

Introduzione a *Network Simulator 2*

Emanuele Goldoni

Riferimenti

- Emanuele Goldoni
 - Laboratorio Reti (MN)
 - Tel. 0376-286234
 - Web: <http://netlab-mn.unipv.it>
 - E-mail: emanuele.goldoni@gmail.com
- Slide sul sito del corso
 - <http://www.unipv.it/retical/>

Contenuti

- Introduzione alla simulazione
- Simulazione e variabili casuali
- Simulazione ad eventi discreti
- Introduzione al Network Simulator 2
- Primi passi con NS2
 - Il simulatore
 - Gli agenti
 - Le sorgenti di traffico
 - Le sorgenti di errore

Il processo di simulazione

- **Fase iniziale:** formulazione del problema, definizione degli obiettivi e pianificazione delle attività
- **Costruzione e validazione del modello:** progettazione del modello, acquisizione dei dati dal sistema reale, implementazione del modello, verifica del modello e validazione rispetto alla realtà
- **Simulazione:** definizione delle variazioni da studiare, simulazione e analisi dei risultati
- **Implementazione**

Definizioni fondamentali

- **Simulazione**
 - Imitazione del funzionamento di un sistema o processo reale nel tempo, allo scopo di studiarne particolari aspetti
 - Indipendentemente dallo strumento utilizzato, la simulazione è effettuata descrivendo l'evoluzione temporale artificiale del sistema osservato
- **Modello**
 - Nelle simulazioni utilizzo un modello, ovvero una rappresentazione del sistema che si vuole studiare. Questo è espresso in forma di relazioni, aventi lo scopo di descrivere il funzionamento del sistema e i legami tra le entità del sistema
 - Per problemi di trattabilità o approcci black-box, il modello è necessariamente una semplificazione del sistema. Per avere simulazioni effettivamente in grado di rappresentare il sistema reale, il modello deve essere validato

Ragioni della simulazione

- Valutazione delle prestazioni o del corretto funzionamento di un sistema prima della fase di prototipazione
- Verifica della risposta di un sistema al variare di alcuni parametri
- Controllo della validità del modello matematico identificato per la rappresentazione di un sistema
- Utilizzo per fini didattici

Aree di impiego

- Infrastrutture e trasporti
- Logistica, gestione della produzione e delle scorte
- Aviazione (*Lab. Robotica*)
- Calcolatori e sistemi informatici (scalabilità, scheduling dei processi etc..)
- BPR
- Reti e sistemi di telecomunicazione (routing, algoritmi e schemi di controllo di flusso, schedulazione dei pacchetti etc..)

Vantaggi

- Valutazione del tipo *what-if* senza interrompere l'operatività del sistema
- Possibilità di apportare modifiche al sistema e valutarne le prestazioni con maggior semplicità e con risparmio di tempo e denaro
- Capacità di compressione e/o espansione del tempo, per poter analizzare su diverse scale temporali i fenomeni di interesse
- Riproducibilità

Svantaggi

- Difficoltà nella costruzione di un modello corrispondente alla realtà
- Difficoltà nell'identificare ed interpretare i dati di interesse
- Se il sistema non esiste o comunque non esistono misurazioni riproducibile, la validazione del modello non è possibile

Simulazione vs Sperimentazione

- Sperimentazione
 - Non richiede l'individuazione di un modello
 - Fornisce risultati attendibili
 - La riproducibilità è difficilmente ottenibile
 - I costi possono salire facilmente
- Simulazione
 - Il livello di dettaglio del modello è arbitrario
 - La precisione dei dati dipende dal modello
 - Elevata riproducibilità
 - Il costo delle prove è estremamente contenuto

Simulazione vs Analisi teorica

- **Analisi teorica**
 - Il modello dipende dalla complessità dell'analisi
 - Risultati esatti o numerici
 - Riproducibilità dei risultati massimi
 - Il costo delle prove è estremamente contenuto
- **Simulazione**
 - Richiede la costruzione di un modello
 - La precisione dei dati dipende dal modello
 - Elevata riproducibilità
 - Il costo delle prove è estremamente contenuto

Verifica della simulazione

- **Esistono tre cause che possono portare al fallimento della simulazione:**
 - Modello errato
 - Implementazione errata
 - Input errati
- **Per verificare in particolar modo che il modello sia aderente alla realtà, si può procedere alla validazione attraverso:**
 - Test modulare
 - Verifica di soluzioni note
 - Test di sensibilità

Definizioni sui sistemi

- **Sistema:** insieme di entità che interagiscono fra loro
- **Entità:** elementi di interesse definiti nel modello
 - **statiche:** forniscono servizi (risorse)
 - **dinamiche:** si contendono i servizi
- **Attributo:** proprietà dell'entità
- **Stato del sistema:** descrizione del sistema in un particolare istante
- **Evento:** fatto istantaneo che modifica lo stato del sistema
- **Attività:** condizione del sistema che dura un certo periodo di tempo ed è caratterizzata da un evento di inizio ed un evento di fine attività
- **Modello:** descrizione, rappresentazione di un sistema o processo reale

