



# **LE TELECOMUNICAZIONI**

**Prof. Ing. Maurizio Casoni**



**Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia**

# Punto di partenza: le comunicazioni umane

- ☞ Gli esseri umani comunicano attraverso i sensi
- ☞ Particolarmente importanti nella nostra civiltà
  - Vista (immagini)
  - Udito (suoni)
- ☞ Tecniche antichissime per migliorare l'efficacia della comunicazione: codifica dell'informazione
  - Linguaggi
  - Scrittura
  - Alfabeti fonetici (doppia codifica)



# Limitazione di portata dei sensi

- ☞ La portata dei sensi è limitata
  - Nello spazio
  - Nel tempo
- ☞ Fin dall'antichità si sono studiate tecniche per estendere la portata dei sensi, fra cui
  - Scrittura
  - Posta
  - ....
- ☞ Telecomunicazioni: dal Greco  $\tau\eta\lambda\eta$  = lontano
- ☞ Telegrafo:  $\tau\eta\lambda\eta$  +  $\gamma\rho\alpha\phi\epsilon\omega$  (scrivo)
  - Telegrafi ottici: molto antichi e vari



# Comunicazioni elettriche

- ☞ Molto attraenti perché sfruttano la propagazione delle onde elettromagnetiche (velocità di propagazione circa 300.000 Km/s)
- ☞ Studi sull'elettrostatica poi invenzione della Pila (Volta circa nel 1800)
- ☞ Proposte di telegrafi basati prima su cariche elettrostatiche e poi sulla pila
- ☞ **Telegrafo di Morse (1835)**
  - Basato sull'elettromagnetismo
  - Nascita delle telecomunicazioni moderne
  - Alfabeto Morse



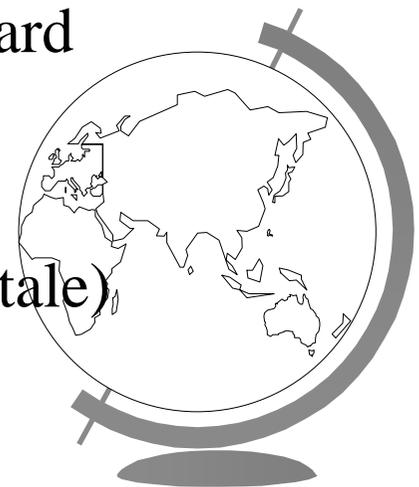
# Servizio telegrafico

- ☞ Il servizio telegrafico basato sul telegrafo Morse ha le caratteristiche di un servizio di telecomunicazioni moderno
- ☞ Elementi caratterizzanti
  - Utenti: potenzialmente tutte le persone
  - Fornitori del servizio, costruttori, gestori
  - Pagamento del servizio, tariffe
  - Necessità di una rete
  - Problemi di traffico, pianificazione



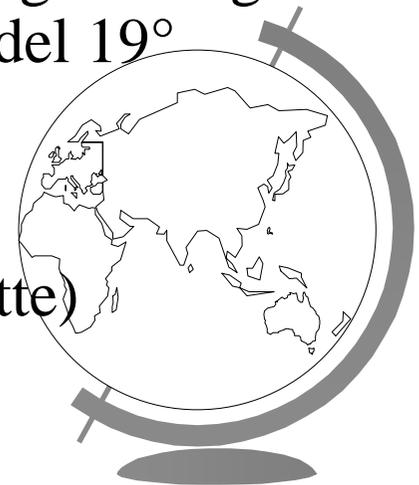
# La rete telegrafica

- ☞ **Obiettivo:** interconnettere gli utenti a due a due
- ☞ **Mezzi trasmissivi e tecniche di trasmissione**
  - Cavi in rame, trasmissioni punto-punto
  - Informazione codificata → tecniche digitali
  - Velocità bassissime, bande strettissime (pochi Hz)
- ☞ **Nodi della rete, commutazione**
  - Commutazione di messaggio: store-and-forward
  - Centrali con operatori umani
  - Segnalazione, protocolli (regole di dialogo)
  - Schema di indirizzi (derivato dal servizio postale)



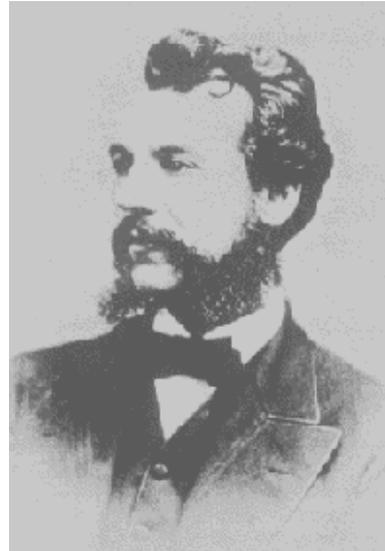
# Osservazioni sulla rete telegrafica

- ☞ Tecniche numeriche imposte dalle limitazioni tecnologiche
- ☞ Grandissimo successo economico
  - Telescrivente: Siemens 1846
  - Nasce la International Telecommunication Union (ITU) 1865
  - Rete mondiale: cavo transatlantico 1866
  - La Western Union che ha il monopolio del telegrafo negli USA diviene la più grande compagnia privata del 19° secolo
- ☞ Servizio di tipo affari (business)
  - Gli utenti sono uffici (uffici postali o grandi ditte)
  - Pochi punti di accesso e relativamente costosi



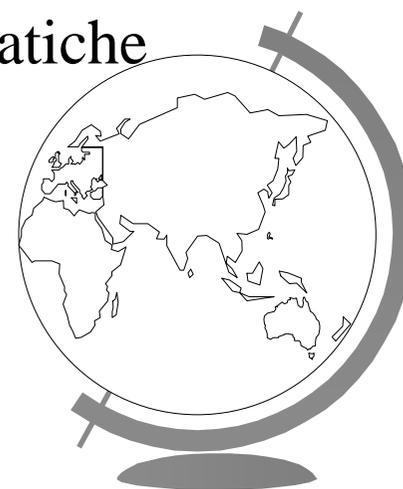
# Telefono

- ☞ Nome derivato da  $\tau\eta\lambda\eta$  +  $\phi\omicron\nu\epsilon\omega$  (parlo)
- ☞ Brevetto di Graham Bell nel 1876
  - Brevettato il trasduttore: microfono+altoparlante
  - (Brevetto di Meucci del 1871 non omologato)
  - Giugno 2002: Camera U.S.A. riconosce i meriti di Meucci
- ☞ Segnale analogico: trasmissione di suoni ed in particolare voce
- ☞ I segnali analogici sono molto ricchi di informazione ma essenzialmente più difficili da trasmettere

