Introduzione alle reti wireless

Reti Avanzate, a.a. 2012/2013

Un. of Rome "La Sapienza"

Chiara Petrioli[†]

[†] *Department of Computer Science – University of Rome "Sapienza" – Italy*

Accesso Radio Condiviso

Accesso radio condiviso

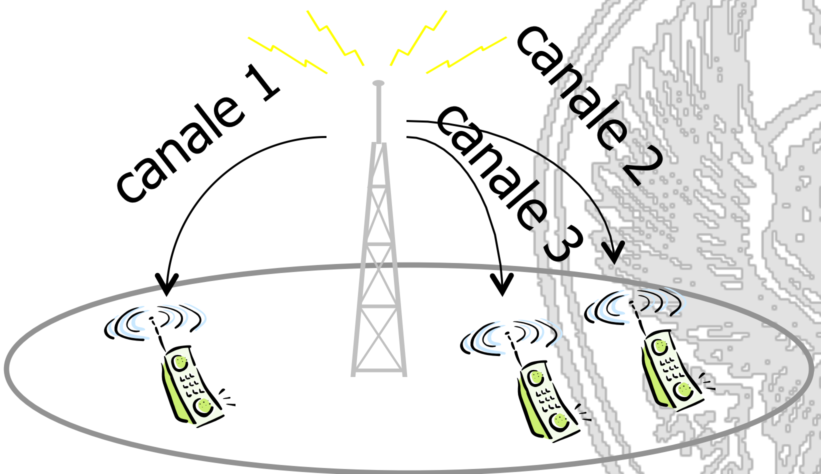
- Per far comunicare stazione radio base e stazioni mobili i sistemi cellulari usano la banda radio assegnata dalle autorità responsabili
- Questa risorsa trasmissiva è condivisa da tutte le comunicazione e va dunque in qualche modo divisa (in modo statico o dinamico) tra i flussi informativi
- La divisione della risorsa radio porta alla creazione di canali radio fisici
- Nel caso di servizio voce la tecnica di commutazione utilizzata è di tipo a circuito e quindi un canale fisico è assegnato ad ogni comunicazione stazione base – stazione mobile (<u>canale di traffico dedicato</u>)
- Lo stesso avviene per il servizio dati a circuito
- Nel caso di servizio dati a pacchetto i canali possono essere condivisi dinamicamente (<u>canale di traffico condiviso</u>)
- Altri canali, come vedremo, servono per scopi di servizio (<u>canali di controllo e segnalazione</u>)

Accesso radio condiviso: Multiplazione

- La multiplazione di livello fisico è la tecnica che consente di creare i canali fisici nel caso in cui la stazione trasmittente sia unica
- consiste nel suddividere la capacità di un canale in sottocanali di velocità inferiore

Accesso radio condiviso: Multiplazione

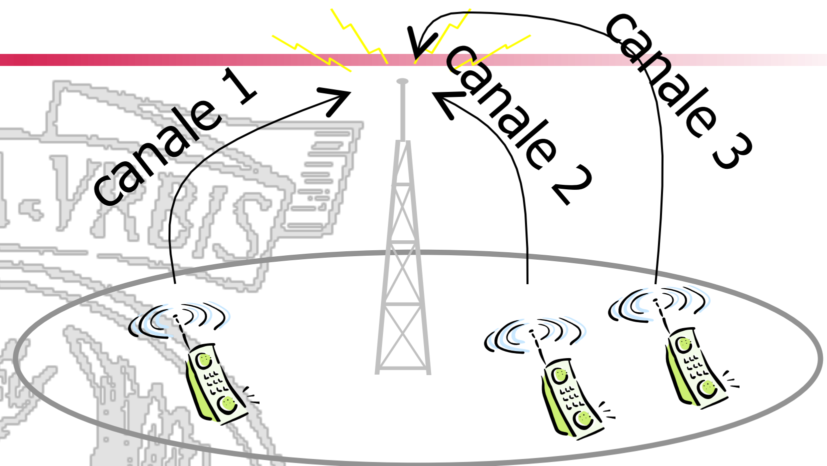
- La stazione trasmittente coinvolta è unica



Problema tipico della tratta
downlink (forward link) di sistemi cellulari (dalla stazione base ai terminali d'utente)

Accesso radio condiviso: Accesso Multiplo

- Tecnica con la quale da un unico canale broadcast se ne possono ricavare altri di tipo punto-punto
- Le stazioni trasmittenti possono essere molteplici (problema di coordinamento)



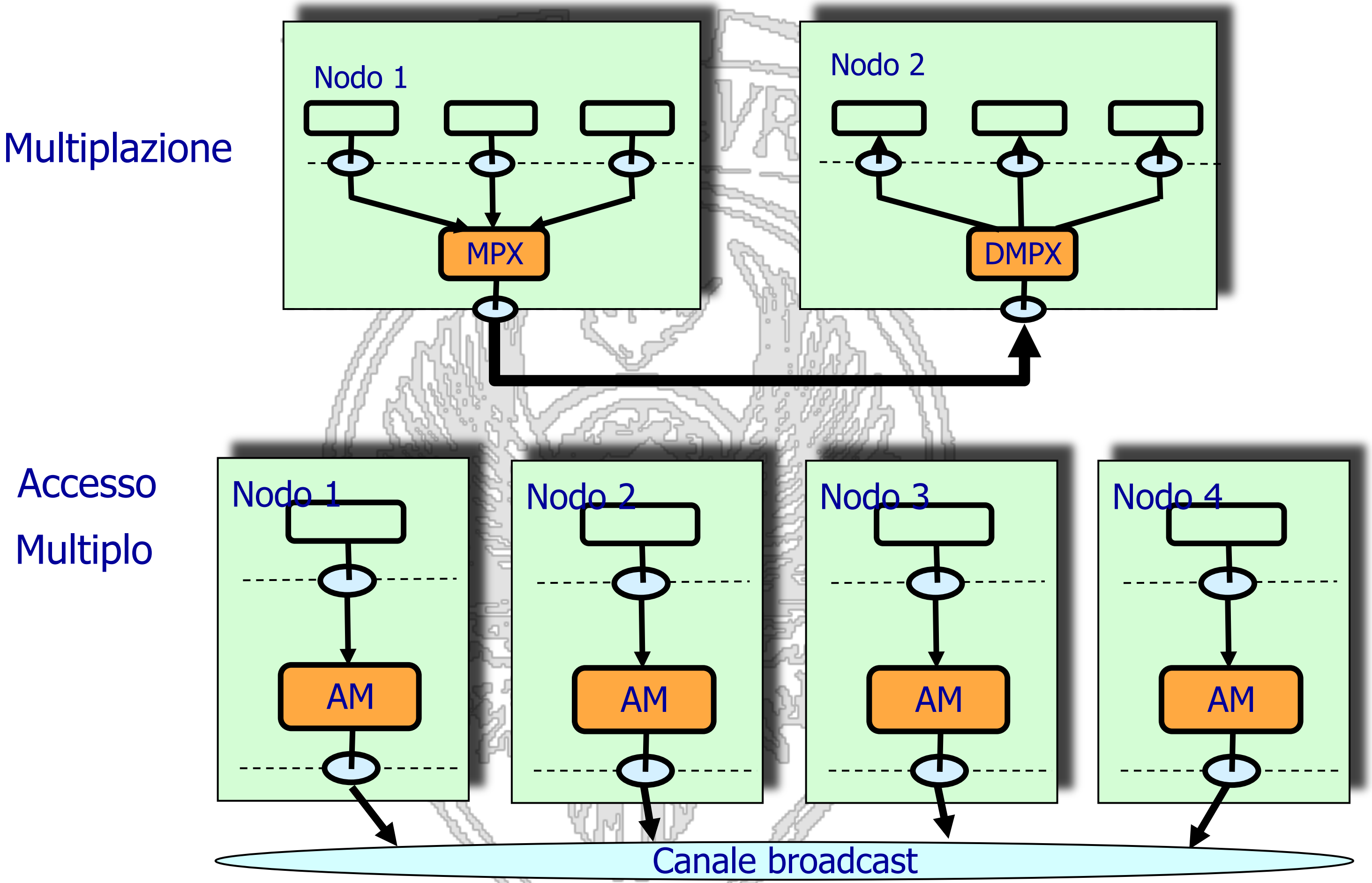
Problema tipico della tratta uplink (reverse link) di sistemi cellulari (dai terminali d'utente alle stazioni base)

