetti di nuove sorgenti o modifiche di sorgenti che siano già state valutate conformi ma che non
657 erano ancora state realizzate o attuate al momento delle misure nei punti di controllo o non erano
658 note al momento della precedente valutazione di conformità previsionale di cui si dispone. Quando
659 tuttavia si disponga di informazioni relative a tali sorgenti cosiddette "virtuali", è necessario
660 considerare anche gli effetti della loro effettiva realizzazione, nei tempi previsti, sulle stime
661 previsionali.

Inchiesta pubblica

662 6 Antenne passive e attive

663 Le antenne effettuano la conversione tra le onde elettromagnetiche trasmesse o ricevute, e le tensioni
664 e correnti a radiofrequenza guidate lungo linee di trasmissione ad essi collegate. Le caratteristiche
665 radioelettriche delle antenne, in particolare il diagramma di irradiazione, la potenza insieme al canale
666 di propagazione, determinano la distribuzione del campo elettromagnetico nello spazio circostante il
667 sistema radiante.

668 6.1 Regioni di campo elettromagnetico di una antenna

669 Il campo elettromagnetico presenta caratteristiche profondamente diverse a seconda se si è vicino o
670 lontano² alla sorgente da cui esso prende origine.

671 In regioni lontane dalla sorgente, usualmente dette zone di "campo lontano", il campo elettrico, il
672 campo magnetico e la densità di potenza sono correlate dalla relazione di impedenza (Equazione
673 6-1) per onde piane³ che permette di limitare l'analisi ad una sola delle tre grandezze associate.

674 Avvicinandosi alla sorgente i campi elettromagnetici, seppur con gradualità cambiano struttura e
675 proprietà in maniera sostanziale e nei pressi della sorgente, zona di "campo vicino", la relazione tra
676 le componenti elettrica e magnetica del campo dipende fortemente dalla posizione. Nelle zone di
677 campo vicino occorre quindi constatare che i valori di riferimento per ogni grandezza siano verificati
678 in ogni punto. La distanza critica a cui vengono i cambiamenti è di qualche λ .

679 Il poter dire di essere nel "campo vicino" o in quello "lontano" dipende oltre che dalla distanza dalla
680 sorgente anche dalla dimensione di questa, sempre in rapporto alla lunghezza d'onda.

681 In Tabella 6-1 è riportato il confronto fra le tre regioni di campo elettromagnetico prodotto da una
682 sorgente (antenna), dove λ è la lunghezza d'onda e D è la dimensione massima dell'antenna.

683 **Tabella 6-1 - Confronto fra le tre regioni di campo elettromagnetico prodotto**
684 **da una sorgente**

	Zona di campo reattivo	Zona di campo reattivo/radiativo	Zona di campo radiativo	Zona di campo lontano
Limite inferiore	0	λ	3λ	$\text{Max}(3\lambda, 2D^2/\lambda)$
Limite superiore	λ	3λ	$\text{Max}(3\lambda, 2D^2/\lambda)$	∞

La zona di campo lontano è detta anche zona di Fraunhofer; quella di campo radiativo, zona di Fresnel.

685 A partire dal limite inferiore della zona di campo radiativo, intesa come distanza del punto di
686 osservazione rispetto al volume che identifica la sorgente, è sempre applicabile con buona
687 approssimazione la relazione di impedenza che lega le grandezze fisiche densità di potenza (S),
688 l'intensità di campo elettrico (E) e l'intensità di campo magnetico (H), che permette di limitare l'analisi
689 ad una sola delle tre grandezze associate:

$$690 S = E^2/Z_0 = H^2 Z_0$$

691 Equazione 6-1

692 dove $Z_0 = 377 \Omega$ è l'impedenza caratteristica del vuoto.

2 I termini "lontano" e "vicino" vanno riferiti alla distanza misurata in lunghezza d'onda λ .

3 Per le applicazioni di questa guida, l'impedenza d'onda dell'aria si può considerare praticamente uguale a quella del vuoto ($Z_0 = 377 \Omega$).

693 **6.2 Antenne Passive (Antenne tradizionali per sistemi radiomobili)**

694 Le antenne passive utilizzate per i servizi di comunicazione radiomobile sono antenne che hanno a
695 corredo un insieme di diagrammi di radiazione⁴ fissi nel tempo o comunque limitatamente variabili
696 attraverso un intervento da sistema di controllo (es: variazione del tilt elettrico).

697 I diagrammi di radiazione che l'antenna può realizzare hanno una forma prestabilita, costante nel
698 tempo e definiscono l'area di copertura.

699 Ogni diagramma di radiazione è direttivo sia nella direzione di elevazione che nella direzione di
700 azimut, in genere con aperture diversificate a seconda della tipologia di scenario da servire (ad
701 esempio per coperture macro tipicamente si ha una apertura di 120 gradi in azimut e circa 10 gradi
702 in elevazione) e banda di frequenza. Sono comunque disponibili antenne che hanno un diagramma
703 di radiazione omnidirezionale sulla direzione di azimut.

704 La radiazione viene generata da una serie di radiatori elementari che possono essere dei dipoli
705 sagomati o delle strutture stampate su substrato dielettrico a seconda delle applicazioni. Per ottenere
706 la direttività e le aperture richieste i radiatori sono disposti in maniera geometricamente ordinata ed
707 alimentati con una corrente opportunamente sfasata in modo tale da sfruttare l'effetto schiera.

708 Si possono distinguere due tipologie di antenna passiva:

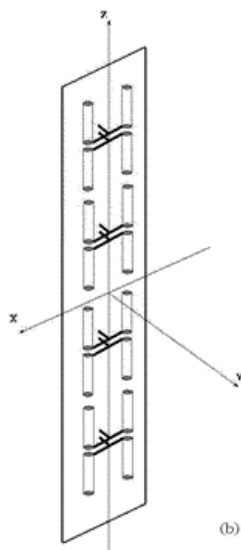
- 709 • antenna che ingloba all'interno del contenitore che la racchiude la parte radiante e l'elettronica
710 necessaria alla trasmissione del segnale, comprese le sezioni di potenza: tali soluzioni sono
711 adottate per sistemi in microcella o per Remote Radio Head (RRH);
- 712 • antenna puramente passiva che al suo interno ha la sola parte radiante e che deve essere
713 alimentata da trasmettitori esterni connessi tramite linea di trasmissione.

714 Una antenna passiva può essere costituita da più sottosistemi passivi radianti, che ne aumentano le
715 funzionalità, secondo il seguente schema:

- 716 • funzionalità multibanda: l'antenna è in grado di irradiare su diverse bande di frequenza; ad ogni
717 banda di frequenza corrispondono uno o più diagrammi di radiazione specifici;
- 718 • funzionalità multilobo: l'antenna dispone di una molteplicità di diagrammi di radiazione per
719 parzializzare la copertura sulla stessa banda di frequenza;
- 720 • funzionalità multibanda e multilobo: l'antenna implementa le precedenti due funzionalità
721 contemporaneamente.

722 Per ognuna delle funzionalità descritte, l'antenna ha a disposizione una molteplicità di diagrammi di
723 radiazione specifici per banda o per parzializzazioni settoriali.

4 Nell'ambito di questa Guida i termini diagramma di radiazione, fascio o beam talvolta sono usati come sinonimi.



724

725

Figura 6-1 – Schema di un'antenna a riflettore rettangolare

726

6.3 Antenne attive (Antenne Massive MIMO – MaMIMO)

727

728

729

730

731

732

733

A differenza delle antenne passive il cui fascio ha una sagomatura fissa nel tempo, recenti implementazioni di soluzioni di sistemi radianti utilizzano la tecnologia Massive-MIMO (MaMIMO) e sono in grado di generare fasci che variano nel tempo. In tali sistemi (noti come Antenne Attive, Smart Antennas, MaMIMO Antennas) il diagramma di radiazione non è fisso ma assume forma, direzione di puntamento, nulli di radiazione, guadagno ed aperture che variano velocemente nel tempo (a seconda delle tecnologie, anche con variazione dell'ordine del ms). La capacità di variare i parametri suddetti è indicata con il termine beamforming.

734

735

736

737

738

739

Le antenne attive sono realizzate con schiere di radiatori elementari di elevata numerosità (sono tipiche applicazioni con 192 radiatori elementari); l'antenna è – in genere – accoppiata in maniera diretta all'elettronica di controllo del fascio, entrambe racchiuse all'interno dello stesso contenitore, senza possibilità di accesso dall'esterno alla parte a radio frequenza. Per alcune applicazioni, la parte di controllo è separata dalla parte radiante e le due sezioni sono raccordate attraverso linee di trasmissione.

740

741

La capacità di beamforming si basa sulla gestione tempo variante del fattore di schiera dell'insieme dei radiatori elementari.

742

743

Una prima classificazione delle antenne attive si basa sulla modalità con cui vengono generati e gestiti i diagrammi di radiazione [1]:

744

745

746

747

- Antenne Grid of Beams: l'antenna è in grado di generare una molteplicità di fasci scelti in un insieme finito e predeterminato; l'insieme di fasci è in genere molto popolato. I fasci, individuati attraverso una tabella di verità (codebook), sono scelti istante per istante in base alle condizioni di servizio, scenario e interferenza.

748

749

750

751

752

- Antenne con Sintesi in tempo reale (EBB – Eigen Based Beamforming): il fascio viene sintetizzato in tempo reale anche grazie ai feedback inviati dai terminali utente ([25]): in tal modo, a fronte di un maggiore onere computazionale richiesto al sistema d'antenna, si ottiene una più efficace sagomatura del fascio volta ad ottimizzare le prestazioni complessive del sistema trasmissivo. Il numero di diagrammi sintetizzabili è, in linea teorica, infinito.

753 Per quanto detto, e a differenza di quanto avviene nei sistemi equipaggiati con antenne passive, nei
754 sistemi equipaggiati con antenne a fascio tempo-variante poiché il diagramma di radiazione varia nel
755 tempo, la distribuzione di campo elettromagnetico varia di conseguenza. La radiazione generata
756 dall'antenna, quindi, segue le dinamiche della richiesta di servizio e gestione dell'interferenza in
757 tempo reale, che sono connotate da aleatorietà; la distribuzione effettiva del campo elettromagnetico
758 nello scenario segue le stesse dinamiche. La valutazione dell'esposizione ai CEM, pertanto, richiede
759 un approccio di tipo statistico che tenga conto della distribuzione spazio-temporale della potenza
760 irradiata e non più solo della variabilità temporale come nel caso delle antenne passive.

761 Le antenne attive possono implementare la separazione tra piano di utente e piano di segnalazione
762 che, ai fini di questa guida, implica che la parte di gestione e controllo della comunicazione può
763 essere distribuita su diagrammi di radiazione diversi rispetto a quelli in cui viene distribuito il traffico.
764 In questo caso si assiste alla presenza contemporanea di due tipologie di copertura dell'area:

765 • la copertura della segnalazione (o copertura di broadcast): i segnali relativi alla gestione della
766 comunicazione, in tutte le sue fasi, sono trasmessi su un insieme di diagrammi di radiazione
767 specifici per tale scopo. Tali diagrammi di radiazione possono essere diversi da quelli in cui viene
768 trasmesso il traffico e definiscono la copertura di segnalazione; all'interno dell'area di copertura
769 di segnalazione un terminale si connette alla rete e può fare traffico. Le metodologie con cui può
770 realizzarsi la copertura di segnalazione sono:

771 ○ copertura fissa: esiste un solo diagramma di radiazione per la segnalazione, con
772 caratteristiche fisse nel tempo e di conseguenza anche l'area di copertura è statica;

773 ○ copertura a scansione: in questa modalità l'intera area di copertura è scandita
774 sequenzialmente e periodicamente da un numero fisso e predeterminato di fasci ognuno dei
775 quali fornisce la copertura ad una porzione del territorio. L'area di copertura è costante nel
776 tempo ma in una data porzione di territorio, compresa all'interno dell'area di copertura, la
777 segnalazione è presente solo quando il fascio servente è attivo.

778 • la copertura del traffico: è la copertura per l'erogazione del traffico, dimensionalmente corrisponde
779 alla copertura di segnalazione in quanto un terminale potrà essere servito in quell'area solo se
780 presente la copertura di segnalazione. Le prestazioni ottenibili e i livelli di campo elettromagnetico
781 all'interno dell'area di copertura di servizio dipendono dai diagrammi di radiazione del traffico e
782 dalla potenza associata al traffico.

783 È possibile ed ammesso che la segnalazione ed il traffico facciano uso dei medesimi diagrammi di
784 radiazione.

785 Nell'ambito delle antenne attive, data la aleatorietà che può assumere la forma del diagramma di
786 radiazione nel tempo, viene introdotto il concetto di diagramma di radiazione involuppo, tema che
787 verrà trattato specificatamente in un paragrafo successivo.

788 Data l'ampia disponibilità di diagrammi di radiazione utilizzabili/sintetizzabili da una antenna attiva, è
789 possibile utilizzarne un sottoinsieme specifico, per la segnalazione e per il traffico, per ottenere tracce
790 di copertura differenti a seconda degli scenari di servizio. Il sottoinsieme di diagrammi di radiazione
791 che appartengono all'antenna utilizzati per delineare una tipologia specifica di copertura, di
792 segnalazione o di traffico, è denominata "configurazione di antenna". Una antenna attiva può avere
793 una molteplicità di configurazioni diverse per poter servire al meglio le diverse tipologie di scenario
794 che si presentano.

795 6.4 Diagramma di radiazione

796 I paragrafi contenuti in questo capitolo fanno riferimento all'elaborazione del diagramma di
797 radiazione.

798 6.4.1 Ricostruzione del solido di radiazione attraverso i tagli principali

799 Per scopi pratici molto frequentemente accade che il diagramma di radiazione venga
800 rappresentato attraverso due tagli del solido di radiazione passanti per il massimo. Una
801 approssimazione della funzione guadagno per il lobo principale dell'antenna è data dalla
802 seguente relazione:

$$803 G(\vartheta, \varphi) \cong G_{max} D_V(\vartheta) D_H(\varphi)$$

804 Equazione 6-2

805 dove D_V e D_H sono il diagramma di irradiazione dell'antenna, normalizzato a 1, rispettivamente
806 nel piano verticale e orizzontale e G_{MAX} è il valore di guadagno nella direzione di massima
807 irradiazione. Si precisa che i diagrammi di irradiazione misurati sui piani orizzontale $D_H(\varphi)$ e
808 verticale $D_V(\vartheta)$ si intersecano nello stesso punto $(\vartheta_{max}, \varphi_{max})$ in cui si trova il guadagno massimo.
809 Si precisa che, solitamente, i livelli dei diagrammi di irradiazione vengono riportati in dB, mentre
810 il guadagno massimo, riferito al radiatore isotropico è riportato in dBi. In questo caso:

$$811 G(\vartheta, \varphi)_{(dBi)} \cong G_{max(dBi)} + D_{V(dB)}(\vartheta) + D_{H(dB)}(\varphi)$$

$$812 G_{max} = 10^{G_{max(dBi)}/10}$$

813 Equazione 6-3

814 L'Equazione 6-3 presenta limiti di applicabilità e margini di errore, in particolare per le direzioni
815 esterne al lobo principale. Va sottolineato, tuttavia, che i diagrammi di irradiazione disponibili
816 per ogni tipo di antenna forniscono indicazioni significative sull'andamento dei lobi principali e
817 sulle ampiezze massime dei lobi secondari, ma che difficilmente tali diagrammi rappresentano
818 nelle reali installazioni un riferimento univoco sul livello di densità di potenza irradiata per ogni
819 punto di osservazione. Nel semispazio opposto a quello dove si trova il lobo principale di
820 irradiazione, dove sono presenti elementi di supporto dell'antenna stessa e di altre antenne, il
821 diagramma di irradiazione potrebbe risultare localmente deformato, comunque in una regione
822 laddove il guadagno è tipicamente molto più basso rispetto a quello del lobo principale. Di
823 conseguenza, nei limiti descritti, le equazioni Equazione 6-2 e la Equazione 6-2 rappresentano
824 generalmente un'approssimazione accettabile per la funzione guadagno.

825 Con riferimento alle Equazione 6-2 e Equazione 6-2, occorre precisare che in un sistema di
826 riferimento sferico si definiscono generalmente gli intervalli delle coordinate come segue:

$$827 r \in [0; \infty]$$

$$828 \theta \in [-\pi/2; \pi/2]$$

$$829 \varphi \in [-\pi; \pi]$$

830 Equazione 6-4

831 Si osservi che la coordinata meridiana θ si annulla nel piano equatoriale x, y .

832 Conseguentemente, mantenendo gli intervalli definiti dalla Equazione 6-4, nella ricostruzione
833 del diagramma di irradiazione di Equazione 6-2 viene considerato solo la parte del diagramma
834 di irradiazione verticale di ampiezza angolare di 180° contenente il lobo principale.

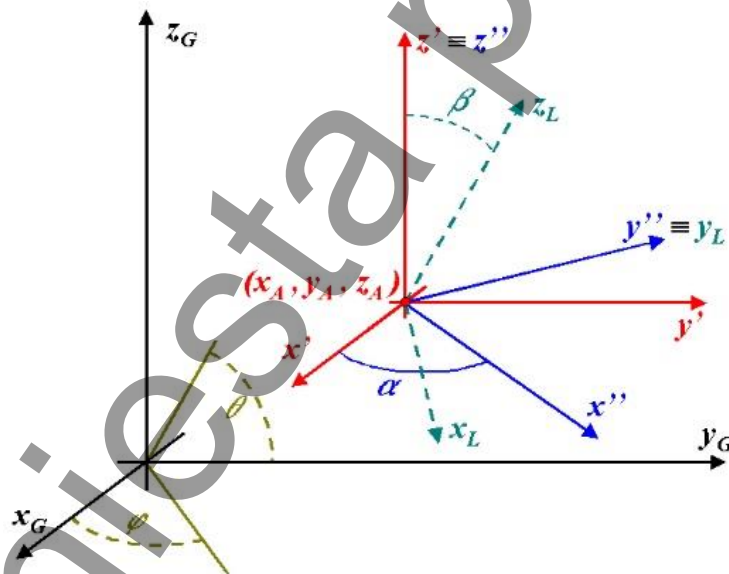
835 In alternativa alle Equazione 6-2 e Equazione 6-2, ai fini della determinazione della funzione
836 guadagno è possibile utilizzare il solido di radiazione misurato sull'intera sfera o comunque su
837 almeno due piani coordinati contenenti il massimo dell'irradiazione. In entrambi i casi, i valori
838 della funzione guadagno nelle direzioni non incluse nell'insieme dei dati misurati possono
839 essere ottenuti tramite un processo di interpolazione, che deve essere descritto e deve
840 garantire il più possibile la fedeltà rispetto ai dati originali.

841 Naturalmente i valori di campo calcolati vanno riferiti al sistema di riferimento globale che si sta
842 considerando. In particolare, occorre implementare le formule di passaggio tra il sistema di
843 riferimento locale dell'antenna e quello del sistema globale, tenendo conto della posizione
844 dell'antenna, della direzione di puntamento e dell'angolo di tilt meccanico, avendo già
845 considerato il tilt elettrico dell'antenna nel diagramma di irradiazione (

846 Figura 6-2).

847 Si consideri un sistema di riferimento globale nelle coordinate cartesiane x_G, y_G, z_G in cui la
848 direzione x_G indichi l'Est geografico, la direzione y_G il Nord geografico e la direzione z_G lo zenith.
849 Si consideri inoltre un'antenna avente:

- 850
- 851 • centro elettrico posizionato nel punto di coordinate x_A, y_A, z_A nel sistema di riferimento globale x_G, y_G, z_G ;
 - 852 • angolo tra la proiezione dell'asse del lobo principale di irradiazione sul piano x_G, y_G e l'asse x_G (misurato in senso antiorario) pari ad α ;
 - 853
 - 854 • angolo di tilt meccanico dell'antenna β , misurato tra l'asse meccanico principale
855 dell'antenna e l'asse z_G .



856

857 **Figura 6-2- Sistema di riferimento globale (x_G, y_G, z_G) e locale dell'antenna (x_L, y_L, z_L)**

858 Il calcolo del sistema di riferimento locale dell'antenna nelle coordinate sferiche r_L , θ_L , φ_L
 859 (Figura 6-3) in funzione del sistema di riferimento globale viene effettuato come da Equazione
 860 6-5:

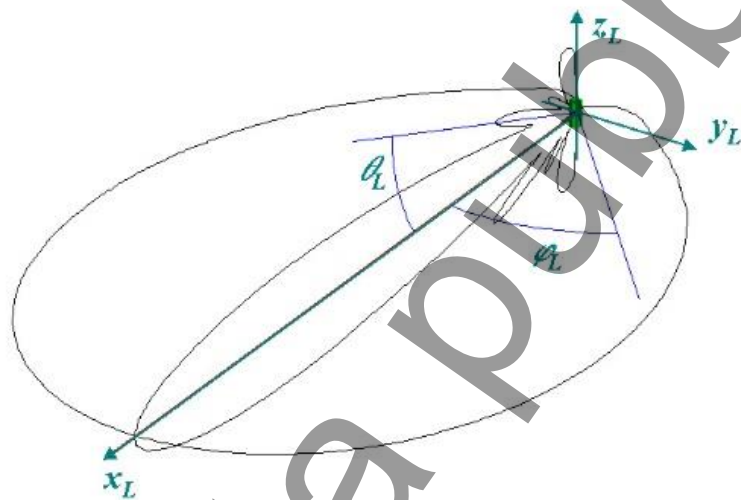
$$\begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \sin \alpha \cos \beta & -\sin \beta \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ \cos \alpha \sin \beta & \sin \alpha \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_G - x_A \\ y_G - y_A \\ z_G - z_A \end{bmatrix}$$

$$r_L = \sqrt{(x_G - x_A)^2 + (y_G - y_A)^2 + (z_G - z_A)^2}$$

$$\theta_L = \text{asin}\left(\frac{z_L}{r_L}\right)$$

$$\varphi_L = \text{asin}\left(\frac{y_L}{\sqrt{r_L^2 - z_L^2}}\right) \text{sgn}(x_L) + \frac{\pi}{2} \text{sgn}(y_L) (1 - \text{sgn}(x_L))$$

Equazione 6-5



866
 867 **Figura 6-3 - Diagrammi di irradiazione verticale ed orizzontale**

868 **6.4.2 Costruzione del diagramma inviluppo**

869 **6.4.2.1 Costruzione del diagramma di radiazione inviluppo dai solidi di irradiazione**

870 Come precedentemente descritto in 6.2 e 6.3 un'antenna può avere a corredo un sottoinsieme
 871 di diagrammi di radiazione in una data banda di frequenza; ad esempio, una antenna passiva
 872 multilobo ha a disposizione un numero definito di diagrammi di radiazione allo scopo di
 873 parzializzare l'area di copertura e un'antenna attiva ha a disposizione una molteplicità di fasci
 874 a seconda che si di tipo GoB o EBB.

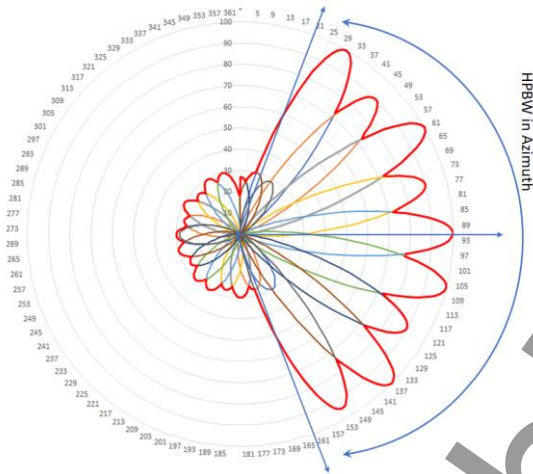
875 Per talune applicazioni può essere utile gestire il sottoinsieme dei diagrammi di radiazione
 876 come fosse un tutt'uno; ne segue l'introduzione del concetto di diagramma di radiazione
 877 inviluppo attraverso la definizione data in 6.4.2.

878 Detta N la numerosità del sottoinsieme dei diagrammi di radiazione, e detto $DR_i(\vartheta, \varphi)$ il generico
 879 diagramma di radiazione espresso in termini di guadagno o direttività, non normalizzato rispetto
 880 al proprio guadagno o direttività massima, il diagramma di radiazione inviluppo è espresso da:

$$DR_{\text{inviluppo}}(\vartheta, \varphi) = \text{Max}[DR_i(\vartheta, \varphi)] \quad \forall i; 1 \leq i \leq N; \forall \vartheta; \forall \varphi$$

Equazione 6-6

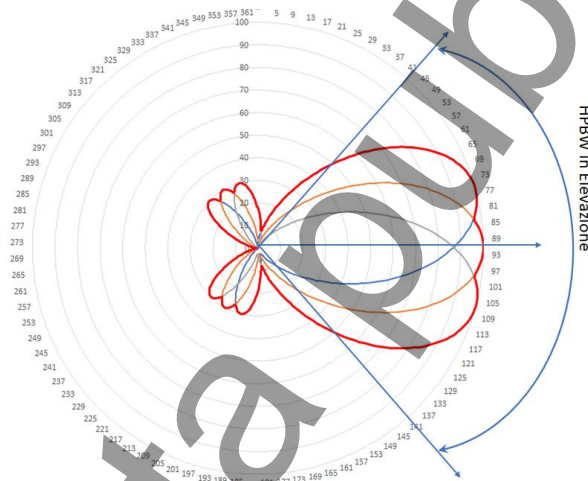
883 In cui ϑ, φ sono le coordinate sferiche di elevazione ed azimut, rispettivamente.



884

885

Figura 6-4 - Esempio dell'involuppo azimutale e dei relativi parametri



886

887

888

Figura 6-5 - Esempio dell'involuppo verticale e dei relativi parametri

6.4.2.2 Costruzione dei tagli di elevazione e di azimut del diagramma di radiazione involuppo dai tagli dei diagrammi di radiazione

Per scopi pratici molto frequentemente accade che il diagramma di radiazione venga rappresentato attraverso due tagli del solido di radiazione passanti per il massimo:

- il taglio di elevazione: è il luogo geometrico di punti ad azimut costante che passa per il massimo del diagramma di radiazione;
- il taglio di azimut: è il luogo geometrico di punti ad elevazione costante che passa per il massimo di radiazione, talvolta indicato con taglio conico.

Si consideri un numero N di diagrammi di radiazione del sottoinsieme dei diagrammi in esame afferenti una data configurazione rappresentati attraverso i tagli principali; ciascuno di essi è caratterizzato da un guadagno massimo $G_{\max,i}$ e da attenuazioni relative al massimo guadagno sui due tagli principali $A_{\phi,i}(\phi)$ e $A_{\theta,i}(\theta)$.

901 I tagli principali del diagramma di radiazione inviluppo sono ottenuti attraverso il seguente
902 procedimento:

903 1. Si calcola il guadagno massimo G_{MAX} come il massimo dei guadagni associati ai singoli pattern:

$$904 \quad G_{max} = \text{Max}[G_i] \quad \forall i; 1 \leq i \leq N$$

905 2. Si normalizzano le attenuazioni relative sui tagli principali di elevazione ed azimut di ogni
906 diagramma di radiazione considerando la differenza di guadagno:

$$907 \quad \Delta G_i = G_{max} - G_{max,i}; \quad \forall i; 1 \leq i \leq N$$

908 si somma a ciascuna attenuazione $A_{\phi,i}(\phi)$ e $A_{\theta,i}(\theta)$ di ogni diagramma di radiazione la differenza
909 di guadagno ΔG_i precedentemente ottenuta:

$$910 \quad A_{\phi,i}^*(\phi) = A_{\phi,i}(\phi) + \Delta G_i; \quad \forall i; 1 \leq i \leq N; \forall \phi$$

$$911 \quad A_{\theta,i}^*(\theta) = A_{\theta,i}(\theta) + \Delta G_i; \quad \forall i; 1 \leq i \leq N; \forall \theta$$

912 3. i tagli principali che andranno a creare il diagramma di radiazione inviluppo, per ogni valore in
913 azimut ed elevazione, sono ottenuti come minimo tra i valori di attenuazione normalizzati
914 corrispondenti dei singoli tagli principali dei diagrammi di radiazione:

$$915 \quad A_{\phi}^{inv}(\phi) = \text{Min}[A_{\phi,i}^*(\phi)]; \quad \forall i; 1 \leq i \leq N; \forall \phi$$

$$916 \quad A_{\theta}^{inv}(\theta) = \text{Min}[A_{\theta,i}^*(\theta)]; \quad \forall i; 1 \leq i \leq N; \forall \theta$$

917 Il procedimento sopra descritto è generalizzabile a qualsiasi configurazione di antenna e quindi
918 anche alle antenne attive considerando l'insieme N dei pattern sintetizzabili ad una data banda
919 di frequenza.

920 Poiché i singoli tagli principali del diagramma di radiazione possono avere il massimo su piani
921 diversi, il processo descritto attraverso la minimizzazione dell'attenuazione può portare a
922 differenze rispetto al diagramma di radiazione inviluppo ottenuto con il procedimento indicato
923 in 6.4.2.1

924

925 7 Potenze e fattori di riduzione per il calcolo del campo Elettromagnetico

926 Scopo di questo paragrafo è la definizione della potenza di calcolo (P_{calcolo}) per la
927 determinazione del livello di campo elettromagnetico per il confronto con i limiti di riferimento
928 normativo.

929 Dato un è necessario fare un distinguo tra potenza massima e potenza configurata secondo la
930 seguente classificazione:

- 931 • potenza massima: è la massima potenza di targa che il trasmettitore può generare;
- 932 • potenza configurata (P_{conf}): è la potenza più elevata che il trasmettitore può erogare in
933 condizioni operative in base alla configurazione. Tale potenza è minore o uguale alla
934 potenza massima.

935 La potenza di calcolo per la determinazione del livello di esposizione deve tenere in
936 considerazione una serie di fattori di riduzione rispetto alla potenza configurata:

- 937 • fattori implementativi (FI): le modalità di connessione dell'antenna al trasmettitore;
- 938 • fattori tecnologici (FT): fattori deterministici dipendenti dalle caratteristiche del sistema di
939 trasmissione;
- 940 • fattori dinamici (FD): fattori statistici che descrivono la dinamica temporale con cui la
941 potenza viene erogata.

942 L'applicazione dei fattori implementativi alla potenza configurata del trasmettitore (P_{conf}) porta
943 alla definizione della potenza massima ai morsetti/connettore d'antenna: $P_{\text{Max_mor}}$.

944 I termini potenza massima ai morsetti d'antenna e potenza massima al connettore d'antenna
945 sono equivalenti. Eventuali ulteriori definizioni presenti nelle diverse normative nazionali o
946 regionali o normalmente utilizzate nelle procedure autorizzative, per i fini di questa guida
947 devono essere ricondotte alla definizione precedente. Vedere nota¹.

$$948 P_{\text{Max_mor}}(\text{dBm}) = P_{\text{conf}}(\text{dBm}) + FI(\text{dB})$$

949 Equazione 7-1

950 La potenza di calcolo (P_{calcolo}) si ottiene applicando alla $P_{\text{Max_mor}}$ i fattori tecnologici e dinamici
951 in funzione del limite normativo da verificare, in particolare:

952 1. Limite di Esposizione:

$$953 P_{\text{calcolo}}(\text{dBm}) = P_{\text{Max_mor}}(\text{dBm}) + FT(\text{dB}) + FD(\text{dB})$$

954 Equazione 7-2

955 a) I Fattori Tecnologici (FT), per le tecnologie utilizzate al momento della stesura di questa
956 guida, sono:

- 957 i. DTX e Power Control per sistemi GSM (par. 7.2.1)
- 958 ii. Admission control per i sistemi UMTS (par. 7.2.2)
- 959 iii. F_{DCC} per sistemi TDD

1 Elenco dei principali termini equivalenti alla potenza massima ai morsetti d'antenna presenti nel quadro regolatorio attuale: Potenza massima irradiata, Potenza in singola antenna, Potenza massima in singola antenna, Potenza massima al connettore, Potenza massima erogabile morsetti di antenna, Potenza massima al connettore d'antenna, Potenza all'antenna, Potenza totale nominale ai connettori, Potenza nominale MAX, Potenza totale nominale al connettore d'antenna, Potenza totale all'antenna massimo carico

960 Il termine FT assume il valore di 0 dB nel caso in cui non ci siano termini deterministici di
961 riduzione della potenza.

962 b) I Fattori Dinamici (FD), per le tecnologie utilizzate al momento della stesura di questa
963 guida, sono:

964 i. F_{PR} : fattore di riduzione basato sul percentile della CDF della media temporale della
965 potenza radiata su 6 minuti. Il fattore F_{PR} è automaticamente fissato in presenza di
966 meccanismi di limitazione automatica della potenza.

967 ii. F_{GR} : fattore di riduzione della potenza radiata che tiene conto dell'indeterminazione
968 spaziale della radiazione generata da sistemi equipaggiati con antenne attive [3]. Per
969 sistemi equipaggiati con antenne passive tale contributo è pari a 0 dB.

970 2. Valore di Attenzione ed Obiettivo di Qualità

971 Per la valutazione del livello di esposizione da confrontare con il Valore di
972 Attenzione/Obiettivo di Qualità si presentano le seguenti due casistiche:

973 a) Fattore di riduzione a_{24h} utilizzato

$$974 P_{calcolo}(dBm) = P_{Max_mor}(dBm) + \alpha_{24h}(dB)$$

975 Equazione 7-3

976 b) Fattore di riduzione a_{24h} non utilizzato. In questo caso la situazione è del tutto analoga al
977 caso descritto in 1.a e riportato di seguito per comodità di lettura

$$978 P_{calcolo}(dBm) = P_{Max_mor}(dBm) + FT(dB) + FD(dB)$$

979 Equazione 7-4

980 i. I Fattori Tecnologici (FT), per le tecnologie utilizzate al momento della stesura di
981 questa guida, sono:

982 – DTX e Power Control per sistemi GSM (par. 7.2.1)

983 – Admission control per i sistemi UMTS (par. 7.2.2)

984 – F_{TDC} per sistemi TDD

985 Il termine FT assume il valore di 0 dB nel caso in cui non ci siano termini
986 deterministici di riduzione della potenza.

987 ii. I Fattori Dinamici (FD), per le tecnologie utilizzate al momento della stesura di questa
988 guida, sono:

989 – F_{PR} : fattore di riduzione basato sul percentile della CDF della media temporale
990 della potenza radiata su 6 minuti. Il fattore F_{PR} è automaticamente fissato in
991 presenza di meccanismi di limitazione automatica della potenza.

992 – F_{GR} : fattore di riduzione della potenza radiata che tiene conto
993 dell'indeterminazione spaziale della radiazione generata da sistemi equipaggiati
994 con antenne attive. Per sistemi equipaggiati con antenne passive tale contributo
995 è pari a 0 dB.

996 NOTA la potenza di calcolo non include il guadagno di antenna, in tal caso si parlerà di EIRP.

997 La Figura 7.1 mostra attraverso un algoritmo quanto descritto nei precedenti punti a) e
998 b). **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Per passare dalla potenza espressa in
999 dBm alla potenza espressa in Watt, si utilizza la relazione:

1000
$$P(W) = 10^{-3} \times 10^{\frac{P(\text{dBm})}{10}}$$
 Equazione 7-5

1001

1002 I termini FI, FT e FD sono descritti nei paragrafi seguenti in riferimento alla tecnologia e al limite
1003 normativo da valutare.

Inchiesta pubblica

1004 7.1 Fattori Implementativi (FI)

1005 I fattori di riduzione della potenza dovuti all'implementazione (FI), come anticipato nel paragrafo
1006 precedente, sono da considerare qualora l'antenna sia collegata al trasmettitore attraverso
1007 linee guidate, come ad esempio avviene per le antenne passive. La potenza in antenna risente
1008 dei contributi di attenuazione ed amplificazione di tutti gli elementi che si interpongono tra
1009 trasmettitore ed antenna (es: cavi, filtri, amplificatori, etc.)

$$P_{Max_mor}(dBm) = P_{conf}(dBm) + FI(dB)$$

Equazione 7-6

1012 il termine FI è il contributo totale delle amplificazioni e attenuazioni in linea:

$$FI(dB) = \sum_{n=1}^N APL_n(dB) - \sum_{k=1}^K ATL_k(dB)$$

Equazione 7-7

1015 dove:

1016 N: numero di elementi di amplificazione connessi tra il trasmettitore e l'antenna

1017 K: numero di elementi di attenuazione connessi tra il trasmettitore e l'antenna

1018 APL_n : è il guadagno, espresso in dB, degli amplificatori interposti tra trasmettitore e antenna.

1019 ATL_k : è l'attenuazione, espressa in dB, di ognuno dei componenti passivi interposti tra
1020 trasmettitore e antenna (cavi, diplexer, filtri). Genericamente può essere tenuta in conto
1021 anche una perdita di giunzione per ogni connettore/morsetto e le perdite per riflessione
1022 dovute ad eventuali disadattamenti.

1023 Nel caso di antenne attive i termini APL_n e ATL_k possono non essere presenti in quanto il
1024 trasmettitore è accoppiato direttamente all'antenna. Quindi la potenza P_{Max_mor} potrebbe
1025 coincidere con P_{conf} .

1026 7.2 Fattori Tecnologici (FT)

1027 La potenza emessa dall'antenna varia nel tempo a seconda delle caratteristiche specifiche di
1028 ogni tecnologia.

1029 I fattori di riduzione tecnologici della potenza (FT) sono deterministici e propri della tecnologia
1030 implementata nell'interfaccia di accesso radio; tali fattori sono solitamente espressi in unità
1031 lineari come rapporti tra potenze nel rispetto della Equazione 7-2e Equazione 7-4.

1032 Considerando la potenza P_{Max_mor} , in unità lineari avremo quindi una potenza ridotta dai fattori
1033 tecnologici $P_{FT}(W)$ pari a:

$$P_{FT}(W) = P_{Max_mor}(W) FT$$

Equazione 7-8

1036 e conseguentemente:

$$FT = \frac{P_{FT}(W)}{P_{Max_mor}(W)}$$

Equazione 7-9

1039 **7.2.1 Fattori Tecnologici per sistemi GSM: DTX e Power Control**

1040 Nel caso di sistemi GSM, esiste un canale di controllo (BCCH) che fornisce indicazioni sulla
 1041 copertura radio di ogni cella e pertanto la portante a radiofrequenza associata viene irradiata
 1042 sempre alla potenza massima configurata. Le altre portanti costituiscono canali di traffico (TCH)
 1043 e vengono trasmesse con una variazione di potenza che dipende, oltre che dal traffico, dalle
 1044 funzionalità di Controllo di Potenza e di Trasmissione Discontinua.

1045 Il fattore tecnologico dovuto alla tecnologia GSM nel caso di massimo traffico (tutti i canali
 1046 occupati) può quindi essere definito come:

1047
$$FT_{GSM} = \frac{1 + (N - 1)\alpha_{PC}\alpha_{DTX}}{N}$$

1048
 1049 Equazione 7-10

1050 dove:

- 1051 N : numero di portanti della cella;
 1052 α_{PC} : fattore di attenuazione di Controllo di Potenza (≤ 1);
 1053 α_{DTX} : fattore di attenuazione di Trasmissione Discontinua (≤ 1);

1054 I fattori di attenuazione di Controllo di Potenza e di Trasmissione Discontinua sono riportati in
 1055 Tabella 7-1 e Tabella 7-2 rispettivamente; essi sono determinati con le procedure indicate in
 1056 [10]] dove, in particolare, il valore di attenuazione di DTX uguale a 0,7 corrisponde al massimo
 1057 tra quelli riportati nella normativa ETSI.

1058 **Tabella 7-1: Fattori di riduzione della potenza per il controllo della potenza**

Condizioni di riferimento	α_{PC}
Caso 1: PC non abilitato	1
Caso 2: PC abilitato	0,7

1059 **Tabella 7-2: Fattori di riduzione della potenza per la Trasmissione Discontinua**

Condizioni di riferimento	α_{DTX}
Caso 1: DTX non abilitato	1
Caso 2: DTX abilitato	0,7

1060
 1061 Considerando la potenza ai morsetti di antenna, la potenza ridotta dal fattore tecnologico GSM
 1062 è quindi

1063
$$P_{FTGSM}(W) = P_{Max_mor}(W) FT_{GSM} = P_{Max_mor}(W) \frac{1 + (N - 1)\alpha_{PC}\alpha_{DTX}}{N}$$

1064 Equazione 7-11

1065 Si precisa che lo stesso calcolo può essere effettuato dalla potenza per portante $P_{Max_mor_port}$
 1066 definita come:

1067
$$P_{Max_mor_port}(W) = \frac{P_{Max_mor}(W)}{N}$$

1068 Equazione 7-12

1069 In tal caso la potenza in uscita ridotta del fattore GSM è pari a:

$$1070 \quad P_{FTGSM}(W) = P_{Max_mor_port}(W) + P_{Max_mor_port}(W)(N - 1)\alpha_{PC}\alpha_{DTX}$$

1071 Equazione 7-13

1072 **7.2.2 Fattori Tecnologici per sistemi UMTS: Admission control**

1073 Nel caso specifico del sistema UMTS la capacità in presenza di codici ortogonali disponibili può
1074 essere limitata proprio dalla massima potenza disponibile: la potenza viene assegnata ad ogni
1075 utente in funzione del servizio richiesto (e in particolare del bit-rate dello stesso) e della sua
1076 posizione rispetto alla SRB servente e rispetto a quelle adiacenti. Anche nel sistema UMTS le
1077 funzionalità di power control e di DTX downlink contribuiscono a minimizzare la potenza
1078 trasmessa per la singola connessione. In particolare, i meccanismi di power control sono ancora
1079 più rapidi di quelli implementati nel GSM, con un controllo effettuato 1500 volte al secondo.

1080 La condizione di blocco, che è quella di interesse per valutare la potenza massima di una SRB,
1081 è determinata dall'impossibilità di fornire potenza ai clienti che richiedono un servizio, e
1082 corrisponde quindi al raggiungimento della massima emissione. In realtà, al fine di consentire
1083 il corretto funzionamento del sistema garantendo la possibilità di variare la potenza per i clienti
1084 che hanno già una connessione attiva, esistono procedure di "admission control" che prevedono
1085 il rifiuto di nuove richieste quando si raggiunge una soglia percentuale prefissata AC della
1086 potenza massima disponibile. Statisticamente, su un intervallo di 6 minuti e per ogni portante,
1087 una valutazione comunque cautelativa della potenza trasmessa è:

$$1088 \quad P_{FT_UMTS_port}(W) = P_{Max_mor_port}(W) * AC$$

1089 Equazione 7-14

1090 dove:

- 1091 • $P_{FT_UMTS_port}$ è la potenza ridotta del fattore di admission control AC per singola
1092 portante/cella
- 1093 • $P_{Max_mor_port}$ è la potenza massima ai morsetti di antenna per singola portante.

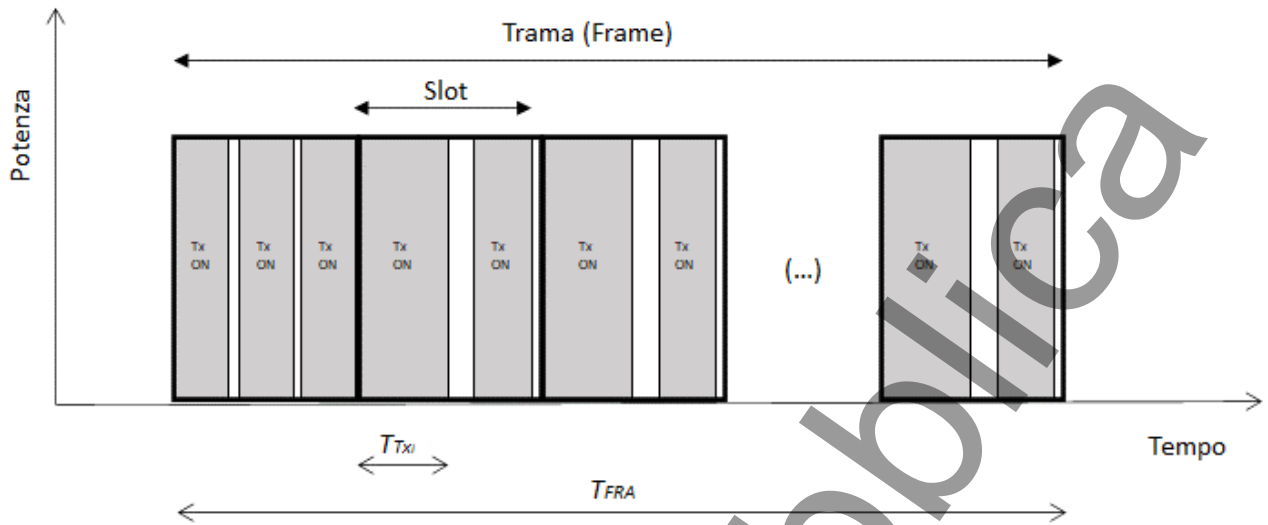
1094 **7.2.3 Fattore Tecnologico per sistemi con accesso a divisione di tempo (TDD)**

1095 Per i sistemi che si basano su tecniche di accesso a divisione di tempo può essere utilizzato
1096 un fattore di riduzione della potenza deterministico legato al duty cycle (F_{TDC}), ossia la frazione
1097 del tempo per il quale il sistema trasmette in downlink rispetto al periodo totale di trasmissione.
1098 Esso dipende sia dalla tecnologia utilizzata che dal tipo di implementazione della trama da
1099 parte dell'operatore.

1100 La Figura 7-1 rappresenta una struttura generica di una trama TDD (Frame) nel dominio del
1101 tempo, nella figura sono evidenziati periodi di trasmissione (contrassegnati con Tx ON) e
1102 periodi in cui non c'è trasmissione: durante questi ultimi, infatti, la BTS è in modalità di ricezione
1103 o in un periodo di guardia tra le due modalità. Durante l'intervallo di tempo T_{Tx} , quando il
1104 trasmettitore è attivo, P_{conf} è la potenza massima trasmissibile.

1105

1106



1107

1108

Figura 7-1 - Struttura di una trama TDD

1109 La formula generale per F_{TDC} è data nell'equazione Equazione 7-15

1110

$$F_{TDC} = \left(\sum_{i=1}^{Frame} T_{TXi} \right) / T_{FRA}$$

1111

Equazione 7-15

1112 Dove:

- 1113 • F_{TDC} è il fattore di duty cycle tecnologico;
- 1114 • T_{TXi} è la durata dell'i-esimo intervallo di trasmissione del segnale nella trama;
- 1115 • T_{FRA} è la durata della trama;

1116 Per le tecnologie mobili ad accesso FDD (GSM, UMTS), il valore di F_{TDC} è 1.

1117 Per le tecnologie LTE-FDD e NR-FDD che, pur avendo un accesso a divisione di frequenza,
1118 hanno in trasmissione nel dominio del tempo una trama definita con periodi di guardia ma non
1119 di ricezione, il valore approssimato di F_{TDC} è 1.

1120 Per le tecnologie LTE-TDD e NR-TDD, il valore approssimato di F_{TDC} è fornito dall'equazione
1121 Equazione 7-15. I valori tipici di F_{TDC} sono compresi tra 0,75 e 0,8 a seconda del formato della
1122 specifica implementazione della trama; quando il valore esatto non è specificato, è possibile
1123 scegliere un valore approssimato di F_{TDC} pari a 0,75.

1124 7.3 Fattori dinamici (FD)

1125 Come precedentemente descritto i fattori dinamici (FD) sono fattori statistici che descrivono la
1126 dinamica temporale con cui la potenza viene erogata. Nei paragrafi seguenti sono descritti il
1127 fattore dinamico di riduzione della potenza (Fpr), Fgr, e le funzionalità di limitazione automatica
1128 della potenza.

1129 7.3.1 Fattore dinamico temporale di riduzione della potenza Fpr

1130 Il fattore di riduzione statistico della potenza, F_{PR} , è derivato dall'analisi statistica (CDF) della
1131 potenza media trasmessa nel tempo dalla BS. Esso rappresenta il rapporto fra un determinato
1132 percentile della CDF della potenza media su 6 minuti e la potenza configurata.

1133 Per risalire al valore del fattore F_{PR} che compare nella [8]] è possibile utilizzare il contatore
1134 della potenza giornaliera irradiata mediata da una antenna su un intervallo temporale
1135 predefinito, fissato il percentile. Tale contatore può ricondursi ad un vettore la cui dimensione
1136 è pari al numero di intervalli in cui viene suddiviso il giorno, ognuno dei quali riporta la potenza
1137 media irradiata su 6 minuti: tale vettore è utilizzato per determinare la statistica della potenza
1138 media irradiata, la distribuzione della probabilità e la funzione cumulativa della distribuzione
1139 della probabilità.

1140 Per calcolare il fattore F_{PR} si eseguono i seguenti passi:

1141 1) costruzione della distribuzione di probabilità e funzione cumulativa della distribuzione di
1142 probabilità:

1143 a) Definire il passo di campionamento con cui discretizzare l'asse della potenza
1144 configurata normalizzata [0;1];

1145 i. Definire il vettore di interi della distribuzione di probabilità PDF ed iniziarlo a
1146 0. La dimensione K del vettore è pari al valore 1 diviso il passo di discretizzazione;

1147 ii. Definire il vettore di interi della distribuzione cumulativa di probabilità CDF ed
1148 iniziarlo a 0. La dimensione K del vettore è pari al valore 1 diviso il passo di
1149 discretizzazione;

1150 2) Aggiornamento della PDF:

1151 a) Individuare la cella del vettore della PDF corrispondente al valore di potenza media
1152 riportata dal contatore e normalizzata rispetto alla potenza configurata, a seconda del
1153 passo di discretizzazione utilizzato (es: se la potenza media normalizzata ha valore
1154 0.305 ed il passo di discretizzazione pari all'1%, la cella del vettore della PDF è quella
1155 di indice 30);

1156 b) Incrementare di 1 il valore contenuto nella cella del vettore individuata al passo 2.a

1157
$$pdf(k) \leftarrow pdf(k) + 1$$

1158 3) Aggiornare la distribuzione cumulativa di probabilità

1159
$$cdf(0) = pdf(0)$$

1160
$$cdf(k) = cdf(k - 1) + pdf(k); 1 \leq k \leq K - 1$$

1161 4) Determinazione del fattore F_{PR}

1162 a) Determinare il numero di campioni N corrispondenti ad un determinato percentile p (es:
1163 per il 95-esimo percentile $perc = 0.95$)

1164
$$N = int[cdf(K - 1) \times perc]$$

1165 b) determinare l'indice inferiore k della cella del vettore della CDF che ha un numero di
1166 campioni $\geq N$

1167 c) l'indice k , scalato in funzione del passo di discretizzazione è il fattore F_{PR} ;

1168 Per quando riportato nel paragrafo 7.3.1.1 si suggerisce un passo di discretizzazione della
1169 potenza normalizzata pari al 1% e comunque non superiore al 5%.

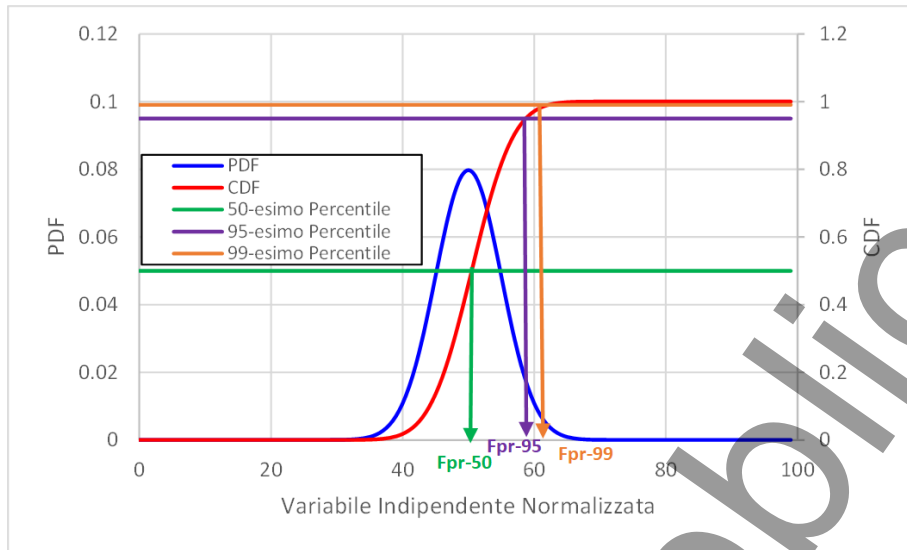


Figura 7-2 - Determinazione del fattore statistico di riduzione della potenza F_{PR}

1170

1171

1172 **7.3.1.1 Approfondimenti ed esempi pratici**

1173 Nel seguente paragrafo sono riportati alcuni approfondimenti relativi agli effetti dei parametri
1174 della distribuzione di probabilità sul F_{PR} .

