

RETI DI CALCOLATORI

Prof. PIER LUCA MONTESSORO

Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Udine

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 1

Nota di Copyright

Questo insieme di trasparenze (detto nel seguito slide) è protetto dalle leggi sul copyright e dalle disposizioni dei trattati internazionali. Il titolo ed i copyright relativi alle slides (ivi inclusi, ma non limitatamente, ogni immagine, fotografia, animazione, video, audio, musica e testo) sono di proprietà dell'autore prof. Pier Luca Montessoro, Università degli Studi di Udine.

Le slide possono essere riprodotte ed utilizzate liberamente dagli istituti di ricerca, scolastici ed universitari afferenti al Ministero della Pubblica Istruzione e al Ministero dell'Università e Ricerca Scientifica e Tecnologica, per scopi istituzionali, non a fine di lucro. In tal caso non è richiesta alcuna autorizzazione.

Ogni altro utilizzo o riproduzione (ivi incluse, ma non limitatamente, le riproduzioni su supporti magnetici, su reti di calcolatori e stampe) in toto o in parte è vietata, se non esplicitamente autorizzata per iscritto, a priori, da parte dell'autore.

L'informazione contenuta in queste slide è ritenuta essere accurata alla data della pubblicazione. Essa è fornita per scopi meramente didattici e non per essere utilizzata in progetti di impianti, prodotti, reti, ecc. In ogni caso essa è soggetta a cambiamenti senza preavviso. L'autore non assume alcuna responsabilità per il contenuto di queste slide (ivi incluse, ma non limitatamente, la correttezza, completezza, applicabilità, aggiornamento dell'informazione).

In ogni caso non può essere dichiarata conformità all'informazione contenuta in queste slide.

In ogni caso questa nota di copyright e il suo richiamo in calce ad ogni slide non devono mai essere rimossi e devono essere riportati anche in utilizzi parziali.

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 2

Lezione 22

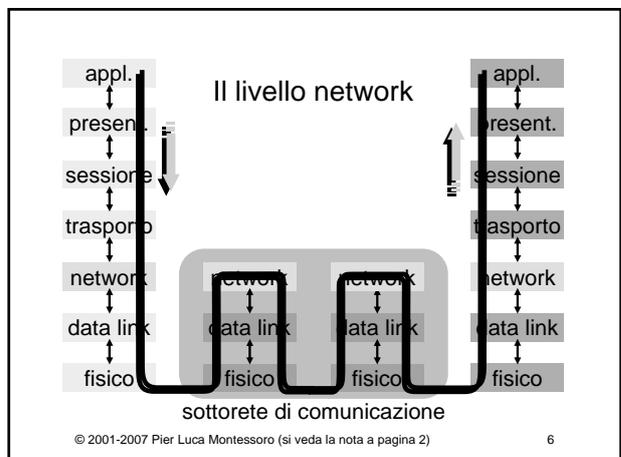
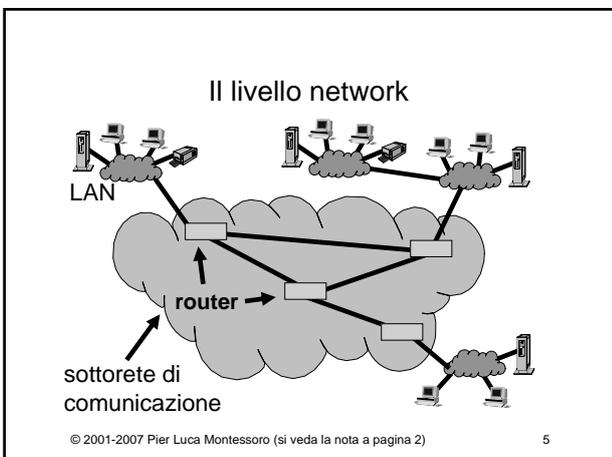
Il livello network
e gli algoritmi di routing

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 3

Lezione 22: indice degli argomenti

- Servizi offerti al livello di trasporto
- Algoritmi di routing
 - statici
 - dinamici
- Routing gerarchico
- I router all'interno delle LAN

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 4



Servizi offerti al livello di trasporto

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 7

Servizi offerti al livello di trasporto

- Confine tra fornitore della connettività e utente
- Servizi orientati alla connessione e non (a seconda della tecnologia):
 - circuiti virtuali
 - datagram

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 8

Circuiti virtuali e datagram

	datagram	circuiti virtuali
creazione circuito	non richiesto	richiesto
indirizzi	ogni pacchetto contiene gli indirizzi del mittente e del destinatario	ogni pacchetto contiene l'identificatore di VC
routing	ogni pacchetto è instradato indipendentemente	il percorso è scelto all'inizializzazione
effetti dei guasti	solo sui pacchetti persi durante il guasto	tutti i VC interessati dal guasto terminano
controllo della congestione	complesso	semplice (gestione preventiva durante il setup)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 9

