



Centro Ricerche
Innovazione Tecnologica e Sperimentazione

Valore minimo di segnale al ricevitore "automotive" per un servizio mobile di radiofonia digitale DAB+

1. Introduzione

I principali organismi di normativa italiani ed internazionali, impegnati nell'ambito del "Radio Broadcasting", nel corso degli anni hanno pubblicato svariata documentazione tecnica riguardante la pianificazione radioelettrica del servizio DAB/DAB+, definendo le linee guida per una corretta implementazione della rete.

In questo contesto, assume particolare interesse il valore del *campo minimo di pianificazione*, il cui computo dipende dagli scenari di ricezione considerati e da altre variabili di sistema (es. modi di trasmissione).

In Italia, dove si sta vivendo una fase di estensione della rete da parte di tutti gli operatori di radiofonia DAB+, lo scenario di maggiore interesse è quello della ricezione veicolare in mobilità (classificato come C.E. in [1]), realizzata mediante installazione di apparecchi fissi sugli autoveicoli e associati ad un'antenna esterna in genere di tipo "adattato". Con il termine "adattato" è da intendersi un'antenna a stilo accordata sulla banda del canale di ricezione (banda III).

Recentemente ETSI si è occupato della ridefinizione dei parametri minimi per un'antenna ricevente nel caso automobilistico, rivedendo in parte il concetto stesso di antenna adattata.

Purtroppo, da riscontri oggettivi, è emerso che le implementazioni delle piattaforme di ricezione digitale in ambito automobilistico (sistema autoradio+antenna) non sempre risultano adeguate alla ricezione del segnale DAB+ come previsto dalla pianificazione: l'obiettivo di questo documento è quello di definire il valore di campo elettromagnetico (CEM) minimo con il quale la piattaforma ricevente automobilistica deve correttamente funzionare.

2. Il campo minimo di pianificazione

Generalmente, per effettuare il calcolo del campo minimo di pianificazione, è necessario partire dal calcolo del link budget del sistema, al quale devono essere poi aggiunti i fattori correttivi che tengano conto di:

- canale di propagazione reale
- conformazione dell'ambiente (urbano, suburbano, ecc.)
- rumore ambientale (*man-made noise*)
- disponibilità percentuale richiesta per il servizio

In alcuni casi, come per esempio quello della ricezione veicolare, per utilizzare i metodi di pianificazione standard definiti dalle raccomandazioni internazionali, basati principalmente su metodi di previsione del campo elettromagnetico di tipo punto-punto, è necessario tenere conto di ulteriori parametri, quali ad esempio la perdita di segnale dovuta all'altezza dell'antenna: infatti, la maggior parte dei modelli propagativi è costruita considerando una ricezione con antenna posta a circa 10 m dal suolo.

Nel caso di ricezione veicolare, invece, l'antenna di riferimento si trova a circa 1,5 m da terra, per cui si rende necessario l'impiego di un fattore correttivo che consenta di adattare i modelli esistenti allo scenario oggetto del presente documento.

2.1. Link budget di sistema

Prima di valutare il link budget di riferimento del sistema, è indispensabile definire i seguenti parametri:

- **C/N**: in ambito DAB è definito come il minimo rapporto segnale-rumore in grado di garantire un Bit Error Ratio (BER) di 1×10^{-4} dopo la decodifica di Viterbi. Tale condizione viene considerata requisito fondamentale per una ricezione accettabile da parte dell'utente e corrispondente alla soglia di udibilità degli errori. Il C/N dipende principalmente dall'ambiente (rurale, urbano, ecc.) e dalla protezione del segnale in trasmissione (Protection Level).
- **Figura di rumore**: per un moderno front-end di radiofrequenza, attualmente viene considerato un valore di 6 dB.

In Tabella 1 vengono riportati i parametri di riferimento necessari per il calcolo del link budget di sistema, come indicato in [1]; nella prima riga sono stati indicati i valori di modulazione e code rate tipicamente utilizzati per gli scenari considerati.