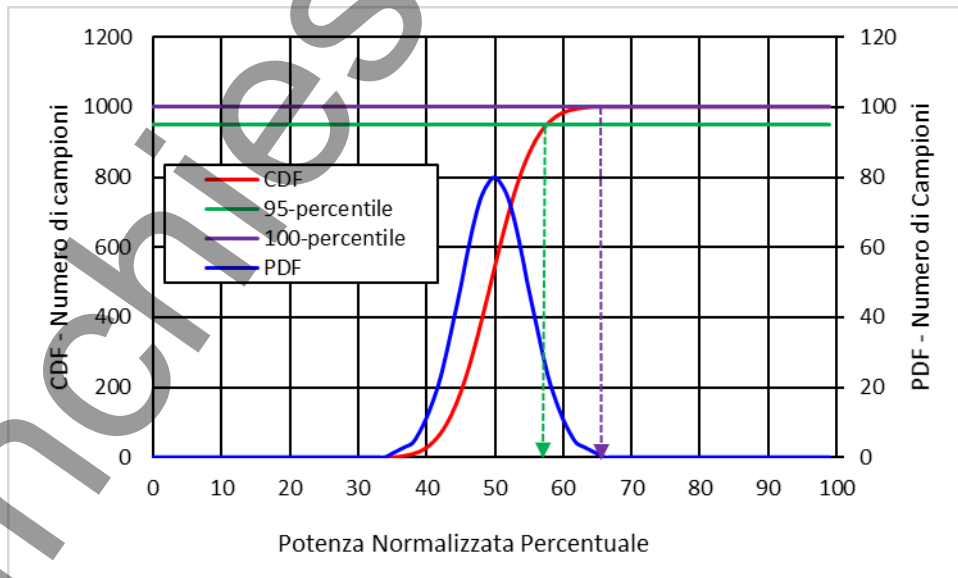
1175 **In tutti gli esempi:**

- 1176 • Numero di campioni 1000
- 1177 • Distribuzione: Normale

1178 **Esempio 7-1**

- 1179 • Potenza Configurata normalizzata e rappresentata a passi dell'1%
- 1180 • Media: 50% della Potenza Configurata
- 1181 • Deviazione Standard: 5 % della Potenza Configurata

1182



1183

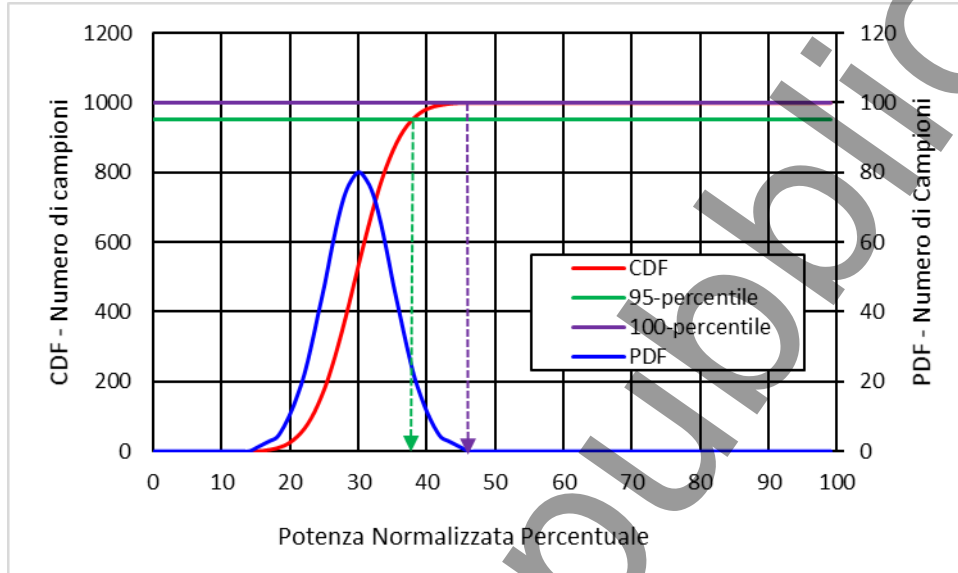
- 1184 • al 95-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.58

- 1185 • al 100-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.65

1186 **Esempio 7-2: Effetto del valore medio**

- 1187 • Potenza Configurata normalizzata e rappresentata a passi dell'1%
- 1188 • Deviazione Standard: 5 % della Potenza Configurata

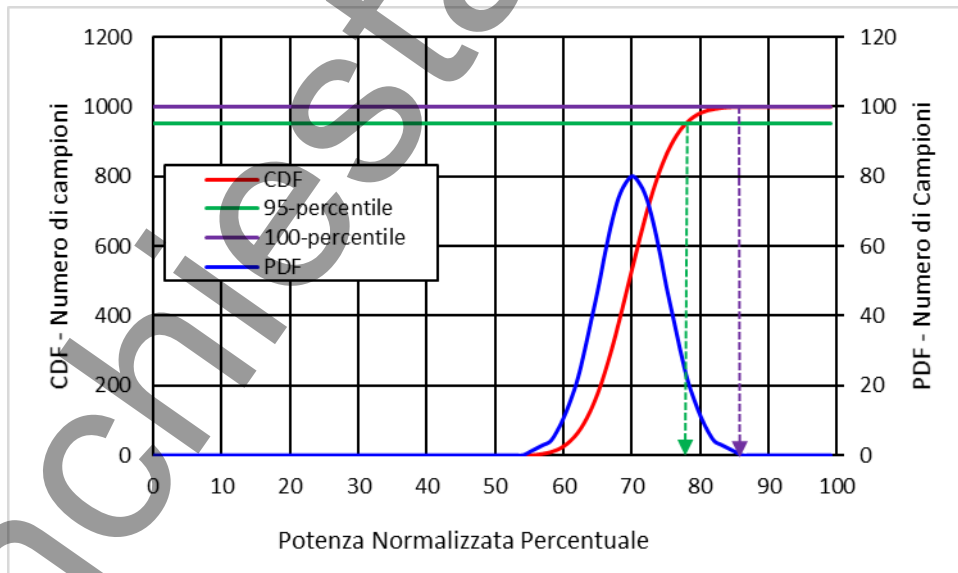
1189 a) Media pari al 30% del valore massimo della potenza configurata:



1190

- 1191 • al 95-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.38
- 1192 • al 100-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.45

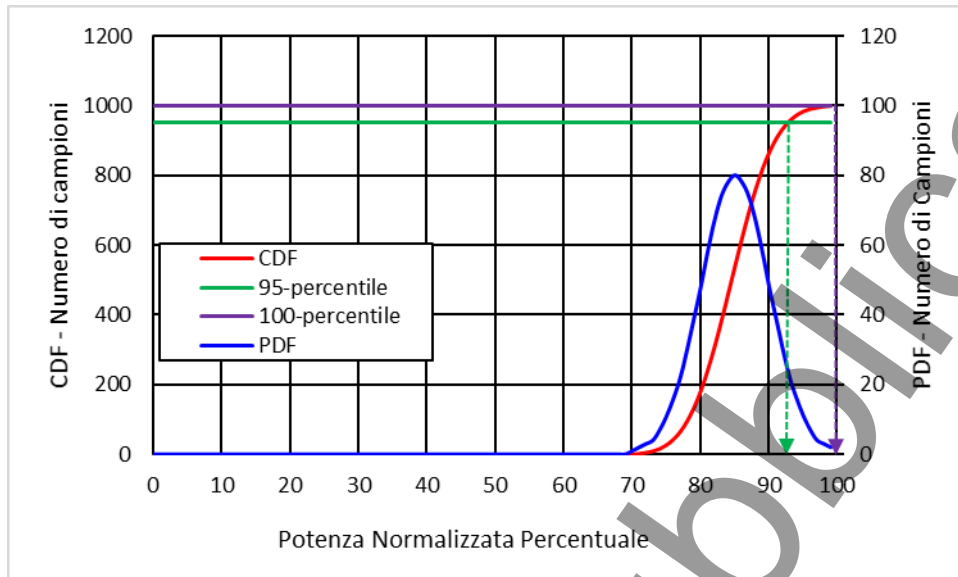
1193 b) Media pari al 70% del valore massimo della potenza configurata:



1194

- 1195 • al 95-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.78
- 1196 • al 100-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.87

1197 c) Media pari a 85% del valore massimo della potenza configurata:



1198

1199 • al 95-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.93

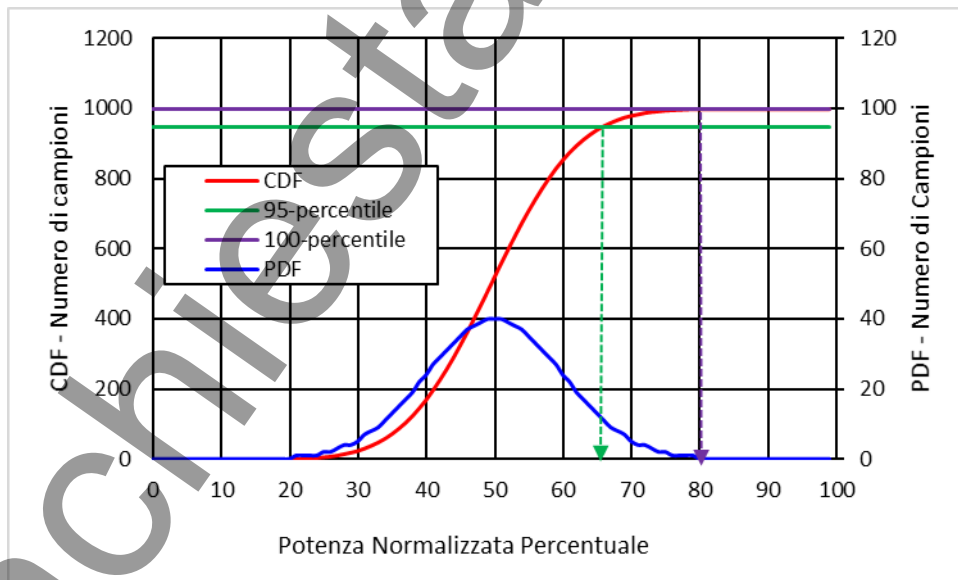
1200 • al 100-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 1.0

1201 **Esempio 7-3: Effetto della deviazione standard**

1202 • Potenza Configurata normalizzata e rappresentata a passi dell'1%

1203 • Media: 50 % della Potenza Configurata

1204 a) Deviazione standard pari al 10% del valore massimo della potenza configurata. In questo
1205 caso:

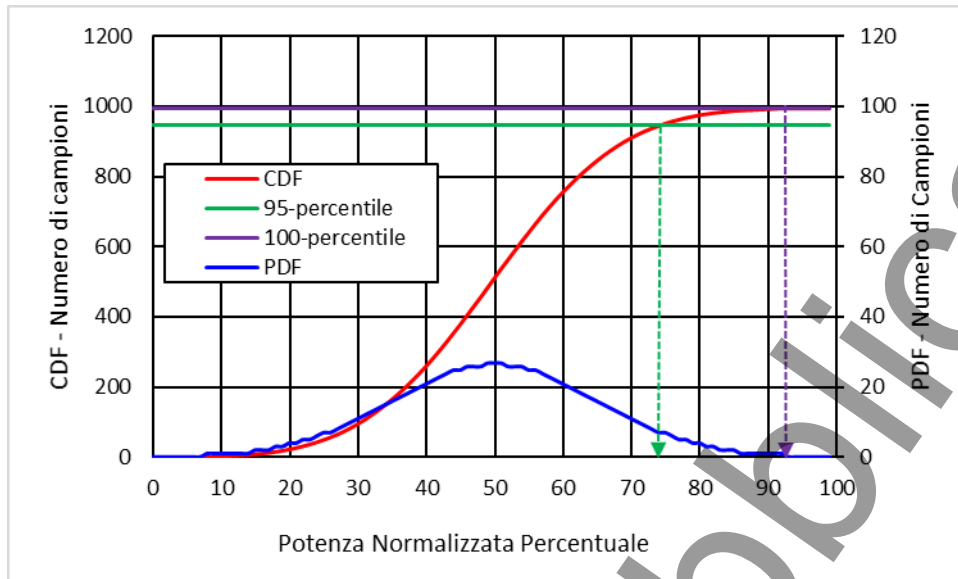


1206

1207 • al 95-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.66

1208 • al 100-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.79

1209 b) Deviazione standard pari al 15% del valore massimo della potenza configurata. In questo caso:

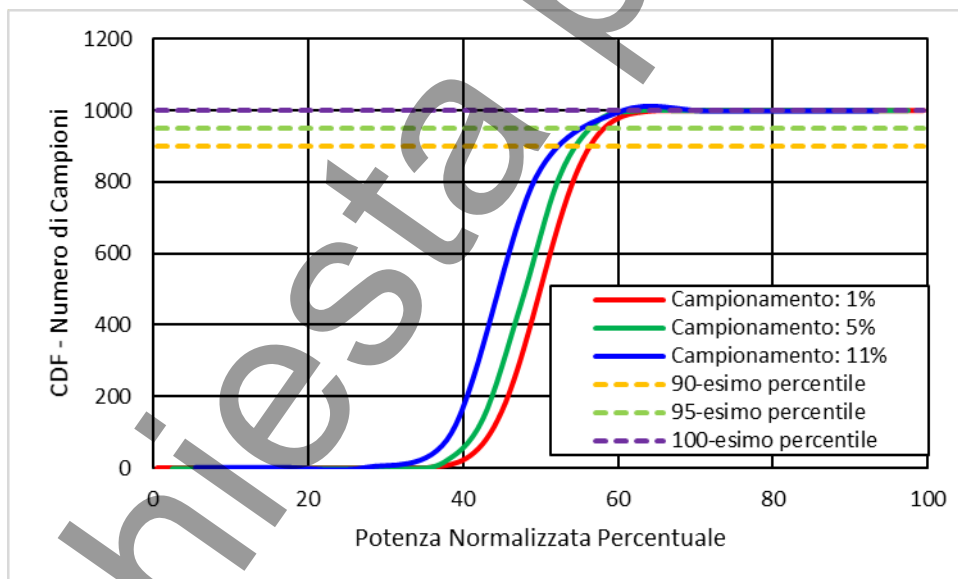


1210

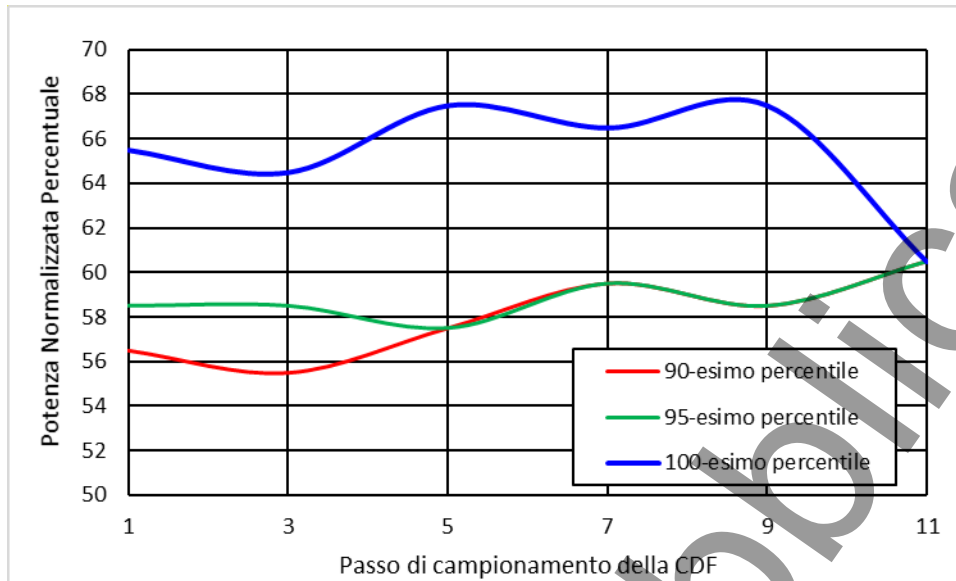
- 1211 • al 95-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.74
- 1212 • al 100-esimo percentile corrisponde un fattore F_{PR} pari a 0.92

1213 **Esempio 7-4:** Effetto del passo di discretizzazione della potenza normalizzata

- 1214 • Media: 50% della Potenza Configurata
- 1215 • Deviazione Standard: 5 % della Potenza Configurata



1216



1217
1218

1219 Nel caso riportato nell'Esempio 7-1, con i dati utilizzati, la potenza media su 6 minuti non
1220 raggiunge mai il valore della potenza configurata; di conseguenza il 100-esimo percentile è
1221 limitato superiormente dalla potenza massima su 6 minuti, non raggiungendo mai il valore 1.
1222 All'aumentare del valor medio della distribuzione di probabilità, la potenza media su sei minuti
1223 si avvicina al limite della potenza configurata; di conseguenza il fattore F_{PR} aumenta; in
1224 particolare nell'Esempio 7-2.c il fattore F_{PR} al 100-esimo percentile raggiunge l'unità, indicando
1225 che ci sono dei campioni di potenza media su sei minuti che sono pari alla potenza configurata.
1226 Considerazioni analoghe possono essere fatte per l'andamento del fattore F_{PR} in funzione della
1227 deviazione standard; a parità di potenza media, tanto più la deviazione standard aumenta tanto
1228 più il fattore F_{PR} aumenta; in particolare il fattore F_{PR} al 100-esimo percentile per deviazioni
1229 standard elevate può raggiungere l'unità, indicando che ci sono dei campioni di potenza media
1230 su sei minuti che sono pari alla potenza configurata. Infine, il passo di discretizzazione della
1231 potenza normalizzata ha un effetto sul valore del percentile; all'aumentare del passo di
1232 discretizzazione la capacità di discriminazione diminuisce, come atteso. Per avere un grado di
1233 discriminazione della potenza sufficiente, il passo di discretizzazione dovrebbe essere inferiore
1234 al 5%.

1235 7.3.2 Fattore dinamico di riduzione della potenza sulle 24 ore α_{24h_day}

1236 La normativa italiana consente che il confronto con le soglie relative al valore di attenzione e
1237 all'obiettivo di qualità [5.2.1 e 5.2.2] sia effettuato con valori mediati nell'arco 24 ore.

1238 Allo stesso modo, la normativa vigente [1]) definisce i fattori di riduzione della potenza da
1239 applicare nelle stime previsionali per tener conto della variabilità temporale dell'emissione degli
1240 impianti nell'arco delle 24 ore (α_{24h_day}).

1241 L'utilizzo del fattore α_{24h} , calcolato come il massimo dei α_{24h_day} su base annua, nel processo
1242 autorizzativo si configura come un fattore di riduzione della potenza come descritto nel capitolo
1243 7.

1244 7.3.2.1 Calcolo della potenza media giornaliera P_{24h_day}

1245 La potenza media giornaliera (calcolata nelle 24 ore) P_{24h_day} gestita da un impianto può essere
1246 calcolata attraverso l'analisi dei contatori di potenza di nodo che riportano con cadenza definita
1247 il valore della potenza media su un intervallo di tempo predefinito. La potenza media giornaliera
1248 P_{24h_day} viene quindi calcolata come:

1249
$$P_{24h_day} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \bar{P}_n$$

Equazione 7-16

1251 Dove:

1252 N è il numero di campioni di potenza media oraria, N è pari a 24

1253 \bar{P}_n è il valore di potenza media oraria

1254 Per tecnologie che condividono la stessa banda di frequenza è necessario fare una distinzione
1255 tra:

- 1256 • tecnologie che operano su porzioni distinte della stessa banda: in questo caso P_{24h_day} viene
1257 calcolata, per ciascuna tecnologia attraverso la Equazione 7-17, Figura 7-2 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata./a.**
1258
- 1259 • tecnologie che operano contemporaneamente sulla stessa banda (es: DSS): in questo caso
1260 P_{24h_day} , **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata./b,** viene calcolata come:

1261
$$P_{24h_day} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \bar{P}_{n,m}$$

Equazione 7-17

1263 in cui

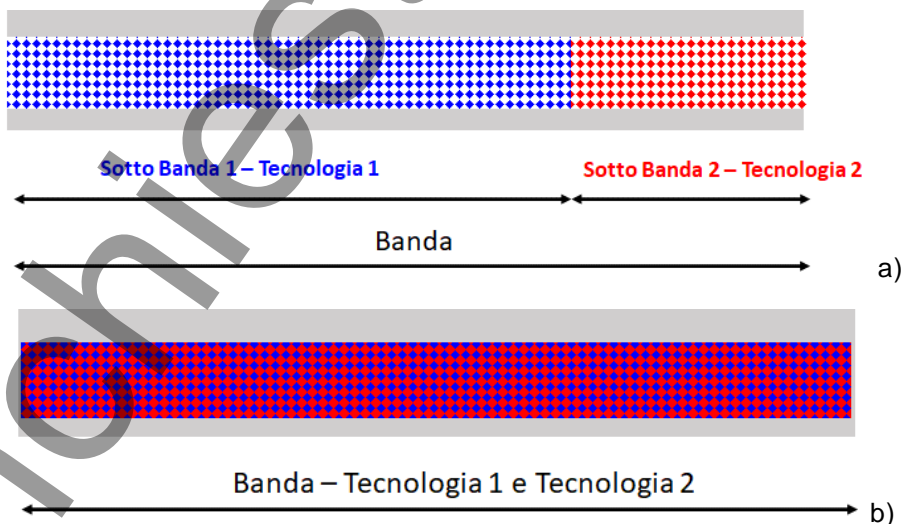
1264 N è il numero di campioni di potenza media oraria, N è pari a 24

1265 M è il numero di tecnologie che gravano sulla stessa banda

1266 $\bar{P}_{n,m}$ è il valore di potenza media riportato dal contatore specifico della tecnologia m-esima.

1267

1268 NOTA: per sistemi che operano con più tecnologie che operano sulla stessa banda e che generano un unico contatore
1269 di potenza trasmessa la Equazione 7-17 può essere ricondotta alla Equazione 7-16.



1272 **Figura 7-3** – Utilizzo congiunto della stessa banda: a) tecnologie che operano su porzioni
1273 distinte della stessa banda; b) tecnologie che operano contemporaneamente sulla stessa banda

1274

1275 **7.3.2.2 Calcolo del fattore α_{24h_day}**

1276 Il fattore α_{24h_day} è il rapporto tra la potenza media giornaliera P_{24h_day} , calcolata secondo le
 1277 metodologie descritte in 7.3.2, e la potenza massima ai morsetti d'antenna. Il parametro α_{24h_day}
 1278 è adimensionale.

1279
$$\alpha_{24h_day} = \frac{P_{24h_day}}{P_{Max_mor}}$$

Equazione 7-18

1281 **7.3.2.3 Approfondimenti ed esempi pratici**

1282 **Esempio 7-5**

1283 Si consideri un contatore che riporti la potenza giornaliera, in W, su 24 campioni secondo lo
 1284 schema riportato di seguito

65. 9	66. 9	45. 0	55. 4	71. 9	33. 1	74. 9	90. 9	58. 7	85. 4	69. 5	44. 6	17. 6	53. 2	58. 9	93. 4	19. 0	15. 8	7. 2	69. 3	6. 9	10. 1	21. 7	40. 9
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---------	----------	---------	----------	----------	----------

1285 La potenza media giornaliera è: $P_{24h_day} = 49 \text{ W}$

1286

1287 Assumendo una potenza massima ai morsetti d'antenna pari a 150 W, il fattore α_{24h_day} è:

1288
$$\alpha_{24h_day} = \frac{49.0}{150.0} = 0.33$$

1289

1290 **Esempio 7-6**

1291 Si consideri un sistema che trasmetta sulla stessa banda due tecnologie diverse; i contatori
 1292 siano pari agli schemi riportati di seguito.

1293 **Tecnologia 1**

65. 9	66. 9	45. 0	55. 4	71. 9	33. 1	74. 9	90. 9	58. 7	85. 4	69. 5	44. 6	17. 6	53. 2	58. 9	93. 4	19. 0	15. 8	7. 2	69. 3	6. 9	10. 1	21. 7	40. 9
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---------	----------	---------	----------	----------	----------

1294 La cui potenza media giornaliera è $P_{24h_day_tecnologia1} = 49 \text{ W}$

1295 **Tecnologia 2**

3.1	21.5	15.3	21.5	0.8	12.6	16.3	1.3	24.9	5.3	23.6	3.1	2.5	7.1	9.9	12.7	14.1	14.0	1.2	12.6	21.6	9.2	16.7	9.6
-----	------	------	------	-----	------	------	-----	------	-----	------	-----	-----	-----	-----	------	------	------	-----	------	------	-----	------	-----

1296 La cui potenza media giornaliera è $P_{24h_day_tecnologia2} = 11.7 \text{ W}$

1297 La potenza media giornaliera totale è

1298
$$P_{24h_day} = P_{24h_day_tecnologia1} + P_{24h_day_tecnologia2} = 49 + 11.7 = 60.7 \text{ W}$$

1299

1300 Assumendo una potenza massima ai morsetti d'antenna pari a 150 W, il fattore α_{24h_day} è:

1301
$$\alpha_{24h_day} = \frac{60.7}{150.0} = 0.40$$

1302

1303 **7.3.2.4 Calcolo della potenza media giornaliera P_{24h_day} e del fattore α_{24h_day} di sistemi**
 1304 **equipaggiati con antenne attive MaMIMO**

1305 Per sistemi equipaggiati con antenne attive MaMIMO, il concetto di P_{24h_day} , e di conseguenza
 1306 il parametro α_{24h_day} assumono una diversa connotazione a seconda della tipologia di contatori
 1307 disponibili.

1308 a) Disponibilità di contatori di potenza complessiva gestita dall'antenna

1309 Il contatore restituisce, con cadenza temporale definita, la potenza media gestita
 1310 dall'antenna nell'intervallo temporale di osservazione del contatore. Pertanto, la P_{24h_day}
 1311 sarà ricavata, in modo del tutto analogo a quanto riportato in Equazione 7-17 e, di
 1312 conseguenza, il parametro α_{24h_day} è calcolato come in Equazione 7-18.

1313 NOTA Per sistemi 5G NR la potenza media gestita sui canali di controllo è trascurabile rispetto alla potenza
 1314 media gestita sui canali di traffico (cap. 6.3).

1315 b) Disponibilità di contatori di potenza per settore angolare (SA)

1316 Questo tipo di contatori forniscono la potenza gestita per settore angolare sull'intervallo
 1317 temporale di osservazione del contatore. Le modalità di calcolo della potenza $P_{24h_day_SA}$ e
 1318 del parametro $\alpha_{24h_day_SA}$, per ogni settore angolare, sono le stesse descritte in Equazione
 1319 7-17 e Equazione 7-18, ad esempio:

1320
$$P_{24h_day_SA} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \bar{P}_{n_SA}$$

Equazione 7-19

1321 Dove \bar{P}_{n_SA} è il campione temporale della potenza nel SA specifico, di conseguenza:

1322
$$\alpha_{24h_day_SA} = \frac{P_{24h_day_SA}}{P_{Max_SA}}$$

Equazione 7-20

1323 Dove: P_{Max_SA} è la potenza massima che fluisce nel SA specifico.

SA	ϑ_{Start}	ϑ_{End}	φ_{Start}	φ_{End}	$P_{24h_day_SA}$	$\alpha_{24h_day_SA}$
	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[W]	
1						
2						
...						
N						

1326 c) Disponibilità di contatori di potenza per beam

1327 Questo tipo di contatori forniscono la potenza gestita sul singolo beam nel caso di antenne
 1328 di tipo Grid of Beams sull'intervallo temporale di osservazione del contatore. Le modalità di
 1329 calcolo della potenza $P_{24h_day_beam}$ e del parametro $\alpha_{24h_day_beam}$ sul beam sono le stesse
 1330 descritte in Equazione 7-17 e Equazione 7-18.

1331
$$P_{24h_day_beam} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \bar{P}_{n_beam}$$

Equazione 7-21

1332 Dove \bar{P}_{n_beam} è il campione temporale della potenza nel beam specifico, di conseguenza

1334

$$\alpha_{24h_day_beam} = \frac{P_{24h_day_beam}}{P_{Max_beam}}$$

1335

Equazione 7-22

1336

Dove: P_{Max_beam} è la potenza massima che è configurata nel beam specifico.

1337

d) Disponibilità di contatori di EIRP

1338

Il fattore α_{24h_day} calcolato come rapporto tra EIRP è equivalente a quello ottenuto come rapporto tra potenze.

1339

1340

Nel caso di disponibilità dei contatori relativi alla variabilità di EIRP nella giornata, espressi come complessivo del sistema o per settore angolare o per beam, la determinazione del corrispettivo fattore α_{24h_day} è vincolata al possesso dell'informazione dell'EIRP relativo alla massima potenza ai morsetti d'antenna gestito dal relativo sistema (complessivo, per settore angolare o per beam) o in alternativa al guadagno e alla relativa potenza massima ai morsetti d'antenna.

1341

1342

1343

1344

1345

1346

In tal caso è infatti possibile ricondursi alla situazione descritta in Equazione 7-17 e Equazione 7-18.

1347

1348

7.3.2.4.1 Approfondimenti ed esempi pratici

1349

Esempio 7-7: Disponibilità di contatori di potenza per settore angolare (SA)

1350

Considerando una potenza massima per SA (P_{Max_SA}) di 150 W si ha:

SA	ϑ_{Start}	ϑ_{End}	φ_{Start}	φ_{End}	$P_{24h_day_SAS}$	$\alpha_{24h_day_SAS}$
	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[W]	
1	70	80	30	50	12.8	0.09
2	70	80	70	90	3.5	0.02
3	70	80	110	130	2.6	0.02
4	90	100	30	50	3.7	0.02
5	90	100	70	90	50.3	0.34
6	90	100	110	130	10.6	0.07
7	110	120	30	50	2.4	0.02
8	110	120	70	90	1.3	0.01
9	110	120	110	130	7.5	0.05

1351

Esempio 7-8: Disponibilità di contatori di potenza per beam

1352

Considerando una potenza per beam (P_{Max_beam}) di 150 W si ha:

Beam	$P_{24h_day_beam}$	$\alpha_{24h_day_beam}$
	[W]	
a	21.5	0.14
b	7.7	0.05
c	48.2	0.32
d	5.2	0.03
e	12.9	0.09

1353

1354 **7.3.2.5 Coesistenza di più antenne Massive MIMO**

1355 La probabilità [8]] che due o più sistemi Massive MIMO indipendenti, installati presso lo stesso
1356 sito, irradiano (dirigano i propri fasci) contemporaneamente nello stesso punto e nello stesso
1357 momento è inferiore rispetto alla probabilità che il punto venga irradiato da un singolo sistema.

1358 Per tenere conto della presenza contemporanea di due o più sistemi Massive MIMO che
1359 irradiano lo stesso punto nello stesso momento, viene introdotto un ulteriore fattore di riduzione
1360 della potenza da applicare alla potenza $P_{calcolo}$:

1361
$$P_{calcolo}^{multiMaMIMO} = P_{calcolo} F_{PC}$$

1362 Equazione 7-23

1363 In cui il termine F_{PC} è un termine numerico, limitato superiormente dal valore 1, che tiene conto:

- 1364 • della presenza contemporanea di due o più sistemi MaMIMO che irradiano uno stesso punto
1365 di controllo;
- 1366 • della probabilità che i due o più sistemi irradiano nella stessa direzione e nello stesso istante
- 1367 • della potenza che ogni sistema irradia, che a sua volta dipende dal livello di carico
1368 istantaneo e dalla massima potenza configurata.

1369 A sua volta il fattore di riduzione F_{PC} dipende da due fattori di sistema:

1370
$$F_{PC} = FR_N FR_P$$

1371 Equazione 7-24

1372 In cui

- 1373 • FR_N è un termine statistico che tiene conto della presenza contemporanea di un numero di
1374 sistemi MaMIMO che irradiano lo stesso punto, vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** [8]].
- 1376 • FR_P è un fattore statistico che dipende dal livello di carico e dalla potenza configurata in
1377 ogni sistema, vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**[8]].

1378 **Tabella 7-3 – valore del FR_N per sistemi MaMIMO indipendenti con stessa potenza,**
1379 **collocati presso lo stesso sito**

# sistemi Massive MIMO	FR_N
1 sistemi Massive MIMO (riferimento)	1
2 sistemi Massive MIMO	0,77
3 sistemi Massive MIMO	0,68
4 sistemi Massive MIMO	0,63
5 sistemi Massive MIMO	0,60

1380

1381 **Tabella 7-4 – Rapporto FR_p tra due trasmettitori Massive MIMO indipendenti, collocati**
1382 **presso lo stesso sito**

Rapporto p tra due sistemi MaMIMO indipendenti	FR_p
0,1	0,95
0,2	0,90
0,3	0,86
0,4	0,83
0,5	0,81
0,6	0,80
0,7	0,79
0,8	0,78
0,9	0,78
1	0,77

1383 L'utilizzo del fattore di riduzione F_{PC} può risultare di difficile applicazione per i seguenti motivi:

- 1384 • I casi in cui le potenze P_{conf} siano le stesse per tutti i sistemi MaMIMO sono improbabili
- 1385 • Nel caso in cui i sistemi MaMIMO che contribuiscono ad irradiare lo stesso punto di controllo
1386 appartengano ad operatori diversi non è nota la potenza P_{conf} configurata in antenna degli
1387 altri operatori; quindi, non si hanno elementi per determinare i termini FR_p ;
- 1388 • Non è noto il profilo di traffico dei sistemi degli altri operatori e quindi è estremamente
1389 improbabile che i sistemi irradiano in maniera coerente.

1390 **7.3.3 Fattore dinamico spaziale di riduzione della potenza F_{gr}**

1391 Per le antenne MaMIMO viene fatto uso del diagramma di radiazione involuppo [6.4.2], per
1392 calcolare le quantità dosimetriche da confrontare con il limite di esposizione. Il diagramma di
1393 radiazione involuppo, pur semplificando notevolmente il processo di verifica computazionale,
1394 introduce una sovrastima del livello di esposizione in quanto presuppone che l'antenna
1395 MaMIMO irradia con il massimo della prestazione costantemente su tutta l'area di copertura.

1396 Nella realtà, le antenne MaMIMO distribuiscono la radiazione nello spazio a seconda di dove
1397 c'è richiesta di servizio (e non nelle altre direzioni) con un beam specifico ben più stretto rispetto
1398 al diagramma di radiazione involuppo e solo per il tempo necessario a soddisfare il servizio
1399 richiesto.

1400 Abbiamo già visto come l'introduzione dei fattori F_{pr} [7.3.1] e a_{24} [7.3.2] tengano conto della
1401 statistica temporale della potenza totale generata da un'antenna, sia passiva che MaMIMO.
1402 Analogamente al fattore F_{pr} può essere introdotto un ulteriore fattore di riduzione della potenza
1403 F_{gr} , solo per le antenne MaMIMO, che può essere utilizzato nella valutazione sia del limite di
1404 esposizione che dell'obiettivo di qualità/valore di attenzione.

1405 Il fattore di riduzione della potenza F_{gr} è un valore numerico adimensionale ≤ 1.0 che tiene
1406 conto, statisticamente, di come la potenza si distribuisce spazialmente sull'area di copertura
1407 nell'arco dell'intervallo temporale di osservazione (6 minuti per il limite di esposizione e 24 ore
1408 nel caso dell'obiettivo di qualità/valore di attenzione).

1409 Al pari del fattore F_{pr} [7.3.1], il fattore F_{gr} comporta la possibilità della verifica del valore
1410 utilizzato tramite l'utilizzo di uno o più contatori, anche attraverso un'eventuale loro
1411 elaborazione.

1412 Un esempio di calcolo del fattore F_{gr} è mostrato in [3].

1413 Nel caso in cui non ci si avvalga del fattore F_{gr} , esso viene posto pari ad 1.0.

1414 7.4 Limitazione automatica della potenza o dell'EIRP

1415 La funzionalità di limitazione automatica della potenza [2] e dell'EIRP può essere implementata
1416 dalla BTS attraverso l'analisi dei contatori di potenza (totale, per direzione o per fascio) che
1417 effettuano un monitoraggio continuo della potenza istantanea trasmessa, agendo come
1418 limitatore nel caso in cui il valore di potenza mediato su uno specifico intervallo di tempo risulti
1419 suscettibile di eccedere un valore di soglia impostato nel sistema.

1420 L'attivazione della limitazione automatica della potenza o EIRP pone un limite superiore al
1421 termine F_{pr} inserirei il riferimento al paragrafo dove si definisce F_{pr} .

1422 L'effetto di tale sistema può essere descritto con l'introduzione di un fattore di attenuazione ρ_{LP}
1423 che agisce sul valore della potenza configurata (P_{conf}) secondo la relazione:

$$1424 P_{LP} = P_{conf} \times \rho_{LP}$$

1425 Equazione 7-25

1426 dove P_{LP} è il massimo valore della potenza media sull'intervallo temporale considerato (es:6
1427 minuti): il valore istantaneo di potenza trasmessa può oscillare tra 0 e P_{conf} , ma il valore medio
1428 della potenza sullo specifico intervallo di tempo (es: 6 minuti) non supera mai P_{LP} .

1429 Se la funzione di limitazione della potenza non è attiva ρ_{LP} è uguale a 1.

1430 Nel caso in cui i contatori utilizzati effettuino un monitoraggio per settore angolare (SA) o per
1431 fascio, il fattore di attenuazione sarà una funzione dell'angolo solido o del fascio:

$$1432 P_{LP}(SA) = P_{conf} \times \rho_{LP}(SA)$$

1433 Equazione 7-26

$$1434 P_{LP}(\text{fascio}) = P_{conf} \times \rho_{LP}(\text{fascio})$$

1435 Equazione 7-27

1436 Nota – le quantità riportate nelle equazioni Equazione 7-25, Equazione 7-26, Equazione 7-27
1437 sono relative ad antenne MaMIMO:

1438 Nel caso di attivazione della funzionalità di limitazione automatica della potenza, la grandezza
1439 P_{LP} coincide con la potenza di calcolo $P_{calcolo}$ ai fini del confronto con i limiti normativi mediati
1440 sullo specifico intervallo di tempo, senza aggiunta quindi di ulteriori fattori di riduzione.

1441 Un approccio equivalente può essere considerato nel caso di funzionalità di limitazione
1442 automatica dell'EIRP. In tal caso l'Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.,
1443 Equazione 7-26 e l'Equazione 7-27 diventano:

$$1444 EIRP_{LP} = EIRP_{conf} \times \rho_{LP} = P_{conf} \times G \times \rho_{LP}$$

1445 Equazione 7-28

1446 dove G è il massimo guadagno dell'antenna

$$1447 EIRP_{LP}(SA) = G(SA) \times P_{conf} \times \rho_{LP}(SA)$$

1448 Equazione 7-29

1449 dove G è il massimo guadagno del settore angolare

1450

$$1451 EIRP_{LP}(\text{fascio}) = G(\text{fascio}) \times P_{conf} \times \rho_{LP}(\text{fascio})$$

1452 Equazione 7-30

1453 NOTA le quantità riportate nelle equazioni 7-29 e 7-30 sono relative ad antenne MaMIMO.

1454 **8 Stima del campo Elettromagnetico**

1455 In questo capitolo sono riportate le indicazioni procedurali necessarie per l'analisi previsionale
1456 del livello di esposizione al campo elettromagnetico irradiato da un impianto trasmittente delle
1457 comunicazioni mobili.

1458 Sono forniti i criteri per la scelta dei punti di controllo e le metodologie da utilizzare per la
1459 determinazione del livello di esposizione indicandone, laddove possibile, limiti e criteri di
1460 applicabilità. Sono forniti, inoltre, criteri per la gestione del fondo elettromagnetico nella
1461 determinazione del livello di esposizione.

1462 **8.1 Scelta dei punti di controllo**

1463 Il punto di controllo è un punto di indagine per la verifica del rispetto dei limiti normativi del
1464 campo elettromagnetico, solitamente individuato su carta tecnica digitale (CTR, DTM,
1465 aerofotogrammetrica, topografica, satellitare, etc.) in un'area significativa per l'analisi
1466 previsionale rispetto alla posizione di installazione del Sistema Sotto Indagine (SSI).

1467 Quest'area può avere una forma irregolare perché dipende, oltre che dalle caratteristiche
1468 tecniche del sistema, anche dalla conformazione del terreno, dalla presenza di edificato, ecc.

1469 I dati con le informazioni cartografiche del sito da fornire agli enti di controllo sono quelli indicati dalla
1470 normativa di settore nazionale **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, regionale o locale.

1471 Nel seguito del capitolo verranno descritti metodi per l'individuazione dei punti di controllo e
1472 delle aree di influenza del sistema sotto esame.

1473 Nel caso in cui le verifiche del rispetto dei limiti normativi interessino istanze di riconfigurazione
1474 di impianti già autorizzati, sarebbe opportuno individuare i punti di controllo a partire da quelli
1475 già presenti nell'ultima istanza autorizzata, ricorrendo eventualmente a un sopralluogo tecnico
1476 per verificare la reale situazione e l'effettiva corrispondenza dell'analisi effettuata con i luoghi
1477 della zona di interesse.

1478 Di seguito sono elencati alcuni criteri utili nell'individuazione dei punti di controllo:

- 1479 • Scegliere un numero significativo di punti di controllo, tipicamente nelle direzioni di massimo
1480 irraggiamento.
- 1481 • Considerare, in caso di presenza di più sorgenti nell'area di analisi, punti di controllo
1482 aggiuntivi volti a determinare il contributo previsionale congiunto.
- 1483 • Individuare punti di controllo su obiettivi sensibili, strutture, edifici e luoghi potenzialmente
1484 più esposti all'irradiazione del campo ad una quota idonea, anche nei pressi dell'impianto
1485 se ciò fosse utile ai fini della valutazione dell'esposizione.
- 1486 • Prendere in considerazione punti di controllo previsti in sessioni di misura di livello di campo
1487 eseguite secondo le modalità previste nella Guida CEI 211.7 [9].
- 1488 • I punti di controllo sono individuati all'interno dell'area di raggio di 100 m dall'impianto,
1489 comunque nell'ambito della cartografia fornita ed eventualmente integrata con punti di
1490 controllo aggiuntivi laddove ci fossero esigenze specifiche.

1491 La posizione del punto di controllo deve essere scelta in modo tale da garantire che l'analisi
1492 previsionale sia fatta nel punto più esposto. In territori pianeggianti, in prossimità dell'impianto,
1493 questa scelta molte volte ricade sugli ultimi piani degli edifici poiché le altezze sono
1494 paragonabili a quella del centro elettrico delle antenne.

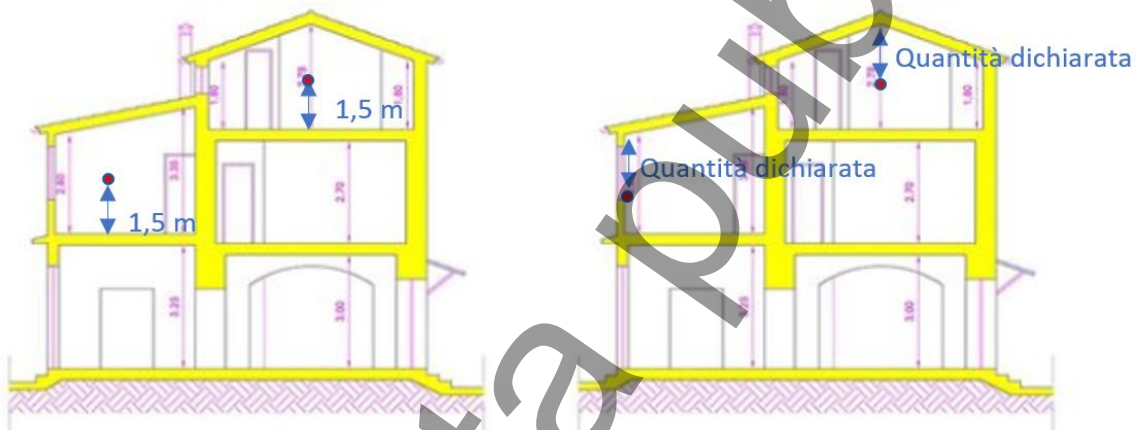
1495 Vi sono però diverse situazioni in cui il punto a maggior impatto potrebbe non trovarsi sui piani
1496 più elevati di un edificio ma a piani intermedi dell'edificio stesso (ad esempio in presenza di
1497 territori montani, in presenza di grattacieli oppure a grande distanza, etc.); in tali situazioni la
1498 scelta dei punti di controllo potrebbe richiedere una analisi aggiuntiva tenendo in
1499 considerazione diverse altezze.

1500 Una volta individuata la posizione, il punto di controllo è posto ad una altezza pari a 1.5 m dal
1501 piano di calpestio, come richiesto dalla legislazione vigente [3] Figura 8-1 a).

1502 Qualora non possa essere determinata la quota precisa del piano di calpestio è possibile:

- 1503 • riferirsi a regolamenti locali che determinino criteri e/o linee guida per la determinazione
1504 della quota di calpestio;
- 1505 • definire criteri di approssimazione in modo che la quota del punto di controllo, rispetto al
1506 piano di calpestio, sia quanto più possibile prossima ad 1.5 m - compatibilmente con le
1507 informazioni in possesso (ad esempio togliendo una quantità dichiarata alla quota del colmo
1508 o aggiungendo una quantità dichiarata dalla quota della gronda come mostrato nella Figura
1509 8-1 b). Il criterio adottato, ed eventuali riferimenti a documentazione, deve essere riportato
1510 nel rapporto di verifica computazionale, Capitolo 10.

1511 L'effetto di eventuali errori di posizionamento delle antenne nelle analisi previsionali rispetto ai
1512 punti di controllo risulta difficilmente gestibile; tuttavia, errori di posizionamento inferiore al
1513 metro sono da considerarsi in generale accettabili.



1514
1515

Figura 8-1 a)

Figura 8-1 b)

1516 Le posizioni dei punti di controllo sono poi generalmente rappresentate in una planimetria in
1517 scala dell'area di installazione, e le relative informazioni di localizzazione geografica sono
1518 riassunte in forma tabellare attraverso l'indicazione di almeno i seguenti parametri o parametri
1519 dai quali possano essere ricavabili le seguenti informazioni minime:

- 1520 • la distanza in pianta tra il punto di controllo e il centro elettrico dell'antenna di riferimento
- 1521 • l'angolo sotto cui è visto il punto dal sistema radiante (sul piano orizzontale riferito al nord
1522 geografico)
- 1523 • la differenza tra la quota del centro elettrico dell'antenna di riferimento e quella del punto
1524 di controllo o l'altezza del punto di controllo riferito alla quota sul livello del mare della base
1525 dell'impianto

1526 Per ciascun punto di controllo si riporta il limite normativo di riferimento con cui confrontare il
1527 valore di campo previsionale.

1528 Altre modalità di rappresentazione sono possibili e dovranno riportare le informazioni
1529 necessarie al fine dell'individuazioni del punto di controllo.

1530 Se il punto di controllo si trova all'interno degli edifici bisogna tener conto che il campo viene
1531 modificato sostanzialmente a seconda della presenza o meno di aperture, se queste sono
1532 aperte o chiuse, dal tipo di muratura, dalla disposizione e dal tipo di arredamento, ecc.

1533 Per la metodologia e l'attenuazione da considerare per riportare il livello di esposizione
 1534 dall'esterno all'interno dell'edificio, fare riferimento alla normativa eventualmente applicabile
 1535 [5].

1536 **8.1.1 Approfondimenti ed esempi pratici: punti di controllo**

1537 **Esempio 8-1: tabella di esempio dei punti di controllo**

1538

Punto controllo	di	qslm_base (m)	qslm_punto (m)	hsls (m)	h (m)	d (m)	Azimut (°N)	h _{PC} (m)	Limite
SISTEMA		1000	-	-		-	-		
1		1000	1015	15	15	125	48	1.5	Limite di Esposizione
2		1002	1020	20	18	78	33	1.5	Valore di Attenzione e Obiettivo di Qualità
3		992	1010	10	8	97	65	1.5	Valore di Attenzione e Obiettivo di Qualità

1539

1540 • qslm_base : quota assoluta sul livello del mare della base del sistema e/o della base del
 1541 punto

1542 • qslm_punto : quota assoluta sul livello del mare del punto

1543 • hsls: altezza del punto rispetto al terreno

1544 • h: altezza del punto rispetto alla qslm del terreno dell'impianto

1545 • d: distanza minima in pianta tra il punto ed il sistema radiante che fornisce il maggior
 1546 contributo

1547 • azimut: angolo sotto cui è visto il punto dal sistema radiante sul piano orizzontale riferito al
 1548 nord geografico

1549 • h_{PC}: altezza dal piano di calpestio

1550 • Limite: limite di riferimento normativo attribuibile al punto

1551 In questo caso la differenza tra qslm_punto e qslm_base , relativa al punto fornisce l'altezza dal
 1552 suolo del punto stesso, mentre la differenza tra qslm_base del sistema con quella del punto
 1553 definisce la differenza di quota tra le due basi.

1554 **Esempio 8-2: tabella di esempio dei punti di controllo**

Punto di controllo	Cella	C.E.	Azimut (°N)	d(m)	Δh (m)	h _{PC} (m)	Limite
SISTEMA	-	27.5	-	-	-		
1	2		180	2	26.0	1.5	Limite di Esposizione
2	1		8	48	21.4	1.5	Valore di Attenzione e Obiettivo di Qualità
						1.5	Valore di Attenzione e Obiettivo di Qualità

1555

1556 Dove:

1557 • Cella: cella del sistema in analisi che fornisce il maggior contributo di campo nel punto in
 1558 esame

1559 • C.E.: Altezza rispetto alla base del sistema del Centro Elettrico dell'antenna

- 1560 • Azimut: angolo sotto cui è visto il punto dal sistema radiante sul piano orizzontale riferito al
- 1561 nord geografico
- 1562 • d: distanza minima in pianta tra il punto ed il sistema radiante che fornisce il maggior
- 1563 contributo
- 1564 • Δh : differenza in quota tra il centro elettrico di tale sistema e il punto
- 1565 • h_{PC} : altezza dal piano di calpestio
- 1566 • Limite: limite di riferimento normativo attribuibile al punto

1567 **Esempio 8-3: tabella di esempio dei punti di controllo**

Punto di controllo	Cella	Azimut(°N)	D (m)	qslm_base (m)	hsls (m)	Δh (m)	h_{PC} (m)	Limite
SISTEMA				157.2				
1	1-2	254	173.4	156.5	15.8	14.90	1.5	Limite di Esposizione

1568 Dove:

- 1570 • Cella: cella del sistema in analisi che fornisce il maggior contributo di campo nel punto in
- 1571 esame
- 1572 • Azimut: angolo sotto cui è visto il punto dal sistema radiante sul piano orizzontale riferito al
- 1573 nord geografico
- 1574 • d: distanza minima in pianta tra il punto ed il sistema radiante che fornisce il maggior
- 1575 contributo
- 1576 • qslm_base: quota assoluta sul livello del mare della base del sistema e/o della base del punto
- 1577 (m)
- 1578 • hsls: altezza del punto rispetto al terreno
- 1579 • Δh : differenza in quota tra il centro elettrico di tale sistema (CE=30m) e il punto
- 1580 • h_{PC} : altezza dal piano di calpestio
- 1581 • Limite: limite di riferimento normativo attribuibile al punto

1582 **Esempio 8-4: tabella di esempio dei punti di controllo**

1583 Avendo a disposizione una cartografia che riporti le quote sul livello del mare assolute di tutti

1584 gli edifici.

1585

Punto di controllo	Cella	Azimut (°N)	d(m)	qslm_punto (m)	h(m)	h_{PC} (m)	Limite
PUNTO 1	1-2	254	173.4	183.2	26.2	1.5	Valore di Attenzione e Obiettivo di Qualità

- 1586 • Cella: cella del sistema in analisi che fornisce il maggior contributo di campo nel punto in
- 1587 esame
- 1588 • Azimut: angolo sotto cui è visto il punto dal sistema radiante sul piano orizzontale riferito al
- 1589 nord geografico
- 1590 • d: distanza minima in pianta tra il punto ed il sistema radiante che fornisce il maggior
- 1591 contributo
- 1592 • qslm_punto : quota assoluta sul livello del mare del punto
- 1593 • h: altezza del punto rispetto alla qslm della base dell'impianto (157 m)
- 1594 • h_{PC} : altezza dal piano di calpestio

- 1595 • Limite: limite di riferimento normativo attribuibile al punto

1596 **8.1.2 Approfondimenti ed esempi pratici: cartografia**

1597 Per poter procedere all'individuazione dei punti di controllo è indispensabile la presentazione
 1598 di una cartografia che riesca a fornire indicazioni chiare ed univoche relative all'edificio
 1599 prossimo alle sorgenti.

1600 Più precisamente la rappresentazione cartografica deve essere quanto più possibile aggiornata
 1601 e dettagliata e deve indicare le altezze degli edifici e dare informazioni relative ai dislivelli della
 1602 quota del terreno.

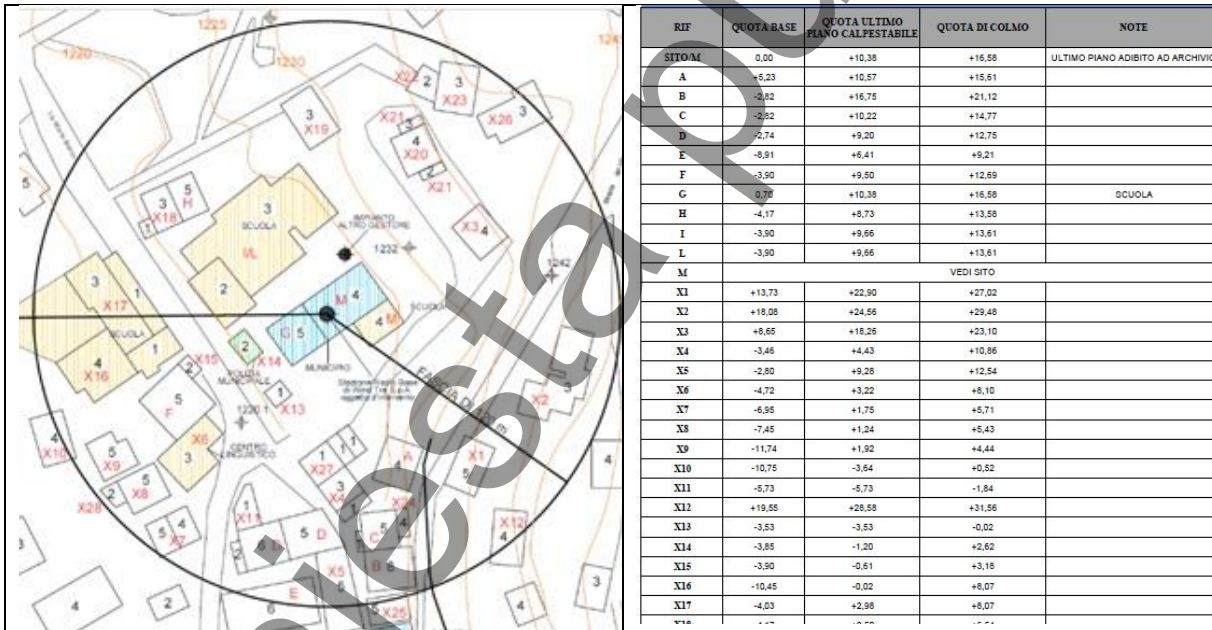
1603 Seguono alcuni esempi di cartografia completa dei requisiti minimi richiesti e un esempio di
 1604 cartografia che non fornisce tutti gli elementi necessari.

