



7 luglio 2015

Scheda informativa TETRA

Terrestrial Trunked Radio

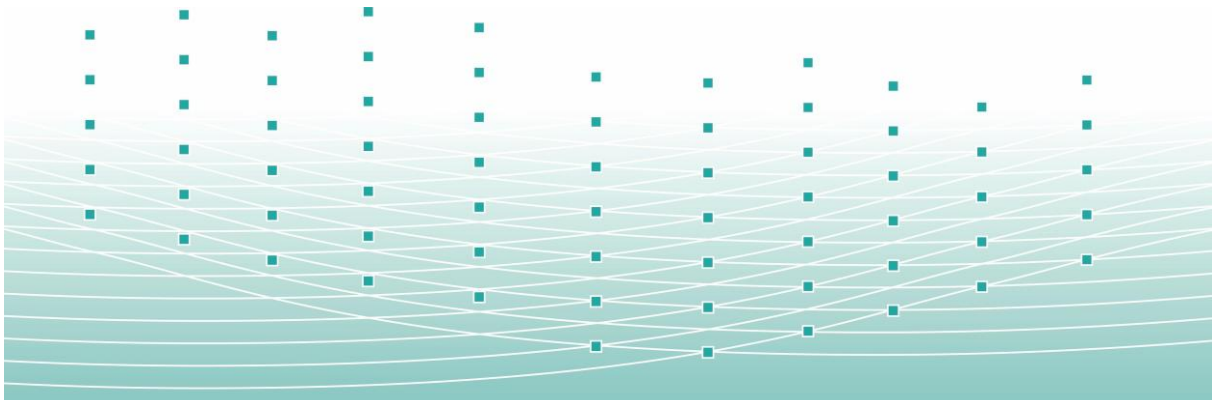
Sintesi

TETRA è un sistema di radiocomunicazione digitale ad accesso collettivo per la trasmissione vocale e di dati. I sistemi di radiocomunicazione ad accesso collettivo sono impiegati a scopo professionale in ambito privato e pubblico e per applicazioni radio di sicurezza. Lo standard TETRA è stato sviluppato dall'Istituto europeo delle norme di telecomunicazione ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) e pubblicato nel 1996. Da allora è stato costantemente rielaborato, sino a diventare ad oggi uno dei principali standard di radiocomunicazione a livello mondiale, garanzia di sicurezza e affidabilità nella comunicazione vocale e dati.

TETRA opera con il sistema TDMA (*Time Division Multiple Access*). Su un canale radio sono disponibili 4 canali fisici (intervalli di tempo). Nella sua versione originaria (release 1), TETRA consente velocità di trasmissione fino a $4 \times 7,2$ kBit/s con la modulazione di fase $\pi/4$ -DQPSK su un canale con ampiezza di banda di 25 kHz.

La versione 2 (sinteticamente definita TETRA 2) ha integrato dal 2006 un'ampia gamma di nuove funzionalità, come ad esempio TEDS (*TETRA Enhanced Data Service*). TEDS si basa su una tecnica adattiva multifrequenza, con 8 frequenze sottoportanti per ogni 25 kHz e su una modulazione lineare QAM. Grazie alle tecniche di modulazione avanzate e all'aggregazione di fino a 6 canali per ottenere un'ampiezza di banda di 150 kHz (48 sottoportanti in totale), TEDS permette di raggiungere velocità di trasmissione fino a 134 kBit/s per intervallo di tempo. Occupando 4 intervalli di tempo si possono raggiungere più di 500 kBit/s; il che fa di TETRA 2 un sistema a banda larga (*Wideband-System WB*).

TETRA 2, con TEDS, utilizza la stessa struttura TDMA adottata per la versione 1 ed è del tutto compatibile retroattivamente.



Indice

1	Introduzione	1
2	Tecnologia	2
2.1	TETRA versione 1 (TETRA 1).....	2
2.1.1	TETRA V+D.....	2
2.1.2	TETRA PDO	3
2.1.3	TETRA DMO.....	3
2.2	TETRA versione 2 (TETRA 2).....	4
2.2.1	<i>Range Extension</i>	4
2.2.2	<i>TETRA Enhanced Data Service (TEDS)</i>	4
3	Servizi	5
3.1	Teleservizi:	6
3.2	Servizi di supporto (servizi di trasmissione dati):	6
3.3	Servizi supplementari:	7
4	Sintesi e confronto con Tetrapol	7
	Abbreviazioni	9
	Bibliografia	9

