

# Elementi di Economia delle Reti

Working Book

Diego Lanzi <sup>1</sup>

ALMA MATER STUDIORUM/Università di Bologna

Facoltà di Economia

Anno Accademico 2007/2008

---

<sup>1</sup>Si ringraziano per le utili indicazioni Salvador Barberà, Carmen Matutes, Stefano Zamagni e i partecipanti ai corsi-seminari tenuti presso l'Istitut de Anàlisi Econòmica, Universitat Autònoma de Barcelona e la Facoltà di Economia di Forlì, Università di Bologna. Per contattare l'autore: [lanzi00@economia.unibo.it](mailto:lanzi00@economia.unibo.it).

# 1 Introduzione

La diffusione su scala planetaria di reti multimediali di comunicazione (da qui in poi per brevità dette semplicemente *reti*) in grado di transitare pacchetti di bytes attraverso infrastrutture informatiche, pone gli agenti economici innanzi a nuovi processi di creazione di valore, fondati sulla comunicazione continua, many-to-many, e ad inaspettati canali di scambio di informazioni.

In particolare, la possibilità di codifica binaria abbassa notevolmente i costi di diffusione e replicazione di informazioni dando alle stesse maggior valore d'uso e riducendo la complessità delle interazioni sociali ed economiche attraverso la fornitura di una serie di conoscenze replicabili. Al tempo stesso, l'utilizzo delle nuove tecnologie della comunicazione permette lo scambio continuo e personalizzato di conoscenze e opinioni tra gli attori economici, creando un tessuto di interconnessione che consente una nuova divisione del lavoro cognitivo (su distanze maggiori, per alti gradi di specializzazione, con possibilità di continuo feed back tra le parti coinvolte ecc...) e una espansione di tale nuova divisione mansionale ai più svariati ambiti produttivi.

Economie di *condivisione* e economie di *esplorazione* distinguono i processi di creazione di valore che utilizzano una rete come infrastruttura per lo scambio comunicativo di informazioni digitalizzate. Le prime sono legate alla diminuzione dei costi di duplicazione e scambio di informazioni tra agenti economici. Laddove la replicazione abbia costo marginale nullo diviene conveniente diffondere il maggior quantitativo possibile di informazioni possedute tramite la rete. Questo genera, laddove i flussi informativi siano interni ad organizzazioni atte alla produzione di beni o servizi, miglioramenti di produttività derivanti da un più elevato coordinamento tra le fasi produttive; se, per contro, la rete è utilizzata come canale distributivo per raggiungere il consumatore finale di informazioni, la possibilità di vendere un dato prodotto cognitivo a più acquirenti in luoghi e tempi diversi rende conveniente la specializzazione produttiva e induce l'allargamento dei mercati. Per economie di esplorazione si intende, diversamente, la possibilità di ottenere rilevanti benefici da una maggior flessibilità del processo di produzione del valore, possibile grazie all'interattività delle nuove tecnologie, capaci di dare spazio a fatti imprevisti o sperimentazioni emergenti. Questo comporta, di norma, un maggior livello di innovatività e sperimentazione all'interno degli anelli flessibili della catena di produzione di valore.

Ad esse possiamo accostare almeno un'altra specificità dei processi di creazione di valore che utilizzano strutture di comunicazione reticolare: *economie di densità*. Esse suggeriscono, intuitivamente, di massimizzare il transito di informazioni che fluiscono attraverso ogni nodo di rete al fine di ridurre al minimo l'incidenza dei costi infrastrutturali. Ovviamente, un'eccessiva densità dei transiti reticolari genera problemi di congestione di rete.

Allo sviluppo di reti multimediali di comunicazione si è accompagnata la ricerca di forme e strutture organizzative morfologicamente più consone del

tradizionale modello organizzativo a base gerarchica al pieno e sofisticato utilizzo dell'*information technology*. Come vedremo, le *organizzazioni a rete*, incentrate su flessibilità funzionale, decentramento dei poteri decisionali e controllo congiunto di strutture produttive co-specializzate, sono in grado di consentire una meno problematica armonizzazione tra esigenze di efficienza, flessibilità ed esplorazione imposte, in modo sempre più preponderante, dall'adozione di tecnologie digitali per attività di produzione o consumo.