Esempio di modello

Esempio: Coda FIFO / Singolo server

- **Entità:** richieste che arrivano in coda ed il server stesso
- **Attributi:** dimensione delle richieste e velocità di servizio
- **Eventi:** tempo di arrivo e partenza
- **Attività:** tempo di servizio

- **Variabili di stato:** numero di utenti nel sistema
- **Variabili di ingresso:** caratteristiche di arrivo degli utenti e tempi di servizio di ogni utente
- **Variabili di uscita:** tempo di permanenza delle richieste nel sistema

Modelli di simulazione

- **Modelli fisici** (analogici): riproduzione del sistema reale (es. in scala)
- **Modelli matematici**: impiego di notazioni simboliche ed equazioni matematiche per rappresentare il sistemi
 - **Statici** (o simulazione Monte Carlo): rappresentano il sistema in un particolare istante temporale
 - **Dinamici**: descrivono l'evoluzione temporale del sistema
 - **Deterministici**: non contengono variabili aleatorie e l'evoluzione dipende deterministicamente dai parametri in ingresso
 - **Stocastici**: in ingresso si hanno variabili aleatorie e l'evoluzione del sistema dipende dalla generazione dei campioni
 - **Tempo-Continui**: le variabili di stato cambiano con continuità nel tempo (soluzioni numeriche)
 - **Tempo-Discreti**: i valori assunti dalle variabili di stato sono discreti

Contenuti

- ✓ Introduzione alla simulazione
- Simulazione e variabili casuali
- Simulazione ad eventi discreti
- Introduzione al Network Simulator 2
- Primi passi con NS2
 - Il simulatore
 - Gli agenti
 - Le sorgenti di traffico
 - Le sorgenti di errore

Numeri casuali

- Le osservazioni di v.a. si ricavano tramite la generazione di sequenze di numeri pseudo-casuali aventi determinate caratteristiche:
 - **Uniformità:** date N osservazioni nell'intervallo $[0,1]$, dividendo tale intervallo in n parti uguali si hanno N/n osservazioni in ogni intervallo
 - **Indipendenza:** la probabilità di ottenere un valore in un particolare intervallo non dipende dai valori osservati in precedenza (correlazione)
 - **Lungo periodo di ciclicità:** il periodo con cui si ripresentano le stesse sequenze è sufficientemente lungo
 - **Velocità**
 - **Riproducibilità:** inizializzando il generatore nello stesso modo, si ottiene sempre la medesima sequenza

Distribuzioni non uniformi

- Per ottenere numeri casuali con una qualsiasi distribuzione è sufficiente utilizzare un generatore con distribuzione uniforme.
- Il passaggio dalla distribuzione uniforme a quella desiderata può essere effettuato utilizzando varie tecniche:
 - Metodo della trasformazione diretta
 - Metodo della trasformazione inversa
 - Metodo accettazione-rifiuto

Simulazione e V.C.

- Simulazione
 - Deterministica
 - Utilizzo di variabili deterministiche (costanti)
 - Utilizzo di tracciati provenienti da sistemi reali
 - Stocastica
 - A partire da una variabile aleatoria, si generano sorgenti di VC con differenti distribuzioni
 - Uniforme
 - Normale
 - Esponenziale
 - Poissoniana
 - Paretiana
 - ...

V.C. nei sistemi

- Le V.C. possono essere utilizzate per simulare più componenti del sistema
 - Sorgenti di traffico di rete
 - Lunghezza delle code
 - Errori
 - Tempi di calcolo in sistemi non real-time etc...
- L'utilizzo di sorgenti casuali permette di affrontare anche matematicamente alcuni problemi, ma rimane pur sempre una approssimazione della realtà

Contenuti

- ✓ Introduzione alla simulazione
- ✓ Simulazione e variabili casuali
- Simulazione ad eventi discreti
- Introduzione al Network Simulator 2
- Primi passi con NS2
 - Il simulatore
 - Gli agenti
 - Le sorgenti di traffico
 - Le sorgenti di errore

