

**LA RADIO PER L'ULTIMO MIGLIO**  
***La Qualità Trasmissiva Telefonica***

LUGI BONAVOGLIA

Questo lavoro dovrebbe andare sotto il nome dello CSELT per la notevole mole di informazioni datemi e la revisione di alcuni punti che avevo scritto senza tener conto degli ultimi sviluppi. Ringrazio tutti, in particolare Cesare Mossotto, per le costruttive critiche e l'importante aiuto.

## LA RADIO PER L'ULTIMO MIGLIO

### **Premessa**

#### **1- La radiopropagazione, il tipo di servizio e la qualità**

La qualità trasmissiva per il segnale telefonico nei radiocollegamenti è dominata come quella per qualsiasi altro segnale da numerosi fattori fra i quali molto importanti la propagazione e il tipo di servizio, in particolare se fra terminali fissi o mobili.

Nei collegamenti fissi la propagazione giuoca un ruolo importante, ma si riesce grazie alla conoscenza da parte del progettista delle sue caratteristiche nelle varie bande e delle immobili geometrie del collegamento, e alla disponibilità di elementi variabili nel progetto come il guadagno delle antenne, l'altezza delle torri, diversity etc. a ottenere qualità eccellenti; il tempo con forte peggioramento o addirittura con disservizio è molto ridotto; era ed è tuttora normale tenere questo tempo totale a valori inferiori allo 0,1 % di un intero anno (meno di qualche ora).

Nei collegamenti con e fra mobili interviene pesantemente la variabilità della geometria della tratta, cioè la differenza di copertura nella zona servita dovuta a una infinità di ragioni che vanno dagli ostacoli alle riflessioni; in diversi punti un mobile può anche trovare "buchi" di campo quasi nullo.

Queste considerazioni, tutte ben note, saranno da tenere ben presenti quando parleremo di GSM e DECT, che subiscono gli effetti descritti or ora ma reagiscono in modo diverso a causa delle diversità di concezione dei sistemi e delle volute prestazioni che sono molto differenti.

Il GSM per esempio è stato concepito anche per servizio dati e vuole funzionare anche su mobili veloci e su ampie zone coperte entrando anche nelle campagne e lungo le grandi strade; il DECT per ora è destinato alle sole zone cittadine con cellule molto piccole. Dei due sistemi nelle zone in cui entrambi ricevono un buon campo il DECT mostra una migliore qualità telefonica, ma occorre pensare, per esempio, che il GSM è destinato a sopportare in moto veloce frequenti "buchi" di campo, molto brevi, e per questo usa tecniche molto sofisticate che sono responsabili in buona parte del forte ritardo di trasmissione che insieme al pesante trattamento del segnale è poi causa di una riduzione di qualità telefonica anche nelle zone a forte campo.

Queste considerazioni vogliono evidenziare il fatto che la qualità trasmissiva per la telefonia è uno solo dei tanti fattori da tenere presenti nella discussione generale sulla radio per l'ultimo miglio.

2- Il metodo (antiquato) di valutazione della qualità telefonica, oggi in uso.

Fino ad una quindicina di anni fa, le reti dei gestori tradizionali usavano per la telefonia segnali analogici: era eccezionale l'impiego di trattamenti del segnale mirati alla riduzione dell'ingombro nella banda di frequenze.

Questo metodo di trasmissione consentiva l'utilizzazione multipla delle linee, ma nei nodi della

rete la commutazione richiedeva la demultiplicazione dei canali fino al segnale originario vocale, qualunque fosse il tipo di linea (fisica o radio) . Nelle centrali di commutazione la degradazione di qualità era piccola e per questo le raccomandazioni degli organismi internazionali (CCITT, CCIR e poi ITU etc. ) riguardavano molto la qualità da ottenere sulle linee e nei multiplex, ma erano ben rari gli studi e raccomandazioni relative a questo aspetto per i commutatori.

Nel caso di accesso radio per l'ultimo miglio, esamineremo i problemi per il servizio telefonico (fisso e mobile); circa l'accesso all'utente via satellite (VSAT e sistemi tipo IRIDIUM) non è possibile separare il contributo alla qualità dell'ultimo miglio dal resto e bisognerà fare un discorso globale su questi tipo di sistemi.

Ed ecco la ragione di questa premessa: i metodi di valutazione della qualità, esistenti oggi, sono nati quando la rete era tutta analogica e i principali nemici da combattere erano l'attenuazione e il rumore, nemici soprattutto della piena comprensibilità della parola. Oggi la rete è tutta numerica, salvo, ancora per qualche tempo i complessi di utente (telefono più rilegamento in coppia di rame) , con telefoni in genere di qualità molto buona: l'attenuazione da labbra ad orecchio è bassa e pressoché costante per qualunque collegamento; il rumore è quasi tutto dovuto alla rete ed è anch'esso molto basso (quasi impercettibile) e costante per tutti i collegamenti (cioè quello di quantizzazione e del fondo di un PCM a 64 kbit/s) .