1 Introduzione

TETRA è un sistema cellulare di radiocomunicazione digitale ad accesso collettivo per la trasmissione vocale e dati. I sistemi di radiocomunicazione digitale ad accesso collettivo sono moderni sistemi utilizzati per la radiocomunicazione a scopo professionale in ambito privato e pubblico e per applicazioni radio di sicurezza (PMR/PAMR)¹. Contrariamente ai vecchi sistemi analogici convenzionali a canale fisso (a ogni servizio e a ogni utente veniva attribuito in permanenza un determinato canale radio), con i sistemi di radiocomunicazione ad accesso collettivo le frequenze vengono attribuite in modo dinamico ai singoli utenti e servizi. Sfruttando le potenzialità del collegamento ad accesso collettivo è possibile aumentare l'efficienza dello spettro. Inoltre, l'utilizzo della tecnologia digitale ha permesso di aumentare considerevolmente la qualità e la sicurezza dei sistemi di radiocomunicazione.

I sistemi di radiocomunicazione ad accesso collettivo si differenziano dai sistemi di radiocomunicazione pubblici quali UMTS o LTE soprattutto per la velocità con cui stabiliscono i collegamenti, per la possibilità di effettuare chiamate di gruppo o chiamate verso numeri preferenziali, per la codificazione punto a punto e per la possibilità di collegare direttamente una stazione mobile a un'altra stazione mobile senza dover passare per la stazione di base (cosiddetto *direct mode*).

I potenziali utilizzatori dei sistemi di radiocomunicazione ad accesso collettivo sono i gruppi chiusi di utenti, quali i servizi di trasporto (taxi, FFS, imprese di trasporto, ecc.), gli aeroporti, le aziende che operano nel campo dell'energia e gli organi di sicurezza (ad es. polizia, pompieri, servizi sanitari, esercito, protezione civile, corpo delle guardie di frontiera, ecc.). Questi gruppi di utenti dispongono del proprio sistema privato di radiocomunicazione ad accesso collettivo oppure utilizzano i servizi di un esercente di sistemi di radiocomunicazione ad accesso collettivo.

Già nella seconda metà degli anni '80 si è iniziato a cercare soluzioni adatte per i sistemi digitali PMR. Questo passo era necessario per migliorare l'efficienza dello spettro e la sicurezza tecnica e facilitare la codificazione del collegamento. A quest'epoca alcune aziende hanno sviluppato i primi sistemi digitali PMR, tra cui ASTRO e iDEN (entrambi di Motorola), EDACS (Ericsson), SR 440 (Bosch/Ascom) e Tetrapol (Matra Communication/EADS).

Tuttavia la creazione di uno standard unico per i sistemi digitali PMR è stato avviato solo nel 1998, quando i fabbricanti, le amministrazioni e i gruppi di utenti hanno deciso di elaborare, nel quadro dell'ETSI, una norma comune, denominata TETRA. La pubblicazione dello standard risale al 1996. TETRA rappresenta uno degli standard più completi mai sviluppati dall'ETSI.

La versione 2 di TETRA (sinteticamente definita TETRA 2) ha integrato dal 2006 alcune nuove funzionalità importanti, come ad esempio TEDS (*TETRA Enhanced Data Service*). Grazie alle tecniche di modulazione avanzate e l'aggregazione di più canali (fino a 6) per canale di trasmissione con un'ampiezza di banda di 150 kHz, con TEDS è possibile raggiungere velocità di trasmissione fino a 134 kBit/s per intervallo di tempo; occupando 4 intervalli di tempo si possono raggiungere più di 500 kBit/s. In questo modo TETRA, da sistema a banda stretta, è divenuto un sistema a banda larga. Le prime reti compatibili con TEDS sono entrate in funzione a fine 2013.

Come nella maggior parte dei sistemi di radiocomunicazione mobile, anche nel caso di TETRA è impiegato il collegamento duplex (eccetto per il *direct mode*). L'uplink e il downlink avvengono su due frequenze diverse, separate tra loro dal cosiddetto intervallo duplex. La grandezza di quest'intervallo dipende dalla banda di frequenza nella quale viene utilizzato il sistema. I terminali di TETRA (come la

¹ Il mercato della radiocomunicazione mobile a scopo professionale è denominato PMR (*Private Mobile Radio*) oppure PAMR (*Public Access Mobile Radio*). Con PMR, il sistema di radiocomunicazione viene esercitato dall'utente stesso; con PAMR, invece, i servizi di radiocomunicazione ad accesso collettivo sono forniti da un operatore di rete indipendente. Di norma, gli esercenti PAMR offrono anche un accesso alla rete fissa.

maggior parte dei sistemi PMR) operano in generale in modalità semi-duplex, il che significa che non è possibile trasmettere e ricevere contemporaneamente. Per trasmettere è necessario schiacciare ogni volta l'apposito pulsante (*push-to-talk*).

