



Politecnico di Milano
Dipartimento di Elettronica e Informazione

Laboratorio di Reti di telecomunicazioni

Lezione 1

Programma

- **Introduzione al concetto di simulazione**
- **Simulazione di reti di telecomunicazioni**
- **Esempi di sorgenti di traffico dati**



Modelli e sistemi

➤ Sistema:

- è una collezione di parti (*componenti* del sistema) che interagiscono tra loro, in modo spontaneo o organizzato in modo da soddisfare certe specifiche

➤ Modello:

- è una *rappresentazione* del sistema. Tale rappresentazione può assumere varie forme (ad esempio la replica fisica); noi ci baseremo su *modelli matematici*



Modelli e sistemi (2)

➤ Stato:

- lo stato del sistema descrive la condizione istantanea di tutti i suoi componenti
- allo stato del sistema corrisponde uno stato del modello del sistema, e il modello rappresenta l'evoluzione del sistema mediante la storia dei passaggi di stato
- lo stato del modello risulta semplificato rispetto allo stato del sistema
- si parla di *livello di astrazione* del modello ad indicare che alcune caratteristiche dello stato del sistema sono omesse
- il livello di astrazione è strettamente funzionale alle misure che si vogliono effettuare sul modello
- il miglior modello è il più semplice che consente di ottenere le misure (di prestazioni) desiderate



Modelli e sistemi (3)

➤ Variabili:

- sono comunemente utilizzate nei modelli matematici
- il modello viene descritto in termini di relazioni o funzioni tra variabili
- variabili di stato:
 - sono variabili che definiscono completamente lo stato del modello e permettono di seguirne l'evoluzione
- variabili di ingresso:
 - sono parametri che riassumono le sollecitazioni esterne sul sistema



Modelli e sistemi (4)

- **variabili di uscita:**
 - dipendono dalle variabili di ingresso e dalle variabili di stato e rappresentano le grandezze che si intende misurare (*sonde* di misura)
 - la soluzione del modello consiste nell'ottenere i valori delle variabili di uscita
 - la soluzione *analitica* del modello coinvolge ad esempio metodi matematici di risoluzione delle equazioni che descrivono le relazioni tra le variabili
 - la soluzione *simulata* del modello consiste invece nel riprodurre l'evoluzione del sistema mediante l'evoluzione delle variabili di stato e nella "misurazione" diretta delle variabili d'uscita



Introduzione alla simulazione

- La simulazione cerca di costruire un sistema che evolve come il sistema reale per alcuni importanti aspetti
- Esempi:
 - Riproduzioni in scala della superficie esterna di aerei, automobili, treni utilizzati nelle gallerie del vento
 - Programmi che riproducono il comportamento di aerei in risposta a comandi del pilota (simulatori di volo)
 - Motori di calcolo che cercano di prevedere il movimento di ammassi nuvolosi (previsioni del tempo)



Introduzione alla simulazione (2)

- La simulazione mira a riprodurre un sistema reale basandosi su un suo modello
- I risultati del modello dipendono tipicamente da alcuni parametri iniziali
- La simulazione deve fornire indicazioni sul comportamento del sistema dati i parametri



Introduzione alla simulazione (3)

- Si possono avere simulazioni *deterministiche* e *casuali*:
 - le simulazioni deterministiche sono completamente definite dal modello; l'evoluzione è *funzione* dei parametri d'ingresso;
 - le simulazioni casuali sono basate su modelli *stocastici* che includono variabili/processi aleatori, ottenuti con la generazione di numeri "casuali"; ad ogni riavvio della simulazione con gli *stessi* parametri iniziali, si ottiene un'evoluzione *diversa*; in questo caso non interessa studiare la singola simulazione nel dettaglio, ma il comportamento *medio* del sistema e le sue altre caratteristiche *statistiche*



Introduzione alla simulazione (4)

- **Esempio di simulazione deterministica:**
 - si adotta un complesso modello per la descrizione del moto delle bocce sul tavolo di biliardo; note posizione delle bocce, punto-velocità-direzione di impatto con la stecca, si vuol sapere l'esito di un colpo senza risolvere il modello analiticamente
- **Esempio di simulazione casuale:**
 - si adotta un modello che descrive l'arrivo delle chiamate ad un centralino telefonico e la loro durata e basato su variabili casuali (tempi di inter-arrivo e durate casuali). Noto il numero di linee telefoniche e il funzionamento del centralino (chiamate in attesa, tentativi di richiamata, ecc.) si determinano le prestazioni del sistema (percentuale di chiamate perse, tempo medio di attesa, ecc.)



