

# Confronto fra i sistemi DMR e TETRA

*Versione 1v0*

## Indice

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
Scopo del documento .....	3
Sintesi dei contenuti .....	3
 <b>CONSIDERAZIONI SUI SISTEMI RADIO MOBILI PROFESSIONALI (PMR) .....</b>	<b>4</b>
Scopo di un sistema radio mobile professionale .....	4
Sistemi PMR: da analogico a digitale .....	4
Breve descrizione del TETRA .....	6
Breve descrizione del DMR .....	7
 <b>DMR E TETRA A CONFRONTO .....</b>	<b>10</b>
<b>Caratteristiche a radio frequenza .....</b>	<b>10</b>
Area di copertura .....	10
Efficienza spettrale .....	12
Tolleranza sul ritardo di propagazione .....	14
“Espansore di cella” per copertura in tunnel.....	14
Green IT .....	14
<b>Considerazioni sul sistema .....</b>	<b>15</b>
Caratteristiche .....	15
Flessibilità e semplicità .....	15
Disponibilità .....	16
Migrazione e coesistenza col mondo analogico .....	16
Standard aperto .....	17
Affidabilità .....	17
<b>Costi .....</b>	<b>18</b>
Terminali .....	18
Stazioni base e nodi di commutazione .....	18
Nuovi siti e nuove frequenze .....	18
Costi di migrazione .....	19
 <b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>20</b>

## INTRODUZIONE

### Scopo del documento

Scopo di questo documento non è un paragone dettagliato tra gli standard digitali ma piuttosto fornire al lettore gli elementi che caratterizzano le tecnologie prese in esame. Un particolare risalto viene dato al recente e ancora poco conosciuto sistema DMR standardizzato in ambito ETSI.

Le valutazioni sugli aspetti tecnici possono richiedere un po' di dimestichezza con i concetti fondamentali delle radio comunicazioni come sensibilità e selettività dei ricevitori, potenza RF, propagazione radio. Viene comunque riportata per ogni aspetto trattato una semplice sintesi di ciò che esso produce come prestazioni operative.

Le valutazioni sono svolte a partire da configurazioni semplici ma esemplificative di molte situazioni reali, per ciò hanno un valore puramente indicativo e di confronto. L'obiettivo è di mettere in luce alcuni aspetti fondamentali, a cui spesso non viene dato il giusto peso, per la scelta della tecnologia che meglio risponde alle esigenze operative richieste.

### Sintesi dei contenuti

Nel linguaggio comune è diffusa l'idea che la tecnologia digitale sia migliore e più sofisticata di quella analogica per il fatto che offre all'utente diversi vantaggi. Tutto questo non sempre è vero, e inoltre: come orientarsi per scegliere la tecnologia più adatta?

In questo documento saranno brevemente illustrate le più diffuse tecnologie radio digitali tra cui TETRA, DMR, P25, dPMR e TETRAPOL, dedicando particolare attenzione al confronto tra TETRA e DMR che sono gli standard più diffusi in Europa (e in gran parte del mondo).

Il primo dato che salta all'occhio è la forte differenza di costo tra il sistema TETRA e il sistema DMR. Le funzionalità di questi sistemi sono, già oggi, molto simili (cifatura digitale, messaggistica di posizionamento, messaggi di testo, indirizzamento IP, etc ...) inoltre molte applicazioni del più recente sistema DMR sono ancora in corso di sviluppo. Nonostante ciò il sistema TETRA viene molto spesso proposto senza neanche accennare alla più economica alternativa basata sul DMR.

Il sistema TETRA è proposto spesso come adatto ad applicazioni video differenziandosi dal DMR che ha una banda dati inferiore (9.6Kb/s). Tuttavia chi può pensare realisticamente di utilizzare una carrier TETRA completa per mandare una applicazione video su un canale a poco più di 20kb/s? Ci sono infatti molti altri validi sistemi per trasmettere applicazioni video che offrono una migliore qualità e una banda adeguata a minor costo (UMTS, GPRS, WiFi, WiMAX,...).

Il TETRA è un sistema trunking nato per comunicazioni di tipo punto-punto in aree ad alta densità di traffico. Analogamente ad una rete telefonica, per massimizzare la capacità di traffico in presenza di migliaia di utenti sono necessarie molte (piccole) celle. Il DMR invece è sistema mirato a fornire una buona copertura piuttosto che un'elevata capacità. Questa differenza di scopo implica una netta caratterizzazione tecnologica dei due sistemi (il TETRA simile al GSM, il DMR simile all'attuale radio analogica) che offrono le migliori prestazioni solo se utilizzati nel proprio ambito.

Nei paragrafi seguenti verranno analizzati alcuni aspetti radioelettrici dei due sistemi. Mentre un sistema DMR offre realmente una efficienza di 6.25KHz/CH, il TETRA soffre di problemi legati al riuso delle frequenze, al margine di copertura inferiore, ad una scarsa selettività sul canale adiacente e al fatto che il canale di controllo è perennemente in trasmissione. Tutti fattori che sul campo riducono la decantata efficienza spettrale e richiedono un incremento significativo dei siti di diffusione con i relativi costi di attrezzaggio e canoni annui.

Nel seguito si analizzeranno anche altri aspetti fondamentali di un sistema radio quali costo, sicurezza, gestione, standardizzazione. Lo studio si soffermerà ad analizzare il processo di migrazione da analogico a digitale: il sistema TETRA è una "rivoluzione" del mondo analogico mentre il "DMR" è la naturale evoluzione delle esistenti radio analogiche.

## CONSIDERAZIONI SUI SISTEMI RADIO MOBILI PROFESSIONALI (PMR)

### Scopo di un sistema radio mobile professionale

La rete cellulare pubblica (GSM) non è adatta alla gestione delle emergenze perché in tali situazioni il canale di accesso delle celle può saturare rapidamente e il traffico diminuisce sino al blocco delle comunicazioni. Paradossalmente tutti chiedono un canale per comunicare e il sistema non riesce ad assegnarne nemmeno uno. Un sistema radio dedicato invece assicura le comunicazioni anche durante eventi che potenzialmente possono sovraccaricare la rete pubblica. Durante le emergenze spesso c'è la necessità di comunicare in modalità di gruppo (punto - multipunto). Questo può facilitare notevolmente le operazioni perché ognuno viene aggiornato in tempo reale sull'evolversi della situazione. Caratteristica di fondamentale importanza è anche la velocità di instaurazione di una chiamata di gruppo che è dell'ordine di mezzo secondo, notevolmente inferiore al tempo necessario per instaurare una chiamata in una rete GSM (tipicamente da 5 a 10 secondi).

Infine, si deve considerare anche il fatto che le reti di telefonia cellulare pubblica sono dimensionate in modo da massimizzare l'area di copertura urbana, lasciando scoperte le aree potenzialmente a rischio come montagne, tunnel e aree isolate.

Per queste ragioni gli Enti preposti alla gestione di situazioni di emergenza hanno bisogno di una rete radio proprietaria, affidabile e flessibile, possibilmente costi contenuti.

### Sistemi PMR: da analogico a digitale

Differenti tecnologie sono usate nel mondo nell'ambito del PMR: analogico o digitale, a canali dedicati o Trunking e così via. Anche se le comunicazioni analogiche FM rimarranno ancora per diversi anni una valida soluzione per le comunicazioni radio PMR, i sistemi digitali sono spesso considerati più avanzati e migliori di quelli analogici dal momento che offrono all'utente numerosi vantaggi operativi:

- ∞ Migliore qualità della voce anche al limite dell'area di copertura
- ∞ Migliore efficienza spettrale (minore costo per licenze d'uso dello spettro)
- ∞ Possibilità di inviare messaggi dati
- ∞ Importanti funzionalità come:
  - Chiamate individuali, di gruppo e broadcast
  - Chiamate di emergenza
  - Comunicazioni digitali sicure senza degradare la qualità della voce.
  - terminal ID on PTT
  - late entry
  - call alert on individual call
  - polite/impolite channel access
  - Messaggi dati basati su protocollo IP
  - Messaggi di testo
  - Messaggistica di posizionamento automatica
  - remote radio monitor/ disable/ check
- ∞ Soluzioni standard multi-vendor .
- ∞ Rete di trasporto tra i siti a basso costo basata su TCP/IP.

Tuttavia va notato che i terminali digitali possono introdurre anche alcuni effetti indesiderati:

- ∞ Al limite dell'area di copertura la qualità delle comunicazioni degrada bruscamente fino ad interrompersi. In queste condizioni "l'utente analogico" continua a capire, seppur con difficoltà dato che si tratta di una comunicazione molto rumorosa. Questa condizione non riguarda l'up-link cioè le base station con ricevitore diversity, che aumenta notevolmente la qualità del segnale ricevuto.
- ∞ La qualità dell'audio codificato non è così buona come quella del segnale analogico. Quando il campo RF è buono, il segnale analogico ha qualità "HI-FI", quello digitale invece "sufficiente/buona".
- ∞ La codifica può eliminare o modificare diversi segnali audio non vocali (es.: segnalazioni di libero telefoniche, suoni di centralino, sirene, ...) captati dal microfono.

Attualmente i principali sistemi digitali presenti sul mercato sono:

- ∞ Terrestrial TRunked RAdio (TETRA)
- ∞ Digital Mobile Radio (PMR)
- ∞ Digital Private Mobile Radio (dPMR)
- ∞ Project 25 (P-25 or APCO-25)
- ∞ TETRAPOL
- ∞ ...

Il sistema TETRA, fornisce 4 canali per ogni carrier, con canalizzazione a 25KHz, è adatto per sistemi trunking ed è in grado di assicurare un volume di traffico medio/alto. Il TETRA utilizza una modulazione  $\pi/4$ DQPSK che richiede un amplificatore RF lineare o linearizzato. Il link che connette le stazioni richiede molta disponibilità di banda per trasferire le segnalazioni necessaria (tipicamente nell'ordine di 2Mb/s). La rete è di tipo cellulare e utilizza differenti frequenze di lavoro per ogni ripetitore. La grandezza delle celle è inferiore di quella usata in sistemi analogici. Molti paesi europei utilizzano il TETRA per consentire l'interoperabilità tra forze di polizia.