1605 **Esempio 8-5**

1606 In questo esempio si riportano due modalità diverse di rappresentazione cartografica relativa
 1607 allo stesso sito; in entrambi i casi le informazioni risultano complete.

1608 **Prima modalità**

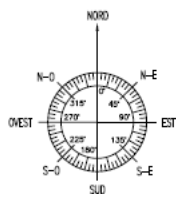
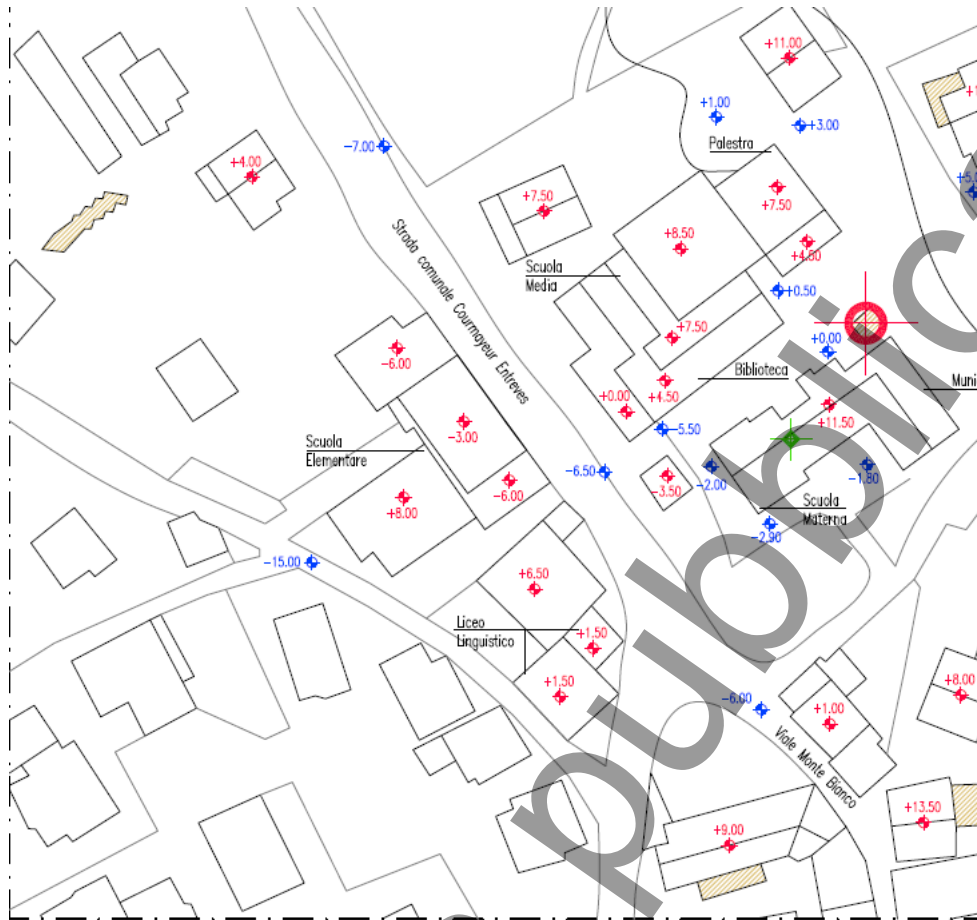
1609 Ogni edificio è identificato con una lettera. Dalla tabella è possibile ottenere l'informazione
 1610 relativa all'altezza del palazzo (quota di colmo) e quella relativa ai dislivelli di quota del terreno.



1611 **Seconda modalità**

1613 Nella cartografia sono riportate le altezze del piano di calpestio dell'ultimo piano abitabile degli
 1614 edifici (in rosso) e i dislivelli della quota del terreno (in blu) rispetto alla quota 0.00 di progetto
 1615 della base dell'impianto.

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali



LEGENDA

- PUNTO DI INSTALLAZIONE S.R.B. VODAFONE
quota ±0.00 di progetto coincidente con +1225.00 m s.l.m.
- IMPIANTO DI ALTRO GESTORE
- QUOTE ALTIMETRICHE TERRENO riferite a +0.00 di progetto
- QUOTE PIANO DI CALPESTIO DELL'ULTIMO PIANO ABITABILE
riferite a +0.00 di progetto
- EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA O UFFICIO
- EDIFICI NON ADIBITI A RESIDENZA

1616
1617

1618 **Esempio 8-6**

1619 Cartografia con quote assolute sul livello del mare degli edifici e del suolo; si abbina alla tabella
1620 dell'Esempio 8-4.

1621

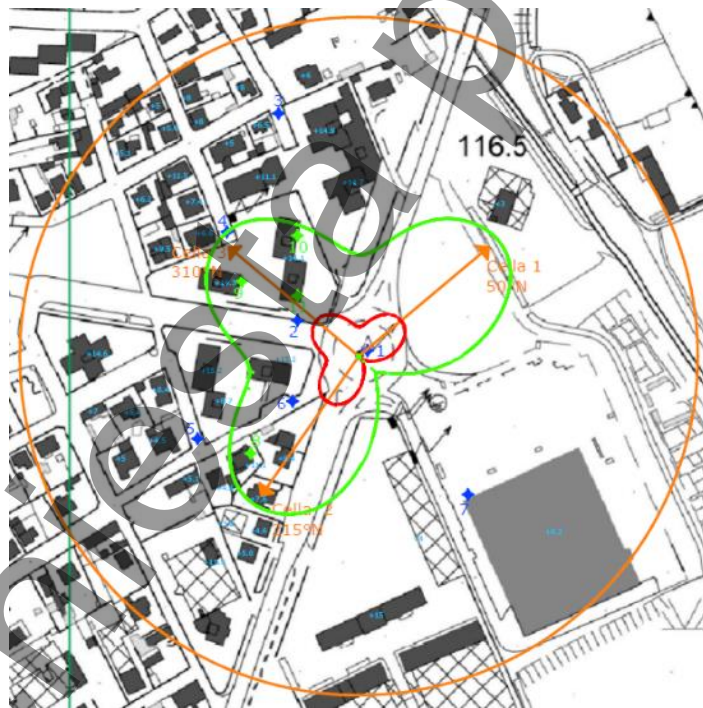
Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali



1622
1623

1624 **Esempio 8-7**

1625 Nella cartografia sono presenti le altezze degli edifici ma non viene riportata la quota sul livello
1626 del mare del terreno.
1627

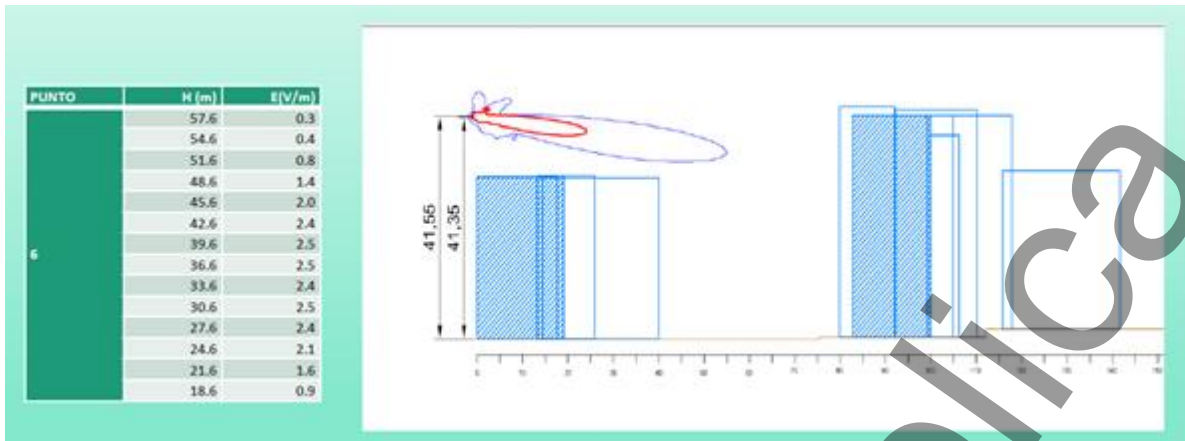


1628
1629
1630

1631 **8.1.3 Approfondimenti ed esempi pratici: scelta dei punti di controllo**

1632 **Esempio 8-8**

1633 In ambito urbano, quando l'impianto è situato in prossimità di edifici molto alti (es. grattacieli)
1634 la scelta del piano più esposto potrebbe non ricadere all'ultimo piano dell'edificio stesso.

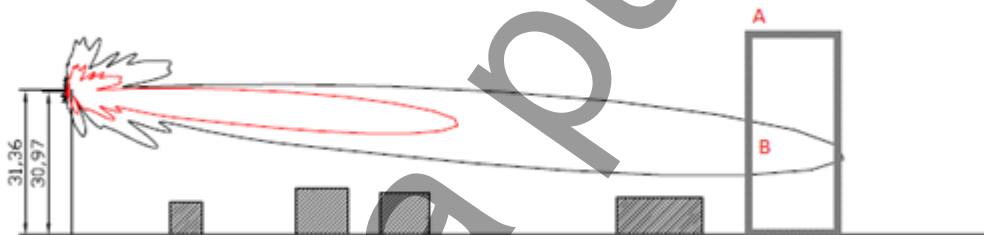


1635
1636
1637

1638 **Esempio 8-9**

1639 In presenza di impianti configurati con down tilt elettrico o meccanico maggiore di 0, potrebbero
1640 risultare maggiormente esposti i piani più bassi di un edificio posto in lontananza.

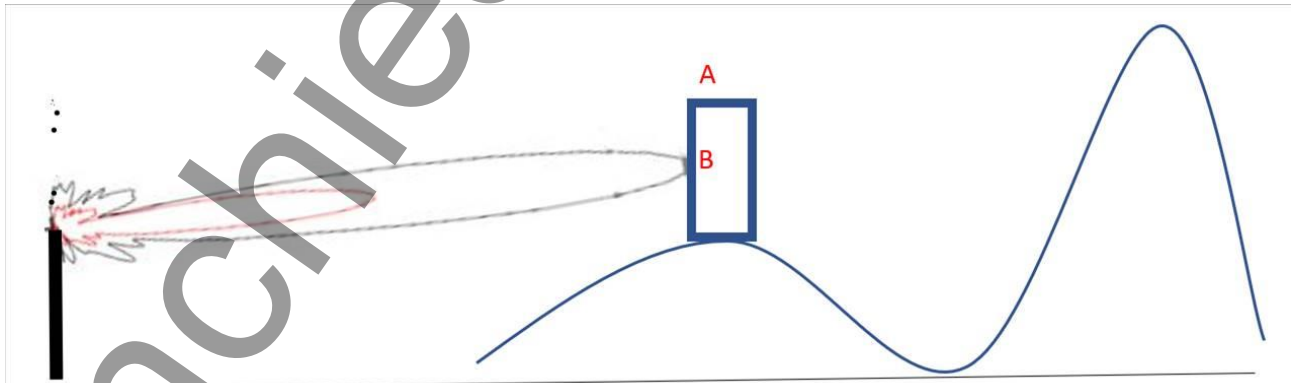
CELLA 1



1641
1642

Esempio 8-10

1643 Nel caso di presenza di rilievi montani o collinari, la scelta dell'altezza del punto di controllo
1644 deve essere analizzata ponendo particolare attenzione ai tilt elettrici e meccanici configurati e
1645 al dislivello del terreno.



1646
1647

1648 8.2 Metodologie Previsionali per il calcolo dei livelli di campo

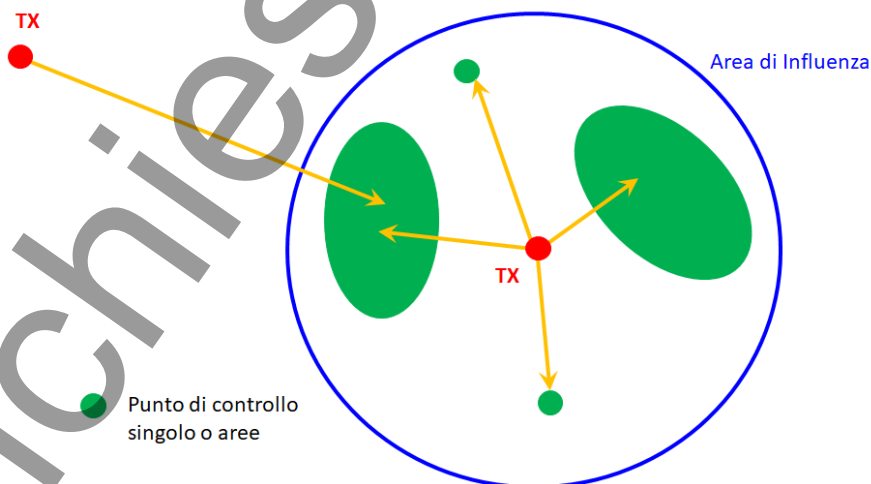
1649 Il paragrafo presenta le metodologie di calcolo del campo elettromagnetico e della densità di
1650 potenza in un punto di controllo. Il capitolo indica il processo da seguire al fine di stabilire il
1651 livello di esposizione secondo un approccio a passi successivi. La determinazione del
1652 coefficiente di conformità utilizzato per stabilire il rispetto di un limite è descritto nel paragrafo
1653 5.2 .

1654 8.2.1 Area di influenza

1655 In tutte le metodologie di calcolo previste in questa guida (paragrafi 8.2.2, 8.2.3 e 8.2.4), almeno
1656 nella prima fase di indagine, può essere utile individuare un'area di influenza di forma circolare
1657 centrata sull'SSI all'interno della quale prendere in considerazione gli impianti che possono
1658 generare contributi all'esposizione. Tenuto conto che:

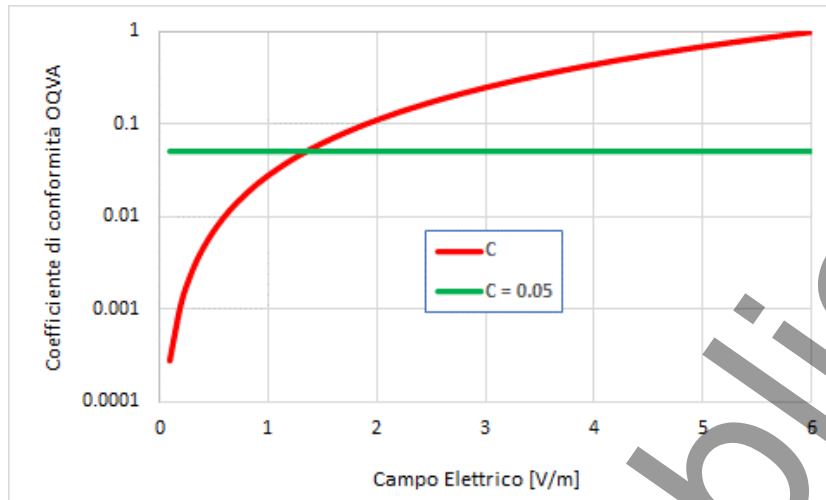
- 1659 1. l'SSI, per il quale la verifica computazionale viene eseguita, risulterà conforme in base al
1660 contesto in cui viene dispiegato ed in base al limite di riferimento normativo adottato
- 1661 2. che ci possono essere contributi provenienti da sorgenti che sono all'esterno dell'area di
1662 influenza che non possono essere trascurati in quanto forniscono un apporto
1663 all'esposizione
- 1664 3. che la dimensione dell'area di influenza può essere aumentata o diminuita in base a
1665 specifiche esigenze, le cui motivazioni sono da indicare nel rapporto della conformità
1666 previsionale
- 1667 4. che la dimensione dell'area entro cui è necessario fornire i dati cartografici è regolata da
1668 leggi nazionali o locali e tale area può non coincidere con l'area di influenza, come indicato
1669 in 8.1.
- 1670 5. nella norma CEI/IEC 62232:2022 [7] è definito l'Exposure Ratio (ER), equivalente al
1671 coefficiente di conformità di una sorgente (vedere 5.2.1), e sono definite rilevanti le sorgenti
1672 per le quali l'ER è maggiore o uguale a 0.05.
- 1673 6. tenuta in considerazione l'analisi statistica della distribuzione di EIRP riportata in
1674 Appendice G

1675 Il campo elettrico per il quale si ottiene un coefficiente di conformità pari a 0.05 (CEI/IEC
1676 62232:2022) è mostrato nella Figura 8-2 e risulta essere pari a 1.3 V/m se riferito al limite
1677 normativo espresso in termini di Obiettivo di Qualità e Valore di Attenzione.



1678
1679

1680 **Figura 8-2 - Area di Influenza e contributi alla determinazione dell'esposizione**



1681

1682

1683

Figura 8-3 - Exposure Ratio in funzione del limite normativo espresso in termini di Obiettivo di Qualità e Valore di Attenzione.

1684

Utilizzando, in via cautelativa, l'espressione del raggio di influenza ottenibile secondo la formula di propagazione in spazio libero

1685

$$R_{AreaInfluenza} = \frac{\sqrt{30 \times EIRP}}{E_{ER}}$$

1686

Equazione 8-1

1687

dove:

1688

- $R_{AreaInfluenza}$ = raggio dell'area di influenza (m)

1689

- EIRP = EIRP (W) del sistema

1690

- E_{ER} è il Campo elettrico, in V/m, relativo ad un ER pari a 0.05

1691

Ipotizzando un EIRP medio pari a 4500 W, come indicato in Appendice G ed utilizzando un valore di campo elettrico pari a 1.3 V/m vedi Figura 8-3 - Exposure Ratio in funzione del limite normativo espresso in termini di Obiettivo di Qualità e Valore di Attenzione., si ottiene un raggio dell'area di influenza pari a 280 m (1).

1692

1693

1694

1695 8.2.2 Metodo di calcolo basato sul Modello di Propagazione in Spazio Libero (MSL)

1696

Sulla base dei concetti e delle definizioni esposte ai paragrafi precedenti, è possibile presentare un metodo di calcolo semplificato del campo elettromagnetico in un punto dello spazio.

1697

1698

La semplificazione consiste nel calcolare il livello di esposizione utilizzando una formulazione valida in condizioni di campo lontano e di spazio libero (LoS) [4], trascurando riflessioni da parte di terreno, di infrastrutture, vegetazione e strutture orografiche eventualmente presenti. Per i sistemi radiomobili, la "condizione di spazio libero" - in cui la propagazione di un'onda può essere esaminata assumendo che il campo elettromagnetico si propaghi imperturbato nel vuoto o comunque in un mezzo dotato di caratteristiche elettromagnetiche costanti, prescindendo da fenomeni quali riflessioni e diffrazioni causate da ostacoli di qualunque genere - è puramente teorica. Tali assunzioni portano, nella maggior parte dei casi, ad una sovrastima dell'esposizione.

1699

1700

1701

1702

1703

1704

1705

1706

1707

NOTA il termine "nella maggior parte dei casi" si riferisce al caso teorico di somma in fase di contributi riflessi da un piano metallico perfetto e perfettamente piano, situazione che se pur teoricamente si possa presentare nei casi reali

1708

¹ A titolo di esempio, con un EIRP all'85-esimo percentile pari a 8780 W, come indicato in Appendice G, si ottiene un raggio dell'area di influenza pari a 400 m.

1709 è ben lungi da rappresentare un caso pratico a causa della rugosità delle superfici e dalle perdite elettromagnetiche
1710 dei piani di riflessione.

1711 L'applicazione del modello MSL si basa sulle seguenti assunzioni:

- 1712 • il punto di controllo è considerato essere posto nella regione di campo lontano dell'antenna
1713 (vedere paragrafo 6.1)
- 1714 • i meccanismi di interazione elettromagnetica con l'ambiente circostante (riflessione,
1715 rifrazione e diffrazione) non sono considerati
- 1716 • la riflessione da terreno non viene considerata
- 1717 • la propagazione avviene in un ambiente omogeneo
- 1718 • è nota la funzione guadagno dell'antenna

1719 Considerando tali assunzioni, l'esposizione generata in un punto di controllo da un singolo
1720 trasmettitore è pari a

1721
$$S(r, \theta, \varphi) = \frac{P_{\text{calcolo}} G(\theta, \varphi)}{4\pi r^2}$$

1722 Equazione 8-2

1723 Applicando la relazione d'impedenza (Equazione 6-1) con le unità di misura del SI, si ricavano
1724 i valori efficaci del campo elettrico e del campo magnetico, rispettivamente:

1725
$$E(r, \vartheta, \varphi) = \frac{\sqrt{30P_{\text{calcolo}} G(\theta, \varphi)}}{r}$$

1726 Equazione 8-3

1727
$$H(r, \vartheta, \varphi) = \frac{\sqrt{30P_{\text{calcolo}} G(\theta, \varphi)}}{Z_0 r}$$

1728 Equazione 8-4

1729 dove:

- 1730 • r, θ, φ sono le coordinate del punto di controllo espresse in un sistema di coordinate sferico
1731 riferito al centro elettrico della sorgente
- 1732 • S è la densità di potenza nel punto di controllo
- 1733 • P_{calcolo} è la potenza trasmessa definita secondo quanto indicato nel capitolo 7 che
1734 dipende dal limite normativo da verificare;
- 1735 • $G(\theta, \varphi)$ è il guadagno dell'antenna nella direzione congiungente il suo centro elettrico con
1736 il punto di controllo espresso in lineare ($P(W) = 10^{-3} \times 10^{\frac{P(dBm)}{10}}$ Equazione 7-5).
- 1737 • Z_0 è l'impedenza caratteristica del vuoto

1738 Non è possibile associare un livello di incertezza al modello MSL in quanto non contestualizzato
1739 e non rappresentativo dello scenario elettromagnetico analizzato.

1740 Le modalità per il calcolo dell'esposizione totale nel punto di controllo e le procedure per il
1741 confronto con i limiti normativi sono indicate nel capitolo 5.2.

1742 **Tabella 8-1: Esempio di applicazione del modello MSL**

Distanza (*)	Guadagno	Potenza	S_{MSL}	E_{MSL}	H_{MSL}
[m]	[dBi]	W	W/m ²	[V/m]	[A/m]
52.3	19.96	198.44	0.5720	14.7	0.0390
22.8	21.49	201.64	4.3501	40.5	0.1074
92.8	25.65	196.67	0.6675	15.9	0.0421
106.7	22.37	193.50	0.2334	9.4	0.0249
57.8	26.48	208.04	2.2033	28.8	0.0764
149.8	21.03	193.56	0.0870	5.7	0.0152
139.8	25.34	190.33	0.2650	10.0	0.0265
99.3	23.46	192.80	0.3451	11.4	0.0303
45.5	22.83	208.30	1.5362	24.1	0.0638
108.3	23.83	195.21	0.3199	11.0	0.0291

1743 (*) Si intende la distanza lineare tra punto di controllo e centro elettrico del trasmettitore.

1744 **8.2.3 Metodo di calcolo basato sul Modello di Spazio Libero Pesato (MSLP)**

1745 L'approccio MSL descritto in 8.2.2, pur essendo di semplice applicazione, prescindendo da
1746 fenomeni quali riflessioni e diffrazioni causate da ostacoli di qualunque genere, nella totalità
1747 dei casi, fornisce una stima dell'esposizione sovradimensionata.

1748 Ampia è la bibliografia in cui sono descritti modelli di propagazione in ambienti e scenari di
1749 tipologia differente [Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.], [5][6][7][8] che possono
1750 esser utilizzati per il calcolo del contributo di campo elettrico, magnetico o densità di potenza
1751 in un punto di controllo; per i fini specifici di questa guida viene proposto il modello descritto
1752 nel seguito.

1753 Il modello MSLP si basa su un approccio di tipo MSL al quale è sommato, laddove necessario,
1754 un contributo aggiuntivo di attenuazione per tenere conto degli ostacoli che si interpongono alla
1755 linea di vista tra il centro elettrico dell'antenna trasmittente ed il punto di controllo.

1756 La procedura di calcolo basato su MSLP si basa sui seguenti passi:

- 1757 1. Definire l'area di influenza del sistema nell'area servita
- 1758 2. Definire la retta congiungente il centro elettrico dell'antenna trasmittente ed il punto di
1759 controllo
- 1760 3. Definire il numero e la natura degli ostacoli che si interpongono tra punto di controllo e
1761 trasmettitore sulla retta congiungente definita al punto 2. Per definire numero e tipologia di
1762 ostacoli è possibile far uso di mappe cartografiche dell'area di interesse o della conoscenza
1763 sul territorio che porta ad escludere la condizione NLoS.
- 1764 4. Se il numero degli ostacoli è diverso da zero:
- 1765 4.1. se l'ostacolo è rappresentato da un rilievo di origine naturale (collina, dosso, ecc.) la
1766 sorgente viene esclusa dal calcolo dell'esposizione ed il suo contributo è nullo;

1767 4.2. se l'ostacolo è rappresentato da edifici o da singole pareti, determinare il numero delle
 1768 pareti interposte tra punto di controllo e sorgente sulla retta congiungente definita al
 1769 punto 2. Un edificio viene contabilizzato come 2 pareti. Fare riferimento all'Appendice
 1770 D in cui sono descritti i criteri per caratterizzare un edificio.

1771 5. Calcolare il contributo all'esposizione generato da un singolo trasmettitore nel punto di
 1772 controllo attraverso:
 1773

1774
$$S(p, f) = S_{MSL}(p) 10^{\frac{-N BEL(f)}{10}}$$

 1775 Equazione 8-5

1776
$$E^2(p, f) = E_{MSL}^2(p) 10^{\frac{-N BEL(f)}{10}}$$

 1777 Equazione 8-6

1778
$$H^2(p, f) = H_{MSL}^2(p) 10^{\frac{-N BEL(f)}{10}}$$

 1779 Equazione 8-7

1780 In cui:

- 1781 • p è la posizione del punto di controllo rispetto al centro elettrico dell'antenna del
 1782 trasmettitore considerato
- 1783 • f è la frequenza
- 1784 • S_{MSL} , E_{MSL} , H_{MSL} sono, rispettivamente, la densità di potenza, il campo elettrico ed il campo
 1785 magnetico calcolati in spazio libero secondo quanto indicato in 8.2.2.
- 1786 • N è il numero di pareti che si interpongono sulla linea congiungente il centro elettrico
 1787 dell'antenna del trasmettitore considerato ed il punto di controllo, con le seguenti accezioni.
 - 1788 • Un edificio conta come 2 pareti.
 - 1789 • Muri singoli contano come una parete (es: un muro di recinzione)
 - 1790 • Se non ci sono pareti interposte $N = 0$ e il contributo si riconduce al contributo valutato
 1791 con il modello MSL
 - 1792 • Se sulla retta congiungente si presenta un ostacolo di origine naturale (es: collina,
 1793 dosso, etc) il contributo all'esposizione è nullo.
 - 1794 • BEL(f) è l'attenuazione aggiuntiva da singola parete come indicato in tabella Tabella
 1795 8-2. Fare riferimento al paragrafo Appendice D in cui è descritto il processo con cui
 1796 sono stati ottenuti i valori di BEL.

Tabella 8-2: Building Entry Loss (BEL) per singola parete

Frequenza	BEL
	[dB]
$f \leq 3$ GHz	4
3 GHz $< f \leq 10$ GHz	8
$f > 10$ GHz	11

1798
 1799 Le modalità per il calcolo dell'esposizione totale nel punto di controllo e le procedure per il
 1800 confronto con i limiti normativi sono indicate nel capitolo 5.2.

1801 **8.2.3.1 Approfondimenti ed esempi pratici**

1802 **Esempio 8-11**

1803 **Tabella 8-3:** Esempio di calcolo di contributi singoli di Campo Elettrico in un punto di controllo

Frequenza	Distanza (*)	Guadagno	Potenza	E_{MSL}	Pareti	BEL	E
[GHz]	[m]	[dBi]	W	[V/m]		[dB]	[V/m]
1.0	40.0	23.00	250.00	30.6	4	4.0	4.8
					5	4.0	3.1
5.0					4	8.0	0.8
					5	8.0	0.3
20.0					4	11.0	0.2
					5	11.0	0.1

1804 (*) Si intende la distanza lineare tra unto di controllo e centro elettrico del trasmettitore.

1805 **8.2.4 Metodo di calcolo basato su tecniche di Ray-Tracing (MRT)**

1806 Con l'espressione "condizione di spazio libero" normalmente ci si riferisce alla situazione,
 1807 puramente teorica, in cui la propagazione di un'onda si assuma avvenga nel vuoto, o comunque
 1808 in un mezzo dotato di caratteristiche elettromagnetiche costanti, prescindendo tutti i fenomeni
 1809 di interazione elettromagnetica quali, riflessione, rifrazione e diffrazione.

1810 Sotto queste ipotesi, come indicato nel cap. 8.2.2, gli unici parametri da considerare per la
 1811 determinazione del livello di campo elettromagnetico irradiato da una sorgente sono: la potenza
 1812 totale trasmessa, le caratteristiche dell'antenna e la distanza tra il punto di trasmissione ed il
 1813 punto in cui calcolare il campo elettromagnetico.

1814 Le condizioni di propagazione in spazio libero, per le tematiche trattate in questa Guida, non
 1815 sono mai verificate (quanto meno è sempre presente il terreno che genera riflessioni) quando
 1816 si eseguono le valutazioni di esposizione al campo elettromagnetico in punti specifici irradiati
 1817 da una molteplicità di trasmettitori. Nel caso generale, in ambienti reali, la propagazione e, di
 1818 conseguenza, la determinazione del livello di esposizione in un punto di controllo deve tenere
 1819 in considerazione:

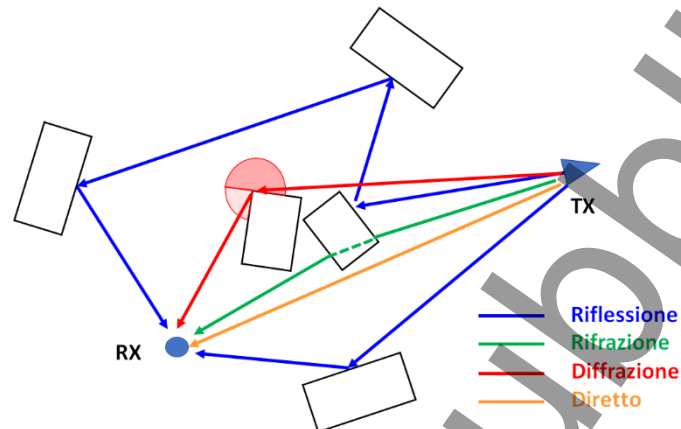
- 1820 • Lo scenario reale entro il quale avviene la propagazione, tenendo in considerazione gli
- 1821 ostacoli e la loro natura fisica ed elettromagnetica;
- 1822 • L'effetto delle riflessioni generate dall'interazione dell'onda con le superfici presenti nello
- 1823 scenario;
- 1824 • L'effetto della rifrazione sulle superfici e quindi la propagazione attraverso i mezzi;
- 1825 • L'effetto della diffrazione;
- 1826 • La visibilità elettromagnetica e non solo la visibilità ottica.

1827 Gli elementi indicati, che non saranno analizzati nel seguito e per i quali si rimanda alla
 1828 bibliografia tecnica specifica, sono i meccanismi di interazione con l'onda utilizzati nelle
 1829 metodologie di calcolo basate sulle tecniche raggistiche [9][10, [11, [12].

1830 In genere i sistemi che implementano le tecniche di Ray-tracing sono prodotti commerciali o
 1831 applicativi sviluppati in proprio le cui implementazioni sono proprietarie.

1832 8.2.4.1 Algoritmi di ray-tracing

1833 Gli algoritmi di ray-tracing si basano sull'approssimazione di un fronte d'onda di una radiazione
1834 elettromagnetica attraverso un raggio ed hanno lo scopo di determinare l'insieme dei raggi che
1835 collegano un punto di trasmissione ad un punto di ricezione e, sulla base di questi, calcolare il
1836 valore del campo elettromagnetico nel punto di ricezione attraverso le leggi
1837 dell'elettromagnetismo. I raggi, nel loro cammino, possono essere riflessi, rifratti o diffratti un
1838 numero qualsiasi di volte (Figura 8-4) e la determinazione quindi di tutti i cammini possibili, la
1839 visibilità elettromagnetica, consente di determinare il livello di campo ricevuto.



1840
1841 **Figura 8-4 - La visibilità elettromagnetica**

1842 Gli algoritmi di ray-tracing possono essere classificati in tre grandi famiglie:

- 1843 • Ray-launching: dal punto di sorgente sono "lanciati" raggi che scandiscono la regione
1844 angolare di interesse, secondo una definizione angolare definita. I raggi si propagano
1845 interagendo con l'ambiente, si attenuano secondo la legge di propagazione e, solo alcuni
1846 arriveranno sul punto di ricezione o nelle sue prossimità, se lanciati con la giusta
1847 angolazione [13][14].
- 1848 • Backward ray-tracing: l'algoritmo ricerca solo i percorsi che collegano la trasmittente con il
1849 punto di ricezione attraverso una analisi mirata dei percorsi. Tutti i raggi, che concorrono
1850 alla determinazione del campo nel punto di ricezione, sono considerati senza perderne
1851 alcuno [15][16][17].
- 1852 • Intelligent ray-tracing (IRT): A valle di un processo di discretizzazione del solo scenario
1853 sono, in un primo momento, generate le relazioni di visibilità ottica ed elettromagnetica tra
1854 tutti gli elementi di discretizzazione del solo scenario. A valle di questo processo, che è
1855 invariante fino a quando non cambia lo scenario o cambia la discretizzazione dello stesso,
1856 le relazioni di visibilità sono memorizzate. Successivamente vengono inseriti nello scenario
1857 i punti di trasmissione e ricezione che, attraverso relazioni di visibilità, sono collegati allo
1858 scenario. Attraverso un processo di selezione dei cammini di visibilità viene determinato il
1859 campo totale in un punto di ricezione[18][19][20][21].

1860 Come indirizzo generale, la valutazione ai fini protezionistici del campo elettromagnetico
1861 mediante tecniche di ray-tracing richiede un numero relativamente basso di interazioni, in
1862 genere una o due possono essere sufficienti; le successive non hanno effetti sensibili sui livelli
1863 di campo contribuendo solo ad appesantire l'esecuzione dei calcoli.

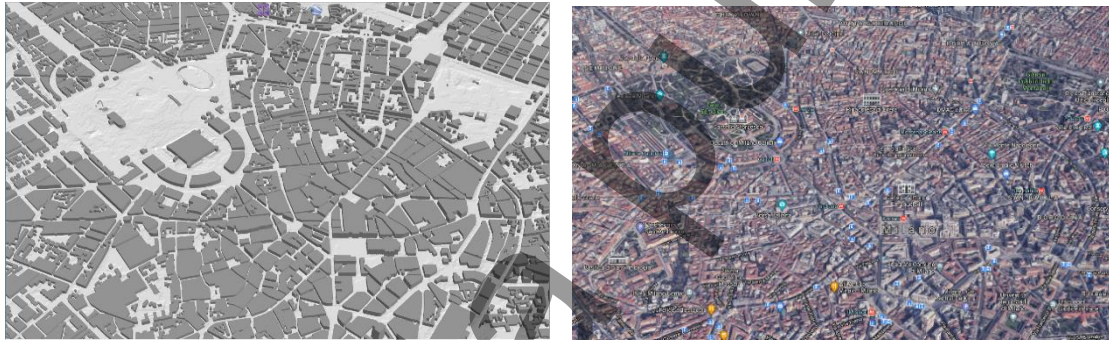
1864 L'utilizzo delle tecniche di ray-tracing è subordinato alla disponibilità di mappe cartografiche
1865 dello scenario ad alta risoluzione, comprensive delle quote di riferimento quanto meno
1866 dell'edificato, oltre che del terreno e la caratterizzazione elettromagnetica dei materiali.

1867 **8.2.4.2 La descrizione dello scenario**

1868 Gli algoritmi di ray-tracing trovano la loro potenzialità nel poter calcolare il campo in maniera
1869 precisa ed in scenari altamente complessi, Figura 8-5. Per sfruttarne a pieno le potenzialità, e
1870 ottenere risultati ad alta precisione e definizione, è necessario avere a disposizione una
1871 descrizione dettagliata dell'ambiente entro il quale viene svolto il calcolo del campo
1872 elettromagnetico. Lo scenario quindi dovrebbe essere descritto, a seconda del livello di
1873 complessità, nei dettagli quali:

- 1874 • Gli elementi dell'edificato sono rappresentati come oggetti tridimensionali, le cui dimensioni
1875 sono quelle reali, inseriti nel contesto toponomastico dell'area analizzata
- 1876 • Il terreno viene descritto nella sua reale conformazione altimetrica; una rappresentazione
1877 su terreno piatto potrebbe comportare, in alcuni casi, delle approssimazioni
- 1878 • L'orografia ed aree verdi devono essere descritte, come pure i corsi d'acqua ed i bacini
- 1879 • Le strade sono rappresentate nella loro reale conformazione

1880 Tuttavia, come indicato precedentemente, la valutazione dell'impatto elettromagnetico in un
1881 punto di controllo è, in genere, circoscritta ad un raggio limitato all'intorno del punto di
1882 trasmissione ed a contributi da parte di altre sorgenti, anche ad una distanza maggiore, quindi
1883 l'impatto computazionale risulta in genere limitato.



1884

1885 **Figura 8-5 - la rappresentazione su mappa digitalizzata di uno scenario**

1886 **8.2.4.3 Requisiti per gli algoritmi di ray-tracing ai fini della valutazione del livello di**
1887 **campo**

1888 Ai fini della valutazione del livello di esposizione in un punto di controllo attraverso metodi
1889 basati sui ray-tracers, indipendentemente dall'approccio implementato, lo strumento di calcolo
1890 deve essere in grado di soddisfare uno o più dei seguenti requisiti a seconda del grado di
1891 complessità dell'implementazione:

- 1892 1) analizzare il fenomeno della riflessione tenendo in considerazione le proprietà
1893 elettromagnetiche specifiche di ogni mezzo coinvolto nel calcolo, alle frequenze di analisi
1894 [9]
- 1895 2) analizzare il fenomeno della diffrazione, con la possibilità di assumere che gli spigoli siano
1896 di tipo metallico [10][11][12].
- 1897 3) analizzare il fenomeno della rifrazione, nel caso in cui sia richiesta una valutazione del
1898 campo indoor, tenendo in considerazione le proprietà elettromagnetiche specifiche di ogni
1899 mezzo coinvolto alle frequenze di analisi [9].
- 1900 4) il calcolo è eseguito con riferimento a un database territoriale che descrive lo scenario,
1901 considerando la tridimensionalità degli oggetti, l'orografia, le aree vegetative e l'idrografia
- 1902 5) analizzare il punto di trasmissione tenendo in considerazione la posizione, l'orientamento
1903 del diagramma di radiazione rispetto allo scenario e la potenza irradiata

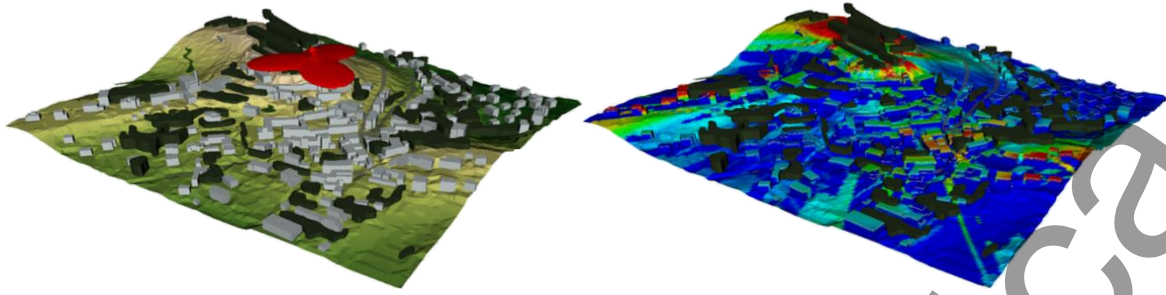


Figura 8-6 - Distribuzione del campo elettrico in uno scenario reale rappresentato attraverso mappe cartografiche nei dintorni di un trasmettitore

8.3 Algoritmo per il calcolo dell'esposizione totale in un punto di controllo

La Figura 8-7 mostra i passi logici del processo da utilizzare nel calcolo dell'esposizione totale in un punto di controllo. Ad ogni passo è indicato il paragrafo di pertinenza.

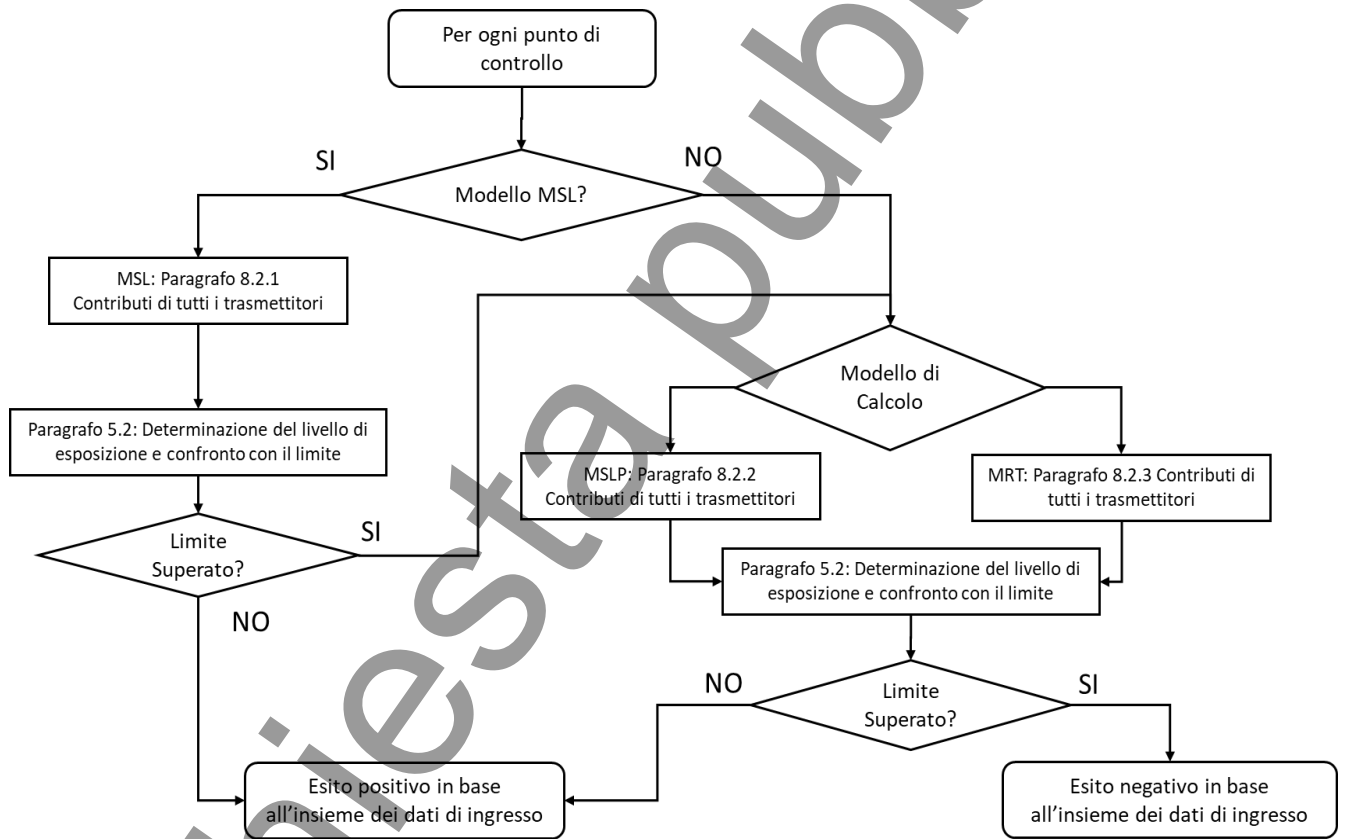


Figura 8-7 - algoritmo per la scelta del percorso di calcolo ai fini della verifica computazionale in un punto di controllo

La procedura consiste in tre percorsi di verifica, corrispondenti ad altrettanti modelli di calcolo dell'esposizione in un punto di controllo: i modelli proposti hanno a loro volta diversi livelli di precisione e incertezza associati, nello specifico:

- Modello di propagazione Spazio Libero (MSL): questo modello, descritto in 8.2.2, tra tutti quelli proposti, assume che la propagazione avvenga in spazio libero per tutte le sorgenti che forniscono un contributo al livello di esposizione nel punto di controllo. Tale modello presuppone l'assenza di edificato nello scenario ed una propagazione in linea di vista, senza ostacoli e senza fenomeni di riflessione e diffrazione ed non è pertanto relazionata al contesto propagativo.

1922 • Metodo di calcolo basato su Spazio Libero Pesato (MSLP): nel MSLP il calcolo del livello di
1923 esposizione è eseguito attraverso un modello che tiene in considerazione gli ostacoli
1924 interposti tra i trasmettitori e il punto di analisi. Nella sua semplicità applicativa e
1925 concettuale, MSLP fornisce la valutazione dell'esposizione con un relativo grado di
1926 particolarizzazione del contesto propagativo. Vedi in 8.2.3.

1927 • Modello di Propagazione Ray Tracer (MRT): tale modello fornisce la valutazione del livello
1928 di esposizione con il più elevato grado di precisione tra tutti i modelli proposti, vedi 8.2.4.

1929 I passi previsti dall'algoritmo operativo, riassunti in **Errore. L'origine riferimento non è stata t**
1930 **rovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, sono i seguenti:

1931 1) Verifica rapida dei livelli di esposizione con il modello MSL– Passo facoltativo.

1932 a. Per ogni punto di controllo:

1933 i. Con la metodologia descritta in 8.2.2, calcolare tutti i contributi all'esposizione da
1934 tutte le sorgenti in base all'area di influenza del sistema sotto indagine

1935 ii. Calcolare il livello di esposizione totale come descritto nel capitolo 5.2

1936 iii. Se l'esposizione totale è inferiore o uguale al limite di normativa, il processo si
1937 conclude positivamente.

1938 iv. Se il livello di esposizione è superiore al limite eseguire il passo 2 o il passo 3,
1939 successivi.

1940 2) Verifica dell'esposizione secondo il modello MSLP:

1941 a. Per ogni punto di controllo

1942 i. Con la metodologia descritta in 8.2.3, calcolare tutti i contributi all'esposizione da
1943 tutte le sorgenti in base all'area di influenza del sistema sotto indagine

1944 ii. Calcolare il livello di esposizione totale come descritto nel capitolo 5.2

1945 iii. Confrontare il livello di esposizione calcolato con il limite, come descritto in 5.2.

1946 3) Verifica dell'esposizione secondo il modello MRT:

1947 a. Per ogni punto di controllo

1948 i. Con la metodologia descritta in 8.2.4, calcolare tutti i contributi all'esposizione da
1949 tutte le sorgenti in base all'area di influenza del sistema sotto indagine

1950 ii. Calcolare il livello di esposizione totale come descritto nel capitolo 5.2

1951 iii. Confrontare il livello di esposizione calcolato con il limite, come descritto in 5.2.

1952 **8.4 Classi di attenzione**

1953 Sulla base del potenziale impatto sull'ambiente circostante ed in particolare sul livello di
1954 esposizione che ne può risultare, si suddividono gli impianti in classi di attenzione.

1955 Le classi di attenzione sono due:

1956 • **classe 1:** appartengono a questa classe gli impianti che soddisfano ad almeno una delle
1957 condizioni seguenti:

1958 a) Caratteristiche funzionali del sistema di trasmissione: Assenza di persone o ostacoli di
1959 qualsiasi natura nella tratta di comunicazione radio tra trasmettitore e ricevitore.

1960 La condizione è dovuta al fatto che, per questa tipologia di impianti, l'interposizione di
1961 ostacoli sulla tratta radio, anche per brevi archi temporali, introduce un degrado nella
1962 comunicazione tale da interrompere in modo automatico e immediato l'emissione del
1963 segnale, causando l'interruzione dei relativi servizi. Per la particolare condizione di
1964 esercizio richiesta, tali impianti sono implementati in modo da evitare significative
1965 condizioni di esposizione e con durate temporali molto inferiori alle tempistiche previste
1966 dai valori di riferimento normativo.

1967 b) Accessibilità: qualunque punto accessibile in prossimità dell'impianto è esterno al
 1968 volume di rispetto calcolato con il 10% per il campo elettrico e magnetico e/o con l'1%
 1969 per la densità di potenza rispetto al limite di riferimento normativo applicabile. Per
 1970 determinare la superficie del volume di rispetto come prima descritto, occorre
 1971 considerare solo il contributo dell'impianto analizzato.

1972 • **classe 2 – appartengono** a questa classe gli impianti che non possono essere considerati
 1973 appartenenti alla classe 1.

1974 L'impianto appartenente alla classe 1, indipendentemente dall'evoluzione nel tempo della
 1975 situazione di campo elettromagnetico creata da altri impianti vicini, non contribuisce al fondo
 1976 elettromagnetico (5.2.3).

1977 **8.5 Utilizzo del fondo elettromagnetico nel calcolo previsionale**

1978 Quanto riportato in questo paragrafo è relativo al calcolo del contributo del campo in un Punto
 1979 di Controllo in uno specifico intervallo di frequenza nel quale i campi possano essere sommati
 1980 poiché riferiti ad uno stesso limite. Fare riferimento al capitolo 5.2 per la trattazione generale.

1981 Indipendentemente dalla metodologia di calcolo adottata per la determinazione del livello di
 1982 esposizione in un punto di controllo (si veda 8.2) essa può essere espressa come la
 1983 composizione di tre tipologie di contributo:

- 1984 1. il contributo del Sistema Sotto Indagine (SSI);
- 1985 2. il contributo di tutte le sorgenti appartenenti allo stesso operatore dell'SSI, sia installate
 1986 sullo stesso sito del sistema sotto indagine che in altri siti che ricadono nell'area di
 1987 influenza. Di tali sorgenti all'operatore sono note tutte le informazioni necessarie per la
 1988 valutazione dell'esposizione;
- 1989 3. il contributo di tutte le altre sorgenti (comprese quelle non strettamente riconducibili alle
 1990 SRB quali radio e televisioni), per le quali possono non essere note le informazioni
 1991 necessarie alla valutazione dell'esposizione.

1992 Le quantità dosimetriche possono quindi essere espresse come:

1993
$$S_{tot}(p) = S_{SSI}(r_{SSI}, \vartheta_{SSI}, \varphi_{SSI}) + S_{fondo}$$

1994
$$= S_{SSI}(r_{SSI}, \vartheta_{SSI}, \varphi_{SSI}) + S_{fondo\ stesso\ operatore} + S_{fondo\ altre\ sorgenti}$$

1995
$$= S_{SSI}(r_{SSI}, \vartheta_{SSI}, \varphi_{SSI}) + \sum_{k=1}^K S(r_k, \vartheta_k, \varphi_k) \Big|_{Stesso\ Operatore}$$

1996
$$+ \sum_{m=1}^M S(r_m, \vartheta_m, \varphi_m) \Big|_{Altre\ sorgenti}$$

1997 Equazione 8-8

1998
$$E_{tot}(p) = \sqrt{E_{SSI}^2(r_{SSI}, \vartheta_{SSI}, \varphi_{SSI}) + E_{fondo}^2}$$

1999
$$= \sqrt{E_{SSI}^2(r_{SSI}, \vartheta_{SSI}, \varphi_{SSI}) + E_{fondo\ stesso\ operatore}^2 + E_{fondo\ altre\ sorgenti}^2}$$

2000

2001
$$= \sqrt{E_{SSI}^2(r_{SSI}, \vartheta_{SSI}, \varphi_{SSI}) + \sum_{k=1}^K E_k^2(r_k, \vartheta_k, \varphi_k) \Big|_{Stesso\ Operatore} + \sum_{m=1}^M E_m^2(r_m, \vartheta_m, \varphi_m) \Big|_{Altre\ sorgenti}}$$

2002 Equazione 8-9

$$\begin{aligned}
 2003 \quad H_{tot}(p) &= \sqrt{H_{SSI}^2(r_{SSI}, \vartheta_{SSI}, \varphi_{SSI}) + H_{fondo}^2} \\
 2004 \quad &= \sqrt{H_{SSI}^2(r_{SSI}, \vartheta_{SSI}, \varphi_{SSI}) + H_{fondo\ stesso\ operatore/SRB}^2 + H_{fondo\ altre\ sorgenti}^2} \\
 2005 \quad &= \sqrt{H_{SSI}^2(r_{SSI}, \vartheta_{SSI}, \varphi_{SSI}) + \sum_{k=1}^K H_k^2(r_k, \vartheta_k, \varphi_k) \Big|_{Stesso\ Operatore} + \sum_{m=1}^M H_m^2(r_m, \vartheta_m, \varphi_m) \Big|_{Altre\ sorgenti}}
 \end{aligned}$$

Equazione 8-10

2006 In cui

- 2007 • p è la posizione del punto di controllo
- 2008 • k sono i contributi di altri sistemi trasmissivi dello stesso operatore, secondo l'accezione
- 2009 descritta al punto 2.
- 2010 • m sono i contributi di altri sistemi trasmissivi appartenenti ad altre sorgenti secondo
- 2011 l'accezione descritta al punto 3.
- 2012

2013 Ciò permette di enunciare una formulazione alternativa del calcolo dell'esposizione totale in un

2014 punto di controllo.

2015 Talvolta si ha la conoscenza dell'entità globale del fondo elettromagnetico (S_{fondo} , E_{fondo} , H_{fondo})

2016 calcolato o misurato, senza avere a disposizione il dettaglio di tutti i dati disaggregati.