		Canale Gaussiano	Canale Urbano @25 km/h (Rayleigh TU 12)	Canale Rurale @120 km/h (Rayleigh RA 6)
Varianti del Sistema		D-QPSK, IG=1/4, CR=1/2 (PL=3)	D-QPSK, IG=1/4, CR=1/2 (PL=3)	D-QPSK, IG=1/4, CR=1/2 (PL=3)
Banda Equivalente di Rumore	B [Hz]	$1,536 \times 10^6$	$1,536 \times 10^6$	$1,536 \times 10^6$
Figura di rumore del ricevitore	F_r [dB]	6,00	6,00	6,00
Potenza di Rumore corrispondente all'ingresso del ricevitore (1)	P_n [dBW]	-136,10	-136,10	-136,10
Rapporto Segnale/Rumore a RadioFrequenza	C/N [dB]	5,6	11,9	12,6

Taella 1: parametri per il calcolo del link budget di sistema

In Tabella 2 sono presentati i valori di potenza minima del segnale utile di cui un ricevitore DAB+ ha bisogno in ingresso per poter funzionare correttamente [1].

	Canale Gaussiano	Canale Urbano @25 km/h (Rayleigh TU 12)	Canale Rurale @120 km/h (Rayleigh RA 6)
Potenza minima in ingresso $P_{s \text{ min}}$ [dBW] (2)	-130,5	-124,2	-123,5
Potenza minima in ingresso $P_{s \text{ min}}$ [dBm]	-100,5	-94,2	-93,5

Tabella 2: Potenza minima richiesta in ingresso ai ricevitori

Nel caso di un canale gaussiano, in [2] viene indicato come requisito minimo di sensibilità RF un valore di potenza pari a - 97,7 dBm (ricevitore di tipo D, automotive).

2.2. Antenna e CEM minimo

Per convertire il livello minimo di potenza utile in ingresso al ricevitore in valore di campo elettromagnetico equivalente, si deve far riferimento ai parametri fisici dell'antenna ricevente. Recentemente ETSI ha pubblicato un documento riguardate le specifiche tecniche generali per la ricezione DAB+ veicolare [4]. Queste specifiche tecniche definiscono un guadagno di antenna minimo di -5,3 dB nel caso in cui antenna e ricevitore siano "venduti" insieme. Facendo riferimento a questo valore, al fine di calcolare il link budget, in [1] viene considerato un guadagno di antenna G_d pari a -5 dBd (circa = -2,85 dBi) e corrispondente ad una apertura effettiva dell'antenna A_a di -10,3 (3) dBm²; dalla precedente letteratura, nel caso di antenna adattata, in [3] è considerato un guadagno di antenna G_d di -2,2 dBd (circa = - 0,1 dBi) e una corrispondente apertura effettiva dell'antenna A_a di -7,6 dBm².

Considerando un guadagno minimo di -2,85 dBi, è possibile ottenere la tabella di conversione seguente estrapolata da [1]:

		Canale Gaussiano	Canale Urbano @25 km/h (Rayleigh TU 12)	Canale Rurale @120 km/h (Rayleigh RA 6)
Densità di potenza minima al ricevitore (4)	[dBW/m ²]	-120,19	-113,19	-113,89
Intensità di campo equivalente minima (6)	[dBμV/m]	25,57	32,57	31,87

Tabella 3: calcolo del CEM minimo equivalente

2.3. Fattori correttivi

Per ottenere livelli di segnale utili per la pianificazione, è necessario tenere conto anche di alcuni fattori correttivi che concorrono alla determinazione del valore di CEM minimo equivalente (EFS_{min}).

