

## Le reti telefoniche

Gruppo Reti TLC  
carlo@carlomezetic.net  
<http://www.carlomezetic.net/>

LE RETI TELEFONICHE - 1

## Reti telefoniche

- Codifica della voce
- Telefonia fissa tradizionale
- Segnalazione a canale comune (SS7)
- Reti cellulari

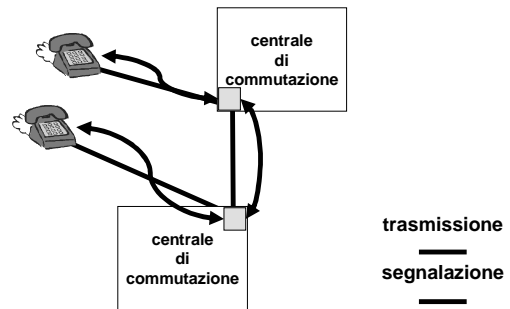
LE RETI TELEFONICHE - 2

## Una rete telefonica ...

- ... è composta di terminali, sistemi trasmissivi, di commutazione e di segnalazione e controllo
- ... è finalizzata alla trasmissione vocale (terminali specifici, orientata al circuito punto-punto)
- ... è organizzata in modo gerarchico
- ... è una collezione di reti di operatori diversi

LE RETI TELEFONICHE - 3

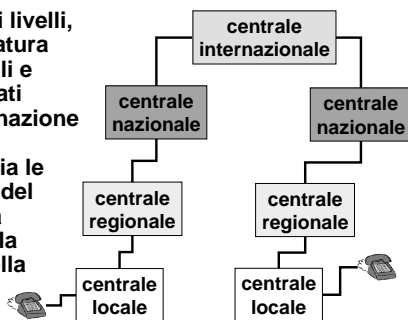
## Una rete telefonica...



LE RETI TELEFONICHE - 4

## Organizzazione gerarchica

Il numero di livelli, la nomenclatura delle centrali e degli apparati variano da nazione a nazione. Riflettono sia le dimensioni del paese sia la "storia" della telefonia nella nazione



LE RETI TELEFONICHE - 5

## Il telefono analogico

- Come è fatto un telefono
- Trasmissione tra utente e centrale

LE RETI TELEFONICHE - 6

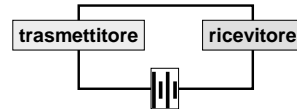
## Il telefono di Bell

- Fino alla metà degli anni '60 il "telefono" è rimasto sostanzialmente uguale all'invenzione di Bell, ancora oggi i telefoni analogici sono sostanzialmente uguali
- Alexander Graham Bell depositò il brevetto il 14 febbraio 1876 ... qualche ora prima di Elisha Gray ... mentre in Italia Meucci sperimentava un sistema analogo
- Il 10 marzo 1876 Bell presenta il primo telefono funzionante

LE RETI TELEFONICHE - 7

## Il telefono di Bell

- Consiste di un microfono detto **trasmettitore** e un altoparlante detto **ricevitore** collegati da un circuito elettrico con una batteria in serie
- Il trasmettitore è una resistenza variabile
- Il ricevitore vibra al variare della corrente



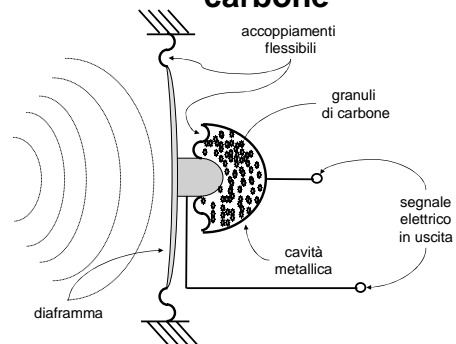
LE RETI TELEFONICHE - 8

## Il trasmettitore a grani di carbone

- Nel 1878 viene inventato il microfono a granuli di carbone... con qualche miglioria è in uso ancora oggi
- I granuli di carbone, inseriti in una cavità metallica chiusa da un diaframma, forniscono molti percorsi elettrici possibili
- Il diaframma vibrando fa variare il numero di possibili percorsi e quindi la corrente

LE RETI TELEFONICHE - 9

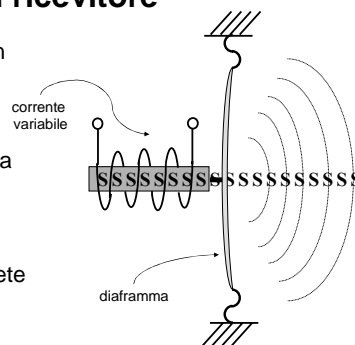
## Il trasmettitore a grani di carbone



LE RETI TELEFONICHE - 10

## Il ricevitore

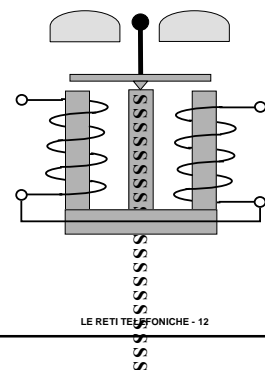
- Il ricevitore è un altoparlante basato su un elettromagnete collegato ad una membrana
- Il segnale in ingresso fa vibrare il magnete permanente



LE RETI TELEFONICHE - 11

## Lo "squillo"

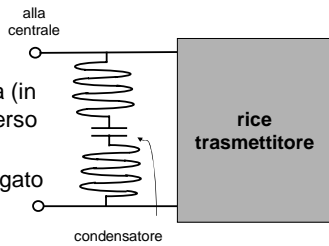
- E' pilotato direttamente dalla centrale con un segnale sinusoidale
- Due avvolgimenti in controfase su un nucleo di ferrite fanno vibrare un martello sui campanelli (il magnete permanente amplifica l'effetto)



LE RETI TELEFONICHE - 12

### Lo "squillo"

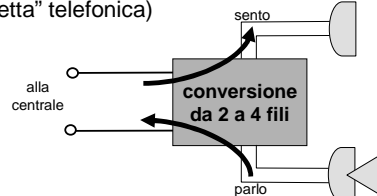
- Gli avvolgimenti sono in serie
- Un condensatore impedisce che la corrente continua di alimentazione fluisca (in corto circuito) attraverso gli avvolgimenti
- Il campanello è collegato in parallelo all'apparecchio di rice/trasmissione



LE RETI TELEFONICHE - 13

### Tecnica di duplex

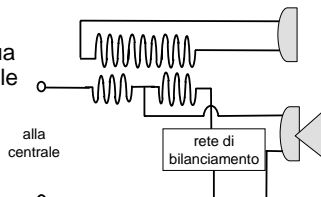
- Il circuito verso la centrale è bifilare (doppino)
- Trasmettitore e ricevitore sono su un circuito a 4 fili (2Tx, 2Rx)
- Necessita una conversione da 2 a 4 fili e viceversa ("forchetta" telefonica)



LE RETI TELEFONICHE - 14

### Tecnica di duplex

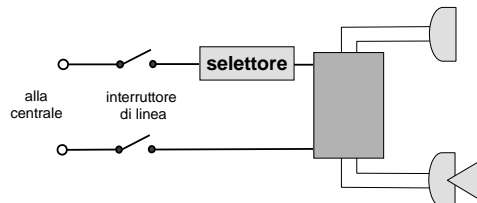
- La "forchetta" è realizzata con un trasformatore bilanciato, che attenua l'accoppiamento locale tra microfono e ricevitore a un livello "confortevole"
- La rete di bilanciamento presenta un'impedenza analoga alla linea verso la centrale



LE RETI TELEFONICHE - 15

### Attivazione e selezione

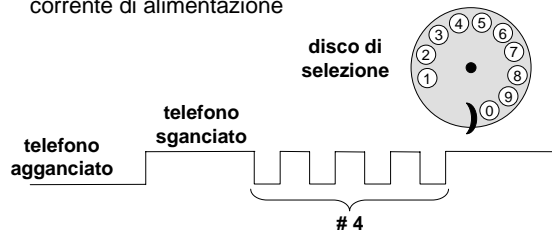
- La linea viene attivata sganciando il microtelefono, che chiude l'interruttore di linea
- Il selettore (disco o tastiera) è inserito in serie al circuito del telefono



LE RETI TELEFONICHE - 16

### Attivazione e selezione

- Chiudendo l'interruttore la corrente di alimentazione può fluire nei circuiti del telefono
- La selezione a impulsi avviene interrompendo la corrente di alimentazione