2017 Gli impianti appartenenti alla classe 1, vedere paragrafo 9.2.3.2, non contribuiscono al fondo

2018 elettromagnetico.

2019 8.5.1 Approfondimenti ed esempi pratici

2020 Gli esempi seguenti mostrano l'uso del fondo elettromagnetico per la determinazione del livello

2021 di esposizione.

2022 Esempio 8-12

Tabella 8-4: Uso del fondo elettromagnetico in un punto di controllo di cui si conoscono tutte le caratteristiche delle sorgenti

	Campo Elettrico [V/m]	Quadrato del Campo [V/m] ²	Quadrato del Fondo EM [V/m] ²	Fondo EM [V/m]
E_{SSI}	1.2	1.4		
Stesso Operatore				
E_1	1.1	1.2	6.8	2.6
E_2	1.4	2.0		
E_3	0.6	0.4		
E_4	1.7	2.9		
E_5	0.5	0.3		
Altre sorgenti				
E_1	1.1	1.2	10.8	3.3
E_2	0.2	0.0		
E_3	0.4	0.2		
E_4	0.7	0.5		
E_5	2.5	6.3		
E_6	1.2	1.4		
E_7	0.5	0.3		
E_8	0.1	0.0		
E_9	0.6	0.4		
E_{10}	0.2	0.0		
E_{11}	0.5	0.3		
E_{12}	0.4	0.2		

2025

2026 **Esempio 8-13**

2027 **Tabella 8-5: Uso del fondo elettromagnetico in un punto di controllo di cui si**
 2028 **conoscono i valori aggregati delle sorgenti**

	Campo Elettrico	Campo Elettrico totale	Quadrato del Campo	Quadrato del Campo totale
	[V/m]	[V/m]	[V/m] ²	[V/m] ²
E _{SSI}	1.2	4.4	1.4	19.1
E _{Stesso Operatore}	2.6		6.8	
E _{Altre Sorgenti}	3.3		10.9	

2029

2030 **Esempio 8-14**

2031 **Tabella 8-6: Uso del fondo elettromagnetico in un punto di controllo di cui si conosce**
 2032 **solo il fondo totale**

	Campo Elettrico	Campo Elettrico totale	Quadrato del Campo	Quadrato del Campo totale
	[V/m]	[V/m]	[V/m] ²	[V/m] ²
ESSI	1.2	4.4	1.4	19.0
E _{fondo}	4.2		17.6	

2033

2034 **8.6 Requisiti minimi degli strumenti di calcolo previsionale**

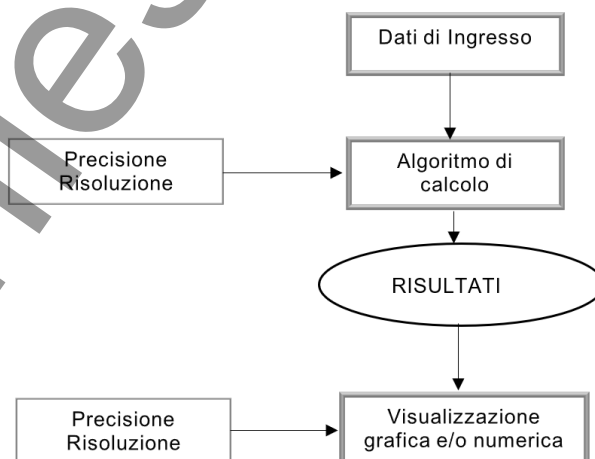
2035 Questo paragrafo ha l'obiettivo di definire un insieme di requisiti minimi, che gli strumenti di
 2036 calcolo utilizzati per la verifica previsionale dell'esposizione devono soddisfare per essere
 2037 idonei secondo le modalità previste in questa Guida.

2038 **8.6.1 Generalità sugli strumenti di calcolo**

2039 Gli elementi fondamentali che saranno considerati in questo capitolo sono:

- 2040 • i dati di ingresso,
- 2041 • l'algoritmo di calcolo,
- 2042 • i dati di uscita dello strumento di calcolo.

2043 Ogni sistema previsionale di calcolo può essere schematizzato come mostrato in Figura 8-8:



2044

2045

2046

Figura 8-8

2047 I blocchi evidenziati sono indispensabili per permettere ad uno strumento di simulazione di
2048 seguire la verifica previsionale dell'esposizione e rendere disponibili e fruibili i risultati in
2049 maniera chiara. L'implementazione di ogni blocco costituisce l'elemento peculiare di ogni
2050 applicativo: è quindi utile e pratico indicare una serie di requisiti che devono essere soddisfatti
2051 senza entrare nel merito delle implementazioni, che sono specifiche e, in larga maggioranza,
2052 proprietarie.

2053 **8.6.2 Requisiti minimi**

2054 **8.6.2.1 Requisiti per dati di ingresso**

2055 Fare riferimento all'**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per quanto riguarda l'
2056 l'interscambio dei dati specifici d'impianto.

2057 • Modello MSL (Capitolo 8.2.2)

2058 ○ Associazione delle caratteristiche di impianto ad ogni trasmettitore:

2059 ▪ Potenza P_{calcolo} come descritto nel Capitolo 7 a seconda del limite da verificare

2060 ▪ Diagramma di radiazione in formato .msi o secondo la versione più recente del
2061 White paper NGMN BASTA Active Antennas [1], altri formati sono altresì ammessi

2062 ○ Descrizione dei punti di controllo secondo quanto indicato in 8.1.

2063 ○ Definizione della rappresentazione dell'esito della verifica previsionale tramite punti,
2064 superfici o volumi.

2065 • Modello MSLP (Capitolo 8.2.3)

2066 In aggiunta a quanto previsto per il modello MSL si richiede:

2067 ○ Calcolo del numero di pareti attraversate dalla congiungete tra punto di controllo ed
2068 ogni trasmettitore. Il numero di pareti attraversate può anche essere definito
2069 internamente all'applicativo con, ad esempio, analisi del data base territoriale. Altre
2070 modalità sono altresì ammesse. La modalità adottata per il calcolo delle pareti deve
2071 essere descritta nel report della conformità previsionale (Capitolo 10).

2072 • Modello MRT (Capitolo 8.2.4)

2073 In aggiunta a quanto previsto per il modello MSL si richiede:

2074 ○ Modellizzazione dei fenomeni di interazione elettromagnetica:

2075 ▪ Per la Riflessione e Diffrazione (se presente): indicare se le caratteristiche
2076 elettromagnetiche (permettività e conducibilità) sono fisse o dipendono dal
2077 materiale e dalla frequenza

2078 ▪ Rifrazione (se presente): indicare se le caratteristiche elettromagnetiche
2079 (permettività e conducibilità) sono fisse o dipendono dal materiale e dalla
2080 frequenza. Indicare anche se gli spessori sono fissi o meno.

2081 **8.6.2.2 Algoritmo di calcolo**

2082 L'algoritmo di calcolo rappresenta il cuore dell'applicativo; a seconda della metodologia scelta
2083 è necessario soddisfare i seguenti requisiti:

2084 • Modello MSL (Capitolo 8.2.2):

2085 ○ I requisiti minimi per consentire al modello MSL di fornire un risultato coerente sono la
2086 conoscenza della distanza in pianta, della direzione e della differenza di altezza tra
2087 ogni punto trasmittente e ogni punto di controllo. Altre informazioni, come la
2088 localizzazione geografica secondo un sistema opportuno di coordinate e la disponibilità
2089 di un data base territoriale per la descrizione dello scenario, potrebbero completare il
2090 quadro informativo richiesto;

2091 ○ È richiesta la capacità di analizzare una molteplicità di sorgenti contemporaneamente,
2092 ognuna con le proprie caratteristiche di impianto;

- 2093 ○ È richiesta la gestione dei diagrammi di radiazione, eventualmente attraverso un
2094 processo di ricostruzione a partire dai tagli di elevazione e di azimut come indicato in
2095 6.4.1 (riferimento al paragrafo). La gestione del diagramma di radiazione comprende
2096 anche la possibilità di rotazione del diagramma intorno alle due coordinate angolari
2097 rispetto al centro elettrico dell'antenna;
- 2098 ○ Capacità di interpolare il diagramma di radiazione per angoli non presenti nei dati
2099 originali;
- 2100 ○ È richiesta la possibilità di calcolare l'esposizione su una molteplicità di punti in uno
2101 spazio tridimensionale.
- 2102 ○ È richiesta la gestione del fondo elettromagnetico
- 2103 ○ Deve poter applicare il processo per il calcolo del coefficiente di conformità (paragrafo
2104 5.2)
- 2105 • **Modello MSLP (Capitolo 8.2.3):**
- 2106 In aggiunta a quanto previsto per il modello MSL si richiede:
- 2107 ○ È richiesta la gestione dei fenomeni di attenuazione secondo quanto previsto al
2108 paragrafo 8.2.3.
- 2109 • **Modello MRT (Capitolo 8.2.4):**
- 2110 In aggiunta a quanto previsto per il modello MSL si richiede:
- 2111 ○ È necessario avere a disposizione un data base territoriale per la descrizione dello
2112 scenario con un adeguato grado di informazioni a corredo
- 2113 ○ È necessaria la localizzazione geografica, secondo un sistema opportuno di
2114 coordinate, di ogni punto trasmittente e di ogni punto di controllo.
- 2115 ○ A seconda della metodologia utilizzata (Ray Launching, Backward Ray-tracing o
2116 Intelligent Ray tracing) è necessaria la gestione di un numero di raggi e una definizione
2117 angolare adeguate.
- 2118 ○ Implementazione della teoria elettromagnetica
- 2119 ▪ È richiesta l'implementazione della riflessione da superfici
- 2120 ▪ È opzionale l'implementazione della diffrazione da bordi
- 2121 ▪ È opzionale l'implementazione della rifrazione da struttura con spessore
- 2122 ○ Indicare il metodo implementato, eventualmente con bibliografia a corredo
- 2123 È necessario, inoltre, che i valori di campo elettromagnetico siano espressi con arrotondamenti
2124 alle cifre decimali come definito in 5.2.
- 2125 **8.6.2.3 Requisiti per i dati di uscita**
- 2126 L'uscita dei dati è richiesta o in forma tabellare o come rappresentazione grafica e deve
2127 riportare le quantità dosimetriche e/o il coefficiente di conformità per tutti i punti di controllo,
2128 comprese le informazioni necessarie alla loro localizzazione.
- 2129 Il volume di rispetto può essere descritto attraverso le sue coordinate od equazioni
2130 caratteristiche, riferite al punto di trasmissione, è altresì accettata la forma grafica. Nel caso di
2131 volume di rispetto definito attraverso una superficie non descrivibile da equazioni riferite al
2132 punto di trasmissione, è accettata la forma grafica.
- 2133 La risoluzione minima della rappresentazione grafica deve essere adeguata alla corretta
2134 rappresentazione delle quantità dosimetriche.

2135 9 Procedimento per valutare la conformità previsionale di un impianto

2136 9.1 Introduzione

2137 In questo paragrafo sono analizzati i passi procedurali da intraprendere al fine di eseguire la
2138 verifica previsionale dell'esposizione secondo i criteri previsti in questa Guida. Ricordiamo
2139 brevemente quali sono i parametri che hanno un effetto sulla valutazione previsionale
2140 dell'esposizione da coniugare a seconda del riferimento normativo considerato:

- 2141 1. Potenza di ingresso all'antenna, vedere capitolo 7
- 2142 2. Fattori di riduzione della potenza, vedere capitolo 7
 - 2143 a) Fattori Implementativi (FI)
 - 2144 b) Fattori Tecnologici (FT)
 - 2145 c) Fattori dinamici (FD)
 - 2146 d) Limitazione automatica della potenza o dell'EIRP
 - 2147 e) Fattore dinamico di riduzione della potenza sulle 24 ore α_{24h_day}
- 2148 3. Caratteristiche dell'antenna, vedere capitolo 6
 - 2149 a) Diagramma di radiazione
 - 2150 b) Puntamento
 - 2151 c) Tilt
 - 2152 d) Altezza del centro elettrico
- 2153 4. Metodologia previsionale utilizzata nel calcolo previsionale
 - 2154 a) Metodo MSL, vedere paragrafo 8.2.2:
 - 2155 I. punti da 1 a 3 precedenti
 - 2156 II. dallo scenario, solo per ciò che concerne la determinazione del volume di
2157 rispetto
 - 2158 b) Metodo MSLP, vedere paragrafo 8.2.3
 - 2159 I. Punti da 1 a 3 precedenti
 - 2160 II. La frequenza dell'SSI
 - 2161 III. Lo scenario e la sua precisione
 - 2162 c) Ray Tracers, vedere paragrafo 8.2.4
 - 2163 IV. Punti da 1 a 3 precedenti
 - 2164 V. La frequenza dell'SSI
 - 2165 VI. Le metodologie elettromagnetiche implementate, riflessione, rifrazione,
2166 diffrazione
 - 2167 VII. Le caratteristiche elettromagnetiche dei mezzi
 - 2168 VIII. Lo scenario e la sua precisione
- 2169 5. Il fondo elettromagnetico, paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

2170 **9.2 Metodi per la verifica della conformità previsionale**

2171 **9.2.1 Volume di rispetto**

2172 Una trattazione completa del calcolo del volume di rispetto per una o più sorgenti è sviluppata
2173 nell'**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** La forma, l'estensione e le c
2174 aratteristiche del volume di rispetto dipendono dai parametri indicati in 9.1 e dalla metodologia
2175 di calcolo adottata.

2176 Applicando le metodologie previsionali previste in questa Guida all'SSI, vedere **Errore. L**
2177 **'origine riferimento non è stata trovata.**, è possibile determinare il volume di rispetto
2178 rappresentato in forme geometriche semplificate o in superfici isolivello. Se il volume di rispetto,
2179 così come descritto in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, intercetta un e
2180 lemento dello scenario o punti di controllo si possono ottenere delle informazioni circa eventuali
2181 criticità relative al rispetto dei valori di riferimento normativo.

2182 Se il volume di rispetto, calcolato con le metodologie previste in questa Guida e per un
2183 determinato livello del parametro di riferimento normativo, non interseca alcuna area, volume
2184 o punto per il quale viene eseguita la verifica computazionale l'impianto risulta essere
2185 conforme.

2186 L'intersezione tra il volume di rispetto e lo scenario di dispiegamento viene verificata facendo
2187 uso di dati planimetrici (comprensivi delle altimetrie) e/o dati cartografici in cui gli edifici sono
2188 rappresentati con le loro altezze rispetto al piano del terreno.

2189 **9.2.2 Criterio per confronto con i valori di riferimento normativo**

2190 I corretti criteri per il confronto con i valori di riferimento normativo sono stati riportati nei
2191 seguenti capitoli della Guida:

- 2192 • La descrizione della procedura di valutazione delle potenze e dei fattori di riduzione per il
2193 calcolo del campo Elettromagnetico nel capitolo 7
- 2194 • Gli strumenti di calcolo per la stima del campo Elettromagnetico nel capitolo 8
- 2195 • In prima istanza la conformità previsionale dell'SSI può essere verificata utilizzando il
2196 metodo del volume di rispetto calcolato con il metodo MSL per il confronto con i valori
2197 normativi (paragrafo 8.3 e metodo 8.2.2)
- 2198 • Le metodologie per il confronto con i valori di riferimento normativo nel paragrafo 5.2 sono
2199 inclusive del fondo elettromagnetico. La conformità previsionale del SSI è determinata dal
2200 contemporaneo rispetto di tutti i valori di riferimento normativi
- 2201 • I contenuti del report di conformità previsionale sono riportati nel capitolo 10
- 2202 • La modalità di interscambio dei dati è riportata nell'**Errore. L'origine riferimento non è s**
2203 **tata trovata.**

2204 La verifica del livello di esposizione, secondo le metodologie previste in questa Guida, è
2205 eseguita facendo uso di dati planimetrici (comprensivi delle altimetrie) e/o dati cartografici in
2206 cui gli edifici sono rappresentati con le loro altezze rispetto al piano del terreno.

2207 Se il livello di esposizione, calcolato con le metodologie previste in questa Guida, per ogni
2208 punto di controllo è inferiore al limite di riferimento normativo considerato, allora l'SSI risulta
2209 essere conforme secondo il processo previsionale descritto in questa Guida.

2210 **9.2.3 Procedimento per la valutazione della conformità previsionale degli impianti**

2211 **9.2.3.1 Generalità**

2212 Nei paragrafi seguenti è descritto il procedimento per la verifica della conformità previsionale
2213 degli impianti. Un aspetto fondamentale del procedimento per verificare la conformità
2214 previsionale di impianti di classe 2 è il calcolo del fondo elettromagnetico, così come definito in
2215 8.5.

2216 **9.2.3.2 Procedimento per la valutazione della conformità previsionale degli impianti di**
2217 **classe di attenzione 1**

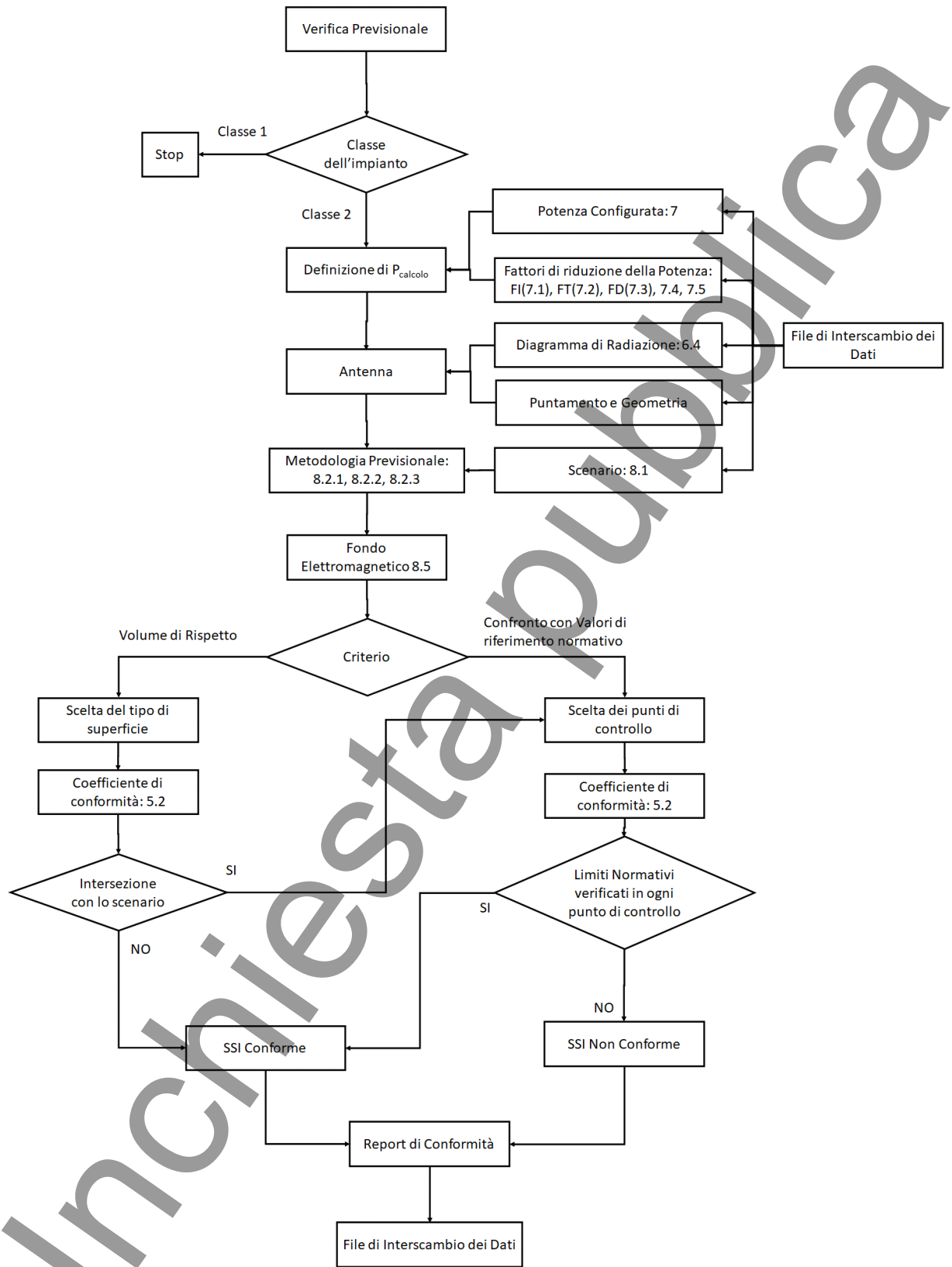
2218 Se il sito è conforme, l'impianto appartenente alla classe 1 è sempre conforme ai limiti,
2219 indipendentemente dall'evoluzione nel tempo della situazione di campo elettromagnetico creata
2220 da altri impianti vicini. Inoltre, gli impianti appartenenti alla classe 1 non contribuiscono al fondo
2221 elettromagnetico.

2222 **9.2.3.3 Procedimento per la valutazione della conformità previsionale degli impianti di**
2223 **classe di attenzione 2**

2224 Per un impianto appartenente alla classe 2 si applicano le metodologie di calcolo previsionale
2225 previste in questa Guida.

2226 Determinato il volume di rispetto si procede al confronto con le planimetrie che tengono conto
2227 di posizione ed altezza degli edifici e delle zone accessibili: se non esistono punti di
2228 sovrapposizione del volume di rispetto con aree accessibili, l'impianto rispetta i limiti di
2229 riferimento normativo. La condizione di sovrapposizione risulta più semplice da verificare se si
2230 dispongono di accurati dati planimetrici ed altimetrici in formato elettronico. Analogamente, se
2231 è stato scelto un metodo che permette di calcolare il valore di campo elettrico con tecniche di
2232 ray-tracing, si controlla l'esistenza di punti accessibili nei quali le previsioni numeriche
2233 superano i limiti di esposizione. In sintesi, se si individuano dei punti critici, ossia punti
2234 accessibili che risultano all'interno del volume di rispetto o nei quali la previsione numerica
2235 indica un superamento del limite, l'impianto potrebbe risultare non conforme.

2236 9.2.4 Diagramma di flusso del processo di verifica della conformità previsionale



2237

2238

Figura 9-1: Algoritmo per la verifica della conformità previsionale

2239 **9.3 Metodologie per la valutazione di modifiche di impianto con equivalenza del**
2240 **livello di esposizione e/o variazioni minime d'impatto elettromagnetico**

2241 Lo sviluppo temporale di una rete radiomobile necessita di un costante aggiornamento delle
2242 SRB, in termini di tecnologie/frequenze irradiate dalla SRB, modifiche di potenza della stessa
2243 o di altri parametri che possono andare a variare il livello di esposizione come ricavato dal
2244 calcolo previsionale di una precedente analisi.

2245 In tale contesto appare utile definire le condizioni di equivalenza e/o minima variazione
2246 d'impatto rispetto ai livelli di campo elettromagnetico calcolati come descritto nel capitolo 6, in
2247 caso di modifiche dei parametri d'impianto senza andare ad alterare, oppure alterando in
2248 maniera non significativa, i livelli di esposizione. Tali condizioni sono utili al fine di consentire
2249 una semplificazione dell'analisi della conformità previsionale dell'impianto.

2250 Ai fini del calcolo previsionale dell'impatto elettromagnetico, l'equivalenza del livello di
2251 esposizione è garantita esclusivamente in caso di modifiche che non interessano alcuno dei
2252 parametri che compaiono all'interno delle formule Equazione 8-2, Equazione 8-3, Equazione
2253 8-4, Equazione 8-5, Equazione 8-6, Equazione 8-7 e che quindi non impattano sul calcolo
2254 previsionale numerico. Esempi di parametri che possono essere modificati garantendo
2255 l'equivalenza del livello di esposizione sono:

- 2256 • la tipologia di sistema trasmesso dall'antenna utilizzata: GSM, UMTS, WiMax, LTE, NR o
2257 successivi sviluppi, anche con l'utilizzo di tecniche di gestione dinamica dello spettro (DSS);
- 2258 • Il numero massimo di portanti per ogni sistema radiante.

2259 E' possibile inoltre identificare una classe di modifiche radioelettriche che, pur non garantendo
2260 l'equivalenza del livello di esposizione, introducono variazioni d'impatto elettromagnetico
2261 minime. Rientrano in tale classe tutte le modifiche dei parametri radioelettrici che compaiono
2262 all'interno delle Equazione 8-2, Equazione 8-3, Equazione 8-4, Equazione 8-5, Equazione 8-6,
2263 Equazione 8-7 che comportano una variazione complessiva d'impatto elettromagnetico che può
2264 essere ritenuta di minima entità secondo le indicazioni fornite nell'Appendice F. Resta inteso
2265 che tali modifiche rimangono comunque necessariamente vincolate al rispetto ai livelli di
2266 esposizione indicati dalla normativa vigente.

2267 **9.3.1 Verifica dell'equivalenza dei livelli di esposizione riferito alla modifica di un**
2268 **impianto**

2269 Nel caso di modifica di un impianto, l'equivalenza dei livelli di esposizione è garantita nel
2270 momento in cui il volume di rispetto calcolato con le isoline (si veda appendice B) della nuova
2271 configurazione è interamente contenuto (minore e uguale) in quello dell'ultima autorizzazione.
2272 Quanto descritto equivale a non incrementare l'EIRP in ogni direzione.

2273 **9.3.2 Variazione minima di impatto elettromagnetico riferita ad una modifica di un**
2274 **impianto**

2275 La modifica di un impianto che non rientra all'interno di 9.3.1 e che comporta un aumento del
2276 diagramma di EIRP rispetto a quello antecedente determina una variazione dell'esposizione
2277 preesistente.

2278 La legislazione italiana indica come minime alcune di queste variazioni.

2279 Le metodologie per valutare le variazioni minime sono indicate in Appendice F.

2280 **10 Report di verifica computazionale**

2281 Al fine di documentare l'esito del processo di verifica computazionale eseguito secondo i
2282 requisiti descritti in questa Guida è richiesta la redazione di un Rapporto di Verifica
2283 Computazionale (RVC), contenente tutte le informazioni necessarie per la determinazione delle
2284 quantità dosimetriche.

2285 Questo capitolo elenca i contenuti che devono essere compresi nell'RVC ai fini della verifica
2286 computazionale eseguita secondo le procedure previste in questa Guida.

2287 Il rapporto di verifica computazionale deve contenere tutte le informazioni necessarie per:

- 2288 • definire univocamente i processi utilizzati;
- 2289 • garantire la ripetibilità della verifica computazionale;
- 2290 • descrivere i risultati di calcolo e, se necessario, le interpretazioni adottate;
- 2291 • fornire il risultato di verifica computazionale e, laddove richiesto, un esito del processo ai
2292 fini della conformità previsionale.

2293 L'RVC, conforme alle metodologie riportate in questa Guida, deve comprendere:

- 2294 1) Il titolo dell'RVC
- 2295 2) Il riferimento univoco all'RVC (esempio: protocollo o un codice identificativo univoco
2296 stabilito dall'ente che emette l'RVC)
- 2297 3) La data di riferimento del RVC
- 2298 4) Una sezione che individua l'ente che ha eseguito la verifica computazionale
 - 2299 i. L'identificazione univoca dell'ente che ha eseguito l'attività, es: nome, indirizzo e
2300 riferimenti per i recapiti;
 - 2301 ii. L'identificazione delle persone, anche con identificativo codificato, che hanno
2302 eseguito l'attività di verifica computazionale
- 2303 5) Una sezione che individua l'ente che ha emesso l'RVC
 - 2304 i. L'identificazione univoca dell'ente, es: nome, indirizzo e riferimenti per i recapiti;
 - 2305 ii. L'identificativo della persona che valida l'RVC, se applicabile (es: istruttore della
2306 pratica)
 - 2307 iii. L'identificativo della persona che rilascia l'RVC
- 2308 6) Una sezione che individua l'ente a cui è destinato l'RVC
- 2309 7) Una sezione che descrive l'attività svolta
 - 2310 i. La tipologia di verifica computazionale svolta, lo scopo, le quantità dosimetriche
2311 prese in esame e i relativi valori di riferimento normativi considerati
 - 2312 ii. I riferimenti temporali in cui sono state svolte le verifiche computazionali
 - 2313 iii. Le norme di riferimento, eventuali regolamenti locali, norme e leggi per valutare la
2314 conformità previsionale;
 - 2315 iv. L'identificazione univoca dei luoghi e degli impianti oggetto della verifica
2316 computazionale eventualmente corredate da mappe, fotografie, identificazione delle
2317 posizioni (es: tramite posizione GPS) ed ogni altra informazione sia ritenuta utile allo
2318 scopo
 - 2319 v. L'indicazione della configurazione della sorgente/sorgenti oggetto della verifica
2320 computazionale (fare riferimento all'appendice C)

- 2321 vi. L'individuazione del punto di riferimento, comprensivo della quota, a cui tutte le quote
2322 utilizzate nel processo di verifica computazionale si riferiscono (fare riferimento
2323 all'appendice C)
- 2324 vii. L'indicazione delle procedure di verifica computazionale adottate, indicando il
2325 paragrafo di riferimento di questa Guida. Per il metodo ray tracing indicare la
2326 bibliografia a corredo
- 2327 viii. L'indicazione degli strumenti computazionali utilizzati (es: se si utilizza un pacchetto
2328 commerciale, indicare il nome dello strumento e la versione)
- 2329 ix. Processi di estrapolazione/interpolazione utilizzati, se applicabile
- 2330 x. Disallineamenti rispetto a quanto riportato in questa Guida e motivazioni, se
2331 applicabile
- 2332 8) Una sezione che descrive i risultati della verifica computazionale
- 2333 i. L'esito della verifica computazionale, relativamente al processo di conformità
2334 previsionale adottato con l'indicazione del limite a cui si fa riferimento, sia numerico
2335 che documentale
- 2336 ii. In caso di esito non conforme:
- 2337 a) La descrizione motivata delle interpretazioni utilizzate al fine della
2338 determinazione della verifica computazionale o per il confronto con il limite
2339 normativo, se applicabile
- 2340 b) L'elenco di tutti i risultati per i punti di controllo presi in considerazione, positivi
2341 e negativi, comprensivi dei dati del modello MSLP se utilizzato, con l'indicazione
2342 di eventuali disallineamenti rispetto a quanto previsto in questa Guida. I risultati
2343 dovranno essere espressi in termini delle quantità dosimetriche previste dai
2344 riferimenti normativi. I risultati della verifica computazionale possono anche
2345 essere espressi su mappa georeferenziata.
- 2346 c) Indicazione se il risultato è ottenuto per interpolazione/estrapolazione, se
2347 applicabile
- 2348 iii. Ogni altra informazione che l'ente che ha eseguito le verifica computazionale voglia
2349 indicare;
- 2350 iv. Il riferimento a precedenti RVC nel caso sia stato necessario iterare il processo di
2351 verifica computazionale (es: precedente protocollo).
- 2352 9) Una sezione conclusioni che riassume l'esito del processo di verifica della conformità
2353 previsionale
- 2354
- 2355
- 2356
- 2357

APPENDICI

Appendice A

Descrizione dei sistemi

2358

2359

2360

2361 A.1 Richiami sui principi di funzionamento dei sistemi radio

2362 In Tabella Appendice A-1 sono riassunti i sistemi radiomobile e le loro frequenze operative
 2363 riportate ad esempio dalle 3GPP TS 36.101 V15.3.0 (2018-06) e per il cui aggiornamento si
 2364 rimanda alle successive versioni [39].

2365 Tabella Appendice A-1: Frequenze assegnate ai vari sistemi radiomobili in Europa [39]

Tec	Banda	UL [MHz]	DL [MHz]	3GPP Band #	Duplex
2G	900	880 - 915	925 - 960	8	FDD
	1800	1710 -1785	1805 -1880	3	FDD
3G	900	880 - 915	925 - 960	8	FDD
	2000	1920 -1980	2110 -2170	1	FDD
	2000	1900 -1920	1900 -1920	33	TDD
	2000	2010 - 2025	2010 - 2025	34	TDD
4G	800	832 - 862	791 - 821	20	FDD
	1400	---	1452-1492	32	FDD/CA
	1800	1710 -1785	1805 -1880	3	FDD
	2000	1920 -1980	2110 -2170	1	FDD
	2600	2500 -2570	2620 -2690	7	FDD
	2600w	2570 -2620	2570 -2620	38	TDD
	3500	3400 - 3600	3400 - 3600	42	TDD
3700	3600 - 3800	3600 - 3800	43	TDD	
5G	700	703 - 748	758 - 803	n28	FDD
	3700	3300 - 3800	3300 - 3800	n78	TDD
	26GHz	26500 - 27500	26500 - 29500	n257	TDD

2366

2367 Una trattazione esaustiva delle caratteristiche dei sistemi attivi in Italia esula dalle finalità di
 2368 questa Guida. Pertanto, ci si concentrerà sulle caratteristiche principali di ogni tecnologia
 2369 evidenziando, qualora possibile, eventuali analogie o differenze rispetto altre tecnologie,
 2370 rimandando per approfondimenti alla letteratura specifica.

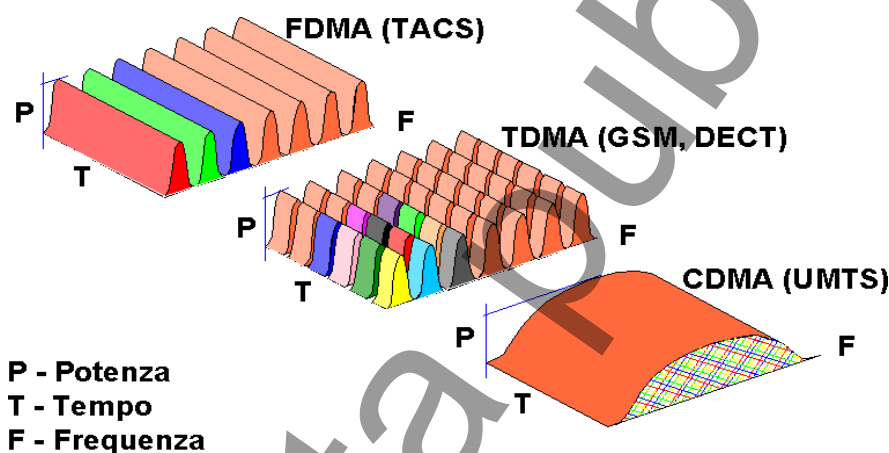
2371 A.2 GSM

2372 Il sistema digitale GSM sfrutta una tecnica di accesso al canale radio di tipo misto FDMA/TDMA,
 2373 dove la banda assegnata ad un operatore è suddivisa tra diverse portanti FDMA, ognuna delle
 2374 quali è condivisa tra gli utenti con una tecnica TDMA.

2375 La tecnica TDMA è caratterizzata da un accesso multiplo alla risorsa trasmissiva in intervalli temporali
2376 denominati "time-slot". In questa modalità più utenti possono utilizzare la portante radio assegnata
2377 alla comunicazione in istanti o slot diversi, e il sistema opera in modo che la comunicazione sia
2378 percepita come continua. In particolare, ogni singola portante è caratterizzata da una larghezza di
2379 banda di 200KHz, ed è suddivisa nel tempo in 8 intervalli(time-slot), ciascuno della durata di 0.577ms.
2380 L'insieme di 8 time-slot, della durata complessiva di 4.616ms (0.577x8), viene definito trama o frame.
2381 Il canale di comunicazione, quindi, è identificato da un determinato intervallo di tempo(time-slot) e da
2382 una portante radio. Considerando, per esempio, la banda primaria del sistema GSM(P-GSM), la
2383 banda operativa di 25MHz è suddivisa in 124 portanti da 200KHz, secondo la tecnica FDMA.
2384 Attraverso la tecnica TDMA, ogni portante radio può essere utilizzata negli 8 time-slot della trama,
2385 definendo un numero totale di 992 canali(124x8).

2386 A.3 UMTS

2387 Il sistema UMTS utilizza la tecnica CDMA: gli utenti trasmettono alla stessa frequenza e nello stesso
2388 istante. La separazione dei vari utenti è ottenuta assegnando a ciascuno un "codice" (o sequenza)
2389 diverso. Le sequenze sono utilizzate per codificare in modo univoco l'informazione d'utente da
2390 trasmettere, in modo da poterla distinguere da quella degli altri utenti.



2391

2392 **Figura Appendice A-1- Rappresentazione delle tecniche di accesso fondamentali nel dominio**
2393 **tempo-frequenza-potenza**

2394 Anche questo sistema consente di definire una potenza massima di alimentazione dell'antenna, che
2395 corrisponde alle condizioni di massima emissione

2396 La capacità del sistema, in presenza di codici ortogonali disponibili, può essere limitata proprio dalla
2397 massima potenza disponibile: la potenza viene assegnata ad ogni utente in funzione del servizio
2398 richiesto (e in particolare del bit-rate dello stesso) e della sua posizione rispetto alla SRB servente e
2399 rispetto a quelle adiacenti. Anche nel sistema UMTS le funzionalità di power control e di DTX downlink
2400 contribuiscono a minimizzare la potenza trasmessa per la singola connessione. In particolare, i
2401 meccanismi di power control sono ancora più rapidi di quelli implementati nel GSM, con un controllo
2402 effettuato 1500 volte al secondo.

2403 Infine, il sistema UMTS può prevedere un meccanismo di *TX diversity*, che consiste nella possibilità
2404 di trasmettere in downlink lo stesso segnale (solitamente a meno del canale "pilota", CPICH)
2405 utilizzando due antenne differenti, orientate nella stessa direzione: è necessario sottolineare che
2406 questo non comporta necessariamente un aumento della potenza trasmessa. Infatti, in
2407 un'implementazione tipica, la stessa potenza disponibile sarebbe suddivisa sui due rami di
2408 trasmissione: rispetto al caso di assenza di *TX diversity*, però, la potenza richiesta per il singolo
2409 canale risulta ridotta grazie ad una maggiore efficienza in ricezione.

2410 **A.4 LTE**

2411 LTE (*Long Term Evolution*) è la tecnologia di quarta generazione (4G) nata come evoluzione dei
2412 sistemi mobili di terza generazione per rispondere alla richiesta di una disponibilità di banda maggiore
2413 per la crescita continua del traffico dati nelle reti mobili.

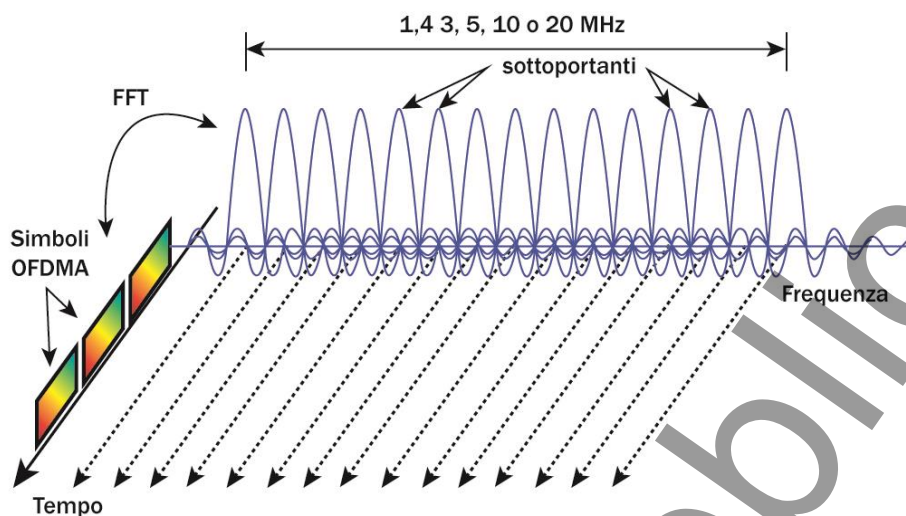
2414 Il processo di standardizzazione del sistema LTE operato dall'ente internazionale 3GPP (Third
2415 Generation Partnership Project) è iniziato alla fine del 2004 e ha portato alla definizione di una nuova
2416 tecnica di accesso radio ottimizzata per la trasmissione a pacchetto ed in grado di fornire più elevati
2417 valori di throughput (velocità a cui i dati possono viaggiare nel sistema, espresso normalmente come
2418 bit al secondo, b/s) con minore latenza rispetto a quanto offerto dai sistemi GSM e UMTS.

2419 Una caratteristica importante del sistema LTE è la flessibilità nell'uso dello spettro: per questo il
2420 sistema è stato progettato per supportare sia il duplexing FDD (*Frequency Division Duplexing*, dove
2421 le porzioni di banda utilizzate per la tratta downlink, e quella utilizzata per la tratta uplink sono
2422 differenti), sia quello TDD (*Time Division Duplexing*, dove si utilizza la stessa porzione di banda per
2423 la tratta downlink e uplink). Inoltre, sempre al fine di adattare il sistema anche a scenari caratterizzati
2424 da scarsità di spettro, il sistema supporta differenti canalizzazioni (1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz,
2425 15 MHz e 20 MHz).

2426 La tecnica di modulazione e multiplazione utilizzata per la tratta downlink è la tecnica multi portante
2427 S-OFDMA (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). L'OFDMA è essenzialmente
2428 un tipo di OFDM multiutente. Effettua l'assegnazione a livello di dominio e di frequenza, consentendo
2429 così la presenza di più utenti, anche quelli con modelli di utilizzo o carichi di dati variabili. Al contrario,
2430 OFDM può assegnare solo in modo sequenziale.

2431 La tecnica multi portante OFDM è ampiamente utilizzata in diversi sistemi di telecomunicazione, quali
2432 l'ADSL, le WLAN, il WiMAX. In un sistema OFDM lo spettro disponibile è diviso in portanti multiple,
2433 chiamate sottoportanti, e al fine di realizzare una trasmissione ad elevato bit rate, ogni sottoportante
2434 può essere modulata indipendentemente da un flusso dati a basso rate.

2435 In Figura Appendice A-2 sono mostrate le caratteristiche principali, in tempo e frequenza, di un
2436 segnale OFDMA. Un vantaggio della trasmissione di un segnale OFDMA, rispetto ad un sistema
2437 singola portante, è la minore complessità richiesta per l'equalizzazione del canale. Inoltre la
2438 generazione del segnale può essere ottenuta facilmente utilizzando un blocco che effettua una IFFT
2439 (*Inverse Fast Fourier Transform*) portando il segnale dal dominio della frequenza al dominio del tempo
2440 prima di essere trasmesso. Di contro tale tecnica è particolarmente sensibile ad errori di frequenza e
2441 rumore di fase, che causano la perdita di ortogonalità tra le sottoportanti. Per le stesse ragioni,
2442 l'OFDM/OFDMA è anche sensibile all'effetto Doppler, che causa interferenza tra le sottoportanti ICI
2443 (*Inter Carrier Interference*).



2444

2445

2446

Figura Appendice A-2– Rappresentazione del segnale OFDMA nel dominio del tempo e della frequenza. Ogni sottoportante occupa una banda di 15KHz

2447

2448

2449

2450

2451

2452

2453

2454

2455

Nel sistema LTE vengono trasmesse N sottoportanti in parallelo (dove N dipende dalla banda occupata dal sistema). Ogni sottoportante è modulata da un flusso informativo indipendente. Il simbolo OFDM rappresenta il tempo necessario per la trasmissione in parallelo di N simboli di informazione sulle N sottoportanti del sistema. Nella terminologia LTE è introdotto il concetto di RE (*Resource Element*) che corrisponde ad una sottoportante OFDMA nell'intervallo di tempo di un simbolo OFDM e che pertanto trasporta un unico simbolo informativo. La larghezza di banda di una singola sottoportante nel sistema LTE è stata fissata a 15 kHz. Alcuni RE sono dedicati per la trasmissione di segnali pilota, noti al terminale ed utilizzati per effettuare una stima del canale e decodificare correttamente i dati. Tali RE prendono il nome di Reference Signal (RS).

2456

2457

2458

2459

2460

2461

2462

La moltiplicazione di più connessioni è ottenibile associando differenti gruppi di sottoportanti a diversi utenti. Ad ogni utente è possibile associare un formato di codifica e modulazione differente in funzione delle condizioni radio sperimentate. In teoria è possibile, in un sistema OFDMA, allocare ogni singola sottoportante ad un differente terminale ed applicare un formato di modulazione e codifica differente. Tuttavia questo richiederebbe che la rete segnali ai vari terminali il formato di modulazione e codifica per ogni sottoportante e questo richiederebbe un traffico di segnalazione elevato. Pertanto, in LTE è stato introdotto il concetto di PRB (*Physical Resource Blocks*).

2463

2464

2465

2466

2467

2468

Un PRB è definito come un numero di simboli OFDM consecutivi nel dominio nel tempo pari a 7, corrispondente ad una durata di 0,5 ms, indicato nella terminologia LTE come slot, e un numero di sottoportanti adiacenti nel dominio della frequenza pari a 12 (corrispondente ad un'occupazione di 180 kHz nel dominio della frequenza). Due slot consecutivi, corrispondenti a 14 simboli OFDM, formano il TTI (*Transmission Time Interval*), e i due PRB contenuti in un TTI rappresentano la minima risorsa allocabile dal sistema.

2469

2470

2471

2472

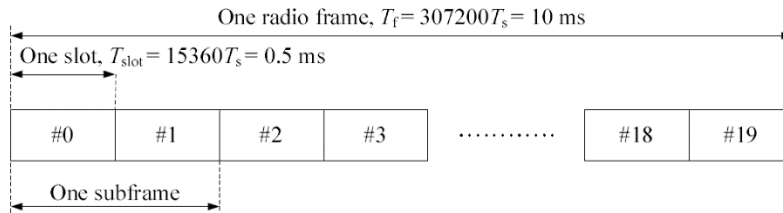
La trama del segnale LTE è periodica ed è costituita da una successione continua di *radio frames*, ciascuno di durata pari a 10 ms. Il frame è a sua volta costituito da 10 TTI (anche detti *subframes*) – ciascuno di durata pari a 1 ms. Lo standard LTE prevede due strutture differenti per il frame, a seconda che il segnale implementi il duplexing FDD o TDD:

2473

2474

2475

Frame di tipo 1 -riservato esclusivamente al duplexing FDD nel quale, a seconda del tipo di trasmissione considerata, il frame è costituito da 10 subframes interamente dedicati al downlink o all'uplink (Figura Appendice A-3);



2476

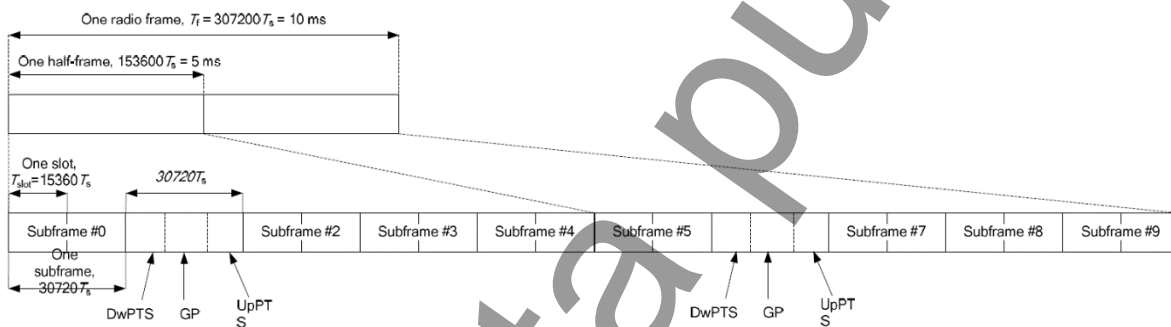
2477

Figura Appendice A-3—struttura del frame di tipo 1

2478 In Figura Appendice A-3 le quantità indicate assumono i seguenti significati:

- 2479 • T_{slot} : durata del singolo slot
- 2480 • T_f : durata di un Radio Frame
- 2481 • T_s : Basic Time Unit

2482 Frame di tipo 2 – riservato esclusivamente al duplexing TDD nel quale il frame è costituito da 10
 2483 subframes, utilizzati sia per il downlink (D) che per l'uplink (U) (Figura Appendice A-4). Inoltre, il
 2484 passaggio da downlink ad uplink è sempre mediato da un subframe speciale (S), a sua volta costituito
 2485 da tre intervalli temporali denominati DownlinkPilot Time Slot (DwPTS), Guard Period (GP) e Uplink
 2486 Pilot Time Slot (UpPTS).



2487

Figura Appendice A-4 – struttura del frame di tipo 2

2489 In Figura Appendice A-4 le quantità indicate assumono i seguenti significati:

- 2490 • T_{slot} : durata del singolo slot
- 2491 • T_f : durata di un radio frame
- 2492 • T_s : Basic Time Unit
- 2493 • DwPTS: DownlinkPilot Time Slot
- 2494 • GP: Guard Period
- 2495 • UpPTS: Uplink Pilot Time Slot

2496 Lo standard LTE prevede, per il duplexing TDD, 7 possibili configurazioni downlink/uplink ($C_{d/u}$) per i
 2497 10 subframes che costituiscono il frame. Tali configurazioni sono riportate in Tabella Appendice A-2.
 2498 Lo standard prevede inoltre 10 possibili configurazioni per i subframes S (C_s), caratterizzate da
 2499 differenti durate degli intervalli DwPTS, GP e UpPTS. Tali configurazioni sono elencate in Tabella
 2500 Appendice A-3. Si noti che nel seguito verrà trattato esclusivamente il caso di simboli OFDM che
 2501 implementano il prefisso ciclico normale. Qualora si considerino simboli OFDM con prefisso ciclico

2502 esteso, la trattazione potrà essere facilmente ricavata per analogia sulla base delle configurazioni
2503 previste dallo standard⁽⁷⁾.

2504 **Tabella Appendice A-2 – Configurazioni downlink/uplink previste dallo standard LTE per il**
2505 **duplexing TDD**

Configurazione downlink/uplink C _{d/u}	Numero del subframe									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

2506 **Tabella Appendice A-3–Configurazioni del subframe S previste dallo standard LTE per il**
2507 **duplexing TDD**

Configurazione	subframe S	C _s	Numero di simboli OFDM / subframe		
			DwPTS	GP	UpPTS
0			3	10	1
1			9	4	1
2			10	3	1
3			11	2	1
4			12	1	1
5			3	9	2
6			9	3	2
7			10	2	2
8			11	1	2
9			6	6	2

2508 Il sistema LTE prevede la trasmissione in downlink di diversi canali dedicati alla segnalazione:

- 2509 • SCH (Synchronization Channel): è il canale utilizzato dai terminali per acquisire la
2510 sincronizzazione alla rete. In LTE è prevista la trasmissione di un canale primario (P-SCH,
2511 Primary SCH) e uno secondario (S-SCH, Secondary SCH) di sincronizzazione.
- 2512 • PBCH (Physical Broadcast Channel): è il canale trasmesso in broadcast su tutta la cella che
2513 contiene informazioni di sistema che il terminale legge per configurarsi opportunamente subito
2514 dopo aver acquisito la sincronizzazione tramite i canali P-SCH e S-SCH. Il canale viene letto
2515 periodicamente dal terminale per rivelare eventuali modifiche nella configurazione del sistema. Il
2516 PBCH occupa un intervallo di frequenza di 1 MHz al centro della banda, corrispondente a 6 PRB
2517 e quindi utilizza 6x12=72 sottoportanti. L'occupazione in frequenza del PBCH è indipendente dalla
2518 canalizzazione.

2519 Il numero totale di PRB disponibili nel sistema varia secondo la canalizzazione considerata e va da
2520 un minimo di 6, nel caso in cui il segnale occupi un canale di 1,4 MHz, per arrivare fino a 100 nel
2521 caso in cui si consideri una canalizzazione di 20 MHz.

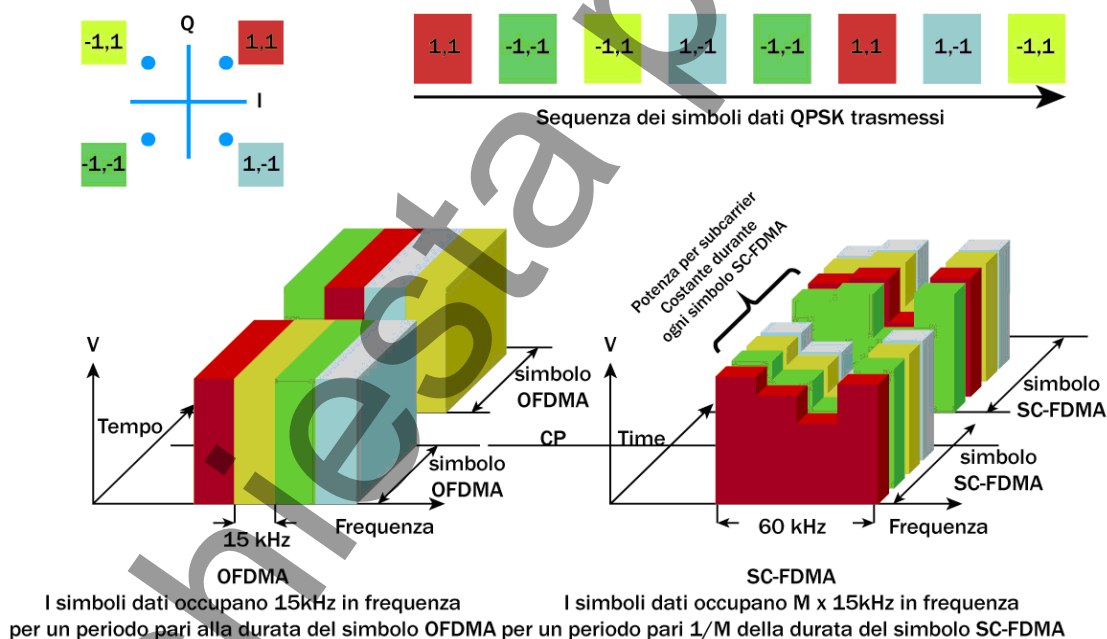
(7) Il prefisso ciclico rappresenta la copia di una porzione della parte finale di un simbolo OFDM, replicata ciclicamente all'inizio del simbolo stesso. Lo scopo di inserire un prefisso che incrementa la durata complessiva di ciascun simbolo OFDM è quello di mitigare l'effetto di eventuali interferenze intersimboliche. Lo standard 3GPP distingue, in base alla durata, il prefisso ciclico normale (5.2 µs per il primo simbolo di uno slot, 4.7 µs per i simboli rimanenti) da quello esteso (16.67 µs per tutti i simboli di uno slot).