Il sistema DMR (ETSI TS 102-361) consente di utilizzare carrier con canalizzazione a 12.5KHz per trasmettere due canali radio simultaneamente. L'efficienza spettrale di una singola base station è la stessa del TETRA (1 CH/6.25KHz) che migliora ulteriormente se si adotta una soluzione simulcast (non necessita di canale di controllo).

Diversamente dal TETRA la modulazione è a involuppo costante. Questo permette di ottenere un minore consumo di corrente e una migliore efficienza inoltre, non dovendo utilizzare amplificatori RF lineari, si semplificano notevolmente i terminali e le apparecchiature di rete. L'area di copertura di una stazione radio è circa la stessa di una radio analogica. Queste reti sono adatte per un carico di traffico medio/basso e per sistemi di comunicazioni miste dati/voce (e.g. audio + geographical localization).

Infine è da notare che la rete e i terminali sono "dual mode", cioè consentono la coesistenza di apparati analogici tradizionali e moderni apparati digitali, consentendo una migrazione graduale dai sistemi analogici a quelli digitali.

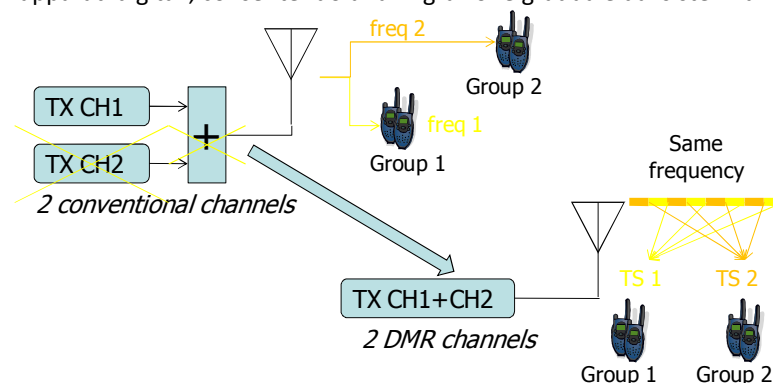


Fig. 1: migrazione graduale da analogico a DMR.

Lo standard dPMR consente una singola comunicazione in un canale da 6.25kHz con tecnologia a divisione di frequenza Frequency Division Multiple Access (FDMA). Questa soluzione si rivela adatta per contesti a basso traffico dove un canale è sufficiente per gestire tutte le comunicazioni. Quando serve più di un canale è necessario implementare costosi sistemi di branching che riducono la potenza RF in antenna.

La compatibilità con gli altri canali a 12.5 KHz non è garantita: a causa del tipo di modulazione adottata dai sistemi dPMR parte del segnale può rientrare nei canali adiacenti come rumore.

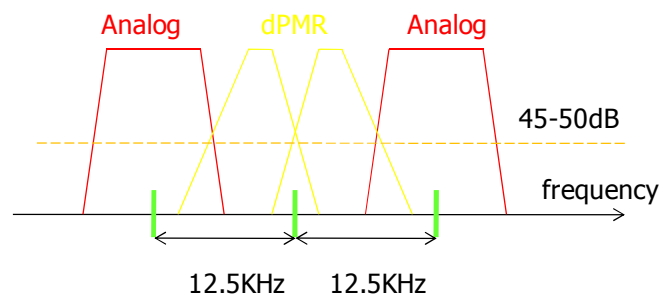


Fig. 2: Interferenza tra canali dPMR e canali analogici adiacenti.

A causa di queste limitazioni, questo sistema non pare interessante per il mercato europeo in cui viene adottata prevalentemente una canalizzazione a 12.5 KHz e dove l'elevata quantità di traffico richiede una reale ottimizzazione della banda.



Il sistema APCO25 (Project 25) è uno standard aperto sviluppato specificamente per i servizi di pubblica sicurezza del Nord America. I terminali possono comunicare in modalità analogica utilizzando le vecchie radio e in digitale e/o analogico utilizzando le radio P25. L'utilizzo di sistemi P25 consente perciò una buona compatibilità e interoperabilità tra gli apparati. Questo sistema è utilizzato principalmente in Nord America, Australia, Singapore e Russia.

I sistemi Phase 1 operano in analogico, digitale o misto con canalizzazione 12.5 KHz utilizzando una modulazione continua FM a 4 livelli (C4FM) a 9.600 b/s. Il flusso audio analogico è poi codificato con un vocoder Improved Multiband Excitation per ottenere un flusso a 7.2 kbps inclusa la FEC.

I sistemi per la Phase 2 sono ancora in fase di sviluppo e si pongono come obiettivo quello di definire lo standard FDMA e/o TDMA per raggiungere un canale voce o un canale dati con rate minimo pari a 4800 bps per una efficienza spettrale di 6.25 KHz a canale. La modulazione che sarà utilizzata è di tipo CQPSK che prevede di modulare contemporaneamente la fase e l'ampiezza della portante per minimizzare la larghezza dello spettro trasmesso, generando una forma d'onda modulata in ampiezza. Per elaborare correttamente il segnale CQPSK lasciando passare la componente in ampiezza è necessario utilizzare amplificatori di potenza lineari.

Lo standard specifica anche un vocoder differente con un maggiore rapporto di compressione in modo da ridurre il bit rate e raggiungere 4800 bps per canale.

Dal punto di vista delle reti, P25 consente la realizzazione di numerose soluzioni tra cui reti trunked, convenzionali, simulcast, etc.

APCO-25 non è molto utilizzato in Europa, per questo motivo non sarà descritto ulteriormente nel presente documento.

Lo standard TETRAPOL è stato sviluppato in Francia negli anni '90 e presentato al ITU-R Working Party 8A. Questo standard utilizza una modulazione GMSK con una efficienza spettrale più bassa del TETRA o del DMR perché consente solo l'utilizzo di un canale in 10 KHz di banda. L'accesso al canale è a divisione di frequenza (FDMA) con canalizzazione di 12.5 KHz. Il bit rate è 8 kbit/s utilizzando una modulazione binaria ad inviluppo costante smussata con impulsi gaussiani (GMSK).

Questi sistemi sono in uso in diversi paesi in Europa e nel mondo. Il principale produttore di questi apparati è EADS. Si tratta di un sistema proprietario che è il meno recente nel panorama dei sistemi digitali, per questo motivo non sarà ulteriormente descritto in questo documento.

Negli anni sono stati specificati anche altri sistemi nell'ambito delle radio digitali ma non sono diventati popolari.

## Breve descrizione del TETRA

Il TETRA è uno standard aperto sviluppato dallo European Telecommunications Standards Institute (ETSI Standard EN 300 392). Scopo principale di questo standard è definire una serie di interfacce aperte per consentire ai produttori di sviluppare infrastrutture e terminali che possano pienamente interoperare.

La modulazione utilizzata è una  $\pi/4$  DQPSK (phase shift keying). Si tratta quindi di una modulazione ad inviluppo non costante, per cui sono necessari amplificatori lineari. Utilizzando amplificatori non lineari (o non abbastanza lineari) la semibanda indesiderata ri-apparirebbe causando interferenza sul canale adiacente (spectral re-growth). Il bit rate è pari a 36 kb/s, suddiviso su 4 timeslot per ogni carrier (TDMA = "Time Division Multiple Access"). A causa dei vincoli di ritardo imposti dal sistema TDMA, il TETRA è in grado di garantire un buon servizio non oltre i 58 km di distanza dalla base station.

Il vocoder utilizzato per comprimere il segnale vocale è un ACELP, della SGS Thomson, che produce in uscita un flusso dati a 4.567 kbit/s. A questo flusso dati è poi aggiunta ridondanza (FEC) sino ad ottenere 7.2 kbit/s che è la capacità del singolo slot di traffico usando 17/18 trame (1 trama è utilizzata per i dati e per la segnalazione). Il data rate di rete può variare da 2.4 kbit/s, per applicazioni che richiedono elevata sicurezza utilizzando un solo timeslot, a 28.8kbit/s se il protocollo di protezione dei dati è disabilitato e vengono aggregati tutti i 4 timeslot.

I terminali possono instaurare comunicazioni duplex sia in modalità a divisione di tempo (senza filtri duplexer) che a divisione di frequenza.

Il TETRA è un sistema radiomobile trunked. Il principale beneficio di un sistema trunked è che consente di gestire un più elevato numero di comunicazioni punto-punto per canale RF rispetto ad un sistema radio convenzionale, per il fatto che i canali vengono assegnati automaticamente in modo dinamico.

L'elemento fondamentale di un sistema trunking è il Trunking Controller che assegna i canali servendosi di uno o più canali di controllo. Il canale di controllo funge da link di segnalazione tra il Trunking Controller e tutti i terminali radio mobili appartenenti al sistema. Il canale di controllo è sempre attivo, anche in assenza di traffico in rete. Le base station sono quindi perennemente in trasmissione anche se non ci sono informazioni da trasmettere.

Il processo di hand-over, proprio per il fatto che il TETRA è un sistema trunking, necessita di un buon campo RF per funzionare correttamente in grandi aree di sovrapposizione. La rete di backbone del TETRA deve allocare la banda necessaria per trasportare il segnale audio e le segnalazioni e deve anche essere dotata di nodi di commutazione molto efficienti.