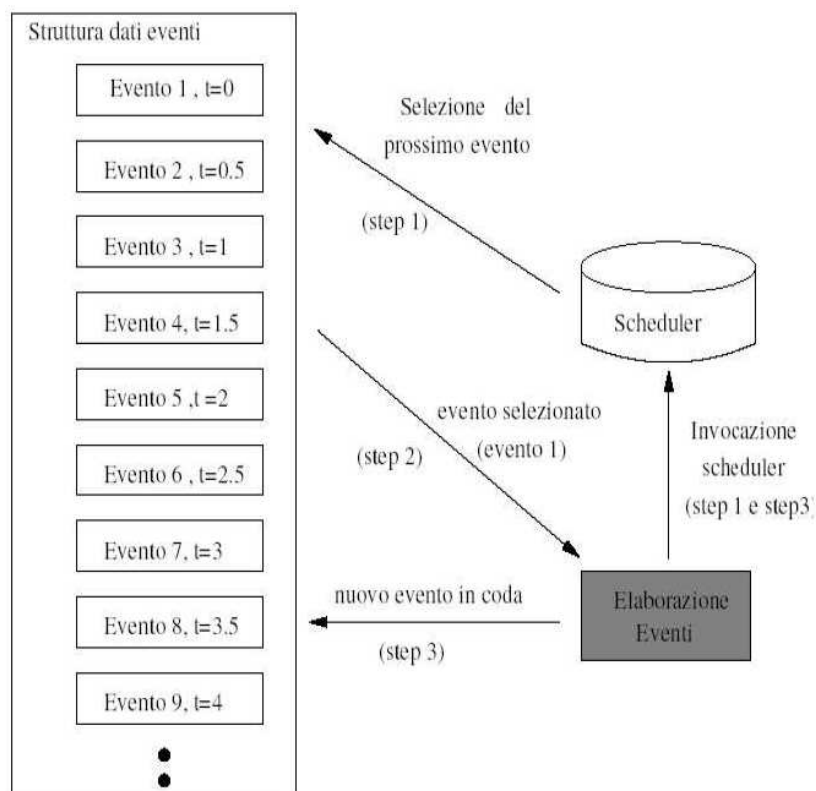
Simulazione ad eventi discreti

- Simulazioni ad eventi discreti
 - La dinamica del sistema è caratterizzata da eventi discreti: lo stato del sistema varia solo in particolari istanti
 - La simulazione riguarda solo gli eventi che modificano lo stato del sistema: l'evoluzione temporale del sistema è rappresentata quindi un numero finito di istanti, ordinati in un "calendario" in ordine di occorrenza.
 - Il modello stabilisce quindi come variano le variabili di stato in conseguenza di un evento
 - Dato uno stato iniziale, è possibile determinare lo stato del sistema negli istanti successivi

Funzionamento della simulazione

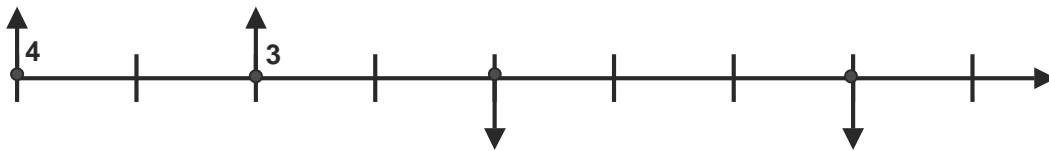
- La simulazione perciò consiste:
 - Nello scorrere il calendario ed individuare il primo evento programmato
 - Eseguire gli aggiornamenti delle variabili di stato in funzione dell'evento e, se richiesto, inserire nel calendario altre attività future
 - Effettuare le misure sulle variabili di uscita di interesse
 - Ripetere le operazioni precedenti fino all'ultimo istante previsto

Calendario degli eventi discreti



Esempio di simulazione

- Es: Modello di sistema a coda
 - Gli eventi considerati sono esclusivamente:
 - arrivo della richiesta nel sistema
 - entrata e uscita dalla coda di attesa
 - uscita dal sistema



Contenuti

- ✓ Introduzione alla simulazione
- ✓ Simulazione e variabili casuali
- ✓ Simulazione ad eventi discreti
- Introduzione al Network Simulator 2
- Primi passi con NS2
 - Il simulatore
 - Gli agenti
 - Le sorgenti di traffico
 - Le sorgenti di errore

Origini di Network Simulator

- Ns nasce nel 1989 come variante del simulatore di rete REAL, un strumento originariamente pensato per studiare le dinamiche di flusso e gli schemi di controllo nelle reti dati a commutazione di pacchetto
- Nel 1995 lo sviluppo di ns è stato supportato finanziariamente direttamente dal DARPA attraverso il progetto di ricerca VINT (Virtual InterNetwork Testbed) nei laboratori Xerox PARC, LBL, UC Berkeley e USC/ISI.
- La versione più recente (ns-2.32) e tutta la documentazione necessaria può oggi essere scaricata dal sito <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

Network Simulator 2

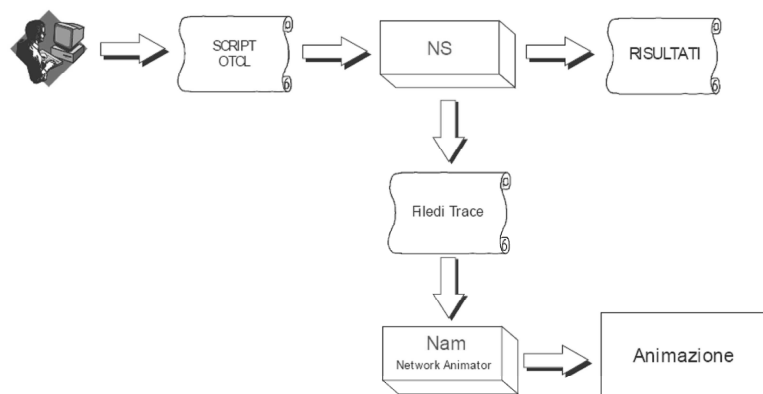
- Ns2 è un simulatore ad eventi discreti per le reti a pacchetto ampiamente utilizzato in ambito scientifico e universitario
- Il software è open source e multiplatforma, scritto in C++ e OTcl
- E' possibile simulare molte tipologie di reti IP LAN e WAN grazie all'implementazione di:
 - Protocolli di rete (MAC, routing, trasporto)
 - Modelli di sorgenti di traffico (es. CBR, FTP)
 - Meccanismi di gestione delle code (es. FIFO, RED)
 - Protocolli e meccanismi wireless 802.11 in modalità sia ad-hoc che infrastructured