Applicando a questi collegamenti telefonici i metodi di valutazione odierni, si arriva ad accertare che la percentuale di utenti soddisfatti è compresa fra l'80 e il 95 %, questo anche includendo l'effetto di qualche rumore additivo sulle code di utente e soprattutto la vecchiaia di qualche telefono. Un valore del genere è molto migliore di quelli che si avevano nelle vecchie reti analogiche: allora nei collegamenti fra e con i piccoli centri si scendeva a 40-50 % e anche meno. Quando la rete sarà tutta numerica compresi i telefoni e avremo portato il limite inferiore della banda fonica utile a 200 Hz, o meno, tutti i collegamenti avranno sensibilmente la stessa qualità (ottima), che misurata sempre con il metro di oggi significa più del 95 % di utenti soddisfatti.

A questo punto, però bisogna ben capire che cosa riguarda la soddisfazione dell'utente: riguarda la facilità di conversare con un altro utente, qualsiasi, senza difficoltà di comprensione: in particolare questo vecchio criterio si può adottare con successo anche su reti (per esempio quella italiana) con ritardi trasmissivi non oltre i 30~40 ms, ma ormai del tutto in PCM a 64 kbit/s, con buoni telefoni e senza speciali trattamenti del segnale. In sintesi si tratta di collegamenti telefonici con eco quasi sempre trascurabile e con risposta in banda utile pressoché piatta (come si ha in un PCM Standard Europeo) e con buone capsule, come nei moderni telefoni.

Oramai però l'avvento di nuovi apparati, sia terminali sia di linea, specialmente per la telefonia mobile, ha reso il metodo odierno di valutazione della qualità poco adatto a dare giudizi attendibili. Infatti questo metodo si basa sul calcolo della percentuale di utenti soddisfatti iniziando con l'effetto dei due parametri trasmissivi più importanti, cioè

a) **risposta** in frequenza del collegamento da bocca a orecchio (tramite l'IIS = Indice di Intensità Soggettiva espresso in dB del rapporto in pressione sonora) e

b) **rumore totale** presente all'orecchio dell'ascoltatore (dBmp al telefono in ricezione) .

Dopo il primo calcolo si introducono gli effetti di altri parametri trasmissivi come: riduzione della banda utile rispetto alla banda considerata ottima da 200 a 3400 Hz, eco, rumore di ambiente, distorsioni, etc.

Per non obbligare chi legge a cercare sui documenti ufficiali (piuttosto dispersi) quale sia il

procedimento di calcolo e la sua giustificazione, si è preparata una appendice che lo illustra sinteticamente: per convincersi che non è male darvi un'occhiata, basta riflettere sul fatto che uno dei cardini del calcolo (l'IIS) richiede la conoscenza della risposta in frequenza e questa non è così facile da definire nel caso di alcuni tipi di pesante trattamento del segnale, specialmente quelli basati su analisi e sintesi. Quanto al PCM a 64 kbit/s, invece, la curva di risposta in frequenza è ottenibile facilmente, pur con qualche precauzione, e inoltre sono disponibili oggi metodi che trasformano il livello del rumore di quantizzazione in quello di un rumore additivo di pari effetto fisiologico.

Dopo quanto detto finora, apparirà chiaro perché (per esempio) nel caso di trattamenti pesanti del segnale bisogna ricorrere ai giudizi soggettivi, campo nel quale oggi esiste il metodo consolidato ed efficiente, ma vecchio nei criteri, del MOS.

## ***La Qualità dei collegamenti odierni***

### **a) Accesso con cavo in rame a coppie**

Questa situazione è ben nota, ma sembra opportuno riassumerla in modo da tenerla presente come punto di riferimento al momento in cui si parlerà di accesso radio.

In Italia la rete di accesso, fra telefoni fissi e lo stadio di linea (SL) dell'autocommutatore urbano, è nella sua massima parte costituita da cavi sotterrati o aerei, in rame a coppie simmetriche. Questa rete fa largo uso della messa in parallelo di un certo numero di coppie che, a partire dal punto di parallelo, vanno a due (o più) armadi di utente. Questa pratica, usata da decenni, dava una buona flessibilità nei riguardi della distribuzione territoriale effettiva degli utenti rispetto alle previsioni; ma essa è stata fonte di qualche difficoltà, quando si è cercato di aumentare la capacità dei rilegamenti di abbonato con l'uso di sistemi a frequenze portanti o numerici. Si ricorda questo punto perché, come vedremo, nel caso di accesso radio, la flessibilità per servire un territorio si ottiene con tutta semplicità.

Tornando ai cavi, oggi si riesce con sistemi molto sofisticati, nonostante le difficoltà, a trasmettere, su un buon numero di coppie, flussi numerici fino a 56~64 kbit/s (modem fra utente e INTERNET) ma anche il flusso di 144 kbit/s dell'ISDN. Rinunciando alla piena bidirezionalità si ottengono anche flussi di qualche Mbit/s.