Lo standard TETRA è in evoluzione verso la futura Release 2 che introdurrà caratteristiche avanzate tra cui:

- Area di copertura sino a 83 km
- Maggiore compressione dell'audio
- Differenti tipi di modulazione e banda RF
- Trasmissione dati sino a 500 kbits/s con banda 150KHz

## Breve descrizione del DMR

Il DMR (ETSI TS 102 361 technical specification) è uno standard aperto, definito in ambito ETSI da un gruppo di lavoro composto dai maggiori produttori mondiali di apparati PMR. Lo standard DMR segue le linee guida del mercato PMR per sistemi digitali e può dare valore aggiunto agli attuali sistemi garantendo allo stesso tempo una migrazione graduale tra le due tecnologie, salvaguardando gli investimenti e i sistemi già esistenti.

In particolare i ripetitori DMR di alcuni produttori (es.: Radio Activity e Selex) sono in grado di operare automaticamente in modalità sia analogica che digitale ("dual mode"), supportando così sia i terminali PMR già in uso che i nuovi terminali DMR e mantenendo la compatibilità con ogni caratteristica di entrambe le tecnologie:

- ∞ Comunicazioni vocali con modulazione analogica FM/PM e chiamate selettive e segnalazioni sub-audio basate su protocolli tradizionali
- ∞ Comunicazioni vocali e dati con modulazione digitale 4 FSK, secondo lo standard DMR a velocità 9600 bps

La selezione della modalità operativa è completamente automatica, ciò significa che il ripetitore è in grado di capire autonomamente se la comunicazione in corso è analogica o digitale e può configurarsi conseguentemente per lavorare in modalità PMR o DMR.

Lo standard DMR è in grado di trasportare sia dati che voce. Il segnale audio è convertito in formato digitale, compresso e inviato sul canale digitale, contrassegnato diversamente dal segnale dati.

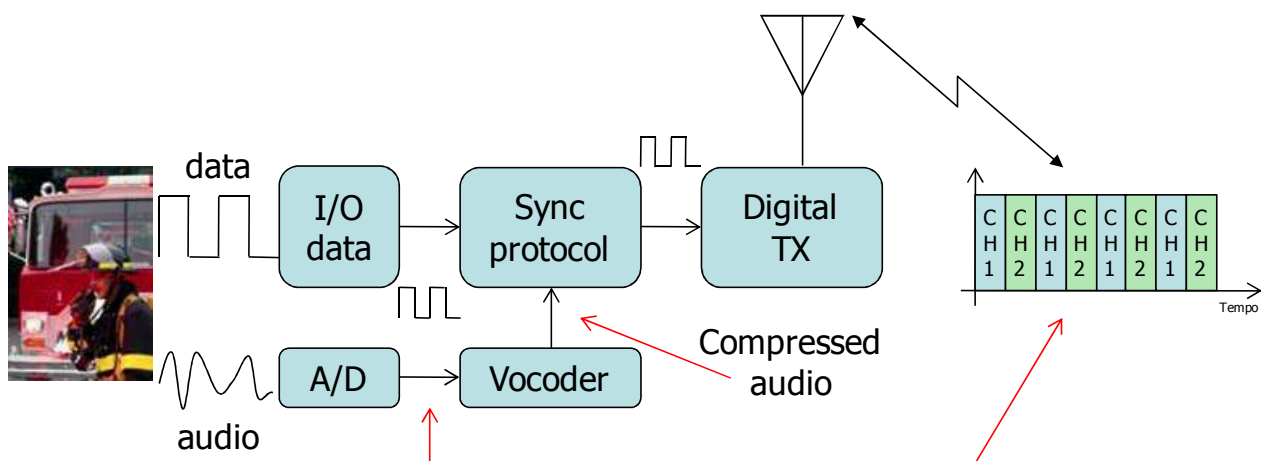
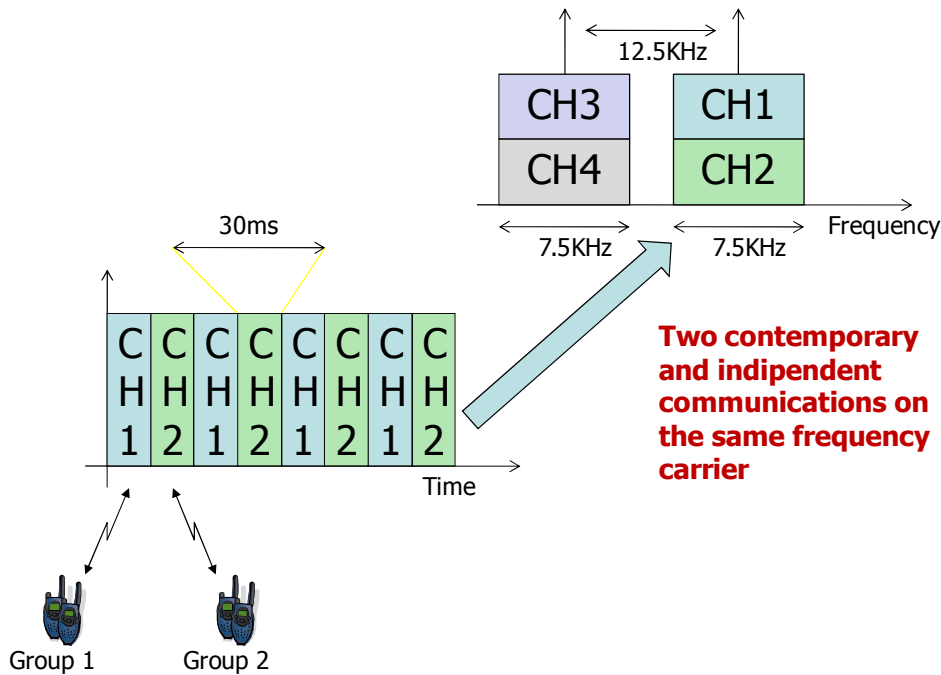


Fig. 3: trasporto ed elaborazione dei segnali audio e dati nel DMR.

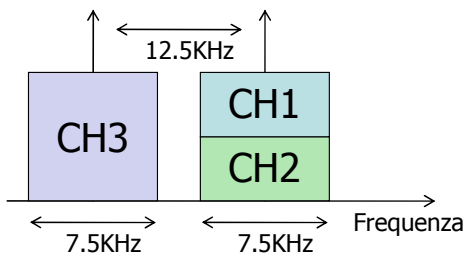
I canali audio/dati sono gestiti con due timeslot in modalità TDMA (Time Division Multiple Access) dividendo lo stesso canale radio a 12.5KHz. I due canali audio/dati sono perfettamente separati e indipendenti tra loro, come se lavorassero su frequenze differenti. Il trasmettitore del terminale mobile si attiva solo in corrispondenza del proprio timeslot di trasmissione.



**Fig. 4: canali audio/dati e timeslot TDMA.**

I sistemi DMR possono convivere con i sistemi analogici convenzionali senza alcuna perdita di qualità per entrambi.

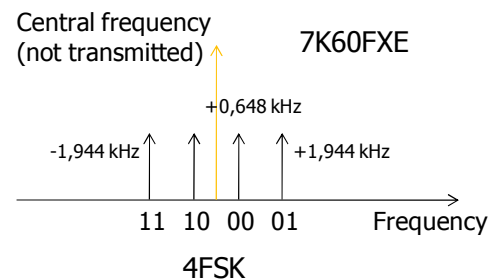
I sistemi DMR hanno un'efficienza spettrale pari a 1CH/6.25KHz, la stessa del TETRA e doppia se paragonata a quella dei sistemi convenzionali. Una sola radio (un solo trasmettitore) consente di avere 2 canali senza bisogno di sistemi di accoppiamento RF, con conseguente risparmio di costo e di consumi e maggiore potenza disponibile in antenna. Inoltre, i sistemi DMR consentono la comunicazione diretta tra i terminali. In questo caso è possibile utilizzare un solo canale in 12.5 KHz per il fatto che manca la sincronizzazione di tempo con la base station.



**Fig.5: coesistenza Analogico e DMR.**

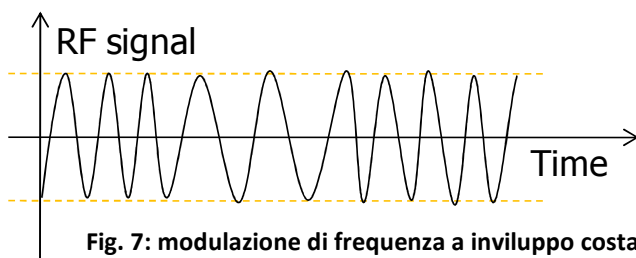
La modulazione implementata è una 4FSK (Four-level Shift Keying), ottimale per le comunicazioni PMR. I bit di informazione sono trasmessi a coppie, ad ogni coppia è poi assegnato uno shift in frequenza.

La modulazione è ad involuppo costante. Questo implica grandi vantaggi in termini di consumi energetici: i trasmettitori sono molto simili a quelli analogici, non sono necessarie costose linearizzazioni,



**Fig. 6: DMR modulation type.**

possono lavorare in saturazione (classe C o superiore) risparmiando energia ed essendo compatibili con pannelli solari.



**Fig. 7: modulazione di frequenza a involuppo costante.**



Il modulatore e il de-modulatore sono sostanzialmente diversi da quelli utilizzati nelle radio analogiche convenzionali in quanto devono assicurare una risposta in frequenza piatta nella banda tra 0 e 5 KHz.

La potenza RF trasmessa da un sistema DMR è la stessa di un sistema analogico tradizionale (involuppo costante).

La sensibilità di un ricevitore DMR è praticamente la stessa di un ricevitore analogico tradizionale, ma la qualità audio rimane costante sino al limite di udibilità e l'area di copertura è un po' più grande che nei sistemi analogici a 12.5 KHz.

I terminali DMR possono lavorare in modalità "canale aperto" come i tradizionali sistemi per la gestione delle emergenze, ma sono anche disponibili chiamate individuali e di gruppo: ovviamente le chiamate selettive sono mappate in un formato digitale tra gli apparati DMR. L'accesso in rete dei terminali è regolato da un "colour code", al posto dei toni sub-audio e super-audio dei sistemi analogici.