2.3.1. Location Correction Factor (LCF)

Il valore di CEM calcolato con il link budget può essere considerato come il campo elettromagnetico mediano utile ricevuto in una certa area; in base agli effetti fisici della propagazione, il segnale ricevuto varia in ogni punto seguendo una statistica di tipo log-normale. Il LCF consente di ricavare il valore del CEM necessario per fornire la corretta ricezione in una certa percentuale dello spazio, e dipende direttamente dalla deviazione standard del segnale nell'area circostante e dal Distribution Factor (che nel caso della distribuzione Log-Normale per il 99% delle località vale 2,33).

In [1] è riportato il valore aggiornato della deviazione standard che è stato rivisto in base a nuove misure (Tabella 4).

		EBU Tech 3391 [1]	Letteratura precedente [3]
Deviazione standard per il segnale ricevuto	[dB]	4	5,5
Location Correction Factor	[dB]	9,32	12,8

Tabella 4: Location Correction Factor

2.3.2. Perdita per abbassamento dell'antenna (Antenna Height Loss, AHL)

Generalmente, i modelli di propagazione vengono costruiti considerando un'antenna ricevente posta a 10 metri dal suolo (es. [5]).

Questo scenario non è rappresentativo nel caso di ricezione veicolare: si rende dunque necessaria l'introduzione di un fattore di correzione che consideri una ricezione a circa 1,5 m.

A titolo di esempio, qui di seguito è riportato il valore di AHL considerato in [3] e [5]:

		Scenario Densamente Urbanizzato	Scenario Urbano	Scenario Sub-urbano / Rurale
Antenna Height Loss	P _{mnn} [dB]	22	19	12

Tabella 5: valori di AHL tipici

2.3.3. Man-made Noise (MMN)

L'effetto del rumore artificiale nell'ambiente ricevente dipende dal guadagno dell'antenna.

Quando le antenne hanno un guadagno $G_d > 0$ dBi, l'effetto del man-made noise è da considerarsi nella sua interezza; al contrario, nel caso di antenna adattata o per $G_d < 0$ dBi, l'effetto del man-made noise si riduce, tanto più quanto piccolo diventa il guadagno dell'antenna, a causa di una ridotta efficienza di antenna che, oltre al segnale utile, riduce in modo evidente anche l'effetto del disturbo.

In questo documento si rimanda alla classificazione introdotta in [1], che distingue differenti valori di MMN al variare del guadagno di antenna e dell'ambiente in cui avviene la ricezione.

Guadagno di antenna [dBd]	-2,2	-5	-8	-10	-13	-17
MMN (rurale)	1,6	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1
MMN (suburbano)	4,0	2,5	1,5	1,0	0,5	0,2
MMN (urbano)	7,0	5,0	3,2	2,2	1,3	0,5

Tabella 6: valori di MMN suddivisi per scenario e guadagno di antenna

Recenti studi hanno inoltre dimostrato che, nel caso di sistemi riceventi installati a bordo di automobili di ultima generazione, il rumore artificiale risulta più alto di quanto definito in [1], a causa delle numerose apparecchiature elettroniche e centraline installate, nonché a causa dei nuovi sistemi di illuminazione (led, scarica di gas) presenti sugli autoveicoli. Di conseguenza l'impatto del MMN sul calcolo del link budget sarà oggetto di ulteriori indagini negli anni futuri.

3. Valutazione del funzionamento dell'impianto ricevente automobilistico

In base a quanto sopra descritto, un metodo per valutare il corretto funzionamento di una piattaforma ricevente automobilistica consiste nell'effettuare dei drive test ai margini di un'area coperta dal servizio DAB+.

Questi test devono contemplare sia la misura in movimento del CEM medio sia il corrispondente stato di funzionamento del ricevitore (ad esempio valutando il numero di CRC audio errati); la verifica dello stato di funzionamento incrociata con il corrispondente valore di CEM medio misurato nel punto deve rispettare i vincoli imposti dal calcolo del link budget per il caso ambientale preso in considerazione nel drive test.