La rete oltre l'accesso (da un SL ad un altro SL) oggi è quasi completamente numerizzata con PCM a 64 kbit/s, e presto lo sarà del tutto. La qualità telefonica di cui parleremo in questo rapporto tiene sempre fisso il fatto che fra due SL esiste un circuito numerico a 4 fili, con equivalente a 1020 Hz (Piano Regolatore Nazionale) sul lato 2 fili pari a 7 dB; ovviamente questa situazione ci interessa nel caso di utenti normali, mentre per altri tipi di utenti, compresi quelli ISDN, il flusso numerico raggiunge il loro terminale. È inutile ricordare che la situazione descritta vale per ogni collegamento, qualunque sia il numero di transiti in autocommutatori numerici.

Vediamo quale sia la qualità trasmissiva da utente a utente usando il calcolo di cui abbiamo parlato.

L'IIS del circuito da SL a SL è pari a 8 dB (vedi appendice anche per quanto altro si dirà in seguito); il rumore in uscita dal tronco PCM può tenersi pari a -69 dBm0p che si abbassa a -77 dBmp sull'uscita 2 fili, verso l'utente; esso è quasi del tutto costituito dal rumore di fondo (additivo) con un piccolissimo contributo del rumore di quantizzazione (correlato).

Circa i valori dell'IIS dei complessi di utente sulla rete italiana una statistica è riportata nel

“Notiziario Tecnico TELECOM Italia” Agosto 94 e Luglio 95 nell’articolo *La qualità della trasmissione telefonica*. L’IIS in ricezione (valore medio) del complesso di utenze (linea più telefono) è oggi di poco negativo; il rumore anche dopo riportato a  $IIS_{ric} = 0$  rimane piccolo. Ma tenendo conto delle variazioni rispetto al valor medio e di un po’ di rumore raccattato sul rilegamento di abbonato, poniamo pessimisticamente il rumore totale pari a -65 dBmp. L’ $IIS_{tot}$  delle due code (linee più telefoni) ha oggi un valore medio di -3 dB il che porta l’IIS medio globale a circa 5 dB; il valore ottimo per un buon ascolto sarebbe intorno a 10 dB, ma esistono telefoni prodotti in passato secondo norme che premiavano l’efficienza specie in emissione; le norme e la relativa produzione stanno oggi cambiando. Questa considerazione andrebbe fatta in altra sede, ma è bene sapere come stanno le cose sulla rete attuale, che deve considerare anche l’esistenza di telefoni vecchi.

Eseguendo il calcolo di IQT (Indice di Qualità Trasmissiva) con i valori

$$IIS = 5 \text{ dB}; R = -65 \text{ dBmp} \quad \text{Si ha} \quad IQT(S/R) = 0,824$$

con l’attuale banda utile 300-3400 Hz il coefficiente  $K_{min} \times K_{max}$  vale 0,92

$$IQT \text{ finale} = 0,92 \times 0,824 = 0,76 \text{ soddisfatti} = 82 \%$$

Se si fosse riusciti a tenere IIS globale pari a 8,5 dB (che è il valore ottimo per il rumore considerato) e  $f_{min} = 200$  Hz si avrebbe  $IQT = 0,85$  e soddisfatti = 95%; quando la rete arriverà numerica all’utente e quindi a 4 fili, con telefoni a norma cioè

$$IIS \text{ emissione} = 8 \text{ dB e ricezione} = 2 \text{ dB}$$

si avrà

$$R = -69 \text{ dBm0p} - 2 = -71 \text{ dBmp} \quad IIS \text{ globale} = 10 \text{ dB}$$

$$\text{da cui} \quad IQT \text{ finale} = 0,907 \text{ soddisfatti} = \sim 98 \%$$

sempre che i costruttori abbiano capito che per i telefoni numerici non esistono difficoltà per portare la frequenza minima della banda utile a 150 - 200 Hz; purtroppo oggi non è così ed esistono ancora telefoni con valori e dispersioni tali che non è possibile rispettare la raccomandazione CCITT che chiede di tenere nel caso di complessi di utenze analogici il valore di IIS globale compreso fra 8 e 12 dB.

Quanto ora detto ci fa capire che non c’è solo il caso della rete di accesso radio da studiare ma anche quello della rete di accesso in cavo; altre considerazioni andrebbero fatte ma uscirebbero dal tema che stiamo trattando.

### **b) Accesso via radio**

La dizione "ultimo miglio" nel caso di accesso a mezzo radio non è più del tutto in linea con le possibilità offerte dalla radio come è nel caso di accesso con cavi: infatti il costo di una linea in cavo (compresa la posa e giunzione) cresce più o meno con la sua lunghezza; nel caso di radiocollegamenti questa dipendenza non è così stretta e servire una utenza in un raggio di un miglio o di sei non fa certo una gran differenza di costo, specialmente quando i telefoni da servire sono fissi.