Simulazione ad eventi discreti

- Alcuni modelli sono caratterizzati dalla proprietà che le variabili di stato cambiano valore solo ad istanti discreti di tempo
- Il cambiamento di stato del sistema prende il nome di evento ed è caratterizzato da un *istante di occorrenza* (un evento non ha durata)
- Al contrario l'attività rappresenta una condizione del sistema che perdura per un certo tempo ed è solitamente caratterizzata da un evento di inizio ed un evento di fine
- Ad esempio l'inizio e la fine della trasmissione di un pacchetto sono eventi, mentre la trasmissione stessa è un'attività
- La simulazione ad eventi discreti è di fondamentale importanza per le reti di telecomunicazione



Simulazione ad eventi discreti (2)

- Ingredienti della simulazione ad eventi discreti effettuata al calcolatore:
 - tipi di eventi che possono verificarsi
 - modifiche da apportare allo stato del sistema per ogni evento
 - variabile temporale t che consenta ordinare gli eventi in un calendario sulla base dell'istante di occorrenza
 - stato iniziale
- La simulazione (esecuzione del programma) consiste:
 - nello scorrere il calendario ed ogni volta che si incontra un evento eseguire le modifiche alle variabili di stato corrispondenti a quell'evento
 - nell'effettuare "misure" sulle variabili di uscita



Numeri pseudo-casuali

- La simulazione di un modello stocastico coinvolge delle variabili d'ingresso di tipo casuale
- Il modello richiede di solito la descrizione delle caratteristiche statistiche delle variabili d'ingresso
- Per la simulazione al calcolatore occorre far uso della generazione di numeri pseudo-casuali e della sintesi di variabili aventi le caratteristiche descritte dal modello
- Le sequenze pseudo-casuali prodotte dai generatori sono sequenze di numeri che hanno superato alcuni test statistici



Come fare una simulazione

- Un simulatore è un software
- Si può costruire un simulatore (ad-hoc) scrivendo il software con i normali linguaggi di programmazione (C, C++, Java, ecc.)
- Si possono usare dei software di simulazione che consentono di descrivere il modello simulativo mediante strumenti grafici o linguaggi ad alto livello
- Esistono software per la simulazione di reti di telecomunicazione commerciali molto sofisticati (OPNET è il più noto)
- In questo corso si fa uso di uno strumento freeware: Network Simulator (*ns*)



Esempio di simulazione ad eventi discreti

- Simulazione della moltiplicazione statistica di pacchetti in un nodo di rete con buffer d'uscita

- Modello:

- nodo di trasmissione con buffer e linea di uscita di capacità C
- variabili di ingresso:
 - tempi di interarrivo dei pacchetti
 - lunghezza dei pacchetti
- variabile di stato:
 - numero dei pacchetti nel nodo
- stato iniziale:
 - nessun pacchetto nel nodo
- variabile di uscita:
 - ritardo di ogni pacchetto (oppure ritardo medio)



Sorgenti di traffico

- Tratteremo di sorgenti:
 - Analogiche (flussi audio/video prodotti dalla trasduzione diretta delle forme d'onda in segnali elettrici)
 - Numeriche (sequenze di bit, eventualmente organizzate in *pacchetti*)
- Nel secondo caso il segnale è dato da una successione di numeri. Si tratta di:
 - bit/byte di dati (file, SMS...), oppure
 - il risultato della conversione in forma numerica di segnali analogici audio/video.



Sorgenti di traffico (2)

Le sorgenti numeriche si possono caratterizzare in base al grado di regolarità con cui emettono bit/pacchetti nel tempo.