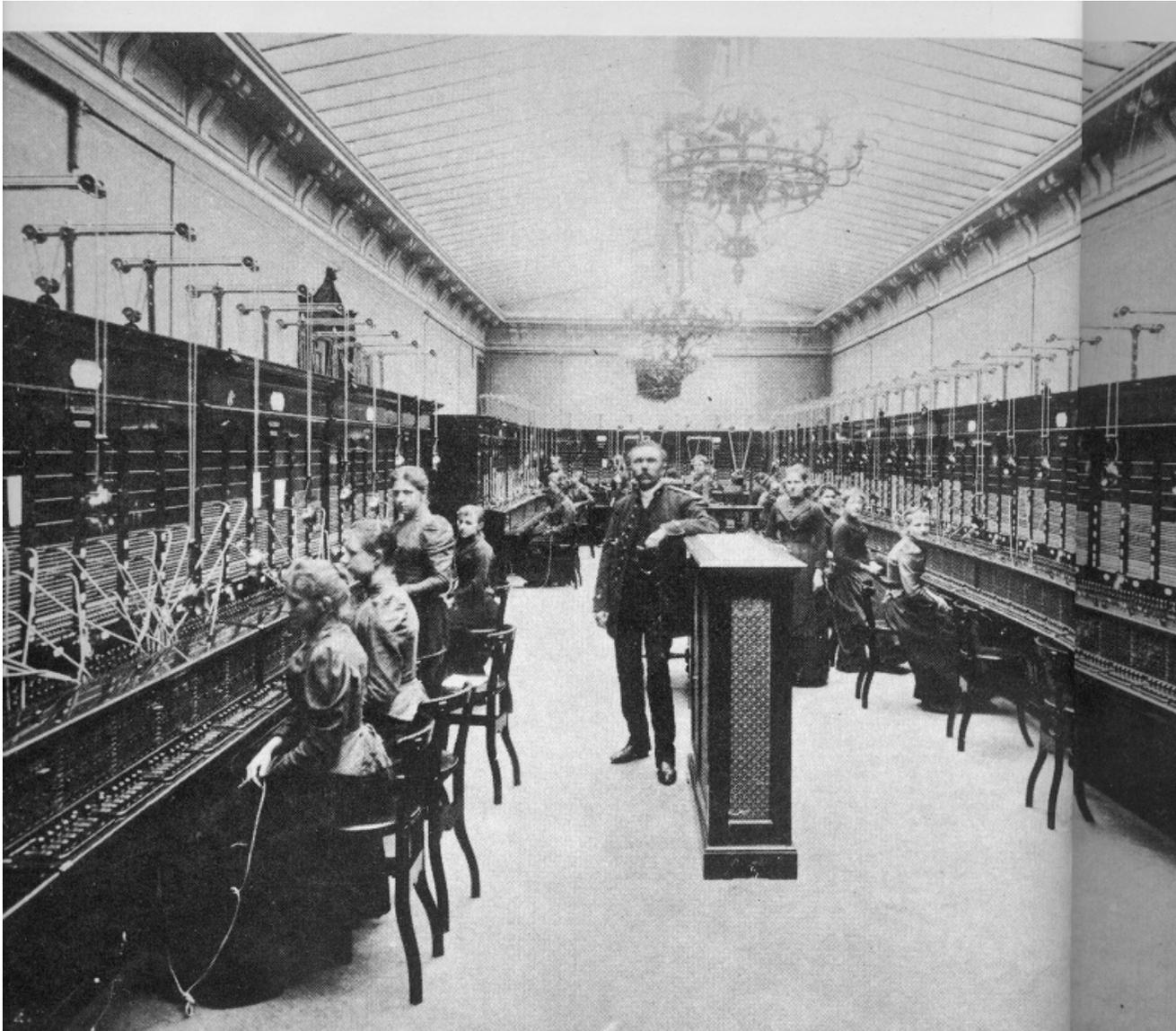


# La rete telefonica

- ☞ **Obiettivo:** far parlare a due a due gli utenti
- ☞ **Mezzi trasmissivi e tecniche di trasmissione**
  - Trasmissione punto-punto interattiva
  - Uso dei doppiini telefonici
  - Segnale analogico: si richiedono tipicamente 4 KHz
- ☞ **Commutazione**
  - Centrali telefoniche: commutazione di circuito
  - Dapprima operatori umani, poi centrali automatiche (Strowger 1887)
  - Segnalazione
  - Piani di numerazione



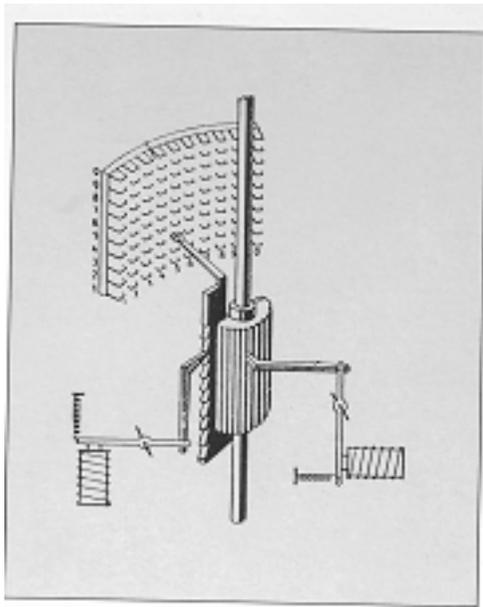
# Centrale di commutazione: 1880-90



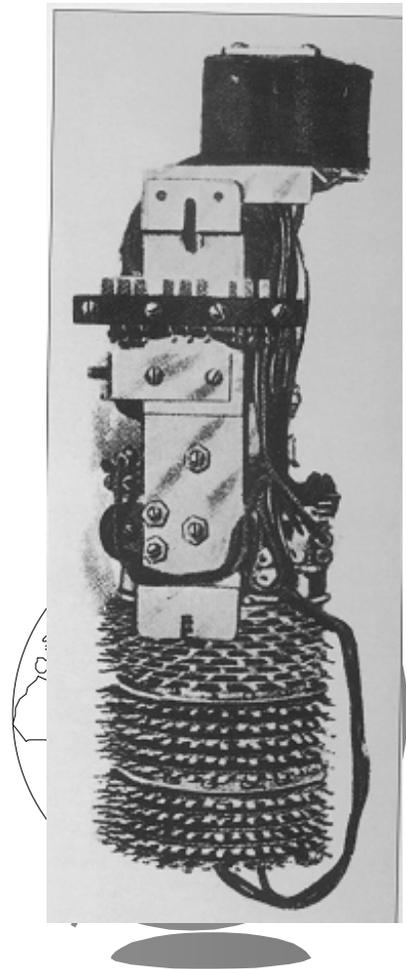
# Evoluzione

## Selettore a sollevamento e rotazione:

gli impulsi provenienti dall'utente chiamante pilotano gli elettromagneti che sollevano e ruotano il braccetto di contatto sul banco di contatto



## Selettore a sollevamento e rotazione Strowger: 1889



# Osservazioni sulla rete telefonica

- ☞ Servizio domestico (home): terminali economici con grandissima diffusione
- ☞ All'inizio crescita lenta per le difficoltà legate alla gestione del segnale analogico
  - Dapprima solo servizio locale (cavo transatlantico 1957)
  - Necessità dell'elettronica
  - Potenzialità del telefono sottostimate dagli operatori del mondo telegrafico
- ☞ Dal 20° secolo diviene di gran lunga il servizio di telecomunicazioni economicamente più importante
  - Circa un miliardo di terminali installati
  - Investimenti 100÷1000 maggiori rispetto al telegrafo



# Comunicazioni Radio

- Studi sulle onde elettromagnetiche, la loro generazione e rivelazione (Maxwell, Hertz, Popov,...)
- Esperimento Marconi (1895): nascita delle radio-comunicazioni
- Trasmissione transatlantica nei 1901
- Nasce l'elettronica: triodo di Hartley 1904
- La possibilità di diffusione (broadcasting) consente servizi originali, anche se sono possibili trasmissioni punto-punto



# La rete radio

- ☞ All'inizio viene usata per portare segnali telegrafici (telegrafo senza fili)
- ☞ Applicazione ai mezzi mobili, in particolare navi (salvataggio passeggeri del Titanic 1912)
- ☞ In seguito ai progressi dell'elettronica diventano possibili trasmissioni analogiche
  - Radiodiffusione (voce e musica)
  - Telediffusione (immagini e suoni)
- ☞ Problemi di propagazione, in particolare per superare l'orizzonte terrestre
- ☞ Rete punto multipunto con pochissimi trasmettitori e ricevitori illimitati



# Evoluzione dello scenario delle TLC

- ☞ I tre servizi introdotti, telegrafo, telefono e radio-telediffusione hanno caratterizzato la rete TLC e la sua evoluzione fino all'inizio degli anni '90 (fino a ieri)
- ☞ A partire da allora si sono visti progressi rivoluzionari ed altri ancora più sorprendenti sono previsti nel prossimo futuro (domani)
- ☞ Queste evoluzioni/rivoluzioni sono pilotate da progressi tecnologici (*enabling technologies*) e applicazioni trainanti (*driving applications*)



# Evoluzione dello scenario delle TLC (segue)

- ☞ Finora i progressi tecnologici hanno prodotto profondi cambiamenti nella rete ma l'uso dei servizi è rimasto pressoché inalterato, questo è destinato a cambiare negli scenari futuri
- ☞ I differenti servizi hanno prodotto reti completamente separate con diversi terminali, mezzi trasmissivi e nodi di commutazione
- ☞ Fino a ieri il servizio telefonico è stato di gran lunga quello più importante economicamente



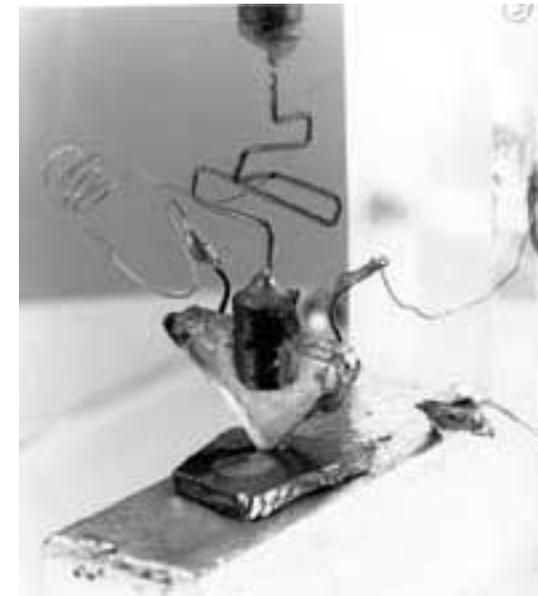
# Progressi tecnologici

- ☞ I più importanti fattori di progresso per le telecomunicazioni sono stati
  - Progressi dell'elettronica
  - Nuovi mezzi trasmissivi
  - Tecniche numeriche
  - Ingresso dei calcolatori nella rete
  - Multimedialità



# Progressi dell'elettronica

- ☞ Le telecomunicazioni sono state la *driving application* che ha fatto nascere l'elettronica, fornendo motivazioni ed investimenti
  - Triodo: Hartley 1904
  - Transistor: Shottky 1947
  - Hartley e Shottky lavoravano per un'importante industria TLC (il Bell System)
- ☞ Microelettronica
  - Circuiti Integrati (IC): primi anni '70
  - LSI (Large Scale Integration), VLSI (Very LSI), ...
  - Ora milioni di dispositivi per chip



# Progressi dell'elettronica (segue)

- ☞ Legge di Moore: il numero di dispositivi per chip raddoppia circa ogni 18 mesi, mentre il prezzo resta circa invariato
- ☞ Il costo di un IC è circa indipendente dalla sua complessità ed è determinato dalla sua diffusione nel mercato
- ☞ Circolo virtuoso della microelettronica: quando una tecnica ha successo e si diffonde, cresce il mercato → calano i costi → cresce il mercato,...
- ☞ Questa enorme velocità di evoluzione rende difficile fare previsioni sul futuro; ci sono molto esempi di sottostime delle sue conseguenze