2 Tecnologia

2.1 TETRA versione 1 (TETRA 1)

TETRA effettuava l'accesso ai canali mediante il sistema TDMA (*Time Division Multiple Access*) con quattro canali fisici (intervalli di tempo) o collegamenti utente all'interno di un unico canale di radiocomunicazione di 25 kHz ciascuno. Se occorre una grande capacità di trasmissione, un utente può occupare anche più di un intervallo di tempo (fino a quattro).

La procedura è illustrata dalla figura seguente. La linea più marcata mostra l'andamento della potenza di trasmissione dell'utente sull'intervallo di tempo 1.

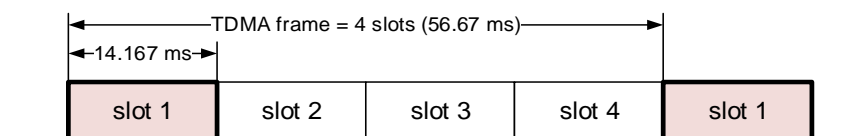


Figura 1: Struttura TDMA di TETRA

Le potenze di trasmissione degli apparecchi mobili vengono regolate costantemente dai comandi della stazione di base sul minimo necessario affinché quest'ultima possa ancora riconoscere i dati degli apparecchi mobili (*power control*). Con questa regolazione della potenza è possibile ridurre al minimo le interferenze e allungare al massimo la durata di vita della batteria dell'apparecchio mobile. Con TETRA non viene regolata la potenza di trasmissione della stazione di base.

Il sistema di modulazione utilizzato è il $\pi/4$ -DQPSK (*Differential Quaternary Phase Shift Keying*), un metodo di modulazione di fase differenziato su quattro valori. Le emissioni fuori banda indesiderate sono evitate applicando un filtro di modulazione. In questo modo le oscillazioni di ampiezza nel segnale di modulazione restano moderate, e richiedono un amplificatore di potenza lineare a rendimento tendenzialmente basso.

In linea di principio, TETRA può essere utilizzato su qualsiasi frequenza, ma preferibilmente al di sotto di 1 GHz. Nella prassi però sono impiegate solo le frequenze tipicamente attribuite a PMR nella banda dei 160 MHz e dei 400 MHz.

Le specifiche TETRA riguardano tre settori di applicazione completamente diversi tra loro, ossia:

- *Voice plus Data (V+D)*;
- *Packet Data Optimised (PDO)*;
- *Direct Mode Operation (DMO)*.

Per ognuna di queste applicazioni è stato sviluppato uno standard diverso, ma tutti basati sulla stessa piattaforma radio fisica (modulazione, spaziatura dei canali, procedura di accesso al canale, ecc.).

2.1.1 TETRA V+D

La specifica V+D (*Voice plus Data*) rappresenta lo standard TETRA più importante [1] e offre una vasta gamma di servizi di supporto (trasmissione dati), di teleservizi e di servizi supplementari per la trasmissione mista di voce e dati.

Il codificatore/decodificatore vocale (codec) di TETRA si basa sull'algoritmo CELP (*Code-Excited Linear Predictive*). La velocità del codec è di appena 4,6 kBit/s. Nonostante tali velocità di trasmissione siano circa un terzo di quelle del codec GSM, la qualità vocale dovrebbe essere equivalente [3]. La qualità vocale (MOS—*Mean Opinion Score*) del GSM è quasi 4, quella di TETRA è 3,6. Il MOS rappresenta una valutazione soggettiva della comprensibilità della lingua, il cui punteggio va da 1 (cattiva comprensione) a 5 (buona comprensione).

Le velocità di trasmissione di TETRA con modulazione $\pi/4$ -DQPSK per n intervalli di tempo occupati ($n = 1, 2, 3$ o 4) per diverse codifiche sono:

- $n \times 7,2$ kBit/s (trasmissione dati non protetta, BER = 2,5 %)
- $n \times 4,8$ kBit/s (trasmissione dati poco protetta, BER = 0,4 %)
- $n \times 2,4$ kBit/s (trasmissione dati altamente protetta, BER = 0,01 %)

Il tasso di errore sui bit (*bit error rate*, BER) indicato si riferisce alla sensibilità dinamica del ricevitore di TETRA in un dato ambiente.