Diversi lavori di rassegna hanno già tentato una prima sistemazione disciplinare della varietà di contributi afferenti all'analisi economica delle reti e dell'Information Technology (IT). I primi lavori, tra cui Katz e Shapiro (1994) e Liebowitz e Margolis (1994), forniscono panoramiche sui diversi contributi volti a definire e analizzare gli effetti rete. Più recentemente, Varian (2001) sintetizza, in un elegante ed agile compendio, le specificità dei mercati appartenenti al mondo dell'IT (versioning delle informazioni, lock-in, economie di scala sul lato dell'offerta ecc...); Shy (2001) propone invece un corposo volume sulle industrie a rete in cui sono formalmente affrontati i temi della compatibilità tecnologica, dell'emersione di standard e della competizione tra imprese all'interno dei settori del software, del trasporto aereo, delle telecomunicazioni ecc... .

Nessuno dei contributi citati pone tuttavia l'accento su due temi recentemente ampiamente studiati dalla teoria economica tramite il pervasivo utilizzo di concetti e strumenti di teoria dei giochi. Questo saggio tenta dunque di colmare uno iato nella rassegnistica relativa all'economia delle reti tentando di dare risposta a quesiti fondamentali spesso elusi dalla letteratura di sintesi:

- Come si caratterizza una rete e in che modo vengono formate reti efficienti da soggetti razionali ?
- In che modo sono gestite reti multimediali di comunicazione da imprese che offrono servizi di accesso e transito e quali strategie competitive caratterizzano i relativi mercati ?

Inevitabilmente nel fare ciò non potremo evitare piccole sovrapposizioni con alcuni concetti presenti in alcune delle rassegne citate. Laddove questo accadrà, lo sforzo di chi scrive sarà principalmente mirato a una rilettura di questi dalla prospettiva adottata nelle pagine che seguono.

La parte restante del lavoro è organizzata come segue. Il paragrafo 2 espone alcuni elementi di teoria dei grafi, utile strumento per caratterizzare una struttura reticolare, i paragrafi 3 e 4 si occupano dei principali modelli di rete e di come questi siano costituiti da decisori razionali. Le sezioni 5 e 6 affrontano quindi questioni relative agli effetti rete e alla congestione reticolare, mentre, il paragrafo 7, analizza la competizione tra imprese che offrono servizi di rete. Nel paragrafo 8, a titolo di conclusione, saranno discusse le caratteristiche delle reti organizzative che spesso accompagnano reti interne a unità produttive. Presenteremo quindi, per finalità illustrative, i passi fondamentali delle dimostrazioni

relative alle Proposizioni formalmente enunciate. Come si noterà, alcune proposizioni sono state lievemente modificate rispetto a quelle originariamente contenute nei saggi citati. Questo ci permetterà di effettuare opportuni adattamenti nelle rispettive dimostrazioni.

## 2 Reti e Teoria dei Grafi

L'interpretazione di una rete come un insieme di nodi e un insieme di legami coincide certamente con la nostra percezione fisica e intuitiva del concetto. Quanto, tuttavia, normalmente sfugge a chi tenti di prefigurarsi mentalmente una struttura reticolare è come i diversi punti o nodi della stessa, debbano essere connessi secondo una precisa logica che determina la morfologia della rete stessa. Solo la contestuale specificazione di quali e quanti siano i nodi, di quanti siano i legami e di come questi ultimi connettano diversi punti, ci fornisce un'adeguata descrizione di una struttura reticolare. Tali elementi sono contenuti nella definizione di un *grafo semplice*  $g$  come un insieme di nodi  $V$ , un insieme di legami  $L$  e una *funzione di incidenza*  $\Omega : V \times V \rightarrow L$ . Ogni grafo semplice, e dunque ogni struttura reticolare, sarà data da una tripla  $\langle V(g); L(g); \Omega_g \rangle^2$ .