Necessita' di protocolli di MAC (esempio:FDMA/TDMA)

- Nota che è necessaria anche una tecnica per la divisione tra canali uplink e canali downlink (tecnica di duplexing)

vedi corso di Reti 1

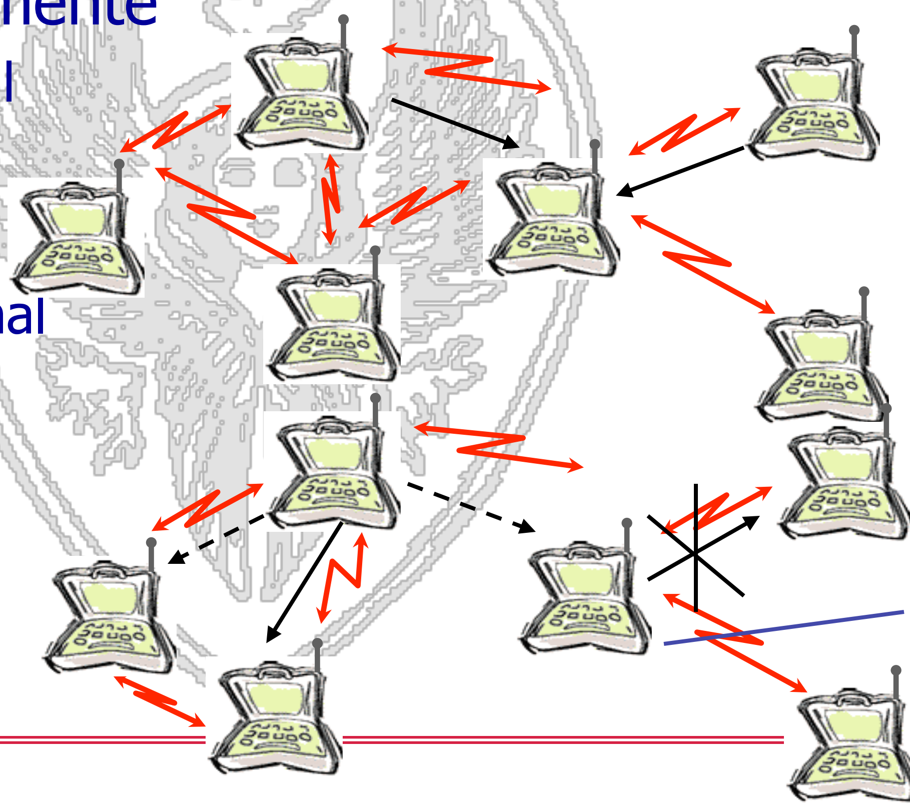
Accesso radio condiviso: Multiplazione/Accesso Multiplo



Ci occuperemo in seguito in dettaglio delle tecniche di accesso multiplo e multiplazione

Vediamo un esempio delle problematiche di MAC

- Si usano approcci CSMA-like, e.g. CSMA/CA
  – Perche' non TDMA like?
- Perche' non CSMA/CD? nodi non ricevono/trasmettono contemporaneamente
  – Hidden terminal
  – Exposed terminal