# Mezzi trasmissivi: linee in rame

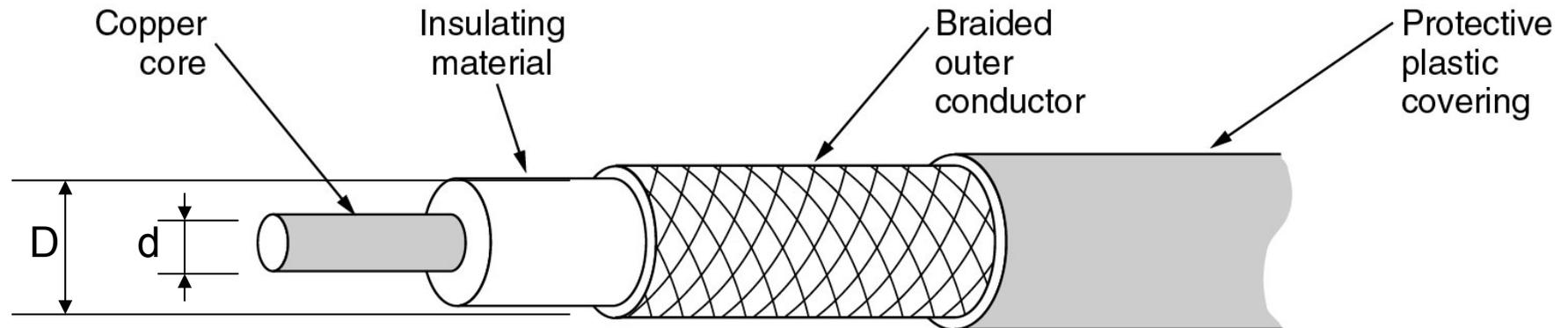
- ☞ Attenuazione: cresce esponenzialmente con la lunghezza:

$$A_{\text{dB}} \sim \sqrt{f} * L$$

- ☞ Problema della diafonia (cross-talk)
- ☞ Coppie in rame
  - All'inizio della telegrafia conduttori con un solo filo
  - Linee aeree bifilari
  - Coppie avvitate (twisted pairs) da posare in cavi
  - Attenuazione e diafonia relativamente elevate



# Linee in rame: cavi coassiali



## Due conduttori cilindrici coassiali

- $D$  = diametro cavità conduttore esterno
- $d$  = diametro conduttore interno

da Tanenbaum



# Linee in rame: cavi coassiali

☞ Il rapporto dei diametri determina l'Impedenza caratteristica  $Z_0$

– per le telecomunicazioni  $Z_0 = 75 \Omega$

☞ Normalizzazione

– Cavo coassiale normalizzato

$d = 2.6 \text{ mm}$   $D = 9.5 \text{ mm}$   $A_{1 \text{ MHz}} = 2.35 \text{ dB/Km}$

– Minicoassiale

$d = 1.2 \text{ mm}$   $D = 4.4 \text{ mm}$   $A_{1 \text{ MHz}} = 5.30 \text{ dB/Km}$

– Microcoassiale

$d = 0.7 \text{ mm}$   $D = 2.9 \text{ mm}$   $A_{1 \text{ MHz}} = 9.50 \text{ dB/Km}$

☞ Il conduttore esterno schermo la diafonia

☞ Quanto maggiore è  $D$ , tanto maggiore è il costo e tanto migliori sono le prestazioni



# Utilizzo nella rete (fino anni '80) dei cavi coassiali

- ☞ I cavi coassiali offrono bande maggiori delle linee bifilari
- ☞ Banda lorda del telefono : 4 KHz
- ☞ Multiplazione a divisione di frequenza (FDM)
- ☞ Gerarchia FDM (standard ITU)
  - Gruppo primario: banda 48 KHz, 12 canali
  - ...
  - Sistema a 4 MHz                      960 canali
  - Sistema a 12 MHz                    2.700 canali
  - Sistema a 60 MHz                    10.800 canali



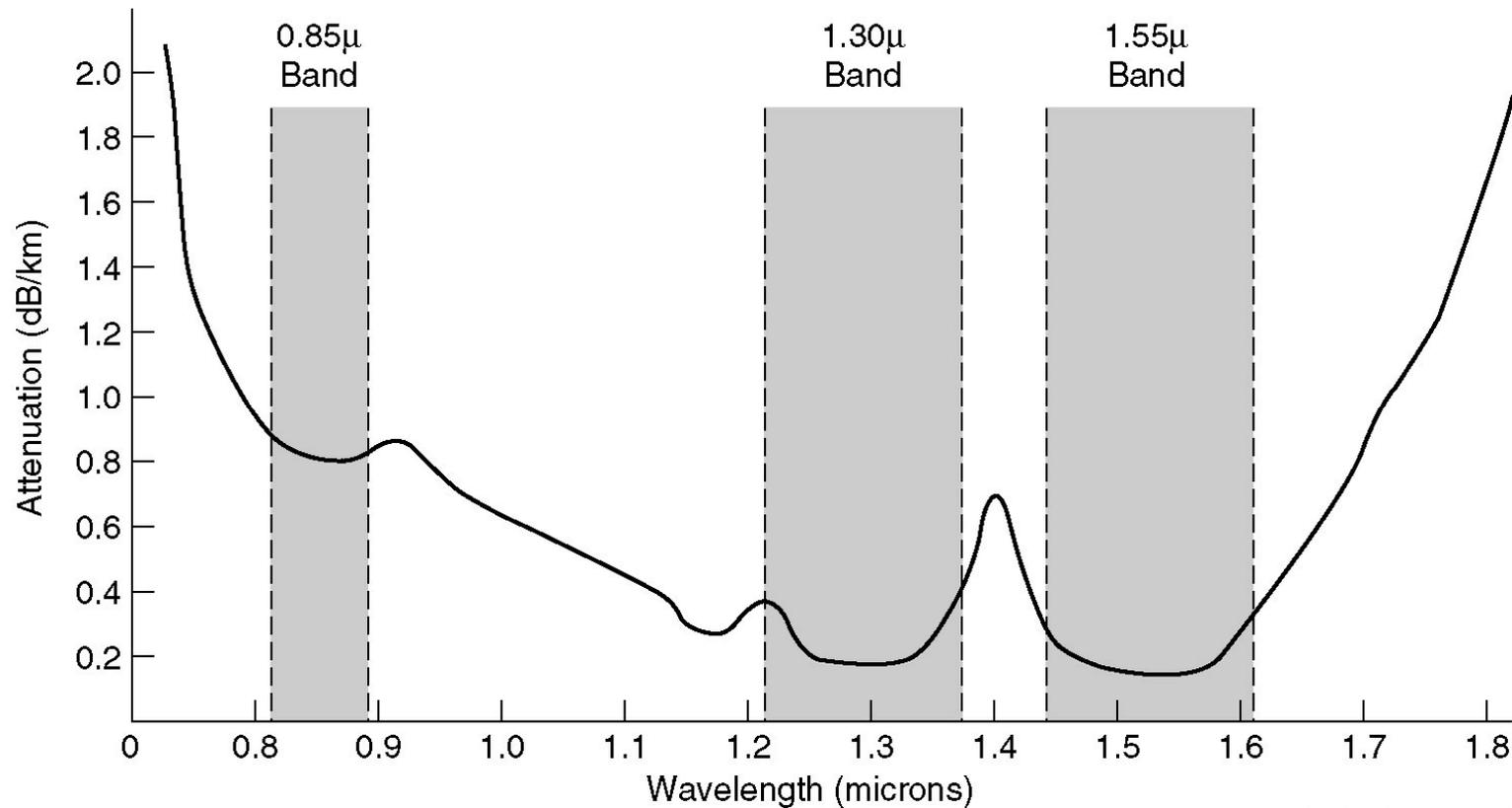
## Mezzi trasmissivi (oggi): fibre ottiche (OF)

- ☞ Guide d'onda dielettriche: sfruttano la rifrazione totale della luce al passaggio fra uno strato interno (core) e uno esterno (cladding)
  - Propagazione multimodo (core di circa  $50\ \mu$ )
  - Propagazione monomodo (core di circa  $5\ \mu$ )
- ☞ Le fibre più comuni sono di biossido di silicio  $SiO_2$  e presentano tre finestre
  - Prima finestra  $\lambda \sim 0.85\ \mu\text{m}$
  - Seconda finestra  $\lambda \sim 1.30\ \mu\text{m}$
  - Terza finestra  $\lambda \sim 1.55\ \mu\text{m}$
- ☞ L'attenuazione in una finestra è circa costante; vi si possono allocare alcune migliaia di canali con alcune decine di GHz di banda ciascuno

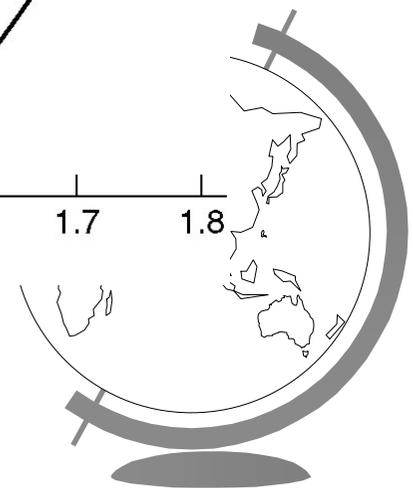


# Transmission of Light through Fiber

Attenuation of light through a silicon fiber in the infrared region



da Tanenbaum



# Fibre ottiche (segue)

- ☞ Prime applicazioni delle OF negli anni '70
  - Propagazione multimodo in prima finestra
  - Attenuazione  $A \cong 2 \div 1$  dB/Km
- ☞ Sistemi in OF attuali
  - Propagazione monomodo in terza finestra
  - $A \cong 0.2$  dB/Km (limite teorico in  $\text{SiO}_2$ :  $A = 0.16$  dB/Km)
  - Possibilità di amplificazione ottica con drogaggio all'Erbio e aggiunta di potenza ottica: passo di amplificazione oltre 1000 Km
- ☞ Ricerche su altri tipi di vetro (con cloro, fluoro, zirconio, ..) per ottenere  $A < 0.01$  dB/Km