LE RETI TELEFONICHE - 17

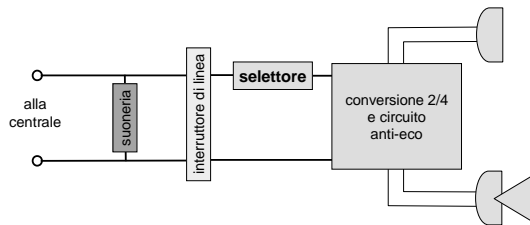
### Attivazione e selezione

- La selezione tonale avviene trasmettendo per ciascuna cifra una combinazione di due diverse frequenze (toni) in banda fonica: DTMF (Dual Tone Multi Frequency)

f1 \ f2	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*/E	0	#/F	D

LE RETI TELEFONICHE - 18

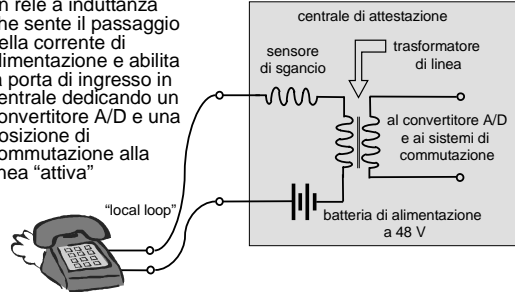
## Schema a blocchi complessivo



LE RETI TELEFONICHE - 19

## La centrale e il "local loop"

- Il sensore di sgancio è un relè a induttanza che sente il passaggio della corrente di alimentazione e abilita la porta di ingresso in centrale dedicando un convertitore A/D e una posizione di commutazione alla linea "attiva"



LE RETI TELEFONICHE - 20

## Toni di centrale

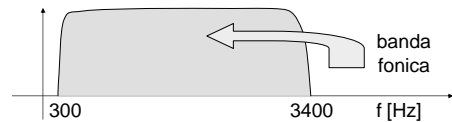
La centrale invia diversi segnali all'utente:

- Squillo: sinusoide a 20Hz, 75V rms, duty cycle [On/Off s - D.C.] ~ 1/1
- Selezione: (350)+(440)Hz, tono continuo (USA) (440)+(480)Hz, D.C. complesso tu.. tuuu..... (EU)
- Linea disponibile: (440)+(480)Hz, D.C. 2/4
- Linea occupata: (480)+(620)Hz, D.C. 0.5/0.5
- Fascio occupato: (480)+(620)Hz, D.C. 0.25/0.25

LE RETI TELEFONICHE - 21

## Filtri e banda fonica

- Il segnale analogico tra telefono e centrale locale viene filtrato tra 300 e 3400 Hz per consentire il passaggio della continua di alimentazione e limitare la banda passante del sistema
- Le centrali moderne convertono immediatamente il segnale in PCM



LE RETI TELEFONICHE - 22

## Codifica e pacchettizzazione della voce

- PCM (G.711)
- ADPCM
- Algoritmi LPC-LTP (GSM)
- Algoritmi CELP (G.729, G.723, Enhanced GSM)

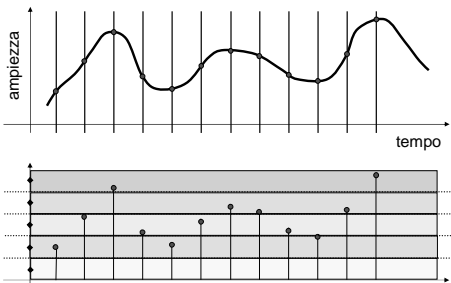
LE RETI TELEFONICHE - 23

## Segnale Vocale

- Un microfono trasforma la voce in un segnale elettrico analogico
- I sistemi di comunicazione/commutazione sono numerici => **serve una co/decodifica**
- Le tecniche di codifica si dividono tra quelle che usano la sola conoscenza del segnale elettrico istantaneo e quelle che sfruttano le caratteristiche dell'apparato di fonazione e uditivo

LE RETI TELEFONICHE - 24

### Campionamento e Quantizzazione



LE RETI TELEFONICHE - 25

### PCM lineare e "companding"

- Il PCM (Pulse Code Modulation) è un processo di campionamento e quantizzazione
- La quantizzazione può essere lineare (intervalli uguali) o non lineare (intervalli diversi a seconda dell'ampiezza), detta "companding"
- PCM lineare: CD (~44 kHz, 16 bit)
- PCM companding: telefonia (8kHz, 8 bit)

LE RETI TELEFONICHE - 26

### PCM lineare e "companding"

- PCM lineare: CD (~44 kHz, 16 bit) qualità eccellente (MOS 5)
- PCM companding: telefonia (8kHz, 8 bit, 64 kbit/s) qualità buona (MOS 4+), standard ITU-T G.711

MOS: Mean Opinion Score

LE RETI TELEFONICHE - 27

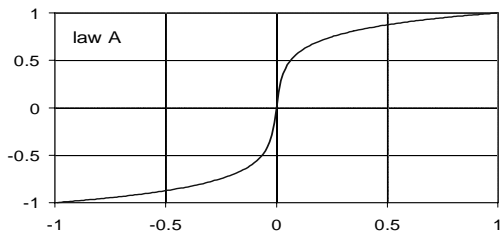
### PCM "companding"

- Si basa sull'osservazione che la sensibilità dell'orecchio umano è di tipo logaritmico
- Definisce un sistema di compressione e decompressione del segnale, può essere realizzato in forma numerica o distorcendo il segnale analogico
- Legge "A": Standard ITU/EU
- Legge "μ": Standard USA/Giappone

LE RETI TELEFONICHE - 28

### Legge di compressione "A"

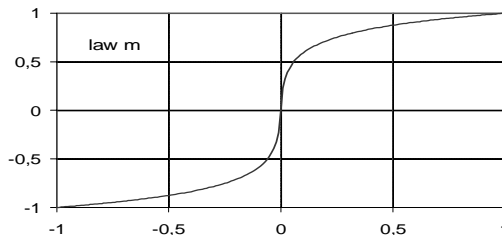
$$V = \begin{cases} \frac{A}{x + \ln(A)} X & X < \frac{x}{A} & A = xxx \\ \frac{xxx \ln(X)}{x + \ln(A)} (x + \ln|AX|) & \frac{x}{A} < X < x & X = V/V_{xxx} \end{cases}$$



LE RETI TELEFONICHE - 29

### Legge di compressione "μ"

$$V = xxx \ln(X) \frac{\ln(x + xxx|X|)}{\ln(x + xxx)} \quad X = V/V_{xxx}$$



LE RETI TELEFONICHE - 30

### PCM adattativo o differenziale

- E' possibile modificare nel tempo l'ampiezza degli intervalli di quantizzazione in funzione della dinamica del segnale (adattamento)
- E' possibile codificare la differenza tra un campione e il precedente: se c'è correlazione tra i campioni la dinamica della differenza è minore di quella dei campioni; al posto della differenza si possono usare tecniche più sofisticate di predizione

LE RETI TELEFONICHE - 31

### PCM adattativo e differenziale

- Un PCM adattativo e differenziale di qualità buona (MOS 4) è l'ADPCM a 32kbit/s (G.721)
- Un altro esempio è la modulazione delta, in cui il segnale è campionato a frequenza elevata per ottenere alta correlazione tra i campioni e la differenza è campionata su un solo bit, che indica se il segnale cresce o decresce

LE RETI TELEFONICHE - 32

### Pacchettizzazione

- Il PCM e i suoi derivati codificano il segnale campione per campione
- Le reti di telefonia tradizionale trasmettono campione per campione
- In una rete a commutazione di pacchetto devo accumulare campioni fino a riempire un pacchetto (es. payload 80 byte => 80 campioni PCM => 10ms di voce)

#### RITARDO

LE RETI TELEFONICHE - 33

### Codificatori a blocco

- Trasmettere a pacchetto implica ritardo...
- Considerando un segmento vocale (es. un fonema di durata 10-500 ms) è possibile usare algoritmi di codifica e compressione molto efficienti
- Si parte da una codifica PCM lineare eccellente, si raggruppano da 80-320 campioni (10-40 ms) e si lavora sull'insieme (blocco)

LE RETI TELEFONICHE - 34

### Codifica LPC-LTP

- La codifica Linear Prediction Coding - Long Term Prediction si basa sulla modellizzazione *fisica* del tratto vocale
- Si calcolano e trasmettono i coefficienti di un dispositivo di rigenerazione (filtro)
- Il segnale viene rigenerato eccitando il dispositivo con un segnale opportuno