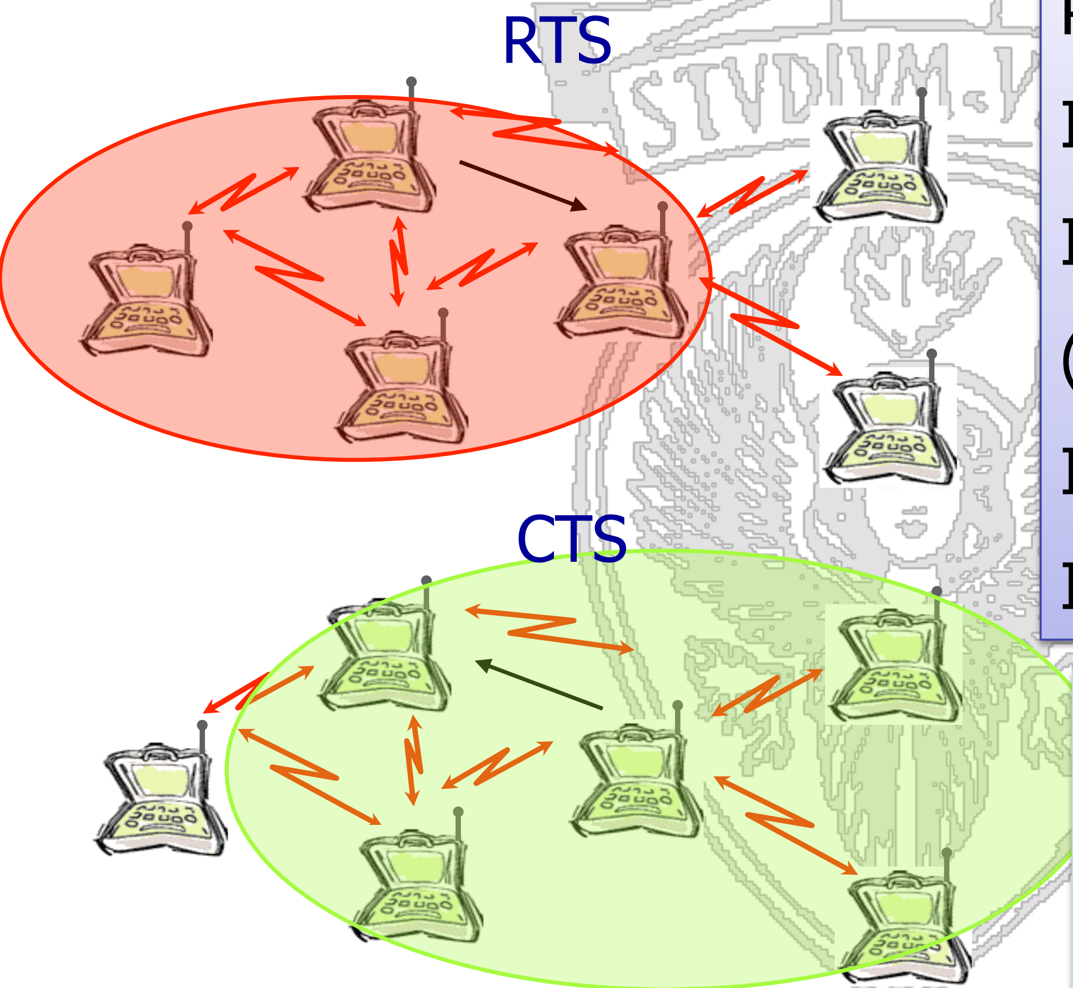
I due nodi che Tx non si ascoltano

Il nodo Potrebbe trasmettere

802.11 Distributed Coordination Function

- Basato sul CSMA/CA
- Prima di trasmettere un frame una stazione fa il sensing del canale
- Se il canale e' libero per un intervallo superiore al Distributed InterFrame Space (DIFS) la stazione trasmette
- Altrimenti (canale gia' occupato) si aspetta la fine della trasmissione corrente + un intervallo casuale detto *backoff timer*.
  - Il backoff timer viene decrementato solo quando il canale e' idle e viene congelato quando invece il canale e' occupato (e' riattivato quando il canale e' libero per un DIFS) DOMANDA:PERCHE'?
  - La stazione trasmette quando il backoff timer raggiunge il valore zero.
  - Il valore del backoff timer e' scelto casualmente all'interno di una finestra di CW slots. Al primo tentativo CW e' settato al valore minimo previsto da standard settato a 16.
- Come fa la MS trasmettente a sapere se il frame e' stato ricevuto con successo (collisioni si possono verificare per trasmissioni simultanee o per effetto del terminale nascosto)? Viene inviato dal ricevente un ACK esplicito alla fine della corretta ricezione del frame, dopo aver atteso per un tempo pari allo Short InterFrame Space (SIFS), SIFS<DIFS
- Nel caso di collisione si aspetta un tempo random e si prova a ritrasmettere → backoff esponenziale (CW viene raddoppiata ad ogni ritrasmissione fino ad un massimo di 1024 slots)

Virtual carrier sensing



Prima di trasmettere il dato

Il trasmettitore che trova

Il canale libero invia un RTS

(Request To Send)

Il ricevitore dopo un SIFS

Invia un CTS (Clear To Send)

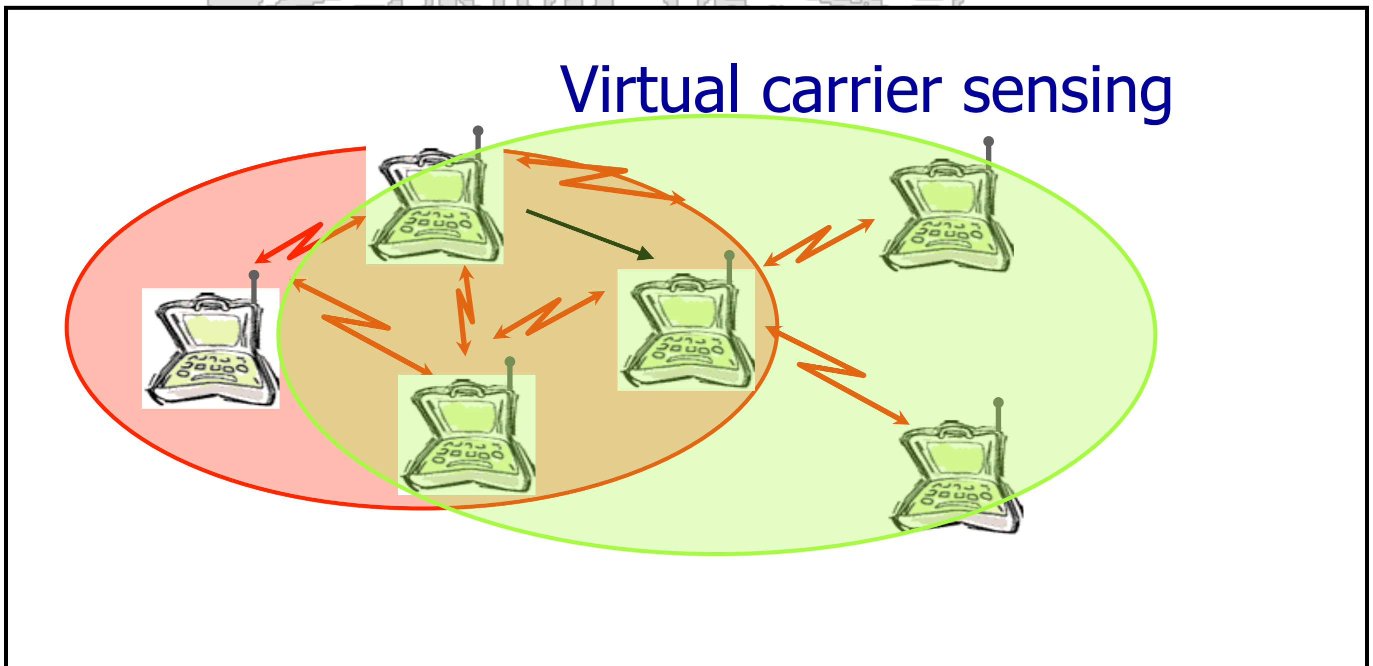
RTS e CTS sono pacchetti corti

Grazie al NAV i nodi che li sentono

sanno per quanto evitare di

Accedere al canale

802.11 Distributed Coordination Function



Non sempre usato. Vantaggi? Quando non è vantaggioso?

Accesso radio condiviso: Riuso di frequenze

Ritorniamo al caso di un sistema multicella (come i sistemi cellulari)

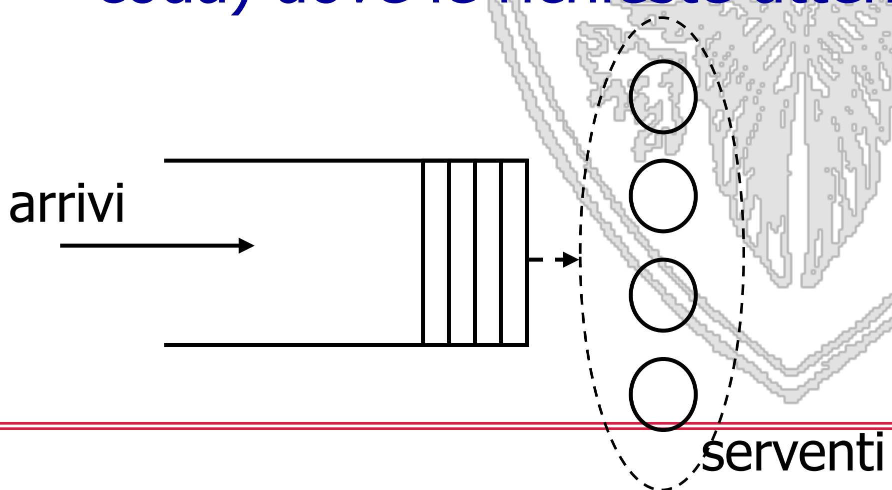
- La risorsa radio deve essere divisa tra stazioni radio base
- Il problema in questo caso è più complesso
- La quantità di risorsa radio (banda) è molto limitata e non è possibile dedicarla in modo esclusivo ad un canale fisico di una particolare cella
- Nella divisione della risorsa radio tra le celle in qualche modo la risorsa viene riusata più volte in celle sufficientemente distanti in modo che l'interferenza reciproca risulti fortemente attenuata (si ricordi il path loss)
- E' chiaro che il riuso di frequenze è critico e determina da un lato il numero di canali che si riesce ad assegnare a ciascuna cella e dall'altro la qualità del canale
- Dedicheremo nel seguito molta attenzione al problema!