Possibili combinazioni di servizi e strutture di rete

		tipo di sottorete	
		datagram	circuiti virtuali
servizio offerto al livello superiore	non connesso	UDP sopra IP	UDP sopra IP sopra ATM
	connesso	TCP sopra IP	ATM AAL1 sopra ATM

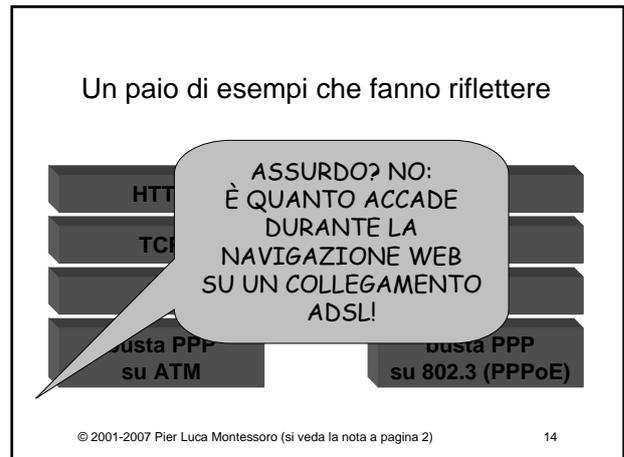
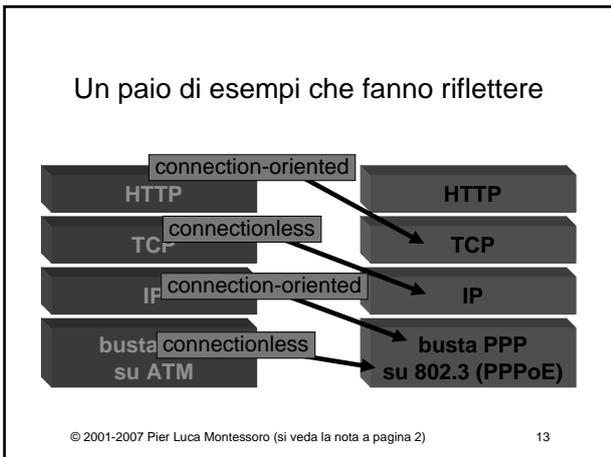
© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 10

Un paio di esempi che fanno riflettere

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 11

Un paio di esempi che fanno riflettere

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 12



- Quality Of Service (QOS)
- Insieme di parametri associati a ciascuna primitiva di richiesta del servizio
 - Tali parametri specificano le prestazioni attese
 - Esempi di parametri:
 - tempo di transito (massimo e varianza)
 - probabilità di errore
 - priorità
 - sicurezza
- © 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 15

Algoritmi di routing

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 16

- Proprietà degli algoritmi di routing
- Correttezza
 - Semplicità
 - i router hanno memoria e capacità di calcolo finite e limitate
- © 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 17

- Proprietà degli algoritmi di routing
- Robustezza
 - poiché nel tempo i nodi e i collegamenti si guastano, vengono riparati e riprendono ad operare, gli algoritmi devono continuare a funzionare affrontando i cambiamenti nella rete
 - Stabilità
 - devono convergere (arrivare ad uno stato di equilibrio)
- © 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 18

Proprietà degli algoritmi di routing

- Imparzialità
- Ottimalità

SONO SPESSO OBIETTIVI CONTRADDITTORI

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 19

Cosa ottimizzare?

- Ritardo medio dei pacchetti
- Volume di traffico nell'intera rete

VE L'AVEVO DETTO: QUESTI OBIETTIVI SONO IN CONFLITTO!

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 20

Cosa ottimizzare?

- Occorre definire una metrica
- Due parametri molto utilizzati:
 - HOPS: numero di salti effettuati, cioè il numero di nodi intermedi attraversati lungo il cammino
 - COSTO: somma dei "costi" di tutte le linee attraversate (il costo di una linea è in genere inversamente proporzionale alla sua velocità)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 21

Tipi di algoritmo

- Non adattativi (routing statico)
 - criteri fissi di instradamento
- Adattativi (routing dinamico)
 - le tabelle di instradamento vengono continuamente aggiornate in funzione di informazioni sullo stato della rete (topologia e traffico)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 22

Tabelle di instradamento

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 23

Algoritmi statici

- Fixed directory routing
 - tabelle scritte a mano
 - tabelle fisse ottenute tramite algoritmi, per esempio quello di Dijkstra per calcolare il cammino minimo
- Flooding (inondazione)
 - i pacchetti vengono ripetuti su tutte le porte ad eccezione di quella di arrivo