LE RETI TELEFONICHE - 35

### Codifica CELP

- Code Excited Linear Prediction
- E' un codificatore LCP in cui l'eccitazione per ricostruire il segnale è tratta da un "codebook" (catalogo di codici) che minimizza l'errore rispetto al segnale originale
- Il codificatore è molto complesso perché deve scegliere tra i possibili codici in modo esaustivo

LE RETI TELEFONICHE - 36

## Codificatori GSM

- GSM tradizionale:
  - codificatore LPC-LTP
  - blocchi da 20ms che producono 260 bit raggruppati in 3 livelli di importanza (50+132+78)
  - 13kbit/s
- GSM Enhanced (1800 e telefonini dual-band)
  - CELP a 12.6 kbit/s

LE RETI TELEFONICHE - 37

## Codificatori per reti a pacchetto (IP)

- G.729:
  - CELP a 8kbit/s
- G.723:
  - CELP a 6.3 o 5.3 kbit/s
- Tutti i codificatori hanno MOS>4 (tranne il GSM originale che è poco sotto 4)

LE RETI TELEFONICHE - 38

## La rete telefonica fissa “tradizionale”

**P**lain  
**O**ld  
**T**elephony  
**S**ervice

LE RETI TELEFONICHE - 39

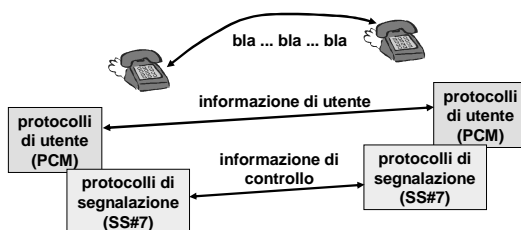
## La rete POTS

- L'attuale rete telefonica è sostanzialmente una IDN (Integrated Digital Network)
- Interfacce servizio/specifiche (analogiche)
- Commutazione a circuito
- Trasmissione/commutazione numerica PCM
- Segnalazione a canale comune (SS#7 - trattata a parte)

LE RETI TELEFONICHE - 40

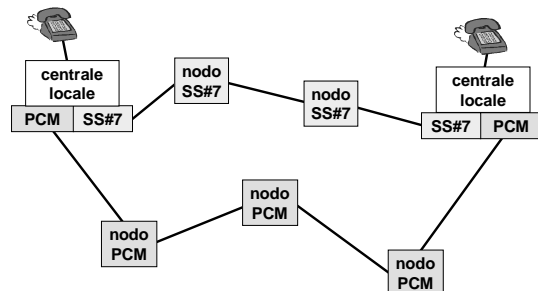
## Il modello di riferimento

- L'architettura è divisa in piano utente, piano di controllo (segnalazione) e piano di gestione (che non vediamo)



LE RETI TELEFONICHE - 41

## Informazione e controllo “viaggiano” separati



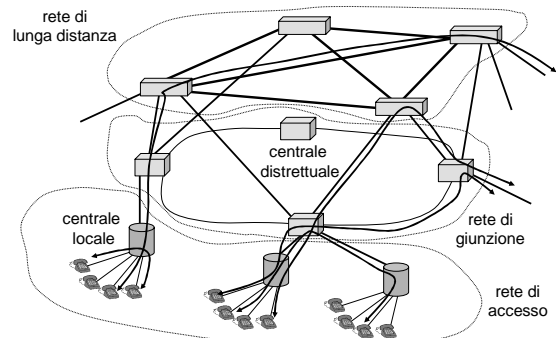
LE RETI TELEFONICHE - 42

## Organizzazione (piano utente)

- E' tipicamente organizzato su 3 livelli:
  - Rete di accesso (da casa dell'utente alla centrale locale)
  - Rete di giunzione (tra le centrali locali e la il centro distrettuale - non necessariamente coincide con un prefisso telefonico)
  - Rete di lunga distanza (connette tra loro le centrali di gerarchia più elevata)

LE RETI TELEFONICHE - 43

## Architettura della rete



LE RETI TELEFONICHE - 44

## Interconnessione delle diverse "reti"

- I punti di interconnessione tra le reti di accesso, giunzione e lunga distanza sono apparati condivisi (commutatori)
- Le centrali della rete di giunzione sono sempre collegate ad almeno due centrali di lunga distanza
- La rete di trasporto (in particolare a lunga distanza) ha pochi nodi ad elevata capacità ed è molto magliata
- La rete di accesso ha un elevatissimo numero di nodi (i terminali di utente) ed una topologia ad albero o stella

LE RETI TELEFONICHE - 45

## Rete di Accesso (RA)

- RA è realizzata con doppioli, ha inizio con la centrale di commutazione locale
- La distribuzione del segnale avviene mediante ramificazioni successive, man mano che ci si avvicina al terminale d'utente
- Le centrali locali raccolgono tipicamente alcune decine di migliaia di utenti

LE RETI TELEFONICHE - 46

## La rete di giunzione

- Fibra ottica (quasi interamente)
- Topologia ad anello (doppio anello controrotante)
- Tecnologia SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
- Alcune parti ancora PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

LE RETI TELEFONICHE - 47

## La rete di lunga distanza

- Interamente in fibra ottica
- Tecnologia SDH
- Pochi canali molto veloci
- Spesso ridondata in "hot swap": il fascio di canali viaggia su due percorsi diversi contemporaneamente e il nodo di destinazione sceglie il migliore

LE RETI TELEFONICHE - 48



### I commutatori "PCM"

- I nodi delle reti telefoniche sono commutatori a circuito in grado di elaborare flussi a 64 kbit/s strutturati a 8 kHz, cioè con una trasmissione di 1 ottetto (byte) ogni 125  $\mu$ s
- I nodi gerarchicamente superiori elaborano solo flussi aggregati, senza "vedere" i singoli canali di fonia

LE RETI TELEFONICHE - 49

### Struttura della rete di Telecom Italia

- Due livelli gerarchici: locale e di transito
- Un commutatore distrettuale SGU (Stadio di Gruppo Urbano) può coprire parte, uno, o più distretti
- Ogni SGU è collegato ad una coppia di SGT (Stadio di Gruppo di Transito)
- Le coppie di SGT con gli SGU collegati costituiscono un'Area Gateway ci sono 33 aree gateway

LE RETI TELEFONICHE - 50

### Numerazione: gli indirizzi nelle reti telefoniche

- Lo standard E.164
- Piani di numerazione
- Numerazione di utente e di rete

LE RETI TELEFONICHE - 51

### Schemi di Numerazione

- I numeri di telefono sono gli indirizzi delle reti telefoniche
- Seguono lo standard E.164 ITU, che specifica la numerazione a livello internazionale
- Un numero E.164 è composto al massimo da 15 cifre decimali (prefissi e numeri di selezione inclusi), ma possono essere anche meno

LE RETI TELEFONICHE - 52

### Piano di numerazione

- Un "piano di numerazione" è una organizzazione "gerarchica" di un insieme di numeri adatta a fornire l'indirizzamento di una o più reti di telecomunicazione
- I numeri di un piano di numerazione sono organizzati in "campi"
- Un piano di numerazione può essere chiuso, aperto o semi-aperto in funzione dell'organizzazione dei campi

LE RETI TELEFONICHE - 53

### Piano di numerazione

- Chiuso: I campi sono di lunghezza fissa
- Aperto: I campi sono di lunghezza variabile e anche la lunghezza totale non è fissa
- Semi-aperto: I campi sono di lunghezza variabile, ma la lunghezza totale è fissa
- Se anche la selezione è vincolata ad un numero fisso di cifre si dice che avviene la selezione completa (close dialing) - es. cellulari e "fissa il prefisso"

LE RETI TELEFONICHE - 54

## Es. Numerazione: numeri internazionali

CC(1-3)	NDC(1-3)	SN(4-9)
---------	----------	---------

- **CC:** Country Code, da 1 a 3 cifre: 1 USA e Canada; 3x, 3xx, 4x, 4xx Europa; 2xx Africa; ...
- **NDC:** Network Destination Code, da 1 a 3 cifre: identifica il distretto di servizio e/o la rete (operatore)
- **SN:** Subscriber Number, da 4 a 9 cifre
- **NDC+SN = NSN:** National Subscriber Number
- Es: 39 011 5644093, identifica un numero Italiano (39) di Torino (011) ... del mio ufficio ...