Accesso radio condiviso: Prestazioni

- Indipendentemente dal modo con il quale la risorsa viene suddivisa il numero di canali che si riesce ad assegnare a ciascuna cella è limitato
- Salvo casi particolari (e che vedremo come quelli di allocazione dinamica, …) il numero di canali è anche fisso
- Il numero di conversazioni contemporanee per cella è limitato ed è dunque possibile che all'arrivo di una chiamata a circuito (ad es. voce) non vi siano più canali disponibili nella rete d'accesso radio (blocco della chiamata)
- *Per valutare le prestazioni in termini di probabilità di blocco della chiamata occorre caratterizzare il traffico*
- *Processo degli arrivi (chiamate voce ben modellate da processo di Poisson)*
- *Tasso degli arrivi*
- *Durata media della chiamata*

Come caratterizzare lo smaltimento di traffico in una cella:

- Ad un sistema di servizio (o sistema a coda) arrivano richieste di servizio secondo un processo (casuale) degli arrivi
- Ciascuna richiesta è caratterizzata da un tempo di servizio non nullo necessario ad uno dei serventi per soddisfarla
- E' possibile la presenza di uno o più sistemi di attesa (o coda) dove le richieste attendono che un servente si liberi



Sistemi di servizio- Esempi

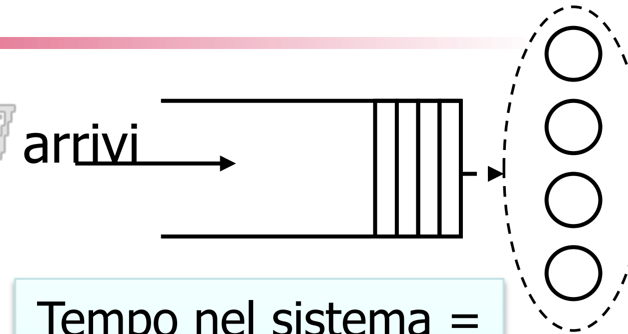
- Sistemi di servizio commerciali (casse del supermercato, uffici postali, ingresso di un museo, biglietterie ferroviarie etc.)
- Sistemi di servizio sociali (servizi ospedalieri, servizio ambulatoriale del medico, uffici pubblici etc.)
- Sistemi di trasporto (autoveicoli in attesa ai caselli, o in attesa di essere caricati/scaricati, aerei in attesa di decollare o atterrare etc.)
- Sistemi di produzione (attesa da parte di linee di produzione di componenti che devono essere lavorati, centri di assemblaggio o sistemi di manutenzione-con operai serventi etc.)
- Sistemi di comunicazione (attesa dei pacchetti in coda prima di essere trasmessi, etc.)

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

Sistemi di servizio

Un sistema di servizio è quindi caratterizzato da

- Popolazione degli utenti (finita/infinita)
- Numero s dei serventi
- Processo degli arrivi
  - quale è la distribuzione del tempo di interarrivo ?
  - cosa succede se l'utente trova la coda piena ?
- Schema di servizio
  - Descrive il modo in cui ciascun servente eroga il servizio:
    - ✓ Distribuzione del tempo di servizio?
    - ✓ I serventi operano in parallelo o in serie?
- Disciplina della coda
  - FIFO/LIFO/a priorità /con scelta casuale



Tempo nel sistema =

Ritardo di coda +

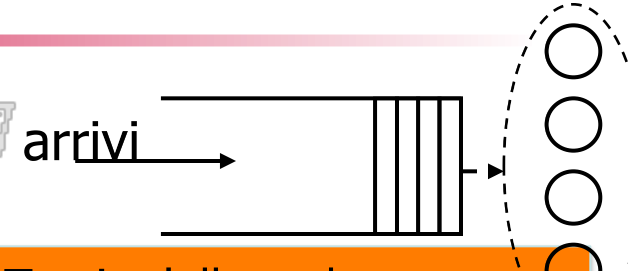
tempo di servizio

Assumiamo che a) i tempi di arrivo t_i^a siano indipendenti e identicamente distribuiti

b) che i tempi di servizio t_i^s siano indipendenti e identicamente distribuiti

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Sistemi di servizio



Un sistema di servizio è quindi caratterizzato da

- Popolazione degli utenti (finita/infinita)
- Numero s dei serventi
- Processo degli arrivi
  - quale è la distribuzione del tempo di interarrivo ?
  - cosa succede se l'utente trova la coda piena ?
- Schema di servizio
  - Descrive il modo in cui ciascun servente eroga il servizio:
    - ✓ Distribuzione del tempo di servizio?
    - ✓ I serventi operano in parallelo o in serie?
- Disciplina della coda
  - FIFO/LIFO/a priorità /con scelta casuale

Teoria delle code:

Permette di rispondere a domande funzionali al dimensionamento del Sistema:

Tempo medio di attesa?

Distribuzione di tale tempo?

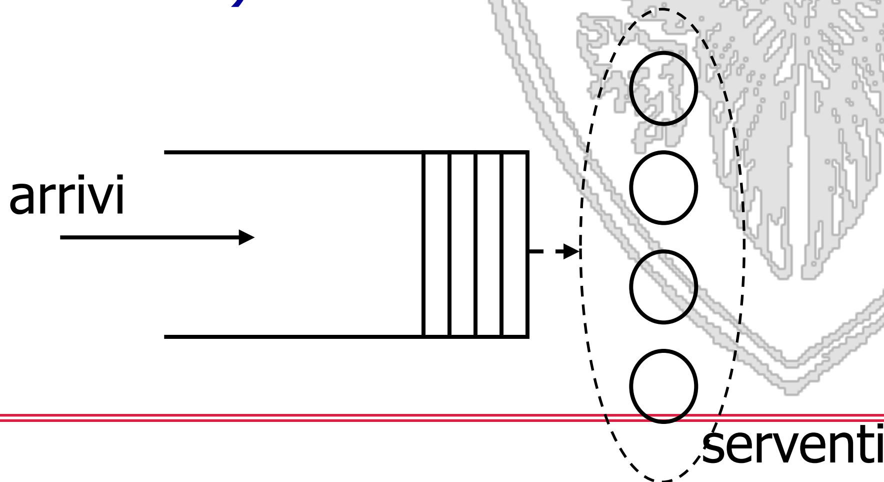
Utilizzazione dei serventi?

Assumiamo che a) i tempi di arrivo t_i^a siano indipendenti e indeticamente distribuiti

b) che i tempi di servizio t_i^s siano indipendenti e identicamente distribuiti

Come caratterizzare lo smaltimento di traffico in una cella:

- Ad un sistema di servizio (o sistema a coda) arrivano richieste di servizio secondo un processo (casuale) degli arrivi
- Ciascuna richiesta è caratterizzata da un tempo di servizio non nullo necessario ad uno dei serventi per soddisfarla
- E' possibile la presenza di uno o più sistemi di attesa (o coda) dove le richieste attendono che un servente si liberi



Arrivi= richieste di chiamate

Num. serventi= Num. canali

Lunghezza della coda = 0

Notazione di Kendall

- E’ la notazione che indica le caratteristiche di un sistema di servizio
  - A/B/s/c/p/Z
  - A rappresenta lo schema di arrivo ovvero la distribuzione di probabilità degli intertempi di arrivo
  - B rappresenta lo schema di servizio ovvero la distribuzione di probabilità dei tempi di servizio
  - s è il numero dei serventi
  - c è la capacità del sistema
  - p è la dimensione della popolazione
  - Z rappresenta la disciplina di coda