Vantaggi e svantaggi

- Pro
 - Elevata modularità
 - Disponibilità di modelli di simulazione/documentazione
 - Supporto specifico per molte tipologie di rete
 - Costi ridotti in fase di sviluppo
- Contro
 - Ridotta scalabilità
 - Prestazioni scadenti (simulazione monolitica)
 - Presenza di implementazioni e porzioni di codice non commentati, non testati o incompleti
 - Impossibilità di riutilizzo del codice prodotto in sistemi reali

Processo di simulazione

- Per effettuare uno studio di simulazione occorre
 - Descrivere lo scenario di rete
 - Eseguire la simulazione
 - Analizzare i tracciati prodotti dal simulatore, visualizzando un'animazione grafica della simulazione o studiando i file contenenti i dati relativi agli eventi di interesse

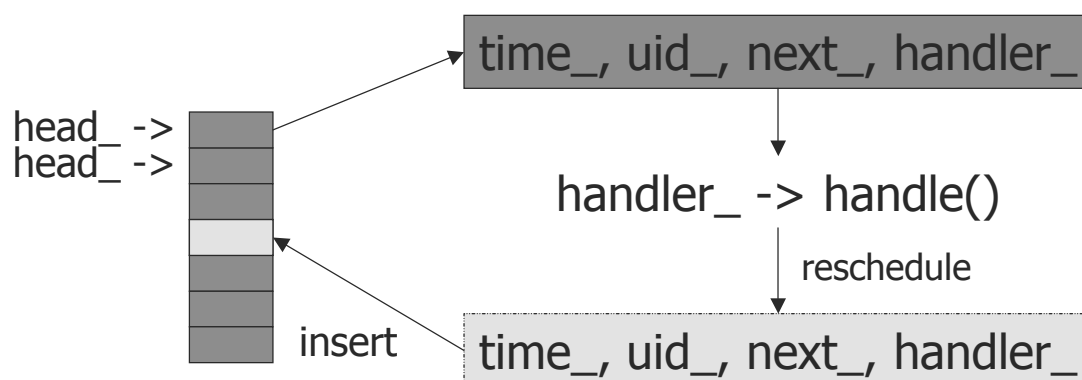


Linguaggi di programmazione

- Per descrivere la topologia della rete, gli elementi coinvolti ed il loro comportamento è possibile utilizzare il linguaggio di scripting OTcl (Object-Oriented Tool Command Language) oppure C++.
 - C++ (Back-end)
 - Definizione di nuovi agenti, protocolli e framework.
 - Manipolazione dei pacchetti a livello di byte/bit
 - Gestione di strutture dati complesse o voluminose
 - Otcl (Front-end)
 - Descrizione dello scenario di simulazione
 - Definizioni di variabili temporanee
 - Scrittura di codice che necessita di essere modificato frequentemente

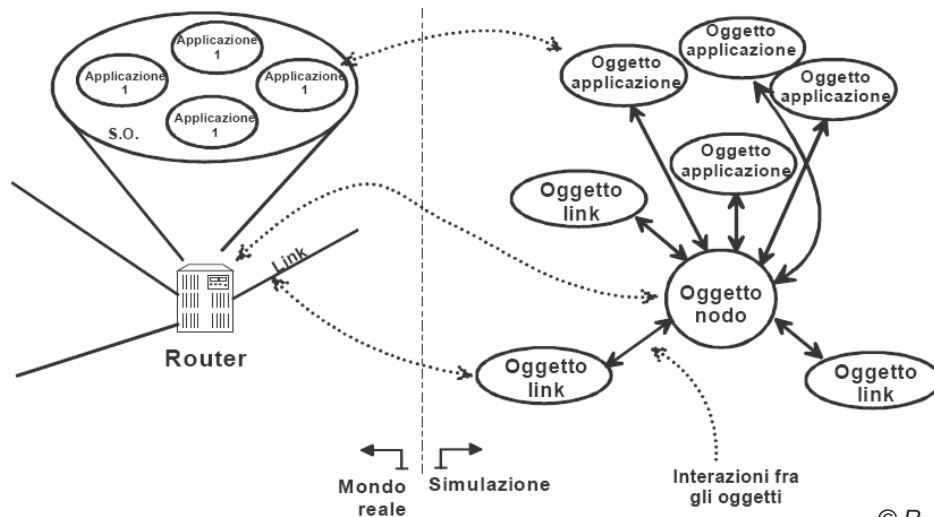
Scheduler per eventi discreti

- NS permette di utilizzare tre tipi di schedulers
 - *List*: semplice lista concatenata, preserva l'ordine, $O(N)$
 - *Heap*: $O(\log N)$
 - *Calendar*: hash-based, più veloce, $O(1)$