LE RETI TELEFONICHE - 55

## Es. numerazione: IMSI-GSM

MCC(3)	MNC(3)	MSIC(10)
--------	--------	----------

- **MCC:** Mobile Country Code (3 cifre)
- **MNC:** Mobile Network Code, che identifica l'operatore che fornisce il servizio (2 cifre)
- **MSIC:** Mobile Subscriber Identification Number, che identifica la SIM (fino a 10 cifre)
- Es: 222 01 4572228769, identifica una SIM italiana (222) del gestore TIM (01)

LE RETI TELEFONICHE - 56

## Spazi di indirizzamento

- Ogni piano di numerazione rappresenta uno spazio di indirizzamento separato (escludendo il prefisso internazionale telefoni in nazioni diverse possono avere lo stesso numero)
- Nelle reti fisse tradizionali il numero è usato per l'instradamento
- Nelle reti cellulari e nelle reti fisse di nuova generazione il numero d'utente è indipendente dall'instradamento e viene "tradotto" per instradare la chiamata

LE RETI TELEFONICHE - 57

## Piano di numerazione italiano

232 distretti telefonici:

- 2 a 1 cifra
- 28 a 2 cifre
- 202 a 3 cifre



Lunghezza massima di NSN = NDC + SN = 9

LE RETI TELEFONICHE - 58

## Evoluzione del piano di numerazione italiano

- Selezione completa ("fissa il prefisso")
- Riorganizzazione per servizi
- "Carrier selection"
- Number portability



LE RETI TELEFONICHE - 59

## Sistemi di trasmissione nelle reti telefoniche

- I "canali" PCM
- Il sistema PDH
- Il sistema SDH

LE RETI TELEFONICHE - 60

## Trasmissione di segnali PCM

- La codifica PCM della voce genera flussi a 64kbit/s organizzati in bytes
  - 1 byte ogni 125µs
- Il modo più semplice per trasferire questa informazione è con canali sincroni a 64kbit/s, meglio se organizzati in trame che si ripetono ogni 125µs
- Sistemi di multiplexazione per trasmettere molti canali insieme

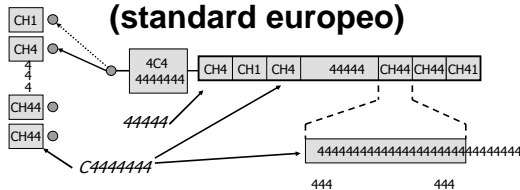
LE RETI TELEFONICHE - 61

## Plesiochronous Digital Hierarchy - PDH

- Sistema di trasmissione numerico (T-carrier, E-carrier) per moltiplicare flussi a velocità più bassa in flussi a velocità maggiore
- Espressamente pensata per il trasferimento di canali vocali digitali a 64Kb/s
- NON si fa Store-and-Forward: occorre una stretta sincronizzazione tra TX e RX – risolto con un sistema quasi-sincrono (plesio-synchronous)
- Standard diversi in USA/Europa/Giappone
  - Complessità di traduzione

LE RETI TELEFONICHE - 62

## Multiplexazione dei canali (standard europeo)

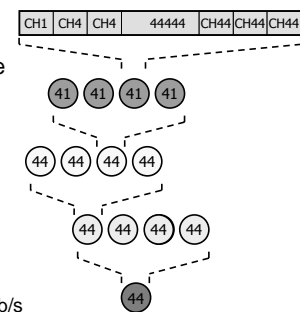


- 30 canali vocali, codificati PCM sono moltiplicati tra loro con l'aggiunta di 2 canali di controllo
- Un canale E-1 ha una velocità di 64Kb/s\*32=2.048Mb/s
- Un campione ogni 125µsec
- Una trama ogni 125µsec
- Posso moltiplicare più trame in canali a velocità superiore

LE RETI TELEFONICHE - 63

## Gerarchia di canali

- Canali PCM (E0) trasmessi in un canale E1
  - $64 \times 32 = 2.048 \text{ Mb/s}$
- $E2 = 4 E1$ 
  - $4 \times 2.048 = 8.488 \text{ Mb/s}$
- $E3 = 4 E2$ 
  - $4 \times 8.488 = 34.368 \text{ Mb/s}$
- $E4 = 4 E3$ 
  - $4 \times 34.368 = 139.264 \text{ Mb/s}$



LE RETI TELEFONICHE - 64

## Gerarchie T- ed E-

Livello	America (T-)	Europa (E-)	Giappone
0	0.064 Mb/s	0.064 Mb/s	0.064 Mb/s
1	1.544 Mb/s	2.048 Mb/s	1.544 Mb/s
2	6.312 Mb/s	8.488 Mb/s	6.312 Mb/s
3	44.736 Mb/s	34.368 Mb/s	32.064 Mb/s
4	274.176 Mb/s	139.264 Mb/s	97.928 Mb/s

LE RETI TELEFONICHE - 65

## Gerarchie PDH...

- E' difficile identificare un singolo canale dentro uno stream: ogni volta occorre demultiplexare tutti i livelli per estrarre/inserire altri canali
- E' difficile mantenere due canali in perfetta sincronia: si usa un bit stuffing per avere un sistema quasi sincrónico

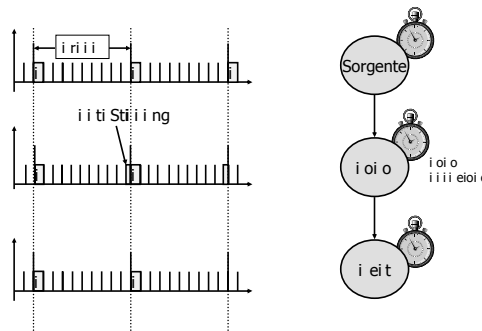
LE RETI TELEFONICHE - 66

## PDH - Sincronizzazione

- Ogni apparato ha un suo orologio (non c'è sincronizzazione globale)
- Orologi locali hanno derive che portano a errori di sincronizzazione
- Problema risolto avendo la possibilità di inserire e rimuovere bit di riempimento (bit-stuffing)

LE RETI TELEFONICHE - 67

## PDH - Sincronizzazione



LE RETI TELEFONICHE - 68

## Limiti di PDH

- Mancanza di flessibilità: è impossibile identificare un flusso a velocità più bassa in un aggregato superiore
- Mancanza di efficienza:
  - Non esistono standard per controllare le prestazioni del canale
  - Non c'è un sistema di gestione
- Mancanza di uno standard a livello fisico

LE RETI TELEFONICHE - 69

## Da PDH a SONET/SDH - 1

- PDH ha dei limiti invalicabili:
  - scala male in velocità (necessità di demultiplexare tutto il flusso per estrarre un solo E0)
  - non supporta la moltiplicazione di flussi che non siano n°64kbit/s
- Negli anni '80 la nascente (e mai nata!) B-ISDN richiede un sistema di trasmissione più efficiente
- SONET: Synchronous Optical Network: sistema di trasmissione e moltiplicazione in America
- SDH: Synchronous Digital Hierarchy: sistema di trasmissione e moltiplicazione in Europa e Giappone

LE RETI TELEFONICHE - 70

## Da PDH a SONET/SDH - 2

- Standardizzazione di SONET e SDH avvenuta alla fine degli anni 80
- Spinta al cambiamento data da:
  - Sistema PDH non scalabile e non flessibile per supportare le aspettative di crescita di traffico
  - Tecnologie ottiche iniziano a essere appetibili, e incominciano a capirsi le loro potenzialità
  - Sistemi di trasmissione ottica erano tutti proprietari, e non potevano interoperare tra loro

LE RETI TELEFONICHE - 71

## Che cosa è SONET/SDH

- E' un insieme di raccomandazioni dell'ITU-T (prima edizione del 1989) che specificano:
  - Una precisa *struttura gerarchica*
  - Tecniche di *gestione* di rete e di *protezione* da guasti
  - Modalità di interfacciamento verso il mezzo fisico (fibra e componenti) da usarsi per la trasmissione
  - L'interfacciamento di altri protocolli che verranno trasportati da una infrastruttura SONET/SDH
- Alcuni dei più importanti obiettivi degli standard:
  - Affidabilità e disponibilità di sistema compatibile con le specifiche dei gestori (99.999% availability)
  - *Interoperabilità* tra differenti produttori
  - *Formati* per facilitare diverse architetture e aggiornamenti della rete
  - *Controllo* estensivo delle prestazioni di rete e del traffico

