

Appello del 23/02/2012

ESERCIZIO 1: Si considerino i cinque autonomous systems collegati tra loro nel modo indicato in Figura 1.1. Supponiamo che il protocollo di routing interdomain sia il BGP-4 e che tutti i router indicati in Figura 1.1 siano router ASBR. Facendo riferimento alla Figura 1.1 e alle informazioni in essa riportate (prefissi di network e RID) il candidato:

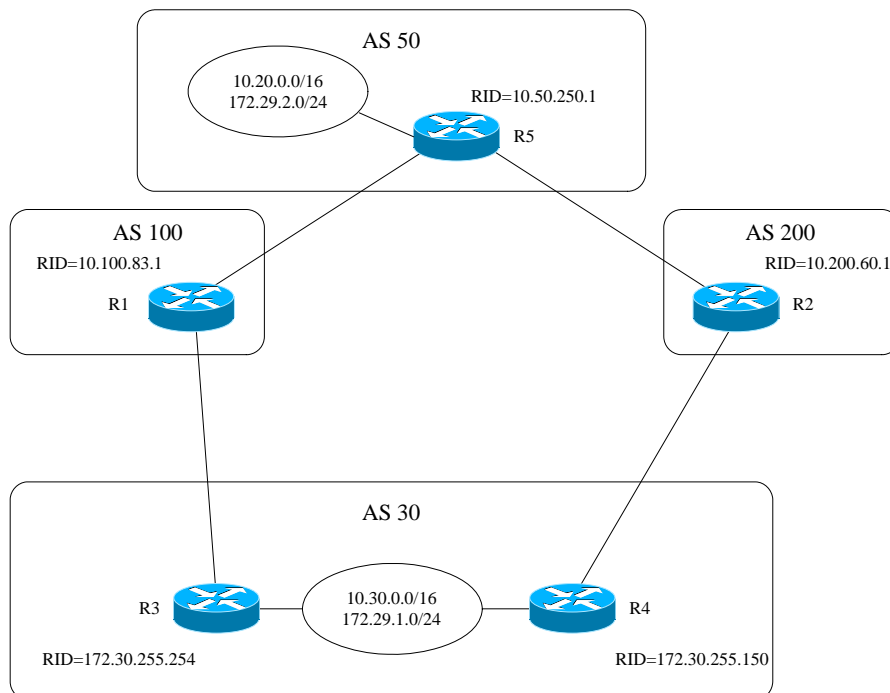


Figura 1.1: Interconnessione dei vari autonomous systems

1. disegni e specifichi la natura delle sessioni BGP che vengono aperte tra i router di Figura 1.1;
2. nell'ipotesi in cui gli autonomous systems di Figura 1.1 siano di transito, specifichi la struttura della BGP table di R1 mettendo in evidenza, per ogni entry della medesima, il valore dell'attributo AS_PATH;
3. risponda alla domanda precedente nell'ipotesi in cui AS30, a differenza degli altri, non sia un autonomous system di transito.

Assumendo di nuovo che tutti gli autonomous system di Figura 1.1 siano di transito, il candidato:

4. specifichi la BGP routing table di R5 e, utilizzando le regole del BGP decision process, ricavi la routing table di R5 medesimo relativamente ai prefissi contenuti nell'autonomous system AS30;
5. dica se AS30 può influenzare le decisioni di routing di AS50 utilizzando l'attributo MED e, in caso negativo, specifichi quale strumento AS30 può utilizzare in modo che il traffico di AS50 diretto verso 172.29.1.0/24 venga instradato verso l'AS200;

Supponiamo adesso che, volendo influenzare le decisioni di routing di R5 verso la route 10.30.0.0/16, R3 triplichi l'autonomous system number di AS30 tutte le volte che annuncia tale route verso AS100. Il candidato:

6. spieghi qual è l'effetto provocato da tale scelta sul routing di R5 e R1 verso la route 10.30.0.0/16.

NOTA. Il candidato utilizzi il RID per specificare il NEXT_HOP.