2522 Lo standard LTE supporta differenti tecniche di trasmissione MIMO (*Multiple Input Multiple Output*).
 2523 La trasmissione MIMO, che sfrutta la molteplicità di antenne al trasmettitore e al ricevitore, consente
 2524 di trasmettere più flussi informativi in parallelo, aumentando il throughput di picco del sistema.

2525 Un vantaggio derivante dall'utilizzo della tecnica OFDM, rispetto a sistemi a singola portante, è la
 2526 possibilità di separare nel ricevitore l'operazione di equalizzazione del canale da quella di decodifica
 2527 della trasmissione MIMO, semplificando il progetto del ricevitore. In particolare lo standard supporta
 2528 anche configurazioni MIMO 4x4 che permettono di raggiungere nel downlink throughput attorno ai
 2529 300 Mbps per settore.

2530 Per la tratta in uplink il 3GPP ha selezionato una tecnica di accesso radio differente in quanto la
 2531 tecnica OFDM presenta lo svantaggio di un elevato PAPR (*Peak to Average Power Ratio*), dovuto
 2532 proprio alla natura multi portante del segnale, in cui N simboli modulati in maniera indipendente sono
 2533 trasmessi in parallelo. In particolare, poiché un elevato PAPR pone vincoli più stringenti sulla linearità
 2534 dell'amplificatore in trasmissione, al fine di ottimizzare l'utilizzo della potenza nei terminali e ridurre
 2535 i costi, è stata selezionata la tecnica di accesso SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple
 2536 Access*).

2537 La generazione del segnale SC-FDMA in trasmissione richiede una precodifica prima del blocco di
 2538 IFFT. Tale tecnica, come nel caso dell'OFDM, divide il canale in più sottoportanti tra di loro ortogonali.
 2539 Tuttavia al contrario del sistema OFDM, dove i simboli dati modulano in maniera indipendente ogni
 2540 *resource element*, nel caso della SC-FDMA il segnale modulato nella singola sottoportante, grazie
 2541 alla precodifica che precede la IFFT, è una combinazione lineare di tutti i simboli trasmessi allo stesso
 2542 istante di tempo (vedi Figura Appendice A-5). Questa caratteristica fornisce al segnale proprietà simili
 2543 a quelle di un segnale a singola portante, riducendone il PAPR significativamente.



2544

2545

Figura Appendice A-5 - Confronto tra OFDMA e SC-FDMA

2546 Nell'esempio illustrato in Figura Appendice A-5 per semplicità di rappresentazione si usano solo 4
 2547 sottoportanti su due periodi di simbolo con i dati trasmessi rappresentati tramite una modulazione
 2548 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Come descritto in precedenza, in realtà i segnali LTE sono
 2549 allocati in multipli di 12 sottoportanti adiacenti. La differenza più ovvia tra i due schemi è che nel caso
 2550 dell'OFDMA i quattro simboli dati QPSK sono trasmessi in parallelo, uno per sottoportante, mentre
 2551 nel caso della SC-FDMA i quattro simboli dati sono trasmessi in serie ad una velocità quattro volte
 2552 superiore, con ogni simbolo dati che occupa una banda larga 4 (numero di sottoportanti) x15kHz.

2553 LTE è in grado di supportare alti valori di throughput con picchi di 75Mbit/s in uplink e 300Mbit/s in
2554 downlink e con una larghezza di banda scalabile da 1,4MHz a 20MHz.

2555

2556 **A.5 La tecnologia Narrowband IoT (NB-IoT)**

2557 Il Narrowband IoT (NB-IoT) è una tecnologia Low Power Wide Area (LPWA) standardizzata all'interno
2558 della Release 13 del 3GPP. Tale tecnologia radio nasce principalmente per l'implementazione
2559 dell'Internet of Things, ovvero l'interconnessione di numerosi dispositivi che richiedono lo scambio di
2560 una mole molto limitata di dati su periodi di tempo molto lunghi. Il NB-IoT consente di ottenere ampie
2561 coperture indoor a costi limitati, garantendo al contempo consumi ridotti e un elevato numero di
2562 dispositivi connessi.

2563 La tecnologia NB-IoT, sebbene pienamente auto consistente, risulta essere strettamente legata a
2564 quella LTE: i canali di broadcast e quelli di sincronizzazione sono infatti essenzialmente equivalenti
2565 ai corrispettivi canali presenti nei sistemi 4G e l'occupazione di banda è pari a quella di un singolo
2566 PRB (ovvero 180 kHz). Queste caratteristiche fanno sì che esistano tre modalità di implementazione
2567 delle reti NB-IoT:

- 2568 • Modalità *stand-alone*, il sistema è del tutto indipendente rispetto alle altre tecnologie radio.
2569 Solitamente il segnale Nb-IoT va a occupare la porzione di banda di solito riservata a una portante
2570 GSM;
- 2571 • Modalità *guard-band*, il sistema è implementato all'interno della banda di guardia tra due canali
2572 LTE adiacenti;

2573 Modalità *in-band*, in cui il sistema è implementato all'interno della banda tipicamente riservata a un
2574 canale LTE, andando a occupare la porzione di banda riservata a un PRB.

2575 Nella modalità in-band non tutti i PRB possono essere destinati a ospitare il segnale NB-IoT. La lista
2576 dei PRB autorizzati varia a seconda della larghezza di banda del segnale LTE. Inoltre, il segnale NB-
2577 IoT non può mai essere implementato nei 6 PRB centrali della banda, al fine di evitare interferenze
2578 con i canali di broadcast del LTE. Infine, non è possibile implementare il NB-IoT all'interno della
2579 banda di segnali LTE da 1,4 MHz. La modalità di duplexing utilizzata dal NB-IoT è la FDD.

2580 La presenza del segnale NB-IoT nella configurazione in-band e guard-band non ha impatti sulla
2581 potenza totale massima trasmissibile dalla cella LTE ospitante perché comprensiva anche del NB-
2582 IoT, ma richiede una metodologia di misura del campo elettromagnetico che consideri la presenza
2583 del NB-IoT.

2584 **A.6 I sistemi 5G (NR)**

2585 L'NR (New Radio) è la tecnologia di quinta generazione (5G) nato per per Internet of Things (IoT) o
2586 Internet delle Cose L'IoT si basa sull'idea di oggetti "intelligenti" tra loro interconnessi in modo da
2587 scambiare le informazioni possedute, raccolte e/o elaborate.

2588 Le principali caratteristiche del 5G sono:

- 2589 • **Bande di frequenza**: il segnale 5G in Italia verrà implementato in due macro-regioni dello spettro
2590 elettromagnetico: sub-6 GHz e mmWave (con blocchi nella banda 26 GHz). Nella macro regione
2591 sub-6 GHz le bande di frequenza nativamente destinate al 5G sono la 700 MHz (N28), la 3600
2592 MHz (N78) e la 26GHz (N257), tuttavia anche le altre bande (B1, B3, B7, B20 , etc) saranno
2593 progressivamente migrate verso la tecnologia 5G.
- 2594 • **Larghezza di banda**: le larghezze di banda ammesse dallo standard LTE sono 1.4, 3, 5, 10, 15
2595 e 20 MHz. La tecnologia 5G estende la larghezza massima consentita fino a 100 MHz per il
2596 segnale sub-6 GHz e 400 MHz per il segnale mmWave;

2597 • **Numerologia:** a differenza del LTE – dove l'unico valore consentito per la spaziatura di una
 2598 sottoportante (Sub Carrier Spacing) è 15 kHz – la tecnologia 5G supporta diverse numerologie,
 2599 indicate dal parametro μ . Tale parametro può variare da 0 a 4 ed è strettamente legato alla
 2600 spaziatura delle sottoportanti dalla formula $\Delta f = 2^\mu \cdot 15 \text{ kHz}$. Di conseguenza, anche la durata del
 2601 simbolo è connessa a μ , in quanto inversamente proporzionale a Δf . Nello specifico, $\mu=3$ e 4 sono
 2602 riservati esclusivamente al segnale 5G nella banda mmWave. Da notare che la trama del segnale
 2603 5G può essere frazionata in bandwidth parts che possono far riferimento a numerologie diverse
 2604 (ad esempio, numerologie diverse per i canali di controllo e per i dati); Nella figura sottostante è
 2605 riportato a scopo esemplificativo il numero di Resource Block in funzione della numerologia, della
 2606 banda disponibile e della Sub Carrier Spacing.

SCS (kHz)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz	MHz
	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
15	25	52	79	106	133	160	216	270	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
30	11	24	38	51	65	78	106	133	162	189	217	245	273
60	N/A	11	18	24	31	38	51	65	79	93	107	121	135

2607

2608 • **Struttura del frame:** il frame 5G ha la medesima durata del frame LTE (10 ms) ed è allo stesso
 2609 modo costituito da 10 subframes ciascuno di durata 1 ms. Tuttavia, mentre per il segnale LTE
 2610 ogni subframe è sempre costituito da un numero fissato di simboli OFDM, per il segnale 5G tale
 2611 numero dipende dalla numerologia. In generale, nella tecnologia 5G, uno slot è costituito da 14
 2612 simboli e il numero di slot contenuti in un subframe è 2^μ . Pertanto si va da un minimo di 140
 2613 simboli per frame per $\mu=0$ (condizione analoga al segnale LTE) fino a un massimo di 2240 simboli
 2614 per frame per $\mu=4$;

2615 • **Duplexing FDD/TDD:** analogamente alla **tecnologia** LTE, anche il 5G prevede due possibili
 2616 modalità di accesso alla risorsa radio: Frequency Division Duplex (FDD), dove le trasmissioni di
 2617 downlink e uplink viaggiano su frequenze separate e Time Division Duplex (TDD), dove downlink
 2618 e uplink condividono la medesima banda di frequenza, occupandola alternativamente in specifici
 2619 slot temporali previsti dallo standard. La modalità TDD implementata dal 5G è analoga quella
 2620 del segnale LTE. Le differenze principali sono che la configurazione della direzione di
 2621 trasmissione avviene a livello di subframe per il segnale LTE e di slot per il 5G e che per il 5G
 2622 esistono molte più configurazioni rispetto alla controparte LTE;

2623 • **Canali di controllo:** la tecnologia 5G prevede un utilizzo più efficiente delle risorse radio,
 2624 limitando l'emissione dei canali di segnalazione e controllo esclusivamente ad alcune finestre
 2625 **temporali**. Tale caratteristica è profondamente differente rispetto a quanto avviene nel segnale
 2626 LTE dove il Reference Signal è costantemente presente all'interno della trama. I canali di
 2627 segnalazione e controllo per il 5G sono del tutto analoghi a quelli del LTE – PSS, SSS, PBCH,
 2628 PBCH_DMRS⁽⁸⁾ - ma sono compressi in una struttura chiamata SS-Block che viene trasmessa
 2629 solo in specifiche locazioni di trama previste dallo standard. La struttura del SS-Block verrà
 2630 approfondita più avanti nel paragrafo;

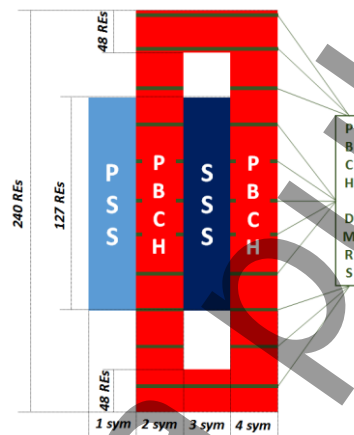
2631 • **Beam sweeping e beamforming:** uno degli elementi maggiormente innovativi del 5G è costituito
 2632 dalla possibilità di utilizzare antenne di tipo Massive MIMO soprattutto per le bande di frequenza
 2633 più elevata. La tecnologia MaMIMO offre la possibilità di generare diagrammi di radiazione tempo
 2634 varianti. Con il termine di Beam Sweeping si intende la possibilità di trasmettere gli SS-Block in
 2635 direzioni diverse. Questa caratteristica rappresenta una vera rivoluzione nell'ottica della
 2636 valutazione dell'esposizione in quanto cade il paradigma che i canali di controllo vengano
 2637 trasmessi sempre a potenza costante su tutta la cella. Un terminale in una determinata posizione
 2638 misurerà una potenza diversa per ciascun SS-Block trasmesso dalla antenna MaMIMO. La
 2639 conoscenza del SS-Block che viene ricevuto con potenza maggiore da parte dell'utente fornisce
 2640 alla antenna attiva il primo feedback per capire la posizione specifica dell'utente ed effettuare il
 2641 beamforming una volta che l'utente ha stabilito una connessione con l'UE.

(8) Il PBCH_DMRS è analogo al Reference Signal del segnale LTE

2642 Il SynchronizationSignalBlock (SS-Block) è la struttura fondamentale utilizzata dalla tecnologia 5G
2643 per gestire la connessione con gli UE. Il blocco – Figura Appendice A-6– ha una durata di 4 simboli
2644 e ha, nei simboli 2, 3 e 4, un'estensione massima pari a 240 sottoportanti. Il primo simbolo ospita le
2645 127 portanti del PSS, mentre il secondo e il quarto sono occupate dal PBCH. Il terzo simbolo, invece,
2646 è condiviso dal SSS – che occupa le 127 portanti centrali – e dal PBCH che occupa 48 sottoportanti
2647 al di sopra e al di sotto del SSS (i due canali sono opportunamente separati da alcune sottoportanti
2648 di guardia). Disseminato all'interno del PBCH si trova il PBCH_DMRS che funge da Reference Signal
2649 allo scopo di rendere possibile la decodifica del PBCH da parte del terminale mobile.

2650 Il numero e la posizione degli SS-Block all'interno della trama sono fissati dallo standard 5G e definiti
2651 in specifici Case (A, B, C, D ed E). Indipendentemente dal case, però, gli SS-Blocks sono contenuti
2652 in 5 ms, ovvero metà trama. L'intero set degli SS-Block locato entro i 5 ms assegnatogli dallo standard
2653 è chiamato SS-Burst ed è trasmesso periodicamente, con T generalmente pari a 5, 10 o 20 ms (Figura
2654 Appendice A-7).

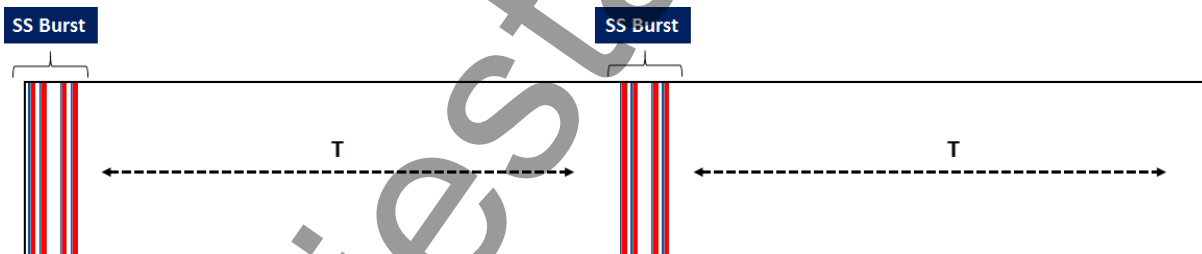
2655



2656

2657

Figura Appendice A-6 - Struttura del SS-Block



2658

2659

Figura Appendice A-7 - Periodicità degli SS-Burst

2660 La caratteristica peculiare del 5G di trasmettere la segnalazione in blocchi separati sta alla base del
2661 concetto di beam sweeping. Come già anticipato, i diversi SS-Blocks sono veicolati nello spazio
2662 mediante fasci che variano la loro direzione nel tempo (Figura Appendice A-8). Tale tecnica è
2663 realizzata sfruttando antenne di nuova generazione, dotate di un array di elementi radianti tra loro
2664 indipendenti. Il beam sweeping consente di ottimizzare la copertura dell'impianto 5G, limitando allo
2665 stesso tempo il consumo di potenza. Il fatto che la segnalazione venga trasmessa, istante per istante,
2666 in direzioni differenti implica che le misure di potenza ricevuta del SS-Block non siano costanti nel
2667 tempo.

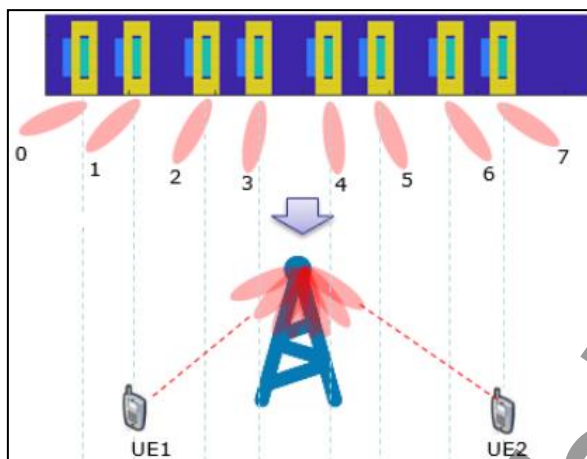


Figura Appendice A-8 - Schematizzazione del beam sweeping

2668

2669

2670 A.7 Tecnologia DSS

2671 Con il termine DSS (Dynamic Spectrum Sharing) si intende l'utilizzo concorrente delle stesse risorse
2672 spettrali da parte di tecnologie radio differenti. Le tecnologie che oggi meglio si prestano per un
2673 utilizzo condiviso della banda sono soprattutto quelle 4G e 5G in virtù della loro notevole similitudine
2674 come tecnica di modulazione del segnale, come struttura di trama e come canali di controllo.

2675 Negli anni passati spesso bande di frequenza associate a determinate tecnologie sono state ad un
2676 certo punto convertite per garantire ulteriore spazio elettromagnetico a tecnologie differenti,
2677 tipicamente più recenti: ad esempio la banda 1800 MHz, inizialmente utilizzata in tecnologia GSM, è
2678 stata gradualmente utilizzata con la tecnologia LTE. Il cambio di tecnologia su una banda prende il
2679 nome di "refarming" ed avviene in modalità statica, ovvero lo spettro viene utilizzato soltanto con una
2680 delle due tecnologie.

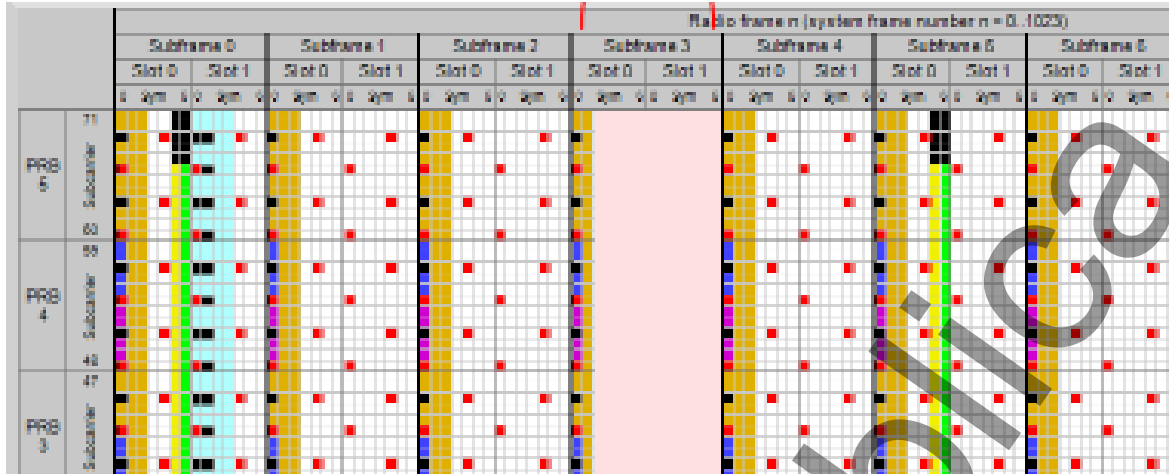
2681 L'impiego del DSS permette invece di effettuare una sorta di "refarming dinamico" permettendo quindi
2682 una migrazione verso le tecnologie più nuove senza per questo sottrarre risorse alle tecnologie più
2683 vecchie.

2684 Una cella in cui siano presenti due tecnologie in modalità DSS il 4G ed il 5G si presenta verso gli
2685 utenti esattamente come due celle differenti ciascuna con i propri canali di sincronizzazione e
2686 controllo che quindi devono essere tali da poter coesistere. Sarà poi compito della rete gestire gli
2687 utenti in modalità 4G o 5G, in funzione delle caratteristiche del terminale, allocando a ciascuno risorse
2688 spettrali e temporali differenti.

2689 Esistono due modalità principali con cui effettuare il Dynamic Spectrum Sharing tra 4G e 5G.

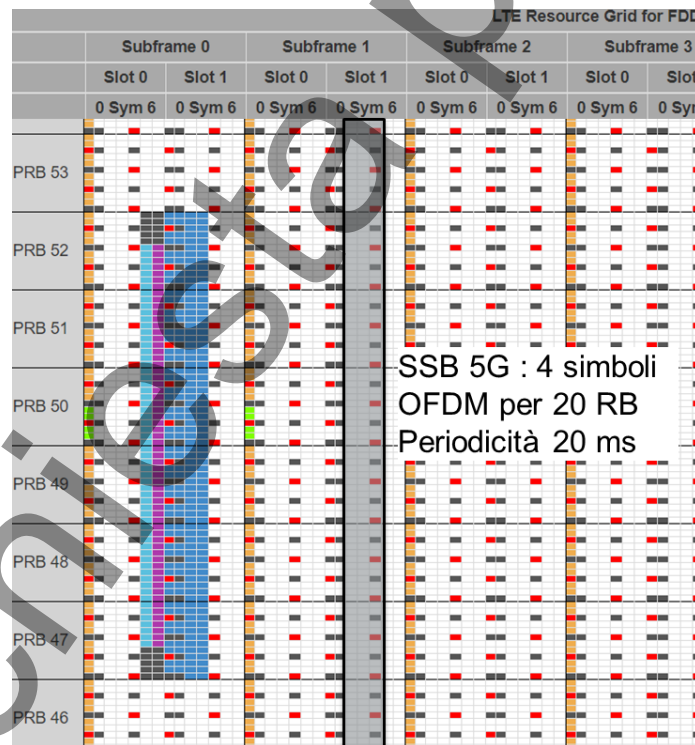
2690 La prima prevede l'utilizzo di subframe di tipo MBSFN (Multicast-Broadcast Single Frequency
2691 Network) per la trasmissione del SS-Block 5G. I subframe MBSFN sono state standardizzate nel LTE
2692 al fine di utilizzare la rete 4G anche per trasmettere in broadcast contenuti multimediali (mobile TV).
2693 Tali subframe hanno una struttura differente dalle subframe standard LTE: in particolare il Reference
2694 Signal è trasmesso solo sul primo simbolo, come riportato sotto, e in tali subframe è possibile allocare
2695 4 simboli consecutivi per il SS-Block. In questa configurazione, la coesistenza tra 4G e 5G è garantita
2696 dal fatto che i rispettivi canali di segnalazione occupano porzioni di trama nettamente separate e che
2697 quindi non possono interferire tra loro.

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali



2698

2699 L'altra soluzione invece prevede che il SS-Block venga trasmesso in un subframe standard 4G. In
 2700 questo caso alcuni dei simboli del SS Block collidono necessariamente con i reference symbols 4G.
 2701 In questo scenario sono possibili due soluzioni: preservare il Reference Signal effettuando un
 2702 puncturing del SS-Block oppure preservare il SS-Block sovrascrivendo i simboli del Reference Signal
 2703 4G.
 2704 Nella figura sotto sono riportate il PSS, SSS ed il PBCH 4G ed in grigio anche i 4 simboli consecutivi
 2705 destinati al SSB 5G. Nel 4G il PSS, SSS e PBCH sono sempre configurati sui 6 Resource Block
 2706 centrali della banda mentre nel 5G il SS-Block può essere configurato anche agli estremi della stessa
 2707 pertanto la figura sotto riportata è puramente rappresentativa della sovrapposizione tra SSB 5G e RS
 2708 4G.



2709

2710 Indipendentemente dalla modalità implementata, la condizione necessaria che deve essere
 2711 soddisfatta per garantire la coesistenza dei sistemi 4G e 5G in tecnologia DSS è che l'occupazione
 2712 spettrale delle sottoportanti 4G e 5G sia esattamente la stessa. Quindi, poiché l'unico valore di
 2713 occupazione spettrale ammesso dallo standard LTE è 15 kHz, l'implementazione del DSS è vincolata
 2714 all'utilizzo di un sistema 5G con numerologia $\mu=0$.

2715 Un'altra caratteristica del DSS è l'ampliamento dell'effettiva banda occupata dal segnale rispetto a
2716 quella occupata dal classico segnale LTE. Ad esempio, l'attivazione del DSS nella banda occupata
2717 da un segnale LTE a 20 MHz ha come effetto quello di incrementare di 6 Resource Block l'effettiva
2718 larghezza di banda del segnale (100 RB per il segnale LTE, 106 RB per lo stesso segnale
2719 successivamente all'attivazione del DSS).

2720 **A.8 Small Cells & Small Area Wireless Access (SAWAP)**

2721 I punti di accesso senza fili per aree di piccole dimensioni (SAWAP - Small Area Wireless Access
2722 Point) generalmente chiamate anche small cells (e definite a volte in italiano generalmente come
2723 micro celle) sono un impianti SRB di bassa potenza che fornisce servizi mobili e di collegamento dati
2724 all'interno di un'area locale. Tali impianti hanno generalmente un campo di azione che varia da poche
2725 decine di metri sino ad alcune centinaia di metri.

2726 Si possono distinguere varie tipologie di SRB differenziate per potenza all'antenna e raggio di
2727 copertura [**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**], tra queste si distinguono tre categorie s
2728 pecifiche: micro-celle, pico-celle e femto-celle.

2729 Classificando le SRB in base alla potenza isotropa equivalente irradiata (EIRP) come da, Tabella
2730 Appendice A-4, come definito dalla [7] oltre alla potenza di installazione si tiene conto, mediante il
2731 guadagno d'antenna, anche delle caratteristiche radiative della specifica cella.

2732 Tale classificazione suddivide gli impianti in 5 classi di prodotto in base al valore di EIRP previsto:

2733 **Tabella Appendice A-4 - Suddivisione delle classi SAWAP**

Classe	EIRP [W]	EIRP [dBm]
E0	n/a	n/a
E2	≤ 2	≤ 33
E10	≤ 10	≤ 40
E100	≤ 100	≤ 50
E+	> 100	> 50

2734 Nella tabella di cui sopra il valore di EIRP è da intendersi comprensivo di tutte le bande/tecnologie
2735 supportate dall'impianto.

2736 Nella Norma CEI IEC 62232 [7] si identificano le SAWAP che per le loro caratteristiche radiative
2737 presentano una portata limitata e per le quali, in riferimento ai limiti ICNIRP, valgono dei criteri
2738 semplificati di conformità. Queste sono quelle ricadenti nelle classi di prodotto E0, E2 ed E10, che
2739 se installate secondo le prescrizioni descritte in [11] risultano conformi ai limiti ICNIRP:

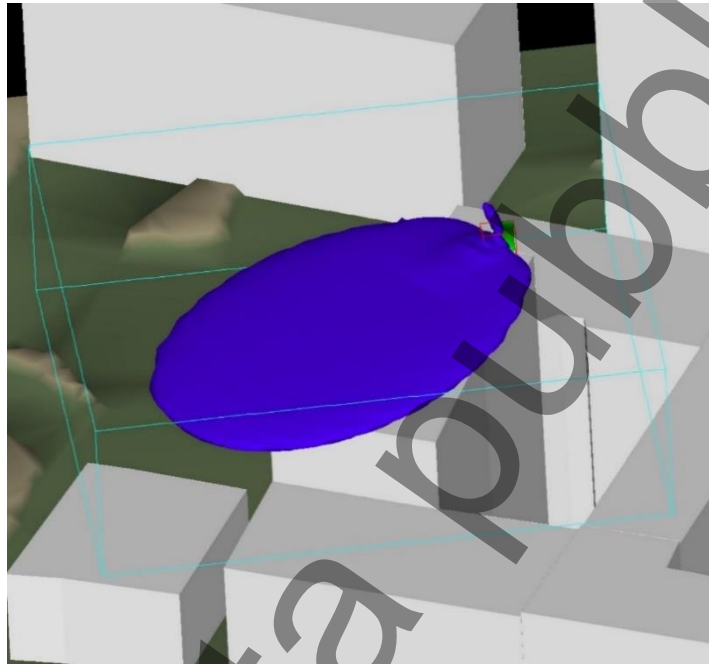
2740
2741

Appendice B Volumi di rispetto Metodologia per il calcolo del volume di rispetto

2742 B.1.1 Metodologia del calcolo del volume di rispetto per una singola antenna

2743 Relativamente al caso semplice di una sola antenna è possibile identificare un'isosuperficie a
2744 campo costante (vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**- immagine viola) e
2745 calcolando il campo in un opportuno insieme di punti e collegando i punti isolivello analogamente
2746 a quanto viene fatto in due dimensioni per rappresentare curve di campo isolivello.

2747



2748

2749 **Figura Appendice B-1 - Volume di rispetto di un'antenna per SRB in ambiente urbano**
2750 **calcolato come isosuperficie (immagine viola) e rappresentazione semplificata**
2751 **(rettangolo azzurro)**

2752 Semplificando ulteriormente la rappresentazione grafica tridimensionale si possono utilizzare
2753 superfici geometricamente più semplici che massimizzano il volume di rispetto dell'antenna.
2754 Tali geometrie vengono solitamente rappresentate da cilindri a sezione rettangolare
2755 (parallelepipedi come in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) o ellittica (Figura
2756 Appendice B-3, nel caso di antenne omnidirezionali la sezione diventa quadrata o circolare).

2757 Il calcolo del volume di rispetto di forma cilindrica a sezione rettangolare o ellittica può essere
2758 effettuato utilizzando i parametri elettrici che normalmente vengono forniti dai costruttori di
2759 antenne.

2760 Per il calcolo è necessario conoscere:

- 2761 c) Il valore di campo elettrico E_0 (o analogamente di campo magnetico H_0 o di densità di
2762 potenza S_0) che definisce il limite della normativa in V/m (A/m e W/m²).
- 2763 d) La potenza calcolo P_{calcolo} (W).
- 2764 e) Il valore di guadagno dell'antenna $G_{\text{MAX(dBi)}}$ riferito al radiatore isotropico ($G_{\text{MAX(dBi)}}$
2765 espresso in dBi; $G_{\text{MAX}} \text{ è } 10^{[(G_{\text{MAX(dBi)})}/10]}$).

2766 L'ampiezza dell'angolo a metà potenza del piano orizzontale ϕ_H .

2767 L'ampiezza dell'angolo a metà potenza del piano verticale ϕ_v

2768 Il valore di Front-to-Back dell'antenna FB . Il volume di rispetto da calcolare per un'antenna di
2769 tipo settoriale è definito da tre dimensioni:

2770 1. L_M è la dimensione massima nella zona antistante l'antenna (profondità del volume).

2771 2. L_V è la dimensione parallela al piano verticale dell'antenna (altezza del volume).

2772 3. L_H è la dimensione parallela al piano orizzontale dell'antenna (larghezza del volume).

2773 L_M si suddivide in due segmenti L_{M1} e L_{M2} che si estendono rispettivamente in avanti e indietro
2774 dal centro dell'antenna.

2775 Il valore di Front-to-Back è solitamente definito in dB come differenza tra il livello nella direzione
2776 di massima propagazione e quello simmetricamente opposto. È opportuno osservare che il
2777 valore di Front-to-Back, per come viene definito, nella maggior parte delle situazioni reali, non
2778 assume un valore generalmente affidabile, in quanto il valore vero dipende fortemente dal tipo
2779 di supporto meccanico utilizzato per l'installazione.. Se FB è espresso in dB, si introduce la
2780 variabile fb come:

$$fb = 10^{[(G_{MAX(dBi)} - FB)/10]} \quad \text{Equazione Appendice B-1}$$

2782 La distanza L_M è data da:

$$L_M = L_{M1} + L_{M2} \quad \text{Equazione Appendice B-2}$$

2784 dove i pedici 1 e 2 indicano rispettivamente la lunghezza da centro antenna lungo la direzione
2785 di massima radiazione e la lunghezza in direzione opposta (Front-to-Back):

$$L_{M1} = \frac{\sqrt{30 P_{calcolo} G_{MAX}}}{E_o} \quad \text{Equazione Appendice B-3}$$

$$L_{M2} = \frac{\sqrt{30 P_{calcolo} fb}}{E_o} \quad \text{Equazione Appendice B-4}$$

2788 Le distanze L_V ed L_H si possono trovare rispettivamente come:

$$L_{V(3dB)} = \sqrt{2} \frac{\sqrt{30 P_{calcolo} G_{MAX}}}{E_o} \sin\left(\frac{\phi_V}{2}\right) \quad \text{Equazione Appendice B-5}$$

$$L_H = \sqrt{2} \frac{\sqrt{30 P_{calcolo} G_{MAX}}}{E_o} \sin\left(\frac{\phi_H}{2}\right) \quad \text{Equazione Appendice B-6}$$

2791

2792

2793 Occorre precisare che le dimensioni del volume di rispetto sono state formulate utilizzando i
2794 dati relativi al solo lobo principale. Per quanto riguarda la dimensione verticale, il valore
2795 riportato rispetta la realtà se i lobi secondari rimangono al di sotto di una certa soglia data da:

2796

$$SLL \leq 20 \log_{10} \left(\frac{\sqrt{2} \sin \phi_V / 2}{2 \sin \phi_{sl}} \right) \quad \text{Equazione Appendice B-7}$$

2798

2799 dove SLL è il livello del lobo secondario disposto secondo una differenza angolare rispetto alla
2800 direzione del lobo principale.

2801 Se la disuguaglianza non è verificata per ogni lobo secondario i , la dimensione verticale del
2802 volume di rispetto si calcola come:

2803
$$L_{V(stl)} = MAX_i \left(2 \sqrt{\frac{30 P_{calcolo} 10^{(SLL_i+G)/10}}{E_o}} \sin \varnothing_{sli} \right)$$

2804 Equazione Appendice B-8

2805

2806 In generale quindi si può definire la lunghezza L_V come:

2807
$$L_V = MAX(L_{V(3dB)}, L_{V(stl)})$$

2808 Equazione Appendice B-9

2809

2810 Alternativamente, sempre nell'ottica di utilizzare figure geometriche di facile rappresentazione,
2811 si può considerare un volume costituito dall'insieme di due cilindri che racchiudano il lobo
2812 principale e i lobi secondari come mostrato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**
2813 avendo introdotto la dimensione del raggio del cilindro che racchiude i lobi secondari
2814 come:

2815
$$L_{M(stl)} = MAX_i \left(2 \sqrt{\frac{30 P_{calcolo} 10^{(SLL_i+G)/10}}{E_o}} \cos \varnothing_{sli} \right)$$

2816 Equazione Appendice B-10

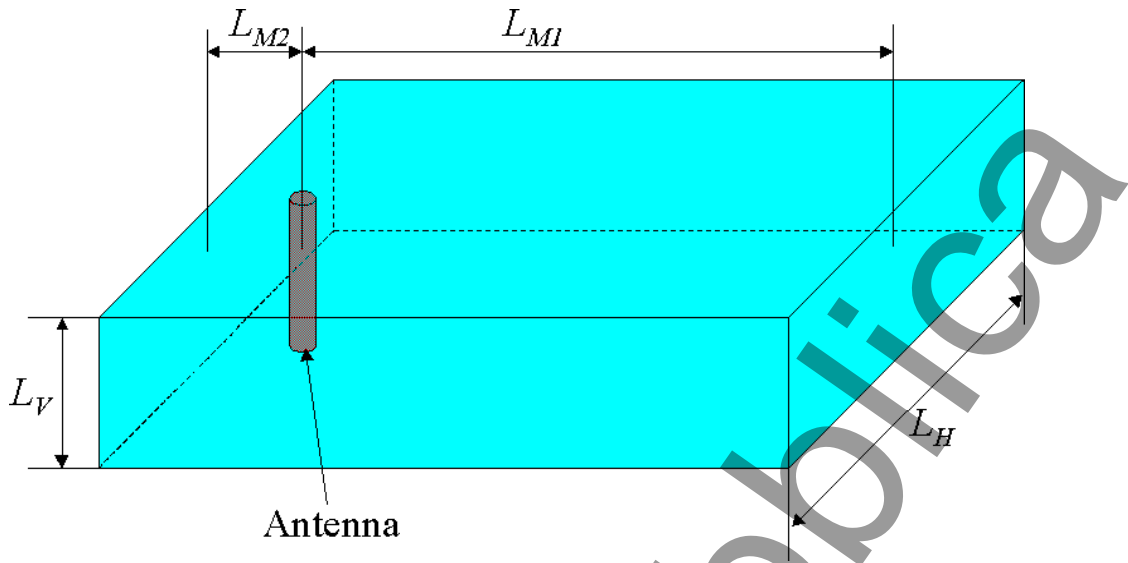
2817

2818 **B.1.1.1 Approfondimenti ed esempi pratici**

2819 Per comodità viene riportata la descrizione dettagliata di come avviene la costruzione dei vari
2820 modelli del volume di rispetto in presenza di una sola antenna.

2821 **Esempio Appendice B-1**

2822 **Parallelepipedo:** Facendo riferimento alla Figura Appendice B-2, si deduce facilmente come
2823 viene costruito tale volume di rispetto: si ricavano le 4 grandezze tramite le relazioni descritte
2824 e si calcolano le coordinate degli 8 vertici del modello.



2825

2826 **Figura Appendice B-2** -Rappresentazione del volume di rispetto mediante un parallelepipedo
 2827 (il punto medio di L_V e L_H è il centro dell'antenna)

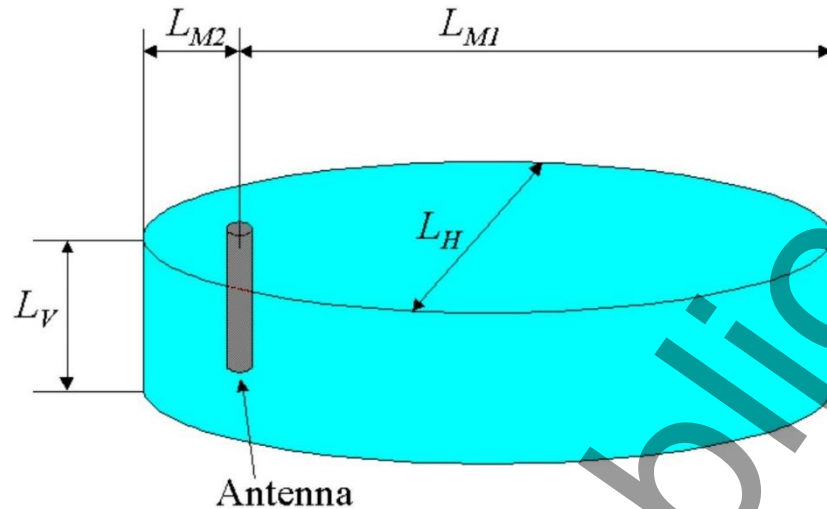
2828

2829 **Tabella Appendice B-1– Coordinate dei vertici del volume di rispetto parallelepipedo**

Vertice	X	Y	Z
1	$-L_{M2}$	$-L_H/2$	$-L_V/2$
2	L_{M1}	$-L_H/2$	$-L_V/2$
3	L_{M1}	$L_H/2$	$-L_V/2$
4	$-L_{M2}$	$L_H/2$	$-L_V/2$
5	$-L_{M2}$	$-L_H/2$	$L_V/2$
6	L_{M1}	$-L_H/2$	$L_V/2$
7	L_{M1}	$L_H/2$	$L_V/2$
8	$-L_{M2}$	$L_H/2$	$L_V/2$

2830 **Esempio Appendice B-2**

2831 **Cilindro a sezione ellittica:** Facendo riferimento alla Figura Appendice B-3, per la costruzione
 2832 di questo modello del volume di rispetto si forniscono le coordinate dei vertici degli assi
 2833 dell'ellisse inferiore e superiore rispettivamente.



2834

2835 **Figura Appendice B-3 - Rappresentazione del volume di rispetto mediante un cilindro a**
 2836 **sezione ellittica (il punto medio di L_V e L_H è il centro dell'antenna)**

2837

2838 **Tabella Appendice B-2- Coordinate dei vertici degli assi delle ellissi del volume di**
 2839 **rispetto cilindrico a sezione ellittica**

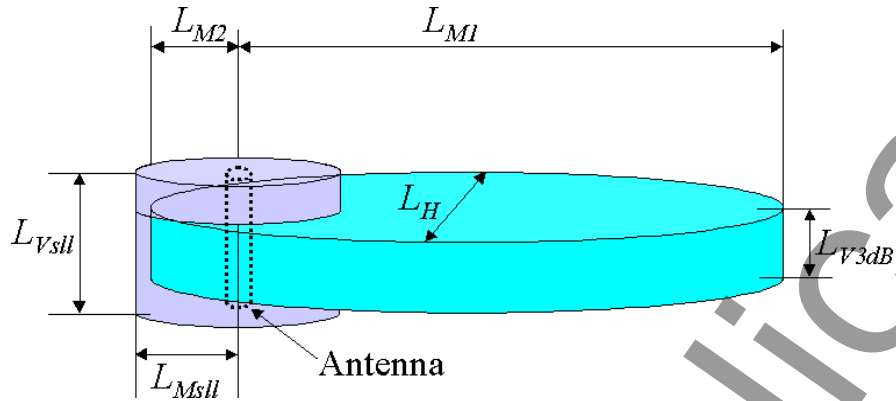
Vertice	X	Y	Z
1	$-L_{M2}$	0	$-L_V/2$
2	L_{M1}	0	$-L_V/2$
3	$(L_{M1} - L_{M2})/2$	$-L_H/2$	$-L_V/2$
4	$(L_{M1} - L_{M2})/2$	$L_H/2$	$-L_V/2$
5	$-L_{M2}$	0	$L_V/2$
6	L_{M1}	0	$L_V/2$
7	$(L_{M1} - L_{M2})/2$	$-L_H/2$	$L_V/2$
8	$(L_{M1} - L_{M2})/2$	$L_H/2$	$L_V/2$

2840

2841 **Esempio Appendice B-3**

2842

2843 **Doppio Cilindro:** Con riferimento alla Figura Appendice B-4, si definiscono le tabelle relative
 2844 ai due cilindri.



2845

2846

2847

2848

Figura Appendice B-4 Rappresentazione del volume di rispetto mediante due cilindri (il punto medio di L_{V3dB} e L_H è il centro dell'antenna)

2849

2850

Tabella Appendice B-3 – Coordinate dei vertici degli assi delle ellissi del volume di rispetto del doppio cilindro (cilindro maggiore a base ellittica)

Vertice	X	Y	Z
1	$-L_{M2}$	0	$-L_{V3dB}/2$
2	L_{M1}	0	$-L_{V3dB}/2$
3	$(L_{M1} - L_{M2})/2$	$-L_H/2$	$-L_{V3dB}/2$
4	$(L_{M1} - L_{M2})/2$	$L_H/2$	$-L_{V3dB}/2$
5	$-L_{M2}$	0	$L_{V3dB}/2$
6	L_{M1}	0	$L_{V3dB}/2$
7	$(L_{M1} - L_{M2})/2$	$-L_H/2$	$L_{V3dB}/2$
8	$(L_{M1} - L_{M2})/2$	$L_H/2$	$L_{V3dB}/2$

2851

2852

2853

Tabella Appendice B-4 Coordinate dei vertici degli assi delle ellissi del volume di rispetto del doppio cilindro (cilindro minore e base circolare)

Vertice	X	Y	Z
1	$-L_{MsII}$	0	$-L_{VsII}/2$
2	L_{MsII}	0	$-L_{VsII}/2$
3	0	$-L_{MsII}$	$-L_{VsII}/2$
4	0	L_{MsII}	$-L_{VsII}/2$
5	$-L_{MsII}$	0	$L_{VsII}/2$
6	L_{MsII}	0	$L_{VsII}/2$
7	0	$-L_{MsII}$	$L_{VsII}/2$
8	0	L_{MsII}	$L_{VsII}/2$

2854

2855

2856

Si precisa che se l'antenna presenta un angolo di down-tilt elettrico, per determinare le coordinate spaziali dei vertici dei volumi di rispetto nel sistema di riferimento locale dell'antenna, occorre operare una rotazione secondo la relazione matriciale:

2857

$$\begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta_{elt} & 0 & \sin \beta_{elt} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta_{elt} & 0 & \cos \beta_{elt} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

2858

Equazione Appendice B-11

2859

2860 dove β_{elt} è l'angolo di down-tilt elettrico.

2861 Si precisa inoltre che per passare dal sistema di coordinate locale dell'antenna (x_L, y_L, z_L) al
 2862 sistema di coordinate globale x_G, y_G, z_G occorre invertire la relazione matriciale di Equazione
 2863 Appendice B-11:

2864

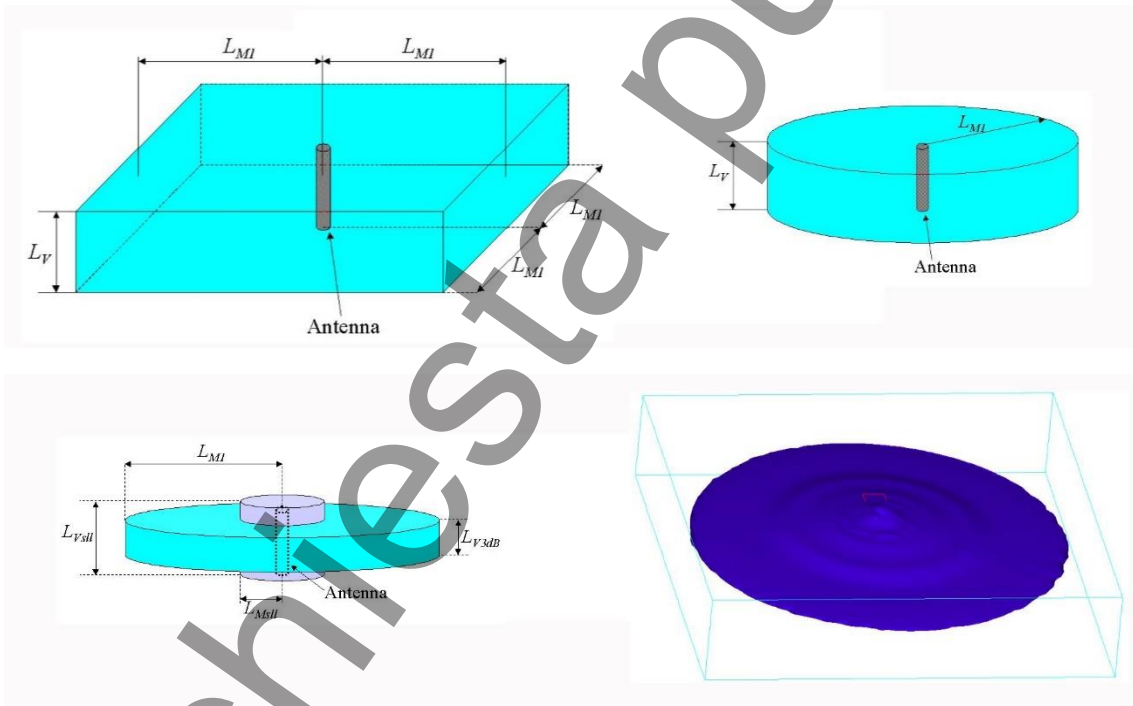
$$\begin{bmatrix} x_G \\ y_G \\ z_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & -\sin \alpha & \cos \alpha \cos \beta \\ \sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha & \sin \alpha \sin \beta \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{bmatrix}$$

2865

Equazione Appendice B-12

2866 **Esempio Appendice B-4**

2867 **Antenne Omnidirezionali:** Per completezza si riportano le figure relative ai volumi di rispetto
 2868 per un'antenna omnidirezionale. La procedura di calcolo delle dimensioni fisiche è del tutto
 2869 analoga al caso di antenna non isotropiche.



2870

2871

2872 **Figura Appendice B-5– Modello a doppio cilindro e isosuperficie per un'antenna**
 2873 **omnidirezionale**

2874 L'utilizzo di un particolare modello geometrico è funzione dell'accuratezza che si vuole ottenere.
 2875 Il volume di rispetto ottenuto tramite l'unione dei due cilindri rappresenta un'approssimazione
 2876 più accurata per la maggior parte degli impianti radiomobili. Il volume di rispetto fornito tramite
 2877 il parallelepipedo consente invece una verifica dei limiti più immediata: entrambi i modelli
 2878 geometrici possono portare in alcuni punti a una stima eccessivamente conservativa.

2879

2880 B.2 Calcolo del volume di rispetto per più antenne con tecniche di isosuperficie

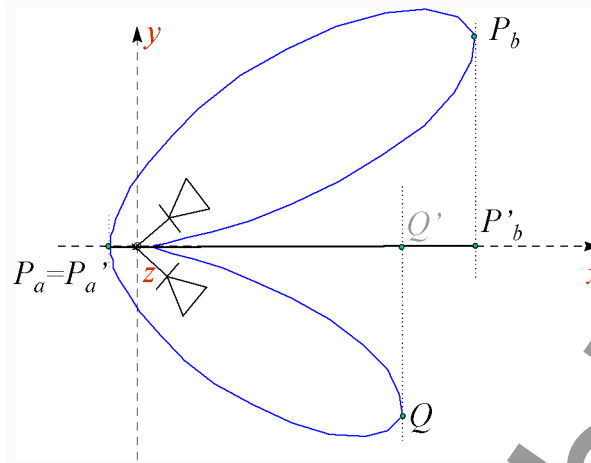
2881 In presenza di più antenne trasmettenti o di più sorgenti trasmesse dalla stessa antenna, non è
2882 generalmente possibile utilizzare semplici relazioni per la determinazione del volume di rispetto
2883 cilindrico a sezione rettangolare o ellittica. Ricorrendo ad algoritmi numerici è comunque
2884 possibile valutare l'estensione del volume di rispetto tenendo in considerazione i contributi
2885 derivanti da tutte le sorgenti presenti nel medesimo sito. In tutti questi casi risulta
2886 raccomandabile costruire un'isosuperficie a campo costante, secondo la procedura descritta
2887 successivamente, calcolando il campo in un opportuno insieme di punti e collegando i punti
2888 isolivello analogamente a quanto è uso effettuare in due dimensioni per rappresentare curve di
2889 campo isolivello. Tale tecnica è efficace se si utilizzano strumenti software che implementano
2890 funzioni grafiche tridimensionali, oppure utilizzando proiezioni sui piani coordinati.

2891 **Isosuperficie 3D.** Come già indicato, le figure geometriche definite nel paragrafo precedente
2892 costituiscono delle stime per eccesso, cautelative, che massimizzano le reali dimensioni del
2893 volume di rispetto dell'antenna. Esso può essere rappresentato da una isosuperficie, ovvero
2894 luogo geometrico di punti a campo costante, pari al limite normativo di riferimento. La procedura
2895 di calcolo implica pertanto l'implementazione di una funzione di ricostruzione grafica
2896 tridimensionale di tale superficie, che opera attraverso la conoscenza del campo in un insieme
2897 di punti. I passi da seguire possono essere:

- 2898 1) calcolo dei vertici del modello a parallelepipedo;
- 2899 2) calcolo di un insieme di punti contenuti nel parallelepipedo secondo un intervallo assegnato;
- 2900 3) calcolo del campo nell'insieme di punti al punto 2;
- 2901 4) costruzione dell'isosuperficie (vedi Figura Appendice B-1 **Errore. L'origine riferimento non**
2902 **è stata trovata.**).

2903 **Isosuperficie 2D.** La visualizzazione dell'isosuperficie, che rappresenta il volume di rispetto,
2904 può essere effettuata mediante un qualsiasi software in grado di implementare routine grafiche
2905 di rendering tridimensionale. Alternativamente, si può effettuare una proiezione della
2906 isosuperficie 3D, sui tre piani coordinati Oxy , Oxz e Oyz di riferimento. Ovviamente in questo
2907 caso la sovrapposizione con gli edifici e l'urbanizzato avverrà utilizzando rappresentazioni
2908 bidimensionali degli stessi, ovvero ad esempio pianta catastale (piano orizzontale) e prospetto
2909 altimetrico (piano verticale).

2910 La proiezione è effettuata per sua natura seguendo un criterio conservativo, ovvero proiettando
2911 ortogonalmente sul piano coordinato il punto della superficie volumetrica di rispetto la cui
2912 proiezione risulta più distante dall'origine nel piano coordinato stesso. Lo schema in Figura
2913 Appendice B-5 descrive graficamente il procedimento: sul piano coordinato Oxz vengono
2914 proiettati P_a e P_b ma non Q , perché la sua proiezione Q' su Oxz avrebbe distanza dal baricentro
2915 O (l'origine degli assi) inferiore alla distanza di P'_b da O .