LE RETI TELEFONICHE - 72

## SONET vs. SDH

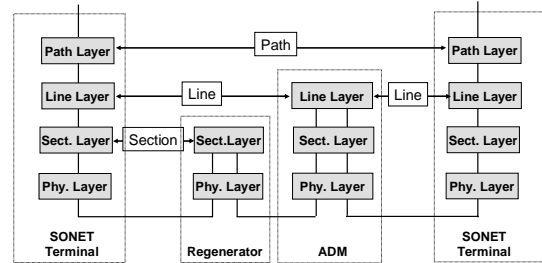
- L'unica differenza tra SONET e SDH è il differente formato di moltiplicazione
- Il primo livello SDH (STM-1) è a 155 Mbit/s, mentre il primo livello SONET (OC-1) è a 51.8 Mbit/s
- SONET OC-*n* è un modo di specificare velocità trasmissive *n* volte 51.84 Mbit/s

SONET	Optical Carrier	SDH	Bite Rate
STS-1	OC-1		51.840 Mb/s
STS-3	OC-3	STM-1	155.520 Mb/s
STS-12	OC-12	STM-4	622.080 Mb/s
STS-48	OC-48	STM-16	2488.320 Mb/s
STS-192	OC-192	STM-64	9953.280 Mb/s

LE RETI TELEFONICHE - 73

## SONET/SDH modello di riferimento

- L'architettura SONET/SDH è divisa in 4 livelli, che corrispondono (circa) ai primi 3 livelli OSI



LE RETI TELEFONICHE - 74

## SONET/SDH modello di riferimento

- Path layer (simile al livello 3-Rete OSI)
  - Responsabile di comunicazione end-to-end
  - Si occupa di controllo e gestione dello stato di una connessione
- Line Layer
  - Moltiplicazione di diversi path tra due nodi
  - Si occupa di protezione e reazione ai guasti
- Section Layer
  - Definisce le funzioni dei rigeneratori lungo un canale
  - Insieme al Line layer è equivalente al livello 2 OSI
- Physical layer (identico al livello 1 OSI)
  - Definisce il formato di trasmissione su fibra

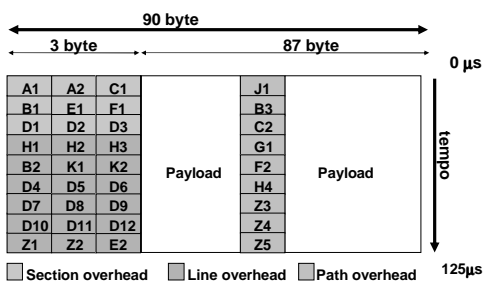
LE RETI TELEFONICHE - 75

## SONET/SDH Framing

- SONET/SDH trasmettono bit con continuità a una velocità data
- Non ci sono delimitatori di trama (è un sistema sincrono)
- La moltiplicazione è ottenuta attraverso un schema TDM complesso esplicitamente studiato per una facile implementazione su circuiti integrati

LE RETI TELEFONICHE - 76

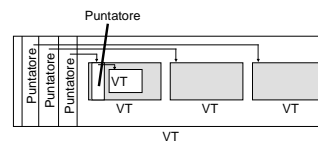
## SDH: Trama STS-1



LE RETI TELEFONICHE - 77

## Virtual Tributary (VT) & Frame Structure

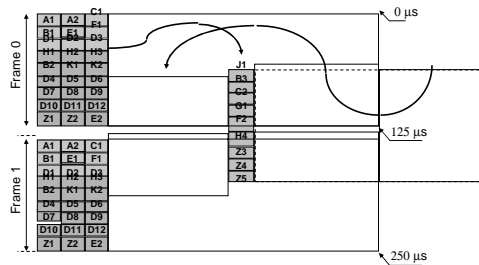
- VT sono mappati nelle trame usando dei puntatori, che sono scritti nell'intestazione della trama stessa
  - Un puntatore identifica la posizione iniziale di un VT nella trama
- La struttura è ricorsiva, e un VT può contenere altri VT più piccoli
- Questo principio permette di moltiplicare un insieme di velocità eterogenee in una trama sincrona



LE RETI TELEFONICHE - 78

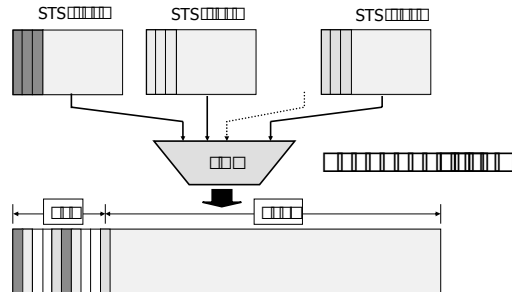
## SONET / SDH

- Gestione puntatori ed allineamento del payload



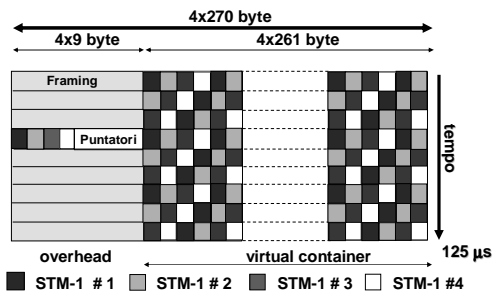
LE RETI TELEFONICHE - 79

## Multiplazione di ordine superiore



LE RETI TELEFONICHE - 80

## Gerarchia sincrona SDH STM - 4



LE RETI TELEFONICHE - 81

## SS7 – La segnalazione nelle reti telefoniche

- Principi
- Nomenclatura
- Architettura
- Cenni ai protocolli e alle “parti” applicative
- Numerazione

LE RETI TELEFONICHE - 82

## SS7

- Sistema di segnalazione a canale comune fuori banda per reti telefoniche
- Evoluzione dei diversi sistemi di segnalazione pre-esistenti, sia a canale associato che a canale comune
- Standardizzato da ITU-T e ripreso con leggere variazioni da tutti i paesi, qualche differenza tra USA ed Europa (es. velocità dei canali)

LE RETI TELEFONICHE - 83

## SS7

- Numerose applicazioni:
  - Telefonia
  - Trasmissione dati
  - Servizi di Rete Intelligente
  - Mobilità
  - Sistemi di comunicazione personale (PCS)
  - Sistema di gestione (OMAP)
- Separazione dell’architettura in parte di trasporto (Network Service Part) e parte di applicazione (User Part)

LE RETI TELEFONICHE - 84

## SS7

- Rete a commutazione di pacchetto separata dal piano utente
- Messaggistica trasmessa sotto forma di pacchetti (1 msg  $\Leftrightarrow$  1pkt)
- Commutazione datagram
- Destinata alla segnalazione di rete
- Consente a qualsiasi nodo di comunicare con qualsiasi altro anche se non sono collegati nel piano utente

LE RETI TELEFONICHE - 85

## Sistemi di segnalazione precedenti

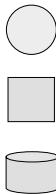
- Canale associato: CCITT No.4 e No.5
  - tempi di setup lunghi
  - instradamento gerarchico
  - connessioni non modificabili
  - basso scambio informativo
- Canale comune: CCITT No.6
  - tecnica più economica
  - incremento velocità trasmissiva
  - incremento capacità

LE RETI TELEFONICHE - 86

## SS7

Formata da tre entità fondamentali:

- SSP - Signal Switching Point
- STP - Signal Transfer Point
- SCP - Signal Control Point



LE RETI TELEFONICHE - 87

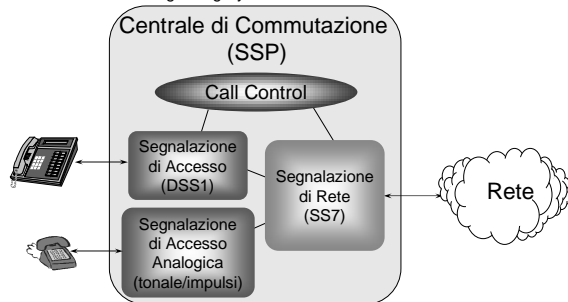
## Signal Switching Point

- Sono centrali telefoniche (commutatori) abilitati a SS7
- Generano, terminano e commutano le chiamate telefoniche
- Possono essere centrali locali o centrali di gerarchia superiore
- Sono i punti terminali della rete SS7
- Usano una diversa segnalazione (es. Q.931) per dialogare con i clienti

LE RETI TELEFONICHE - 88

## SS7 e segnalazione di utente

DSS1 Digital Subscriber System No.1  
SS7 Signalling System No.7



LE RETI TELEFONICHE - 89

## Signal Transfer Point

- Sono i commutatori di pacchetto nell'architettura SS7
- Inoltrano i messaggi SS7 verso le destinazioni corrette (non necessariamente sono in grado di interpretarli)
- Hanno funzioni di instradamento

LE RETI TELEFONICHE - 90



## Signaling Control Point

- Sono basi dati indispensabili per la gestione dei servizi avanzati
- Cooperano nella tariffazione dei servizi
- Gestiscono servizi come numeri verdi, portabilità del numero ecc...