A titolo di esempio, consideriamo i seguenti parametri per il calcolo del campo elettromagnetico minimo mediano:

- **Gi** = -2,85 dBi (-5 dBd) [1]
- **C/N** = 11,9 dB (scenario urbano) e 12,6 dB (scenario rurale)
- **F** = 6 dB
- **LCF** = 9,32 dB (Appendice 1 formula 7) (ottenuto considerando una deviazione standard $\sigma = 4$ dB e un Distribution Factor $DF = 2,33$)
- **AHL** = 0 dB, Si conviene inoltre che il valore di CEM derivante dal link budget non dovrà tenere in conto alcun modello di previsione e pertanto si limiterà alla definizione del valore a 1,5 m s.l.m.
- **MMN** = 5 dB (scenario urbano) e 0,9 dB (scenario rurale)

Con questi parametri il calcolo del link budget fornisce un valore minimo mediano di CEM pari a 46,2 dB μ V/m nel caso di scenario urbano e 42,8 dB μ V/m per lo scenario rurale: di conseguenza, è possibile indicare in 42,8 dB μ V/m il limite inferiore di operabilità a cui tutti gli apparecchi per ricezione veicolare dovranno funzionare in ogni tipo di ambiente.

E' anche possibile valutare il corretto funzionamento della piattaforma automobilistica in condizioni statiche e in ambiente simulato utilizzando un simulatore di canale radio. In questo caso il canale non è più considerabile spazio variante e pertanto la correzione LCF non deve essere applicata. Il valore di CEM corrispondente al valore minimo di funzionamento, simulando la ricezione urbana e la ricezione rurale, è pari rispettivamente a 36,9 dB μ V/m e 33,5 dB μ V/m. In queste condizioni di staticità per valutare il corretto funzionamento del sistema ricevente è possibile anche utilizzare il criterio del BER dopo la decodifica di Viterbi in ogni singolo canale audio, ovvero che il di BER = 1×10^{-4} corrispondente della soglia di udibilità degli errori, sia sempre verificato quando il CEM sia superiore alla soglia calcolata dal link budget.

In Appendice 2 viene suggerito un banco di misura atto a valutare il funzionamento di una piattaforma di ricezione DAB in ambiente simulato valido per il caso di ricezione statica.

4. Conclusioni

In Italia la percentuale di automobili dotate di impianto di ricezione DAB+ di serie è in continua crescita ed il decreto legislativo del 27 dicembre 2017, n.205 articolo 1 comma 1044 (Legge Finanziaria) prevede che tutti i ricevitori radiofonici venduti dal 1° gennaio 2020 siano dotati di una componente DAB+, inclusi i ricevitori automotive.

E' pertanto necessario garantire le migliori condizioni di funzionamento degli apparati e al contempo dare un riferimento chiaro ai pianificatori ed ai produttori di ricevitori. È necessario garantire un livello qualitativo dei prodotti installati che offra ai consumatori un'esperienza d'uso soddisfacente; tuttavia, non sempre i prodotti attualmente disponibili sul mercato sono in grado di rispondere a questa esigenza.

Da quanto discusso nei paragrafi precedenti emerge che il valore di riferimento di CEM minimo medio **in condizioni di reale ricezione**, al quale un ricevitore mobile deve garantire la ricezione continua e senza perdite di qualità, risulta pari a circa 43 dB μ V/m.

Questo valore potrà essere considerato come riferimento per la pianificazione e la realizzazione delle reti DAB+ che garantiscono la copertura in mobilità in Italia. Gli operatori di rete firmatari del presente documento sono disponibili a supportare l'industria nell'individuazione di misure per migliorare le performances dei sistemi di ricezione DAB+ automotive e di sviluppare congiuntamente eventuali metodologie di verifica, inclusa la definizione di "test routes" per una convalida sul campo dei prodotti in commercio.