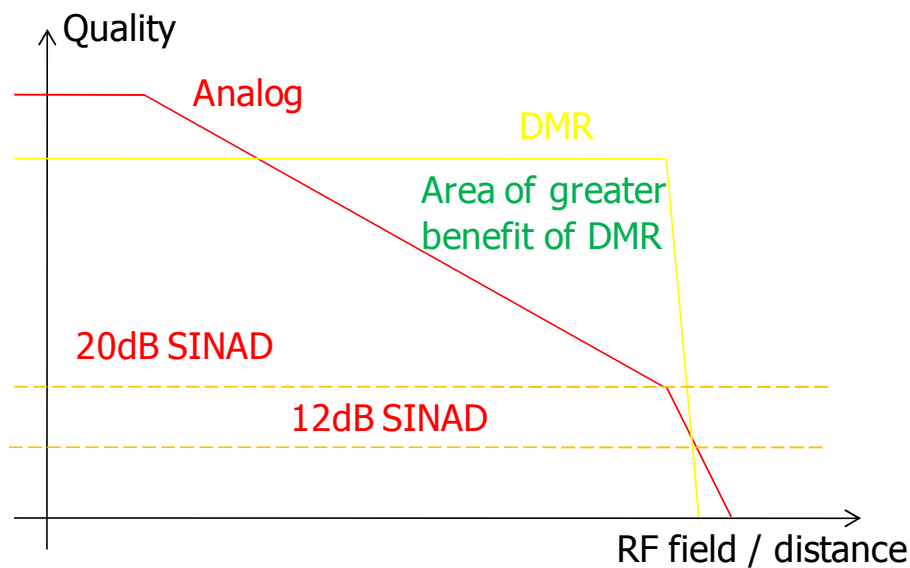


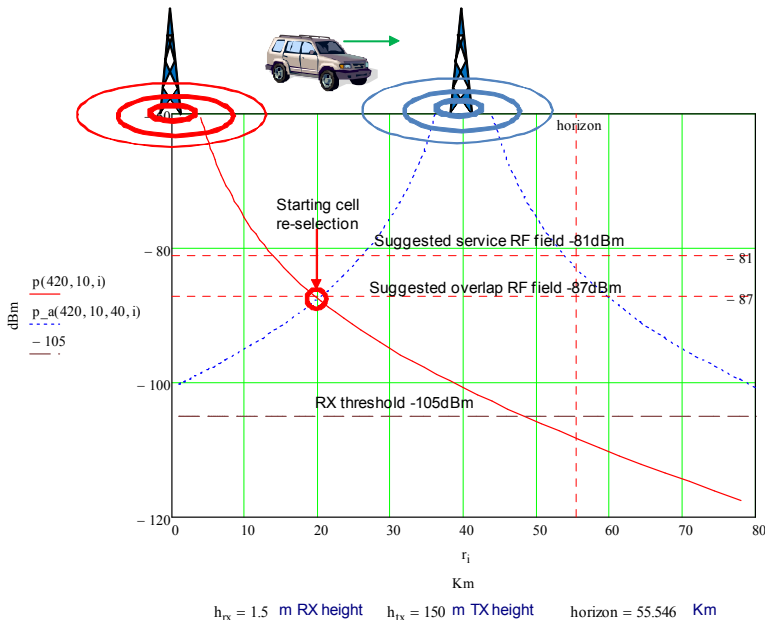
Fig. 8: andamento della qualità del segnale in funzione del campo/distanza RF sia per l'analogico che per il DMR.

## DMR E TETRA A CONFRONTO

### Caratteristiche a radio frequenza

#### Area di copertura

L'area di copertura dipende da diversi fattori. Fissati la potenza RF (E.R.P.) degli apparati, la figura di rumore del ricevitore e l'orografia della regione, l'area di copertura dipende fondamentalmente dalla sensibilità del ricevitore e dalla banda RF utilizzata.



**Fig. 9: risedelezione cella tra terminale e base station TETRA con UHF 420MHz – 10W –ambiente rurale.**

velocità dei terminali... Un tipico valore per questa soglia in terreno rurale è 18dB al di sopra della soglia di sensibilità dinamica del ricevitore (typ. -87dBm). La pianificazione della copertura di un'area dovrebbe assicurare questo valore ovunque. Questa semplice simulazione illustrata in figura 9 aiuta a comprendere meglio il concetto.

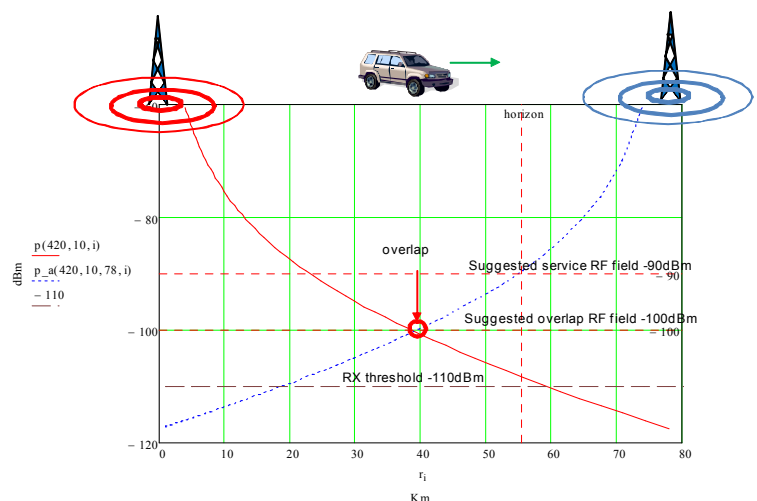
Con queste condizioni al contorno si ottiene una area di copertura di circa 20 Km da una cella TETRA, addirittura inferiore all'orizzonte ottico, senza poter sfruttare completamente la sensibilità del ricevitore.

Il DMR offre la possibilità di implementare una rete simulcast.

Una rete simulcast è una rete radio in cui tutti i ripetitori sono attivi contemporaneamente sulla stessa frequenza. La rete simulcast assicura il roaming e l'hand-over in tempo reale (anche durante la chiamata) ma non c'è alcun bisogno di ricerca della base station da parte dei terminali mobili.

Il terminale non deve mettersi in cerca della cella migliore perchè è il sistema stesso che, tramite il voting assicura il segnale migliore agli apparati.

In caso di soluzione simulcast il campo può essere alcuni dB sopra la sensibilità del ricevitore. Il risultato finale, nelle stesse condizioni applicate alla cella TETRA di cui sopra, è una cella con raggio pari a 40 Km.



**Fig. 10: risedelezione cella tra terminale e base station DMR con UHF 420MHz – 10W –ambiente rurale.**

⇒ **Il DMR simulcast, nella stessa banda RF, può raddoppiare il raggio della cella rispetto al TETRA!**

L'estensione dell'area di copertura dipende dalla banda RF, a causa di effetti legati alla propagazione dei segnali. I sistemi TETRA lavorano nella gamma di frequenze 380÷400 MHz per applicazioni di pubblica utilità e sicurezza, e nella gamma di frequenze 410÷470 MHz per reti radio private, con passo di duplice pari a 10 MHz. Recentemente alcune applicazioni del TETRA sono disponibili anche nella gamma 806÷870 MHz.

Un utente che ha in esercizio un sistema analogico in banda VHF deve installare diversi siti in più (e richiedere diverse nuove frequenze) se vuole passare ad un sistema TETRA.

Le simulazioni in figura illustrano infatti il down-link nel caso di un sistema in banda VHF (DMR o analogico), e nel caso del corrispondente sistema UHF TETRA. Il risultato è che il sistema in VHF può lavorare al doppio della distanza.

Nei terminali TETRA la linearizzazione degli amplificatori comporta una minore potenza RF rispetto al caso di amplificatori non lineari. Tipicamente un portatile DMR trasmette sino a 5W rispetto a 1W di quello TETRA (6dB meno!).

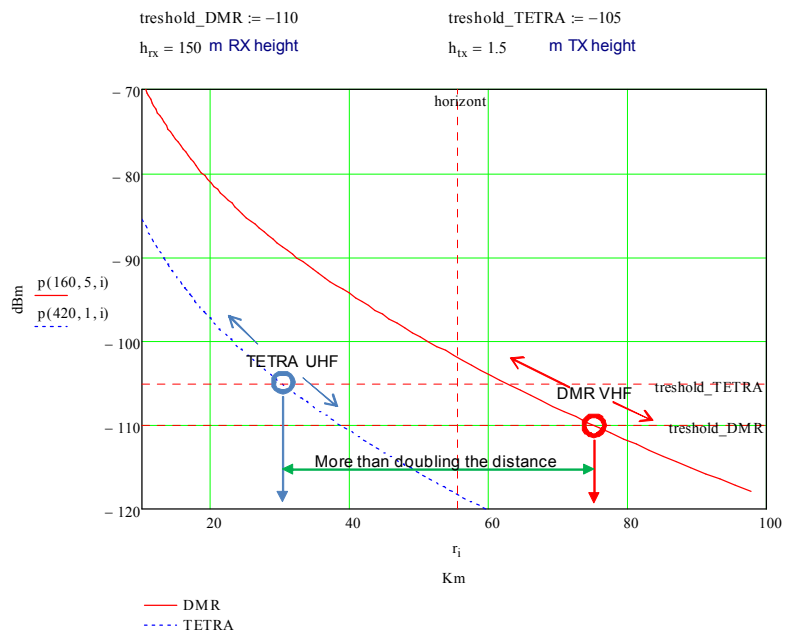


Fig. 11: confronto tra - DMR VHF e TETRA UHF.

Il bilancio del up-link RF totale (a parità di banda RF) di un sistema DMR è maggiore di circa 5dB per quanto riguarda la sensibilità del ricevitore e di circa 6/7dB maggiore per quanto riguarda la potenza RF rispetto ad un sistema TETRA.