Questo è un pregio da non dimenticare della radio perché consente nel caso di utenti fissi una notevole libertà di scelta nel posizionamento delle centrali con gli SL. Per l'ultimo miglio in cavo, invece, l'area attorno alla centrale va dimensionata in modo da minimizzare il costo della rete dei collegamenti di utente, più il costo delle centrali (che crescono di numero colla diminuzione del raggio di azione) più le giunzioni verso gli SGU. Ne deriva nel caso dell'accesso in cavo una tendenza netta a tenere corti i rilegamenti (che costano molto perché singoli) anche se questo aumenta il numero delle centrali SL estreme dalle quali partono giunzioni a basso costo.

Forse in futuro la situazione cambierà quando i cavi in fibra saranno usati anche nell'ultimo miglio, data la possibilità di usare, allora, sistemi punto-multipunto forse del tipo PON o anche del tipo ad anello).

Cominciamo ad esaminare per prima cosa il problema della rete di accesso radio per **telefoni fissi**; in zone ad alta densità esisterà una stazione radio base nell'autocommutatore con gli SL, dove, non dimentichiamolo, in Italia ormai arrivano sempre circuiti PCM a 64 kbit/s.

Il rapporto del Working Group TM4/2 dell'ETSI del 3-7 giugno 1996 "P-MP Radio Relay Systems 1-3 GHz in the access network", oltre a indicare una banda di frequenze utilizzabile, descrive i vari sistemi con un confronto peraltro solo teorico e forse da approfondire. Fra i sistemi esaminati sono gli accessi multipli del tipo TDMA, CDMA, FDMA. Quest'ultimo sembra da escludere per noi dato che la rete fra SL è tutta numerica. Sembra che anche negli altri paesi con forte sviluppo della rete numerica, salvo situazioni eccezionali, siano da considerare solo TDMA e CDMA.

Va tenuto presente che in zone a utenza molto dispersa su un vasto territorio potrà a volte convenire situare gli autocommutatori in pochi punti ben scelti e stabilire da essi collegamenti punto-punto con ponti radio fissi, in numero e capacità opportuni, verso centrali periferiche dotate di stazioni radio-base del tipo punto-multipunto. I ponti fissi sono ben noti e non vale la pena di soffermarsi su loro.

In definitiva il problema nuovo è quello dei sistemi radio punto-multipunto. Si trovano, come nel documento ETSI citato proposte e confronti fra apparati, ma non si sa molto circa le risultanze pratiche dei paesi che li hanno adottati in effetti. Si sa che in zone della ex Germania Est si è fatto molto usando come fissi telefoni GSM con alcune prestazioni escluse. Nel lavoro di Moncalvo in questa stessa raccolta si trova una notevole rassegna della situazione generale in vari paesi.

Forse l'analisi sommaria qui fatta del modo di realizzare l'accesso è stata troppo lunga, dato che ci interessa la qualità del collegamento: è chiaro che, se le stazioni radio base sono ben piazzate e se la propagazione nella banda prescelta (sono proposte anche bande molto alte oltre i 10 GHz) è adatta alla situazione territoriale dell'utenza, la qualità della soluzione radio è analoga, se non leggermente migliore in media della soluzione con cavi in rame. Infatti si arriva al telefono con un circuito PCM Standard a 4 fili, anziché a frequenza vocale, con un IIS dominato dal codec che sarà incluso nel telefono. Ovviamente si sceglierà l'IIS suggerito dal vecchio CCITT nel punto di ottima qualità; sarà anche un po' più facile fare il telefono a viva voce; il corrispondente, se connesso con cavo in rame normale, avrà il piacere, importante se è distante, di non avvertire l'eco; il rumore per entrambi gli utenti sarà minore; da tener presente che se per ragione di una buona utilizzazione della banda radio si utilizza un sistema a ritmo di bit ridotto si possono ottenere quasi gli stessi risultati di qualità.

In quest'ultimo caso sembra però necessario dal punto di vista della qualità non eccedere nella entità della riduzione se si vuole che la conversazione oltreché intelligibile sia anche naturale e gradevole, cosa che sembra giusta in presenza di tanto progresso tecnico; certo la qualità trasmissiva ha, e lo ha sempre avuto un costo. Il sistema ADPCM a 32 kbit/s si presta, per esempio a un forte miglioramento dell'ingombro di banda, con un conseguente maggior numero di utenti serviti a parità di banda; a questo vantaggio si contrappone un esiguo peggioramento della qualità. Il sistema ADPCM presenta infatti un  $Q$  di circa 27 dB al quale corrisponde un rumore additivo equivalente (vedi appendice) pari a

$$R_{\text{add}} = -3 - \text{IIS} - 2, 2 Q = -72, 4 \text{ dBmp in ricezione}$$

con IIS = 10 dB (totale)

Questo rumore, aggiunto al fondo del codec è dello stesso ordine di grandezza del codec PCM Standard, e lo prendiamo pari a -65 dBm0p (pessimistico), cioè -75 dBmp; va tenuto conto anche del rumore del rilegamento in cavo lontano diminuito dell'attenuazione della forchetta lontana e dell'IIS del tronco a 4 fili (da forchetta a codec vicino), rumore che terremo, in congruenza con quanto fatto in precedenza nel caso di accesso in cavo, pari a  $-65 - (\text{IIS} - 3) - 3 = -75 \text{ dBmp}$ .