2916

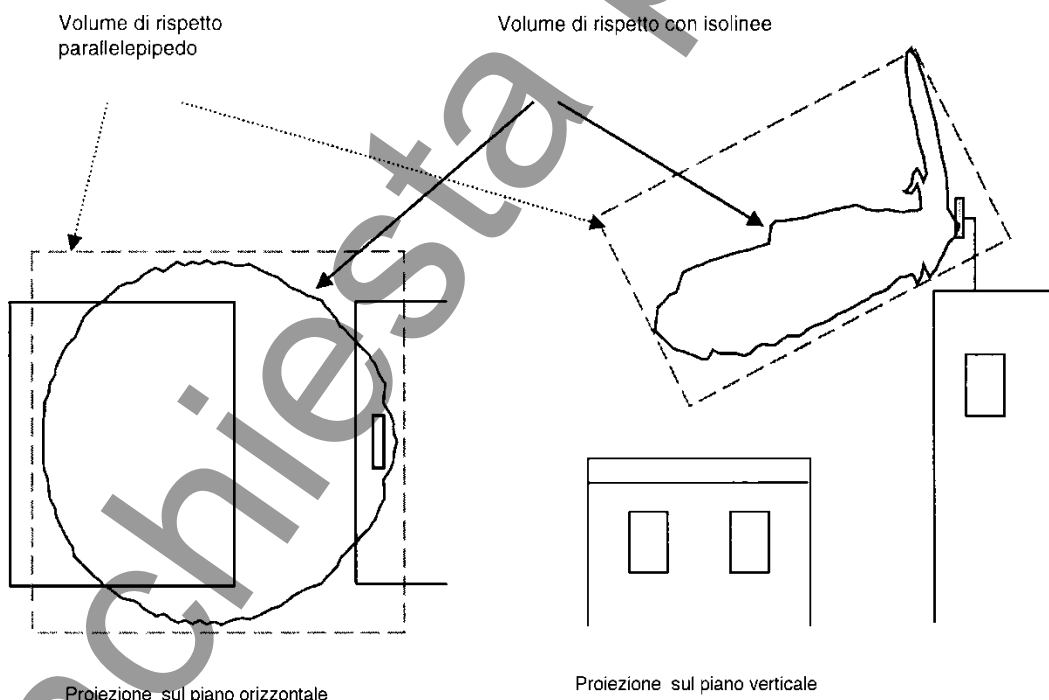
2917

Esempio Appendice B-5 – Esempio di proiezione 2D

2918 Nel caso della figura (due antenne trasmettenti) sulla linea considerata le due distanze
2919 sarebbero $O-P'_a$ e $O-P'_b$.

2920 Successivamente alla visualizzazione delle isolinee 2D, occorre inserire tale rappresentazione
2921 nel contesto dei luoghi circostanti presenti sulla planimetria in modo tale da verificare la
2922 conformità dell'installazione. In Figura Appendice B-6 è indicato un esempio di proiezione del
2923 volume di rispetto sugli elaborati grafici e sulle carte planoaltimetriche, in cui è stato riportato
2924 sia il volume di rispetto che la sua approssimazione di tipo parallelepipedo.

2925



2926

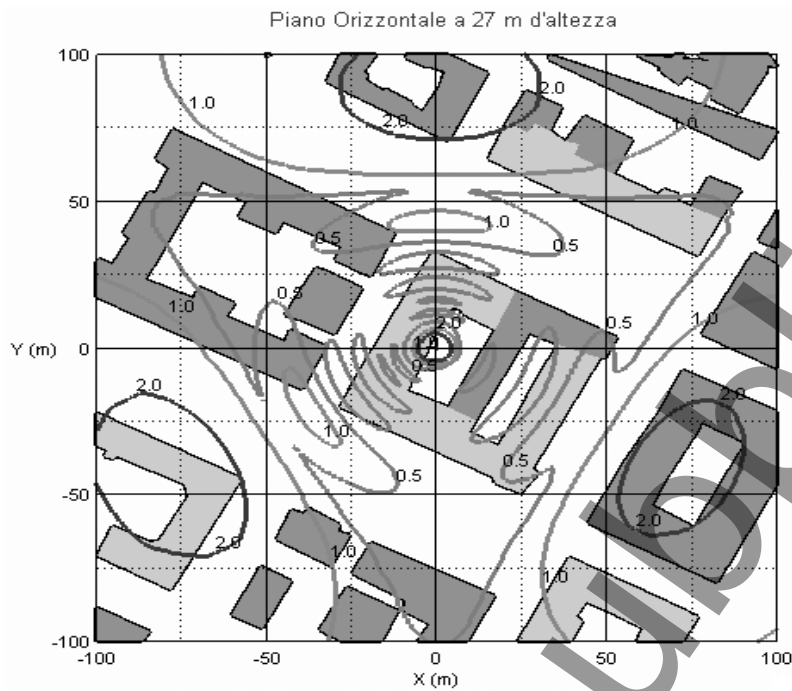
2927

2928

Figura Appendice B-6 – Esempio di proiezione 2D

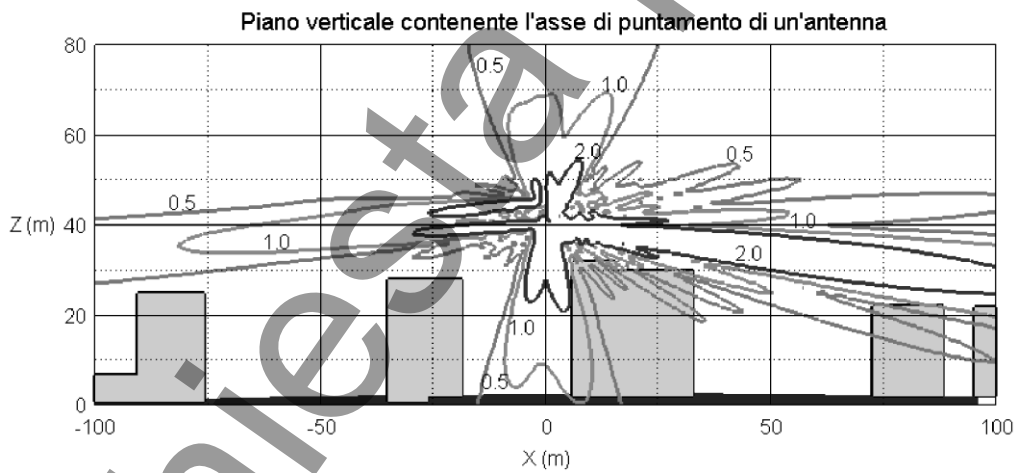
2929 Le Figura Appendice B-7a) e b) mostrano la rappresentazione dell'esposizione, con curve di
2930 livello, generata da un trasmettitore su una sezione orizzontale ed una sezione verticale dello
2931 spazio contestualizzata allo scenario. La

2932 Figura Appendice B-8 mostra il volume di rispetto.



2933

a)

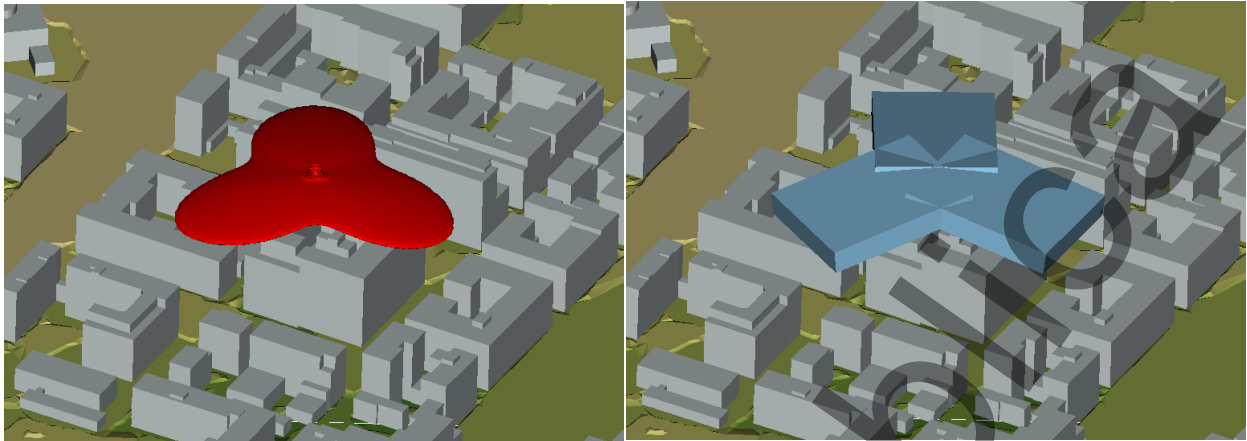


2934

b)

2935 **Figura Appendice B-7 - Esempio di proiezione 2D contestualizzata allo scenario**

2936



2937

2938 **Figura Appendice B-8 – Rappresentazione dell'esposizione generata da un trasmettitore**
2939 **nel contesto in cui opera e volume di rispetto.**

2940 Per la conformità previsionale della SRB risulta evidente che la sovrapposizione sui formati
2941 cartografici sopra indicati, non essendo questi di tipo 3D, dovrà avvenire necessariamente
2942 attraverso la verifica su entrambe le sezioni: l'intersezione reale si verifica infatti solo quando
2943 su entrambe le planimetrie le isolinee 2D intersecano la medesima zona accessibile alla
2944 popolazione. Nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, ad esempio, la sezione o
2945 orizzontale interseca un edificio, mentre la sezione verticale no: il volume di rispetto 3D, quindi,
2946 sicuramente non intersecherà l'edificio.

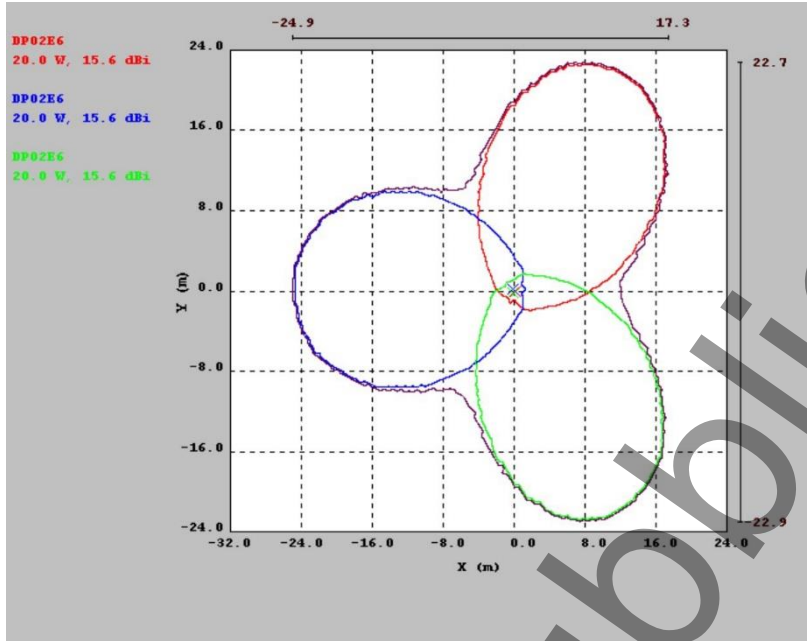
2947 Anche utilizzando la rappresentazione bidimensionale è possibile riportare il volume di rispetto
2948 sia mediante forme geometriche (parallelepipedo o composizione di cilindri), sia mediante le
2949 isolinee corrispondenti al livello di campo elettromagnetico. Dalla **Errore. L'origine riferimento n**
2950 **on è stata trovata.** è altresì evidente che il parallelepipedo è eccessivamente cautelativo
2951 rispetto alla reale conformazione del campo, soprattutto a causa del fascio molto stretto sul
2952 piano verticale del diagramma di irradiazione.

2953 **B.2.1.1 Approfondimenti ed esempi pratici**

2954 **Esempio Appendice B-6**

2955 Un esempio di proiezione bidimensionale, sui 3 piani coordinati, relativa ad una installazione
2956 con tre antenne trasmettenti è riportato nelle figure: Figura Appendice B-9, Figura Appendice
2957 B-10 e Figura Appendice B-11.

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali



2958

2959

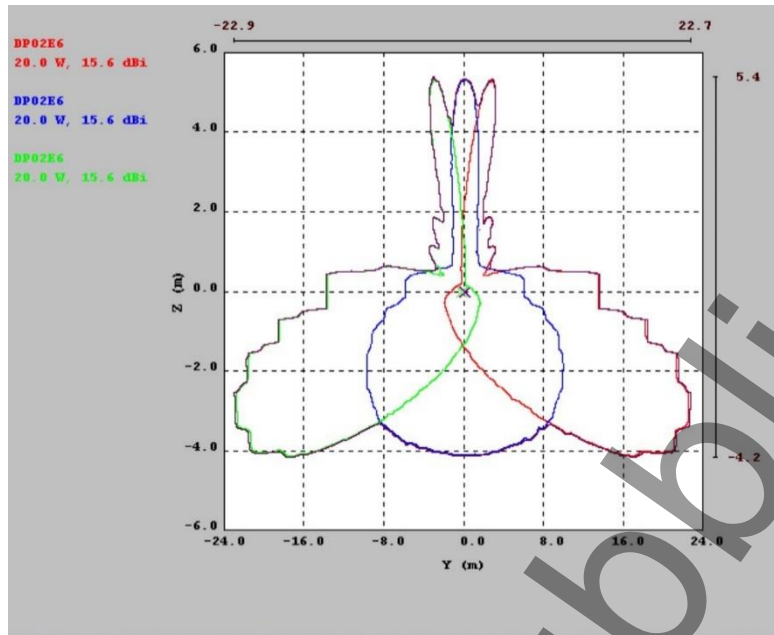
Figura Appendice B-9 - Esempio di proiezione isolinea sul piano coordinato XY



2960

2961

Figura Appendice B-10 – Esempio di proiezione isolinea sul piano coordinato XZ



2962

2963 **Figura Appendice B-11 – Esempio di proiezione isolinea sul piano coordinato YZ**

2964 Ovviamente la tecnica di visualizzazione o proiezione utilizzata è assolutamente indipendente
2965 dal modello che si utilizza per il calcolo del campo elettromagnetico, poiché gli algoritmi di
2966 visualizzazione lavorano semplicemente sulle coordinate spaziali dei punti e su un valore di
2967 campo elettromagnetico associato ad ogni punto, comunque esso sia stato ottenuto.

2968 Negli esempi sopra riportati si è fatto uso del modello di propagazione SML (8.2.2). In generale
2969 si può utilizzare la formula MSL oppure si possono utilizzare le tecniche di calcolo descritte
2970 successivamente.

2971 In caso di presenza di più sorgenti (come negli esempi precedenti) si deve utilizzare comunque
2972 una sovrapposizione dei contributi dovuti a ciascuna sorgente per la determinazione del campo
2973 totale.

2974 Figura Appendice Nel seguito sono descritte alcune procedure per il calcolo dei volumi di
2975 rispetto di una stazione radio base con più antenne trasmettenti.

2976 Il calcolo del volume di rispetto con più sorgenti multifrequenza secondo le geometrie semplici
2977 di parallelepipedo, cilindro o doppio cilindro, è una procedura alquanto laboriosa e non
2978 riconducibile al calcolo di semplici relazioni.

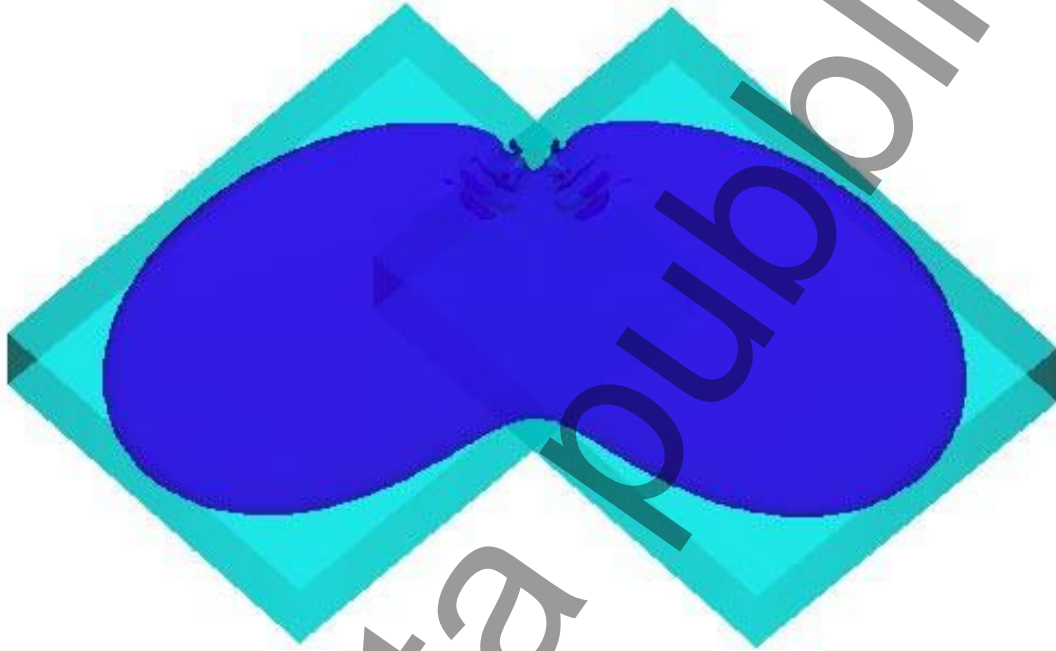
2979 Si ritiene pertanto preferibile in queste situazioni il calcolo del volume di rispetto come
2980 isosuperficie

2981 **Esempio Appendice B-7:** Isosuperficie con più sorgenti multifrequenza in riferimento allo
2982 stesso limite normativo

2983 Indipendentemente dal fatto che la singola antenna possa contenere differenti sorgenti
2984 frequenziali associate a diversi sistemi di trasmissione, nel caso le frequenze in analisi
2985 corrispondano allo stesso limite normativo la procedura da seguire per il calcolo
2986 dell'isosuperficie si può riassumere secondo i seguenti passi:

- 2987 **1** calcolo delle dimensioni L_M , L_V , L_H per ogni antenna e sistema di trasmissione;
2988 **2** calcolo del campo elettrico in un opportuno insieme di punti esterni ai volumi,
2989 considerando i contributi di tutte le sorgenti, in modo da estendere le dimensioni L_M , L_V ,
2990 L_H fino a che si trovano punti con valori associati di campo maggiori del limite;

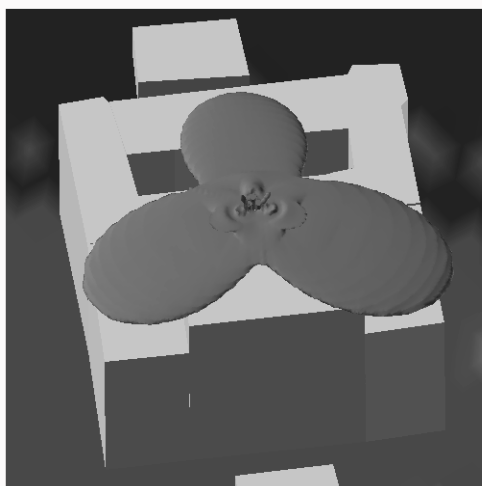
- 2991 3 considerare un parallelepipedo che racchiuda l'unione dei parallelepipedi costruiti per
2992 ogni antenna con le dimensioni modificate L_M , L_V , L_H ;
- 2993 4 calcolo dei vertici del parallelepipedo;
- 2994 5 calcolo di un insieme di punti contenuti nel parallelepipedo secondo un intervallo
2995 assegnato
- 2996 6 calcolo del campo nell'insieme di punti al punto 5;
- 2997 7 costruzione dell'isosuperficie (Figura Appendice B-12 e Figura Appendice B-13);
- 2998



2999

3000 **Figura Appendice B-12 – Esempio di volume di rispetto per due antenne con**
3001 **puntamento elettrico generico**

3002



3003

3004 **Figura Appendice B-13 – Isosuperficie e volumi di rispetto cilindrici di un sito a tre**
3005 **settori**

3006 **Esempio Appendice B-8:** Isosuperficie con più sorgenti multifrequenza corrispondenti a
3007 differenti limiti normativi (Da rivedere)

3008 Si consideri ora il caso in cui l'analisi includa sorgenti frequenziali corrispondenti a differenti
3009 limiti normativi. Valutando la sovrapposizione degli effetti dovuta all'esposizione multipla, e
3010 semplificando al caso di due limiti, i limiti normativi complessivamente saranno rispettati nei
3011 punti dello spazio in cui risulta soddisfatta la seguente disuguaglianza:

3012
$$\left(\frac{E_1}{L_1}\right)^2 + \left(\frac{E_2}{L_2}\right)^2 < 1$$

3013 Equazione Appendice B-13

3014 Dove E_1 ed E_2 rappresentano il campo elettrico generato dalla sorgente a frequenza f_1 e dalla
3015 sorgente a frequenza f_2 rispettivamente.

3016 Esplicitando i valori di campo elettrico in termini di distanza si ottiene:

3017
$$E_1 = \sqrt{\frac{377 \cdot P_1 \cdot G_1(\vartheta, \varphi)}{4\pi \cdot d^2}}$$

3018 Equazione Appendice B-14

3019
$$E_2 = \sqrt{\frac{377 \cdot P_2 \cdot G_2(\vartheta, \varphi)}{4\pi \cdot d^2}}$$

3020 Equazione Appendice B-15

3021 Risolvendo la Equazione Appendice B-13 in termini di distanza (d), tenuto conto della
3022 Equazione Appendice B-14 e Equazione Appendice B-15 ne consegue la seguente relazione
3023 per il calcolo della distanza con riferimento al rispetto dei limiti normativi:

3024
$$d = \sqrt{\frac{377}{4\pi} \left(\frac{P_1 \cdot G_1(\vartheta, \varphi)}{L_1^2} + \frac{P_2 \cdot G_2(\vartheta, \varphi)}{L_2^2} \right)}$$

3025 Equazione Appendice B-16

3026

3027 Se si considerano ora due limiti non distinti L_1 ed L_2 :

- 3028 • $L_1 = 20$ V/m con valori di frequenza $3 \text{ MHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$;
3029 • $L_2 = 40$ V/m con valori di frequenza $3 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$;

3030 corrispondenti ai limiti normativi di esposizione in vigore in Italia [Tabella 5-1], ed una SRB
3031 costituita da tre settori, con puntamento azimutale pari rispettivamente a 0, 120, 240 gradi
3032 rispetto al nord geografico, sulla quale sono collocati per ciascun settore due sorgenti che
3033 irradiano a frequenze differenti.

3034 Si riportano i di seguito i dati in ingresso:

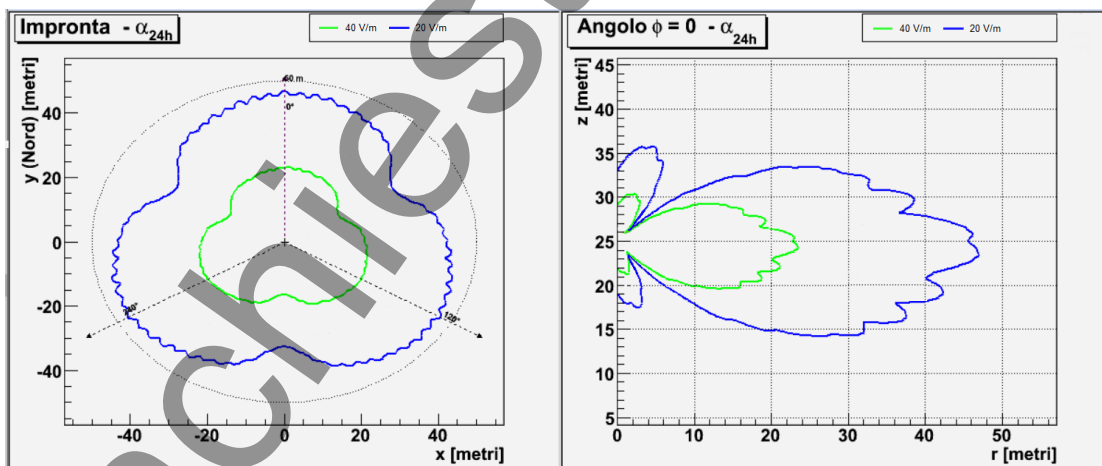
- 3035 • $H_{ce} = 25$ m;
3036 • $f_1 = 2600$ MHz;
3037 • $f_2 = 3700$ MHz;
3038 • $P_1 = 100$ W;
3039 • $P_2 = 100$ W;

3040 dove H_{ce} si è indicata l'altezza del centro elettrico delle due sorgenti, f_1 ed f_2 sono le frequenze
3041 e P_1 e P_2 le potenze relative alle due sorgenti.

3042 Se le due frequenze, f_1 ed f_2 fossero comprese nell'intervallo relativo allo stesso limite
3043 normativo l'analisi sarebbe verificata in tutti i punti dello spazio in cui il valore di campo elettrico
3044 che l'impianto genera risulta inferiore al valore del limite corrispondente (20 o 40 V/m).

3045 Essendo l'isosuperficie relativa al limite di 40 V/m inclusa all'interno dell'isosuperficie del limite
3046 a 20 V/m si può affermare che la Equazione Appendice B-13 è automaticamente soddisfatta
3047 per tutti i punti dello spazio esterni alla isosuperficie relativa ad L_1 . Inoltre tutti i punti contenuti
3048 all'interno dell'isosuperficie relativa ad L_2 non soddisfano la Equazione Appendice B-13.

3049 Nella regione di spazio compresa tra le due isosuperfici esiste comunque una terza superficie
3050 che delimita il volume di spazio oltre il quale sono rispettati entrambi i limiti normativi.

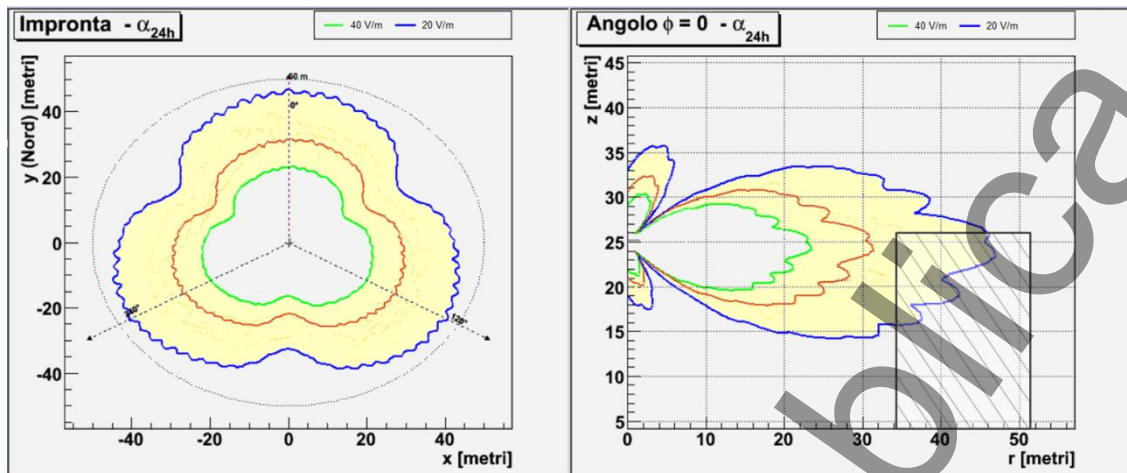


3051

3052 **Figura Appendice B-14 – Proiezioni orizzontali e verticali delle isosuperfici riferite ai**
3053 **singoli limiti normativi**

3054 Rappresentando graficamente in rosso le sezioni orizzontale e verticale dell'isosuperficie
3055 calcolata a partire dalla Equazione Appendice B-16 avremo (Figura Appendice B-15):

3056



3057

3058

3059

Figura Appendice B-15 – Proiezioni orizzontali e verticali della isosuperficie calcolata con più sorgenti multifrequenza corrispondenti a differenti limiti

3060

3061

3062

3063

Tutti i punti dello spazio per i quali la distanza è maggiore di quanto calcolato in secondo Equazione Appendice B-16 sono esterni alla isosuperficie calcolata come sovrapposizione delle sorgenti afferenti a differenti limiti normativi le cui proiezioni nel piano orizzontale e in sezione verticale sono riportate in rosso [Figura Appendice B-15].

3064

3065

3066

3067

Nella stessa figura è rappresentata la sezione di un edificio, il quale risulta intersecato dalla proiezione verticale dell'isosuperficie a 20 V/m ma non dall'isosuperficie relativa all'esposizione multipla, pertanto si può affermare che in tutti i luoghi dell'edificio considerato è rispettata la condizione di esposizione multipla.

3068

Appendice C

Formato Elettronico di interscambio per la descrizione dei dati di impianto per la verifica secondo la Guida CEI 211.10

3069
3070
3071

3072 In questa appendice si descrivono le informazioni che sono necessarie per effettuare le
3073 verifiche di conformità previsionale. Il formato di interscambio è utilizzato al fine di semplificare
3074 e uniformare lo scambio delle informazioni tra tutti i soggetti coinvolti e può essere utilizzato
3075 anche per comunicare l'esito del processo della verifica computazionale. Se esistono dispositivi
3076 normativi che disciplinano il caricamento/inserimento dei dati, attraverso un portale/applicativo
3077 direttamente via Web, il formato elettronico di interscambio può utilizzato per il popolamento
3078 del database degli impianti.

3079 C.1 Codifica del nome del file contenente i dati

3080 Il nome del file contenente i dati tecnici di impianto per la verifica della conformità previsionale
3081 secondo i requisiti della Guida CEI 211.10 è codificato come segue:

- 3082 • Nome dell'impianto secondo la codifica definita dall'operatore
- 3083 • Seguito dal separatore “_” (underscore)
- 3084 • Seguito dalla data di riferimento costituita da un totale di 8 cifre: 4 cifre per l'anno, 2 per il
3085 mese, 2 per il giorno
- 3086 • Seguito dal separatore “_” (underscore)
- 3087 • Nome dell'Operatore; tale nome deve essere sempre lo stesso utilizzato in tutte le istanze
- 3088 • Seguito dall'estensione “_CEI21110” seguita dal punto e seguita dell'indicatore del formato
3089 utilizzato per tradurre le informazioni nel formato elettronico (es: .json, .xml). Sono da
3090 preferire linguaggi di markup che prevedono la possibilità di definizione degli oggetti e il
3091 loro annidamento.
- 3092 •

3093 Esempi:

- 3094 • NomeImpianto_data_Operatore_Cei21110.json
- 3095 • NomeImpianto_data_Operatore_Cei21110.xml
- 3096 •

3097 La codifica non è richiesta nel caso in cui il file venga caricato direttamente
3098 sull'applicativo/portale.

3099 C.2 Struttura delle informazioni

3100 Il file che contiene i dati tecnici caratteristici dell'impianto per la verifica computazionale
3101 secondo i requisiti della guida CEI 211.10 è costituito da una successione di **Informazioni** che
3102 hanno carattere mandatorio.

3103 Ogni Informazione è costituita da:

- 3104 • **Nome del parametro:** una stringa che indica il contenuto dell'informazione
- 3105 • **Separatore:** un carattere o una sequenza di caratteri - che dipendono dal formato
3106 elettronico scelto per la traduzione del formato - per la rappresentazione delle informazioni
- 3107 • **Contenuto:** uno o più dati che valorizzano l'informazione; tra questi dati può essere
3108 presente l'unità di misura del dato fornito

3109 L'informazione può essere:

3110 • **Mandatoria:** l'informazione deve essere presente all'interno del file secondo lo
3111 schema:

3112 ○ Nome del parametro (come riportato in Tabella Appendice C-1 e Tabella Appendice
3113 C-3). Il nome del parametro è invariabile.

3114 ○ Separatore

3115 ○ Valore del parametro

3116 • **Aggiuntivi:** l'informazione può essere presente all'interno del file secondo lo
3117 schema:

3118 ○ Nome del parametro (come riportato in Tabella Appendice C-3). Il nome del parametro
3119 è invariabile.

3120 ○ Separatore

3121 ○ Valore del parametro

3122 ○ Posso essere inclusi ulteriori parametri Aggiuntivi avendo la cura di usare una codifica
3123 differente rispetto ai parametri riportati in Tabella Appendice C-1 e Tabella Appendice
3124 C-3.

3125 Le informazioni possono essere riportate con qualsiasi ordine all'interno del file. Le parole
3126 chiave delle informazioni mandatorie, e aggiuntive già codificate devono essere riportate come
3127 indicato nella Tabella Appendice C-1 e Tabella Appendice C-3, rispettando la distinzione tra
3128 maiuscole e minuscole; Es: "Potenza" è diverso da "potenza", "poTEnza", "potenzA".

3129 Possono essere inserite un numero qualunque di informazioni aggiuntive, in qualsiasi
3130 posizione. Il nome di ogni informazione aggiuntiva, all'interno di ogni blocco logico, deve essere
3131 diverso da ogni nome di informazione indicato nella Tabella Appendice C-1 e Tabella Appendice
3132 C-3

3133 Qualora l'informazione contenga un valore dichiarato di tipo float, il valore numerico deve avere
3134 almeno una cifra dopo la virgola. Il numero di cifre dopo la virgola per alcune informazioni è
3135 specificato nel corpo della guida. Il carattere separatore decimale è il punto (es: 3.14).

3136

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali

3137

3138

Tabella Appendice C-1: Informazioni di carattere Mandatorio

3139

Parola Chiave	Contenuto	Valori Ammessi	Commenti	Esempio
Blocco Logico: Dati Impianto				
VersioneGuidaCEI211.10	Stringa, lunghezza libera		Per riferire il contenuto del file al formato descritto nella versione di Guida CEI 211.10 a cui si fa riferimento	CEI 211.10:2023
NomeGestore	Stringa	Formato libero	Nome del gestore proprietario dell'impianto	NomeGestore
NomImpianto	Stringa	Formato libero		AAA123BBB
CodiceImpiantoGestore	Stringa	Formato libero	Codifica dell'impianto secondo la nomenclatura propria del gestore	
InsiemeDatiImpianto	Stringa <ul style="list-style-type: none"> • Completo • Parziale 	Formato libero	<ul style="list-style-type: none"> • Completo: tutti i sistemi relativi all'impianto sono riportati nel file • Parziale: solo i sistemi che subiscono un aggiornamento o sono nuovi sono riportati nel file La scelta tra le opzioni è definita dall'agenzia competente.	
SistemaRiferimentoCoordinate	Stringa. Codice EPSG del sistema di riferimento	WGS84, GBO	Il sistema WGS84 EPSG4326 è consigliato	WGS84
CoordinatImpiantoLatitudine	Stringa. Latitudine dell'impianto.		Numero di cifre adeguato per avere una precisione dell'ordine del metro	10.339977
CoordinatImpiantoLongitudine	Stringa. Longitudine dell'impianto.		Numero di cifre adeguato per avere una precisione dell'ordine del metro	43.544773
QuotaSlmBaseImpianto	Valore Float in m rispetto al livello medio del mare della quota base dell'impianto			100.0
<i>Regione</i>				
<i>Provincia</i>				
<i>IdComune</i>	codice ISTAT (codice catastale del comune)		Fare riferimento a https://www.istat.it/it/archivio/6789	
<i>DenominazioneComune</i>				

3140

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali

Blocco Logico:				
Dati Trasmettitore (Da ripetere per ogni sistema installato nell'impianto)				
<i>Il trasmettitore è una unità logica identificabile come sequenza: gestore-codice sito gestore – progressivo riuso -tipo servizio – Banda frequenza – azimut settore .</i>				
NomeTrasmettitore	Stringa	Formato libero		
CoordinateTrasmettitoreLatitudine	Stringa. Latitudine dell'antenna		Usare lo stesso sistema di coordinate indicato nell'informazione mandatoria "SistemaRiferimentoCoordinate"	10.339977
CoordinateTrasmettitoreLongitudine	Stringa. Longitudine dell'antenna		Usare lo stesso sistema di coordinate indicato nell'informazione mandatoria "SistemaRiferimentoCoordinate"	43.544773
QuotaCentroElettrico	Il valore dell'altezza dell'antenna come float rispetto alla quota base dell'impianto espressa in m			25.0
Variato	Indica se il sistema è l'oggetto della verifica computazionale in quanto ha subito una variazione di parametri o è un nuovo sistema.	Boolean a scelta tra: • True • False	In caso di nuovo impianto il campo deve essere valorizzato a True	False
TipoServizio	Stringa	GSM, DCS, UMTS, LTE, 5GNR, DSS		GSM
Duplexing	Stringa 3 caratteri	TDD, FDD		FDD
BandaFrequenza	Il contenuto è costituito dalla banda di frequenza di lavoro del trasmettitore riportata come integer	Valore espresso in MHz	700 800 900 1400 1800 2100 2600 3400 3500 26000	1800
AzimutTrasmettitore	Il contenuto è costituito da un valore float che rappresenta l'angolo di puntamento rispetto al Nord, espresso in gradi	Valore float compreso tra 0 (nord) e 360 (nord) gradi. 90.0 = Est 180.0 = Sud 270.0 = Ovest	L'unità di misura sono gradi.	155.0
CostruttoreAntenna	Stringa, lunghezza libera		Il nome del costruttore dell'antenna	CostruttoreX
ModelloAntenna	Stringa, lunghezza libera		Modello dell'antenna	Antenna1

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali

TipoAntenna	Stringa, lunghezza libera		Descrizione dell'antenna; es: Pannello, Parabola, Yagi oppure "null"	Pannello
PolarizzazioneAntenna	Stringa	"null", H, V, +/-45, RHC, LHC,...	Polarizzazione dell'antenna. Usare "null" se la polarizzazione non è nota	H
GuadagnoAntenna	Il contenuto è costituito da 2 valori: <ul style="list-style-type: none"> Il valore float del guadagno L'unità di misura come stringa 	Le unità di misura ammesse sono: dBi o dBd	Guadagno nominale dell'antenna così come riportato nel datasheet, alla banda di pertinenza. Nota il guadagno reale con cui sono svolti i calcoli è preso da file che descrive il diagramma di radiazione specifico, ad esempio ad uno specifico tilt	12.5 dBi
TiltMeccanico	Contenuto costituito da un valore float espresso in gradi. Il tilt verso il basso è espresso con un valore float positivo rispetto al piano orizzontale; il tilt verso l'alto è espresso con un valore float negativo in gradi rispetto al piano orizzontale. Il puntamento rispetto al piano orizzontale è descritto con il valore 0.0 senza segno.		Il valore angolare ha un numero di cifre dopo la virgola libero, con un minimo di 1	0.0
TiltElettrico	Contenuto è costituito da un valore float espresso in gradi. Il tilt verso il basso è espresso con un valore float positivo rispetto al piano orizzontale; il tilt verso l'alto è espresso con un valore float negativo in gradi rispetto al piano orizzontale. Il puntamento rispetto al piano orizzontale è descritto con il valore 0.0 senza segno. Se non applicabile indicare "null"		Indicazione del tilt elettrico corrispondente al diagramma di irradiazione. Vedere l'informazione mandatoria "ElencoFileDiagrammaRadiazioneAntenna"	5.0 "null"
ElencoFileDiagrammaRadiazioneAntenna	Vettore di Stringhe con un minimo di 1 elemento		Nomi dei file dati del diagramma di radiazione dell'antenna (nell'intervallo di tilt elettrico se precedentemente indicato)	Diagramma_A.msi Diagramma_B.msi
Potenza	<ul style="list-style-type: none"> Il contenuto è costituito da un valore float espresso in W. 		Potenza massima espressa in W È la potenza in ingresso all'antenna, indicata con P_{Max_mor}, epurata dei fattori implementativi secondo la definizione al paragrafo 10-1. Vedere la figura 7.1.	40.0
NumeroPortanti	Integer		1 per sistemi a singolo portante tipo LTE, 5GNR, etc.	1

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali

Alfa_pc	Contenuto costituito da un valore float se l'informazione "Tecnologia" è valorizzata a "GSM" altrimenti "null"	Valore espresso in scala lineare $0 < \alpha_{PC} \leq 1$	Fare riferimento al paragrafo 7.2.1	0.7 null
Alfa_dtx	Contenuto costituito da un valore float se l'informazione "Tecnologia" è valorizzata a "GSM" altrimenti "null"	Valore espresso in scala lineare $0 < \alpha_{DTX} \leq 1$	Fare riferimento al paragrafo 7.2.1	0.7 null
Alfa_24	Contenuto costituito da un valore float altrimenti "null"	Valore espresso in scala lineare $0 < \alpha_{24h} \leq 1$ Se "null" α_{24h} non utilizzato	Fare riferimento al paragrafo 7.3.2	0.50 null
Ftdc	Contenuto costituito da un valore float altrimenti "null"	Valore espresso in scala lineare $0 < F_{TDC} \leq 1$ Se "null" $F_{TDC} = 1$	Fare riferimento al paragrafo 7.2.3	0.75
FtdcInContatorePotenza	Boolean	Boolean a scelta tra: • True • False	Fare riferimento al paragrafo 7.3.1	True
Fpr	Float oppure "null"	Valore espresso in scala lineare $0 < F_{PR} \leq 1$ Se "null" $F_{PR} = 1$	Fare riferimento al paragrafo 7.3.1	1.0 null
Fgr	Float oppure "null"	Valore espresso in scala lineare $0 < F_{GR} \leq 1$ Se "null" $F_{GR} = 1$	Fare riferimento al paragrafo 7.3.3	1.0 null

3141
3142
3143

L'informazione aggiuntiva può essere presente all'interno del file. Possono essere aggiunti ulteriori parametri Aggiuntivi avendo la cura di usare una codifica differente rispetto a quelli riportati in Tabella Appendice C-1 e Tabella Appendice C-3.

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali

3144

Tabella Appendice C-2: Informazioni di carattere "Aggiuntivi"

3145

Parola Chiave	Contenuto	Valori Ammessi	Commenti	Esempio
Per Blocco Logico: Dati impianto				
DataRiferimentodeiDati	Stringa di 10 caratteri. Usare il formato ISO 8601: 4 cifre per l'anno seguite da dash seguito da 2 cifre per il mese (da 01 a 12) seguite da dash seguito 2 cifre per il giorno (da 01 a 31)	aaaa-mm-gg	Data di riferimento del file contenente i dati di impianto	2022-09-02
CodiceImpiantoARPA	Stringa oppure "null"	Formato libero	Codifica dell'impianto secondo la nomenclatura propria dell'ARPA specifica. Usare "null" se l'ARPA non codifica l'impianto con un proprio codice.	ARPA_AAA123BBB_A 1 null
Per Blocco Logico: Dati Trasmettitore (Da ripetere per ogni sistema installato nell'impianto)				
TiltElettricoIntervallo	2 valori float espressi in gradi. Il primo valore è l'inizio dell'intervallo di variazione del tilt il secondo l'altro estremo se si applica, altrimenti "null"	Applicabile dove consentito dalla legge regionale. Nel caso può essere alternativo a Tilt Elettrico		null null oppure: -7.0 12.0
TiltMeccanicoIntervallo	2 valori float espressi in gradi. Il primo valore è l'inizio dell'intervallo di variazione del tilt il secondo l'altro estremo se si applica, altrimenti "null"	Applicabile dove consentito dalla legge regionale. Nel caso può essere alternativo a Tilt meccanico		null null oppure 1.0 3.0
CodiceArpaAntenna	Stringa		Se applicabile, altrimenti "null"	

3146

3147

3148

Per la comunicazione dell'esito non conforme del processo della verifica computazionale andranno inserite le informazioni riportate in Tabella Appendice C-3 nel file di interscambio dati con il quale è stato avviato il processo di verifica computazionale per il trasmettitore specifico.

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali

3149
3150

Tabella Appendice C-3: Informazioni per la comunicazione di esito non conforme (da inserire nel file di interscambio dati con il quale è stato avviato il processo di verifica computazionale ed a valle del processo di verifica stesso)

Parola Chiave	Contenuto	Valori Ammessi	Commenti	Esempio
Blocco Logico: Punto di Controllo Blocco da ripetere per i punti di Controllo non conformi				
NomePuntoDiControllo	Stringa		Il nome o codice che viene assegnato al punto di controllo	
CoordinatePuntoDiControlloLatitudine	Stringa. Latitudine del punto di controllo		Usare lo stesso sistema di coordinate indicato nell'informazione mandatoria "SistemaRiferimentoCoordinate".	10.339977
CoordinatePuntoDiControlloLongitudine	Stringa. Longitudine del punto di controllo		Usare lo stesso sistema di coordinate indicato nell'informazione mandatoria "SistemaRiferimentoCoordinate".	43.544773
QuotaSlmPuntoDiControllo	Float. Quota SLM del punto di controllo in m			12.546
MetodoDiCalcolo	Stringa, a scelta tra <ul style="list-style-type: none"> • MSL • MSLP • RT 		MSL: fare riferimento al paragrafo 8.2.2 MSLP: fare riferimento al paragrafo 8.2.3 RT: fare riferimento al paragrafo 8.2.4	
CoefficienteDiConformita	Valore float		Fare riferimento al paragrafo 5.2.2	
LimiteNormativo	Limite Normativo che si applica nel punto considerato, stringa a scelta tra <ul style="list-style-type: none"> • LE = Limite di Esposizione • OQVA = Obiettivo di Qualità e Valore di Attenzione 		LE: Fare riferimento a [riferimento biblio] OQVA: Fare riferimento a [riferimento biblio]	OQVA
FondoElettromagneticoLE	Valore del fondo elettromagnetico ed unità di misura. L'oggetto è costituito da 3 campi <ul style="list-style-type: none"> • Valore float del fondo elettromagnetico <= 3 GHz • Valore float del fondo elettromagnetico > 3 GHz • Unità di misura, Stringa a scelta tra: V/m, A/m,W/m2 			1.0 0.5 V/m Oppure "null"

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali

	Oppure "null" nel caso il punto non sia conforme per Obiettivo di Qualità e Valore di Attenzione			
FondoElettromagneticoOQVA	<p>Valore del fondo elettromagnetico ed unità di misura. L'oggetto è costituito da 2 campi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valore float del fondo elettromagnetico • Unità di misura, Stringa a scelta tra: V/m, A/m,W/m2 <p>Oppure "null" nel caso il punto non sia conforme per Limite di Esposizione</p>			<p>0.5 W/m2</p> <p>Oppure "null"</p>
Contributi	<p>Tante Tuple di valori quanti sono i blocchi logici "dati Trasmettitore" presenti nel file di interscambio dati</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema: stringa che indica il nome del sistema • Numero di pareti attraversate, integer • Valore: float, valore dell'esposizione nel punto • Unita: unità di misura a scelta tra V/m,A/m,W/m² 		<p>Nome del sistema: fare riferimento all'informazione mandatoria "NomeTrasmettitore" del Blocco Logico Trasmettitore</p> <p>Numero di pareti attraversate: fare riferimento al paragrafo 8.2.3 e all'appendice D</p> <p>Valore: valore dell'esposizione ottenuto nel punto secondo le metodologie descritte nel capitolo 8</p>	

3151
3152
3153
3154
3155
3156
3157

È altresì possibile, in aggiunta, fornire i dati relativi ad un processo di verifica computazionale non andato a buon fine in serendo uno o più campi aggiuntivi (opzionali) nel formato previsto:

- una matrice di dati in cui sono individuate le coordinate iniziali e finali degli assi e il passo di campionamento nelle direzioni della matrice ed una descrizione che permetta il recupero e l'interpretazione dei dati
- una rappresentazione grafica 2D e/o 3D indicando il puntatore ad un file satellite fornito con l'esito della verifica computazionale (es: pdf, jpeg, tiff, docx, xls, xlsx)

3158 C.3 Codifica del formato

3159 I caratteri ammessi sono:

- 3160 • caratteri alfanumerici: 0-9, a-z, A-Z
- 3161 • hash (ASCII 35)
- 3162 • dash (ASCII 45)
- 3163 • dot (ASCII 46)
- 3164 • colon (ASCII 58)
- 3165 • space (ASCII 32)
- 3166 • tab (ASCII 9)

3167 C.4 Esempio JSON

3168 La valorizzazione degli oggetti è da intendersi a solo titolo di esempio

```
3169 {
3170   "VersioneGuidaCEI211.10": "CEI 211.10:2023",
3171   "DataRiferimentoDeiDati": "2023-07-12",
3172   "NomeGestore": "IINomeDelGestore",
3173   "NomeImpianto": "IINomeImpianto",
3174   "CodiceImpiantoGestore": "ABC123DEF",
3175   "CodiceImpiantoARPA": "AABB223344CCDD",
3176   "InsiemeDatiImpianto": "Parziale",
3177   "SistemaRiferimentoCoordinate": "WGS84",
3178   "CoordinateImpiantoLatitudine": 1.234567,
3179   "CoordinateImpiantoLongitudine": 7.654321,
3180   "QuotaSlmBaselImpianto": 100.0,
3181   "Regione": "LaRegione",
3182   "Provincia": "LaProvincia",
3183   "IdComune": "ZZZZZZZZZZ",
3184   "DenominazioneComune": "NomeDelComune",
3185   "Trasmettitore1": {
3186     "NomeTrasmettitore": "IITrasmettitore1",
3187     "CoordinateTrasmettitoreLatitudine": 1.234567,
3188     "CoordinateTrasmettitoreLongitudine": 7.654321,
3189     "QuotaCentroElettrico": 25.0,
3190     "Variato": true,
3191     "TipoServizio": "GSM",
3192     "Duplexing": "FDD",
3193     "BandaFrequenza": "900",
3194     "AzimutTrasmettitore": 155.0,
3195     "CostruttoreAntenna": "IICostruttoreAntenna",
3196     "ModelloAntenna": "IIModelloAntenna",
3197     "TipoAntenna": "Pannello",
3198     "CodiceArpaAntenna": "abcdef123456",
3199     "PolarizzazioneAntenna": "+/-45",
3200     "GuadagnoAntenna": {
3201       "Valore": 18.5,
3202       "unita": "dBi"
3203     },
3204     "TiltMeccanico": 0.0,
3205     "TiltMeccanicoIntervallo": {
3206       "Inizio": null,
3207       "Fine": null
3208     }
3209   }
```



```
3210     },
3211     "TiltElettrico": 3.0,
3212     "TiltElettricoIntervallo": {
3213         "Inizio": null,
3214         "Fine": null
3215     },
3216     "ElencoFileDiagrammaRadiazioneAntenna": [
3217         "path/Diagramma1.estensione",
3218         "path/Diagramma2.estensione",
3219         "path/Diagramma3.estensione"
3220     ],
3221     "Potenza": 100.0,
3222     "NumeroPortanti": 1,
3223     "Alfa_pc": 0.7,
3224     "Alfa_dtx": 0.7,
3225     "Alfa_24": 0.5,
3226     "Ftdc": 1.0,
3227     "FtdcInContatorePotenza": true,
3228     "Fpr": null,
3229     "Fgr": null
3230 },
3231 "Trasmittitore2": {
3232     "NomeTrasmittitore": "IITrasmittitore2",
3233     "CoordinateTrasmittitoreLatitudine": 1.234567,
3234     "CoordinateTrasmittitoreLongitudine": 7.654321,
3235     "QuotaCentroElettrico": 25.0,
3236     "Variato": true,
3237     "TipoServizio": "GSM",
3238     "Duplexing": "FDD",
3239     "BandaFrequenza": "900",
3240     "AzimutTrasmittitore": 35.0,
3241     "CostruttoreAntenna": "IICostruttoreAntenna",
3242     "ModelloAntenna": "IIModelloAntenna",
3243     "TipoAntenna": "Pannello",
3244     "CodiceArpaAntenna": "abcdef123456",
3245     "PolarizzazioneAntenna": "+/-45",
3246     "GuadagnoAntenna": {
3247         "Valore": 18.5,
3248         "unita": "dBi"
3249     },
3250     "TiltMeccanico": 0.0,
3251     "TiltMeccanicoIntervallo": {
3252         "Inizio": null,
3253         "Fine": null
3254     },
3255     "TiltElettrico": 3.0,
3256     "TiltElettricoIntervallo": {
3257         "Inizio": null,
3258         "Fine": null
3259     },
3260     "ElencoFileDiagrammaRadiazioneAntenna": [
3261         "path/Diagramma1.estensione",
3262         "path/Diagramma2.estensione",
3263         "path/Diagramma3.estensione"
3264     ],
3265     "Potenza": 40.0,
3266     "NumeroPortanti": 1,
3267     "Alfa_pc": 0.7,
```

```
3268         "Alfa_dtx": 0.7,
3269         "Alfa_24": 0.5,
3270         "Ftdc": 1.0,
3271         "FtdcInContatorePotenza": true,
3272         "Fpr": null,
3273         "Fgr": null
3274     },
3275     "PuntiDiControllo" :[
3276     {
3277         "NomePuntoDiControllo": "PdC1",
3278         "CoordinatePuntoDiControlloLatitudine": 1.890123,
3279         "CoordinatePuntoDiControlloLongitudine": 7.890123,
3280         "QuotaSlmPuntoDiControllo": 130.0,
3281         "MetodoDiCalcolo": "MSLP",
3282         "CoefficienteDiConformita": 1.1,
3283         "LimiteNormativo": "OQVA",
3284         "FondoElettromagneticoLE": null,
3285         "FondoElettromagneticoOQVA": {
3286             "Valore": 4.5,
3287             "Unita": "V/m"
3288         },
3289         "Contributi": [
3290             ["IlTrasmittitore1", 0, 5.5, "V/m"],
3291             ["IlTrasmittitore2", 5, 0.1, "V/m"]
3292         ]
3293     },
3294     {
3295         "NomePuntoDiControllo": "PdC2",
3296         "CoordinatePuntoDiControlloLatitudine": 1.890345,
3297         "CoordinatePuntoDiControlloLongitudine": 7.890345,
3298         "QuotaSlmPuntoDiControllo": 120.0,
3299         "MetodoDiCalcolo": "MSLP",
3300         "CoefficienteDiConformita": 1.3,
3301         "LimiteNormativo": "OQVA",
3302         "FondoElettromagneticoLE": null,
3303         "FondoElettromagneticoOQVA": {
3304             "Valore": 2.5,
3305             "Unita": "V/m"
3306         },
3307         "Contributi": [
3308             ["IlTrasmittitore1", 0, 25.5, "V/m"],
3309             ["IlTrasmittitore2", 3, 0.1, "V/m"]
3310         ]
3311     }
3312 ],
3313     "Esempio di Informazione Opzionale1": "Quella che segue rappresenta graficamente
3314 una area non Conforme su File",
3315     "File grafico a Corredo": "path/NomeDelFileConAreaNonConforme.pdf",
3316     "Esempio di Informazione Opzionale2": "Quella che segue rappresenta una area non
3317 Conforme in forma matriciale",
3318     "Matrice a Corredo": {
3319         "Primo Valore": "Coordinata X (verso Est) in m",
3320         "Secondo Valore": "Coordinata Y (verso Nord) in m",
3321         "Terzo Valore": "Campo Elettrico in V/m",
3322         "Matrice": [
3323             [0.0, 0.0, 1.0],
3324             [0.0, 10.0, 1.0],
3325             [0.0, 20.0, 1.0],
```