Utilizzando insieme 4 intervalli di tempo per un collegamento, le velocità massime sono di 28,8 kBit/s, 19,2 kBit/s e 9,6 kBit/s. Una velocità tipica, raggiunta da TETRA in condizioni di esercizio reali, è di 16 kBit/s per canale radio (25 kHz). Questa capacità è eventualmente ripartita fra più utenti in una cella.

Diversi meccanismi consentono di trasmettere i dati con TETRA in piena sicurezza. Un prima misura di sicurezza è la codifica nell'interfaccia radio. Ciascun utente stabilisce individualmente la chiave di codifica della comunicazione con la stazione di base. In aggiunta è presente una codifica tra i due punti terminali, che effettua anche la cifratura dei dati tra la stazione di base e la centrale.

Lo standard V+D è stato considerevolmente ampliato nel corso del tempo (cfr. cap. 2.2).

2.1.2 TETRA PDO

Gli apparecchi conformi alle specifiche PDO (*Packet Data Optimised*) supportano solo servizi di trasmissione dati a commutazione di pacchetto. Dato che lo standard V+D (cfr. cap. 2.1.1) è più completo, essendo stato costantemente ampliato, e supporta anche i servizi a commutazione di pacchetto per la trasmissione vocale, lo standard PDO è divenuto obsoleto. L'ETSI non sviluppa più il PDO dal 1998 (*standstill*).

2.1.3 TETRA DMO

TETRA DMO (*Direct Mode Operation*) permette la comunicazione diretta da stazione mobile a stazione mobile, senza dover passare dalla stazione di base (*walkie-talkie*). In caso di permanenza in aree senza copertura o in caso di catastrofe, situazioni in cui si devono gestire picchi di traffico, continuano a funzionare soluzioni di comunicazione semplici. Questo tipo di applicazione può dunque essere utilizzato quando l'utente si trova al di fuori della zona di copertura.

Con il DMO è possibile solo il funzionamento in simplex. Le stazioni mobili che partecipano a una comunicazione lavorano sulla stessa frequenza. Con questa tecnica è possibile mantenere contemporaneamente su una frequenza fino a due collegamenti simplex indipendenti.

Altre due funzioni interessanti degli apparecchi che operano con DMO sono quella di ripetitore DMO e di gateway DMO:

- **Ripetitore DMO:** se le stazioni mobili DMO sono troppo distanti l'una dall'altra per poter stabilire un collegamento diretto, è comunque possibile effettuare la comunicazione tramite il ripetitore. Il ripetitore DMO è una stazione mobile appositamente equipaggiata, che si trova tra gli utilizzatori DMO e li collega fra di loro. In questo modo è possibile ampliare il raggio di azione del DMO, anche al di là dell'area servita da una stazione di base.

- **Gateway DMO:** una stazione mobile appositamente equipaggiata può essere impiegata come gateway. Un gateway DMO serve a collegare utenti DMO che si trovano al di fuori della zona di copertura di una stazione di base con quest'ultima. Ad esempio, per mezzo di un gateway DMO una squadra di soccorso, che sta operando all'interno di un grande edificio e i cui membri comunicano fra di loro in modalità DMO, può restare in contatto con gli altri utilizzatori della rete e con la centrale. La funzione di gateway DMO di solito è svolta da una stazione mobile speciale collocata in un veicolo, che si trova nelle vicinanze del suddetto edificio ed è collegata alla stazione di base.

2.2 TETRA versione 2 (TETRA 2)

Poiché i sistemi di radiocomunicazione mobile pubblici UMTS e LTE (i maggiori concorrenti dei sistemi PMR) evolvono rapidamente e permettono velocità di trasmissione sempre maggiori, anche TETRA ha dovuto adeguarsi per soddisfare le crescenti esigenze dei clienti PMR. Alla fine del 2005 l'ETSI ha pubblicato la versione 2 di TETRA (TETRA 2), che presenta tra l'altro due nuove importanti funzioni:

- *Range Extension;*
- *TETRA Enhanced Data Service (TEDS).*

Le due funzioni sono descritte nel dettaglio nei paragrafi seguenti.

TETRA 2 utilizza la stessa procedura di accesso al canale di TETRA 1 ed è del tutto compatibile retroattivamente.

2.2.1 *Range Extension*

Per effetto della struttura TDMA, la portata di TETRA 1 è limitata a 58 chilometri. Modificando gli intervalli di tempo in uplink e downlink, da una parte, e gli intervalli di sicurezza che li separano, dall'altra, con TETRA AGA (*Air-Ground-Air*) è stato possibile aumentare la portata fino a 83 km. Grazie ad AGA, gli utilizzatori che si trovano in volo in aereo possono comunicare tra di loro tramite una stazione di base a terra, una funzione che interessa soprattutto gli organi di sicurezza. AGA supporta i servizi V+D di TETRA 1, ma non TEDS.