La somma di tutti questi rumori porta a circa -69 dBmp; così si può calcolare l'IQT del collegamento che vale 0,886.

Nel caso di accesso con rete in coppie di rame avevamo trovato  $\text{IQT}(\text{S/R}) = 0,824$  e quindi possiamo fermarci. È chiaro che il miglioramento trovato non è grandissimo ma è consistente e si spiega con l'assenza, nel calcolo, del rumore nella tratta radio che è immediatamente vicino al telefono; infatti se questo rumore diviene forte per fading, o altro, il suo effetto è solo quello di produrre errori nel flusso di bit e questi nel caso di PCM a 64 kbit/s sono non avvertiti fino a valori di incidenza di circa  $10^{-4}$  e tollerabili fino a  $10^{-3}$ ; questa stima è ampiamente accertata per PCM a 64 kbit/s purché il livello del parlatore non salga oltre -10 dBm0 circa, valore per cui è già apprezzabile il rumore dovuto alla tosatura delle creste sonore; nel caso di ADPCM gli errori dovuti a cattiva propagazione dovrebbero essere tollerabili fino a valori dello stesso ordine di grandezza, ma non sono riuscito a trovare dati sicuri. Questo mi sembra un problema da approfondire con dati sperimentali; inoltre va detto che per collegamenti fissi in genere corti si possono prendere tutte le precauzioni contro difficoltà di propagazione eventualmente servendo zone in difficoltà con un supplemento di direttività nelle antenne.

La propagazione è un punto che in sede di progetto va studiato bene in relazione alle tratte presenti e frequenze da usare, a scanso di guai; anche per questa ragione sarebbe opportuno non scendere troppo col ritmo di bit; l'ADPCM, ad esempio, essendo del tipo con buona conservazione della forma d'onda resiste bene agli errori di trasmissione a bassi BER e presenta anche il vantaggio di una buona riconoscibilità di chi parla e di una ottima naturalezza e gradevolezza della voce.

Per concludere, l'esame della rete di accesso fissa via radio mostra che non esistono, dal punto di vista della qualità telefonica, ragioni per opporsi ad essa, anzi la sua introduzione comporta un certo miglioramento; resta forse da studiare un po' meglio come proteggersi da perdite di sincronismo dovute a fading profondi. Se poi la rete di accesso fosse radio da entrambi i lati del circuito si arriverebbe ad un sistema tutto numerico con telefoni numerici, sistema a 4 fili, senza eco etc. insomma con tutti i vantaggi che conosciamo.

A questo punto passiamo a esaminare la qualità della rete d'accesso radio nel caso di

## telefoni mobili.

In questo campo sono o si stanno diffondendo in maniera veloce diversi sistemi, ma due sembrano i più rappresentativi: il sistema GSM e quello DECT nelle sue varie versioni, alcune note con altro nome.

Cominciamo dal **Sistema GSM**: il suo studio iniziò molti anni fa sotto l'etichetta Group Special Mobil (GSM). L'obiettivo era di avere una buona utilizzazione dello spettro di frequenze (che era molto esiguo) e buona qualità anche con un mobile in moto veloce. Subito si pensò allo studio di una forte riduzione della banda occupata giungendo a 13 kbit/s, e questo fu ottenuto grazie alla collaborazione dei migliori laboratori; ognuno di essi studiò un tipo e dal loro confronto si arrivò alla scelta finale. Questa fu per un codec RPE-LTP (Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction) ; nel sistema fu incluso un rivelatore di attività vocale che permette una emissione in antenna discontinua per risparmio di energia nel telefono mobile. Il sistema è sensibile agli errori di linea che nel caso di mobile veloce arrivano a raffiche ravvicinate. È stato perciò necessario prevedere un metodo per sparpagliare gli errori nel tempo provvedendo a suddividere il flusso di bit, divenuto 22,8 kbit/s dopo il codec di canale, in otto spezzoni sfalsati nel tempo.