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 24

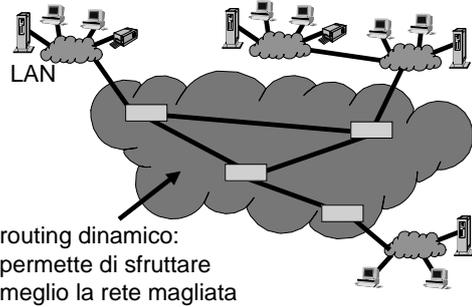
Algoritmi dinamici

- Routing centralizzato
- Routing isolato
- Routing distribuito
 - distance vector
 - link state routing

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

25

Routing statico e dinamico

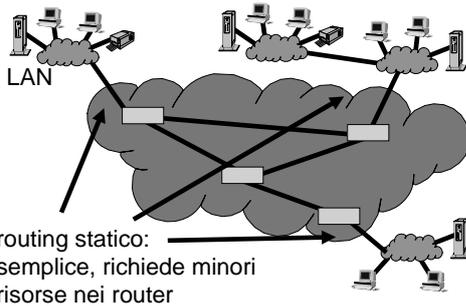


routing dinamico:
permette di sfruttare
meglio la rete magliata

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

26

Routing statico e dinamico



routing statico:
semplice, richiede minori
risorse nei router

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

27

Algoritmi statici

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

28

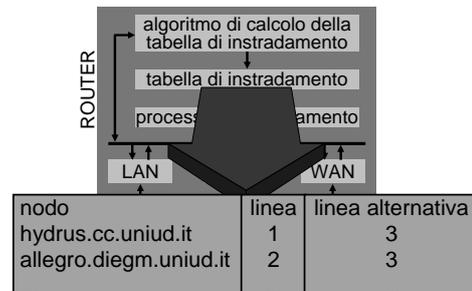
Fixed Directory Routing

- Ogni nodo ha una tabella di instradamento scritta manualmente, con informazioni del tipo:
 - indirizzo di destinazione → linea
- Il gestore della rete ha il totale controllo dei flussi di traffico
 - sono necessari interventi manuali per ridirigere il traffico in presenza di guasti
- Usato con successo in reti TCP/IP e SNA

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

29

Fixed Directory Routing



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

30

Flooding

- Algoritmo non adattativo
- Ciascun pacchetto in arrivo viene ritrasmesso su tutte le linee eccetto quella da cui è stato ricevuto
- Utilizzabile solo in presenza di traffico molto limitato

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

31

Ottimizzazioni del flooding

- Age-counter
 - ogni pacchetto contiene un contatore di salti, inizializzato al massimo numero di salti previsto per arrivare a destinazione, che viene via via decrementato
 - si scartano i pacchetti con il contatore a zero
- Memoria dei pacchetti transitati
 - si scartano i pacchetti le successive volte che passano in un nodo

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

32

Selective Flooding

- I pacchetti vengono ritrasmessi solo su linee selezionate.
- Random walk
 - il pacchetto in arrivo su un nodo viene trasmesso in modo casuale su una delle linee disponibili
- Hot Potato
 - ogni nodo ritrasmette il pacchetto sulla linea con la coda di trasmissione più breve

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

33

Algoritmi dinamici

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

34

Routing centralizzato

- Esiste un Routing Control Center (RCC) che calcola e distribuisce le tabelle
- Il RCC riceve informazioni sullo stato della rete da tutti i nodi e le usa per calcolare le nuove tabelle
- Poco robusto (le tabelle non arrivano a tutti i router contemporaneamente)
- Genera elevato carico sulla rete in prossimità del RCC

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

35

Routing isolato

- Opposto al routing centralizzato: ogni nodo decide l'instradamento senza scambiare informazioni con gli altri nodi
- Esempio:
 - backward learning dei bridge

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

36

Routing distribuito

- Ogni router calcola le sue tabelle dialogando con gli altri router e con gli end-node
- Tale dialogo avviene tramite protocolli ausiliari di livello 3
- Due approcci principali:
 - algoritmi "distance vector"
 - algoritmi "link state"

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

37

Distance Vector

- Noto anche come algoritmo di "Bellman-Ford" o "Ford-Fulkerson"
- Ogni nodo, quando modifica le proprie tabelle di instradamento, invia ai nodi adiacenti un "distance vector" (insieme di coppie [indirizzo - distanza])
- La distanza è espressa tramite metriche classiche quali numero di hops e costo
- Ogni nodo memorizza per ogni linea l'ultimo distance vector ricevuto