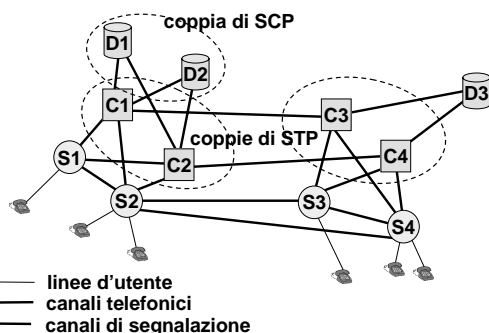
LE RETI TELEFONICHE - 91

## SS7

- La rete di segnalazione è essenziale per la sopravvivenza di una rete telefonica
- SS7 definisce un'architettura estremamente ridondata e robusta ai guasti
- Gli STP sono sempre accoppiati in ridondanza 1 a 1
- Gli SCP sono normalmente ridondati 1 a 1 anche essi

LE RETI TELEFONICHE - 92

## Rete SS7



LE RETI TELEFONICHE - 93

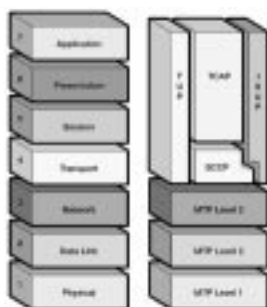
## SS7

- Ogni SSP è sempre connesso a entrambi gli STP di una coppia
- Gli STP di una coppia sono entrambi connessi ai due SCP accoppiati (se esiste una coppia di SCP), altrimenti sono connessi ad uno stesso SCP
- Possono esistere STP (sempre in coppia) di solo transito, cioè non connessi ne' a SSP ne' a SCP

LE RETI TELEFONICHE - 94

## Architettura protocollare

- I livelli 1-3 sono equivalenti ai primi 3 livelli OSI
- Nelle reti cellulari esiste una parte applicativa specifica chiamata MAP
- Una ulteriore parte applicativa (OMAP) supporta la gestione



LE RETI TELEFONICHE - 95

## Message Transfer Part (MTP)

- E' l'insieme dei primi tre livelli dell'architettura di SS7
- Definisce nel suo insieme una rete a commutazione di pacchetto datagram
- Funzionalmente è analoga ad una rete IP
- MTP è dedicata esclusivamente alla segnalazione, non vengono mai trasportati dati di utente

LE RETI TELEFONICHE - 96



### MTP - livello 1

- Livello fisico, definisce anche i mezzi trasmissivi ammessi SS7
- Di fatto specifica l'uso di canali PCM (DS-0), a 64kbit/s in EU e 56 in USA
- Protocollo orientato al byte su canali CBR sincroni

LE RETI TELEFONICHE - 97

### MTP - livello 2

- Protocollo di tipo HDLC/LAP
- Trasmissione affidabile
- Controllo di errore
- Controllo di flusso
- Capacità di risequenzializzazione dei pacchetti
- Trasmissione di trame "dummy" (FISU) in assenza di dati

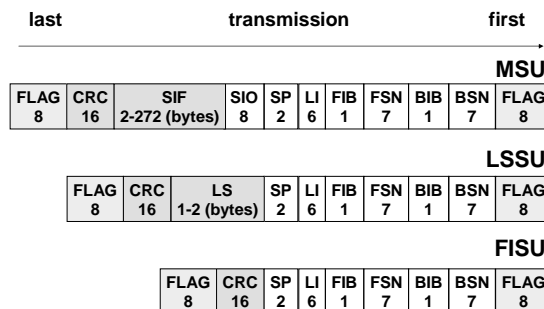
LE RETI TELEFONICHE - 98

### MTP - livello 2 (continua)

- SDU di dimensione variabile: 2-272 bytes
- PCI di dimensione fissa: 7 bytes, 2 flag e 5 di header
- Protocollo orientato al byte con "bit stuffing" sul pattern dei flag (01111110)
- 3 tipi di PDU
  - MSU: Message Signaling Unit
  - LSSU: Link State Signalin Unit
  - FISU: Fill In Signaling Unit

LE RETI TELEFONICHE - 99

### MTP - livello 2 - Formato Trame



LE RETI TELEFONICHE - 100

### MTP - livello 2 - Formato Trame

- FLAG (01111110)
- BSN: Backward Sequence Number
- BIB: Backward Indicator Bit
- FSN: Forward Sequence Number
- FIB: Forward Indicator Bit
- LI: Length Indicator
- SP: (Spare) campo non usato
- SIO: Service Information Octet
- SIF: Signaling Information Field
- LS: Link State
- CRC: Cyclic Redundancy Code

LE RETI TELEFONICHE - 101

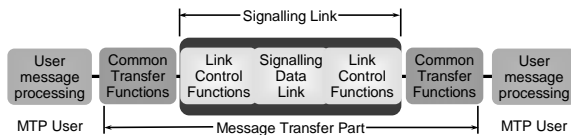
### MTP - livello 3

- Assicura la connettività nella rete SS7 (non la consegna dei pacchetti: è datagram!)
- Gestisce gli indirizzi e la commutazione
- Fornisce l'instradamento e ammette cammini multipli e alternativi
- Ha funzioni di controllo della congestione
- Consente solo comunicazioni nodo-nodo (non consente di indirizzare specifiche applicazioni all'interno del nodo)

LE RETI TELEFONICHE - 102

## Network Service Part

- Insieme dei livelli MTP e di una "parte" di utilizzo che ne completa le funzionalità
- Garantisce l'affidabilità nella consegna dei messaggi
- Intervene in caso di guasti



LE RETI TELEFONICHE - 103

## Telephone User Part (TUP)

- La "prima" User Part (definita nell'80)
- Messaggi e procedure per il controllo di circuiti telefonici
- Connettività numerica e Servizi Supplementari
- Procedure di controllo delle chiamate e di gestione

LE RETI TELEFONICHE - 104

## ISDN User Part (ISUP)

- Sviluppata per rispondere alle esigenze della ISDN
- Definita per realizzare anche nuovi servizi (soprattutto supplementari)
- Definita tenendo in considerazione la filosofia OSI
- Sistema complesso in termini di messaggi e procedure

LE RETI TELEFONICHE - 105

## ISUP - servizi supplementari

- Calling Line Identification Presentation
- Calling Line Identification Restriction
- Connected Line Identification Presentation
- Connected Line Identification Restriction
- Closed User Group
- Subaddressing
- Terminal Portability
- ...

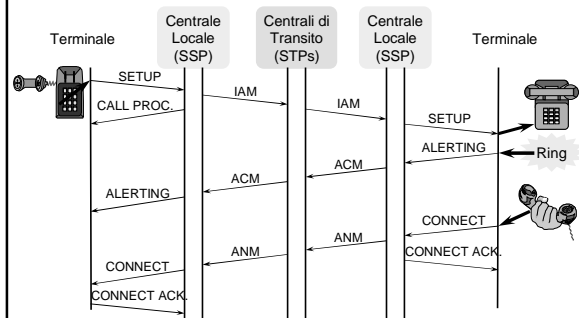
LE RETI TELEFONICHE - 106

## ISUP - messaggi fondamentali

- Sono i messaggi usati per l'apertura e la chiusura di una connessione
- IAM: Initial Address Message; messaggio inviato a tutte le centrali lungo l'instradamento per instaurare il circuito
- ACM: Address Complete Message; messaggio che conferma l'instaurazione del circuito (contiene il comando di "ringback" libero o occupato che sia)
- ANM: ANswer Message

LE RETI TELEFONICHE - 107

## ISUP: esempio di instaurazione di una chiamata



LE RETI TELEFONICHE - 108

### **Signaling Connection Control Part (SCCP)**

- Fornisce la funzione di multiplazione per i servizi che ne hanno bisogno (tutti tranne le funzioni di gestione e controllo delle chiamate)
- Trasferisce informazioni di segnalazione:
  - “non correlate al circuito” (es. interrogazioni a database)
  - in modalità sia connectionless che connection-oriented

LE RETI TELEFONICHE - 109

### **SCCP**

- Fornisce servizi di “instradamento di messaggio” che vanno sotto il nome di “Global Title Translation” (GTT) e che consentono di ottimizzare la dislocazione delle risorse di rete senza la necessità di dover distribuire l’informazione su dove si trovano le risorse stesse

LE RETI TELEFONICHE - 110

### **Transaction Capabilities Application Part (TCAP)**

- Si appoggia sempre su SCCP
- Supporta tutti i servizi transazionali (non associati ad una chiamata)
- Esempi:
  - Instradamento dei numeri verdi
  - Abilitazione a servizi speciali
  - Traduzione dei numeri (number portability)
  - ...