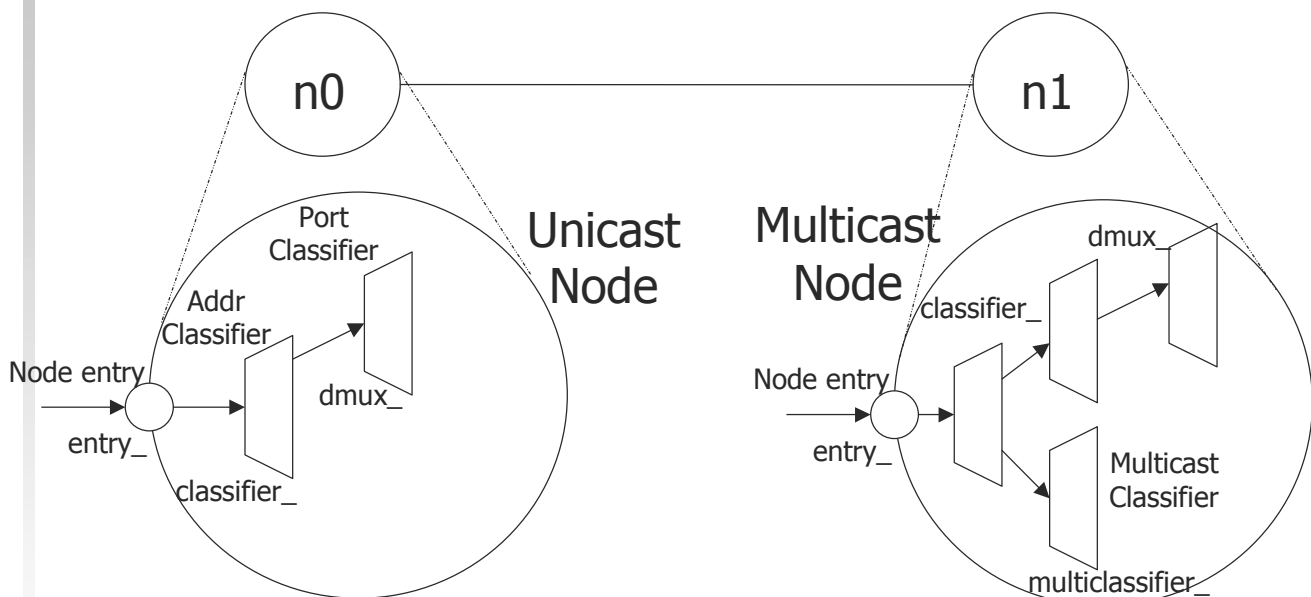


Elementi della simulazione

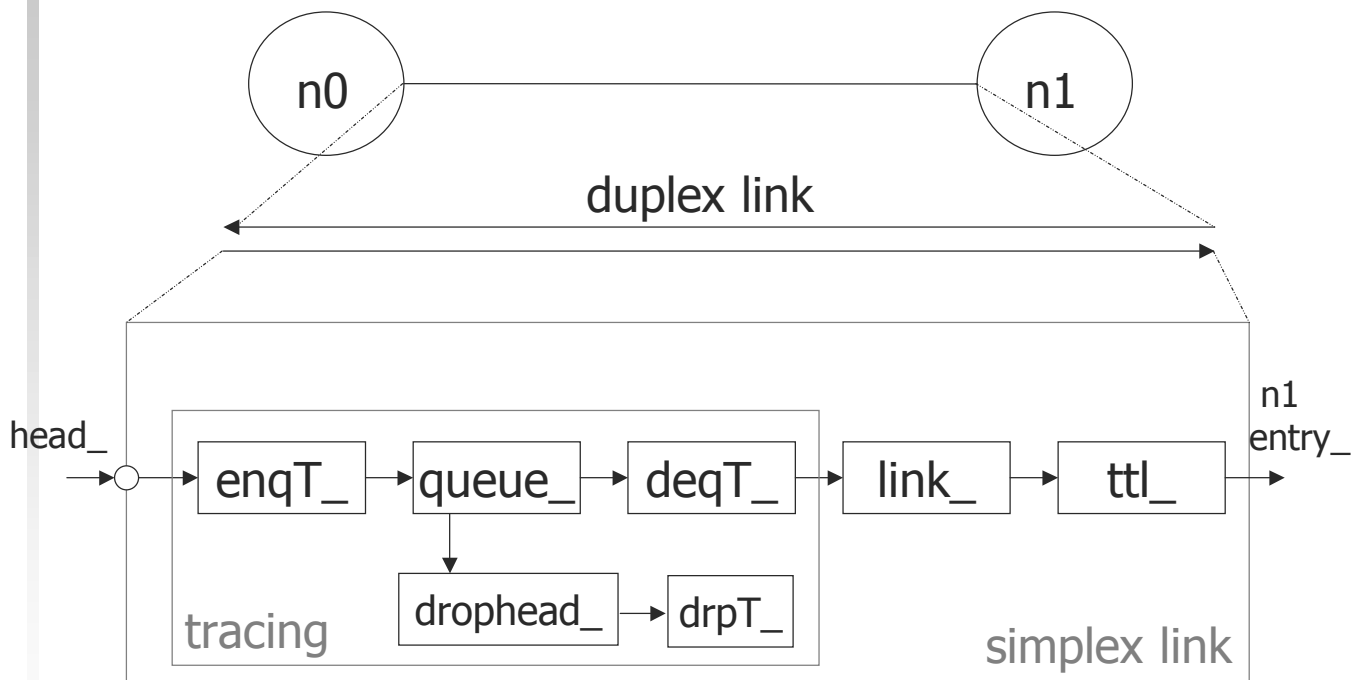
- Ad ogni elemento appartenente della rete di telecomunicazione reale corrisponde un oggetto all'interno del simulatore