Appendice 1

Nel calcolo del link budget sono utilizzate le seguenti equivalenze:

$$P_n = F + 10\text{Log}(k \cdot T_0 \cdot B) = \text{potenza di rumore al ricevitore [dBW]} \quad (1)$$

con

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Joule/K}$$

$$T_0 = 290 \text{ K}$$

$$P_{s\min} = P_n + CN = \text{Potenza minima del segnale in ingresso al ricevitore [dBW]} \quad (2)$$

$$A_a = G_{dBi} + 10\text{Log}\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) = \text{apertura efficace di antenna [dBm}^2] \quad (3)$$

con

G_{dBi} = guadagno di antenna relativo al radiatore isotropico

$$\Phi_{\min} = P_{s\min} - A_a = \text{densità di potenza minima di segnale al ricevitore [dbW/m}^2] \quad (4)$$

$$EFS_{\min} = P_{s\min} + 10\text{Log}(R) + 20\text{Log}(K) = \text{intensità minima di campo [dbV/m]} \quad (5)$$

con

$$R = \text{impedenza di antenna} = 50 [\Omega]$$

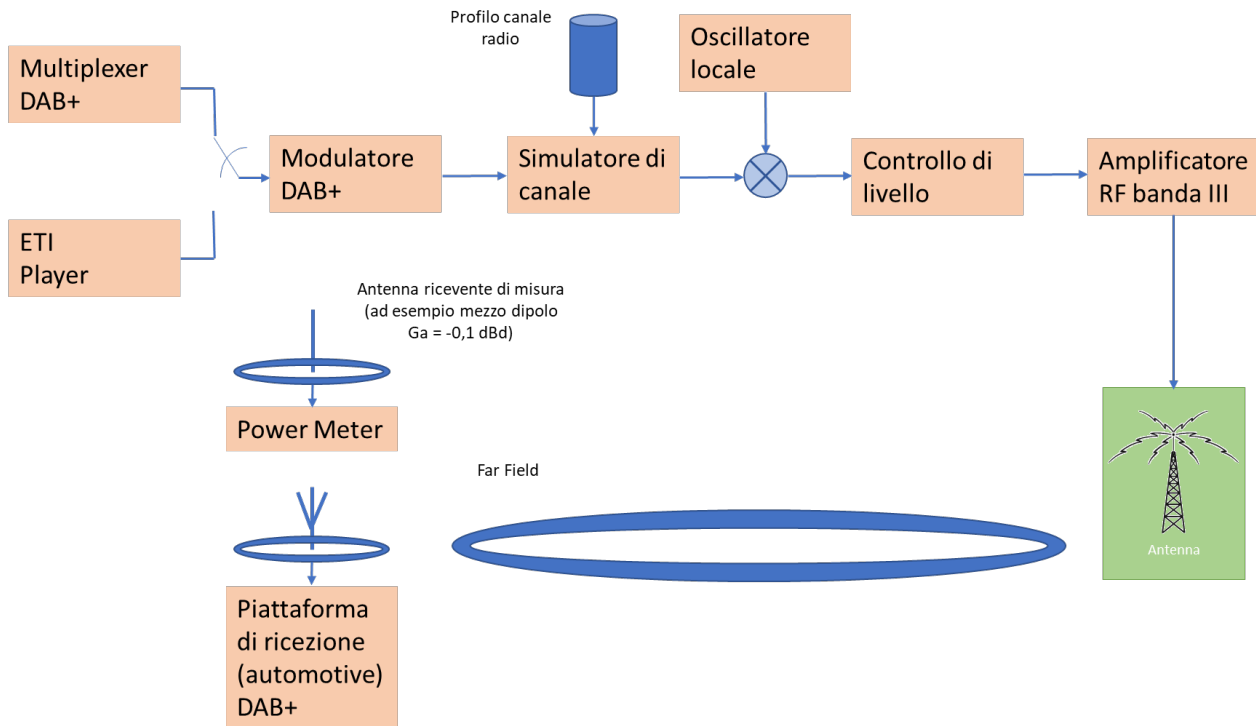
$$K = \text{fattore di antenna} = \sqrt{\frac{4\pi \cdot \eta_0}{\lambda^2 \cdot G \cdot R}} \quad [1/m]$$