RISOLUZIONE

1. La Figura 1.2 illustra le sessioni BGP instaurate tra i vari router.
2. La BGP routing table di R1 è riportata in Figura 1.3. Per ciascun prefisso di rete esistono due entries e ciò è dovuto al fatto che ciascun prefisso di rete viene annunciato mediante due UPDATE che raggiungono R1 attraverso due cammini distinti come si può evincere da AS_PATH.
3. In questo caso la BGP table è riportata in Figura 1.4.
4. La BGP routing table è riportata in Figura 1.5 dalla quale si può evincere che i prefissi di AS30 possono essere raggiunti da R5 lungo due cammini ad equal costo in termini di numero di autonomous system attraversati. Assumendo che tutti gli altri attributi abbiano equal valore, il BGP decision process sceglie il cammino lungo il router R1 in quanto il valore del RID di R1 è inferiore rispetto al valore del RID di R2. Di conseguenza, la routing table di R5 è quella riportata in Figura 1.6.
5. Il MED non può essere utilizzato in quanto AS50 e AS30 non sono collegati direttamente. Si tenga presente che il MED è un attributo opzionale non transitivo. Affinché il traffico di R5 diretto verso 172.29.1.0/24 venga instra-

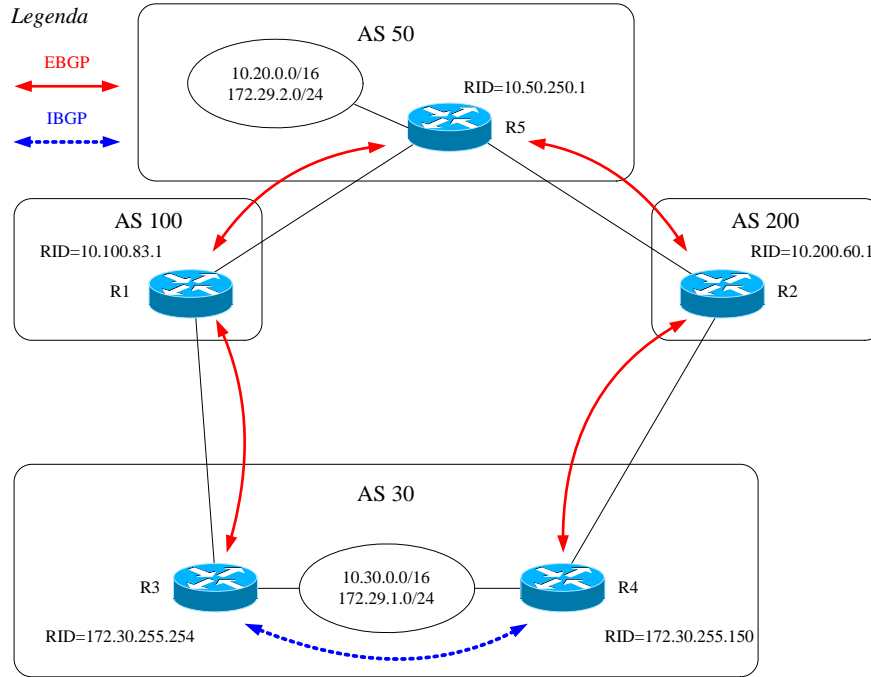


Figura 1.2: Topologia delle sessioni BGP

Destination Network Prefix	NEXT_HOP	AS_PATH
10.20.0.0/16	172.30.255.254	30 200 50
10.20.0.0/16	10.50.250.1	50
172.29.2.0/24	172.30.255.254	30 200 50
172.29.2.0/24	10.50.250.1	50
10.30.0.0/16	172.30.255.254	30
10.30.0.0/16	10.50.250.1	50 200 30
172.29.1.0/24	172.30.255.254	30
172.29.1.0/24	10.50.250.1	50 200 30

Figura 1.3: BGP routing table di R1 nel caso in cui AS30 e AS50 siano di transito