Il risultato è stato buono ma il ritardo complessivo (emissione + ricezione) è divenuto 80 ~ 90 ms; il ritardo d'eco è quindi 160 ~ 180 ms ed è stato giocoforza inserire un cancellatore d'eco. Va considerato che la portante radio di una stazione base porta 8 canali ed è modulata da un flusso di 270,83 kbit/s; ogni canale partecipa quindi per  $270,83/8=33,85$  kbit/s; va ancora detto che il flusso a 13 kbit/s è usato solo fra mobile e stazione radio base, dove questo flusso viene portato a quello di rete pari a 64 kbit/s. Il MOS misurato soggettivamente, sugli apparati, cioè senza gli effetti della radiopropagazione e con prove di solo ascolto è risultato variare fra 2 e 3,8 a secondo delle condizioni del canale. Non ho ancora conoscenza di misure di MOS su un collegamento radio in servizio sulla sola tratta a 13 kbit/s.

Anche i soppressori di eco, se non perfettamente funzionanti, sono fonti di distorsioni e clipping; si ha anche notizia che oltre all'eco elettrica, su alcuni tipi di terminali mobili GSM si ha un'eco dovuta all'accoppiamento acustico tra il ricevitore e il microfono. Infine va tenuto in debito conto che il BER derivante dalle condizioni della tratta radio, continuamente variabile, ha un effetto negativo sulla qualità con rumori non stazionari come impulsi, scrosci e altri degradi, cioè interruzioni (macro o micro) e distorsioni il cui effetto sulla conversazione non è di facile valutazione.

Da tutto questo deriva la difficoltà di poter definire la qualità del GSM, sulla tratta radio; misure ufficiali, condotte con prove soggettive e un'ampia statistica, darebbero un giudizio attendibile.

Questo tipo di misure andrebbero condotte, come già si è detto nella premessa, inserendo nei giudizi non solo la comprensione ma anche la capacità di ben riconoscere chi parla e la gradevolezza della riproduzione della voce; su tutto influirà il ritardo trasmissivo che anche in presenza di una perfetta cancellazione dell'eco introduce, se forte, difficoltà nella conversazione, di carattere soprattutto psicologico.

La presente considerazione vale non solo per il giudizio di qualità sul GSM ma ha una portata del tutto generale.

Tornando alla qualità del GSM, quando si dovesse parlare fra due telefoni GSM la situazione dal punto di vista del ritardo diviene molto peggiore anche senza tener conto dei ritardi sulla rete generale.

Per questo si ricorda che l'ITU/T (ex CCITT) nella Racc. G114 classifica l'effetto dei ritardi di trasmissione così:

campo 0 ÷ 150 ms

Occorre ridurre l'eco. Nella G 131 si danno indicazioni circa il campo 0-25 nel quale in genere non si richiedono provvedimenti.

campo 150 ÷ 400

Anche con eco eliminato rimane l'effetto psicologico del ritardo alla risposta

campo > 400

La conversazione diviene frammentaria (disruption of conversational flow). Collegamenti siffatti vanno evitati.

Orbene la conversazione fra due telefoni GSM cade nel campo 150÷400 ms e non è ben giudicata. Per questa e anche altre ragioni un gruppo di esperti in seno al gruppo GSM (Helsinki-Parigi) ha esaminato questo problema insieme ai seguenti altri: dipendenza della qualità dalla voce di chi parla e scarsa riconoscibilità del parlatore. Lo scopo di questo gruppo è di ottenere una codifica a 13 kbit/s migliore (enhanced) di quella esistente; uno Standard EFR (Enhanced Full Rate) a 12,2 kbit/s è già in servizio in USA e sembra che fra poco sarà usato anche in Italia.

Abbiamo così esaminato la qualità del GSM e abbiamo visto che essa riduce alquanto la qualità molto buona che si avrebbe su un collegamento fra la stazione radio di centro cellula e un telefono della rete fissa; infatti mentre la % di soddisfatti sulla rete fissa va attorno al 90% e oltre, mentre sulla tratta mobile-centro cellula è presumibile che si otterrebbero valori alquanto più bassi, in base alle misure esistenti di MOS anche se condotte con la vecchia metodologia. È ovvio che questo degrado peraltro non eccessivo è il prezzo che si paga per la mobilità. La valutazione scenderebbe ancora se, come sarebbe bene, si arrivasse a misure di MOS anche in base alla naturalezza e gradevolezza della voce. Segni di questa tendenza si trovano negli studi del gruppo XII dell'ITU/T, che sta studiando una scala di "pleasantness" della voce sintetizzata da macchine, scala che si potrà applicare anche alla riproduzione più o meno buona della voce naturale dopo un trattamento del segnale.

Prima di concludere sul GSM è importante notare che, sia con la codifica attuale, sia con la EFR, sta per arrivare un notevole miglioramento nella conversazione fra due telefoni GSM. Tenendo conto dell'alto grado di intelligenza esistente nelle centrali fisse, quando il sistema si accorge che una chiamata da utente GSM è diretta a un altro GSM invia alle centrali interessate l'ordine di eliminare le transcodifiche GSM - PCM a 64 kbit/s e viceversa; il segnale a 13 kbit/s transita sull'intera rete e così si ottiene un circuito a 4 fili fra i due telefoni con una sola codifica GSM. Si riottiene perciò la stessa qualità di un collegamento GSM-utente fisso, forse anche leggermente migliore, dati i pregi del 4 fili.