3326 [0.0, 30.0, 1.0],
3327 [10.0, 0.0, 1.0],
3328 [10.0, 10.0, 5.0],
3329 [10.0, 20.0, 1.0],
3330 [10.0, 30.0, 1.0],
3331 [20.0, 0.0, 2.0],
3332 [20.0, 10.0, 1.0],
3333 [20.0, 20.0, 1.0],
3334 [20.0, 30.0, 1.0],
3335 [30.0, 0.0, 1.0],
3336 [30.0, 10.0, 4.0],
3337 [30.0, 20.0, 1.0],
3338 [30.0, 30.0, 1.0]
3339]
3340 }
3341 }
3342 }

3343 C.5 Esempio xml

3344 Prima proposta basata esclusivamente su un'organizzazione logica dei dati

```
3345 1. <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>  
3346 2. <Impianto>  
3347 3.   <Anagrafica>  
3348 4.     <NomeGestore>Vodafone</NomeGestore>  
3349 5.     <NomeImpianto>AAA123BBB</NomeImpianto>  
3350 6.     <CodiceImpiantoGestore>1RM00919</CodiceImpiantoGestore>  
3351 7.     <Regione>Piemonte</Regione>  
3352 8.     <Provincia>TO</Provincia>  
3353 9.     <IdComune>001001</IdComune>  
3354 10.    <DenominazioneComune>Agliè</DenominazioneComune>  
3355 11.    <CodiceImpiantoARPA  
3356     carattere="aggiuntivo"></CodiceImpiantoARPA>  
3357 12.    </Anagrafica>  
3358 13.    <DatiAssociati>  
3359 14.      <DataRiferimentodeiDati  
3360     carattere="aggiuntivo"></DataRiferimentodeiDati>  
3361 15.      <InsiemeDatiImpianto>Completo</InsiemeDatiImpianto>  
3362 16.      <SistemaRiferimentoCoordinate>WGS84</SistemaRiferimentoCoordinate>  
3363 17.      <CoordinateImpiantoLatitudine>10.339977</CoordinateImpiantoLatitudine>  
3364 18.      <CoordinateImpiantoLongitudine>43.544773</CoordinateImpiantoLongitudine  
3365 19.      <QuotaSlmBaseImpianto>100.0</QuotaSlmBaseImpianto>  
3366 20.    </DatiAssociati>  
3367 21.    <Trasmittitore NomeTrasmittitore="4024-AL15033_005-1-4-10-50">  
3368 22.    <CoordinateTrasmittitoreLatitudine>10.339977</CoordinateTrasmittitoreLatit  
3369 udine>  
3370  
3371  
3372  
3373  
3374
```

3375 23.
3376 <CoordinateTrasmittitoreLongitudine>43.544773</CoordinateTrasmittitoreLo
3377 ngitudine>
3378 24. <QuotaCentroElettrico>25.0</QuotaCentroElettrico>
3379 25. <Variato>False</Variato>
3380 26. <TipoServizio>LTE</TipoServizio>
3381 27. <Duplexing>FDD</Duplexing>
3382 28. <BandaFrequenza>1800</BandaFrequenza>
3383 29. <AzimutTrasmittitore>155.0</AzimutTrasmittitore>
3384 30. <CostruttoreAntenna>Huawei</CostruttoreAntenna>
3385 31. <ModelloAntenna>Antenna1</ModelloAntenna>
3386 32. <TipoAntenna>Pannello</TipoAntenna>
3387 33. <PolarizzazioneAntenna>H</PolarizzazioneAntenna>
3388 34. <GuadagnoAntenna>12.5 dBi</GuadagnoAntenna>
3389 35. <TiltMeccanico>0.0</TiltMeccanico>
3390 36. <TiltElettrico>5.0</TiltElettrico>
3391 37. <ElencoFileDiagrammaRadiazioneAntenna>Diagramma_A.msi
3392 Diagramma_B.msi</ElencoFileDiagrammaRadiazioneAntenna>
3393 38. <Potenza>40.0</Potenza>
3394 39. <NumeroPortanti>1</NumeroPortanti>
3395 40. <Alfa_pc>0.7</Alfa_pc>
3396 41. <Alfa_dtx>0.7</Alfa_dtx>
3397 42. <Alfa_24>0.5</Alfa_24>
3398 43. <Ftdc>0.75</Ftdc>
3399 44. <FtdclnContatorePotenza>True</FtdclnContatorePotenza>
3400 45. <Fpr>1.0</Fpr>
3401 46. <Fgr>1.0</Fgr>
3402 47. <TiltElettricoIntervallo carattere="aggiuntivo">-7.0
3403 12.0</TiltElettricoIntervallo>
3404 48. <TiltMeccanicoIntervallo carattere="aggiuntivo">-7.0
3405 12.0</TiltMeccanicoIntervallo>
3406 49. <CodiceArpaAntenna
3407 carattere="aggiuntivo">null</CodiceArpaAntenna>
3408 50. </Trasmittitore>
3409 51. </Impianto>

3410
3411

Appendice D Building Entry Loss (BEL)

3412 D.1 Coefficienti di attenuazione per modellizzazione dell'assorbimento da parte 3413 delle pareti

3414 D.1.1 Criteri per la definizione del numero di pareti

3415 Il numero di pareti che si interpone tra trasmettitore e punto di controllo sulla linea retta
3416 congiungente i due punti può essere determinato a seconda delle modalità disponibili a chi
3417 esegue la verifica di conformità computazionale. Le modalità per la determinazione del numero
3418 di pareti interposte possono essere le seguenti, altre modalità non presenti in questo elenco
3419 sono comunque ammesse:

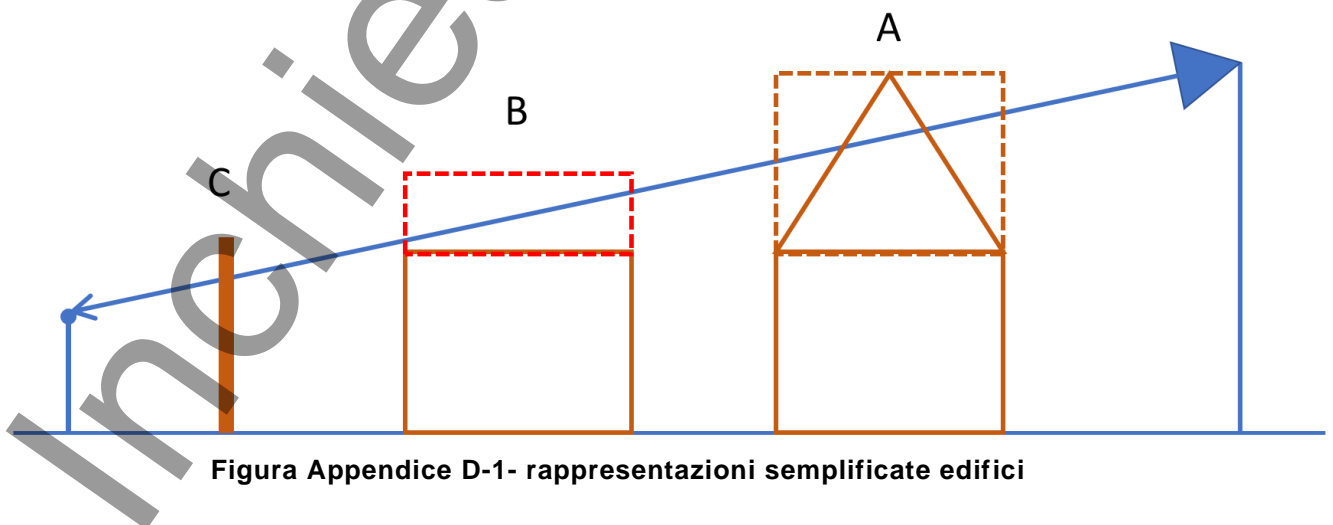
- 3420 • verifica in loco
- 3421 • utilizzo di immagini, fotografie, mappe, disegni tecnici, riprese, idonei allo scopo
- 3422 • utilizzo di mappe digitalizzate disponibili in rete, purché referenziabili e riferite nel tempo

3423 utilizzo di mappe cartografiche, toponomastiche digitalizzate

- 3424 •
- 3425 •

3426 Relativamente all'altezza delle pareti o degli edifici:

- 3427 1. Se la modalità utilizzata dispone dell'altezza reale dell'edificio (colmo del tetto) o della
3428 parete singola (es: muro di cinta), allora tale è l'altezza da utilizzare per la determinazione
3429 del numero di pareti interposte, Figura Appendice D-1, scenario A, scenario C.
- 3430 2. Se la modalità utilizzata dispone della sola altezza di gronda di un edificio, allora all'altezza
3431 di gronda viene sommata, solo nel caso in cui l'edificio abbia il tetto a spiovente, una
3432 quantità pari a 1 m per simulare la presenza del tetto, Figura Appendice D-1scenario B;
3433 ricondursi al punto 1.
- 3434 3. indicazione del numero di piani fuori terra presenti nell'edificio. In questo caso è necessario
3435 indicare le modalità utilizzate per stabilite l'altezza dell'edificio e ricondursi al punto 2 per
3436 stabilire la presenza e dimensione dell'altezza del tetto.



3437
3438

Figura Appendice D-1- rappresentazioni semplificate edifici

3439 Il numero di pareti interposte e le modalità utilizzate per determinarlo devono essere rese note
3440 nel report di verifica computazione, Capitolo 10. Il rapporto di conformità, così come indicato
3441 nel Capitolo 10, comprende anche le motivazioni adottate nel considerare o nell'escludere una
3442 parete dal computo del numero di pareti presenti lungo la congiungete il punto di trasmissione
3443 ed il punto di controllo.

3444 **D.1.2 Coefficiente di attenuazione per modellizzazione dell'assorbimento delle**
3445 **pareti – Building Entry Loss (BEL)**

3446 Per utilizzare il modello denominato "spazio libero pesato", occorre determinare l'attenuazione
3447 del segnale da parte delle pareti per tutte le bande di radiofrequenze, essendo le proprietà di
3448 propagazione dei segnali profondamente diverse.

3449 Si è quindi proceduto ad una analisi della letteratura al momento disponibile riguardante i
3450 risultati di misure di Building Entry Loss (BEL) su diverse tipologie di edifici e per diversi
3451 intervalli di frequenza, il tutto finalizzato a determinare un insieme di valori da applicare come
3452 parametri operativi di riferimento ai fini dell'applicazione del modello MSLP.

3453 Per il calcolo del valore di BEL è stata analizzata la bibliografia disponibile al momento della
3454 stesura della presente Norma. I due documenti principali che raccolgono studi sui coefficienti
3455 di attenuazione da parte delle pareti sono: il Report prodotto da OFCOM nel 2014 [14] ed il
3456 Report ITU-R P.2346-4 [15] del 2021.

3457 I valori di BEL riportati nel Report ITU-R P.2346-[15] sono frutto di studi effettuati a livello
3458 internazionale con metodologie differenziate e su diverse tipologie di scenario. In genere sono
3459 stati forniti come valore medio (o mediana o 50-p di una distribuzione cumulativa) al quale
3460 spesso, ma non sempre, è associata una deviazione standard. Il fatto che sia fornita una
3461 deviazione standard ragionevolmente implica che la misura del parametro sia stata eseguita
3462 più volte e ne sia stata calcolata la media o la mediana. Sui dati privi della deviazione standard
3463 invece non è possibile fare nessuna affermazione in merito ad un corretto modus operandi,
3464 poiché il dato che compare privo di deviazione standard potrebbe infatti essere frutto di una
3465 singola misura, pertanto non pienamente affidabile. Di conseguenza si è scelto di escludere
3466 dallo studio tutti i dati che non erano corredati di deviazione standard.

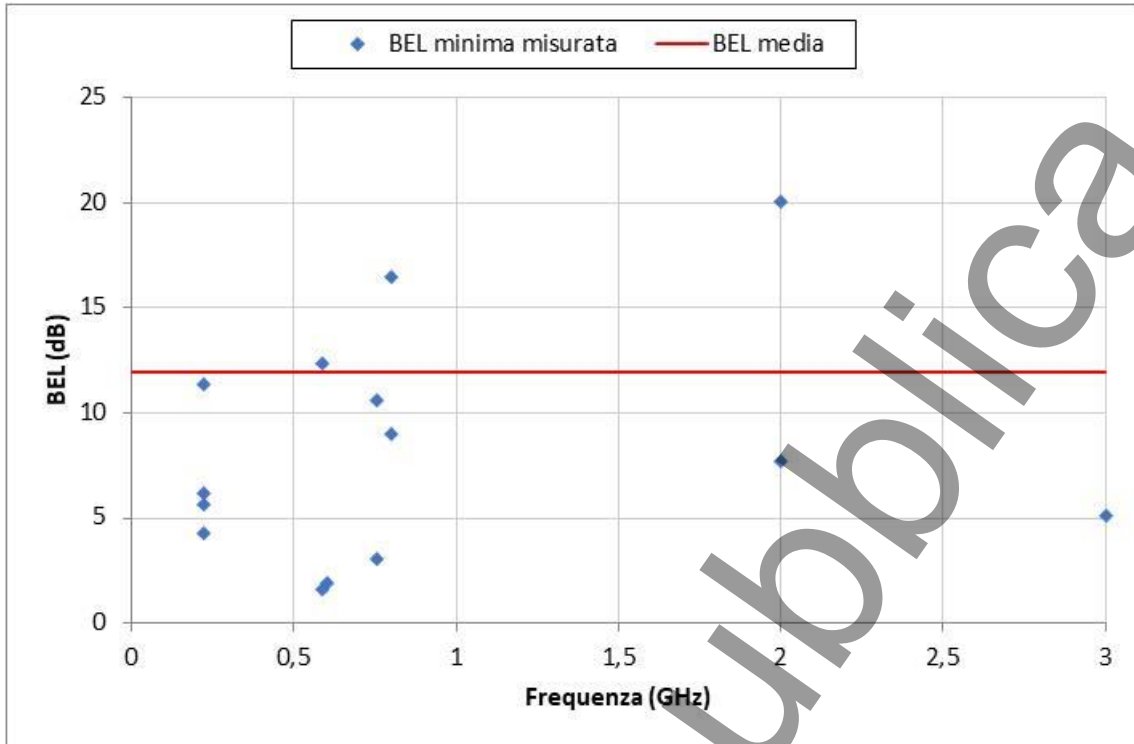
3467 **D.1.3 Definizione degli intervalli di frequenza**

3468 Per l'applicazione del MSLP gli intervalli selezionati sono i seguenti:

- 3469 • Sub 3 GHz – intervallo che raccoglie le frequenze utilizzate per i servizi radiotelevisivi, le
3470 frequenze utilizzate dai servizi mobili;
- 3471 • Da 3 a 10 GHz – intervallo che comprende la banda di frequenza per il 5G (3,5 GHz) e le
3472 bande che verranno utilizzate per il WiFi 6 (5950 6450 MHz);
- 3473 • Oltre 10 GHz – a comprendere le bande a frequenza più elevate, compresa la banda 26
3474 GHz già identificata in ambito CEPT come banda 5G e tutte le bande ad onde millimetriche
3475 che in futuro potranno essere utilizzate per servizi di comunicazione mobile.

3476 **D.1.4 Valutazioni preliminari**

3477 Le misurazioni sono state effettuate attraverso una ampia varietà di metodi e su diverse
3478 tipologie di edifici, di conseguenza anche la variabilità dei dati è molto elevata, come dimostrato
3479 dai grafici di Figura Appendice D-2, Figura Appendice D-3 e Figura Appendice D-4 in cui sono
3480 rappresentati i valori di BEL minimi misurati tratti dalla letteratura ed i relativi valori medi,
3481 suddividendo le misure nei tre intervalli di frequenza definiti nel capitolo D.1.3. La BEL minima
3482 è convenzionalmente definita come la BEL media a cui è stata sottratta una deviazione standard
3483 dei valori misurati nella relativa campagna.

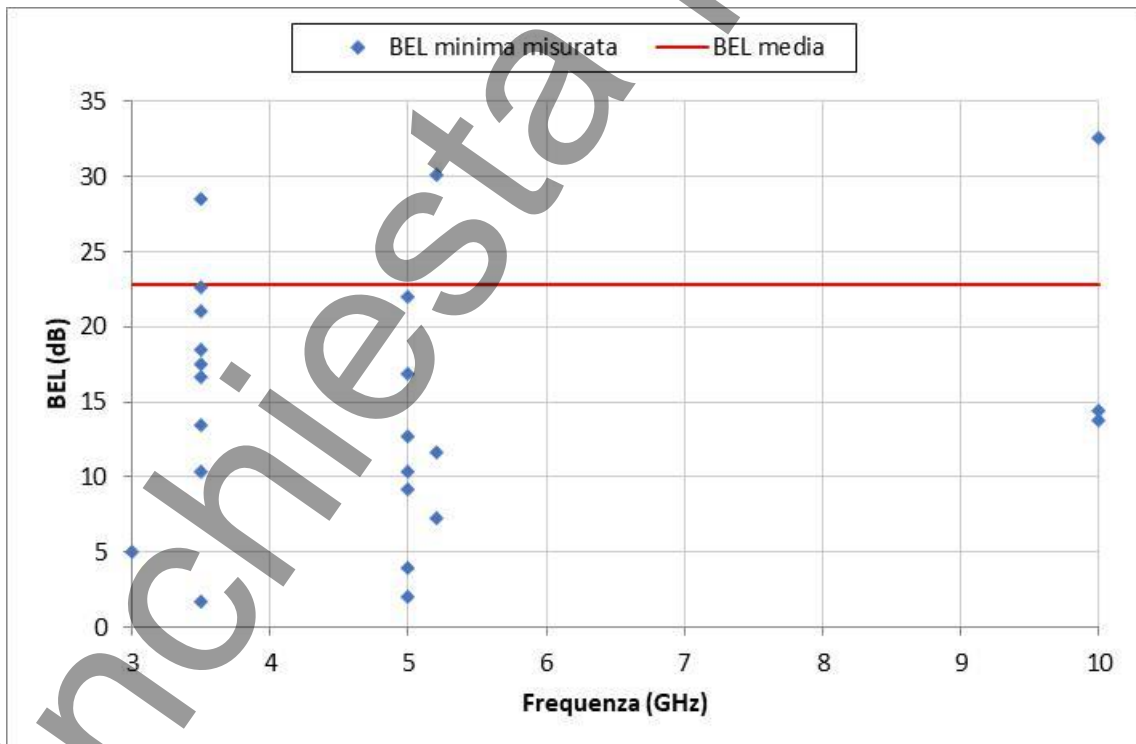


3484

3485

3486

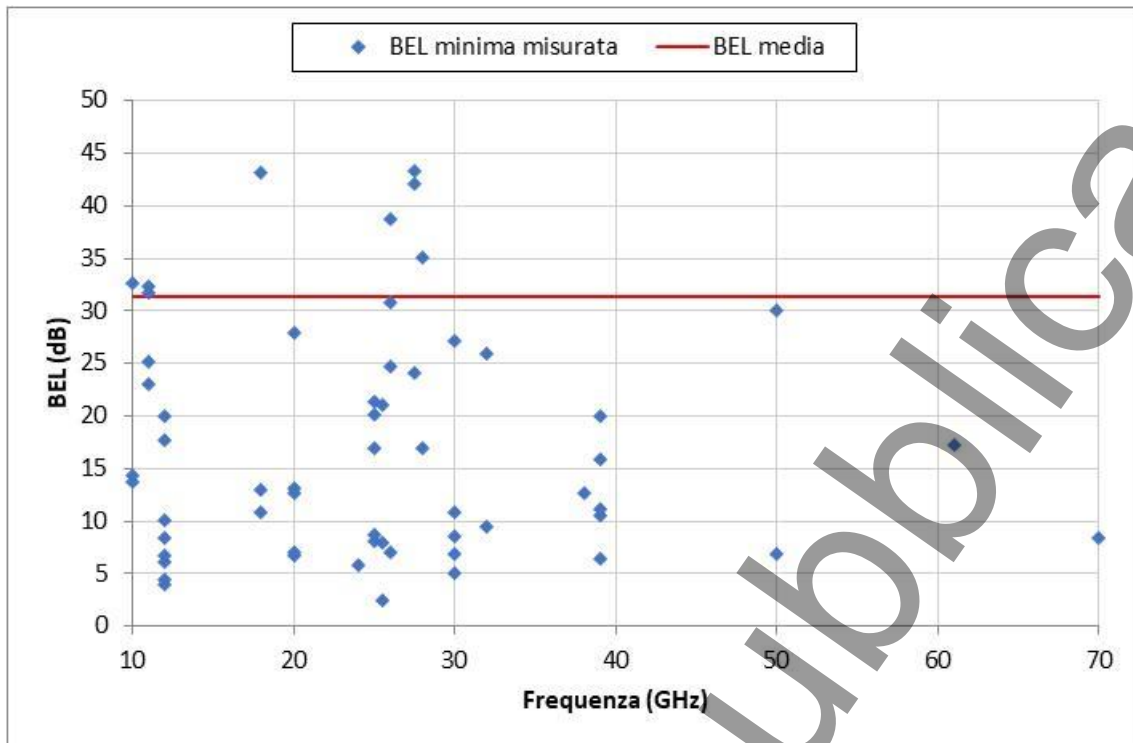
Figura Appendice D-2 - Valori minimi di BEL misurati ($f \leq 3$ GHz)



3487

3488

Figura Appendice D-3 - Valori minimi di BEL misurati ($3 \text{ GHz} \leq f \leq 10 \text{ GHz}$)



3489

3490

Figura Appendice D-4 - Valori minimi di BEL misurati ($f \geq 10$ GHz)

3491

D.1.5 Metodologia per il calcolo della perdita da penetrazione (BEL)

3492

Per ciascuna misura, come valore minimo, si considera il valore medio (o mediana o 50-p) riportato, al quale viene sottratta una deviazione standard.

3493

3494

Per ciascuna frequenza si prende il valore minimo valutato su una finestra mobile di ampiezza variabile a seconda della frequenza, centrata sulla frequenza stessa, e si calcola la media. Le dimensioni scelte per la finestra mobile sono le seguenti:

3495

3496

3497

- Frequenze fino a 3 GHz: ampiezza della finestra 200 MHz;

3498

- Frequenze intermedie (3-10 GHz): ampiezza della finestra 1,5 GHz;

3499

- Frequenze elevate ed onde millimetriche (da 10 GHz in su): ampiezza della finestra 2 GHz.

3500

3501

NOTA L'operazione di media attenua la variabilità dovuta alle condizioni sperimentali ed ambientali diversificate.

3502

I valori della BEL calcolati sono stati arrotondati al numero intero più vicino, espresso in dB; infatti, i margini di incertezza e di errore insiti nelle metodologie di misura e di calcolo rendono in pratica poco significative le cifre decimali.

3503

3504

3505 **D.2 Riassunto dei risultati disponibili**

3506 In questa sezione si riassumono i dati relativi alla perdita per la penetrazione all'interno di
 3507 edifici (BEL) reperiti nel Report ITU-R P.2346-4 [14] e del Report OFCOM [15] e utilizzati per
 3508 la stima del BEL da utilizzare nel Modello di Spazio Libero Pesato (MSLP).
 3509

3510 **D.2.1 Frequenze inferiori a 1 GHz**

3511 **Tabella Appendice D-1: Riassunto dei dati disponibili ($0 < f \leq 1$ GHz)**

Frequenza	BEL (mediana o media) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
220 MHz	9,1 14,8 (in una stanza sul lato opposto)	3,5	[14], cap. 2	Germania	VHF e UHF
223 MHz	8,5 13,3 (in una stanza sul lato opposto)				
588 MHz	7,0 17,8 (in una stanza sul lato opposto)				
756 MHz	8,5 16,0 (in una stanza sul lato opposto)				
Varie frequenze in banda UHF	5,4 10,3 (in una stanza sul lato opposto)	4,7	[14]0, cap. 2	Regno Unito	Vengono fornite anche stime della perdita per attraversamento di piani e pareti interne, ecc.
460 MHz	21	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	22				Edificio 37, piano terra
	23				Edificio 27, piano terra
	27				Edificio 37, LoS
	25				Edificio 27, LoS
880 MHz	20	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	17				Edificio 37, piano terra
	21				Edificio 27, piano terra
	27				Edificio 37, LoS
	30				Edificio 27, LoS
800 MHz	14,3	5,4	[14], cap. 22	Finlandia? (Nokia)	Uffici (tradizionale)
	21,8	5,4			Uffici (moderno)
800 MHz	5,3	4,1	[14], cap. 28	Danimarca	

3512

3513 **D.2.2 Frequenze oltre 1 GHz e fino a 6 GHz**

3514 **Tabella Appendice D-2: Riassunto dei dati disponibili ($1 \text{ GHz} < f \leq 6 \text{ GHz}$)**
 3515

Frequenza	BEL (mediana o media) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
5,2 GHz	<p>Gli autori forniscono un'espressione per l'attenuazione supplementare media:</p> $\Delta_{Loss}(dB) = 0,41 \cdot d - 0,5 \cdot h - 2,1 \cdot \log(f) - 0,8 \cdot LoS + 11,5$ <p>d: 0-20 m; distanza dalla finestra (m) h: 1,5-30 m: altezza dal terreno (m) f: 0,8-8 GHz: frequenza (GHz) LoS = 1 se in linea di vista, 0 altrimenti</p> <p>Ad esempio per $d=1$ m, $h=1,5$ m, $f=5,2$ GHz, LoS=1 si ha</p> $\Delta_{Loss} = 8,86$ dB		[14], cap. 3	Giappone	Misure svolte su 12 palazzi di uffici per distanze da trasmettitore fino a 1 Km
5,2 GHz	18	---	[14], cap. 4	Giappone	Viene misurata l'attenuazione supplementare in uscita dall'edificio (una casa isolata a due piani), anziché in ingresso
3,5 GHz	16	2,5	[14], cap. 7	Cina	Calcestruzzo 10 cm
	20	1,5			Calcestruzzo 20 cm
	25	4			Vetro rivestito 10 mm
1860MHz	25	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	19				Edificio 37, piano terra
	22				Edificio 27, piano terra
	25				Edificio 37, LoS
	30				Edificio 27, LoS
5100 MHz	20	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 37, piano terra
	28				Edificio 27, piano terra
	20				Edificio 37, LoS
	35				Edificio 27, LoS
3,5 GHz	42,8	14,3	[14], cap. 9	Cina	Edificio A
	32,8	15,3			Edificio B
	19,4	2,7			Edificio C
5,2 GHz	12	5	[14], cap. 12	N/D	Mattoni e calcestruzzo
5 GHz	8,5 media (min 1, max 27)	6,5	[14], cap. 13	Stati Uniti	Edificio residenziale, costruito nel 2009
	13,5 media (min 1 max 32,5)	9,5			Edificio commerciale, costruito nel 1945
3,6 GHz	20	---	[14], cap. 14 e cap. 20	Francia	Angolo di incidenza 0°
	27				Angolo di incidenza 10°
	11				Angolo di incidenza 10°
	14				Angolo di incidenza 42°
	20				Angolo di incidenza 34°
3,5 GHz	38,77	---	[14], cap. 21	Cina	Edificio A
	30,57				Edificio B
	25,61				Edificio C
2 GHz	14,7	7,1	[14], cap. 22	Finlandia? (Nokia)	Uffici (tradizionale)
	25,9	5,9			Uffici (moderno)

Frequenza	BEL (mediana o media) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
5,2 GHz	<p>Gli autori forniscono un'espressione per l'attenuazione supplementare media:</p> $\Delta_{Loss}(dB) = 0,41 \cdot d - 0,5 \cdot h - 2,1 \cdot \log(f) - 0,8 \cdot LoS + 11,5$ <p>d: 0-20 m; distanza dalla finestra (m) h: 1,5-30 m: altezza dal terreno (m) f: 0,8-8 GHz: frequenza (GHz) LoS = 1 se in linea di vista, 0 altrimenti</p> <p>Ad esempio per $d=1$ m, $h=1,5$ m, $f=5,2$ GHz, LoS=1 si ha</p> $\Delta_{Loss} = 8,86$ dB		[14], cap. 3	Giappone	Misure svolte su 12 palazzi di uffici per distanze da trasmettitore fino a 1 Km
5,2 GHz	18	---	[14], cap. 4	Giappone	Viene misurata l'attenuazione supplementare in uscita dall'edificio (una casa isolata a due piani), anziché in ingresso
3,5 GHz	16	2,5	[14], cap. 7	Cina	Calcestruzzo 10 cm
	20	1,5			Calcestruzzo 20 cm
	25	4			Vetro rivestito 10 mm
1860MHz	25	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	19				Edificio 37, piano terra
	22				Edificio 27, piano terra
	25				Edificio 37, LoS
5100 MHz	30	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 27, LoS
	20				Edificio 37, piano terra
	28				Edificio 27, piano terra
	20				Edificio 37, LoS
3,5 GHz	42,8	14,3	[14], cap. 9	Cina	Edificio A
	32,8	15,3			Edificio B
	19,4	2,7			Edificio C
5,2 GHz	12	5	[14], cap. 12	N/D	Mattoni e calcestruzzo
5 GHz	8,5 media (min 1, max 27)	6,5	[14], cap. 13	Stati Uniti	Edificio residenziale, costruito nel 2009
	13,5 media (min 1 max 32,5)	9,5			Edificio commerciale, costruito nel 1945
3,5 GHz	17,8	7,4	[14], cap. 13	Stati Uniti	Uffici (tradizionale)
5,2 GHz	28,9	6,3			Uffici (moderno)
5,2 GHz	17,7	6,0	[14], cap. 13	Stati Uniti	Uffici (tradizionale)
	37,0	6,9			Uffici (moderno)
5 GHz	14,85 media (min 4,23, max 31,83)	5,65	[14], cap. 24 (seguito di [14], cap. 13)	Stati Uniti	Edificio residenziale, costruito nel 2009
	22,67 media (min 1,16, max 53,86)	10,00			Edificio commerciale, costruito nel 1945
	34,92 media (min 9,60, max 70,10)	12,94			Edificio commerciale, costruito nel 2014
	18,86 media (min 1,50, max 35,90)	8,51			Edificio commerciale, costruito nel 1966
	25,71 media (min 4,70, max 42,30)	8,85			Edificio commerciale, costruito nel 1966

Frequenza	BEL (mediana o media) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
5,2 GHz	<p>Gli autori forniscono un'espressione per l'attenuazione supplementare media:</p> $\Delta_{Loss}(dB) = 0,41 \cdot d - 0,5 \cdot h - 2,1 \cdot \log(f) - 0,8 \cdot LoS + 11,5$ <p>d: 0-20 m; distanza dalla finestra (m) h: 1,5-30 m: altezza dal terreno (m) f: 0,8-8 GHz: frequenza (GHz) LoS = 1 se in linea di vista, 0 altrimenti</p> <p>Ad esempio per $d=1$ m, $h=1,5$ m, $f=5,2$ GHz, LoS=1 si ha</p> $\Delta_{Loss} = 8,86$ dB		[14], cap. 3	Giappone	Misure svolte su 12 palazzi di uffici per distanze da trasmettitore fino a 1 Km
5,2 GHz	18	---	[14], cap. 4	Giappone	Viene misurata l'attenuazione supplementare in uscita dall'edificio (una casa isolata a due piani), anziché in ingresso
3,5 GHz	16	2,5	[14], cap. 7	Cina	Calcestruzzo 10 cm
	20	1,5			Calcestruzzo 20 cm
	25	4			Vetro rivestito 10 mm
1860MHz	25	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	19				Edificio 37, piano terra
	22				Edificio 27, piano terra
	25				Edificio 37, LoS
	30				Edificio 27, LoS
5100 MHz	20	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 37, piano terra
	28				Edificio 27, piano terra
	20				Edificio 37, LoS
	35				Edificio 27, LoS
3,5 GHz	42,8	14,3	[14], cap. 9	Cina	Edificio A
	32,8	15,3			Edificio B
	19,4	2,7			Edificio C
5,2 GHz	12	5	[14], cap. 12	N/D	Mattoni e calcestruzzo
5 GHz	8,5 media (min 1, max 27)	6,5	[14], cap. 13	Stati Uniti	Edificio residenziale, costruito nel 2009
	13,5 media (min 1 max 32,5)	9,5			Edificio commerciale, costruito nel 1945
3,5 GHz	24,58	---	[14], cap. 26	Cina	Vetro, angolo di incidenza 0°
	23,67				Vetro, angolo di incidenza 21,70°
	28,88				Vetro, angolo di incidenza 39,27°
	34,66				Vetro, angolo di incidenza 56,06°
	42,94				Calcestruzzo termicamente isolato, angolo di incidenza 0°

Frequenza	BEL (mediana o media) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
5,2 GHz	<p>Gli autori forniscono un'espressione per l'attenuazione supplementare media:</p> $\Delta_{Loss}(dB) = 0,41 \cdot d - 0,5 \cdot h - 2,1 \cdot \log(f) - 0,8 \cdot LoS + 11,5$ <p>d: 0-20 m; distanza dalla finestra (m) h: 1,5-30 m: altezza dal terreno (m) f: 0,8-8 GHz: frequenza (GHz) LoS = 1 se in linea di vista, 0 altrimenti</p> <p>Ad esempio per $d=1$ m, $h=1,5$ m, $f=5,2$ GHz, LoS=1 si ha</p> $\Delta_{Loss} = 8,86$ dB		[14], cap. 3	Giappone	Misure svolte su 12 palazzi di uffici per distanze da trasmettitore fino a 1 Km
5,2 GHz	18	---	[14], cap. 4	Giappone	Viene misurata l'attenuazione supplementare in uscita dall'edificio (una casa isolata a due piani), anziché in ingresso
3,5 GHz	16	2,5	[14], cap. 7	Cina	Calcestruzzo 10 cm
	20	1,5			Calcestruzzo 20 cm
	25	4			Vetro rivestito 10 mm
1860MHz	25	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	19				Edificio 37, piano terra
	22				Edificio 27, piano terra
	25				Edificio 37, LoS
	30				Edificio 27, LoS
5100 MHz	20	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 37, piano terra
	28				Edificio 27, piano terra
	20				Edificio 37, LoS
	35				Edificio 27, LoS
3,5 GHz	42,8	14,3	[14], cap. 9	Cina	Edificio A
	32,8	15,3			Edificio B
	19,4	2,7			Edificio C
5,2 GHz	12	5	[14], cap. 12	N/D	Mattoni e calcestruzzo
5 GHz	8,5 media (min 1, max 27)	6,5	[14], cap. 13	Stati Uniti	Edificio residenziale, costruito nel 2009
	13,5 media (min 1 max 32,5)	9,5			Edificio commerciale, costruito nel 1945
	46,73				Calcestruzzo termicamente isolato, angolo incidenza 21,32°
	45,71				Calcestruzzo termicamente isolato, angolo incidenza 38,70°
	47,54				Calcestruzzo termicamente isolato, angolo incidenza 55,28°
35,84		Cemento armato, angolo di incidenza 0°			

Frequenza	BEL (mediana o media) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
5,2 GHz	<p>Gli autori forniscono un'espressione per l'attenuazione supplementare media:</p> $\Delta_{Loss}(dB) = 0,41 \cdot d - 0,5 \cdot h - 2,1 \cdot \log(f) - 0,8 \cdot LoS + 11,5$ <p>d: 0-20 m; distanza dalla finestra (m) h: 1,5-30 m: altezza dal terreno (m) f: 0,8-8 GHz: frequenza (GHz) LoS = 1 se in linea di vista, 0 altrimenti</p> <p>Ad esempio per $d=1$ m, $h=1,5$ m, $f=5,2$ GHz, LoS=1 si ha</p> $\Delta_{Loss} = 8,86$ dB		[14], cap. 3	Giappone	Misure svolte su 12 palazzi di uffici per distanze da trasmettitore fino a 1 Km
5,2 GHz	18	---	[14], cap. 4	Giappone	Viene misurata l'attenuazione supplementare in uscita dall'edificio (una casa isolata a due piani), anziché in ingresso
3,5 GHz	16	2,5	[14], cap. 7	Cina	Calcestruzzo 10 cm
	20	1,5			Calcestruzzo 20 cm
	25	4			Vetro rivestito 10 mm
1860MHz	25	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	19				Edificio 37, piano terra
	22				Edificio 27, piano terra
	25				Edificio 37, LoS
	30				Edificio 27, LoS
5100 MHz	20	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 37, piano terra
	28				Edificio 27, piano terra
	20				Edificio 37, LoS
	35				Edificio 27, LoS
3,5 GHz	42,8	14,3	[14], cap. 9	Cina	Edificio A
	32,8	15,3			Edificio B
	19,4	2,7			Edificio C
5,2 GHz	12	5	[14], cap. 12	N/D	Mattoni e calcestruzzo
5 GHz	8,5 media (min 1, max 27)	6,5	[14], cap. 13	Stati Uniti	Edificio residenziale, costruito nel 2009
	13,5 media (min 1 max 32,5)	9,5			Edificio commerciale, costruito nel 1945
3,5 GHz	43,54	---	[14], cap. 26	Cina	Cemento armato, angolo di incidenza 24,99°
	43,44				Cemento armato, angolo di incidenza 43,46°
	45,79				Doppio strato di cemento armato, angolo di incidenza 0°
	49,65				Doppio strato di cemento armato, angolo di incidenza 17,49°

Frequenza	BEL (mediana o media) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
5,2 GHz	<p>Gli autori forniscono un'espressione per l'attenuazione supplementare media:</p> $\Delta_{Loss}(dB) = 0,41 \cdot d - 0,5 \cdot h - 2,1 \cdot \log(f) - 0,8 \cdot LoS + 11,5$ <p>d: 0-20 m; distanza dalla finestra (m) h: 1,5-30 m: altezza dal terreno (m) f: 0,8-8 GHz: frequenza (GHz) LoS = 1 se in linea di vista, 0 altrimenti</p> <p>Ad esempio per $d=1$ m, $h=1,5$ m, $f=5,2$ GHz, LoS=1 si ha</p> $\Delta_{Loss} = 8,86$ dB		[14], cap. 3	Giappone	Misure svolte su 12 palazzi di uffici per distanze da trasmettitore fino a 1 Km
5,2 GHz	18	---	[14], cap. 4	Giappone	Viene misurata l'attenuazione supplementare in uscita dall'edificio (una casa isolata a due piani), anziché in ingresso
3,5 GHz	16	2,5	[14], cap. 7	Cina	Calcestruzzo 10 cm
	20	1,5			Calcestruzzo 20 cm
	25	4			Vetro rivestito 10 mm
1860MHz	25	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	19				Edificio 37, piano terra
	22				Edificio 27, piano terra
	25				Edificio 37, LoS
	30				Edificio 27, LoS
5100 MHz	20	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 37, piano terra
	28				Edificio 27, piano terra
	20				Edificio 37, LoS
	35				Edificio 27, LoS
3,5 GHz	42,8	14,3	[14], cap. 9	Cina	Edificio A
	32,8	15,3			Edificio B
	19,4	2,7			Edificio C
5,2 GHz	12	5	[14], cap. 12	N/D	Mattoni e calcestruzzo
5 GHz	8,5 media (min 1, max 27)	6,5	[14], cap. 13	Stati Uniti	Edificio residenziale, costruito nel 2009
	13,5 media (min 1 max 32,5)	9,5			Edificio commerciale, costruito nel 1945
	49,06				Doppio strato di cemento armato, angolo di incidenza 32,65°
	9,98				Muro di mattoni, angolo di incidenza 0°
	9,95				Muro di mattoni, angolo di incidenza 9,72°
	9,57				Muro di mattoni, angolo di incidenza 18,91°

Frequenza	BEL (mediana o media) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
5,2 GHz	<p>Gli autori forniscono un'espressione per l'attenuazione supplementare media:</p> $\Delta_{Loss}(dB) = 0,41 \cdot d - 0,5 \cdot h - 2,1 \cdot \log(f) - 0,8 \cdot LoS + 11,5$ <p>d: 0-20 m; distanza dalla finestra (m) h: 1,5-30 m: altezza dal terreno (m) f: 0,8-8 GHz: frequenza (GHz) LoS = 1 se in linea di vista, 0 altrimenti</p> <p>Ad esempio per $d=1$ m, $h=1,5$ m, $f=5,2$ GHz, LoS=1 si ha</p> $\Delta_{Loss} = 8,86$ dB		[14], cap. 3	Giappone	Misure svolte su 12 palazzi di uffici per distanze da trasmettitore fino a 1 Km
5,2 GHz	18	---	[14], cap. 4	Giappone	Viene misurata l'attenuazione supplementare in uscita dall'edificio (una casa isolata a due piani), anziché in ingresso
3,5 GHz	16	2,5	[14], cap. 7	Cina	Calcestruzzo 10 cm
	20	1,5			Calcestruzzo 20 cm
	25	4			Vetro rivestito 10 mm
1860MHz	25	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	19				Edificio 37, piano terra
	22				Edificio 27, piano terra
	25				Edificio 37, LoS
	30				Edificio 27, LoS
5100 MHz	20	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 37, piano terra
	28				Edificio 27, piano terra
	20				Edificio 37, LoS
	35				Edificio 27, LoS
3,5 GHz	42,8	14,3	[14], cap. 9	Cina	Edificio A
	32,8	15,3			Edificio B
	19,4	2,7			Edificio C
5,2 GHz	12	5	[14], cap. 12	N/D	Mattoni e calcestruzzo
5 GHz	8,5 media (min 1, max 27)	6,5	[14], cap. 13	Stati Uniti	Edificio residenziale, costruito nel 2009
	13,5 media (min 1 max 32,5)	9,5			Edificio commerciale, costruito nel 1945
	17,58				Muro di mattoni, angolo di incidenza 30,93°
	5,78				Vetro, angolo di incidenza 0°
	12,61				Vetro, angolo di incidenza 18,18°
	18,85				Vetro, angolo di incidenza 32,21°
2 GHz	5,0	7,0	[14], cap. 28	Danimarca	
3,5 GHz	8,1	6,4			
5,2 GHz	13,2	5,9			
3 GHz	8,28	3,24			

Frequenza	BEL (mediana o media) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
5,2 GHz	<p>Gli autori forniscono un'espressione per l'attenuazione supplementare media:</p> $\Delta_{Loss}(dB) = 0,41 \cdot d - 0,5 \cdot h - 2,1 \cdot \log(f) - 0,8 \cdot LoS + 11,5$ <p>d: 0-20 m; distanza dalla finestra (m) h: 1,5-30 m: altezza dal terreno (m) f: 0,8-8 GHz: frequenza (GHz) LoS = 1 se in linea di vista, 0 altrimenti</p> <p>Ad esempio per $d=1$ m, $h=1,5$ m, $f=5,2$ GHz, LoS=1 si ha</p> $\Delta_{Loss} = 8,86$ dB		[14], cap. 3	Giappone	Misure svolte su 12 palazzi di uffici per distanze da trasmettitore fino a 1 Km
5,2 GHz	18	---	[14], cap. 4	Giappone	Viene misurata l'attenuazione supplementare in uscita dall'edificio (una casa isolata a due piani), anziché in ingresso
3,5 GHz	16	2,5	[14], cap. 7	Cina	Calcestruzzo 10 cm
	20	1,5			Calcestruzzo 20 cm
	25	4			Vetro rivestito 10 mm
1860MHz	25	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 81, piano terra
	19				Edificio 37, piano terra
	22				Edificio 27, piano terra
	25				Edificio 37, LoS
	30				Edificio 27, LoS
5100 MHz	20	---	[14], cap. 8	Svezia	Edificio 37, piano terra
	28				Edificio 27, piano terra
	20				Edificio 37, LoS
	35				Edificio 27, LoS
3,5 GHz	42,8	14,3	[14], cap. 9	Cina	Edificio A
	32,8	15,3			Edificio B
	19,4	2,7			Edificio C
5,2 GHz	12	5	[14], cap. 12	N/D	Mattoni e calcestruzzo
5 GHz	8,5 media (min 1, max 27)	6,5	[14], cap. 13	Stati Uniti	Edificio residenziale, costruito nel 2009
	13,5 media (min 1 max 32,5)	9,5			Edificio commerciale, costruito nel 1945
6 GHz	14,45	2,36	[14], cap. 35	Corea del Sud	Valori più bassi di quelli della Racc. 2109 [16]

3516

3517 **D.2.3 Frequenze oltre 6 GHz e fino a 30 GHz**

3518 Tabella Appendice D-3: Riassunto dei dati disponibili (6 GHz < f ≤ 30 GHz)

Frequenza	BEL (mediana) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
8,5 GHz	30	Non indicata	[14], cap. 18	Giappone	Edificio costruito con criteri di efficienza energetica e finestre in vetro e isolamento termico. Valore dedotto da un grafico
10 GHz	15,76	1,97	[14], cap. 35	Corea del Sud	Valori più bassi di quelli della Racc. 2109 Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.
10 GHz	9 - 30	Non indicata	[14], cap. 14	Francia	Il valore cambia a seconda nella posizione in cui sono state fatte le misure (dietro alla finestra, dietro al muro, ecc).
10 GHz	9 - 30	Non indicata	[14], cap. 20	Francia	Il valore cambia a seconda nella posizione in cui sono state fatte le misure (dietro alla finestra, dietro al muro, ecc).
10 GHz	22,30	7,9	[14]0, cap. 22	Nokia (Finlandia?)	Edificio 1 – cemento con finestre a vetro
	39,1	6,5			Edificio 2 – cemento rinforzato, cappotto isolante finestre con doppio vetro
11 GHz	30,1	5,0	[14], cap. 5	Australia	Edificio in cemento polarizzazione verticale
	28,6	5,5			Edificio 2 – cemento polarizzazione orizzontale
	36,4	4,1			Capannone in metallo – polarizzazione verticale
	35,0	3,2			Capannone in metallo – polarizzazione orizzontale
11 GHz	3 – 60 dB	Non indicata	[14], cap. 11	Ericsson (Svezia?)	La BEL varia notevolmente al variare della posizione di esecuzione della misura all'interno dell'edificio
12 GHz	12,91	6,11	[14], cap. 24	USA	Edificio 1 - vinile e compensato con borchie metalliche, isolamento in fibra di vetro e cartongesso
12 GHz	21	10,94	[14], cap. 24	USA	Edificio 2 – cemento con finestre doppi vetri ed infissi in metallo
	29,97	12,31			Edificio 3 - costruito con criteri di efficienza energetica e finestre in vetro e isolamento termico
	16,59	10,86			Edificio 4 – cemento con finestre in vetro, cappotto isolante in fibra di vetro

	18,80	10,37			Edificio 5 – cemento con finestre in vetro, cappotto isolante in fibra di vetro
12 GHz	9,5	5,5	[14], Cap. 13	USA	Edificio 1 - vinile e compensato con borchie metalliche, isolamento in fibra di vetro Danno media invece che mediana
	14	9,5			Edificio 2 – cemento con finestre in vetro. Danno media invece che mediana
	31	11			Edificio 3 – costruito con criteri di efficienza energetica e finestre in vetro Danno media invece che mediana
14,8 GHz	5 – 25 (*) 10-30 (**)	Non indicate	[14], Cap. 15	Svezia	*50-p della CDF **90-p della CDF
17 GHz	8-33	Non indicata	[14], cap. 14	Francia	Il valore cambia a seconda nella posizione in cui sono state fatte le misure (dietro alla finestra, dietro al muro, ecc).
17 GHz	8-35	Non indicata	[14], cap. 20	Francia	Il valore cambia a seconda nella posizione in cui sono state fatte le misure (dietro alla finestra, dietro al muro, ecc).
18 GHz	21,9	8,9	[14], cap. 22	Nokia (Finlandia?)	Edificio 1 – cemento con finestre a vetro
	49,9	6,8			Edificio 2 – cemento rinforzato, cappotto isolante finestre con doppio vetro
18 GHz	13,20	2,34	[14], cap. 35	Corea del Sud	Valori più bassi di quelli della Racc. 2109 Errore. L'origine r iferimento non è stata trovata.
20 GHz	35	Non indicata	[14], cap. 18	Giappone	Edificio costruito con criteri di efficienza energetica e finestre in vetro e isolamento termico. Valore dedotto da un grafico
20 GHz	12,69	5,99	[14], cap. 24	USA	Edificio 1 - vinile e compensato con borchie metalliche, isolamento in fibra di vetro e cartongesso
	25,83	13,17			Edificio 2 – cemento con finestre doppi vetri ed infissi in metallo
	41,62	13,74			Edificio 3 - costruito con criteri di efficienza energetica e finestre in vetro e isolamento termico
	17,10	9,99			Edificio 4 – cemento con finestre in vetro, cappotto isolante in fibra di vetro

	23,59	10,45			Edificio 5 – cemento con finestre in vetro, cappotto isolante in fibra di vetro
24 GHz	9,41	3,57	[14], cap. 35	Corea del Sud	Valori più bassi di quelli della Racc. 2109 Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.
24 GHz	14,20	Non indicata	[14], cap. 38	Corea del Sud	Seconda indagine effettuata con differente metodologia
24 GHz	30-42	3,79-6,97	[14], cap. 25	Australia	I valori variano a seconda del piano al quale viene effettuata la misura
25 GHz	14,50	6,42	[14], cap. 24	USA	Edificio 1 - vinile e compensato con borchie metalliche, isolamento in fibra di vetro e cartongesso
	29,81	12,91			Edificio 2 – cemento con finestre doppi vetri ed infissi in metallo
	33,67	12,35			Edificio 3 - costruito con criteri di efficienza energetica e finestre in vetro e isolamento termico
25 GHz	21,00	12,27	[14]0, cap. 24	USA	Edificio 4 – cemento con finestre in vetro, cappotto isolante in fibra di vetro
	30,02	9,81			Edificio 5 – cemento con finestre in vetro, cappotto isolante in fibra di vetro
25,5 GHz	14	6	[14], Cap. 13	USA	Edificio 1 - vinile e compensato con borchie metalliche, isolamento in fibra di vetro Danno media invece che mediana
	17,5	15			Edificio 2 – cemento con finestre in vetro. Danno media invece che mediana
	35,5	14,5			Edificio 3 – costruito con criteri di efficienza energetica e finestre in vetro Danno media invece che mediana
26 GHz	44,27 – 45,8	Non indicate	[14], Cap. 39	UK	
26 GHz	21,55	14,58	[14], Cap. 23	UK	Edificio tradizionale Al posto della media/mediana viene fornito il 50-p della CDF
	40,95	10,13			Edificio moderno efficiente dal punto di vista energetico Al posto della media/mediana viene fornito il 50-p della CDF

	32,92	8,23			Edificio moderno isolato termicamente Al posto della media/mediana viene fornito il 50-p della CDF
	45,11	6,33			Edificio moderno isolato termicamente con muro a cavità Al posto della media/mediana viene fornito il 50-p della CDF
27 GHz	59,44	Non indicato	[14], Cap. 21	Cina	Edificio di cemento armato con finestre in vetro. Valore tratto da 50-p di CDF
27 GHz	30,89	Non indicato	[14], Cap. 21	Cina	Edificio in mattoni. Valore tratto da 50-p di CDF
27,5 GHz	29,23	5,21	[14]0, Cap. 33	Cina	Dipendente dal punto di misura – effettuato al terzo piano
	47,55	5,46			Dipendente dal punto di misura – effettuato al terzo piano in altra stanza
	51,41	8,02			Dipendente dal punto di misura – effettuato al quarto piano
28 GHz	26,4	9,5	[14], cap. 22	Nokia (Finlandia?)	Edificio 1 – cemento con finestre a vetro
	39,0	3,9			Edificio 2 – cemento rinforzato, cappotto isolante finestre con doppio vetro
28 GHz	38,35	Non indicato	[14], Cap. 21	Cina	Edificio moderno in vetro temperato e cemento armato. Valore tratto da 50-p di CDF
28,5 GHz	37	Non indicata	[14], cap. 19	Giappone	Edificio costruito con criteri di efficienza energetica e finestre in vetro e isolamento termico. Valore dedotto da un grafico
30 GHz	12,19	7,06	[14], cap. 24	USA	Edificio 1 - vinile e compensato con borchie metalliche, isolamento in fibra di vetro e cartongesso
	23,61	12,69			Edificio 2 – cemento con finestre doppi vetri ed infissi in metallo
	38,29	11,05			Edificio 3 - costruito con criteri di efficienza energetica e finestre in vetro e isolamento termico
	18,76	11,92			Edificio 4 – cemento con finestre in vetro, cappotto isolante in fibra di vetro
	18,57	9,95			Edificio 5 – cemento con finestre in vetro, cappotto isolante in fibra di vetro

3519 Nella seguente Tabella Appendice D-4 si riportano i valori estremi di BEL disponibili in
3520 letteratura per le frequenze in esame.