LE RETI TELEFONICHE - 111

### **Mobile Application Part (MAP)**

- Gestisce la segnalazione per la gestione della mobilità, esclusa quella relativa al controllo delle chiamate
- E’ orientata al traffico transazionale
  - Interrogazione di basi dati (HLR/VLR)
  - Scambio di messaggi di autenticazione
- Si appoggia sulle primitive di TCAP

LE RETI TELEFONICHE - 112

### **Operation, Maintenance, and Administration Part (OMAP)**

- Supporto alla gestione di rete
- Individuazione e segnalazione guasti
- Controllo e validazione delle tabelle di instradamento
- In parte si appoggia su MTP (instradamento nodo-nodo) e in parte su SCCP per la multiplazione di servizio

LE RETI TELEFONICHE - 113

### **I principi della telefonia cellulare**

- Elementi fondamentali
- Funzioni legate alla mobilità
- “Celle” e tecniche di copertura
- Esempi di reti commerciali

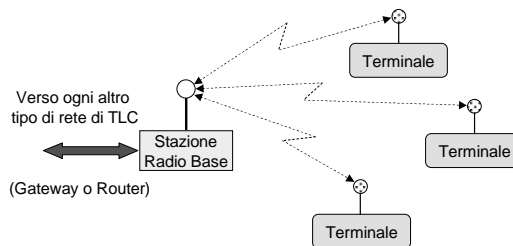
LE RETI TELEFONICHE - 114

## Una differenza fondamentale

- Rete WIRELESS: è una (sotto)rete in cui l'accesso da un terminale avviene attraverso un canale "senza filo"
- Rete CELLULARE: è una rete la cui copertura geografica è ottenuta con una tassellatura di aree adiacenti e/o sovrapposte dette *celle*. L'utente (terminale mobile) si può muovere attraverso la rete passando da una cella all'altra senza interrompere la comunicazione

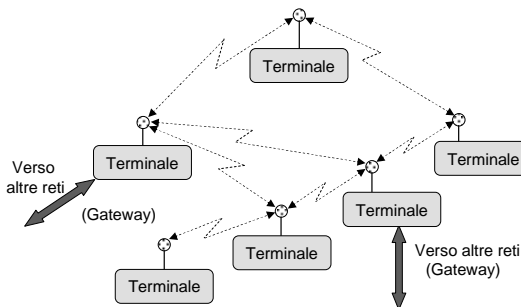
LE RETI TELEFONICHE - 115

## Rete Wireless con punto d'accesso fisso



LE RETI TELEFONICHE - 116

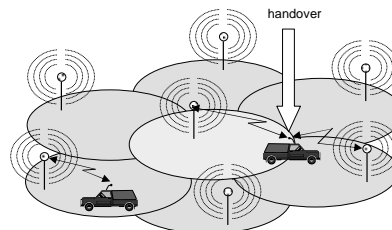
## Rete Wireless autoconfigurante



LE RETI TELEFONICHE - 117

## Rete Cellulare

- **HANDOVER**: passaggio tra celle senza interruzione della comunicazione



LE RETI TELEFONICHE - 118

## Handover

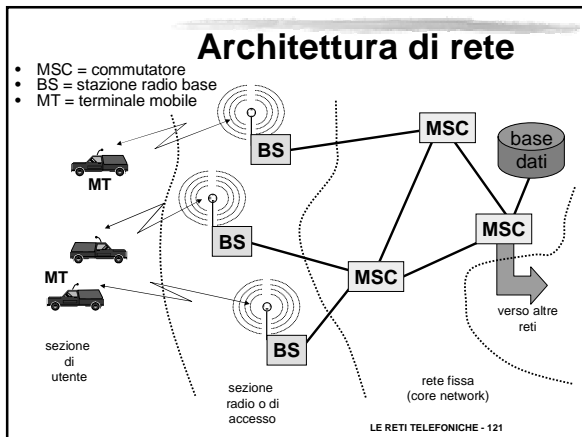
- È la procedura che consente il trasferimento di una chiamata da una cella alla successiva, mentre il terminale mobile si sposta all'interno della rete
- Di fatto è l'elemento distintivo tra le reti cellulari ed ogni altro tipo di rete TLC
- È una operazione complessa che pone alla rete notevoli requisiti in termini di architettura di rete, di protocolli e di segnalazione per la gestione delle procedure connesse agli handover

LE RETI TELEFONICHE - 119

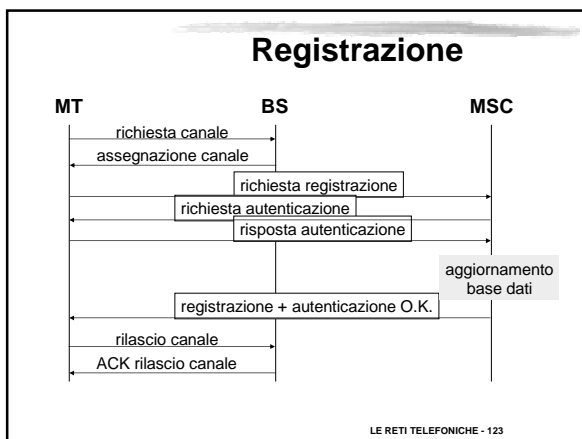
## Funzioni chiave per la mobilità

- **Registrazione:**
  - collegamento del terminale alla rete
  - identificazione, autenticazione
- **Localizzazione:**
  - posizione e reperimento del terminale
  - paging
- **Handover:**
  - [(ri)localizzazione] + [(ri)registrazione] + trasferimento della chiamata in corso

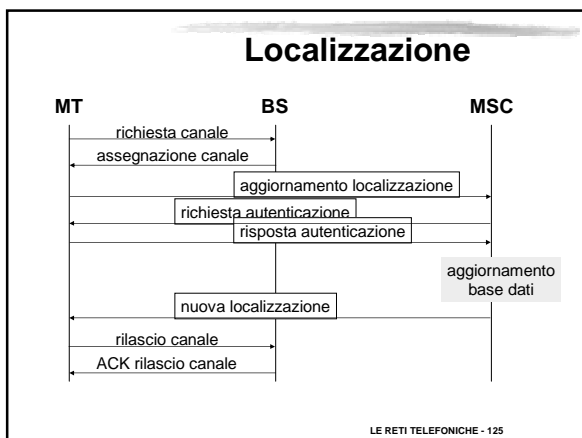
LE RETI TELEFONICHE - 120



- ### Registrazione
- Procedura da eseguire:
    - all'accensione del terminale
    - tutte le volte che si desidera accedere ad un nuovo servizio (es. fare una nuova chiamata) con fini di autenticazione
    - serve ad associare MT alla rete
    - coinvolge gran parte della rete
- LE RETI TELEFONICHE - 122



- ### Localizzazione
- Procedura da eseguire:
    - all'accensione del terminale
    - tutte le volte che si cambia zona di localizzazione o Location Area (LA), in generale un gruppo di celle correlate tra loro
    - serve ad associare un terminale ad una specifica zona della rete
    - coinvolge gran parte della rete
- LE RETI TELEFONICHE - 124



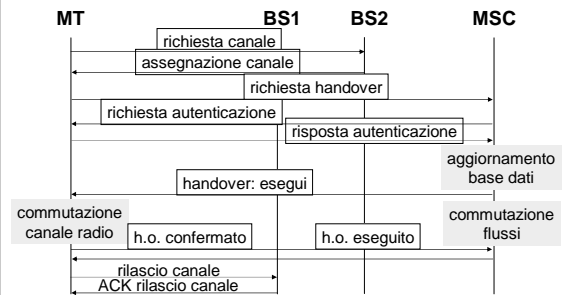
- ### Paging
- Procedura di localizzazione "fine"
  - Viene eseguita in caso di chiamata **verso** MT per stabilire esattamente in quale cella MT si trovi
  - Viene trasmesso in broadcast su tutte le celle un messaggio con l'id. di MT
  - Se LA=1 cella non è necessario
- LE RETI TELEFONICHE - 126

## Handover

- E' la procedura più complessa, perché la chiamata non deve cadere
- Coinvolge praticamente tutta la rete
- Esistono molti modi e procedure per fare un handover in funzione di chi lo inizia, come vengono gestiti i canali in transitorio, etc.
- Vediamo un esempio...

