



Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni

METODO PER IL *RENDERING* DEI DIAGRAMMI DI IRRADIAZIONE VERTICALI BASATO SUI DATI PREVISTI DALLE SPECIFICHE DI FORMATO DEL CATASTO AGCOM

1. Premessa

Per calcolare i livelli di segnale utile e interferente prodotti da un impianto di radiodiffusione è necessario caratterizzare la distribuzione spaziale della potenza irradiata dal sistema d'antenna nelle varie direzioni. A tale fine possono essere utilizzati vari metodi, più o meno accurati e, proporzionalmente, più o meno complessi dal punto di vista computazionale. A seconda dei dati tecnici di impianto di cui si dispone e del grado di accuratezza desiderato si può andare dalla semplice caratterizzazione tramite il solo diagramma di irradiazione all'orizzonte ai complessi modelli tridimensionali (c.d. *solidi di irradiazione*) ottenibili con i software dedicati alla progettazione dei sistemi d'antenna, i quali utilizzano specifici algoritmi in grado di calcolare con notevole precisione l'effetto delle interazioni tra i singoli elementi radianti costituenti il sistema radiante. Nei formati dati previsti per il Catasto Nazionale delle Frequenze Radiotelevisive sono disponibili sia i dati dettagliati relativi alle caratteristiche elettriche e meccaniche del sistema d'antenna (struttura delle cortine, componenti ecc.) sia i cosiddetti diagrammi di irradiazione (valori all'orizzonte, massimi e abbassamenti, con campionamento di 10° sul piano orizzontale). Tuttavia, nel caso di scenari simulativi ad alta complessità (cioè con alto numero di impianti e/o ambiti geografici molto estesi) l'aumento del carico computazionale dovuto all'utilizzo di algoritmi complessi di sintesi tridimensionale dei solidi di irradiazione può facilmente condurre a tempi di elaborazione di durata inaccettabile.

Utilizzando il metodo semplificato descritto nel presente documento, che utilizza unicamente i valori contenuti nei diagrammi di irradiazione come previsti nei formati dati

del Catasto, è possibile ottenere una caratterizzazione tridimensionale della potenza irradiata certamente assai meno dettagliata di quella ottenibile con i software specifici di modellazione 3D ma ancora sufficientemente accurata se utilizzata nell'ambito di simulazioni di tipo massivo come quelle solitamente necessarie nei processi di pianificazione o di verifica della copertura di reti trasmissive in esercizio. Il metodo, sviluppato dagli Uffici AGCOM, risulta ormai ampiamente sperimentato, tanto da essere implementato in diversi software di simulazione radioelettrica e normalmente utilizzato anche da altri operatori del settore. Rispetto ai calcoli di previsione dei segnali basati sull'utilizzo del solo diagramma all'orizzonte, questo metodo presenta il vantaggio di caratterizzare in maniera più accurata i valori di campo utile e interferente generati dall'impianto senza però incorrere nella complessità computazionale (da tenere sempre sotto controllo in procedure di calcolo massive) degli algoritmi di modellazione 3D basati sull'analisi dei dati elettrico-meccanici dettagliati del sistema radiante. Come detto sopra, il metodo qui descritto utilizza esclusivamente i dati numerici dei diagrammi di irradiazione come caratterizzati nei formati dati in uso nel Catasto AGCOM. Tali formati, come noto, sono definiti da apposite specifiche pubblicate, assieme ai relativi provvedimenti di approvazione, sul sito web dell'Autorità.

Si ribadisce che il metodo descritto nel presente documento costituisce un modello semplificato sviluppato per l'impiego in scenari simulativi ad alta complessità senza l'utilizzo di informazioni dettagliate sulla configurazione meccanica ed elettrica dei sistemi d'antenna. L'obiettivo del metodo è pertanto unicamente quello di ottenere un modello tridimensionale approssimato del solido di irradiazione che consenta, con un aumento marginale della complessità computazionale, di migliorare sensibilmente l'accuratezza del calcolo di previsione dell'intensità di campo e.m. rispetto all'utilizzo del solo diagramma orizzontale. Ove necessitino gradi di accuratezza superiori è necessario ricorrere ad algoritmi di sintesi tridimensionale del solido di irradiazione più complessi (come, ad esempio, quelli utilizzati nei software di progettazione dei sistemi radianti) e disporre di dati dettagliati sulle caratteristiche elettriche e meccaniche del sistema d'antenna.

2. Descrizione del metodo

Nel metodo di *rendering* qui proposto, la ricostruzione dei diagrammi d'irradiazione verticali si basa sull'individuazione, per ciascuno dei piani verticali corrispondenti ai 36 valori di azimuth previsti nei diagrammi di irradiazione in uso nel CNF, di cinque punti di riferimento, come rappresentato nella seguente Fig. 1.