Destination Network Prefix	NEXT_HOP	AS_PATH
10.20.0.0/16	10.50.250.1	50
172.29.2.0/24	10.50.250.1	50
10.30.0.0/16	172.30.255.254	30
172.29.1.0/24	172.30.255.254	30
10.30.0.0/16	10.50.250.1	50 200 30
172.29.1.0/24	10.50.250.1	50 200 30

Figura 1.4: BGP routing table di R1 nel caso in cui AS30 non sia di transito

Destination Network Prefix	NEXT_HOP	AS_PATH
10.30.0.0/16	10.200.60.1	200 30
10.30.0.0/16	10.100.83.1	100 30
172.29.1.0/24	10.200.60.1	200 30
172.29.1.0/24	10.100.83.1	100 30

Figura 1.5: BGP routing table di R5

Destination Network Prefix	Next Hop
10.30.0.0/16	via 10.100.83.1
172.29.1.0/24	via 10.100.83.1

Figura 1.6: Routing table di R5

dato verso l'AS200, basta che R3 alteri l'attributo AS_PATH. Infatti, quando R3 trasmette l'UPDATE verso R1 per annunciare la route 172.29.1.0/24, se duplica AS30, la BGP routing table di R1 è quella riportata in Figura 1.7:

Applicando l'algoritmo del BGP decision process, la routing table di R5 è quella riportata in Figura 1.8.

Destination Network Prefix	NEXT_HOP	AS_PATH
10.30.0.0/16	10.200.60.1	200 30
10.30.0.0/16	10.100.83.1	100 30
172.29.1.0/24	10.200.60.1	200 30
172.29.1.0/24	10.100.83.1	100 30 30

Figura 1.7: BGP routing table di R5 quando AS_PATH viene alterato

Destination Network Prefix	Next Hop
10.30.0.0/16	via 10.100.83.1
172.29.1.0/24	via 10.200.60.1

Figura 1.8: Routing table di R5 quando AS_PATH viene alterato

6. La Figura 1.9 illustra la sezione della BGP routing table di R5 relativa-

Destination Network Prefix	NEXT_HOP	AS_PATH
10.30.0.0/16	10.200.60.1	200 30
10.30.0.0/16	10.100.83.1	100 30 30 30
172.29.1.0/24	10.200.60.1	200 30
172.29.1.0/24	10.100.83.1	100 30

Figura 1.9: BGP routing table di R5

mente ai prefissi di network contenuti nell' AS30. Di conseguenza il BGP decision process, relativamente al prefisso di rete 10.30.0.0/16, seleziona il cammino verso R2 in quanto il più breve dal punto di vista del numero di autonomous system (non importa se reali o "duplicati") attraversati. Tuttavia, alterando l'attributo AS_PATH nel modo specificato dall'esercizio, per poter raggiungere il prefisso 10.30.0.0/16, R1 instrada i pacchetti verso R5 anziché verso R3, ossia verso un cammino che comporta l'attraversamento

Destination Network Prefix	NEXT_HOP	AS_PATH
.....
10.30.0.0/16	172.30.255.254	30 30 30
10.30.0.0/16	10.50.250.1	50 200 30
.....

Figura 1.10: BGP routing table di R1 relativamente all'entry 10.30.0.0/16

di tre autonomous system anziché di uno come avverrebbe se l'AS_PATH non venisse manipolato. Con l'AS_PATH manipolato, dalla Figura 1.10 si evince che entrambi i percorsi (uno verso R5 e l'altro verso R3) comportano lo stesso numero di autonomous system attraversati però il BGP decision process seleziona quello verso R5 in quanto il RID di R5 è inferiore rispetto al RID di R3.