Distinguiamo:

- sorgenti deterministiche; per es. CBR (*Constant Bit Rate*), che inviano un pacchetto ogni T secondi ($T=\text{cost.}$);
- sorgenti casuali; per es. ON-OFF: CBR per un tempo t_{on} , spente per un tempo t_{off} (i tempi di ON e OFF sono variabili in modo aleatorio)



Sorgente deterministica CBR

- Viene generato un pacchetto ogni T (secondi)
- Viene definito *ritmo di trasmissione* la quantità:

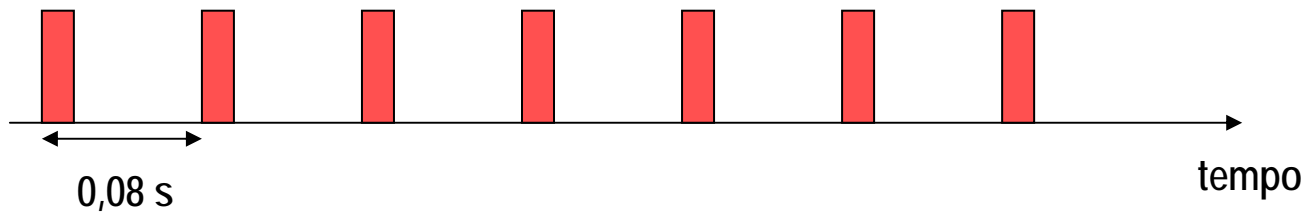
$$\frac{1}{T} \quad [\text{pacchetti} / \text{s}]$$

- Nella simulazione seguente si assumerà $T=0.08$ s (ritmo di trasmissione pari a 12.5 pacchetti al secondo)