# Fibre ottiche (segue)

- ☞ Diafonia completamente assente
- ☞ Costo del cavo bassissimo
  - Ancora parzialmente mascherato dal costo dei generatori, LED (più economici) o Laser (più costosi), e dei rivelatori
- ☞ Paradosso delle OF: le OF hanno prestazioni di gran lunga migliori dei cavi in rame, in termini di attenuazione, banda e immunità ai disturbi, ma hanno minori costi
- ☞ Le OF hanno enormi capacità (~infinite): questo può suggerire soluzioni di rete originali



# Mezzi trasmissivi: radio comunicazioni

- ☞ Mezzo naturalmente broadcast
  - Vantaggioso per i servizi diffusivi
  - Problema della condivisione dello spettro
- ☞ Le onde elettromagnetiche si propagano in linea retta
  - Sotto i 3 MHz: visibilità diretta o onda di terra
  - Fra 3 e 30 MHz: propagazione ionosferica
  - Sopra i 30 MHz: solo visibilità diretta (ponti radio)
- ☞ Attenuazione nei radiocollegamenti
  - Cresce con la distanza con legge polinomiale
  - Cresce con il quadrato della frequenza
  - Le antenne diventano più efficienti quando la frequenza cresce



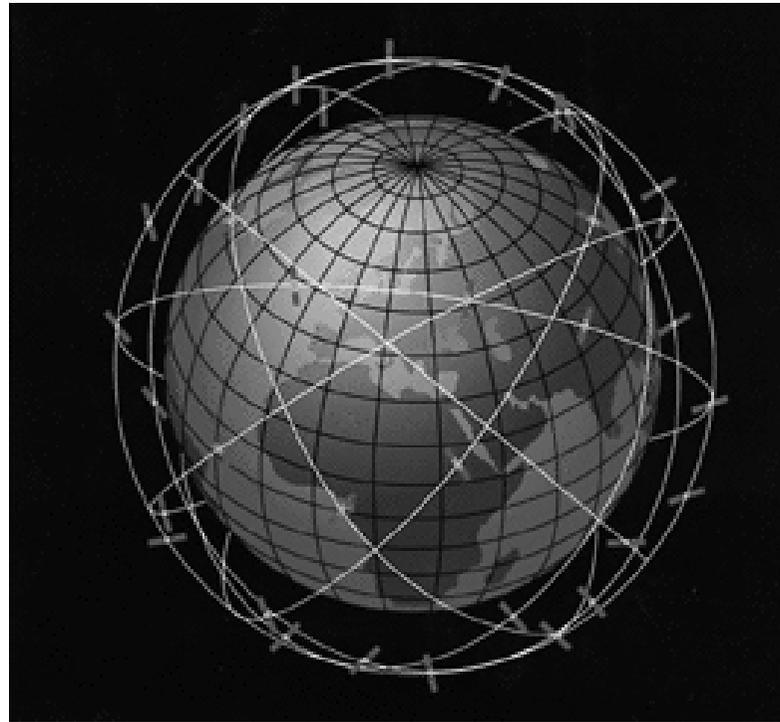
# Radiocomunicazioni via satellite

- Primo satellite artificiale: Sputnik 1957
- Satelliti per TLC: serie Intelsat dagli anni '60
  - Satelliti in orbita geostazionaria (GEO = Geostationary Earth Orbit) a circa 36 000 Km di altezza
- Di recente si usano anche altre orbite
  - MEO: Medium-Earth Orbit (10000÷15000 Km di altezza)
  - LEO: Low-Earth Orbit (<5000 Km di altezza)
- Dapprima satelliti molto semplici e stazioni a terra molto sofisticate e costose
  - Collegamenti televisivi transatlantici e mondovisione
  - Teleporti
- Ora satelliti sofisticati con grande potenza in trasmissione: la stazione a terra può diventare molto economica
  - Global Position System (GPS)
  - Diffusione diretta da satellite (DBS)

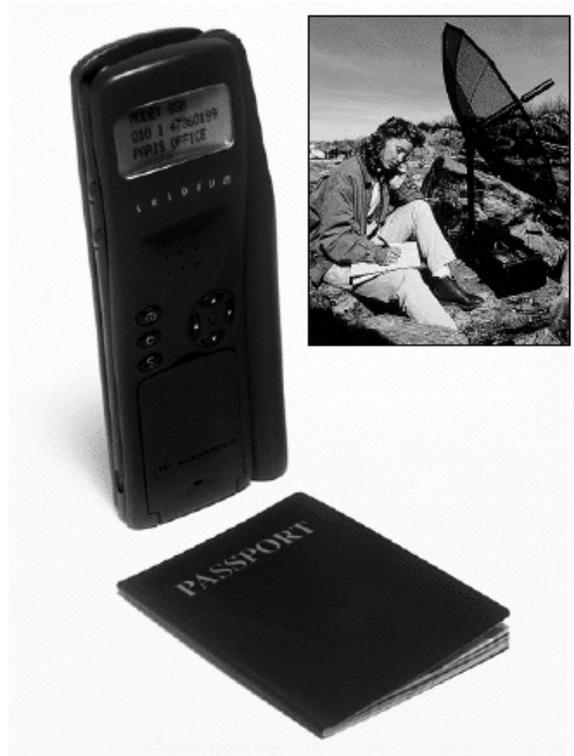


# Il sistema Globalstar per la telefonia satellitare

Disposizione  
dei satelliti  
nel sistema  
Globalstar



# Radiotelefoni satellitari



# Osservazioni sulle reti radio

- ☞ I ponti radio ed i satelliti sono il modo più economico e veloce per distribuire servizi di telecomunicazione in territori vasti e poco densamente popolati
- ☞ Il mezzo di propagazione radio è condiviso: ci sono forti problemi di banda, si può utilizzare solo un numero limitato di canali
- ☞ Il mezzo radio è vulnerabile ai disturbi
  - Molti collegamenti presentano una probabilità di fuori servizio
  - Possibili sabotaggi



# Radiocomunicazioni: sistemi cellulari

- ☞ Nuovo modo di usare i radiocollegamenti: la potenza trasmessa è piccola, pertanto l'interferenza è limitata ad una cella
- ☞ Le frequenze possono essere riusate in altre celle non immediatamente adiacenti
  - Gruppi di celle (cell clusters)
  - Con un centinaio di canali si può servire una quantità illimitata di utenti
- ☞ Sono necessari terminali molto sofisticati
  - Selezione del canale e segnalazione
  - Hang-over
  - Roaming



# Sistemi cellulari (segue)

- ☞ Principale applicazione: telefonia mobile
- ☞ Sistemi pionieristici a 150 e 450 MHz
- ☞ Sistema ETACS a 900 MHz, diffuso in alcuni paesi europei
  - Sistema analogico (metà anni '80)
  - Copertura nazionale
- ☞ Global System Mobile (GSM): sistema internazionale Europeo (II generazione)
  - Sistema digitale
  - Adottato in molte parti del mondo (India, Australia,...)
- ☞ Sistemi di III Generazione (UMTS)



# Sistemi cellulari (segue)

- ☞ Sono diventati operativi i sistemi di IV generazione
  - Ricerca di un sistema unico mondiale
  - Capacità offerte ~ Mbit/s per utenti in rapido movimento, ~ 10-50 Mbit/s per utenti fermi
  - Terminali con capacità multimediali
- ☞ Long Term Evolution



# Sistemi cellulari (segue)

- ☞ Enorme diffusione: in Italia il numero di abbonati ha superato quello della telefonia fissa
- ☞ Il traffico telefonico da fisso a fisso diventa percentualmente sempre meno importante
- ☞ Attualmente sono possibili molti altri servizi
  - Scambio di messaggi (SMS, MMS)
  - Accesso a Internet
  - Servizi multimediali



# Smartphones





# **INTRODUZIONE DELLE TECNICHE DIGITALI**

# Tecniche digitali, numerizzazione

- ☞ Le telecomunicazioni iniziano con trasmissioni digitali a bassa velocità (rete telegrafica) a causa delle limitazioni tecnologiche
- ☞ L'elettronica allo stato solido rende poi convenienti le trasmissioni digitali ad alta velocità
- ☞ I segnali analogici possono essere convertiti in digitali (conversione A/D) e riconvertiti (conversione D/A): teorema di Shannon
- ☞ Sistemi PCM (Pulse Code Modulation)
  - Voce con 4 KHz di banda lorda → canale a 64 *Kbit/s*
  - Moltiplicazione a divisione di tempo (TDM)
  - Problemi di sincronismi: sistemi sincroni o plesiocroni



# Problematica del sincronismo di rete

- ☞ Le trasmissioni digitali prevedono l'invio di un flusso di bit ad una velocità (bit rate) determinata da un oscillatore locale
- ☞ Problema fondamentale: un oscillatore progettato per funzionare ad una velocità nominale in pratica presenta un errore aleatorio e variabile nel tempo che al più può essere contenuto all'interno di una tolleranza
- ☞ Sono possibili due scenari
  - Reti plesiocrone: gli oscillatori posti su nodi distinti sono indipendenti, e forniscono velocità leggermente diverse
  - Reti sincrone: viene distribuito un sincronismo di rete a cui vengono asserviti tutti gli oscillatori di tutti i nodi; le velocità generate sono pertanto eguali a meno del rumore