2.2.2 *TETRA Enhanced Data Service (TEDS)*

Mentre i primi sistemi TETRA erano prevalentemente finalizzati alla comunicazione vocale, oggi giorno anche le applicazioni dati sono in costante crescita. Grazie a *TETRA Enhanced Data Service (TEDS)*, la principale innovazione apportata da TETRA 2, oltre alla modulazione di fase $\pi/8$ -D8PSK è stata integrata una robusta tecnica multifrequenza con frequenze sottoportanti QAM modulate.

Con la tecnica multifrequenza di TEDS sono inserite 8 sottoportanti per canale radio (25 kHz) con un intervallo di frequenza di 2,7 kHz. Il tasso di simbolo per i simboli QAM su queste sottoportanti è di 2,4 kSymbols/s. La tecnica multifrequenza assomiglia molto, nel principio che la governa, alla modalità OFDM impiegata ad esempio nella LTE o nella radiodiffusione digitale. A differenza dell'OFDM, nella tecnica multifrequenza i simboli sono filtrati nella banda di base, il che permette di ridurre le emissioni fuori banda indesiderate. La tecnica multifrequenza si rivela vantaggiosa soprattutto in condizioni di trasmissione difficili con molte riflessioni.

Le singole sottoportanti possono essere modulate nei modi seguenti:

- 4-QAM (per coprire i margini della cella);
- 16-QAM (per velocità di trasmissione dei bit moderate);
- 64-QAM (per velocità di trasmissione dei bit elevate in presenza di un segnale di buona qualità).

La tecnica multifrequenza con modulazione QAM origina forti oscillazioni di ampiezza, lievemente più accentuate di quelle della modulazione di fase di TETRA 1. Per questo con TEDS è necessario o impiegare amplificatori finali molto lineari e complessi o diminuire la potenza di trasmissione. La seconda misura comporta la riduzione del raggio massimo della cella per TETRA 2.

In più, con TEDS possono essere aggregati 2, 4 o 6 canali radio di 25 kHz ciascuno, mettendo così a disposizione per un unico collegamento ampiezze di banda del canale di 50 kHz, 100 kHz o 150 kHz.

In downlink con TEDS sono trasmessi 34 simboli QAM per intervallo di tempo (14,17 ms) e per sottoportante: ciò significa che con l'ampiezza di banda del canale massima di 150 kHz (48 sottoportanti) si raggiungono 1632 simboli QAM per intervallo di tempo. Le velocità di trasmissione del canale (da non confondere con la velocità di bit utilizzabile) con TEDS sono riportate nella tabella seguente:

Tabella 1: Velocità di trasmissione del canale con TEDS in downlink [kBits/s]

modulation type	channel bandwidth			
	25 kHz	50 kHz	100 kHz	150 kHz
	(8 subcarrier)	(16 subcarrier)	(32 subcarrier)	(48 subcarrier)
4-QAM (2 bits/symbol)	38.4	76.8	153.6	230.4
16-QAM (4 bits/symbol)	76.8	153.6	307.2	460.8
64-QAM (6 bits/symbol)	115.2	230.4	460.8	691.2

Una volta detratta la componente *overhead* del livello fisico (simboli di intestazione, di sincronizzazione e pilota), la ridondanza della codifica del canale e le intestazioni dei livelli di protocollo inferiori (MAC, LLC), la tecnica TEDS permette, con quattro intervalli di tempo, di raggiungere al massimo le seguenti velocità utilizzabili per la trasmissione dei pacchetti IP [2]:

Tabella 2: Velocità massime con TEDS in downlink con quattro intervalli di tempo [kBit/s]

modulation type and coding rate	channel bandwidth			
	25 kHz	50 kHz	100 kHz	150 kHz
$\pi/4$ -DQPSK ($r = 2/3$)	15			
$\pi/8$ -D8PSK ($r = 2/3$)	24			
4-QAM ($r = 1/2$)	10	26	55	86
16-QAM ($r = 1/2$)	20	51	110	173
64-QAM ($r = 1/2$)	30	77	164	259
64-QAM ($r = 2/3$)	40	103	219	345
64-QAM (uncoded)	60	154	329	518

In uplink le velocità corrispondenti sono inferiori all'incirca del 10%.