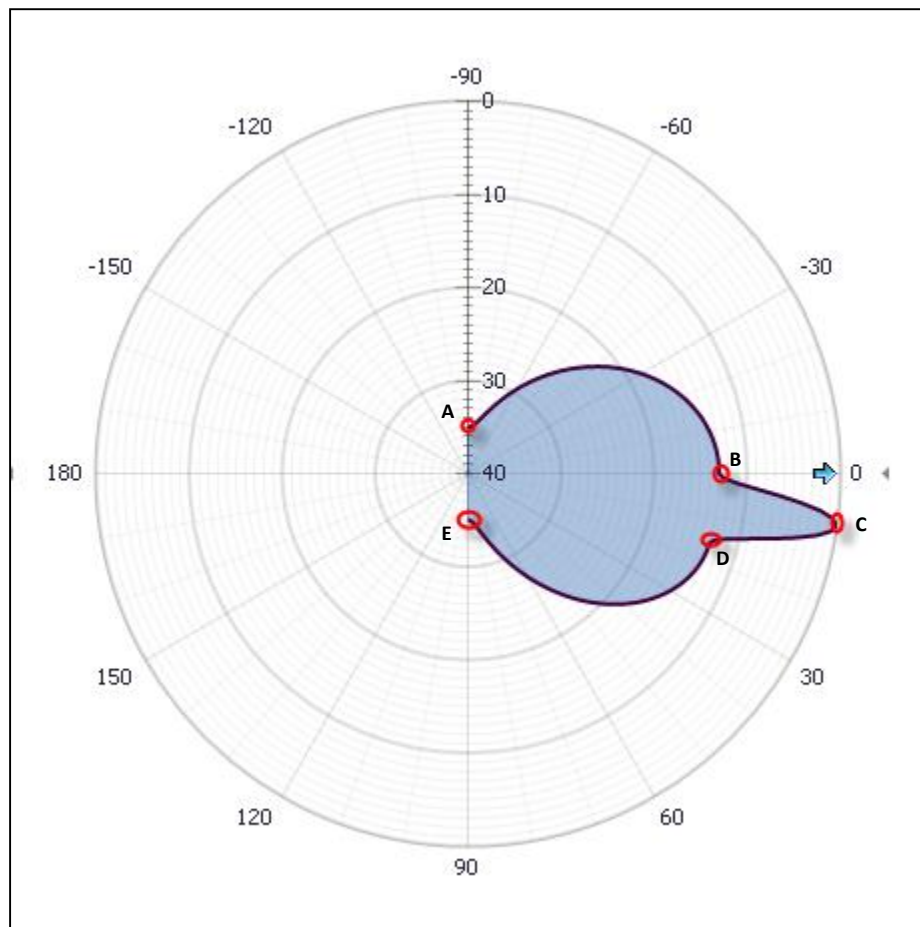


Fig. 1 – Diagramma verticale semplificato ottenuto con il metodo di *rendering* AGCOM

Applicando una funzione di interpolazione ai cinque punti così individuati vengono costruiti 36 diagrammi verticali utilizzabili per la sintesi di un solido di irradiazione approssimato.

I dati di partenza per l'individuazione dei punti di riferimento sono esclusivamente quelli attraverso i quali, nel CNF (v. Fig. 2), viene caratterizzata la distribuzione spaziale della potenza irradiata da un impianto per una data polarizzazione, ovvero:

- il valore massimo della potenza e.r.p. irradiata dall'impianto (*ERP Max*)
- i 36 valori di attenuazione dell'*ERP Max* nel piano orizzontale per ciascun azimut tra 0° e 350° a passi di 10° (*diagramma orizzontale*)
- i 36 valori di attenuazione dell'*ERP Max* nel piano di massima irradiazione per ciascun azimut tra 0° e 350° a passi di 10° (*diagramma dei massimi*)
- i 36 valori di inclinazione (*abbassamento*) del fascio rispetto al piano orizzontale per ciascun azimut tra 0° e 350° a passi di 10° (*diagramma degli abbassamenti*).