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

38

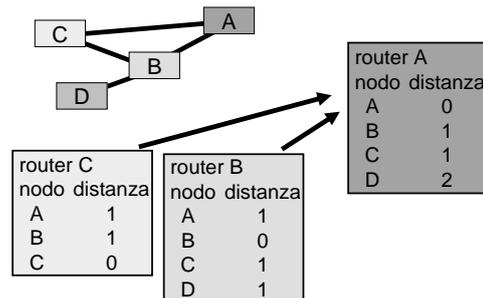
Distance Vector

- Un router ricalcola le sue tabelle se:
 - cade una linea attiva
 - riceve un distance vector da un nodo adiacente diverso da quello memorizzato
- Il calcolo consiste nella fusione di tutti i distance vector delle linee attive
- Se le tabelle risultano diverse da quelle precedenti, invia ai nodi adiacenti un nuovo distance vector

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

39

Distance Vector



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

40

Distance Vector: caratteristiche

- Vantaggi:
 - molto semplice da implementare
- Svantaggi
 - possono innescarsi dei loop a causa di particolari variazioni della topologia
 - la convergenza può essere molto lenta

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

41

Link State

- Ogni router:
 - scopre i vicini e i loro indirizzi (pacchetto di "hello")
 - misura il ritardo o il costo per raggiungerli
 - costruisce un pacchetto (LSP: Link State Packet) con tali informazioni che invia in flooding a tutti i router
 - calcola il cammino minimo per raggiungere ogni altro router

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

42

Link State: caratteristiche

- Vantaggi:
 - può gestire reti di grandi dimensioni
 - ha una convergenza rapida (complessità $E \log N$, con E link e N nodi)
 - è robusto
 - ogni nodo ha la mappa dell'intera rete
- Svantaggi:
 - molto complesso da realizzare
 - necessita di meccanismi speciali per le LAN (un router diventa "pseudo-nodo")

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 43

Traffic shaping, policy routing

- Tecniche di controllo dell'instradamento molto flessibili e sofisticate disponibili in molti router moderni
- Utilizzate soprattutto in reti in cui devono convivere flussi diversi con diverse caratteristiche di banda, sicurezza, connettività, ecc.
- È il problema tipico degli Internet Service Provider

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 44

Routing gerarchico

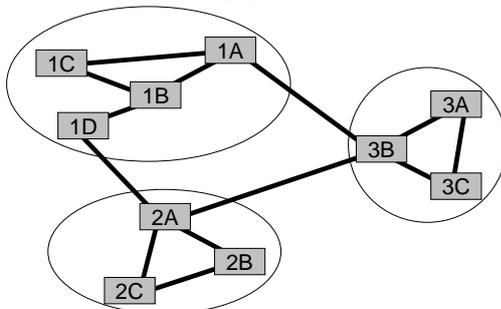
© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 45

Routing gerarchico

- Necessario per reti di grandi dimensioni
- Si basa su criteri gerarchici di assegnazione degli indirizzi di rete
- La rete viene suddivisa in regioni
- Ogni router conosce:
 - l'instradamento nella propria regione
 - l'instradamento verso almeno un altro router di ogni altra regione
- Per reti enormi può essere necessaria una gerarchia su più livelli

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 46

Routing gerarchico



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 47

Utilizzo dei router all'interno delle LAN

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2) 48

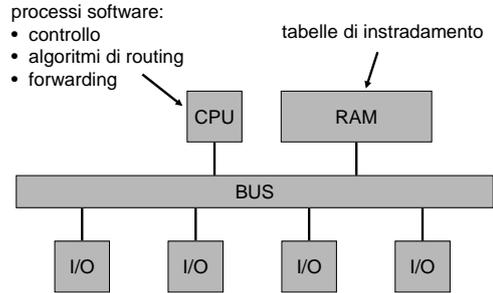
I router all'interno delle LAN

- Partizionamento della LAN con router al posto dei bridge o switch di livello 2
 - i router non propagano il traffico broadcast
- Interconnessione di LAN distanti
 - al posto dei bridge remoti
- Interconnessione di VLAN
- Politiche di gestione del traffico
 - traffic shaping, policy routing
- Prestazioni? Switch di livello 3!

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

49

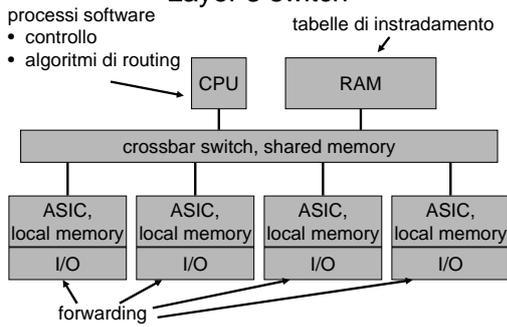
Router convenzionale



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

50

Layer 3 switch



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

51

Bibliografia

- "Reti di Computer"
 - Capitolo 5
- Libro "Reti locali: dal cablaggio all'internetting"
 - contenuto nel CD-ROM omonimo
 - Capitolo 14

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

52

Come contattare il prof. Montessoro

E-mail: montessoro@uniud.it
 Telefono: 0432 558286
 Fax: 0432 558251
 URL: www.montessoro.it

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

53