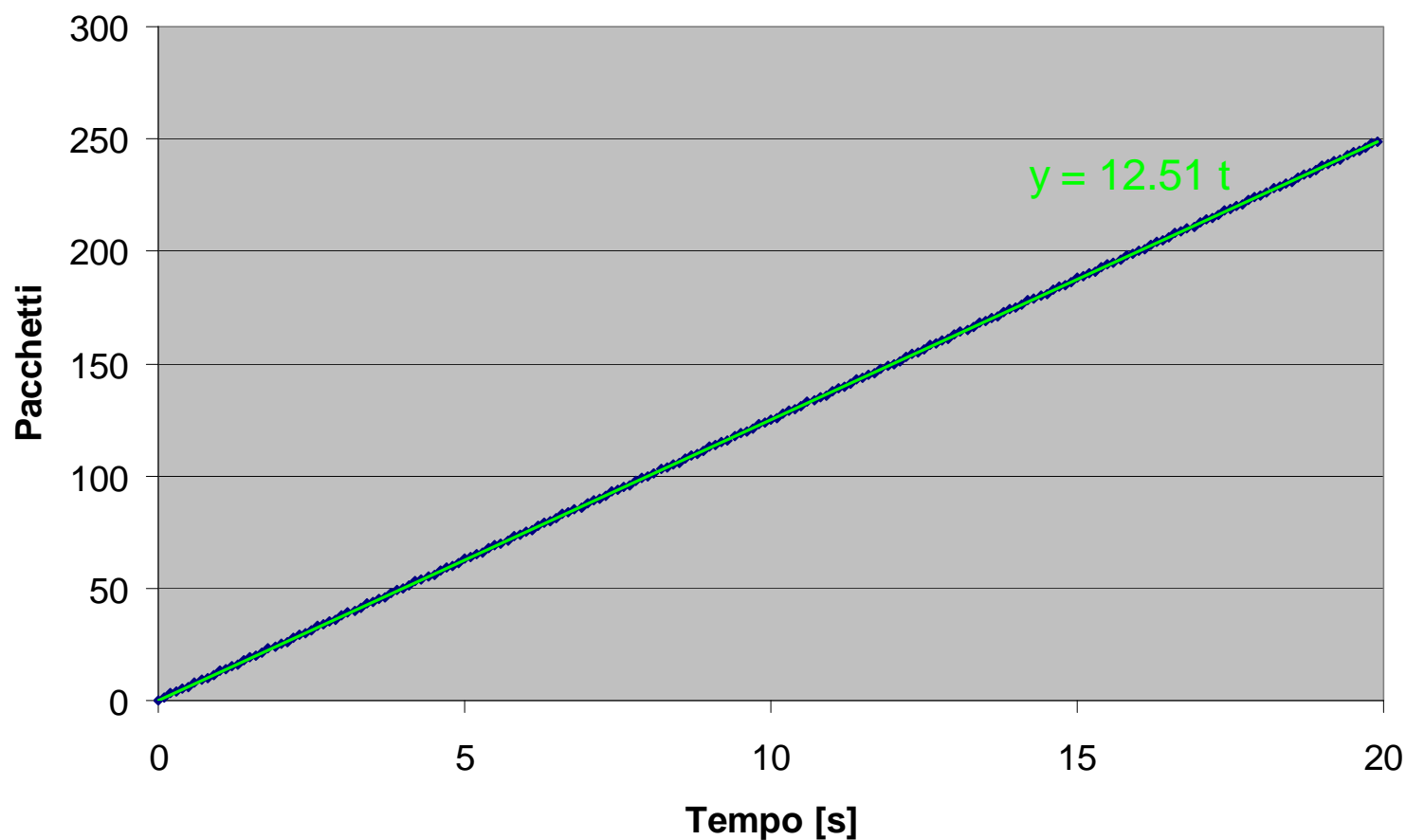
Esempio di sorgente CBR

- La nostra sorgente CBR emette i pacchetti in questo modo:



Esempio di sorgente CBR (2)

- Di conseguenza, il grafico del numero totale di pacchetti emessi è:



Sorgente casuale on-off

- Consideriamo una sorgente di tipo "on-off":
 - resta accesa per un tempo aleatorio con durata media $\langle t_{\text{on}} \rangle$
 - resta spenta per un tempo aleatorio con durata media $\langle t_{\text{off}} \rangle$
- Si tratta di un buon modello per vari tipi di segnale (ad esempio il segnale vocale, costituito dall'alternanza di parole e pause)



Sorgente casuale on-off (2)

➤ Definiamo:

- un ritmo di trasmissione *di picco* pari a:

$$r_p = \frac{1}{T} \quad [\text{pacchetti / s}]$$

- un ritmo di trasmissione *medio* pari a:

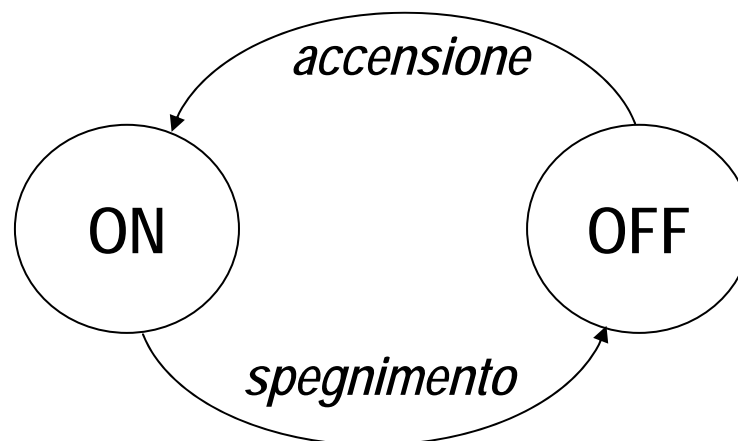
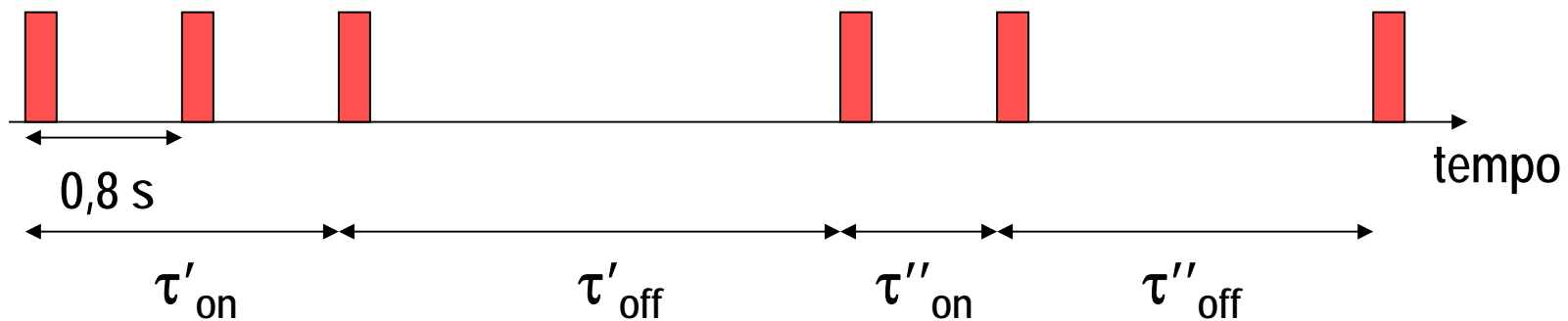
$$\langle r \rangle = \frac{1}{T} \frac{\langle \tau_{on} \rangle}{\langle \tau_{on} \rangle + \langle \tau_{off} \rangle} \quad [\text{pacchetti / s}]$$