Questa prestazione richiede ovviamente ulteriori sviluppi nel software e forse anche nella segnalazione; analoghi sviluppi saranno necessari anche per consentire il colloquio fra un utente GSM standard e un EFR o addirittura, in prospettiva, un telefono Half Rate. La possibilità di "roaming" sembra che sarà mantenuta dotando sempre i terminali come seconda scelta del codec classico.

Analogamente gli autocommutatori dovranno essere sempre in grado di interfacciarsi con il codec classico, al fine di consentire l'uso di terminali meno recenti.

Possiamo ora passare all'esame di quanto accade nel **sistema DECT**. Sotto questo nome va un sistema che è partito alla lontana dai telefoni cordless, fino ad arrivare a un importante sistema di telefonia mobile numerica; questo sistema è codificato internazionalmente e prende il nome di Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) .

Ci occuperemo del sistema descritto in tre articoli da Pellegrini, Dionisi, Loriga ed altri sul numero di dicembre 1996 del " NOTIZIARIO TECNICO TELECOM ITALIA "; va subito detto che la descrizione è esauriente e ben fatta e ad essa rimandiamo per quanto riguarda la costituzione degli impianti e la loro funzionalità. Si trova negli articoli anche una relazione sulle

misure fatte durante le prove in campo e sull'indagine fatta presso gli utenti (amici) circa la qualità delle conversazioni. Sulle misure e su l'indagine di qualità riferiremo qui di seguito.

Il sistema usato da Telecom Italia lavora nella banda vicino a 1900 MHz; la stazione radio emette una portante modulata da canali codificati ADPCM a 32 kbit/s; gli apparati radio base sono molto snelli e facilmente installabili e quindi anche spostabili con una certa facilità in accordo con le situazioni di propagazione e le necessità delle coperture.

Le prime prove sono state fatte a Torino e sono servite a mettere a punto i metodi generali di progetto e il calcolo delle coperture. Dopo l'esperienza di Torino si è proceduto ad avviare un servizio con utenza amica nelle due città di Reggio Emilia e Brindisi. I risultati ottenuti sono da considerarsi buoni e ricorderemo sinteticamente le misure fatte in campo e poi la qualità definita dagli utenti.

È bene osservare che la codifica ADPCM comporta ritardi di elaborazione molto esigui, tali da non ingenerare problemi di eco; sono ovviamente presenti anche tutti i vantaggi dovuti alla connessione completamente a 4 fili fino all'utente mobile. Quanto alla sensibilità agli errori dell'ADPCM non vi è negli articoli un riferimento preciso al rumore che si origina nel canale vocale in funzione del BER; sono riportate misure in campo (effettuate a Torino e poi nelle altre due città) che sono legate alla qualità trasmisiva. Non è però possibile da esse chiarire del tutto quale sia la sensibilità dell'ADPCM al BER nei riguardi della qualità, di cui abbiamo in precedenza parlato, salvo il fatto che a BER molto alti si ha un degrado di cui faremo cenno più avanti.

Vediamo per prima cosa le misure effettuate con qualche piccola considerazione. Esse sono:

a) il BER in servizio nel senso terminale verso stazione radio; il BER è stato misurato negli intervalli temporali portanti informazione (segnalazione, fonia o dati) ; sono esclusi dal rilievo i periodi in cui si è perduto il sincronismo. Per questo nel segnale vengono costituiti blocchi di 480 bit, che riuniscono: 1) un campo di sincronismo (32 bit), 2) un campo (388 bit) di segnalazione più fonia o dati, 3) un terzo campo (60 bit) che costituisce un tempo di guardia

b) %, su un minuto, degli intervalli temporali con presenza di errori in un particolare codice (chiamato CRC) inserito a questo scopo nel campo della segnalazione.

c) %, su un minuto, degli intervalli temporali con perdita di sincronismo.

Le misure sono state effettuate con terminale mobile in varie posizioni, in vari momenti, ed anche con terminale tenuto da una persona che conversava in moto (ritengo moto lento) . La massa dei dati è notevole e da essa e da altri dati sono stati desunti tre diagrammi riportati nel lavoro:

1) BER in funzione della potenza radio ricevuta.

Per ottenere questo diagramma deve essere stato misurato sotto a) contemporaneamente al BER anche il livello di potenza in arrivo alla stazione radio. È da notare che il diagramma delle singole misure è molto disperso; in diversi casi con lo stesso livello in arrivo si hanno valori di BER che differiscono per più di un paio di decadi (10<sup>-3</sup> circa e 10<sup>-5</sup> circa) . È chiara l'influenza dei percorsi multipli particolarmente numerosi e intensi in area urbana.

2) rapporto fra intervalli temporali non sincroni e quelli ricevuti correttamente, in funzione del BER.