ESERCIZIO 2: Si consideri un commutatore (router) di una rete a pacchetto, modellabile mediante un sistema M/M/1, nel quale i tassi di nascita (λ_n) e di morte (μ_n) sono dati rispettivamente dalle relazioni

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{(n+1)^d}, \forall n \in \mathbf{N} \quad (2.1)$$

$$\mu_n = n^c \mu, \forall n \in \mathbf{N}^+ \quad (2.2)$$

nelle quali c è una costante denominata *pressure coefficient*, una costante cioè che indica il grado di influenza esercitato dallo stato del sistema sul tasso di servizio e d è una costante che viene denominata *discouraging coefficient*. Il candidato:

1. disegni il diagramma dei tassi di transizione;
2. scriva le equazioni di bilanciamento locale, ricavi le probabilità stazionarie di stato e la condizione di stabilità per questo sistema;
3. ricavi le probabilità stazionarie di stato nel caso particolare in cui $d = 0$ e $c = 1$ e verifichi che queste coincidono con quelle di un sistema M/M/ ∞ in cui il tasso degli arrivi è λ ed il tasso di servizio dei serventi è μ .

Il candidato confronti il sistema M/M/1 in esame con il sistema M/M/ ∞ calcolando per entrambi i sistemi:

4. il numero medio di pacchetti nel sistema $E[N]$ ed in coda di attesa $E[N_q]$, il tempo medio di risposta del sistema $E[R]$ e di attesa in coda di attesa $E[W]$;
5. il throughput γ ;
6. la relazione tra offered load (a) e carried load (a');
7. il carried load a' e, tramite esso, il tempo medio di servizio;
8. la funzione massa di probabilità $\{r_n, n \in \mathbf{N}\}$.

RISOLUZIONE

1. Da (2.1) ed (2.2) è possibile ricavare il diagramma dei tassi di transizione riportato in Figure 2.1
2. Dall'analisi il diagramma di Figure 2.1 seguono le equazioni di bilanciamento locale

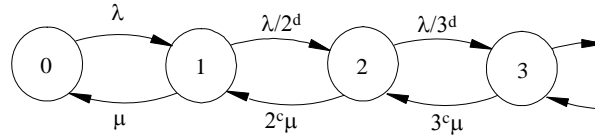


Figura 2.1: Diagramma dei tassi di transizione

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda p_0 = \mu p_1 \\ (\lambda/2^d)p_1 = 2^c \mu p_2 \\ (\lambda/3^d)p_2 = 3^c \mu p_3 \\ \dots \\ \left\{ \frac{\lambda}{(n+1)^d} \right\} p_n = (n+1)^c \mu p_{n+1} \end{array} \right. \quad (2.3)$$

Dal sistema (2.3) segue

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) p_0 \\ p_2 = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^2 \frac{1}{(2^{d+c})} p_0 \\ p_3 = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^3 \frac{1}{(3^{d+c})(2^{d+c})} p_0 \\ \dots \\ p_n = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{[n^{d+c}][n-1]^{d+c} \dots [2^{d+c}]} p_0 \quad \forall n \geq 2 \end{array} \right. \quad (2.4)$$

Tenendo presente che $0! = 1$, le probabilità stazionarie (2.4) possono essere riscritte nella seguente forma compatta

$$p_n = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{(n!)^{d+c}} p_0, \quad \forall n \geq 0 \quad (2.5)$$

Come noto, la probabilità stazionaria p_0 viene calcolata utilizzando la condizione di normalizzazione $\sum_{n=0}^{\infty} p_n = 1$.

$$p_0 \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{(n!)^{d+c}} \right\} = 1 \quad (2.6)$$

Per studiare la convergenza della serie in (2.6) si applica il criterio di D'Alambert

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^{n+1} \frac{1}{\{(n+1)!\}^{d+c}}}{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{(n!)^{d+c}}} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \left\{ \frac{n!}{(n+1)!} \right\}^{d+c} \\ &= \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n+1} \right)^{d+c} = 0, \quad \Leftrightarrow \quad d+c > 0 \end{aligned}$$

Di conseguenza la serie converge per ogni valore di $\lambda > 0$ e di $\mu > 0$. Ne segue che il sistema è stabile, se e solo se

$$d+c > 0. \quad (2.7)$$

NOTA. Da un punto di vista ingegneristico i casi in cui $\lambda \leq 0$ e $\mu \leq 0$ non sono significativi.