# Gerarchie del Sistema plesiocrono

## Europa

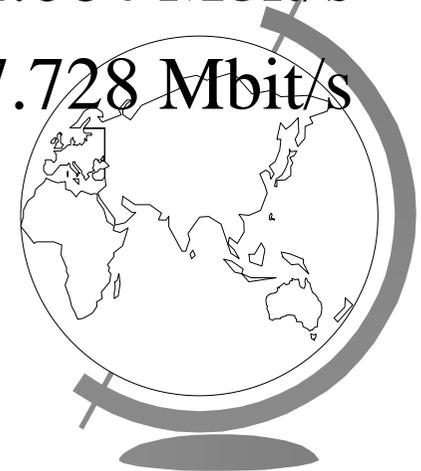
2.048 Mbit/s (E1)  
8.448 Mbit/s  
34.368 Mbit/s (E3)  
139,264 Mbit/s  
564.992 Mbit/s

## USA

1.544 Mbit/s (T1)  
6.312 Mbit/s  
44.736 Mbit/s (T3)  
274.176 Mbit/s

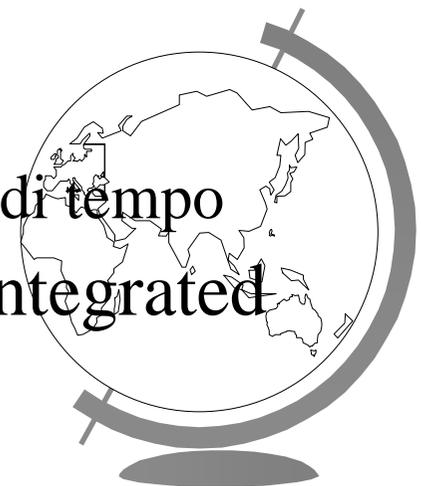
## GIAPPONE

1.544 Mbit/s  
6.312 Mbit/s  
32.064 Mbit/s  
97.728 Mbit/s



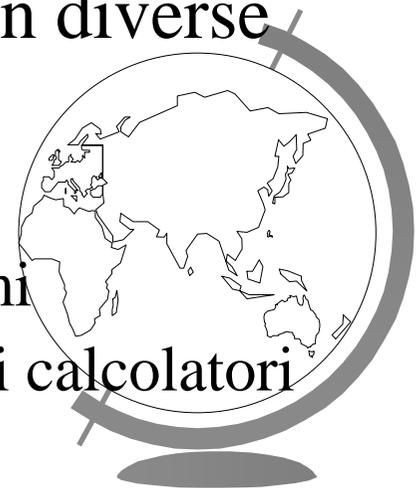
# Tecniche numeriche nella commutazione

- ☞ Primi sistemi (centralini): manuali
- ☞ Centrali telefoniche automatiche: era elettromeccanica
  - Selettori Strowger a sollevamento e rotazione
  - Selettori a motore (Ericsson)
  - Centrali a barre incrociate (cross bar)
- ☞ Era elettronica
  - A partire dalla metà degli anni '70
  - Basate su matrici di connessione a divisione di tempo
- ☞ Tutta la rete diventa digitale: fase IDN (Integrated Digital Network)



# Tecniche numeriche: la ISDN

- ☞ Concetto della ISDN (Integrated Service Digital Network): richiede
  - Una rete IDN
  - Interfacce standard unificate
  - Un unico accesso per l'utente a tutti i servizi (integrazione dei servizi)
- ☞ La transizione verso la ISDN comincia nella seconda metà degli anni '80 ed è tutt'ora in corso (con diverse velocità nei diversi paesi)
- ☞ Motivazioni della ISDN
  - L'integrazione dei servizi consente molti risparmi
  - Diventano possibili molti nuovi servizi basati sui calcolatori (Telematica)





**INGRESSO DEI CALCOLATORI  
NELLA RETE DI  
TELECOMUNICAZIONI**

# Nascita dell'Informatica

- Gli studi pionieristici sui calcolatori iniziano nell'800, ma solo con l'elettronica allo stato solido diventano praticamente utilizzabili: nascita dell'Informatica (Computer science)
- Anni '60: periodo pionieristico
- Anni '70: era dei grandi centri di calcolo
- Anni '80: minicalcolatori e workstations
- Anni '90: personal computers (PC)
  - Informatica distribuita



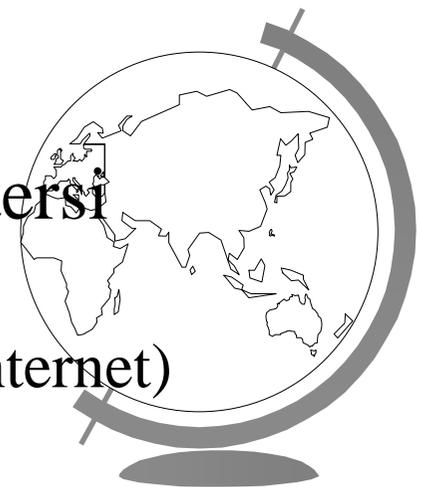
# Calcolatori nella rete (segue)

- ☞ Per la rete di telecomunicazioni i calcolatori sono estremamente importanti, sia come apparati di rete sia come utenti della rete
- ☞ Apparati di rete
  - Nei nodi di commutazione si fa largo uso di calcolatori, una centrale di commutazione elettronica stessa può essere vista come un grande calcolatore specializzato
  - I terminali di utente sono ormai calcolatori
- ☞ Utenti della rete
  - Per la rete i calcolatori rappresentano un nuovo tipo di utente, già digitale per sua natura



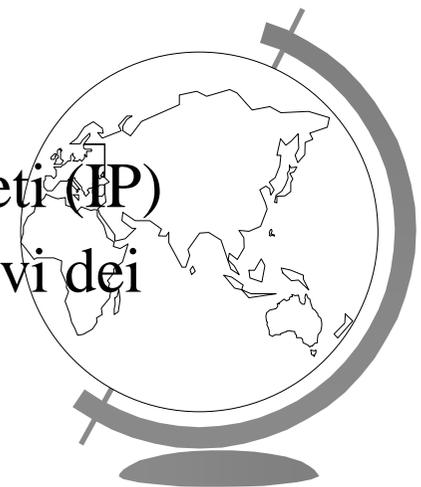
# Calcolatori come utenti della rete

- Anni '60: i calcolatori si connettono ai loro apparati terminali, non è necessaria la rete
- Anni '70: connessione fra gli Host dei centri di calcolo ed i terminali remoti
  - Trasmissione dati
  - Rete telefonica + modems
- Anni '80: reti di Host
  - Architetture di rete
  - Reti in area locale (LAN)
- Anni '90: tutti i computer richiedono di potersi collegare a due a due
  - Si richiede una rete di calcolatori universale (Internet)



# Rete di calcolatori

- ☞ Per far comunicare i calcolatori occorrono protocolli
- ☞ Lo sviluppo dei protocolli per una rete di calcolatori è un compito molto complesso: i protocolli vengono organizzati in una architettura
- ☞ Per avere una rete di calcolatori universale occorrono
  - Uno schema di indirizzi universale
  - Un protocollo unico di interconnessione di reti (IP)
  - Interfacce standard fra i programmi applicativi dei calcolatori e la rete (interfaccia di Trasporto)



# Reti di calcolatori: il Progetto OSI

- ☞ La ISO (International Standard Organization) ha promosso nel 1976 un programma per lo sviluppo di una rete universale
  - Progetto OSI: Open System Interconnection
  - Sviluppo di un Modello di Riferimento: OSI RM (Reference Model)
  - Il modello OSI è a strati: individuati 7 strati
- ☞ Il modello di riferimento a strati proposto da OSI è universalmente adottato: in questo ha avuto successo
- ☞ L'OSI ha proposto anche uno schema di indirizzi, un protocollo IP e una interfaccia di trasporto: questi non sono stati adottati, e in questo l'OSI ha fallito



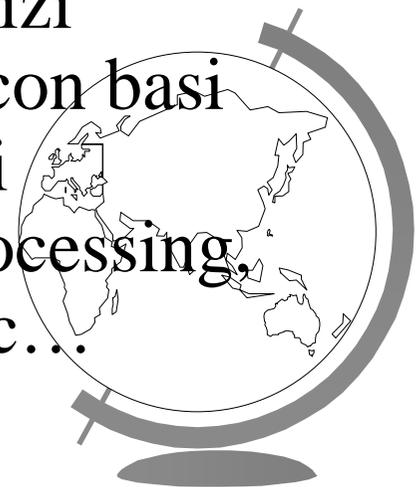
# Rete di calcolatori: l'Internet

- ☞ La ARPA (Advanced Research Project Agency) del DoD (Department of Defense) americano negli anni '60 lanciò un progetto per collegare i computer dei centri di ricerca e degli enti governativi degli USA
- ☞ Nel 1969 ARPANET cominciò a funzionare collegando 4 università dell'ovest
  - commutazione di pacchetto (packet switching), evoluzione della comm. di messaggio
    - ◆ Puro datagram: ogni pacchetto è indipendente dagli altri
    - ◆ Rete best effort: non c'è garanzia sulla qualità di servizio
  - Adotta il TCP/IP nel 1983 (standard di Unix)
  - Crescita rapidissima



# Calcolatori nella rete: telematica

- ☞ Dal punto di vista dei servizi la sinergia fra rete e calcolatori offre una infinità di nuove possibilità (servizi Telematici)
  - Enormi potenzialità
  - Necessità di adeguata promozione
  - Molti esperimenti, con successi e insuccessi
- ☞ L'Internet è la sorgente moderna dei servizi telematici: posta elettronica, interazione con basi dati (WWW), diffusione di svariati tipi di informazioni multimediali, transaction processing, e-commerce, e-publishing, telelavoro, ecc...