Con la protezione attiva dagli errori in condizioni di propagazione reali, tramite TEDS nella prassi è possibile raggiungere tipicamente una velocità di trasmissione di 80 kBit/s con un'ampiezza di banda del canale di 50 kHz e una di 250 kBit/s con un'ampiezza di banda del canale di 150 kHz. Questa capacità è eventualmente ripartita fra più utenti in una cella.

TEDS serve fondamentalmente a trasmettere i pacchetti di dati IP tramite l'interfaccia radio. Grazie all'adattamento dinamico dell'ampiezza di banda del canale e della modulazione alle mutevoli condizioni di propagazione si può assicurare il collegamento costante e affidabile di un apparecchio mobile via Intranet o Internet alla centrale.

3 Servizi

Per semplificare, si può dire che TETRA permette quasi tutto quello che è stato finora possibile con i sistemi PMR convenzionali, e in più molteplici soluzioni per la trasmissione dati, un servizio che acquista sempre più importanza.

Inoltre, la struttura flessibile del sistema e dell'interfaccia di TETRA presenta molte altre possibilità. Per offrire una panoramica generale si è proceduto ad una suddivisione in diversi gruppi di servizi, ossia i teleservizi, i servizi di supporto (ad es. trasmissione dati) e i servizi supplementari. Molti di questi servizi non sono (ancora) disponibili nei sistemi pubblici di radiocomunicazione mobile.

La seguente lista non è esaustiva e contiene solo una rosa dei servizi che possono essere offerti mediante TETRA.

3.1 Teleservizi:

- **Individual Call (chiamata individuale):** questo servizio corrisponde al collegamento mediante un sistema di radiocomunicazione mobile pubblico (GSM, UMTS, LTE). L'utente chiama un altro utente e viene collegato con quest'ultimo;
- **Group Call (chiamata di gruppo):** un determinato utente chiama un gruppo prestabilito. Ogni membro del gruppo può ascoltare e parlare con tutti. La chiamata di gruppo può essere imposta in modo tale che ogni singolo partecipante debba accettare o meno la comunicazione. La composizione del gruppo è flessibile, nel senso che possono essere aggiunti o esclusi dei partecipanti;
- **Direct Mode:** con il *direct mode* due o più stazioni mobili comunicano direttamente tra loro, senza l'intervento della stazione di base (*walkie-talkie*);
- **Broadcast Call:** si tratta di una comunicazione unidirezionale punto-multipunto in una determinata zona. La zona e gli utenti sono predefiniti. I singoli partecipanti non devono confermare la ricezione della chiamata e perciò chi chiama non può controllare chi ha ricevuto la chiamata o meno;
- **Emergency Call (chiamata d'emergenza):** con un tasto d'emergenza si può chiamare con la massima priorità un dispatcher o un gruppo di utenti predefinito;
- **Include Call:** questa funzione permette di chiamare e di far partecipare a una conversazione già in corso uno o più utenti supplementari;
- **Open Channel:** un gruppo di utenti può conversare su un determinato canale durante un certo lasso di tempo. All'interno del gruppo tutti sentono la conversazione e possono parteciparvi in qualsiasi momento. Per TETRA questo servizio non è espressamente standardizzato. Tuttavia, può essere installato mediante tutta una serie di servizi supplementari (ad es. *pre-emptive priority call* e *call retention*) (cfr. [4]).

3.2 Servizi di supporto (servizi di trasmissione dati):

- **Status Transmission:** permette di trasmettere messaggi predefiniti, molto brevi, dal dispatcher verso le stazioni mobili e viceversa oppure tra le stazioni mobili;
- **Short Data Service:** consente di inviare messaggi predefiniti a singoli utenti o a un gruppo;
- **Servizi di dati a commutazione di pacchetto (TETRA 1):**
 - trasmissione dati non protetta: $n \times 7,2 \text{ kBit/s}$ ($n = 1, 2, 3 \text{ o } 4$),
 - trasmissione dati protetta: $n \times 4,8 \text{ kBit/s}$ ($n = 1, 2, 3 \text{ o } 4$),
 - trasmissione dati a elevata protezione: $n \times 2,4 \text{ kBit/s}$ ($n = 1, 2, 3 \text{ o } 4$),

(n = numero degli intervalli di tempo occupati per un collegamento);

- **Servizi di trasmissione dati a commutazione di pacchetto:**
 - TCP/IP Access: questo importante servizio di trasmissione dati permette alle stazioni mobili di accedere a Internet o a server che supportano il protocollo TCP/IP. Con TEDS (cfr. cap. 2.2.2) la velocità di trasmissione con ampiezza di banda del canale di 50 kHz raggiunge tipicamente 80 kBit/s.