Topologia di rete: i nodi

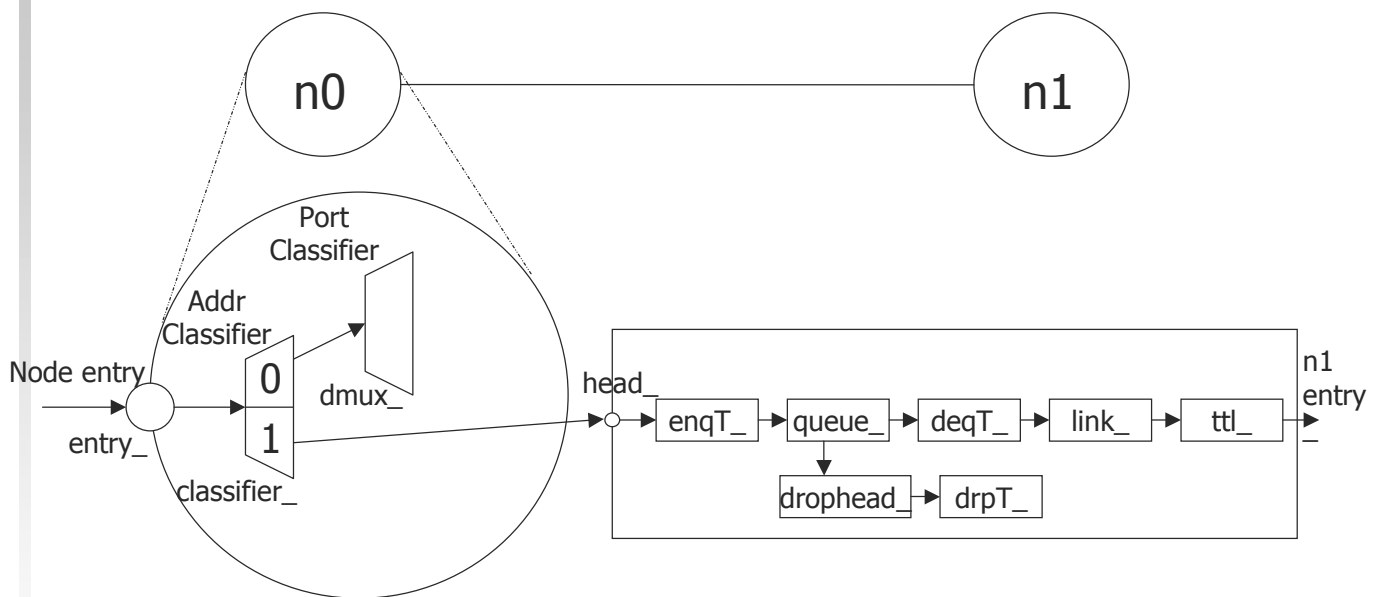


Topologia di rete: i link



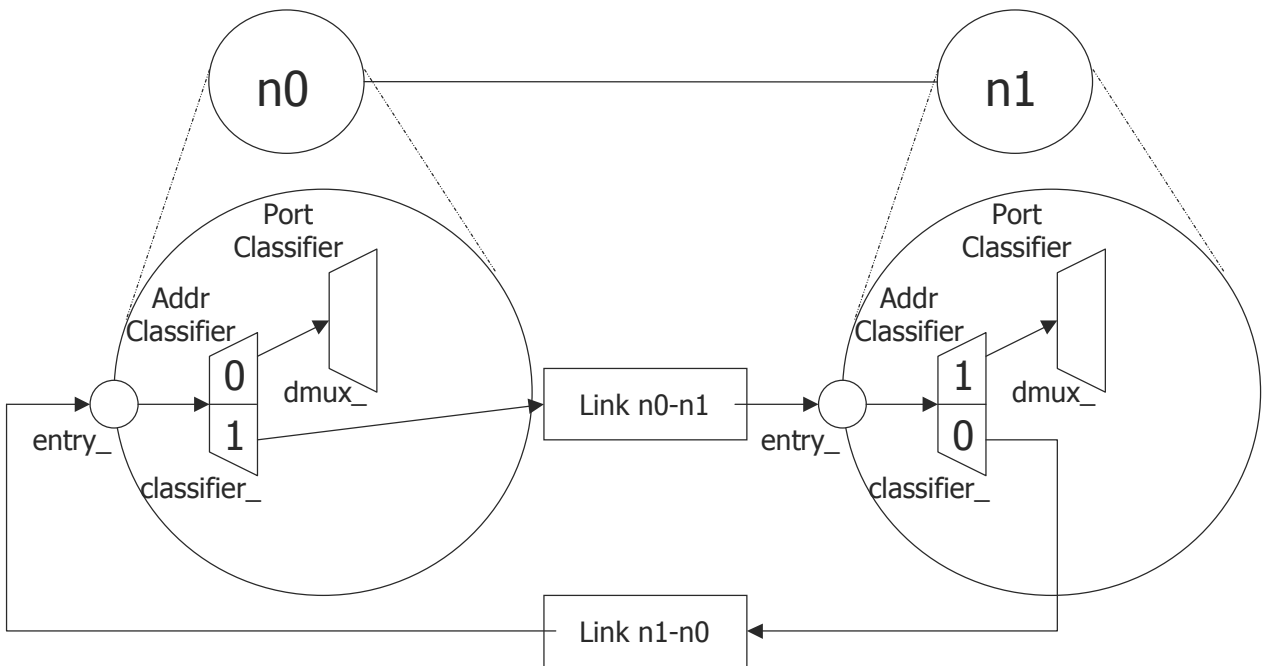
© UCS Information Science Institute

Forwarding (1)