Purtroppo, nel caso generale, non esiste una forma chiusa per la somma della serie in (2.6). Indicando con

$$\alpha = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{(n!)^{d+c}} \quad (2.8)$$

la (2.5) diventa

$$p_n = \left(\frac{1}{\alpha} \right) \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{(n!)^{d+c}}, \quad \forall n \geq 0 \quad (2.9)$$

3. Nel caso specifico in cui $d = 0$ e $c = 1$ la (2.8) si riduce a

$$\alpha = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} = e^{\lambda/\mu} \quad (2.10)$$

mentre la (2.9) diventa

$$p_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{e^{-\lambda/\mu}}{n!}, \forall n \geq 0 \quad (2.11)$$

La serie (2.10) converge per ogni valore di $\lambda > 0$ e di $\mu > 0$ e quindi il sistema è sempre stabile. Questo risultato è ovviamente compatibile con la (2.7) in quanto nel caso in esame $d + c = 1 > 0$.

Le probabilità stazionarie (2.11) coincidono con quelle del sistema a coda M/M/ ∞ in cui il tasso degli arrivi è λ ed il tasso di servizio dei serventi è μ .

4. Utilizziamo i pedici M/M/1 ed M/M/ ∞ per distinguere, rispettivamente, il sistema in esame da quello ad infiniti serventi.

Dalla teoria è noto che

$$E[N]_{M/M/\infty} = \lambda/\mu \quad (2.12)$$

$$E[R]_{M/M/\infty} = 1/\mu \quad (2.13)$$

$$E[N_q]_{M/M/\infty} = 0 \quad (2.14)$$

$$E[W]_{M/M/\infty} = 0 \quad (2.15)$$

Nel caso M/M/1 in esame, il numero medio di pacchetti nel sistema $E[N]_{M/M/1}$ ed il tempo medio di risposta del sistema $E[R]_{M/M/1}$ sono gli stessi del sistema M/M/ ∞ . Infatti

$$\begin{aligned} E[N]_{M/M/1} &= \sum_{n=1}^{\infty} n p_n = \sum_{n=1}^{\infty} n \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{e^{-\lambda/\mu}}{n!} \\ &= e^{-\lambda/\mu} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n-1} \frac{1}{(n-1)!} = e^{-\lambda/\mu} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) e^{\lambda/\mu} = \frac{\lambda}{\mu} \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$E[R]_{M/M/1} = \frac{E[N]_{M/M/1}}{\lambda} = \frac{1}{\mu} \quad (2.17)$$

Cambiano invece il numero medio di pacchetti in coda di attesa $E[N_q]_{M/M/1}$ ed il tempo medio in coda di attesa $E[W]_{M/M/1}$. Procediamo di seguito alla loro valutazione

$$\begin{aligned} E[N_q]_{M/M/1} &= \sum_{n=1}^{\infty} (n-1)p_n = \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{e^{-\lambda/\mu}}{n!} \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} np_n - \sum_{n=1}^{\infty} p_n = E[N]_{M/M/1} - (1-p_0) = \frac{\lambda}{\mu} - (1 - e^{-\lambda/\mu}) \end{aligned}$$

In conclusione

$$E[N_q]_{M/M/1} = \frac{\lambda}{\mu} - (1 - e^{-\lambda/\mu}) \quad (2.18)$$

Applicando il Teorema di Little

$$E[W]_{M/M/1} = \frac{E[N_q]_{M/M/1}}{\lambda} = \frac{1}{\mu} - \frac{1}{\lambda}(1 - e^{-\lambda/\mu}) \quad (2.19)$$

Da (2.18) ed (2.19) emerge rispettivamente che sia $E[N_q]_{M/M/1}$ sia $E[W]_{M/M/1}$ sono diversi da zero.