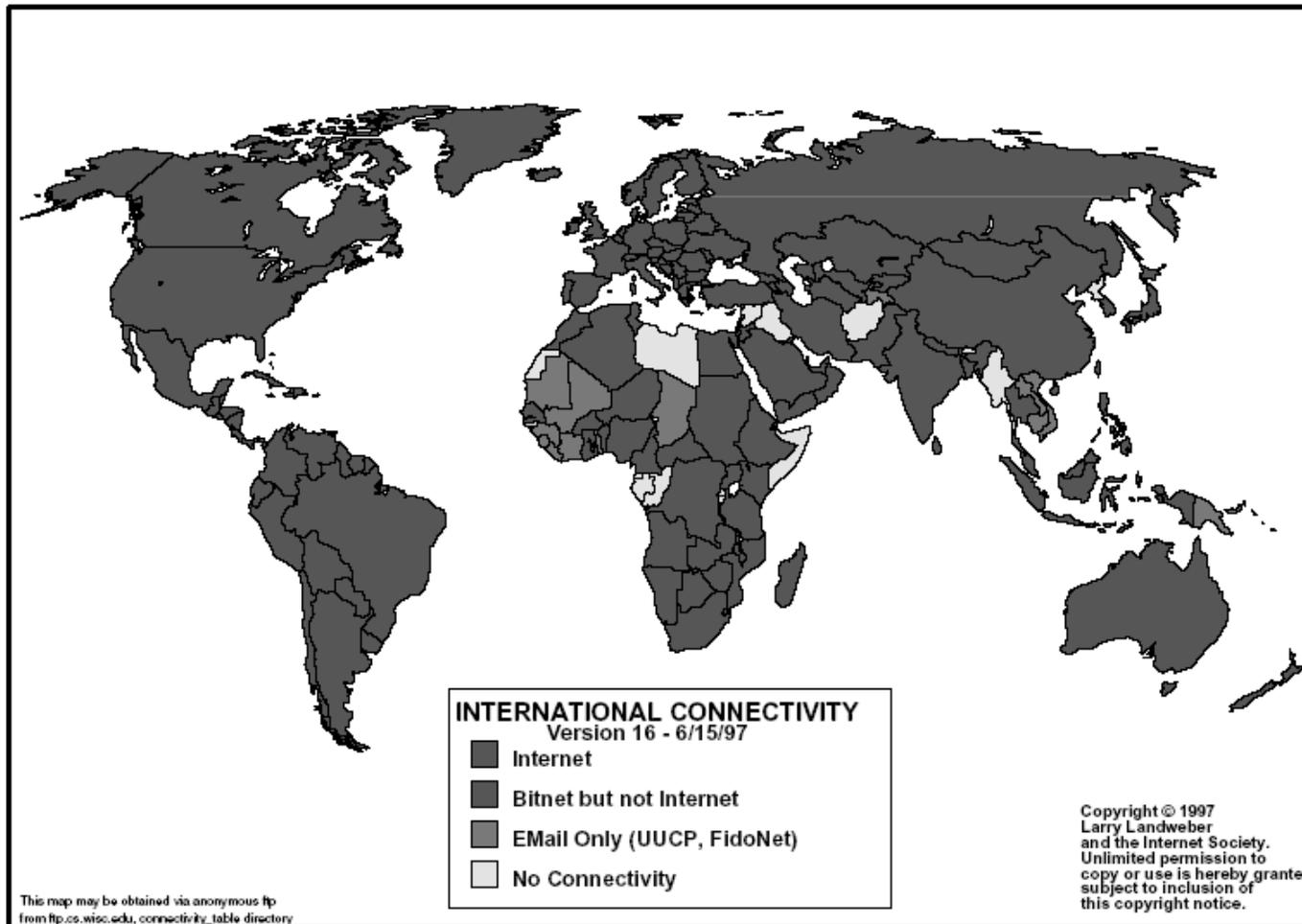


# L'Internet

- ☞ Alcuni cambi di gestione: a metà degli anni '80 ARPANET diventa NSFNET (National Science Foundation Network)
  - Crescita esponenziale: raddoppio ogni anno
  - Connessione con reti di ricerca di altri paesi
- ☞ Si comincia a parlare di internet e poi di Internet: la Internet Society fondata nel 1992
- ☞ Nel 1994 apre alle organizzazioni commerciali; in pochi anni il traffico commerciale diventa di gran lunga predominante
- ☞ Internet è una collezione di reti interconnesse, in particolare LAN



# Internet





**MULTIMEDIALITA'**

# Servizi multimediali

- ☞ Nuovi servizi telematici spesso multimediali, coinvolgendo testi e/o audio e/o immagini
- ☞ Trasmissione di voce
  - Standard PCM: canale a 64 Kbit/s
  - Compressione
  - Pacchettizzazione della voce, Internet telephony
- ☞ Musica
  - Standard per i CD: monofonia 705.6 Kbit/s, stereofonia 1411 Kbit/s
  - Interfaccia MIDI (Music Instrument Digital Interface)



# Servizi multimediali: il video

## ☞ Televisione analogica

- Standard Europeo 5 Mhz, standard USA 4 Mhz
- La HD TV (High Definition TV) richiede una banda 4÷5 volte maggiore della standard

## ☞ Televisione digitale

- Senza compressione: circa 100 Mbit/s
- MPEG-2 sistema di compressione molto efficiente: circa 4 canali MPEG-2 possono essere trasmessi nella banda di un canale analogico
- MPEG-4
- Con una rete di distribuzione opportuna sono possibili nuovi servizi
  - ◆ Televisione interattiva
  - ◆ Video on demand





# EVOLUZIONE DEGLI SCENARI DI RETE

# Scenari di rete

- ☞ Le caratteristiche e l'evoluzione della rete TLC hanno determinato uno scenario valido fino agli inizi degli anni '90 (scenario di ieri o scenario tradizionale)
  - Caratteristiche della rete
  - Caratteristiche della gestione
  - Caratteristiche del mercato
  - Caratteristiche dell'industria
- ☞ Lo scenario si modifica profondamente a partire dagli anni '90; il processo è ancora in atto e i suoi effetti sono in parte imprevedibili (scenario di oggi/domani)



# Caratteristiche comuni a tutte le reti

## ☞ Elementi di una rete

### – Terminali

- ◆ Fungono da interfaccia con l'utente finale e codificano l'informazione in modo consono ad essere trasferita in rete