- un *fattore di burstiness* (adimensionale) pari a:

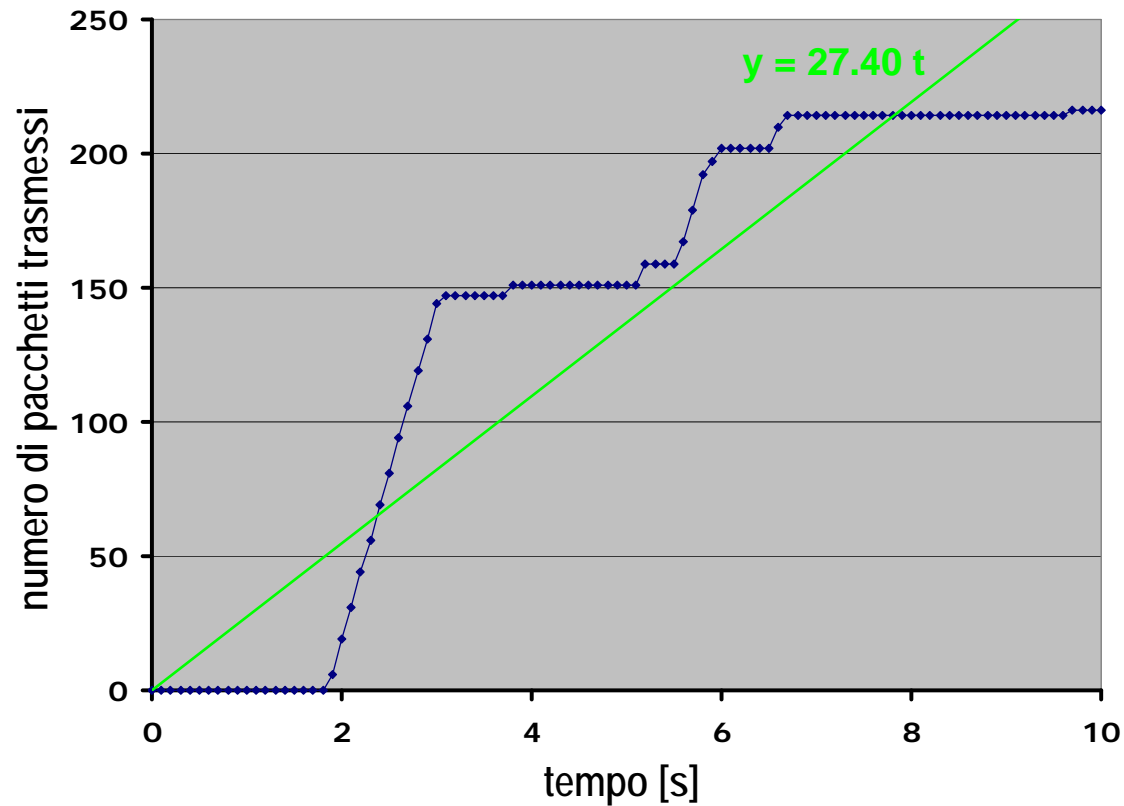
$$\frac{r_p}{\langle r \rangle} = \frac{\langle \tau_{on} \rangle + \langle \tau_{off} \rangle}{\langle \tau_{on} \rangle} = 1 + \frac{\langle \tau_{off} \rangle}{\langle \tau_{on} \rangle}$$