3) rapporto analogo per gli intervalli che presentano errori nel codice CRC.

Anche i diagrammi 2) e 3) presentano forti dispersioni; non è così possibile dedurre in unione con 1) il rumore presente nel canale fonico, tanto più che in presenza di numerosi errori e/o perdite di sincronismo si è introdotto il "muting". I forti disturbi si traducono perciò in interruzioni più o meno brevi della fonia, e se molto vicini generano un crepitio nella voce e anche nel silenzio.

In questa situazione assumono molto valore i risultati della indagine svolta presso gli utenti ai quali è stato chiesto un giudizio sulla qualità; giudizio codificato nei seguenti:

QUALITÀ Ottima Buona Sufficiente Scadente

La % di giudizi Ottimo e Buono assomma al 90% (Ottimo=52 e Buono = 28) nell'impiego casalingo

La % di giudizi Ottimo e Buono assomma a 88% (Ottimo=18 e Buono = 70) nell'impiego esterno.

Il numero di chiamate esaminate è stato pari a 2000

Il risultato generale è quindi molto buono e appare dello stesso ordine di grandezza di quello che si ottiene sulla rete fissa; vanno fatte però due considerazioni :

la scelta richiesta fra i giudizi è stata fra 4 anziché fra 5 come è stato in uso da parte del CCITT e poi ITU/T; anche l'indice TQI (Transmission Quality Index) è basato su 5 diversi giudizi e non 4. Le % trovate nell'attuale inchiesta andrebbero quindi, forse, un po' ridotte. Inoltre va tenuto presente che il diagramma CCITT che lega le % dei diversi giudizi al MOS è stato ampiamente collaudato nel tempo da tantissime le prove; in esso a pari percentuale totale di Ottimo + Buono, il rapporto fra le % dei due giudizi resta lo stesso; ciò non avviene nel caso nostro e la cosa andrebbe esaminata più in dettaglio.

Quanto al punto, molto importante per la qualità, del ritardo di trasmissione va ricordato che nella descrizione del sistema già citata si dice che esiste una trama per il TDMA/TDD di 10 ms, e questo porta a un ritardo globale intorno ai 20 ms, pienamente tollerabile in ambito cittadino.

In definitiva si può affermare con tranquillità che la sperimentazione del DECT-TELECOM ITALIA ha dato risultati molto soddisfacenti, nel secondo periodo delle prove, dopo che il numero di stazioni radio per kmq era stato portato a un valore del 10 % più alto che in precedenza. Sarebbe molto interessante confrontare i risultati dei due periodi.

Riassumendo, si può dire che la qualità è risultata buona (paragonabile a quella della rete fissa) nelle zone a buona copertura, mentre ha presentato disturbi fastidiosi nelle zone con basso livello di campo radio. Il fatto è anche correlabile a difficoltà di gestione degli handover nel terminale. I disturbi riscontrati con più frequenza sono stati spezzettamento della voce e rumore impulsivo.

È però ovvio che anche dopo un buon progetto relativo ad una specifica area cittadina, qualche perfezionamento vada apportato alla fine dell'installazione, dopo le prime misure di qualità; cosa non difficile data la snellezza degli apparati delle radio-basi. Anche la nascita di nuovi

edifici dopo l'impianto del sistema, specialmente se grandi, comporterà qualche variante e aggiustamento. L'impianto cioè, come sempre, andrà seguito e anche aggiornato.

\* \* \*

Oltre ogni positiva considerazione sulla economia e velocità di impianto, sembra di poter dire che la radio per l'ultimo miglio è in grado di fornire collegamenti telefonici di qualità paragonabile alla rete fissa nel caso di ultimo miglio verso telefoni fissi: anzi si può ottenere in anticipo il miglioramento dovuto alla realizzazione sulle code di utente di un collegamento numerico rispetto agli attuali rilegamenti analogici in rame.

Qualche difficoltà oggi esistente per i collegamenti con e fra mobili si attenuerebbe se si eliminasse la pressante necessità di avere la minima occupazione di banda da parte di un circuito telefonico; una maggiore disponibilità di banda radio (esistono bande ormai non usate dato l'abbandono del mezzo radio nelle grandi dorsali) darà ai progettisti maggior respiro per ottenere i miglioramenti di qualità che qualche sistema richiede.

Tutto quanto detto finora riguarda un paese fittamente popolato e con alta densità telefonica al momento attuale come l'Italia. Nel caso di paesi a bassa densità telefonica ma in via di sviluppo, la radio per l'ultimo miglio sembra da preferire certamente; lo stesso ragionamento vale nelle zone a popolazione dispersa anche se già sviluppati telefonicamente. Sarebbe anche da esaminare a fondo la convenienza della radio nell'ultimo miglio per il caso di espansione del servizio telefonico fisso in zone sature laddove esista l'impossibilità della posa di nuovi portanti fisici, come zone centrali di metropoli e simili.