LE RETI TELEFONICHE - 127

## Soft Forward Handover



LE RETI TELEFONICHE - 128

## Classificazione handover

- Soft  $\Leftrightarrow$  Hard
  - indica se durante l'handover sono attivi entrambi i canali radio (soft) o solamente uno per volta (hard)
- Forward  $\Leftrightarrow$  Backward
  - indica se la segnalazione avviene tramite la BS di origine (backward) oppure la BS destinazione (forward)

LE RETI TELEFONICHE - 129

## Classificazione handover

- MT  $\Leftrightarrow$  BS initiated
  - indica se il primo messaggio di segnalazione per l'inizio di h.o. viene inviato dal terminale utente come richiesta (MT initiated) oppure da BS come comando (BS initiated)
- inoltre bisogna anche stabilire chi e come effettua le misure necessarie per stabilire il momento opportuno per effettuare un handover

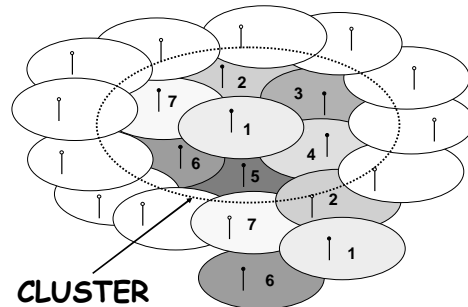
LE RETI TELEFONICHE - 130

## Efficienza delle reti cellulari

- Viene misurata essenzialmente in base al ri-uso dei canali radio disponibili in celle adiacenti: la "banda" è una risorsa molto preziosa (sul canale radio) e va usata al meglio
- Se si potessero usare tutti i canali in ciascuna cella si avrebbe efficienza 1
- Le celle vengono organizzate in "cluster" di N celle: all'interno di un cluster, ciascuna cella utilizza un sottoinsieme unico di canali
- La dimensione del cluster è una misura dell'efficienza del sistema: più sono grossi i cluster meno efficiente è il sistema

LE RETI TELEFONICHE - 131

## Copertura cellulare con cluster di 7 celle



LE RETI TELEFONICHE - 132

### Dimensione del cluster

- Sistemi analogici con accesso FDMA (AMPS, TACS, NMT):
  - cluster di 19 o 21 celle
- Sistemi numerici con accesso di tipo TDMA o misto FDMA/TDMA (GSM, D-AMPS, JCD):
  - cluster di 7 o 9 celle
- Sistemi numerici con accesso CDMA (IS-95):
  - cluster di una cella (almeno in linea di principio)

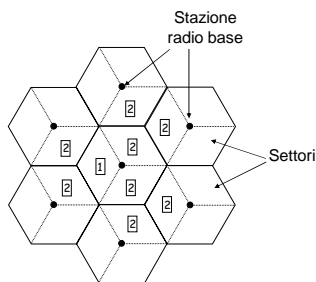
LE RETI TELEFONICHE - 133

### Tecniche di copertura cellulare

- Le celle non sono necessariamente cerchi (o esagoni) regolari delle stesse dimensioni
- L'effettiva dimensione della cella è determinata dalla potenza degli apparati, dai ritardi di propagazione e dalla densità di traffico
- È possibile usare antenne direzionali per avere celle di forma e dimensione particolare
- Celle di dimensione (e forma) diversa
- Celle "stratificate" (celle a ombrello)
- Sono allo studio tecniche per ottenere celle "puntiformi" che "inseguono" il terminale mobile

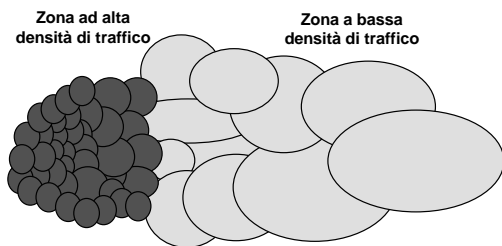
LE RETI TELEFONICHE - 134

### Copertura cellulare con cluster di 9 celle e antenne settoriali a 120°



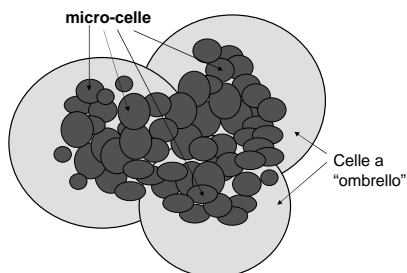
LE RETI TELEFONICHE - 135

### Copertura cellulare con celle di dimensione diversa per aree a diversa intensità di traffico



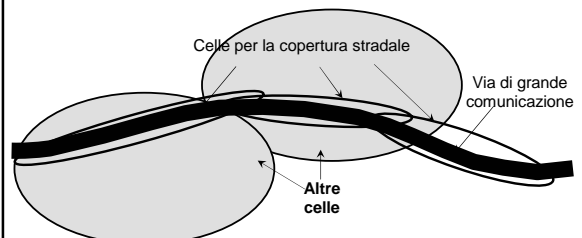
LE RETI TELEFONICHE - 136

### Copertura cellulare stratificata



LE RETI TELEFONICHE - 137

### Copertura cellulare di tipo autostradale



LE RETI TELEFONICHE - 138

### Pianificazione della copertura

- Allocazione fissa dei canali (FCA)
  - essenzialmente basata sul concetto di cluster o su sue evoluzioni per avere cluster di dimensioni variabili e celle cui vengono allocate un diverso numero di risorse
- Allocazione dinamica dei canali (DCA)
  - le risorse vengono assegnate alle celle “on-demand”
- Schemi ibridi (HCS)
  - ...

LE RETI TELEFONICHE - 139

### Reti commerciali di prima generazione

- Trasmissione analogica, solo servizio di telefonia
- Tecnica di accesso FDMA
- Copertura del territorio con celle di grandi dimensioni
- Bassa qualità del servizio offerto (sicurezza, immunità dai disturbi, ...)
- Bassa efficienza nel riuso delle frequenze, e bassa capacità complessiva della rete
- Reti in esercizio (in fase di dismissione): AMPS, TACS, NMT

LE RETI TELEFONICHE - 140

### Reti commerciali di seconda generazione

- Trasmissione numerica
- Tecnica di accesso FDMA/TDMA oppure CDMA
- Celle di dimensioni più contenute (raggio delle celle da alcune centinaia di metri ad alcune decine di km)
- Bassa velocità di cifra
- Efficienza complessiva abbastanza buona, riuso delle frequenze da buono ad accettabile
- Reti in esercizio: D-AMPS (o ADC), GSM900, GSM1800, DECT1900, JDC

LE RETI TELEFONICHE - 141

### Reti commerciali di seconda generazione “estese”

- Sono una prima fase commerciale - Es. GSM2/2+
- Sfruttano la stessa architettura e la stessa tecnologia delle attuali reti di seconda generazione
- Servizi a velocità di più elevata o ad accesso a pacchetto (Es. GPRS), ma soprattutto mirano ad accrescere la capacità complessiva della rete
- Sono in una prima fase commerciale

LE RETI TELEFONICHE - 142

### Reti commerciali di seconda generazione “estese”

- L'architettura è di tipo tipo “multirete”, cioè la rete è formata da diverse sottoreti specializzate (es. DECT e DCS in ambiente urbano, GSM in ambiente rurale, etc.)
- È previsto l'uso di terminali “multistandard” in grado di collegarsi alla rete più opportuna in funzione del servizio richiesto
- Non sempre è possibile mantenere la comunicazione se è necessario cambiare sottorete (es. GSM900->GSM1800 SI, GSM->DECT NO)

LE RETI TELEFONICHE - 143

### Reti commerciali di terza generazione

- Trasmissione numerica, servizi “multimediali”, elevata velocità di cifra, accesso a pacchetto
- Tecnica di accesso CDMA, **W-CDMA** o A-TDMA (Advanced-TDMA, una evoluzione della tecnica FDMA/TDMA del GSM)
- Copertura cellulare “stratificata”, con celle di piccole dimensioni per avere elevata capacità e celle a ombrello sovrapposte per consentire elevata mobilità
- Uso della diversità spaziale (comunicazione contemporanea con più stazioni fisse) per maggiore qualità/affidabilità

LE RETI TELEFONICHE - 144



### **Reti commerciali di terza generazione**

- Elevata integrazione di molte sottoreti specializzate per fornire migliore qualità di servizio
- Possibilità di handover tra sottoreti differenti
- Reti "previste":
  - UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) - ETSI
  - FPLMTS (Future Public Land MTS) o IMT2000 - ITU
  - ...

LE RETI TELEFONICHE - 145