Scheda impianto

Generalità	Segnale trasmesso	E.R.P.	E.R.P. (diag.)	Tx e sistema radiante	NON conformità																																																																																						
Polarizz.	H																																																																																										
E.R.P. max H (dBW)	49																																																																																										
E.R.P. max V (dBW)	-99																																																																																										
Diagr. orizz. H (dB)	<table><tr><td>0°</td><td>10°</td><td>20°</td><td>30°</td><td>40°</td><td>50°</td><td>60°</td><td>70°</td><td>80°</td><td>90°</td><td>100°</td><td>110°</td><td>120°</td><td>130°</td><td>140°</td><td>150°</td><td>160°</td><td>170°</td></tr><tr><td>23</td><td>21</td><td>20</td><td>20</td><td>19</td><td>19</td><td>21</td><td>23</td><td>22</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>21</td><td>19</td><td>19</td><td>21</td><td>23</td><td>22</td></tr><tr><td>180°</td><td>190°</td><td>200°</td><td>210°</td><td>220°</td><td>230°</td><td>240°</td><td>250°</td><td>260°</td><td>270°</td><td>280°</td><td>290°</td><td>300°</td><td>310°</td><td>320°</td><td>330°</td><td>340°</td><td>350°</td></tr><tr><td>21</td><td>22</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>22</td><td>23</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>22</td><td>21</td><td>18</td><td>17</td><td>17</td><td>18</td><td>21</td><td>26</td></tr></table>																			0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	23	21	20	20	19	19	21	23	22	20	21	22	21	19	19	21	23	22	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	21	22	24	23	22	22	23	23	22	21	22	21	18	17	17	18	21	26
0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°																																																																										
23	21	20	20	19	19	21	23	22	20	21	22	21	19	19	21	23	22																																																																										
180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°																																																																										
21	22	24	23	22	22	23	23	22	21	22	21	18	17	17	18	21	26																																																																										
Diagr. max H (dB)	<table><tr><td>0°</td><td>10°</td><td>20°</td><td>30°</td><td>40°</td><td>50°</td><td>60°</td><td>70°</td><td>80°</td><td>90°</td><td>100°</td><td>110°</td><td>120°</td><td>130°</td><td>140°</td><td>150°</td><td>160°</td><td>170°</td></tr><tr><td>09</td><td>06</td><td>06</td><td>07</td><td>07</td><td>07</td><td>09</td><td>11</td><td>10</td><td>08</td><td>08</td><td>10</td><td>09</td><td>07</td><td>07</td><td>09</td><td>12</td><td>08</td></tr><tr><td>180°</td><td>190°</td><td>200°</td><td>210°</td><td>220°</td><td>230°</td><td>240°</td><td>250°</td><td>260°</td><td>270°</td><td>280°</td><td>290°</td><td>300°</td><td>310°</td><td>320°</td><td>330°</td><td>340°</td><td>350°</td></tr><tr><td>06</td><td>05</td><td>05</td><td>04</td><td>03</td><td>03</td><td>04</td><td>04</td><td>03</td><td>04</td><td>06</td><td>04</td><td>01</td><td>00</td><td>00</td><td>01</td><td>03</td><td>07</td></tr></table>																			0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	09	06	06	07	07	07	09	11	10	08	08	10	09	07	07	09	12	08	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	06	05	05	04	03	03	04	04	03	04	06	04	01	00	00	01	03	07
0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°																																																																										
09	06	06	07	07	07	09	11	10	08	08	10	09	07	07	09	12	08																																																																										
180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°																																																																										
06	05	05	04	03	03	04	04	03	04	06	04	01	00	00	01	03	07																																																																										
Incl. max H (°)	<table><tr><td>0°</td><td>10°</td><td>20°</td><td>30°</td><td>40°</td><td>50°</td><td>60°</td><td>70°</td><td>80°</td><td>90°</td><td>100°</td><td>110°</td><td>120°</td><td>130°</td><td>140°</td><td>150°</td><td>160°</td><td>170°</td></tr><tr><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td></tr><tr><td>180°</td><td>190°</td><td>200°</td><td>210°</td><td>220°</td><td>230°</td><td>240°</td><td>250°</td><td>260°</td><td>270°</td><td>280°</td><td>290°</td><td>300°</td><td>310°</td><td>320°</td><td>330°</td><td>340°</td><td>350°</td></tr><tr><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td><td>+02</td></tr></table>																			0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02
0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°																																																																										
+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02																																																																										
180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°																																																																										
+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02	+02																																																																										
Diagr. orizz. V (dB)	<table><tr><td>0°</td><td>10°</td><td>20°</td><td>30°</td><td>40°</td><td>50°</td><td>60°</td><td>70°</td><td>80°</td><td>90°</td><td>100°</td><td>110°</td><td>120°</td><td>130°</td><td>140°</td><td>150°</td><td>160°</td><td>170°</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>180°</td><td>190°</td><td>200°</td><td>210°</td><td>220°</td><td>230°</td><td>240°</td><td>250°</td><td>260°</td><td>270°</td><td>280°</td><td>290°</td><td>300°</td><td>310°</td><td>320°</td><td>330°</td><td>340°</td><td>350°</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>																			0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°																																																																										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																																										
180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°																																																																										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																																										
Diagr. max V (dB)	<table><tr><td>0°</td><td>10°</td><td>20°</td><td>30°</td><td>40°</td><td>50°</td><td>60°</td><td>70°</td><td>80°</td><td>90°</td><td>100°</td><td>110°</td><td>120°</td><td>130°</td><td>140°</td><td>150°</td><td>160°</td><td>170°</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>180°</td><td>190°</td><td>200°</td><td>210°</td><td>220°</td><td>230°</td><td>240°</td><td>250°</td><td>260°</td><td>270°</td><td>280°</td><td>290°</td><td>300°</td><td>310°</td><td>320°</td><td>330°</td><td>340°</td><td>350°</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>																			0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°																																																																										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																																										
180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°																																																																										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																																										
Incl. max V (°)	<table><tr><td>0°</td><td>10°</td><td>20°</td><td>30°</td><td>40°</td><td>50°</td><td>60°</td><td>70°</td><td>80°</td><td>90°</td><td>100°</td><td>110°</td><td>120°</td><td>130°</td><td>140°</td><td>150°</td><td>160°</td><td>170°</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>180°</td><td>190°</td><td>200°</td><td>210°</td><td>220°</td><td>230°</td><td>240°</td><td>250°</td><td>260°</td><td>270°</td><td>280°</td><td>290°</td><td>300°</td><td>310°</td><td>320°</td><td>330°</td><td>340°</td><td>350°</td></tr><tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>																			0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°																																																																										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																																										
180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°																																																																										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																																										