### – Collegamenti (link)

- ◆ Trasferiscono l'informazione fra punti remoti nello spazio

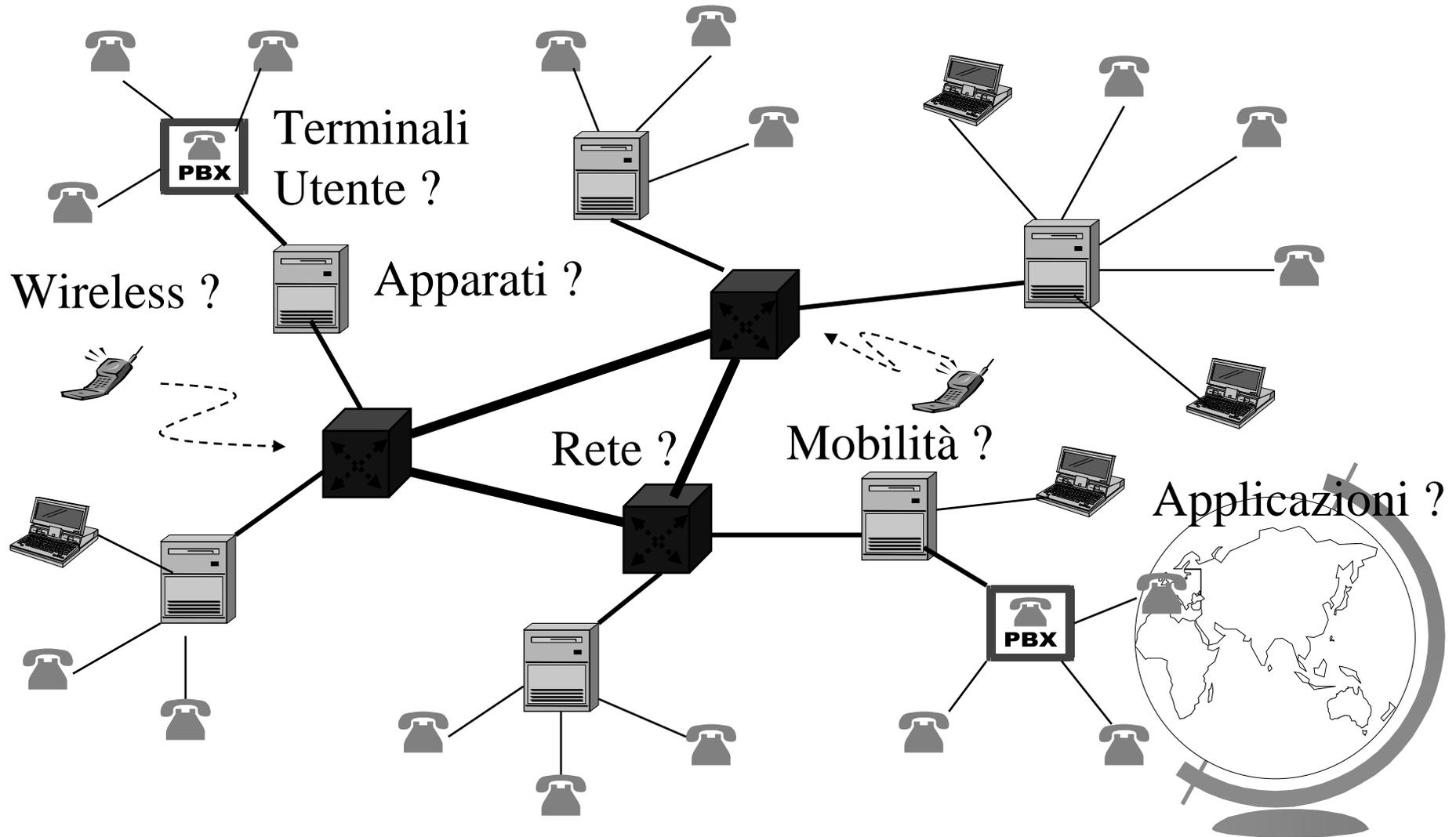
### – Nodi di commutazione

- ◆ Reperiscono le risorse necessarie per trasferire correttamente le informazioni tramite i collegamenti esistenti

☞ La rete di telecomunicazioni è un sistema che permette lo scambio di informazioni fra terminali distanti fra loro



# CONFIGURAZIONE DI RETE: MOLTEPLICI SOLUZIONI



# Collegamenti

## ☞ Punto-punto

- In ogni collegamento un nodo è collegato con un singolo nodo

## ☞ Punto-multipunto

- Un nodo può comunicare con tanti altri
- Broadcast
  - ◆ Un nodo trasmette allo stesso tempo a tutti i nodi della rete
- Multicast
  - ◆ Un nodo trasmette allo stesso tempo ad un sottoinsieme dei nodi della rete



# Funzioni di rete

## ☞ Trasmissione

- trasferimento fisico del segnale da punto a punto o da un punto a molti punti

## ☞ Commutazione

- Creazione ed abbattimento delle connessioni fra i punti terminali per soddisfare le richieste degli utenti.

## ☞ Segnalazione

- scambio di informazioni fra utente e rete oppure internamente alla rete necessario per la gestione della comunicazione e della rete stessa.

## ☞ Gestione

- tutto ciò che concerne il mantenimento delle funzioni della rete; riconfigurazione di fronti a guasti o cambiamenti strutturali, allacciamento di nuovi utenti ecc.



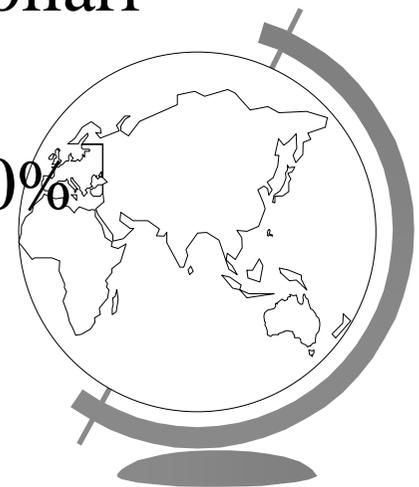
# Tecniche di commutazione

- ☞ Esistono numerose tecniche per realizzare la funzione di commutazione
- ☞ Le due tecniche tradizionalmente utilizzate e tuttora più diffuse sono
  - Commutazione di circuito (rete telefonica)
  - Commutazione di messaggio (rete telegrafica) o di pacchetto (reti di calcolatori)
- ☞ Di recente sono state proposte svariate altre tecniche che combinano caratteristiche dell'una e dell'altra



## Scenario di ieri (tradizionale): la rete

- ☞ Evoluzione da reti separate per telegrafo, telefono e radio/telediffusione verso una rete unica ISDN
- ☞ Finora il telefono è stato il servizio di gran lunga più importante economicamente
- ☞ Enormi investimenti in infrastrutture: ordine di grandezza diverse migliaia di miliardi di dollari
- ☞ Nei paesi industrializzati la rete di accesso telefonica (last mile) rappresenta circa il 30% dell'investimento totale



# Scenario di ieri: i gestori

- I gestori (dal telegrafo in poi) sono stati tradizionalmente quelli della posta ordinaria, di solito un Ministero
- Spesso il telefono è stato associato col telegrafo in un Ministero delle TLC (o Poste e TLC); (alcuni paesi fanno eccezione fra cui gli USA)
- I Ministeri ed i loro concessionari operano in un mercato regolato da leggi protezionistiche (regulations) in cui sono gli unici compratori (monopsomio)
- Progressiva deregulation da metà anni '80
  - Liberalizzazione dei servizi
  - Introduzione della pluralità dei gestori
  - Privatizzazione dei gestori
- I nuovi operatori hanno la stessa importanza economica dei vecchi
  - Federazione di reti



# Situazione Italiana dagli anni '50 ai '90

## I PRINCIPALI ATTORI

- ☞ Ministero delle Poste e Telecomunicazioni: aveva competenza su tutti i servizi TLC e gestiva
  - Servizio Postale
  - Servizi Telegrafici
  - Servizi Radioelettrici
  - Azienda di Stato per il Servizio Telefonico (ASST)
- ☞ Istituto per la Ricostruzione Industriale (IRI): gestiva le partecipazioni statali; in particolare attraverso la capofila STET controllava industrie e gestori delle TLC fra cui
  - SIP
  - Italcable
  - Telespazio
  - Italtel
  - Sirti
  - Selenia
  - ...



# Situazione italiana dai '50 ai '90

☞ I gestori della telefonia erano

- Per l'interfaccia con l'utente, il traffico locale e le interurbane a breve distanza: SIP
- Per le interurbane a grande distanza e le internazionali continentali: ASST
- Per le intercontinentali: Italcable
- Per le tratte intercontinentali via satellite: Telespazio

☞ Per i servizi di trasmissione dati

- Dopo una competizione fra Servizi Telegrafici, ASST e SIP questo servizio viene attribuito a SIP



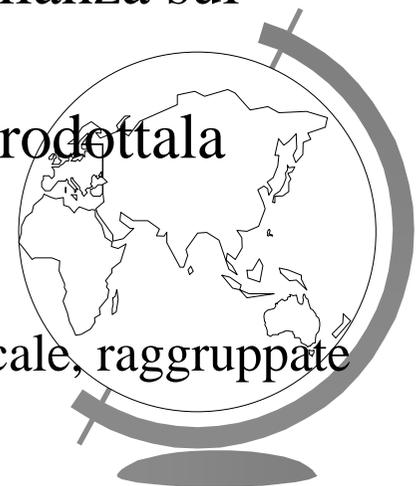
# Sviluppi della situazione negli anni '90

- La ASST viene trasformata in una azienda IRI controllata da STET (col nome di Iritel)
- Dopo un anno viene creato un unico gestore col nome di Telecom Italia che ingloba SIP, Iritel, Italcable, Telespazio e piccole aziende di servizi, ancora sotto il controllo STET
- La STET viene poi smembrata e Telecom Italia viene privatizzata
- Intanto la deregulation ha fatto sorgere una pluralità di gestori; ci sono varie leggi e direttive Europee che cercano di imporre una “par condicio” nella concorrenza fra i gestori, senza ancora molto successo perché Telecom Italia è ancora predominante nella rete di accesso



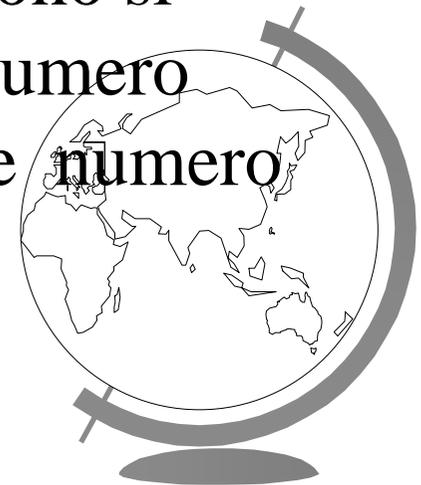
# Situazione negli altri paesi industrializzati

- ☞ In Europa di solito i Ministeri hanno gestito in regime di monopolio sulla rete
  - Ora stanno marciando a diverse velocità verso deregulation e privatizzazione
- ☞ In USA la più grande compagnia privata di TLC, il Bell System o At&T, fungeva anche da gestore, protetta da regulations
  - Il governo si limitava ad una funzione di sorveglianza sui prezzi e sulla qualità del servizio offerto
  - Nel 1984 (presidente Ronald Reagan) è stata introdotta deregulation e AT&T è stata smembrata
    - ◆ AT&T Long Lines per traffico a grande distanza
    - ◆ 23 Bell Operating Companies (BOC) per il traffico locale, raggruppate in 7 Regional BOC