Interi non negativi

FIFO se non specificato

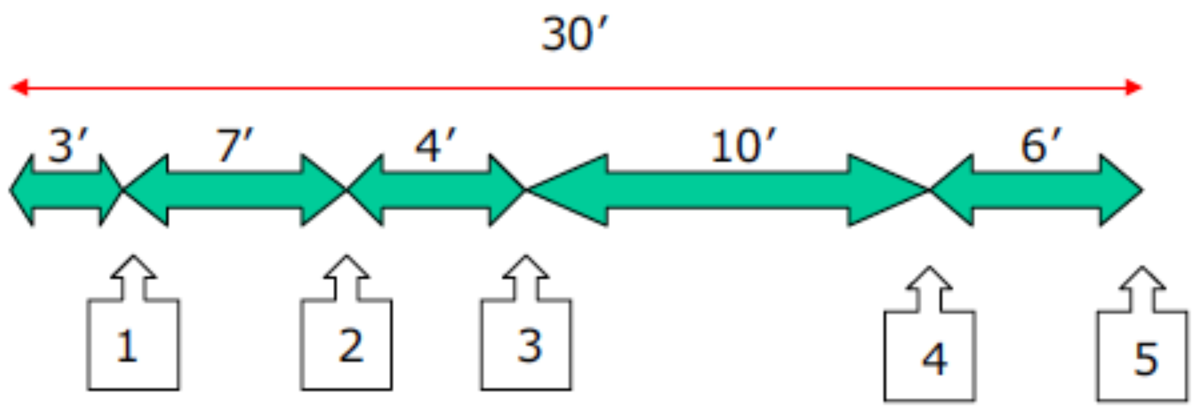
c e p sono infiniti se non specificati

Definizioni

- In generale:
  - Frequenza media degli arrivi $\lambda = 1/E(t^a_i)$
    - ✓ es. se ci sono 5 arrivi in 30 minuti $\lambda = 1/6 = 0{,}1666$ utenti al minuto
  - Velocità di servizio $\mu = 1/ E(t^s_i)$
    - ✓ se il servente ha una velocità di 4 utenti al minuto (ovvero $\mu = 4$) il tempo di servizio medio e' ¼ di minuto
  - Lo stato di un sistema a coda $n(t)$ indica il numero di utenti nel sistema al tempo t
  - La lunghezza della coda al tempo t è $n^q(t)$
    - ✓ $n^q(t)=0$ se $n(t)<=s$
    - ✓ $n^q(t)=n(t)-s$ altrimenti

Definizioni

- In generale:
  - Frequenza media degli arrivi $\lambda = 1/E(t^a_i)$
    - ✓ es. se ci sono 5 arrivi in 30 minuti $\lambda = 1/6 = 0,1666$ utenti al minuto
  - Ve
    - = 4) il
  - L ... ti nel sis
  - La



Definizioni

- In generale:
  - Frequenza media degli arrivi $\lambda = 1/E(t^a_i)$
    - ✓ es. se ci sono 5 arrivi in 30 minuti $\lambda = 1/6 = 0{,}1666$ utenti al minuto
  - Velocità di servizio $\mu = 1/ E(t^s_i)$
    - ✓ se il servente ha una velocità di 4 utenti al minuto (ovvero $\mu = 4$) il tempo di servizio medio e' ¼ di minuto
  - Lo stato di un sistema a coda $n(t)$ indica il numero di utenti nel sistema al tempo t
  - La lunghezza della coda al tempo t è $n^q(t)$
    - ✓ $n^q(t)=0$ se $n(t)<=s$
    - ✓ $n^q(t)=n(t)-s$ altrimenti

Notazione di Kendall

- E' la notazione che indica le caratteristiche di un sistema di servizio
  - A/B/s/c/p/Z
  - A rappresenta lo schema di arrivo ovvero la distribuzione di probabilità degli intertempi di arrivo
  - B rappresenta lo schema di servizio ovvero la distribuzione di probabilità degli tempi di servizio

M indica la distribuzione esponenziale

D indica la distribuzione costante

E_k indica la distribuzione di Erlang di ordine k

G indica una distribuzione generica

Esempi:

M/M/1

M/M/k

M/G/1

- Distribuzione esponenziale

$$F_X(t) = P(X \leq t) = \begin{cases} 1 - e^{-\alpha t} & \text{per } t \geq 0 \\ 0 & \text{per } t < 0 \end{cases}$$

$$E(X) = \frac{1}{\alpha}, \qquad Var(X) = \frac{1}{\alpha^2}.$$

Proprietà E1: *La densità di probabilità $f_X(t)$ è una funzione strettamente decrescente di t $(t \geq 0)$*

Proprietà E2: ***Assenza di memoria.*** *Per ogni $t > 0$ e $s > 0$, vale la seguente uguaglianza*

$$P\left(X > s + t \,\middle|\, X > s\right) = P(X > t). \tag{1.3.2}$$

Processo di Poisson

Definizione 1.3.1 *Un processo stocastico* $\{X(t), t \geq 0\}$ *è detto* processo di conteggio *(counting process) se* $X(t)$ *rappresenta il numero totale di eventi che accadono fino all'istante* t.

Definizione 1.3.2 *Un processo di conteggio ha* incrementi indipendenti *se il numero degli eventi che accadono in intervalli di tempo disgiunti sono indipendenti.*

Definizione 1.3.4 *Un processo di conteggio* $\{X(t), t \geq 0\}$ *è un* processo di Poisson *di tasso* $\lambda > 0$ *se valgono*

i) $X(0) = 0$

ii) il processo ha incrementi indipendenti

iii) il numero di eventi che accadono in ogni intervallo di tempo di ampiezza t *(dato da* $X(s+t) - X(s)$ *) ha distribuzione di Poisson di parametro* λt*, ovvero per ogni* $s, t \geq 0$ *risulta*

$$P(X(s+t) - X(s) = n) = e^{-\lambda t}\frac{(\lambda t)^n}{n!}, \qquad n = 0, 1, \ldots \qquad (1.3.6)$$

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Processo di Poisson

- Sia T1 il tempo di attesa perché si verifichi il primo evento e Tk il tempo di attesa tra il (k-1) ed il k-esimo evento:
- $\{T_k,\ k \geq 1\}$ la successione di variabili aleatorie degli intertempi tra due eventi successivi;
- Sn è il tempo affinchè l'n-esimo evento accada

$$S_n = T_1 + T_2 + \cdots + T_n,$$

- Il processo $\{X(t), t \geq 0\}$ indica il numero di eventi che accadono in [0,t] $X(t) = \max\{n \mid S_n \leq t\},$

Processo di Poisson

- $\{T_k,\ k \geq 1\}$ la successione di variabili aleatorie degli intertempi tra due eventi successivi;
- Il processo $\{X(t), t \geq 0\}$ indica il numero di eventi che accadono in [0,t] $X(t) = \max\{n \mid S_n \leq t\}$,

Teorema 1.3.1 *Sono equivalenti le seguenti affermazioni:*

i) il processo $\{X(t),\ t \geq 0\}$ definito in (1.3.8) è un processo di Poisson di tasso λ.

ii) le variabili T_i definite in (1.3.7) sono indipendenti, identicamente distribuite con distribuzione esponenziale di parametro λ, ovvero

$$P(T_i \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad i = 1, 2, \ldots$$

Processo degli arrivi

- Nel caso di un sistema a coda che rappresenta la gestione delle chiamate in una cella

- La probabilità che il numero di arrivi *N*($t,t+\tau$) in un intervallo temporale fra t e $t+\tau$ sia pari a k è data da:

$$P[N(t,t+\tau)=k]=\frac{(\lambda\tau)^k}{k!}e^{-\lambda\tau}$$

Il Traffico

In condizioni di stazionarietà E[A(T)] = A

$$A = \lambda X$$

Traffico medio (chiamate attive)

in un intervallo di lunghezza T

λ frequenza media dell'arrivo delle chiamate (call/s)