Questi 10-12 dB di differenza e la non disponibilità di sistemi TETRA in banda VHF, comporta che l'area di copertura del TETRA è più che dimezzata rispetto a quella del DMR. In termini di area di copertura (proporzionale al quadrato del raggio) ciò comporta che il TETRA richiede il quadruplo dei siti rispetto ad un sistema analogico esistente.

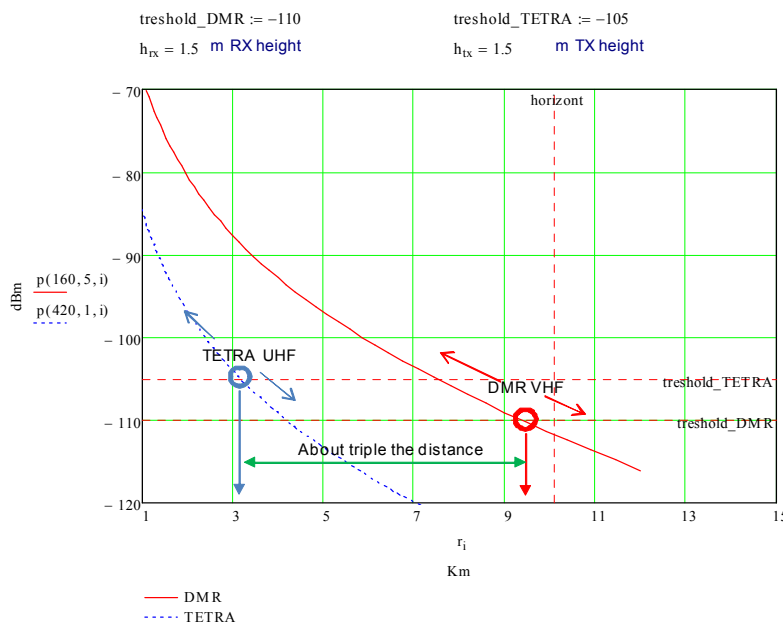


Fig. 12: confronto tra portatile in direct mode - DMR VHF e TETRA

Al contrario, il DMR esiste in tutte le bande radio convenzionali, adotta una modulazione ad involuppo costante e consente l'utilizzo di amplificatori di potenza non lineari.

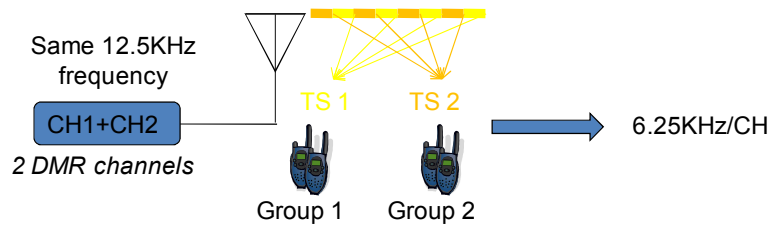
Ciò comporta che il livello di potenza RF è pari a quello dei terminali analogici. La sensibilità di un ricevitore DMR è paragonabile a quella di un ricevitore analogico, ciò significa che i sistemi digitali possono essere implementati con aree di copertura non molto più piccole o addirittura uguali ai già esistenti sistemi analogici.

Si nota anche che lo sfavorevole bilancio del TETRA peggiora ulteriormente se si opera in modalità diretta (circa 3Km rispetto al TETRA UHF, e più di 9Km rispetto al DMR VHF) come illustrato nella figura 12.

⇒ Si può quindi concludere che, a causa di una minore sensibilità del ricevitore TETRA, una minore potenza disponibile, la possibilità di operare solo in UHF e l'impossibilità di adottare soluzioni simulcast, in molti casi è necessario almeno raddoppiare il numero di siti necessari per ottenere la stessa area di copertura del DMR.

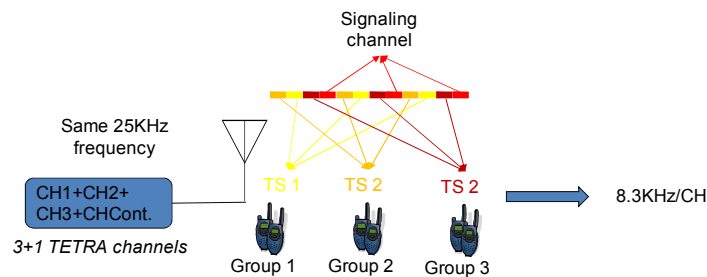
## Efficienza spettrale

L'efficienza spettrale è la combinazione di diversi fattori, come la banda utilizzata per ogni canale di comunicazione, il fattore di riutilizzo delle frequenze determinato dal rapporto Carrier to Interference in dB, la dimensione della cella e la tecnologia di accesso al canale. Lo schema di accesso al canale DMR è riportato nella figura sottostante:



**Fig. 13: modalità di accesso al canale RF per il DMR.**

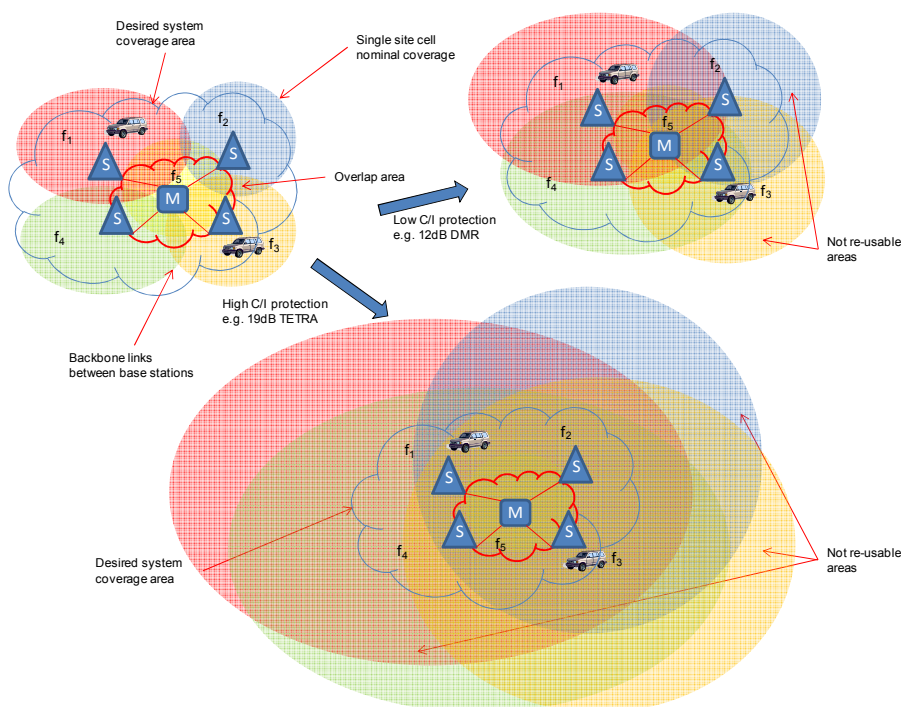
Due utenti possono instaurare due comunicazioni indipendenti sui due canali disponibili. Il corrispondente schema TETRA è invece il seguente:



**Fig. 14: modalità di accesso al canale RF per il TETRA.**

Il DMR ha una maggiore efficienza spettrale. Una base station TETRA consente di avere 4 timeslot in 25 KHz di banda. Un timeslot è dedicato al canale di segnalazione trunking, così i rimanenti 3 timeslot consentono in realtà 3 comunicazioni in contemporanea. Nel DMR i due timeslot disponibili su una base station operano su una banda di 12.5 KHz e non occorre dedicare alcun timeslot per la segnalazione.

⇒ **L'efficienza spettrale del DMR è 4CH/25 KHz, mentre quella del TETRA è solamente 3CH/25 KHz.**



**Fig. 15: confronto tra DMR e TETRA degli effetti sulle aree di riutilizzo delle frequenze a causa del diverso rapporto reference carrier to interference (C/I).**

Il rapporto carrier to interference (C/I) nel TETRA è pari a 19 dB mentre nel DMR (similmente al caso analogico) è solo 12dB. Ciò significa che nel TETRA una frequenza non può essere utilizzata sino a che il campo RF emesso dalla base station non scende più di 19 dB sotto la soglia del ricevitore. In termini di distanza, il fatto che la figura di rumore del TETRA sia peggiore di 7 dB comporta una riduzione dell'area di riutilizzo delle frequenze di diversi Km (considerando che il campo RF attenua molto lentamente [6-9dB col doppio della distanza] al limite dell'area di copertura).

Una attenta pianificazione delle frequenze operative può aiutare a minimizzare questi

effetti, ma spesso non riesce a risolvere completamente i problemi legati alle interferenze.

Si può notare ancora che, in caso di rete simulcast (solo per sistemi DMR) la possibilità di riutilizzo delle frequenze è massima per il fatto che viene utilizzata una sola frequenza e che è possibile “ritagliare” l’area di copertura alle reali esigenze dell’utente.

⇒ **L’efficienza spettrale del TETRA è ulteriormente ridotta a causa delle difficoltà nel riuso delle frequenze in aree limitrofe.**

Un altro parametro critico è la selettività del ricevitore. La selettività misura la capacità del ricevitore di eliminare un forte segnale interferente in un canale adiacente.

Questo parametro è chiamato C/la (Carrier on Adjacent Interference) e dipende dal particolare tipo di modulazione utilizzata. Per il DMR il margine di protezione verso il canale adiacente è lo stesso che nel caso di sistema analogico

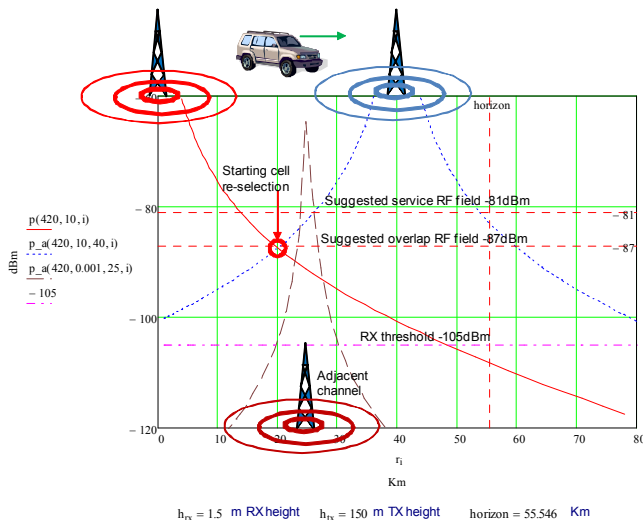
che è più di 60dB @12.5KHz. Il TETRA prevede invece una protezione di soli 40dB @25KHz!