5. Per il calcolo di γ si applica la definizione tenendo conto che sia per il sistema M/M/1 in esame che per il sistema M/M/ ∞ il tasso di servizio è $\mu_n = n\mu, \forall n > 0$. Quindi

$$\begin{aligned} \gamma = \gamma_{M/M/1} = \gamma_{M/M/\infty} &= \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n p_n = e^{-\lambda/\mu} \sum_{n=1}^{\infty} n\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{1}{n!} \\ &= \mu e^{-\lambda/\mu} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n-1} \frac{1}{(n-1)!} = \mu e^{-\lambda/\mu} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) e^{\lambda/\mu} \end{aligned}$$

In conclusione

$$\gamma = \gamma_{M/M/1} = \gamma_{M/M/\infty} = \lambda \quad (2.20)$$

Questo risultato dovevamo aspettarcelo in quanto all'equilibrio statistico (stato stazionario) il tasso dei pacchetti in ingresso al sistema e quello di uscita (throughput) dal sistema coincidono tra di loro.

6. Poiche'

$$a = \lambda b \quad (2.21)$$

$$a' = \gamma b \quad (2.22)$$

dove b è il tempo medio di servizio, moltiplicando entrambi i membri della (2.20) per b si ottiene la relazione

$$a = a' \quad (2.23)$$

In conclusione, per entrambi i sistemi M/M/1 ed M/M/∞ l' offered load ed il carried load coincidono. Tuttavia, il valore dell' offered load (e quindi del carried load) differisce nei due sistemi.

7. Partiamo dalla definizione di carried load. In un sistema con s serventi

$$a' = \sum_{n=1}^{s-1} np_n + s \sum_{n=s}^{\infty} p_n \quad (2.24)$$

Nel caso M/M/1 ($s = 1$) si ha

$$a'_{M/M/1} = \sum_{n=1}^{\infty} p_n = 1 - p_0 \quad (2.25)$$

Sostituendo (2.11) con $n = 0$ nella (2.25) si ottiene

$$a'_{M/M/1} = 1 - e^{-\lambda/\mu} \quad (2.26)$$

Dalla (2.22)

$$b_{M/M/1} = \frac{a'_{M/M/1}}{\gamma} \quad (2.27)$$

Sostituendo (2.20) ed (2.26) nella (2.27) si perviene al risultato

$$b_{M/M/1} = \frac{1}{\lambda}(1 - e^{-\lambda/\mu}) \quad (2.28)$$

Per il sistema M/M/∞ ($s = \infty$) la (2.24) diventa

$$a'_{M/M/\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} np_n = E[N]_{M/M/\infty} \quad (2.29)$$

Sostituendo la (2.12) nella (2.29)

$$a'_{M/M/\infty} = \lambda / \mu \quad (2.30)$$

Dalla (2.22)

$$b_{M/M/\infty} = \frac{a'_{M/M/\infty}}{\gamma} \quad (2.31)$$

Sostituendo (2.20) ed (2.30) nella (2.31) si perviene al risultato

$$b_{M/M/\infty} = \frac{1}{\mu} \quad (2.32)$$

come ci dovevamo aspettare

8. Dalla teoria è noto che

$$r_n = \frac{\lambda_n p_n}{\sum_{k=0}^{\infty} \lambda_k p_k}, \quad \forall n \geq 0 \quad (2.33)$$

Poiche' per entrambi i sistemi $\lambda_n = \lambda, \forall n \geq 0$, la (2.33) diventa

$$r_n = p_n, \quad \forall n \geq 0 \quad (2.34)$$

Il risultato (2.34) era prevedibile: infatti, il tasso dei pacchetti che arrivano sul commutatore non dipende dallo stato del sistema e quindi è applicabile il teorema PASTA tramite il quale è possibile stabilire che la distribuzione $\{r_n, n \in \mathbf{N}\}$ osservata da un pacchetto (qualsiasi) in arrivo è eguale alla distribuzione $\{p_n, n \in \mathbf{N}\}$ osservata dal *random observer* (o, come spesso viene denominata, distribuzione at *any time*).