Ogni nodo è solitamente connesso a un insieme di altri nodi che compongono la rete. Il *grado di un nodo*  $gr(v)$  è esattamente il numero dei legami incidenti al nodo stesso. Laddove un nodo abbia grado nullo sarà *isolato* ovvero non appartiene alla rete, mentre lo stesso si dirà *terminale* laddove sia connesso con un solo altro nodo. Laddove  $gr(v) = \bar{v}$  per  $\forall v \in V(G)$  la rete  $G$  è definita *regolare*, altrimenti è detta *irregolare*.

Un *cammino di rete* (*network walk*) è quindi interpretabile come una sequenza ordinata di nodi e legami  $(v_0, l_{0,1}, v_1, \dots, v_{n-1}, l_{n-1,n}, v_n)$  in grado di connettere indirettamente nodi tra i quali non esiste alcun legame incidente. Laddove il primo e l'ultimo nodo della sequenza coincidano ( $v_0 \equiv v_n$ ) il cammino di rete è detto *chiuso*, altrimenti aperto.

Non tutti i possibili cammini di rete hanno tuttavia le medesime caratteristiche. Un *percorso di rete* (*network trail*) è un cammino di rete in cui ogni legame all'interno della sequenza è diverso dagli altri, mentre un *sentiero di rete* (*network path*) è un cammino in cui compaiono insiemi distinti di nodi e legami. La seguente figura consente di cogliere, attraverso un esempio, le distinzioni appena chiamate in causa. E' facile notare come ogni sentiero di rete sia necessariamente sia un cammino che un percorso di rete, mentre non sia vero il contrario.

[FIGURA 1]

---

<sup>2</sup>Per una raffinata esposizione dei tratti essenziali della teoria dei grafi per l'analisi di reti, si rimanda a Iacobucci (1994).

La *distanza geodetica*  $d(v_i, v_j)$  misura, quindi, il numero minimo di legami necessari per connettere una coppia di nodi. Se tale distanza è pari a uno, i due nodi sono *adiacenti* ovvero connessi direttamente, laddove questa sia maggiore di uno i due nodi sono connessi tramite un sentiero di rete.

La nozione di adiacenza tra due nodi ci permette di definire un *grafo completo* (ovvero quanto nel seguito chiameremo rete poliarchica) come un grafo in cui ogni coppia di nodi è connessa direttamente. In ogni grafo completo, i nodi sono adiacenti e il numero di legami complessivi pari a  $\frac{c_V(c_V-1)}{2}$  dove  $c_V$  è la cardinalità dell'insieme  $V(G)$ . Ogni grafo completo sarà dunque regolare, mentre non sarà vero l'opposto.

Non sempre, tuttavia, all'interno di una struttura reticolare ogni nodo è adiacente ad ogni altro. Della totalità dei legami attivabili è possibile che solo alcuni siano effettivamente in grado di connettere diversi nodi, creando una struttura di rete rappresentabile tramite un grafo incompleto. La *densità della rete*  $D(G) \in [0; 1]$  indica esattamente il rapporto tra il numero effettivo dei legami reticolari  $q$  e il numero delle connessioni possibili  $\frac{c_V(c_V-1)}{2}$ . Nel caso in cui questa sia nulla, ogni punto sarà isolato e potremmo, utilizzando una categoria propria del pensiero organizzativo intendere la rete come un sistema a legami deboli (*loosely coupled*)<sup>3</sup>. Per contro, laddove la densità sia pari a uno ogni nodo sarà adiacente e il grafo reticolare completo.

Se pertanto consideriamo grafi incompleti saremo sempre in grado di individuare sottografi, ovvero porzioni di rete. Un *ponte di rete* (*network bridge*) è un legame  $\bar{l} \in L(G)$  in grado di connettere due sottografi altrimenti disconnessi. I nodi posti ai suoi estremi sono detti *punti di scissione* (*cutpoint*) in quanto una loro rimozione scinderebbe la rete in due reti distinte di minori dimensioni. Una rete in cui la complessità dei legami tra nodi sia tale da richiedere la rimozione di un elevato numero di questi per scinderla in due sottoreti si dirà ad elevata *connettività puntuale*. Nel caso opposto, a ridotta connettività puntuale. La figura 2 mostra una struttura reticolare con un ponte di rete e due cutpoints (C1 e C2).