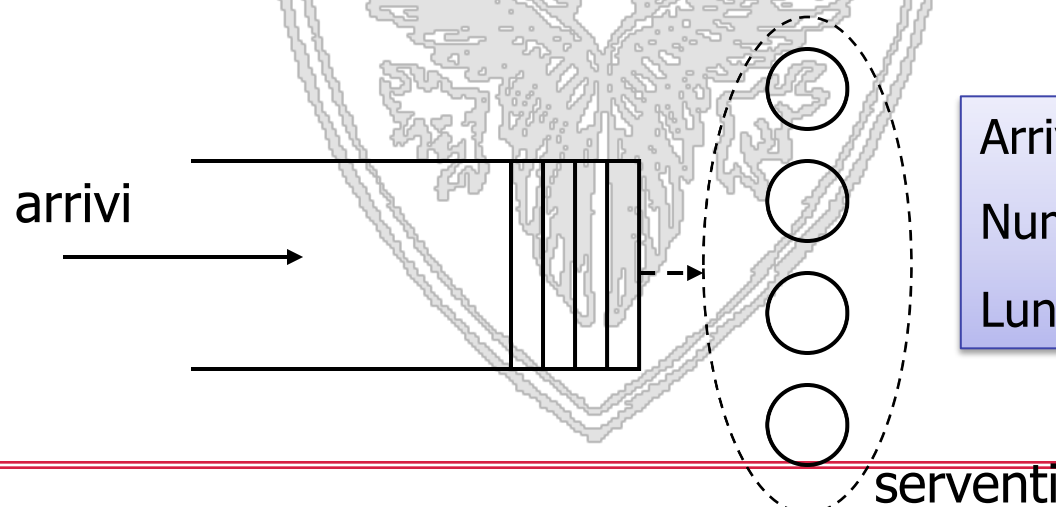
X durata media dei messaggi (s)

A non ha dimensione

Il traffico si misura in Erlang

Come caratterizzare lo smaltimento di traffico in una cella:

- Ad un sistema di servizio arrivano richieste di servizio secondo un processo (puntuale) degli arrivi
- Ciascuna richiesta è caratterizzata da un tempo di servizio necessario ad uno dei serventi per soddisfarla
- E’ possibile la presenza di un sistema di attesa (o coda) dove le richieste attendono che un servente si liberi

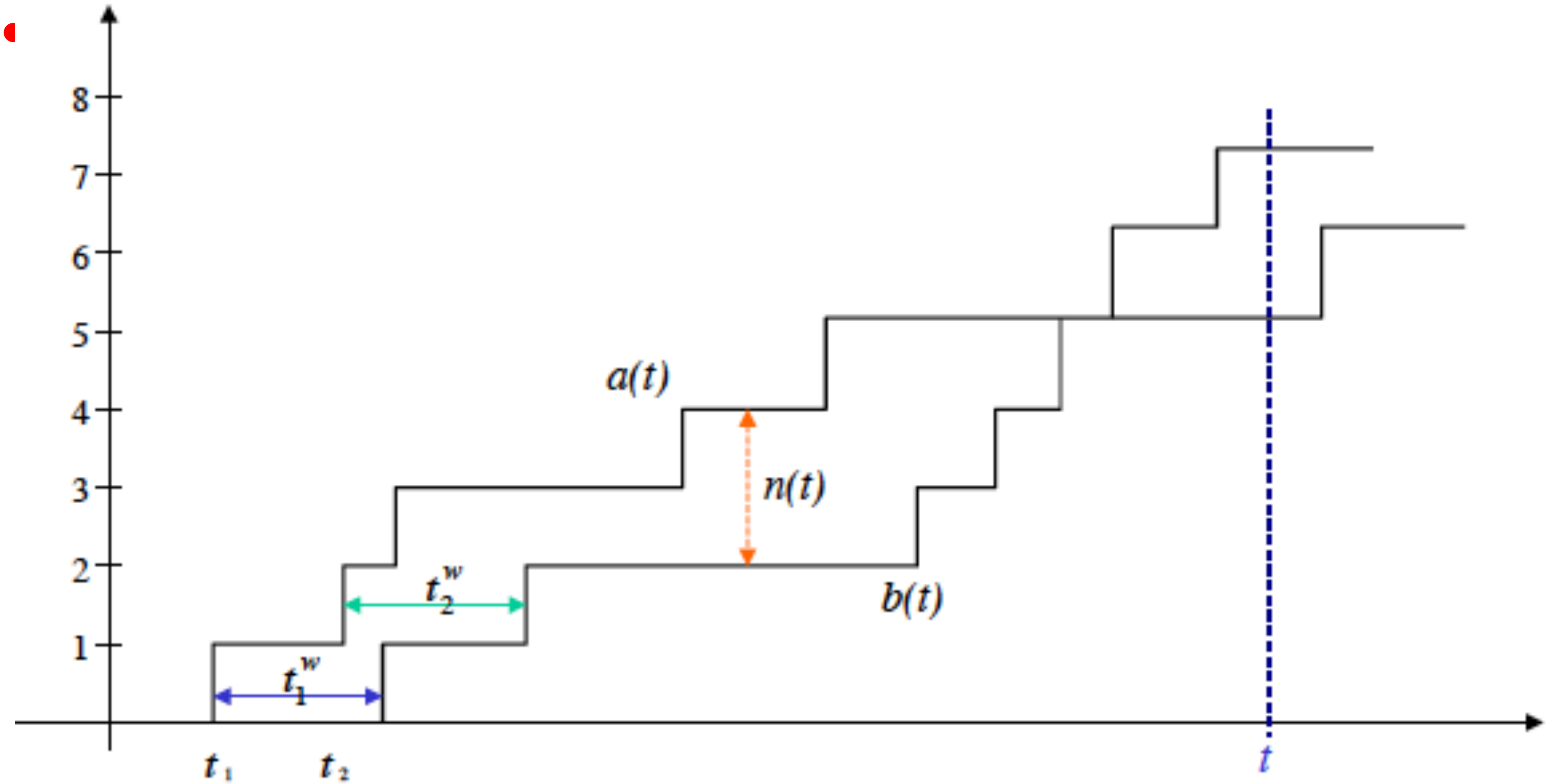


Arrivi= richieste di chiamate

Num. serventi= Num. canali

Lunghezza della coda = 0

Illustrazione dell'evoluzione di un sistema a coda



Teoria del traffico: Sistema a pura perdita

- Per modellare l'arrivo delle chiamate in una cella con un numero di canali disponibili pari a *n* basta usare un sistema a pura perdita (senza posti in coda) con *n* serventi
- Si mostra che, nell'ipotesi di arrivi di Poisson, la probabilità di rifiuto di una chiamata è data dalla *formula B di Erlang*:

$$B(n,A)=\frac{\dfrac{A^n}{n!}}{\displaystyle\sum_{k=0}^{n}\frac{A^k}{k!}}$$

- dove $A=\lambda T$ (in Erlang), λ frequenza media degli arrivi (call/s), T durata media delle chiamate
- NOTA: vale per qualunque distrib. della durate delle chiamate

Teoria del traffico: Sistema a pura perdita

- Il traffico perso (rifiutato) dal sistema è dato da:

$$A_p = A \cdot B(n, A)$$

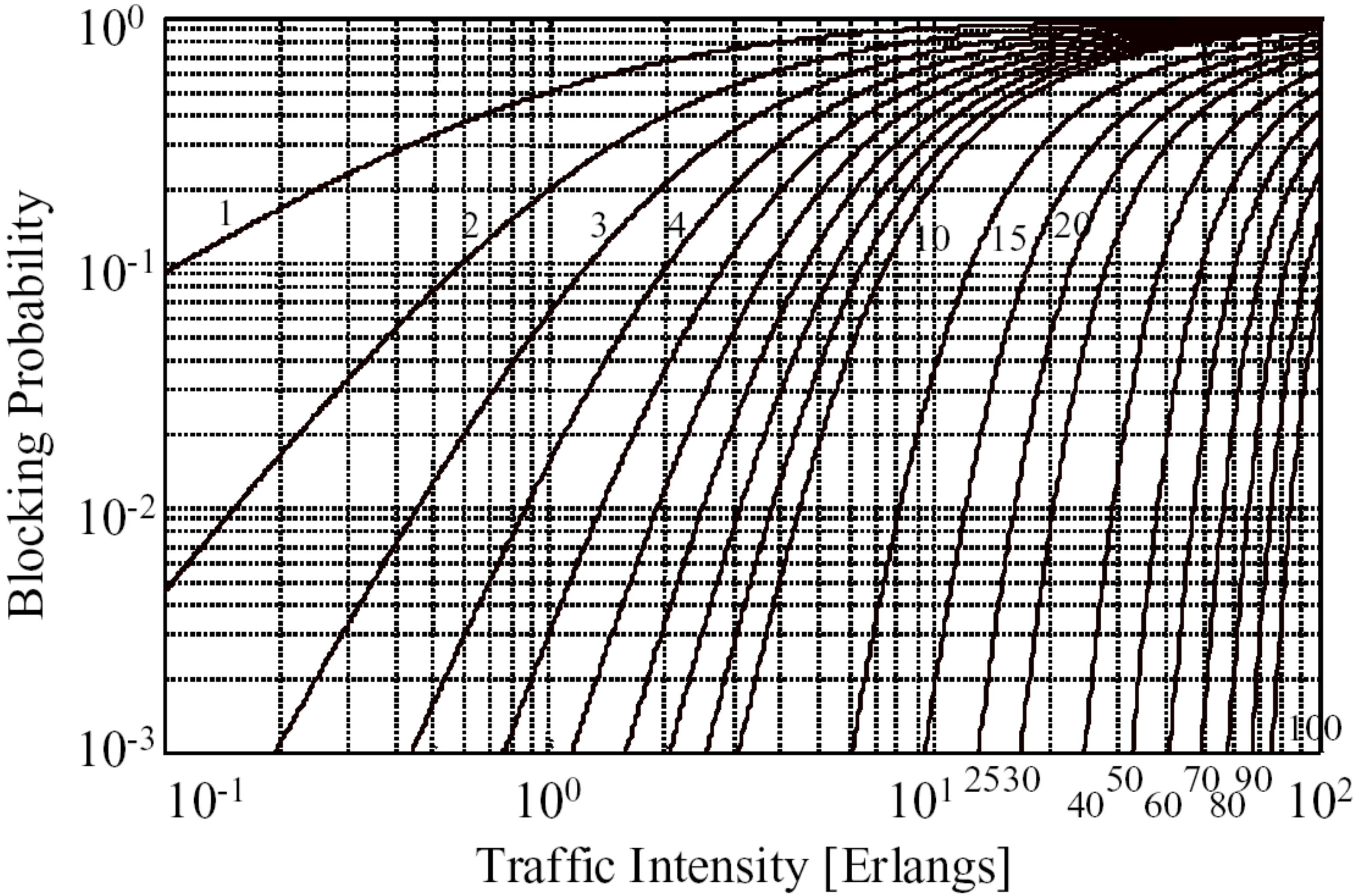
- mentre quello smaltito da:

$$A_s = A \cdot \left(1 - B(n, A)\right) = A - A_p$$

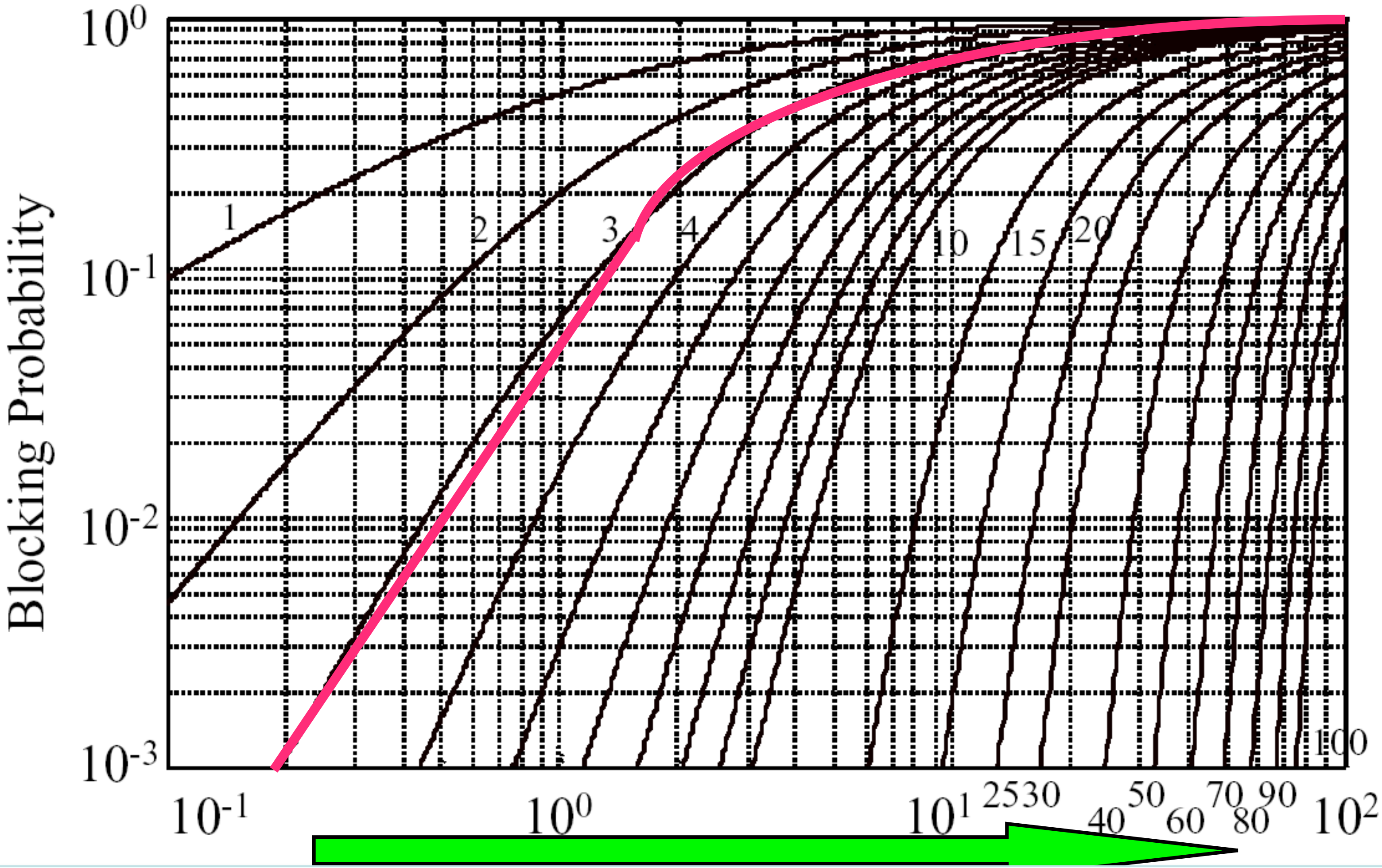
- Il coefficiente di utilizzo dei canali è dato da:

$$\rho = \frac{A_s}{n} = \frac{A \cdot \left(1 - B(n, A)\right)}{n}, \quad 0 \le \rho \le 1$$