Questo fatto scoraggia coloro che si occupano di pianificare l’uso di frequenze nei sistemi TETRA dall’utilizzare canali adiacenti nei siti limitrofi.

I problemi del TETRA nell’uso di canali adiacenti nella stessa area riducono l’efficienza spettrale nei contesti ad alta densità di traffico (e quindi dove l’uso di frequenze è particolarmente critico).

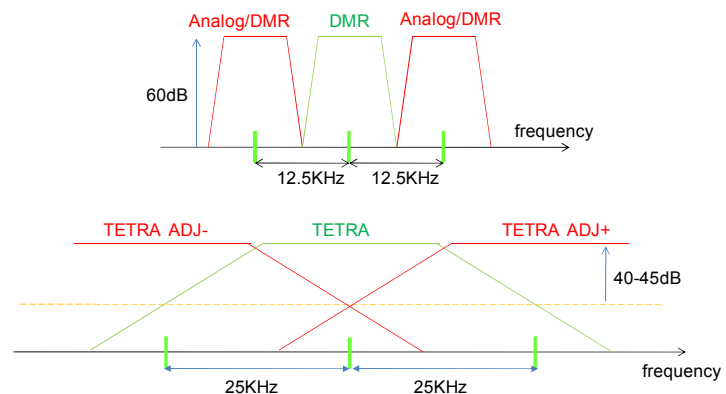
La simulazione riportata in figura illustra la situazione di una base station TETRA che lavora con un segnale di eguale potenza RF sul canale adiacente la cui sorgente è posta a 25 Km di distanza.

Una distanza di 25 Km sembra proprio essere il requisito minimo da tener presente in fase di pianificazione della copertura radio.



**Fig. 16: interferenza di un canale adiacente tra terminale e base station TETRA con UHF 420MHz – 10W –ambiente rurale .**

Alla fine si vede quindi che il TETRA ha minimo 3+1 canali in 25 KHz. Molti utenti utilizzano però solamente un singolo canale a 12.5 KHz, lavorando in canale aperto senza bisogno di trasmettere quantità di traffico maggiori. Col DMR, è possibile operare come con i precedenti apparati analogici, senza cambiare frequenza avendo a disposizione anche tutte le caratteristiche dei sistemi digitali come per esempio la messaggistica di posizionamento tramite GPS, codifica dell’audio, messaggistica di testo, telecontrollo....



**Fig. 17: confronto tra DMR e TETRA dell’allocazione delle frequenze adiacenti.**

⇒ **Nei sistemi PMR le frequenze utilizzate in una certa area sono spesso gestite da una entità regolatrice senza particolare attenzione alle frequenze allocate sui canali adiacenti. Una rete TETRA lavorerà inizialmente bene, ma potrà peggiorare drasticamente se un altro sistema TETRA viene installato in prossimità senza le dovute precauzioni.**

### Tolleranza sul ritardo di propagazione

L'area di copertura di entrambi i sistemi è limitata dalla modalità di accesso al canale a divisione di tempo (TDMA). I terminali mobili devono sincronizzarsi accuratamente alla base station per evitare la sovrapposizione dei timeslot TDMA.

Il sistema DMR interpone un intervallo temporale di guardia di 2.5 ms tra timeslot adiacenti per consentire i transitori degli amplificatori di potenza e per i tempi di propagazione dei segnali.

Normalmente viene lasciato 1 ms per il ritardo di propagazione e per eventuali scorrimenti della base dei tempi degli orologi.

Questo tempo di 1 ms consente ad un portatile di operare sino a 150 Km dalla base station senza interferenze tra i timeslot.

Nel TETRA invece il tempo di guardia è di circa 0.4 ms, tale da consentire un raggio di copertura massimo di soltanto 58 Km. Questa limitazione è inaccettabile per sistemi con stazioni mobili aeronautiche che devono ricevere un buon segnale anche in aree più estese di 58 Km.

⇒ **La massima distanza teorica per un collegamento TETRA è di soli 58Km contro i 150Km del DMR**

### "Espansore di cella" per copertura in tunnel

Il modo più robusto per assicurare la copertura in un tunnel è utilizzare una base station connessa direttamente al sistema esterno. Questa soluzione consente una maggiore resistenza ai guasti e può gestire comunicazioni interne quando la rete esterna non è accessibile o non è operativa.

Non è comunque inusuale ottenere copertura nei tunnel anche senza la possibilità di una connessione diretta ad una rete esterna.

In questi casi è possibile utilizzare un espansore di cella. Il segnale proveniente dall'esterno è ricevuto da una antenna, è amplificato in modo da ottenere una potenza minima richiesta ed è inviato in un cavo fessurato.

Spesso sono utilizzate anche le fibre ottiche per trasportare il segnale RF attraverso lunghi tunnel. In questi casi è fondamentale controllare il ritardo introdotto dagli amplificatori.

Il ritardo introduce infatti interferenza intersimbolica sui terminali mobili che può essere distruttiva. Il ritardo introdotto deve essere inferiore a un ottavo del tempo di simbolo.

Le applicazioni TETRA sono molto più critiche rispetto al DMR da questo punto di vista in quanto utilizzano rate di simbolo più elevati. Il ritardo massimo tollerabile da un sistema TETRA è 7-19 us contro un ritardo massimo di 30-40 us per il DMR.

### Green IT



Il DMR consente un notevole risparmio di energia rispetto al TETRA. Infatti, a causa della necessità di linearizzare il trasmettitore TETRA e al fatto che il canale di controllo è sempre attivo, una base station TETRA richiede da 8 a 15 volte la potenza di una DMR. L'elevato consumo di potenza di una stazione TETRA comporta anche la necessità di sistemi di condizionamento, con conseguente ulteriore consumo di energia. Una base station DMR invece, come anche una analogica, può essere alimentata utilizzando pannelli solari.

Una base station TETRA necessita di 10-15KWh/giorno se si considerano anche gli switch e i sistemi di raffreddamento, mentre una base station DMR 0.8-1.2KWh/giorno.

Una minore potenza richiesta comporta anche una maggiore operatività e una vita più lunga degli apparati portatili.



⇒ **Per una rete di medie dimensioni con 1 portante e 5 siti, il sistema TETRA produce in un anno circa 12tons di CO<sub>2</sub> equivalente rispetto a 1 ton del DMR! Ci vogliono circa 1000 alberi per assorbire la CO<sub>2</sub> prodotta da una rete TETRA.**

## Considerazioni sul sistema

### Caratteristiche

Entrambi i sistemi offrono gli stessi servizi digitali fondamentali come chiamate individuali/di gruppo/broadcast e di emergenza, messaggi di posizionamento automatico, late entry, terminal ID on PTT, trasmissione di pacchetti dati basata su protocollo IP...

Attualmente i terminali TETRA sul mercato offrono funzioni di cifratura più avanzate e consentono comunicazioni duplex su terminali duplex a divisione di tempo.

La cifratura dei messaggi DMR non è ancora stata standardizzata dalla ETSI, ma rimane una scelta del costruttore. I terminali Motorola MOTOTRBO™ offrono due livelli di cifratura: uno più semplice con un livello di sicurezza inferiore (255 chiavi) e un livello più sofisticato che utilizza algoritmi avanzati in grado di assicurare un elevato livello di protezione.

Lo standard DMR duplex a divisione di tempo è specificato dalla ETSI ma non c'è ancora alcun terminale sul mercato in grado di offrirlo.

Il protocollo ETSI è aperto, per cui è possibile implementare su di esso una miriade di applicazioni. Data la più recente definizione dello standard DMR (2005-07) da parte della ETSI rispetto allo standard TETRA (1990-95), è presumibile che il DMR offra a breve un sempre crescente numero di applicazioni.

⇒ **Le applicazioni basate su TETRA sono più numerose di quelle basate sul DMR per il fatto che lo standard TETRA è stato definito precedentemente e non perché ci siano vincoli sul protocollo DMR che ne impediscano lo sviluppo.**

### Flessibilità e semplicità

Il TETRA comporta una "rivoluzione" nell'ambito dei sistemi radio.

Il TETRA è un sistema trunking in grado di coprire aree che vanno da un singolo sito ad una intera regione con migliaia di utenti. Assomiglia molto più ad un sistema di telefonia cellulare come il GSM piuttosto che ad un convenzionale sistema radio. Necessita di potenti nodi di commutazione e reti di trasporto a banda larga, oltre che accurate pianificazioni delle coperture e delle frequenze utilizzate: è molto complesso da gestire e da capire da parte dell'utente! Ciò comporta spesso la necessità di una entità deputata all'amministrazione del sistema in grado di assicurarne continuamente il corretto funzionamento (compresi i terminali). Il TETRA non consente l'implementazione di soluzioni oggi molto utilizzate agli utenti come ad esempio reti simulcast o semplici interconnessioni tra ripetitori.



Il DMR è pensato invece per consentire una migrazione semplice e graduale dai terminali analogici già esistenti verso quelli digitali. Lo standard DMR consente di realizzare diverse configurazioni di rete a partire da un singolo ripetitore sino a diverse base station connesse. Il DMR permette la realizzazione delle stesse configurazioni usate nei sistemi radio analogici già esistenti: interconnessione di ripetitori, multicast (connessioni IP wired), simulcast (IP/UHF/wired connected) e sistemi ad accesso multiplo e trunking. La concezione del sistema è molto vicina a quella di un sistema analogico. La possibilità di riutilizzare le frequenze, aggiunta al fatto di avere le stesse prestazioni riguardo l'area di copertura, consente di non dover ripianificare le frequenze.