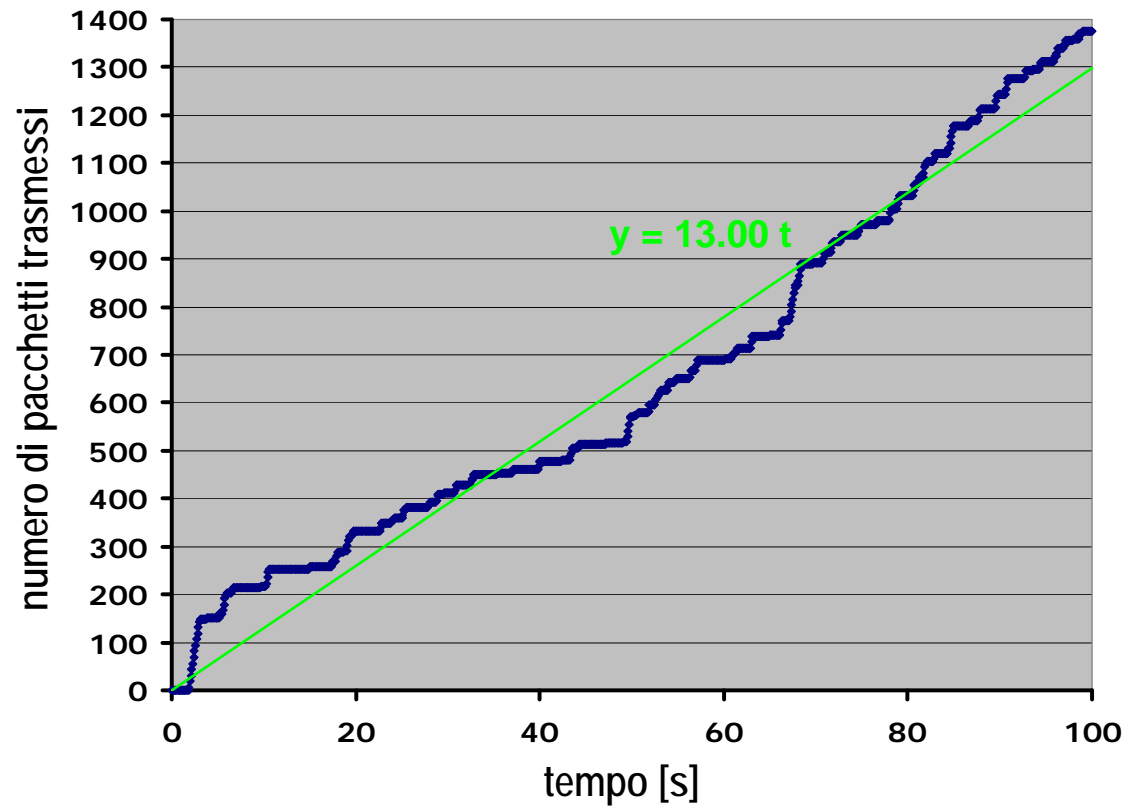
Esempio di sorgente casuale on-off



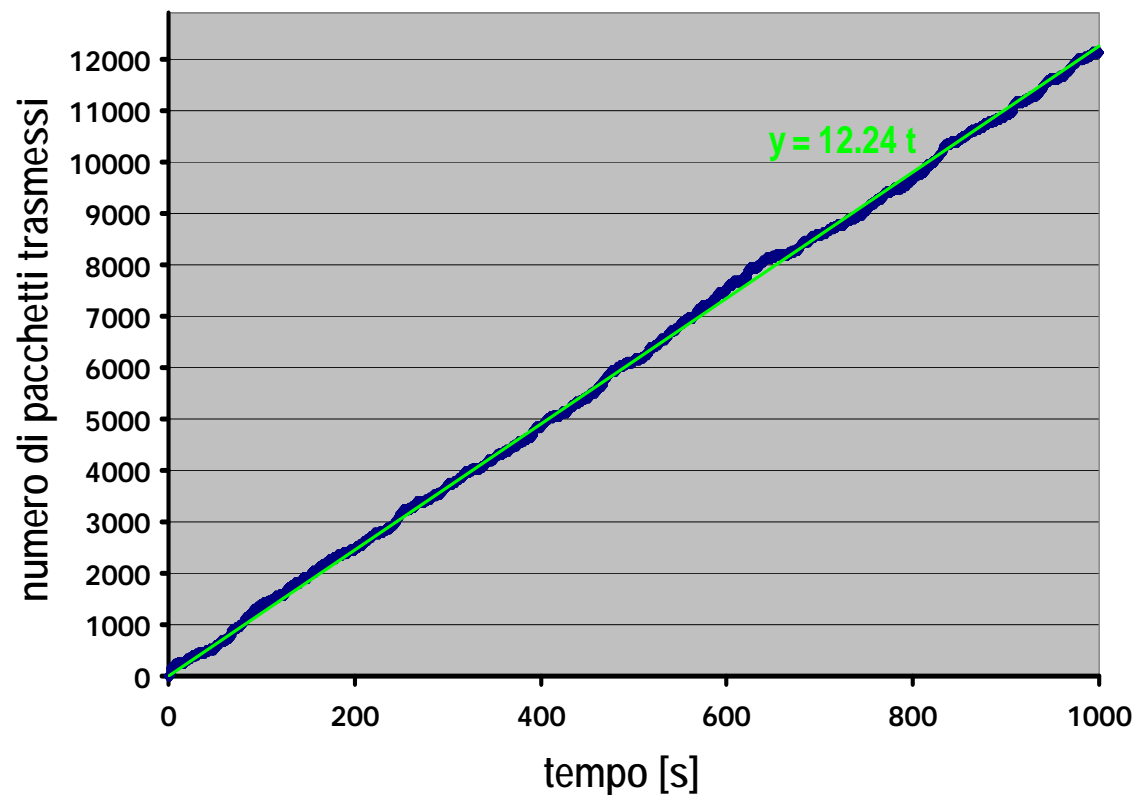
Esempio di sorgente casuale on-off (2)