3521 **Tabella Appendice D-4: riassunto dei valori di BEL per le frequenze comprese fra 6 e 30 GHz**

Frequenza	Valore meno elevato	Valore più elevato
8,5 GHz	30 dB	
10 GHz	9 dB	39 dB
11 GHz	28,6 dB	35,0 dB
12 GHz	9,5 dB	31 dB
14,8 GHz	15 dB	25 dB
17 GHz	8 dB	35 dB
18 GHz	13,20 dB	49,9 dB
20 GHz	12,69 dB	41,62 dB
24 GHz	9,41 dB	42 dB
25 GHz	14,50 dB	33,67 dB
25,5 GHz	14,5 dB	35,5 dB
26 GHz	21,55 dB	45,8 dB
27 GHz	30,89 dB	59,44 dB
27,5 GHz	29,23 dB	51,41 dB
28 GHz	26,4 dB	38,35 dB
28,5 GHz	37 dB	
30 GHz	12,19 dB	38,29 dB

3522

3523 Principali fattori che influenzano la BEL misurata nell'intervallo di analisi:

- 3524 1) Materiale dal quale sono costruiti gli edifici
- 3525 2) Efficienza energetica dell'edificio
- 3526 3) Distanza TX-RX alla quale sono state effettuate le misure
- 3527 4) Presenza di strutture murarie interne
- 3528 5) Polarizzazione del segnale
- 3529 6) Metodologia di misura
- 3530 7) Angolo di incidenza del segnale

3531 **D.2.4 Frequenze oltre 30 GHz**

3532 **Tabella Appendice D-5: Riassunto dei dati disponibili (f > 30 GHz)**

Si richiama l'attenzione sul fatto che il presente testo non è definitivo poiché attualmente sottoposto ad inchiesta pubblica e come tale può subire modifiche, anche sostanziali

Frequenza	BEL (mediana) (dB)	BEL (mediana della dev. std.) (dB)	Fonte	Luogo	Note
32 GHz	17	7,5	[14], cap. 13	USA	Edificio 1 casa rivestimento in vinile, fogli di compensato, strato finale di cartongesso
	14,5	14,5			Ufficio vecchio edificio, pareti esterne mattoni e cemento
	38	12			Ufficio nuovo edificio di materiale efficiente dal punto di vista energetico
58,68 GHz	24 (90° percentile, distanza dal muro esterno 2 m) 19 (50° percentile, distanza dal muro esterno 2 m)		[14], cap. 15	Svezia Kista area Stockholm	Ufficio
31 GHz	MIN 37.13 MAX 79.45		[14], cap. 16	Cina	Edificio A cemento armato
	MIN 13.86 MAX 72.2				Edificio B moderno vetro temperato / cemento armato
37.1 GHz	MIN 25 MAX 38 Valori caso peggiore Piano 8 MIN = distanza di movimento 2 m MAX: distanza di movimento 20 m		[14], cap. 18	Giappone	Ufficio Valori minimi e massimi al variare del piano incremento del BPL per piani alti da 1 a 8 piano
38 GHz	MIN 20 MAX 40 MIN = distanza dentro stanza 2 m MAX: distanza dentro stanza 13 m	7,40	[14], cap. 19	Canada	Secondo piano unico edificio struttura metallica
61 GHz	MIN 24 MAX 44 MIN = distanza dentro stanza 2 m MAX: distanza dentro stanza 13 m Corridor (Co) 28	6,81			
60 GHz	Flat (FI) 36-37 Break room (BR) average 11 Large office 1 (LO1) average 20		0, cap. 20	Belfort, Francia	Orange Labs, Stesso ufficio di 0 cap. 14
32 GHz	61,81 (50% CDF)		[14], cap. 21	Cina	edificio A cemento armato
39 GHz	67,74 (50% CDF)				edificio A cemento armato
39 GHz	42,55 (50% CDF)				edificio B moderno vetro e cemento armato
32 GHz	33,29 (50% CDF)				Edificio C vecchio edificio muratura mattoni
39 GHz	28,77 (50% CDF)				Edificio C vecchio edificio muratura mattoni

50 GHz	22,45 (50% CDF)	15,63	[14]0, cap. 23	Regno Unito	Costruzione tradizionale
70 GHz	24,17 (50% CDF)	15,80			Costruzione tradizionale
50 GHz	44,10 (50% CDF)	14,03			Costruzione termicamente efficiente
30 GHz	12,19 (mean)	7,06	[14], cap. 24	USA	Edificio 1
39 GHz	18,24 (mean)	7,30			Edificio 1
30 GHz	23,61 (mean)	12,69			Edificio 2
39 GHz	27,97 (mean)	12,04			Edificio 2
30 GHz	38,29 (mean)	11,05			Edificio 3
39 GHz	33,54 (mean)	13,55			Edificio 3
30 GHz	18,76 (mean)	11,92			Edificio 4
39 GHz	19,04 (mean)	12,66			Edificio 4
30 GHz	18,57 (mean)	9,95			Edificio 5
39 GHz	22,72 (mean)	12,12			Edificio 5
32 GHz	45,94, 51,09 51,43				[14], cap. 26
39 GHz	44,01, 51,12, 51,89		Misure penetration loss al variare dell'angolo di incidenza		
58.68 GHz	21 (mediana), angolo elevazione 0 gradi		[14], cap. 27	Kista Stockholm (Svezia)	Misure di <i>penetration loss</i> al variare dell'angolo di elevazione
58.68 GHz	50 (mediana), angolo elevazione 68 gradi				

3533

3534
3535

Appendice E Verifica funzionamento software

3536 Lo scopo del presente paragrafo è quello di fornire a una qualsiasi "terza parte", a cui sia
3537 richiesto di verificare il funzionamento di un dato software, o allo stesso produttore, alcuni
3538 "scenari di riferimento" per verificare l'accuratezza del modello implementato. Sarà a cura del
3539 produttore di software fornire i risultati degli scenari di seguito riportati, specificando tutti i
3540 dettagli relativi alla simulazione affrontata (es. potenza, quote, modello antenne utilizzate,
3541 ecc.).

3542 **E.1 Scenario 1 – Analisi del livello di campo in presenza di un'unica sorgente** 3543 **isotropa**

3544 L'analisi è volta alla verifica del corretto svolgimento dei calcoli. A tal fine lo scenario prevede
3545 la simulazione di un'unica sorgente ideale isotropa⁽¹⁾ (vedi Figura Appendice E-1) e
3546 l'applicazione di una formulazione appartenente alla famiglia 1.

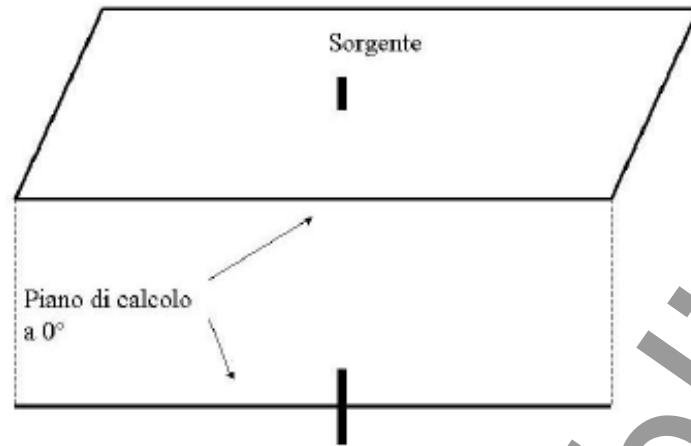


3547
3548

Figura Appendice E-1

3549 Il programma dovrà riprodurre i propri dati di uscita su un piano passante per il centro elettrico
3550 della sorgente o in alternativa, se la visualizzazione è unicamente 3D, dovrà essere ricostruito
3551 il volume di rispetto per il limite normativo in analisi che contiene la sorgente. Per agevolare
3552 l'interpretazione dei risultati, se il programma lo prevede, i calcoli sul piano dovranno essere
3553 forniti anche in formato numerico (coordinate e relativo valore di campo elettrico). In particolare,
3554 dovranno essere esaminati 360 punti (equispaziati) appartenenti ad una circonferenza centrata
3555 sulla sorgente e di raggio 5 m.

(1) Resta inteso che la sorgente è un'antenna descritta dai suoi diagrammi orizzontale e verticale che, nel caso di antenna isotropa, saranno di distribuzione uniforme sui 360 gradi.

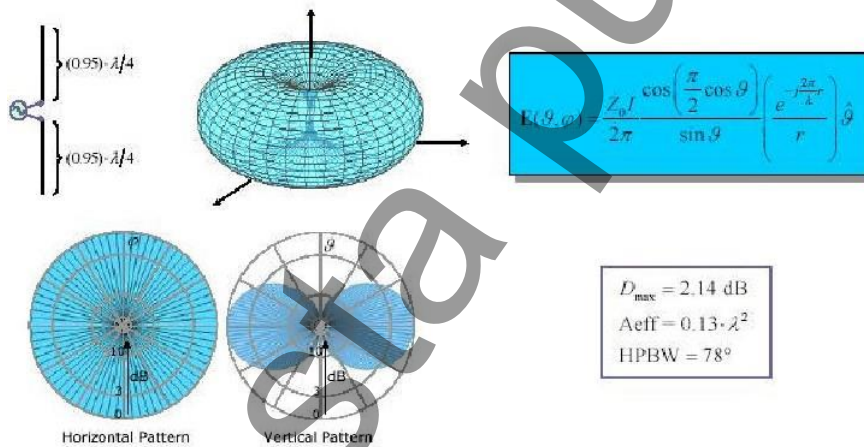


3556

3557

3558 **E.2 Scenario 2 – Analisi del livello di campo in presenza di un'unica sorgente: il**
 3559 **dipolo a l/2**

3560 L'analisi è volta alla verifica del corretto svolgimento dei calcoli e all'efficace gestione dei
 3561 diagrammi di radiazione d'antenna.



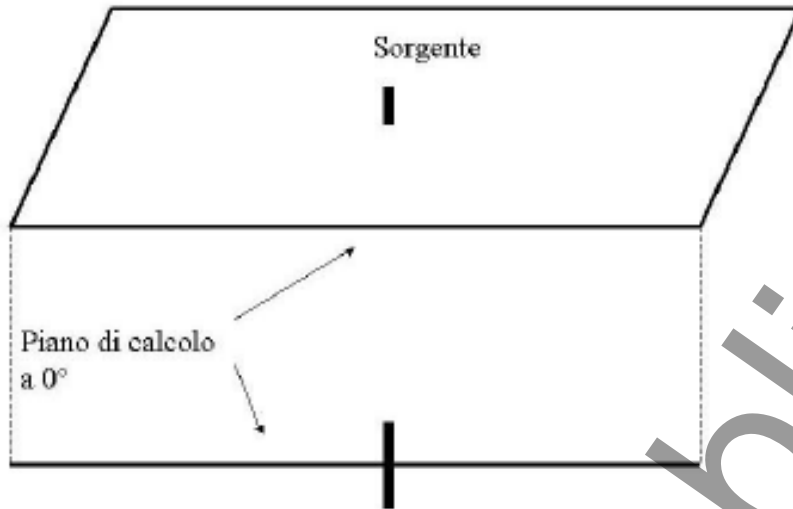
3562

3563

Figura Appendice E-2

3564 A tal fine lo scenario prevede la simulazione di un dipolo a l/2⁽²⁾ e l'applicazione di una
 3565 formulazione appartenente alla famiglia 1. I dati di uscita dovranno essere riprodotti su piani
 3566 passanti per il centro elettrico dell'antenna e inclinati di 0°, 90° e ±45°.

(2) Resta inteso che la sorgente è un'antenna descritta dai suoi diagrammi orizzontale e verticale che, nel caso del dipolo a l/2, saranno, nel caso di dipolo orientato verticalmente, uniforme sui 360 gradi per il diagramma orizzontale e di forma opportuna sul diagramma verticale (vedi Figura Appendice E-2).

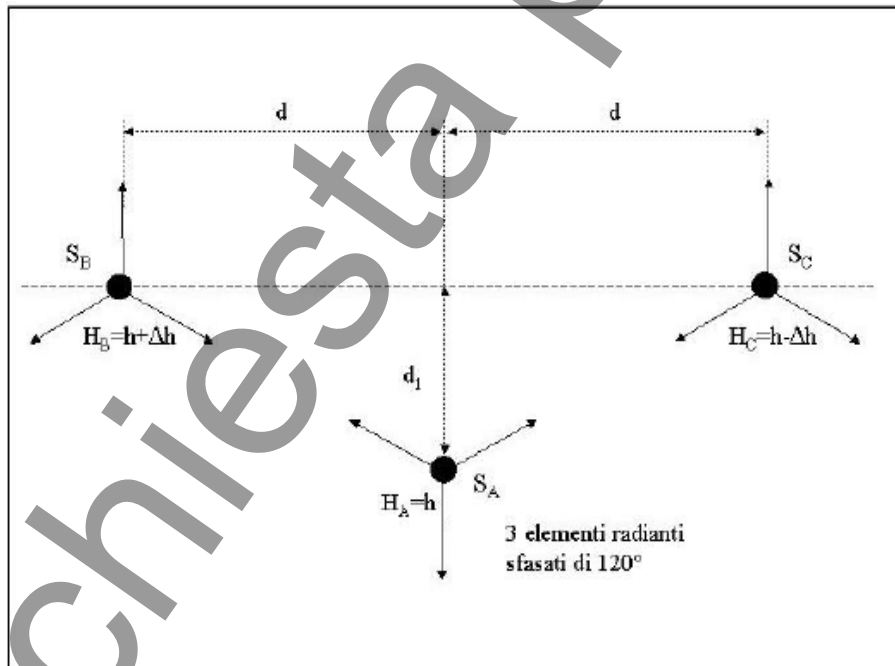


3567

3568 E.3 Scenario 3 – Analisi del livello di campo in presenza di più sorgenti

3569 Lo scenario di riferimento che tiene in considerazione la presenza di più sorgenti è mirato alla
3570 valutazione delle prestazioni del **programma** in situazioni complesse, quando si implementa
3571 una formulazione della famiglia 1. In particolare, dovrà essere analizzata la capacità di
3572 composizione del campo elettromagnetico totale, generato da una moltitudine di sorgenti
3573 dislocate in punti e piani differenti.

3574 La figura seguente mostra, con un'immagine in pianta, lo scenario di simulazione:



3575

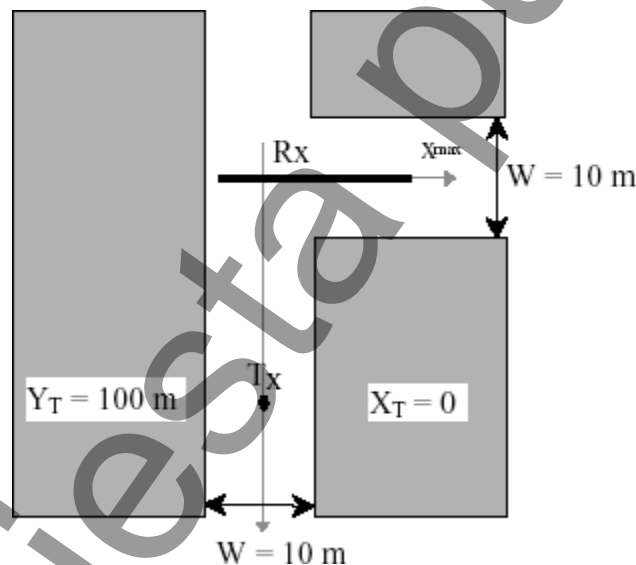
3576 I livelli di potenza, le antenne da utilizzare per la simulazione e gli altri parametri di progetto
3577 devono essere esemplificative di situazioni reali: la potenza di ogni antenna (nello scenario
3578 sono complessivamente 9), le distanze relative e le quote devono essere tali da far sovrapporre
3579 il proprio volume di rispetto con quello delle altre (il riferimento è ai settori che insistono gli uni
3580 verso gli altri). Il programma dovrà fornire dati di uscita che permettano di verificare:

- Per ogni singola installazione (es. SA), l'effetto dei 3 settori sulle dimensioni del volume di rispetto (inteso come la capacità gestire, per ogni singola sorgente, il contributo dei propri settori sul volume di rispetto complessivo) nella rappresentazione 2D o in alternativa in quella 3D (l'effetto dei contributi derivanti dalle sorgenti vicine, utilizzando la distribuzione del campo sulle superfici).
- Per i programmi che consentono anche l'analisi puntuale, l'uscita dovrà prevedere il calcolo del livello di campo elettrico su almeno 10 punti dislocati lungo il segmento che unisce due qualsiasi sorgenti (in totale almeno 30 punti).

3589 E.4 Scenario 4– Analisi del livello di campo calcolato con algoritmi di raytracing

3590 E.4.1 I due casi seguenti rappresentano due scenari utili a verificare il corretto 3591 funzionamento di un algoritmo di ray-tracing

3592 **Valutazione dei livelli di campo nel caso di “spigolo di palazzo”**: in questo caso si suppone
3593 che il ricevitore mobile si muova sulla linea mediana di una strada di larghezza 10 m e che
3594 quindi passi da una condizione di visibilità ottica con l'antenna trasmittente (LOS) ad una
3595 condizione di non visibilità ottica con l'antenna (NLOS). In questo ultimo caso quindi il segnale
3596 raggiungerà il ricevitore attraverso una o più riflessioni sulle pareti degli edifici circostanti
3597 oppure attraverso la diffrazione (ove presente nell'algoritmo utilizzato) sullo spigolo di un
3598 palazzo. Nella Figura Appendice E-3 è schematizzata la geometria dell'incrocio. Nel caso in
3599 esame l'antenna trasmittente è di altezza pari a 4 m, mentre il ricevitore è alto 1,5 m. Il ricevitore
3600 si muove da $x' = 0$ m a $x' = 50$ m, con passo di campionamento pari a 1 m



3601

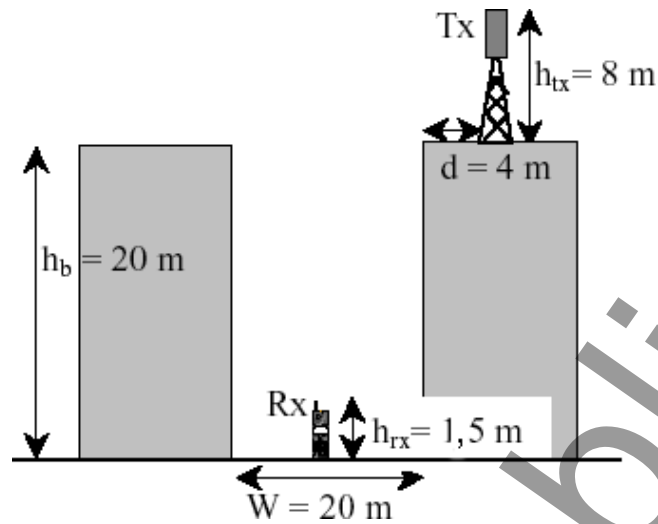
3602

Figura Appendice E-3

3603 **Valutazione dei livelli di campo nel caso di “antenna sul tetto di un palazzo”**: in questo
3604 caso si suppone il trasmettitore sul tetto di un edificio e si vuole valutare il livello di campo
3605 quando il ricevitore si trova nella strada sottostante, come mostrato in Figura Appendice E-4.

3606

3607



3608

3609

Figura Appendice E-4

3610 Si consideri il mobile che si muove lungo la linea mediana della strada per alcune decine di
3611 metri con passo di campionamento pari a 1 m.

3612 Per entrambi i casi si considerino gli edifici tutti in muratura, con caratteristiche dielettriche del
3613 mezzo pari a $\epsilon = 3$ e $s = 3 \times 10^{-4}$ S/m.

3614 I calcoli dovranno essere prodotti nelle posizioni assunte dal ricevitore.

Appendice F

Metodi per la valutazione di variazioni minime di impatto elettromagnetico

3615
3616
3617

F.1 Metodi per la valutazione di variazioni minime di impatto elettromagnetico riferiti alla modifica di un impianto

3620 Fanno parte di questa sezione i metodi che permettono di valutare le modifiche di impianto che
3621 conducono a variazioni minime dell'esposizione preesistente. In primo luogo si chiarisce che in
3622 presenza di SRB costituite da più settori di radiazione vanno presi in considerazione i contributi
3623 emessi dai settori adiacenti per tutte le tecnologie installate.

F.2 Metodo di variazione minima d'impatto mediante il volume di rispetto rappresentato tramite isolinee

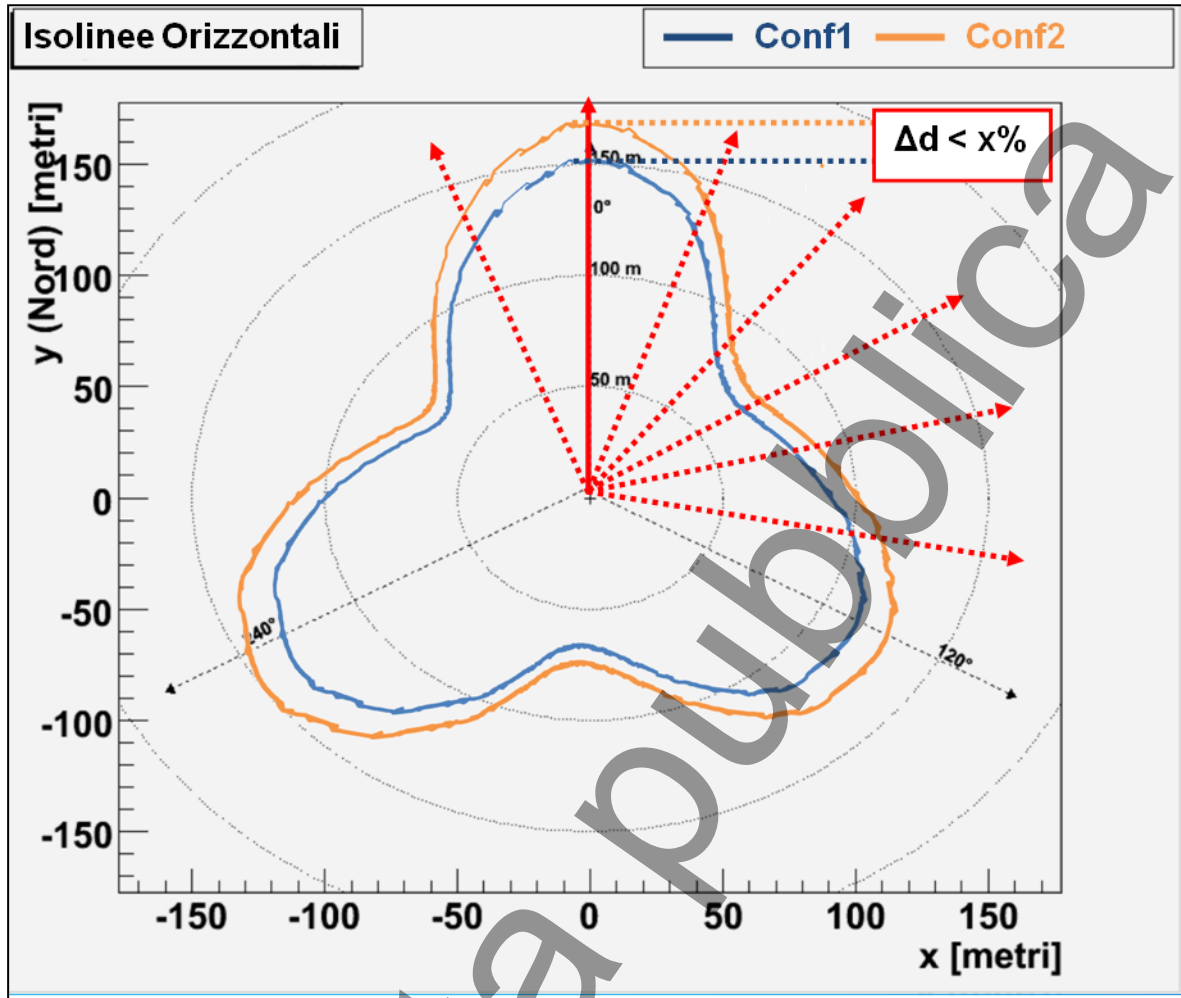
3626 Un metodo per la verifica di variazione minima d'impatto consiste nel confrontare le isolinee
3627 riferite ai limiti normativi applicabili all'impianto nella sua interezza, nei piani orizzontale e
3628 verticale. Questa metodologia più precisa rispetto a quella descritta nel paragrafo successivo
3629 F.3 va sempre utilizzata nei casi in cui la metodologia dei volumi di rispetto (rif capitolo F.3)
3630 non risulta essere applicabile e, in generale, è da preferirsi nelle situazioni di impatto
3631 previsionale molto prossimo ai limiti normativi.

3632 La verifica deve essere effettuata confrontando le isosuperfici caratteristiche dei limiti normativi
3633 con quelle della configurazione preesistente, attraverso proiezioni costruite su specifici piani di
3634 interesse:

- 3635 • Proiezione sul piano orizzontale
- 3636 • Proiezioni sui piani verticali corrispondenti alle direzioni azimutali di puntamento dei sistemi
3637 radianti nella nuova configurazione.

F.2.1 Verifica di variazione minima sulla proiezione orizzontale (Da rivedere)

3639 Partendo dalla direzione che identifica il nord geografico, si considerino le estensioni delle
3640 proiezioni sul piano orizzontale rappresentative della configurazione preesistente (Conf1) e di
3641 quella nuova (Conf2), ripetendo tale valutazione con un passo non inferiore a 20 gradi,
3642 considerando come origine degli assi il baricentro delle coordinate di installazione delle antenne
3643 nella nuova configurazione (Figura Appendice F-1). La condizione di variazione minima è
3644 verificata quando le distanze riferite alla proiezione della nuova configurazione non eccedono
3645 la variazione minima prevista dalla normativa vigente.



3646

3647

Figura Appendice F-1 – Verifica di variazione minima sulla proiezione orizzontale

Inchiesta pubblica

3648 **F.2.2 Verifica di variazione minima sulle proiezioni verticali**

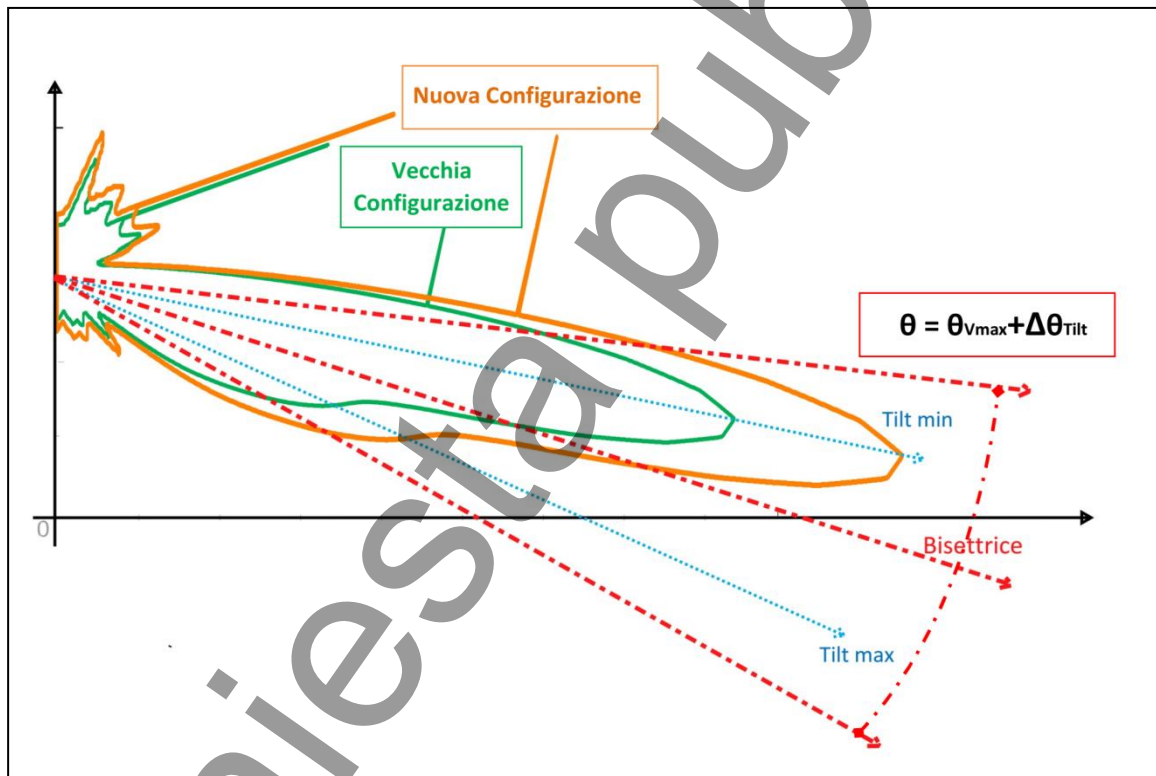
3649 Con riferimento alla nuova configurazione di impianto, per ciascuna direzione di massimo
3650 irraggiamento della SRB si considerino le estensioni delle proiezioni sul piano verticale
3651 rappresentative della configurazione preesistente e di quella nuova. Detta θ_{Vmax} l'apertura
3652 verticale del fascio di radiazione relativa all'antenna avente angolo di apertura a 3dB di
3653 maggiore ampiezza e $\Delta\theta_{Tilt}$ la differenza tra il valore di tilt massimo e tilt minimo utilizzato dai
3654 sistemi trasmissivi, si consideri la regione angolare di apertura pari a:

3655
$$\theta = \theta_{Vmax} + \Delta\theta_{Tilt}$$

3656 centrata nella direzione di riferimento determinata dalla bisettrice dell'angolo $\Delta\theta_{Tilt}$, la cui
3657 direzione θ_{rif} , rispetto al sistema di riferimento, è determinata da:

3658
$$\theta_{rif} = \theta_{Tmin} + \frac{\Delta\theta_{Tilt}}{2}$$

3659 dove θ_{Tmin} è il minimo valore di tilt elettrico dei sistemi trasmissivi della SRB (Figura Appendice
3660 F-2)

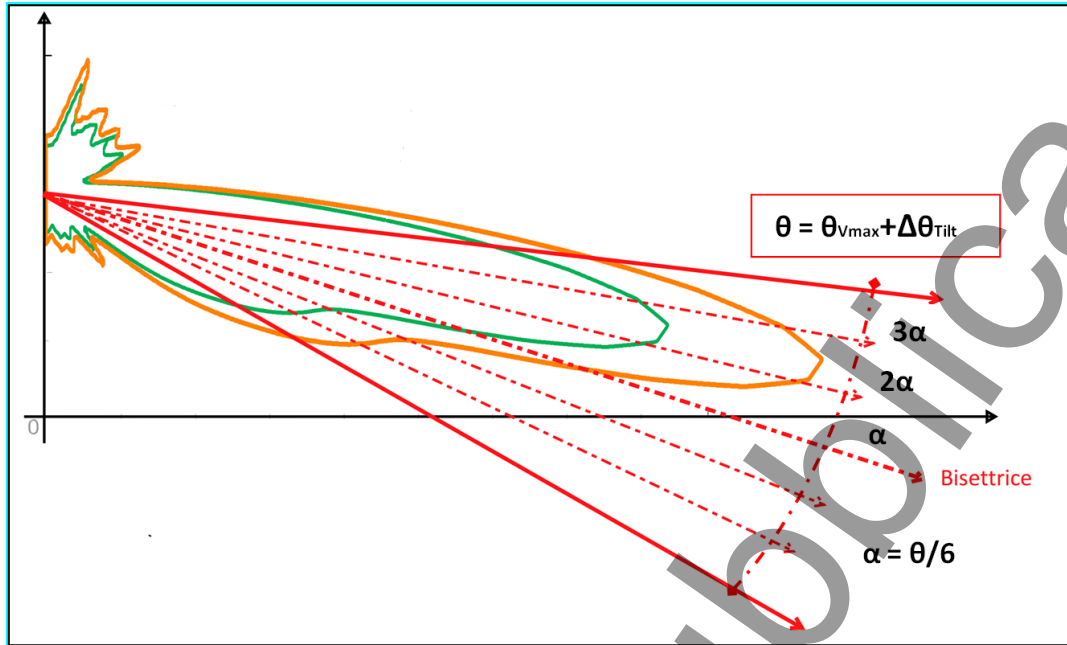


3661
3662 **Figura Appendice F-2 – Verifica di variazione minima su una proiezione verticale**

3663 Si suddivida la regione angolare identificata da θ in 6 regioni angolari di pari ampiezza α .

3664 A partire dalla direzione della bisettrice precedentemente identificata si valutino le estensioni
3665 delle due proiezioni ripetendo tale valutazione da -3α a $+3\alpha$ rispetto a tale direzione,
3666 considerando come punto di riferimento il baricentro dei centri elettrici delle antenne nella
3667 nuova configurazione.

3668 La condizione di variazione minima è verificata quando le distanze riferite alla proiezione della
3669 nuova configurazione non eccedono la variazione minima prevista dalla normativa vigente.



3670

3671

3672

Figura Appendice F-3 – Verifica di variazione minima su una proiezione verticale relativa ad una singola direzione di massima irradiazione

3673

3674

3675

Nel caso di installazioni sulla sommità di edifici e/o in presenza di edifici in prossimità dell'impianto, i lobi secondari potrebbero intercettare tali edifici. In tal caso sarebbe opportuno valutare l'eventuale sovrapposizione dei lobi secondari con l'edificato.

3676

3677

Esempio Appendice F-1: Esempio di applicazione del metodo di variazione minima rispetto alle isolinee di conformità al limite.

3678

3679

3680

3681

3682

3683

Si consideri una SRB costituita da tre settori di puntamento orientati a 0, 120, 240 gradi rispetto al nord geografico. Per ciascun settore consideriamo 2 tecnologie (1,2) trasmesse con diversa potenza (P_1, P_2), mediante due antenne caratterizzate dalle funzioni guadagno $G_1(\theta, \varphi)$ e $G_2(\theta, \varphi)$, angoli di apertura a metà potenza verticali differenti ($\theta_{V1} = 10^\circ$, $\theta_{V2} = 8^\circ$), e due valori di down tilt elettrico ($\theta_{T1} = 2^\circ$ e $\theta_{T2} = 10^\circ$) supponendo la stessa configurazione di trasmissione per ciascuna direzione di massimo irraggiamento.

3684

3685

3686

3687

Dal valore del modulo campo elettrico $E(r, \theta, \varphi)$ determinato dalla Equazione 8-3 si calcolano le curve isolivello rispetto ai limiti normativi, per questo esempio si considera il valore di attenzione pari a 6 V/m. Considerando la Equazione 8-3 l'isosuperficie relativa al valore di attenzione è caratterizzata dalla seguente:

3688

$$d_L(\theta, \varphi) = k \cdot \sqrt{\sum_i P_i \cdot G_i(\theta, \varphi)}$$

3689

3690

dove $k = \frac{\sqrt{30}}{6}$, P_i è la potenza dell'i-mo sistema trasmissivo e $G_i(\theta, \varphi)$ funzione guadagno dell'antenna che questo utilizza e può essere calcolata con buona approssimazione mediante la Equazione 8-3.

3691

3692

3693

3694

3695

3696

3697

Per verificare la conformità previsionale ad una variazione minima d'impatto della nuova configurazione (Conf2) rispetto alla vecchia configurazione (Conf1) si opera come descritto nei paragrafi F.2.1e F.2.2. Considerando l'espressione di d_L per ciascuna configurazione si identificano 18 punti di controllo sul piano orizzontale e 7 punti di controllo sul piano verticale per ciascuno settore, per un totale di 39 punti totali di controllo che possono essere riassunti in forma tabellare confrontati per verificare se lo scarto tra le due configurazioni è contenuto nella variazione minima prevista dalla normativa vigente.

3698 Per le sezioni verticali se in ciascun settore è presente la stessa configurazione di trasmissione
 3699 è sufficiente effettuare il controllo lungo un'unica direzione di puntamento, per cui nella
 3700 direzione di 0° rispetto al nord geografico (corrispondente al primo settore) si ottiene:

3701
$$\Delta\theta_{\text{Tilt}} = 8^\circ; \theta_{V_{\text{max}}}=10; \theta_{\text{rif}} = 6^\circ; \theta = 18^\circ; \alpha = 3^\circ$$

3702 e ci basterà analizzare le seguenti direzioni di abbassamento:

3703
$$\theta = [-3, 0, 3, 6, 9, 12, 15]$$

3704 In Tabella Appendice F-1 sono riportati i valori numerici dell'esempio in esame. L'ultima colonna
 3705 riporta gli scarti in percentuale tra le distanze di conformità previsionale, essendo questi
 3706 compresi nella percentuale di riferimento si può affermare che la nuova configurazione della
 3707 SRB è a variazione minima d'impatto.

3708 **Tabella Appendice F-1**

	ϕ [°]	θ [°]	d1 [m]	d2 [m]	ΔdL [%]
1	0	0	82	85	3.53
2	20	0	78	81	3.70
3	40	0	60	63	4.76
4	60	0	48	51	5.88
5	80	0	49	53	7.55
6	100	0	68	73	6.85
7	120	0	84	88	4.55
8	140	0	76	80	5.00
9	160	0	62	65	4.62
10	180	0	51	54	5.56
11	200	0	52	55	5.45
12	220	0	64	70	8.57
13	240	0	83	89	6.74
14	260	0	79	82	3.66
15	280	0	59	64	7.81
16	300	0	47	50	6.00
17	320	0	51	55	7.27
18	340	0	71	76	6.58
19	0	-3	7	7.2	2.78
20	0	0	20	21.4	6.54
21	0	3	78	82	4.88
22	0	6	74	78	5.13
23	0	9	65	71	8.45
24	0	12	42	42.6	1.41
25	0	15	30	31	3.23
26	120	-3	7	7.2	2.78
27	120	0	20	21.4	6.54

3709

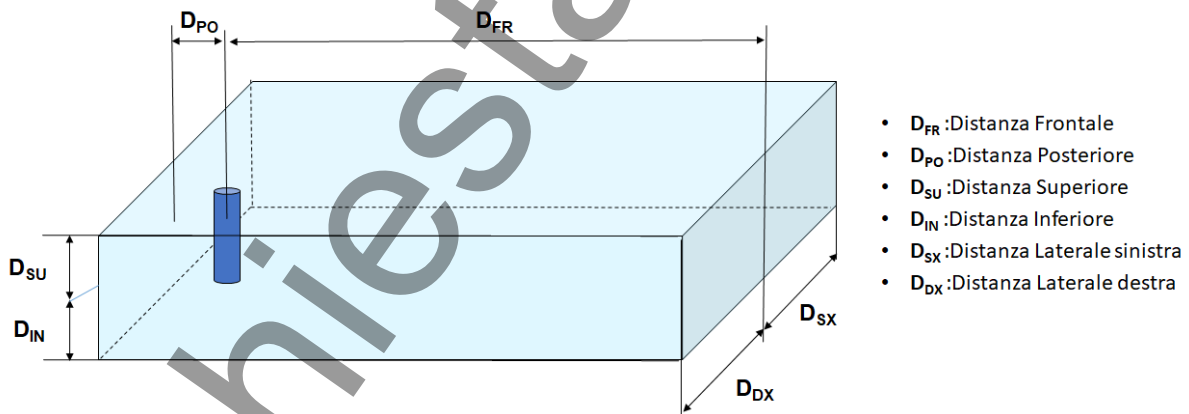
	ϕ [°]	θ [°]	d1 [m]	d2 [m]	ΔdL [%]
28	120	3	78	82	4.88
29	120	6	74	78	5.13
30	120	9	65	71	8.45
31	120	12	42	42.6	1.41
32	120	15	30	31	3.23
33	240	-3	7	7.2	2.78
34	240	0	20	21.4	6.54
35	240	3	78	82	4.88
36	240	6	74	78	5.13
37	240	9	65	71	8.45
38	240	12	42	42.6	1.41
39	240	15	30	31	3.23

3710 **F.3 Metodo di variazione minima d'impatto mediante rappresentazione**
 3711 **semplificata del volume di rispetto**

3712 La verifica di variazione minima d'impatto può essere effettuata attraverso il metodo dei volumi
 3713 di rispetto nel caso in cui le modifiche che inducono la variazione non riguardino:

- 3714 • la direzione di puntamento rispetto al nord geografico di tutti i sistemi radianti dell'impianto;
 3715 • il centro elettrico di tutti i sistemi radianti dell'impianto;
 3716 • le coordinate di tutti i sistemi radianti dell'impianto.

3717 Il metodo numerico per la verifica della variazione minima di impatto tiene conto della
 3718 rappresentazione del volume di rispetto mediante un parallelepipedo:



3719
 3720 **Figura Appendice F-4– Rappresentazione del volume di rispetto mediante un**
 3721 **parallelepipedo**

3722 La condizione di variazione minima di impatto è verificata quando le distanze riferite al volume
 3723 di rispetto della nuova configurazione non eccedono la variazione minima prevista dalla normativa
 3724 vigente del volume di rispetto della configurazione preesistente.

3725

3726 Si specifica che nel caso di utilizzo di antenne attive, il volume di rispetto andrà calcolato in
 3727 riferimento al diagramma di inviluppo relativo ai fasci di traffico, come definito nel paragrafo
 3728 6.3.

3729 **Esempio Appendice F-2: Applicazione del metodo di variazione minima d'impatto**
 3730 **mediante volume di rispetto**

3731 Consideriamo una modifica relativa ad un impianto installato in ambiente rurale, tale che
 3732 soddisfi le condizioni del paragrafo F.3 e confrontiamo le misure dei volumi di rispetto della
 3733 nuova e vecchia configurazione d'impianto:

	Distanza Frontale	Distanza Posteriore	Distanza Laterale destra	Distanza Laterale sinistra	Distanza Superiore	Distanza Inferiore
	D_{FR}	D_{PO}	D_{DX}	D_{DS}	D_{SU}	D_{IN}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Configurazione precedente	155.7	6.6	71.8	69.2	16.7	24.4
Nuova configurazione	156	6.5	72	71	18	24.6
Delta	0%	-2%	0%	3%	8%	1%

3734 Le due configurazioni:

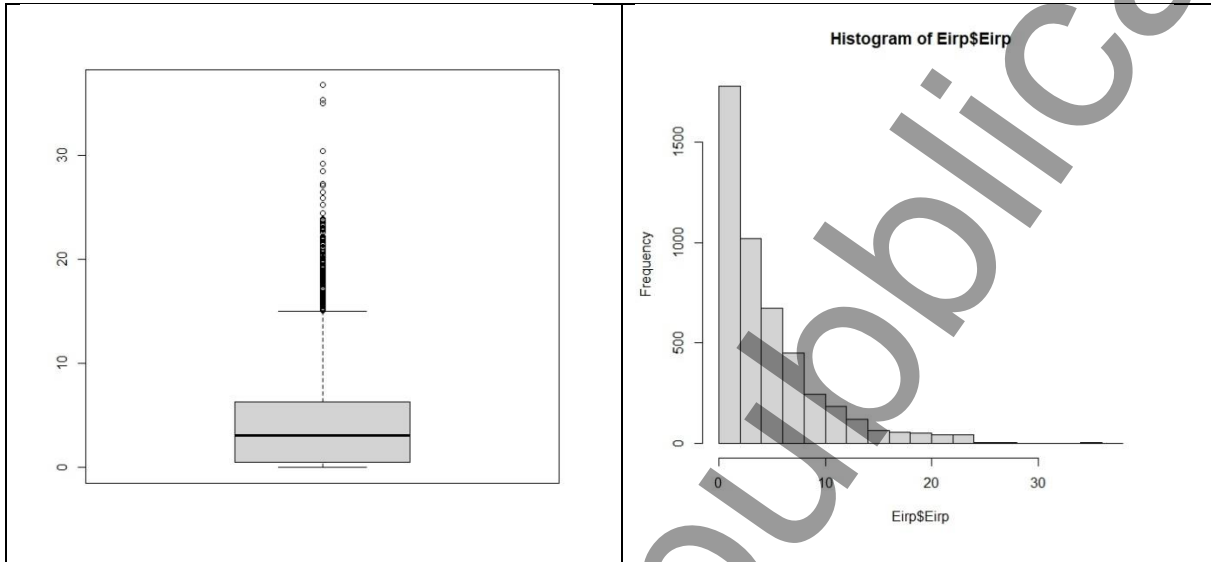
3735 a) soddisferanno la condizione di variazione minima di impatto ai fini del livello di esposizione
 3736 se la variazione massima (nel esempio D_{su} pari al 8%) è contenuta nella variazione minima
 3737 prevista dalla normativa vigente.

3738 b) **Non** soddisferanno la condizione di variazione minima di impatto ai fini del livello di
 3739 esposizione se la variazione massima (nell'esempio D_{su} pari al 8%) **non** è contenuta nella
 3740 variazione minima prevista dalla normativa vigente

3741
3742

Appendice G Analisi EIRP SRB nella città di Torino

3743 E' stata effettuata un'analisi su 2851 stazioni radiobase presenti nella città di Torino, valutando
3744 l'Eirp totale per settore (direzione di puntamento), considerando le potenze medie su 24 ore.
3745 La distribuzione dei valori di Eirp (in kW) così ricavata è visibile nei grafici seguenti.
3746



3747
3748
3749
3750

Figura Appendice G-1:Boxplot e istogramma Eirp valutati con potenze medie 24 ore

Nella tabella sottostante, una sintesi delle statistiche della distribuzione:

	Eirp (kW)
Media	4.4975
Mediana	3.0604
Massimo	36.7122
Percentili	25° = 0.49 70° = 5.5 75° = 6.29 80° = 7.37 85° = 8.78 90° = 11.14 95° = 14.96 99° = 22.89

3751

3752

Bibliografia

- 3753 [1] NGMN Alliance. (Ago. 2021). Recommendation on Base Station Active Antenna System
3754 Standards. [Online]. Available: <https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/210921-BASTA-AA->
3755 [v2.0.pdf](https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/210921-BASTA-AA-v2.0.pdf)
- 3756 [2] Methodology to Characterize Power Control Systems for Limiting Exposure to
3757 Electromagnetic Fields Generated by Massive MIMO Antennas – S. Adda, T. Aureli, S.
3758 Coltellacci, S. D'Elia, D. Franci, E. Grillo, N. Pasquino, S. Pavoncello, R. Suman, M. Vaccarone
3759 - in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 171956-171967, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3024764.
3760 [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9200351>
- 3761 [3] Methodology for Electromagnetic Field Exposure Assessment of 5G Massive MIMO
3762 Antennas Accounting for Spatial Variability of Radiated Power - A.Schiavoni, S. Bastonero, R.
3763 Lanzo and R. Scotti - in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 70572-70580, 2022, doi:
3764 10.1109/ACCESS.2022.3188269
- 3765 [4] Recommendation ITU-R P.525-4 (08/2019), "Calculation of free-space attenuation", P
3766 Series, Radiowave propagation
- 3767 [5] Report ITU-R M.2412-0 (10/2017), "Guidelines for evaluation of radio interface technologies
3768 for IMT-2020 M Series", Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services
- 3769 [6] Recommendation ITU-R P.1411-10 (08/2019), "Propagation data and prediction methods
3770 for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area
3771 networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz", P Series, Radiowave propagation
- 3772 [7] Recommendation ITU-R P.1411-10 (08/2019), "Propagation data and prediction methods for
3773 the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks
3774 in the frequency range 300 MHz to 100 GHz", P Series, Radiowave propagation
- 3775 [8] Report ITU-R M.2135-1 (12/2009), "Guidelines for evaluation of radio interface technologies
3776 for IMT-Advanced", M Series, Mobile, radiodetermination, amateur and related satellites
3777 services
- 3778 [9] S. Ramo, J.R. Whinnery, T. Van Duzer, "Fields and Waves in Communication Electronics",
3779 John Wiley and Sons
- 3780 [10] Recommendation ITU-R P.526-15 (10/2019), "Propagation by diffraction". P Series,
3781 Radiowave propagation
- 3782 [11] R. G. Kouyoumjian and P. H. Pathak, "A uniform geometrical theory of diffraction for an
3783 edge in a perfectly conducting surface," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 62, no. 11, pp. 1448-
3784 1461, Nov. 1974, doi: 10.1109/PROC.1974.9651.
- 3785 [12] J. Van Bladel, *Electromagnetic Fields*, Hemisphere Publishing Corporation, 1985
- 3786 [13] M. C. Lawton and J. P. McGeehan, "The application of a deterministic ray launching
3787 algorithm for the prediction of radio channel characteristics in small-cell environments," in *IEEE*
3788 *Transactions on Vehicular Technology*, vol. 43, no. 4, pp. 955-969, Nov. 1994, doi:
3789 10.1109/25.330158.
- 3790 [14] L. Azpilicueta, M. Rawat, K. Rawat, F. M. Ghannouchi and F. Falcone, "A Ray Launching-
3791 Neural Network Approach for Radio Wave Propagation Analysis in Complex Indoor
3792 Environments," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 5, pp. 2777-
3793 2786, May 2014, doi: 10.1109/TAP.2014.2308518.
- 3794 [15] G. Liang and H. L. Bertoni, "A new approach to 3-D ray tracing for propagation prediction
3795 in cities," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 46, no. 6, pp. 853-863, June
3796 1998, doi: 10.1109/8.686774.
- 3797 [16] M. M. Taygur and T. F. Eibert, "A Ray-Tracing Algorithm Based on the Computation of
3798 (Exact) Ray Paths With Bidirectional Ray-Tracing," in *IEEE Transactions on Antennas and*
3799 *Propagation*, vol. 68, no. 8, pp. 6277-6286, Aug. 2020, doi: 10.1109/TAP.2020.2983775.

- 3800 [17] M. F. Catedra, J. Perez, F. Saez de Adana and O. Gutierrez, "Efficient ray-tracing
3801 techniques for three-dimensional analyses of propagation in mobile communications:
3802 application to picocell and microcell scenarios," in IEEE Antennas and Propagation Magazine,
3803 vol. 40, no. 2, pp. 15-28, April 1998, doi: 10.1109/74.683539.
- 3804 [18] J. S. Lu et al., "A Discrete Environment-Driven GPU-Based Ray Launching Algorithm," in
3805 IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, no. 2, pp. 1180-1192, Feb. 2019, doi:
3806 10.1109/TAP.2018.2880036.
- 3807 [19] F. Aguado Agelet, A. Formella, J. M. Hernando Rabanos, F. Isasi de Vicente and F. Perez
3808 Fontan, "Efficient ray-tracing acceleration techniques for radio propagation modeling," in IEEE
3809 Transactions on Vehicular Technology, vol. 49, no. 6, pp. 2089-2104, Nov. 2000, doi:
3810 10.1109/25.901880.
- 3811 [20] Allegretti M., Colaneri M., Notarpietro R., Gabella M., Perona G.E., "Simulation in urban
3812 environment of a 3d ray tracing propagation model based on building database preprocessing",
3813 XXVIII General Assembly of International Union of Radio Science, New Delhi, India, October
3814 2005.
- 3815 [21] Z. Lai, N. Bessis, G. de la Roche, P. Kuonen, J. Zhang and G. Clapworthy, "On the use of
3816 an Intelligent Ray Launching for indoor scenarios," Proceedings of the Fourth European
3817 Conference on Antennas and Propagation, 2010, pp. 1-5.
- 3818 [22] [ITU-R M.2142-0] Report ITU-R M.2412-0 (10/2017) Guidelines for evaluation of radio
3819 interface technologies for IMT-2020
- 3820 [23] [ITU-R P.1546-6] Recommendation ITU-R P.1546-6 (08/2019) Method for point-to-area
3821 predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MHz [ITU-R M.2135]
3822 Report ITU-R M.2135-1 (12/2009) Guidelines for evaluation of radio interface technologies for
3823 IMT-Advanced
- 3824 [24] [3GPP TR36.873] 3GPP TR 36.873 V12.7.0 (2017-12) 3rd Generation Partnership Project;
3825 Technical Specification Group Radio Access Network; Study on 3D channel model for LTE
3826 (Release 12)
- 3827 [25] [3GPP TS 36.213] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer
3828 procedures
- 3829 [26] [Winner+] CELTIC / CP5-026, Project Title: Wireless World Initiative New Radio –
3830 WINNER+, D5.3: WINNER+ Final Channel Models
- 3831 [27] [ITU-R P.1411] Recommendation ITU-R P.1411-10(08/2019) Propagation data and
3832 prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and
3833 radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz
- 3834 [28] [Winner2] IST-4-027756 WINNER II, D1.1.2 V1.2, WINNER II Channel Models,
3835 20/09/2007
- 3836 [29] G. Durgin, N. Patwari, T.S. Rappaport, "An advanced 3D ray launching method for
3837 wireless propagation prediction", 1997 IEEE 47th Vehicular Technology Conference, May
3838 1997, DOI [10.1109/VETEC.1997.600436](https://doi.org/10.1109/VETEC.1997.600436)
- 3839 [30] J. P. Rossi, J. C. Bic, A. J. Levy, Y. Gabillett, M. Rosen, "A ray launching method for
3840 radio-mobile propagation in urban area", Antennas and Propagation Society Symposium 1991
3841 Digest, June 1991, DOI [10.1109/APS.1991.175146](https://doi.org/10.1109/APS.1991.175146)
- 3842 [31] F. Fuschini, E. M. Vitucci, M. Barbiroli, G. Falciasecca, V. Degli Esposti, "Ray tracing
3843 propagation modeling for future small-cell and indoor applications: a review of current
3844 techniques", Radio Science, ol. 50, Issue 6, June 2005, DOI [10.1002/2015RS005659](https://doi.org/10.1002/2015RS005659)
- 3845 [32] Z. Yun, M. F. Iskander, "Ray tracing for radio propagation modeling: principles and
3846 applications", IEEE Access, July 2015, DOI [10.1109/ACCESS.2015.2453991](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2453991)

- 3847 [33] IRT1
- 3848 [34] IRT2
- 3849 [35] S. Ramo, J.R. Whinnery, T. Van Duzer, "Fields and waves in communication electronics",
3850 John Wiley and Sons, Inc., ISBN 0-471-58551-3
- 3851 [36] S. J. Orfanidis, "Electromagnetic waves and antennas",
3852 <https://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa/>
- 3853 [37] J. B. Keller, "Geometrical Theory of Diffraction", Journal of the Optical Society of
3854 America, vol. 52, Issue 2, pp. 116-130, 1962, <https://doi.org/10.1364/JOSA.52.000116>
- 3855 [38] R. G. Kouyoumjian, P. H. Pathak, "A uniform geometrical theory of diffraction for an
3856 edge in a perfectly conducting surface", Proceedings of IEEE, Vol. 62, Issue 11, Nov. 1974, pp.
3857 1448 – 1461, DOI [10.1109/PROC.1974.9651](https://doi.org/10.1109/PROC.1974.9651)
- 3858 [39] 3GPP TS 36.101 V15.3.0 (2018-06) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-
3859 UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception
- 3860
- 3861
-

Inchiesta pubblica

Comitato Tecnico Elaboratore
CT 106-Esposizione umana ai campi elettromagnetici (ex CT 211)
Altre norme di possibile interesse sull'argomento