[FIGURA 2]

Due reti possono quindi essere strutturalmente differenti, ma presentare le medesime caratteristiche in termini di densità di rete e grado di completezza. Due strutture reticolari si dicono *isomorfe* se caratterizzate dalla stessa distanza geodetica per ogni coppia di nodi e dalla stessa densità di rete. In questi casi, esiste un *isomorfismo*, ovvero una corrispondenza biunivoca tra i due grafi, che conserva le adiacenze e la densità di rete. Nella figura 3 è fornito un possibile esempio di reti isomorfe.

---

<sup>3</sup>Per un'eccellente applicazione della teoria dei grafi a questioni organizzative, rimando a Lomi (2001).

[FIGURA 3]

Infine, possiamo introdurre alcuni *indici di centralità* in grado di fornire informazioni sulla disposizione di ogni nodo in relazione alla struttura reticolare complessiva:

i) *Eccentricità semplice* ( $e$ ) ovvero la massima distante di ogni nodo dagli altri nodi della rete. Essa è pari a  $e(v_i) = \max [d(v_i; v_{-i})]$  per  $\forall v_{-i} \in V(G) - \{v_i\}$ .

ii) *Centralità puntuale* ( $C_P$ ) ovvero in che misura un nodo è connesso con i restanti nodi della rete. In questo caso possiamo avvalerci di una *funzione indicatore*  $a(v_i; v_k)$  che assume valore uno laddove i due nodi siano connessi direttamente, valore zero altrimenti. Il grado di centralità puntuale del nodo  $v_i$  sarà dunque pari a  $C_P(v_i) = \sum_{k \neq i} a(v_i; v_k)$

iii) *Centralità relativa* ( $C_R$ ) ovvero il grado di centralità di un punto della rete in rapporto alla dimensione della stessa. In simboli,  $C_r(v_i) = \frac{\sum_{k \neq i} a(v_i; v_k)}{c_V - 1}$ .

Conseguentemente all'utilizzo di uno degli indici suindicati, possiamo identificare un *fulcro di rete* definito come l'insieme di punti tali che

$$F(G) = \{\forall v \in V(G) | e(v) \leq e(v') \text{ per } \forall v \neq v'\} \quad (1)$$

o utilizzando ciascuno dei due indici di centralità come

$$F(G) = \{\forall v \in V(G) | C(v) \geq C(v') \text{ per } \forall v \neq v'\} \quad (2)$$

Abbiamo dunque un'insieme di parametri descrittivi da poter utilizzare nella caratterizzazione di alcune tipologie di reti.

### 3 Alcuni Modelli di Rete

Come abbiamo discusso nel paragrafo precedente, una rete è un grafo connesso i cui nodi rappresentano gli elementi interconnessi e i cui archi indicano un legame diretto (*link*) tra due punti della rete stessa. Immaginiamo, pertanto, che la rete possa connettere  $v$  nodi con  $V = \{1, \dots, v\}$ . Denotiamo il grafo completo, ossia l'insieme dei sottoinsiemi di ordine 2 di  $V$ , con  $g^v$ . L'insieme dei grafi possibili sarà conseguentemente:

$$G = \{g | g \subset g^v\} \quad (3)$$

Indichiamo quindi con  $l_{ij}$  un legame bidirezionale<sup>4</sup> tra il una coppia  $(i, j) \in V$  dove  $l_{ij} \in g$  se i due nodi sono connessi direttamente. La rete  $N(g)$  potrà quindi essere scritta come un insieme di coppie di nodi:

$$N(g) = \{(i; j) \mid l_{ij} \in g\} \text{ per ogni } (i, j) \in V \quad (4)$$

La cardinalità di  $N(g)$  indica l'estensione intesa come numero di punti interconnessi direttamente. Un *sentiero* di rete è ora rappresentabile come un insieme di nodi distinti  $\{i, j, h, k\} \subset N(g)$  tali che  $\{l_{ij}, l_{jh}, l_{hk}\} \subset g$ .