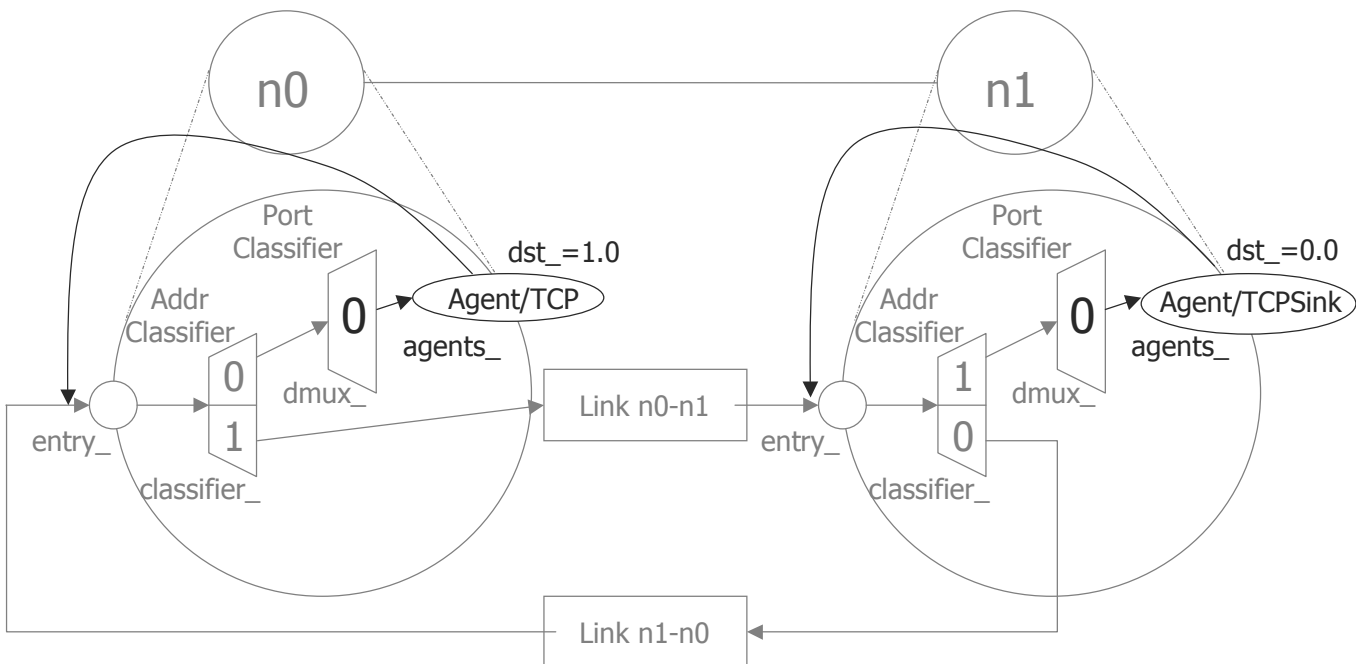


© UCS Information Science Institute

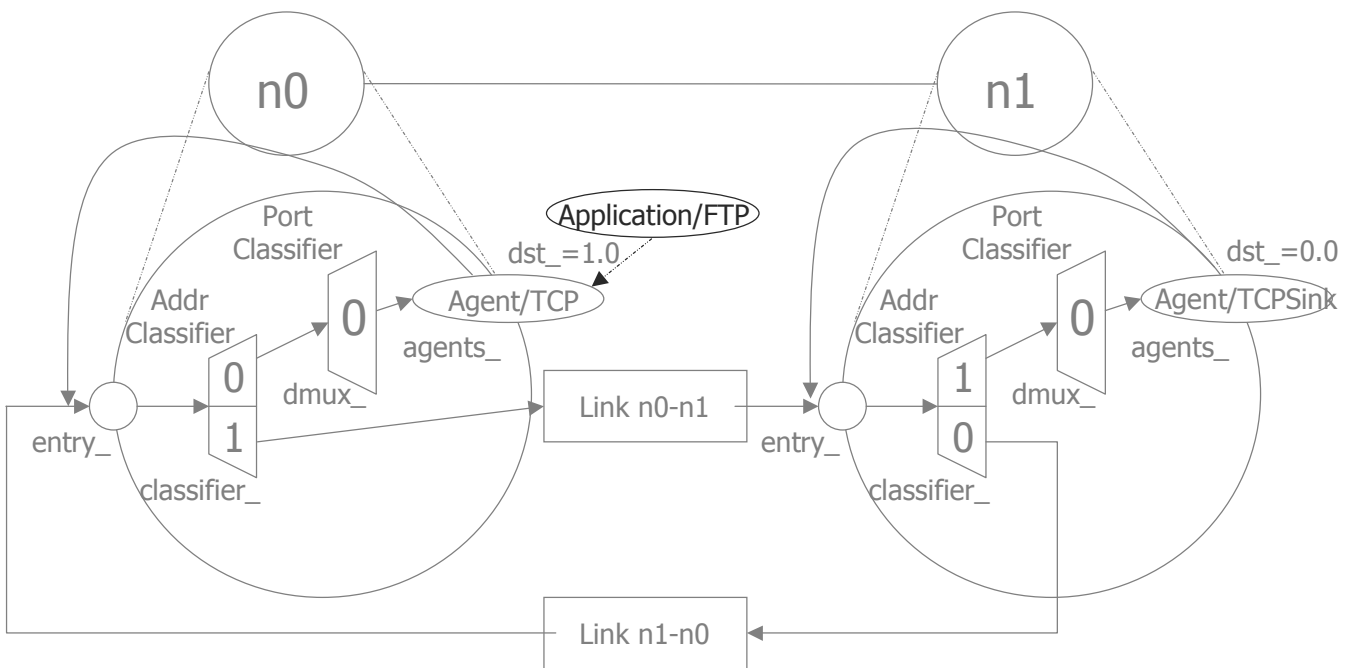
Forwarding (2)