Esempio di sorgente casuale on-off (3)



Esempio di sorgente casuale on-off (4)

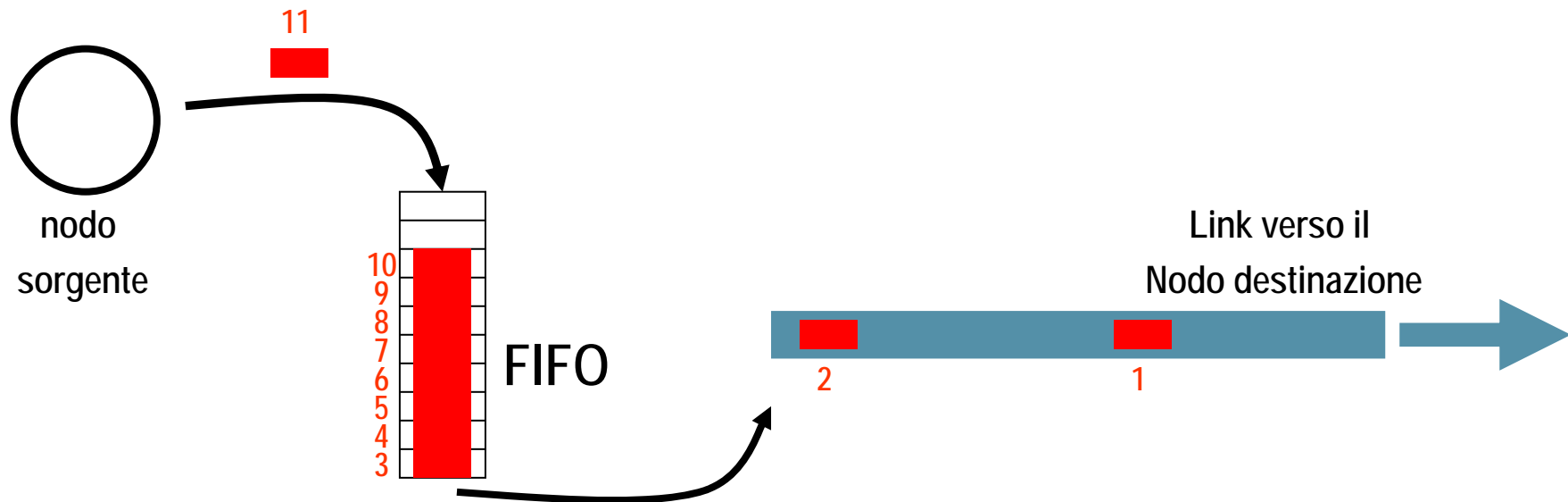


- Il tasso medio di trasmissione su tempi lunghi tende al tasso di trasmissione della sorgente (12.5 pacchetti al secondo)



Simulazioni di sorgenti

- Supponiamo che il sistema sia costituito da una sorgente, una memoria (*buffer*) e un collegamento di uscita (*link*) di capacità C [pacchetti / s] verso un altro nodo



Simulazioni di sorgenti (2)

Nell'ipotesi che il tasso medio di trasmissione della sorgente non superi la capacità del link di uscita, il livello di riempimento della coda:

- **nel caso di sorgenti CBR, si mantiene praticamente costante;**
- **nel caso di sorgenti on-off, oscilla, con variabilità tanto maggiore quanto più è alto il fattore di burstiness**