Fig. 2 – Dati CNF utilizzati per la ricostruzione dei diagrammi verticali

Come si vede, per ognuno dei 36 piani verticali corrispondenti ai valori di azimut previsti (0° , 10° , 20° ecc.), sono previsti nel CNF tre valori utili alla ricostruzione del diagramma verticale:

- il valore della potenza irradiata in corrispondenza dell'orizzontale (inclinazione= 0°), espressa in dB di attenuazione rispetto all'*ERP Max* (A_{hor});
- il valore di potenza massima nel diagramma verticale, espresso in dB di attenuazione rispetto all'*ERP Max* (A_{max}).
- il valore dell'angolo di abbassamento del fascio (α_{max});

Da questi valori è possibile ricavare, per ognuno dei 36 piani verticali, i primi due punti di riferimento del diagramma verticale, indicati rispettivamente dalle lettere B e C in Fig. 1.

Il terzo punto di riferimento (punto D in Fig. 1) viene ottenuto assumendo che il diagramma verticale sia simmetrico rispetto al massimo e che quindi i valori di potenza irradiata in corrispondenza dell'orizzontale e dell'angolo pari al doppio dell'abbassamento ($2\alpha_{max}$), siano uguali.

Gli ultimi due punti vengono infine fissati assumendo un valore convenzionale di attenuazione di 35 dB in corrispondenza degli angoli di inclinazione -90° e $+90^\circ$ (punti A ed E in Fig. 1).

I cinque punti di riferimento così individuati costituiscono gli estremi di quattro sezioni del diagramma verticale (A-B, B-C, C-D, D-E) delle quali è necessario calcolare i valori intermedi¹.

A tale scopo viene utilizzato un procedimento di interpolazione basato sulla funzione trigonometrica *coseno* la quale, oltre ad essere relativamente semplice da implementare, garantisce una transizione graduale tra sezioni adiacenti, a differenza dell'interpolazione lineare che avrebbe prodotto delle discontinuità in corrispondenza dei punti di riferimento. Da notare che da confronti fatti con sistemi radianti reali, è emerso che le sezioni A-B e D-E dei diagrammi verticali semplificati ottenuti con il procedimento

¹ Le sezioni da calcolare sono in realtà solo tre in quanto le sezioni B-C e C-D sono, per assunzione, speculari.

qui descritto, riproducono con buona approssimazione l'involuppo dei lobi laterali calcolati per i medesimi sistemi d'antenna con software specializzati.

In una data sezione del diagramma, quindi, i valori intermedi di attenuazione A in corrispondenza di un certo angolo di inclinazione α possono essere calcolati con la seguente funzione:

$$A = A_1(1 - \mu_2) + A_2\mu_2$$

dove:

$$\mu_2 = \frac{1 - \cos(\mu\pi)}{2}$$

$$\mu = \frac{\alpha - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

e:

A_1 : attenuazione rispetto all'*ERP Max* nel primo punto di riferimento (dB)

A_2 : attenuazione rispetto all'*ERP Max* nel secondo punto di riferimento (dB)

α_1 : inclinazione nel primo punto di riferimento (gradi)

α_2 : inclinazione nel secondo punto di riferimento (gradi)

Nella tabella seguente sono riepilogati i valori di A_1 , A_2 , α_1 e α_2 da utilizzare per calcolare i valori intermedi nelle quattro sezioni in cui è suddiviso il diagramma verticale.

Sezione	α_1	α_2	A_1	A_2
A-B	-90	0	35	A_{hor}
B-C	0	α_{max}	A_{hor}	A_{max}
C-D	α_{max}	$2\alpha_{max}$	A_{max}	A_{hor}
D-E	$2\alpha_{max}$	+90	A_{hor}	35