3.3 Servizi supplementari:

- **Discreet Listening:** una persona autorizzata può ascoltare il traffico delle radiocomunicazioni senza che i partecipanti alla conversazione se ne accorgano;
- **Ambience Listening:** questo servizio supplementare permette al dispatcher in caso di situazioni poco chiare e pericolose di captare le conversazioni all'interno di un veicolo senza farsi notare. Questo servizio è di primaria importanza per la polizia e gli altri servizi di sicurezza;
- **Priority Call (chiamata prioritaria):** questo servizio supplementare permette ad un utente di attribuire la priorità a una chiamata, che viene dunque stabilita prima di tutte le altre chiamate di priorità inferiore. Se non vi sono più risorse di rete a disposizione (ad es. tutti i canali sono occupati) è possibile liberare le risorse necessarie grazie alla cosiddetta chiamata prioritaria con prelazione (*pre-emptive priority call*). Di conseguenza, le comunicazioni di priorità inferiore vengono interrotte;
- **Late Entry:** questo servizio supplementare permette a un utente di inserirsi successivamente in una conversazione di gruppo, ad esempio se era occupato al momento della chiamata o se non aveva ancora acceso il suo apparecchio;

ecc.

4 Sintesi e confronto con Tetrapol

La seguente tabella riassume i dati tecnici più importanti dell'interfaccia radio di TETRA:

Tabella 3: Dati tecnici dell'interfaccia radio di TETRA

	TETRA 1		TETRA 2 (TEDS)	
access scheme	TDMA 4 physical channels/RF channel		TDMA 4 physical channels/RF channel	
channel bandwidth (CBW)	25 kHz		25 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 150 kHz	
duplex separation	10 MHz, 45 MHz		10 MHz, 45 MHz	
modulation class	phase modulation		Multi-Carrier filter-bank based QAM	
modulation type	$\pi/4$ -DQPSK		4-QAM, 16-QAM, 64-QAM	
peak-to-average power ratio (PAPR)	3.2 dB		up to 11 dB	
modulation rate	36 kbit/s		2'400 symbols/s/subcarrier	
max. user bit rate (1 timeslot)	<i>high protected:</i>	2.4 kbit/s	4-QAM, $r = 1/2$, CBW = 50 kHz:	6.5 kbit/s
	<i>low protected:</i>	4.8 kbit/s	16-QAM, $r = 1/2$, CBW = 50 kHz:	12.8 kbit/s
	<i>no protected:</i>	7.2 kbit/s	64-QAM, $r = 1/2$, CBW = 50 kHz:	19.3 kbit/s
max. user bit rate (4 timeslots)	<i>high protected:</i>	9.6 kbit/s	4-QAM, $r = 1/2$, CBW = 150 kHz:	86 kbit/s
	<i>low protected:</i>	19.2 kbit/s	16-QAM, $r = 1/2$, CBW = 150 kHz:	173 kbit/s
	<i>no protected:</i>	28.8 kbit/s	64-QAM, uncoded, CBW = 150 kHz:	518 kbit/s
typical user bit rate (4 timeslots)	16 kbit/s		CBW = 50 kHz:	80 kbit/s
			CBW = 150 kHz:	250 kbit/s
nominal transmit power user equipment	0.56 - 30 W (typically 1 W)		0.18 - 30 W (typically 1 W)	
transmit power base station	0.6 - 40 W (typically 25 W)		0.6 - 40 W (typically 10 W)	
cell range suburban (400 MHz) [2]	5.2 km		64-QAM, $r = 2/3$, CBW = 50 kHz:	2.4 km

Per il calcolo del raggio della cella nella tabella 3, per TEDS è stata impiegata sulla stazione mobile la stessa potenza di trasmissione di TETRA 1 (1 W). Tuttavia è possibile che, per effetto delle forti oscillazioni di ampiezza del segnale originate da TEDS, la potenza di trasmissione del segnale debba essere ridotta per mantenere le emissioni fuori banda entro i limiti.