$$\Rightarrow EFS_{\min} = \Phi_{\min} + 10\text{Log}(\eta_0) + 120 = \Phi_{\min} + 145.8 \left[\frac{\text{db}\mu\text{V}}{\text{m}} \right] \quad (6)$$

$$\text{LCF} = \mu \cdot \sigma \quad (7)$$

Appendice 2

Al fine di valutare il corretto funzionamento di una piattaforma ricevente automobilistica si può suggerire il modello di misura rappresentato nella seguente figura.



Per garantire l'immunità dalle riflessioni ambientali, la procedura di test deve essere effettuata in campo aperto lontano da ostacoli. Il sistema che genera il segnale di test è realizzato dall'insieme combinato di un trasmettitore DAB+ e da un simulatore di canale radio; la distanza tra il trasmettitore ed il ricevitore deve essere tale da garantire la condizione di "far field".

La potenza del segnale di test trasmesso deve essere finemente regolata agendo sul controllo di livello dell'amplificatore RF, in modo tale che l'antenna ricevente utilizzata per la misura, posizionata in prossimità dell'antenna della piattaforma automobilistica, risulti immersa nel CEM minimo risultante dal calcolo del link budget corrispondente al caso simulato (urbano o rurale) senza considerare lo LCF. Nel caso di variante di sistema DAB+ >> [D-QPSK, IG=1/4, CR=1/2 e PL=3] i valori di CEM_{min} corrispondono a 36,9 dB μ V/m per ambiente urbano e a 33,5 dB μ V/m per ambiente rurale (vedere paragrafo 3).

Con questa impostazione della potenza trasmessa, sarà possibile verificare il corretto funzionamento della piattaforma ricevente in condizioni minime di funzionamento ($BER = 1 \times 10^{-4}$ dopo la decodifica di Viterbi in ogni singolo canale audio).

Per una caratterizzazione completa della piattaforma installata a bordo dell'auto la valutazione funzionale deve essere eseguita su posizioni angolari diverse in modo da tenere in conto anche la direttività del sistema ricevente, e con motore e dispositivi elettronici di bordo in funzione per massimizzare il contributo autogenerato del MMN.

Riferimenti

- [1] EBU Tech 3391, Guideline for DAB network planning - Ginevra – Maggio 2018
- [2] IEC 62104, Characteristic of DAB receivers – edition 3.0, Luglio 2015
- [3] EBU Tech 3317, Planning parameters for hand held reception, Ginevra – Luglio 2007
- [4] ETSI TS 103 461 V1.1.1 (2017-08), Digital Audio Broadcasting (DAB); Domestic and in-vehicle digital radio receivers; Minimum requirements and Test specifications for technologies and products - Agosto 2017.
- [5] ITU-R Recommendation P-1546-5 'Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz'

Bibliografia

- Arqiva, BBC, Ofcom, Location variation for a T-DAB signal in Band III, 2012
- Raiway e Aeranti Corallo – La sperimentazione DAB+ e DMB a Venezia e a Bologna, luglio 2007
- ETSI TR 101 758, Digital Audio Broadcasting (DAB); Signal strengths and receiver parameters; Targets for typical operation - v 2.1, 2010 – 2011
- Dcms - department for culture, media and sport UK, Minimum specifications for DAB and DAB+ personal and domestic digital radio receivers – v1.1, giugno 2013
- Ofcom, DAB coverage planning; Report to Government, Maggio 2012
- EBU BPN003, TECHNICAL BASES FOR T-DAB SERVICES NETWORK PLANNING AND COMPATIBILITY WITH EXISTING BROADCASTING SERVICES
- ITU-R, RECOMMENDATION ITU-R BT.1368-3 - Planning criteria for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands, 1998-1998-2000-2002
- ITU, Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz - (RRC-06)