Teoria del traffico: Probabilità di blocco

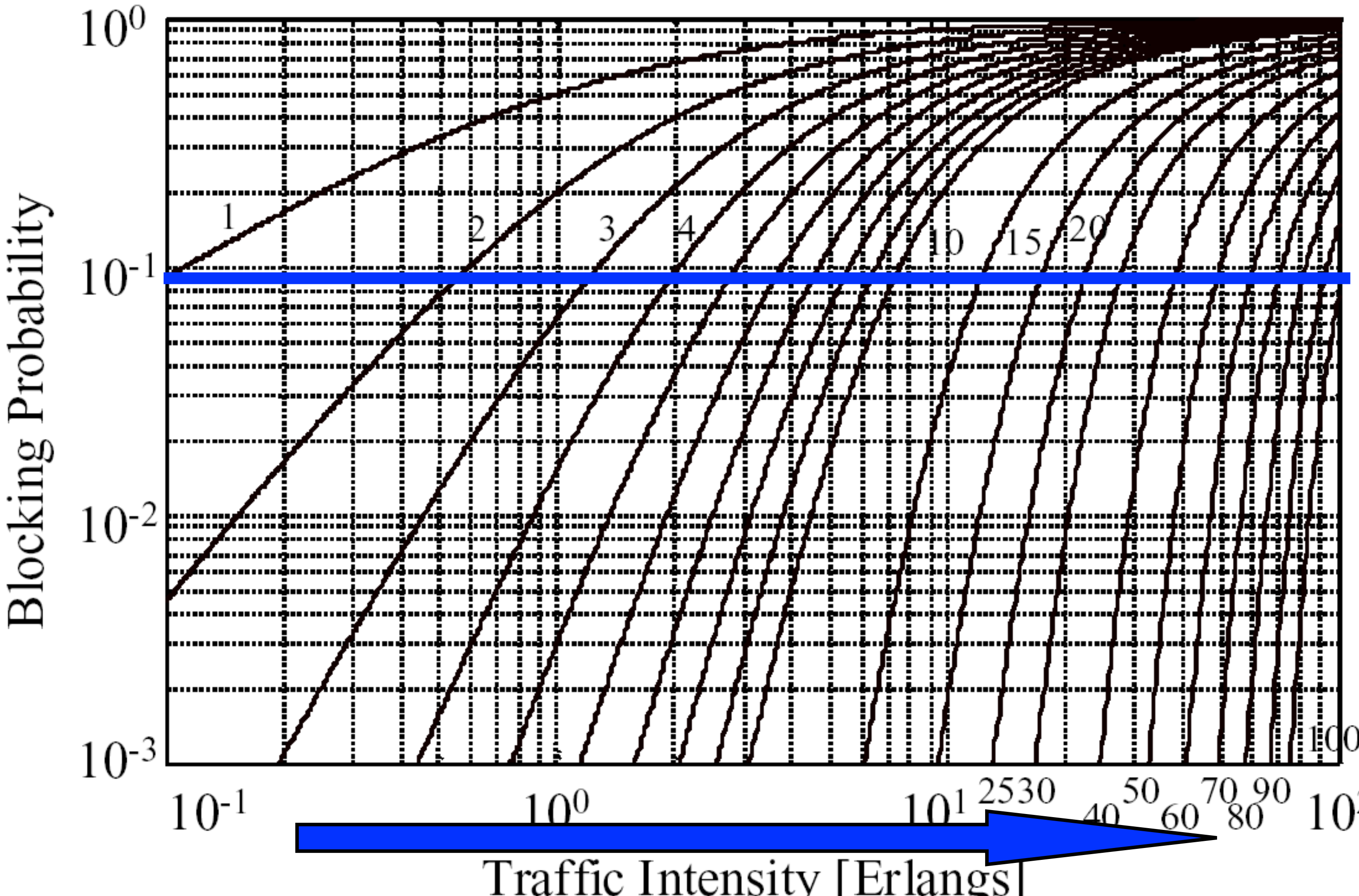


Teoria del traffico: Probabilità di blocco



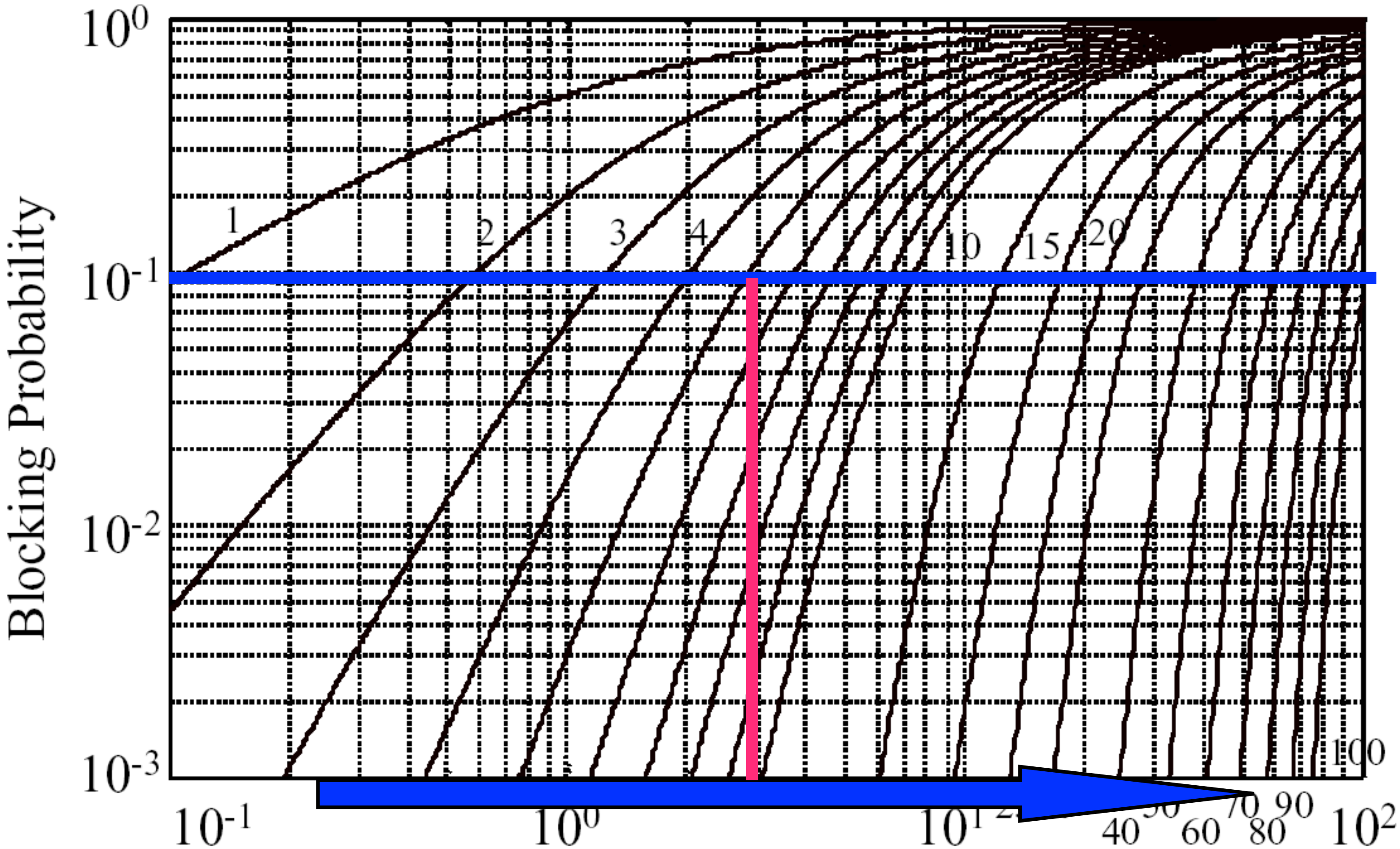
Al crescere del carico offerto (Erlang) cresce la probabilità di blocco

Teoria del traffico: Probabilità di blocco



Data una probabilità di blocco desiderata , più alto il numero di canali, più elevato il traffico offerto che può essere sostenuto

Teoria del traffico: Probabilità di blocco



Data una probabilità di blocco desiderata e dato un traffico atteso (target di utenti) quale è il numero minimo di canali necessario?