TETRA e Tetrapol sono i sistemi per la radiocomunicazione digitale ad accesso collettivo più conosciuti in Europa che, nonostante la somiglianza del nome, si differenziano nettamente sotto diversi aspetti. Come descritto precedentemente, TETRA è stato sviluppato dall'Istituto europeo delle norme di telecomunicazione (ETSI) in collaborazione con l'industria. Tetrapol invece è una specifica proprietaria dell'azienda Matra Communication (oggi EADS) e non corrisponde ad alcuna norma europea né internazionale. Tetrapol è stato sviluppato soprattutto per le esigenze degli organi di sicurezza ed è ben affermato in questo segmento di mercato. La seguente tabella illustra sinteticamente alcuni vantaggi e svantaggi di TETRA confrontandoli con Tetrapol:

Tabella 4: Vantaggi e svantaggi di TETRA rispetto a Tetrapol

<i>Vantaggi di TETRA rispetto a Tetrapol</i>	<i>Svantaggi di TETRA rispetto a Tetrapol</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le velocità di trasmissione dati di TETRA sono chiaramente più elevate rispetto a Tetrapol (di 20 volte superiore con TEDS, 4 intervalli di tempo e un'ampiezza del canale di 50 kHz). ▪ Con TETRA è possibile trasmettere contemporaneamente voce e dati. ▪ Con TETRA il funzionamento in duplex è possibile senza multiplexer di combinazione, grazie al sistema d'accesso ai canali TDMA e dunque facile da realizzare. ▪ L'efficienza dello spettro di TETRA è più grande rispetto a quella di Tetrapol (a dipendenza dell'ambiente da 1,16 a 2 volte superiore). ▪ TETRA è uno standard europeo riconosciuto, Tetrapol, invece, non è accettato quale standard ETSI. ▪ TETRA è un sistema estremamente flessibile e può essere utilizzato per tutte le applicazioni PMR, sia per le radiocomunicazioni di sicurezza sia per i sistemi PMR/PAMR convenzionali. ▪ La rete di antenne necessaria alla stazione di base è meno onerosa, poiché grazie al TDMA (sistema a intervalli di tempo) vi sono a disposizione 4 canali per frequenza portante. ▪ Dalla versione 2 di TETRA (TEDS), grazie alla tecnica multifrequenza è possibile raggiungere, con un'ampiezza di banda di 150 kHz, velocità di trasmissione teoriche superiori a 500 kBit/s e velocità di trasmissione tipiche di 250 kBit/s; il che fa di TETRA un sistema a banda larga. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Il raggio massimo delle celle di TETRA è più piccolo del 30 per cento circa rispetto a quello di Tetrapol (a pari potenza di picco). Perciò TETRA necessita circa del doppio delle stazioni di base rispetto a Tetrapol per coprire una determinata zona. ▪ Con TETRA vi sono più emissioni fuori banda rispetto a Tetrapol. L'attribuzione della frequenza è più difficile. Per quanto possibile, è necessario attribuire blocchi di frequenze interi e non frequenze singole. ▪ Con TETRA è più difficile realizzare la radiocomunicazione sulla stessa lunghezza d'onda e occorrono terminali con potenti equalizzatori (<i>equalizer MS Class E</i>). ▪ Gli apparecchi muniti del sistema di accesso ai canali TDMA, trasmettono tendenzialmente con potenze di picco maggiori e possono provocare disturbi a bassa frequenza udibili negli apparecchi elettroacustici.

Abbreviazioni

BER	<i>Bit Error Rate</i> (tasso d'errore sui bit)
CBW	<i>Channel Bandwidth</i>
D8PSK	<i>Differential 8 Phase Shift Keying</i>
DL	<i>Downlink</i>
DMO	<i>Direct Mode Operation</i>
DQPSK	<i>Differential Quaternary Phase Shift Keying</i>
EIRP	<i>Equivalent Isotropically Radiated Power</i> (potenza di trasmissione irradiata)
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> (Istituto europeo delle norme di telecomunicazione)
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
LLC	<i>Logical Link Control</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
NB	<i>Narrowband</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
PAMR	<i>Public Access Mobile Radio</i>
PAPR	<i>Peak-to-Average Power Ratio</i>
PDO	<i>Packet Data Optimised</i>
PMR	<i>Private Mobile Radio</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TEDS	<i>TETRA Enhanced Data Service</i>
TETRA	<i>Terrestrial Trunked Radio</i>
UFCOM	Ufficio federale delle comunicazioni
UL	<i>Uplink</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
V+D	<i>Voice plus Data</i>
WB	<i>Wideband</i> (400 – 500 kBit/s)

Bibliografia

- [1] ETSI TS 100 392-2: *Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Parte 2: Air Interface (AI)*. (2013)
- [2] ETSI TR 102 580: *Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Release 2; Designer's Guide; TETRA High-Speed Data (HSD); TETRA Enhanced Data Service (TEDS)*. (2007)
- [3] Ketterling, Hans-Peter: *Introduction to Digital Professional Mobile Radio*, Boston. (2004)
- [4] ETR 120: *ETSI Technical Report; TETRA Voice plus Data (V + D); Open channel*. (1994)