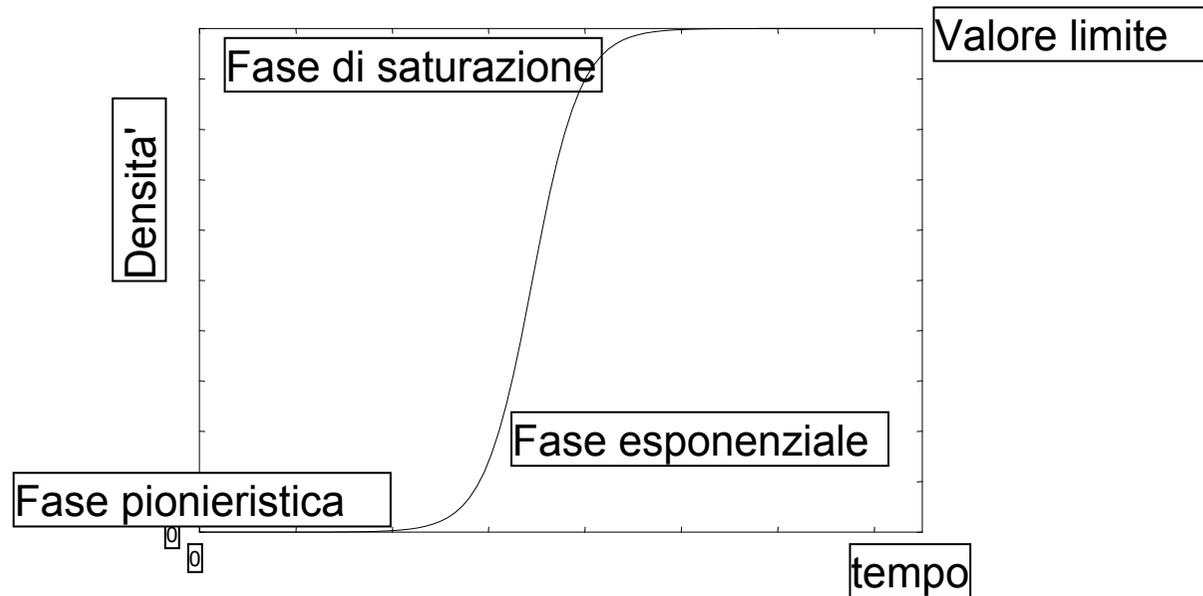
# Il mercato delle Telecomunicazioni

- ☞ Nello scenario tradizionale il mercato delle telecomunicazioni era dominato dal telefono che assorbiva più del 90% degli investimenti
- ☞ La bontà del mercato dipendeva pertanto dallo sviluppo dell'utenza telefonica
- ☞ Come misura della penetrazione del telefono si può assumere la Densità telefonica  $D = \frac{\text{numero abbonati}}{\text{numero abitanti}}$  (oppure anche  $D = \frac{\text{numero apparecchi installati}}{\text{numero abitanti}}$ )



# Sviluppo dell'utenza telefonica

- L'utenza telefonica, come diverse altre utenze si è sviluppata secondo la caratteristica curva a S



- Nella fase esponenziale il mercato è molto buono
- Il valore limite non è ancora stato raggiunto in nessun paese del mondo
- La densità limite sembra essere intorno a 2 telefoni/abitante



# Influenza delle telecomunicazioni sull'economia

- ☞ C'è una correlazione (circa una proporzionalità) fra la densità telefonica  $D$  ed il Prodotto interno Lordo (PIL) di un paese
- ☞ Un paese non può avere un buono sviluppo economico senza una rete di telecomunicazioni evoluta
- ☞ Grandissime differenze fra i vari paesi nella densità  $D$  in relazione al diverso tasso di sviluppo
- ☞ In particolare i servizi radiomobili e i servizi Internet, hanno grande influenza sul PIL



# La ICT

- Ormai il mercato delle telecomunicazioni è inscindibile da quello dell'informatica; si parla di:
  - Società dell'informazione
  - e di ICT = Information & Communication Technology
- Possibile definizione di ICT: convergenza delle quattro C
  - Communication
  - Computer
  - Consumer
  - Contents
- Quando si parla del mercato della ICT, tradizionalmente si include Computer e Communication, compresa la componentistica, mentre si esclude Contents e Consumer



# L'industria nello scenario di ieri

- ☞ Le industrie devono fare enormi investimenti in ricerca e sviluppo: possono sopravvivere solo poche grandi industrie multinazionali
- ☞ Nei paesi industrializzati i Ministeri hanno protetto l'industria nazionale: la concorrenza si ha solo nelle esportazioni verso paesi emergenti
- ☞ Il monopsonio impone all'industria di fare accordi con il gestore monopolista prima di fare i grandi programmi di investimenti
- ☞ Mercato piuttosto rigido: i nuovi sistemi devono interoperare coi vecchi → progresso rallentato
- ☞ La telematica introduce nuovi gestori e costruttori piccoli e grandi, in forte concorrenza e rapida evoluzione





**Scenari di oggi/domani**

# Scenari di oggi/domani

- ☞ La rete deve evolvere verso una rete a banda sostanzialmente più larga detta B-ISDN (sia fissa sia radiomobile)
- ☞ Si può prevedere che nei diversi paesi l'evoluzione possa percorrere strade diverse: si possono delineare due tipi di scenari
  - scenario Internet driven
  - scenario Mobile driven



# Scenario Internet driven

- Internet ha raggiunto una enorme diffusione (connette più di 100.000.000 di computer)
- Circa tutti i programmi applicativi sono basati su interfacce TCP/IP ed è ora molto costoso cambiare i protocolli di rete
- Viene l'idea di andare verso una rete TCP/IP a larga banda, introducendo routers a larga banda
- Problemi: il TCP/IP nella versione attuale non può garantire alcuna qualità di servizio (QoS)
- Sono in corso ricerche per offrire QoS nei router TCP/IP (RSVP, int-serv, diff-serv)



# Scenario Internet driven (segue)

- ☞ Tutti i servizi trasportati da Internet fra cui
  - Internet telephony
  - Internet broadcasting
  - Accesso mobile a Internet
- ☞ Devono essere risolti molti problemi
  - QoS
  - Security
  - Tariffazione (attualmente Internet è praticamente gratuita)
  - Tutti questi problemi sono aggravati dalla molteplicità e varietà dei gestori (federazione di reti e di gestori); sono richieste tecniche efficienti per l'interazione fra gestori



# Scenario mobile driven

- ☞ In molti paesi (fra cui l'Italia) il servizio più velocemente in crescita è quello radiomobile
- ☞ La maggior parte del traffico telefonico coinvolge almeno un operatore mobile
- ☞ Concetto UPT (Universal Personal TLC)
  - L'indirizzo di rete è associato alla persona e non ad un terminale
  - Il servizio deve essere sempre disponibile
- ☞ I sistemi di IV generazione offrono accessi a banda piuttosto larga (fino a 50 Mbit/s)
- ☞ I terminali radiomobili sono calcolatori sofisticati



# Scenario Mobile driven (segue)

- ☞ In questo scenario l'accesso alla rete avviene praticamente sempre attraverso terminali mobili
- ☞ La rete fissa è usata solo per la rete di dorsale (backbone)
- ☞ Occorrono protocolli sviluppati ed ottimizzati per le reti mobili che devono essere accettati da tutti gli operatori
- ☞ E' critico il problema dell'alimentazione efficiente dei terminali



# Osservazioni su questi scenari

☞ Tutti questi scenari hanno qualche problema

– Scenario Internet driven

- ◆ Non è certo che il TCP/IP possa garantire la QoS
- ◆ Problemi di security e tariffazione

– Scenario Mobile driven

- ◆ Problemi di banda del mezzo radio
- ◆ Problemi di alimentazione dei terminali
- ◆ Difficoltà di concordare un protocollo
- ◆ Vulnerabilità ai disturbi anche intenzionali

☞ Ognuno ha anche diversi motivi a favore ed è molto difficile prevedere gli sviluppi futuri





**UNO SGUARDO AL FUTURO**

# Possibili innovazioni nella ICT

- ☞ Si stanno affacciando nel mondo della ricerca innovazioni tecnologiche che non hanno ancora una loro fisionomia ben definita e rappresentano delle sfide per i prossimi 10÷15 anni
- ☞ Ci sono intense attività di ricerca nei tre campi della
  - Microelettronica/componentistica
  - Informatica
  - Telecomunicazioni



# Sfide della microelettronica/componentistica

- ☞ Aumento della complessità dei chip, componenti di dimensioni nanometriche
- ☞ Diffusione dei dispositivi optoelettronici e altissime frequenze di lavoro
- ☞ Diminuzione dei consumi di potenza, alimentatori intelligenti (critica per i sistemi mobili)
- ☞ Eterogeneità di funzioni sul chip
- ☞ Diffusione di microsistemi, micromotori e microattuatori, microsensori e biosensori



# Sfide dell'informatica

- ☞ Ubiquitous computing o Ambient intelligence
  - Ogni persona avrà a disposizione molti (decine o centinaia) computer miniaturizzati, che renderanno “intelligenti” oggetti di uso comune in qualunque luogo uno si trovi
  - Importanza dei collegamenti in mobilità
  - Necessaria la localizzazione nello spazio
- ☞ Applicazioni dell'Intelligenza artificiale
  - Rappresentazione e gestione della conoscenza
  - Interazione multisensoriale (riconoscimento del parlato, computer vision, ricerca per contenuti,..)
- ☞ Cooperazione e integrazione dinamica delle applicazioni per il supporto alla mobilità e nomadicità



# Sfide del mondo delle Telecomunicazioni

- Reti completamente ottiche
- Reti di contenuti multimediali
- Riconfigurabilità dinamica delle reti
- Sicurezza e protezione delle comunicazioni
- Servizi di localizzazione
- Piattaforme per servizi di realtà virtuale e presenza virtuale