Grazie ad una rete backbone IP, il DMR è aggiornabile facilmente e a basso costo. Non sono necessari particolari e costosi nodi di commutazione.

L'inserimento di una nuova base station nella rete, al fine di aumentare l'area di copertura, è facile e veloce, preserva gli investimenti dei clienti e consente di evitare ulteriori spese per il set-up della rete. Il sistema risultante è semplice, molto simile ad un insieme di affidabili e semplici ripetitori "stand alone".

⇒ **Il TETRA deve essere utilizzato così come è, difficilmente si presta a soluzioni personalizzate. Il DMR è una soluzione flessibile, "plug and play" e facile da capire.**

## Disponibilità

Allo stato attuale lo standard TETRA è molto diffuso nel mondo tranne che in Nord America, a causa delle strategie di mercato dei maggiori distributori. I sistemi DMR sono invece all'inizio della loro vita ma sono comunque già conosciuti e utilizzati in tutto il mondo.

Nel Nord America la scelta di un sistema radio è essenzialmente limitata tra sistemi analogici e i costosi terminali digitali P25.

Il DMR può introdurre una nuova era per il mondo delle radio in cui la qualità dei sistemi digitali è disponibile al costo dei terminali analogici.

## Migrazione e coesistenza col mondo analogico

Gli enti che hanno utilizzato con successo le apparecchiature analogiche per anni, prestano molta attenzione al fatto che il passaggio da un sistema ad un altro sia graduale.

Molti potenziali clienti possono essere scoraggiati dalla mancanza di servizio o dal sorgere di nuovi problemi durante la fase di migrazione da un sistema ad un altro.

Il DMR si presenta proprio come il naturale passaggio dai sistemi analogici a quelli digitali. Utilizzando lo stesso schema di modulazione dei sistemi analogici (involuppo costante, FM, 12.5KHz di banda), gli apparati DMR consentono comunicazioni con entrambi gli standard analogico e digitale.

Un cliente può cominciare ad utilizzare le infrastrutture DMR con le esistenti apparecchiature analogiche e può passare immediatamente alla nuova infrastruttura lavorando in analogico. Nessuna apprezzabile differenza dovrebbe essere percepita utilizzando i vecchi terminali analogici sulla nuova infrastruttura DMR dual mode. Se si dovessero incontrare problemi, è immediato tornare alla precedente infrastruttura in modo da risolvere il problema senza significative interruzioni di servizio. Molti clienti infatti, data la loro esperienza con le apparecchiature analogiche, riescono a risolvere molto più facilmente i problemi lavorando in analogico rispetto a lavorare con una infrastruttura solamente digitale.

Una volta che sono state testate le funzioni in analogico, il cliente può partire a utilizzare gradualmente i nuovi terminali DMR lavorando in dual mode e interoperando con le vecchie apparecchiature analogiche. Una migrazione verso il DMR assicura un immediato miglioramento della operatività anche in un ambiente misto, con terminali sia analogici che digitali.

La migrazione verso il TETRA presenta differenti scenari. Il TETRA offre poche possibilità di interoperabilità tra terminali analogici e digitali e spesso necessita di nuovi siti per coprire la medesima area coperta dai sistemi analogici già esistenti. La migrazione dal mondo analogico al TETRA è una rivoluzione sia per quanto riguarda le infrastrutture che per quanto riguarda l'utente finale. La messa a punto del nuovo sistema digitale può richiedere molto tempo e la risoluzione di problemi in un ambiente non familiare.



Si tenga presente che il miglior approccio alla migrazione consiste nel porre il nuovo sistema digitale sulle frequenze già assegnate, dove possibile, o all'interno della banda dedicata al servizio mobile terrestre. Il DMR esiste in tutte le bande più usate dai sistemi radiomobili, mentre il TETRA è disponibile solo nella gamma di frequenze UHF.

**⇒ Una migrazione da analogico a DMR assicura un immediato miglioramento della operatività anche in un ambiente misto, con terminali sia analogici che digitali. La migrazione dal mondo analogico al TETRA introduce una sensibile discontinuità e richiede un grande investimento per cambiare tutte le apparecchiature radio in una volta sola.**



## Standard aperto

Il TETRA ha ormai un mercato maturo in cui l'offerta di terminali e sistemi è assicurata da più fornitori. I costruttori in accordo con l'ETSI, hanno creato un standard di interoperabilità per facilitare gli utenti nella scelta dei terminali.

Il DMR è troppo giovane per beneficiare dello stesso grado di interoperabilità. Attualmente (luglio 2009) gli unici terminali presenti sul mercato sono i Motorola MOTOTRBO™ e i SELEX V/5x-PDMR data box. Diverse società hanno annunciato la prossima produzione di terminali tra la fine del 2009 (Hit) e la metà del 2010 (Tait, Simoco).

L'ETSI ha iniziato a stendere le specifiche per i test di interoperabilità, comunque va notato che, per avere realmente uno standard aperto, esistono ancora degli ostacoli:

- il vocoder non è normalizzato dalle ETSI
- i messaggi e diversi servizi come il posizionamento GPS sono forniti con un protocollo proprietario del costruttore

Il vocoder implementato sui terminali Motorola MOTOTRBO™ è un AMBE II+™ (Advanced Multi-Band Excitation) sviluppato dalla Digital Voice Systems e l'utilizzo di questo vocoder è soggetto a licenza da parte della Digital Voice Systems. Questo fatto potrebbe essere visto come una forte restrizione nell'apertura dello standard DMR, in realtà lo stesso vocoder (o molto simile) è stato scelto per il dPMR, è utilizzato su apparati radio amatoriali, ed è in selezione per essere adottato anche nel TETRA fase 2 e il P25 fase 2.

In sostanza le scelte di Motorola che è partita per prima nello sviluppo costituiscono uno "standard de facto". Chi sviluppa un terminale DMR dovrà seguire i protocolli e il vocoder utilizzato da Motorola che sono già in uso. D'altro canto Motorola ha interesse a creare uno standard aperto perché un ambiente multi-distributore ha una maggiore attrattiva commerciale.

Si sottolinea che la base station, per applicazioni di rete, non soffre a causa della mancata standardizzazione perché implementa solo il livello di trasporto che è pienamente specificato dalla ETSI.

## Affidabilità

⇒ **La complessità intrinseca del TETRA e la maggiore richiesta di energia ne aumentano la predisposizione ai guasti.**

La complessità è un primo indice di facilità di guasto di un sistema. Secondo il ben noto calcolo del MTBF di un sistema elettronico, la probabilità di guasto, a parità di qualità di componenti, dipende essenzialmente dal numero totale dei componenti del sistema e dalla temperatura di esercizio. Entrambi questi fattori sono migliori per

delle apparecchiature DMR che sono più semplici e assorbono molta meno potenza di quelle TETRA.

Sia il sistema TETRA che il sistema DMR offrono soluzioni di fall-back nel caso di guasti alle radio base o ai canali di collegamento (per esempio la richiusura in locale a ponte ripetitore semplice). Un sistema DMR presenta alcuni vantaggi rispetto ad uno TETRA per la caratteristica di essere costituito da stazioni intrinsecamente "stand alone" con intelligenza distribuita (non sono richiesti nodi di switch centralizzati caratteristici del sistema TETRA).

Alla fine è importante notare che il DMR offre anche la possibilità di una configurazione simulcast (non disponibile per i sistemi TETRA) che fornisce una ottima protezione intrinseca dovuta alla ridondanza delle stazioni base che operano tutte sulla stessa frequenza.

Grazie al basso consumo e alle dimensioni contenute, il DMR si presta ottimamente a realizzazioni trasportabili per sistemi da dislocare in tempi brevi nelle aree di crisi. Lo stesso non si può dire per il TETRA.

⇒ **Passando al DMR un utente può mantenere autonomamente il controllo totale della rete per la manutenzione, la gestione e le funzionalità. L'utente davvero "possiede" la rete e si sente sicuro della risorsa radio.**

**Con un sistema TETRA la dipendenza dal costruttore o dall'installatore può dare non poche preoccupazioni agli Enti deputati alla gestione di reali emergenze.**

## Costi

Un Ente che oggi desidera rinnovare il proprio sistema radio solitamente opta per un sistema digitale. Per valutare l'efficacia e la bontà dell'investimento, occorre analizzare il miglior rapporto prezzo / prestazioni offerto dalle soluzioni disponibili. Le funzionalità che offre il DMR per la maggior parte degli utenti sono pressoché analoghe a quelle offerte dal TETRA (si veda il paragrafo relativo), per cui a parità di prestazioni ciò che fa la differenza è il costo del sistema. Il costo del sistema è la somma di costi diretti ed indiretti di cui sono riportati nel seguito le principali linee di valutazione.

## Terminali

I terminali TETRA richiedono una linearità spinta dei trasmettitori per cui dovrebbero essere più costosi degli analogici e dei DMR. In realtà il costo dei terminali TETRA è ormai allineato con quello dei terminali analogici o DMR di qualità. Ciò è dovuto al fatto che negli anni (il TETRA è presente sul mercato da circa 10 anni contro i 2 del DMR) la diffusione del prodotto, in un contesto di più fornitori in concorrenza, ha generato significative economie di scala. Motorola ha introdotto i terminali DMR nella propria catena di vendita ad un prezzo fin da subito allineato con l'analogico per favorire la diffusione dello standard.

Probabilmente il costo dei terminali DMR scenderà ulteriormente quando le altre società che attualmente stanno sviluppando lo standard entreranno nel mercato.