Livello di Trasporto

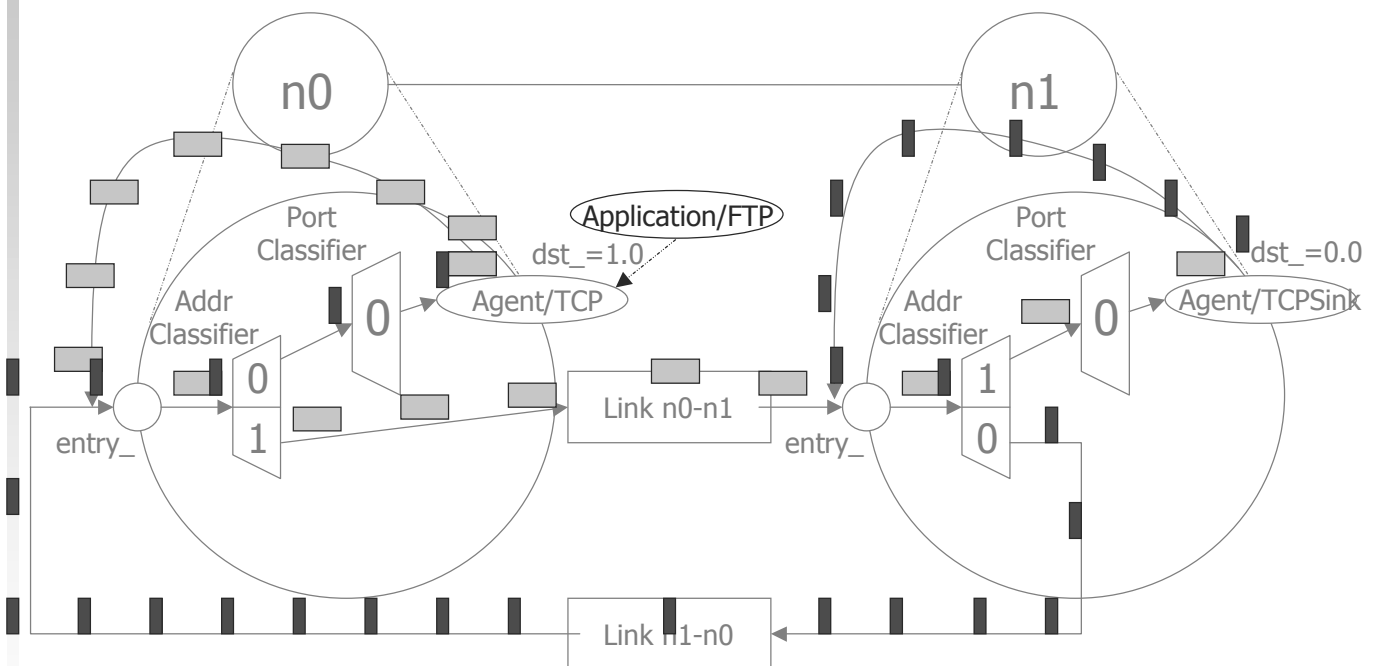


Traffico applicativo



© UCS Information Science Institute

Esempio di simulazione



© UCS Information Science Institute

Riferimenti

- *ns2 Manual*, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>
- *Ns2 Tutorial*, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/index.html>
- *La simulazione di reti di calcolatori con ns*, aavv, http://www.dia.uniroma3.it/~impianti/1998-99/ns_due/
- *Primi passi con NS2*, E. Fasolo, <http://www.dei.unipd.it/wdyn/?IDsezione=2562>
- *Ns2 Simulazione di Reti Wireless 802.11*, M. Di Felice, <http://www.cs.unibo.it/~difelice/risorse.htm>
- *NS2 - Materiale di Laboratorio*, G. Maier, <http://home.dei.polimi.it/maier/materiale.html>