## Stazioni base e nodi di commutazione

Motorola propone attualmente un ripetitore ad un prezzo molto competitivo, comparabile con il prezzo di un ripetitore analogico se teniamo conto che un DMR consente una capacità di traffico equivalente a due canali analogici. Una stazione TETRA "stand alone" costa più di 10 volte un ripetitore DMR.

Per realizzare una rete DMR di più stazioni interconnesse si può scegliere la soluzione migliore in un ampio ventaglio di configurazioni: singoli ripetitori interconnessi, multi sito multi frequenza, isofrequenziali sincroni, trunking (Motorola ha annunciato un sistema simile al trunking chiamato Capacity+™). TETRA offre solo la soluzione full trunking. Il costo indicativo delle sole stazioni base di una rete dove N è il numero di siti (supposto identico per DMR e TETRA) è riportato nella tabella seguente:

	DMR	TETRA
IP interconnected repeaters	1xN	10xN
Multicast (multifrequencies)	1xN	10xN
Trunking (Capacity+™)	1,5xN	10xN
Simulcast	4xN	10xN (not simulcast)
Full trunking	??	10xN

**Table 1: costo indicativo delle base station DMR e TETRA.**

Le sole stazioni base non sono sufficienti a realizzare una rete TETRA, sono necessari anche dispositivi di commutazione (switch node) che gestiscono le comunicazioni in rete. Questi dispositivi hanno costi differenti a seconda del produttore, della tecnologia impiegata e del numero di interfacce. Il costo atteso per i switch node di un sistema può essere paragonabile al costo totale delle stazioni base del sistema stesso.

Il DMR non richiede alcun dispositivo di switch dedicato per realizzare una rete. L'intelligenza e la gestione sono demandate alle singole stazioni che vengono coordinate da una o più stazioni master senza costi aggiuntivi. La banda di collegamento richiesta tra le stazioni è minima (<33 kb/s) e l'interfaccia IP nativa consentono l'uso di sistemi di trasporto TCP/IP largamente diffusi e a basso costo.

## Nuovi siti e nuove frequenze

Il TETRA rispetto al DMR ha una sensibilità del ricevitore inferiore, ha meno potenza RF sui terminali, esiste solo in UHF in modalità non isofrequenziale. In molti casi pratici sostituire un sistema analogico con un TETRA può richiedere il raddoppio dei siti per ottenere lo stesso grado di servizio. I siti alimentati a pannelli solari o non raggiungibili da

robusti link da Mb in microonde dovranno essere abbandonati e si dovrà ricercare e attrezzare nuovi siti. Il DMR invece “ricalca” esattamente il sistema analogico che si vuol sostituire.

Il costo di set-up di un nuovo sito dipende da molti fattori: l'esistenza di siti attrezzati per altri servizi (broadcast, TV, telefonia, ...), la disponibilità di spazio per le antenne sui tralicci, la presenza di alimentazione primaria dalla rete elettrica, la disponibilità di link TCP/IP o Mb/s per il trasporto dei segnali tra le stazioni base, le autorizzazioni e licenze richieste, la compatibilità elettromagnetica del sito, l'accessibilità, la verifica della copertura attesa, ... Il costo di impianto di un nuovo sito, considerando anche le antenne, i cavi, gli armadi di contenimento, le protezioni per le fulminazioni e il trasporto può costare dai 10 ai 20 K€.

Al costo di set-up va poi aggiunto il maggior costo annuo di mantenimento del sito per le licenze delle frequenze utilizzate, per la corrente elettrica, l'affitto dello spazio, il traffico TCP/IP o Mb di comunicazione e le ispezioni di manutenzione.

Molti utenti possiedono attualmente un solo canale radio. Passando al DMR, con lo stesso canone annuo per la frequenza ottengono un raddoppio dei canali. Passando al TETRA possono avere 3 canali di comunicazione ma, occupando il doppio della banda, dovrebbero pagare, in teoria, il doppio del canone. Per ragioni politiche questo oggi non accade.

**⇒ Passando dall'analogico al DMR si possono ri-utilizzare le stesse frequenze e gli stessi siti della rete analogica in uso.**

**Viceversa migrando al TETRA si devono reperire nuovi siti sopportando gli extra costi “una tantum” per l'attrezzaggio degli stessi e i canoni annui di affitto, energia, frequenze, link di collegamento, visite manutentive, eccetera.**

### Costi di migrazione

Il passaggio da un sistema radio analogico a uno digitale ha un costo che dipende da diversi fattori.

I costi relativi alle interruzioni di servizio del sistema radio in uso sono di difficile valutazione. L'utente richiede comunque che ci siano pochi o, meglio, nessun “buco” nei servizi radio durante la migrazione. E' decisamente più difficile soddisfare questa richiesta migrando su un sistema TETRA rispetto ad un DMR (si veda il relativo paragrafo).

**⇒ Passando dall'analogico al DMR si possono ri-utilizzare armadi, alimentatori, parte delle apparecchiature e tutti i sistemi radianti. Viceversa migrando al TETRA è difficile recuperare qualcosa dell'installato analogico**

Il DMR permette consistenti risparmi rispetto a una migrazione TETRA in quanto permette il riutilizzo di parte dei materiali già uso:

1. le antenne, i cavi RF e i sistemi di branching (la gamma di frequenza è la stessa e la copertura attesa è la medesima)
2. le stazioni di energia (i consumi dei nuovi apparati DMR sono molto simili al sistema in uso)
3. gli armadi di contenimento delle apparecchiature ( le radio DMR hanno un ingombro limitato, di solito addirittura inferiore alle analogiche)

Il DMR permette una migrazione dolce tra analogico e digitale. La funzione di scambio automatico di modalità analogico/digitale permette la coesistenza e la interoperabilità di terminali analogici con nuovi terminali DMR. L'utente può così iniziare a installare il sistema digitale godendone i benefici da subito e progressivamente sostituire i terminali secondo il budget disponibile. L'investimento può essere distribuito nel tempo al contrario del TETRA che richiede un passaggio totale e completo tra sistema e l'altro.

A causa dell'orografia italiana, è molto frequente che le reti radio analogiche utilizzino siti in quota non serviti da link a Mb/s. I link di collegamento tra i siti di una rete radio analogica sono spesso realizzati con apparati monocanale punto-punto in gamma UHF. Questi apparati permettono di collegare in modo continuativo e con buon margine di tratta siti che possono essere a decine di km di distanza, anche non in visibilità diretta. Una rete DMR può essere realizzata con la stessa configurazione e le stesse caratteristiche di collegamento, utilizzando dei ricetrasmittitori DMR al posto dei precedenti link analogici. Il sistema TETRA ha bisogno di collegamenti con bande elevate che normalmente devono essere realizzati in ponte radio in GHz. In parecchi siti attualmente in uso è molto problematico realizzare tale

collegamento in quanto manca la visibilità ottica richiesta. Abbandonare un sito implica la ricerca e l'attrezzamento di un nuovo sito con i costi associati.

La complessità ha un costo. Il DMR è molto simile all'analogico per cui è semplice da capire e da mantenere per il personale che ha già un'esperienza sulle radio analogiche. Il personale tecnico e la strumentazione possono essere tranquillamente ri-impiegati sui nuovi sistemi DMR con un investimento limitato. Questa possibilità, oltre a preservare i posti di lavoro, permette all'ente che adotta il DMR di "possedere" fino in fondo la propria risorsa di radiocomunicazione senza dover dipendere da altri, particolare non trascurabile per la "sicurezza" delle comunicazioni. Il sistema TETRA richiede invece una rivoluzione di pensiero, il personale tecnico dovrà affrontare concetti nuovi e difficilmente potrà essere veramente autonomo nella gestione e nella manutenzione della rete.

**⇒ Il personale tecnico già formato per operare sul sistema radio analogico è facilmente in grado di operare sul DMR. Il TETRA, data la complessità, richiede un "aiuto" significativo da acquistare esternamente alla propria struttura, innescando scomode problematiche sindacali**

## CONCLUSIONI

Il sistema TETRA è stato abbondantemente "indorato" per giustificarne la diffusione nel mercato. Essendo, fino a poco tempo fa, l'unico standard digitale effettivamente disponibile, ha potuto sfruttare la spinta innovativa verso il digitale senza troppo badare agli "effetti collaterali" del suo utilizzo (costi, consumi, riuso delle frequenze, complessità intrinseca, ...).

Il nuovo standard digitale DMR, pur essendo ancora in fase evolutiva, ha dimostrato le stesse potenzialità funzionali per l'utente (audio digitale cifrato, messaggi di testo, posizionamenti automatici con GPS, ...) ad una frazione del costo del TETRA. I terminali mobili DMR, nonostante i pochi produttori attuali, hanno costi allineati al TETRA e all'analogico di qualità. L'infrastruttura DMR ha invece un rapporto costo/prestazioni stupefacente rispetto al TETRA.

Infatti l'area di copertura di una base station TETRA (in sé più costosa di un DMR) varia tra metà e un terzo dell'area di copertura fornita da un sistema radio analogico o DMR. Il TETRA ha quindi bisogno di molti più siti a parità di area di copertura. Di conseguenza un sistema TETRA di medie dimensioni può costare da 3 a 5 volte e più un sistema DMR e implica dei costi di manutenzione (canoni, utenze, affitti,...) annua altrettanto onerosi.

Va considerato inoltre che la complessità del sistema TETRA pone l'utente che lo implementa in una condizione di forte dipendenza dal costruttore o installatore e lo costringe ad una sostituzione brusca del sistema radio in uso: i decantati vantaggi sono realmente tali da giustificare i sacrifici richiesti?

In ultima analisi il TETRA si può rivelare vantaggioso rispetto al DMR per reti ad elevata capacità e bassa area da coprire, per esempio in città o grandi agglomerati industriali. Se questo non è il caso del lettore si consiglia di prendere in considerazione anche una soluzione DMR per scegliere il sistema radio digitale che meglio soddisfa le proprie esigenze operative e di budget.