Con finalità tassonomiche, possiamo identificare, utilizzando alcuni dei parametri descrittivi precedentemente introdotti, alcuni modelli di rete, aventi differenti caratterizzazioni e funzionalità. In particolare, è possibile rinvenire almeno cinque tipologie fondamentali di rete tre semplici e due complesse, ovvero composte da sottoreti di natura eterogenea (vedi Figura 4)

(1) *reti stellari (star networks)*: insieme di nodi  $\{i, j, k\} \in N(g)$  connessi a un centro comune (*hub*)  $h$  tali che  $l_{ih}, l_{jh}, l_{kh} \in g$  e  $l_{xy} \notin g$  per  $x, y \neq h$ . Ogni sentiero di rete sarà dunque  $\{x, h, y\} \subset N(g)$  con  $x, y = \{i, j, k\}$ . La densità della rete è pari a  $\frac{2}{c_V - 1} < 1$ .

(2) *reti bilaterali (two sided networks)*: insieme di connessioni tra partizioni di  $V$ ,  $B = \{1, \dots, m\}$  e  $S = \{m + 1, \dots, V\}$  con  $B \cup S = V$  e  $B \cap S = \emptyset$  tali che  $l_{ij} \in g$  se  $i \in B \cup j \in S$  e  $l_{ij} \notin g$  altrimenti. Non vi sarà nessun possibile sentiero di rete essendo i nodi delle due partizioni o non connessi o connessi direttamente. La densità di rete potrà essere variabile.

(3) *reti poliarchiche*: insieme di nodi connessi da un grafo completo. In questi casi  $N(g) = N(g^v)$  e  $l_{ij} \in g$  per qualsiasi  $i, j \in V$ . La densità di rete è pari a 1 e ogni nodi sarà necessariamente adiacente ad ogni altro.

(4) *reti incomplete*: insieme di nodi connessi da un grafo incompleto. Densità di rete, centralità e connettività devono essere specificate caso per caso.

(5) *reti miste* ovvero reti composte da sottoreti di forma stellare, bilaterale, poliarchica o incompleta.

[FIGURA 4]

---

<sup>4</sup>L'ipotesi di bidirezionalità dei flussi è particolarmente adeguata per reti che transitano informazioni. Per un'analisi di reti mono-direzionali si veda Iacobucci (1994).

Ogni struttura reticolare può quindi essere connessa con un altre reti, e dunque formare una rete di reti (*inter-networking*). L'interconnessione reciproca avviene, una volta specificato un *protocollo di trasmissione dati*, o tramite uno o più assi di interconnessione di reti locali che fungono da punti di scissione (*network backbones*) o attraverso una progressiva moltiplicazione di legami paritetici tra nodi appartenenti a reti diverse (*network peering*). La seguente figura esemplifica le due possibilità.

[FIGURA 5]

Ogni rete è infine caratterizzabile come *rete ad accesso riservato* laddove architettonicamente la struttura reticolare escluda un sottoinsieme dei nodi congiungibili, ossia  $c(N(g)) < V = c(N(g^V))$ , o ad *accesso aperto* laddove siano rispettate condizioni di libertà di entrata nel circuito. Seguendo Snow et al. (1992), tra le reti ad accesso riservato è possibile riconoscere: reti *interne* ovvero reti ad accesso riservato interne a un'organizzazione, reti *stabili* collegamenti consolidati tra membri di diverse organizzazioni e reti *dinamiche* come insieme flessibile di connessioni ad accesso riservato tra diverse organizzazioni finalizzato al raggiungimento di specifici obiettivi.

## 4 La Creazione di Reti come Gioco Strategico

Laddove ogni nodo coincida con un individuo potenzialmente connettabile al sistema reticolare di scambio di informazioni ed esista uno standard tecnologico dominante fondato sulla completa compatibilità delle infrastrutture di rete utilizzate dai singoli<sup>5</sup>, la struttura morfologica della rete sarà la risultanza di una serie di decisioni individuali di connessione o di isolamento. Se immaginiamo che ad ogni nodo corrisponda un soggetto che può decidere quanti e quali legami strutturare con altri individui, possiamo interpretare la creazione di una rete come un *gioco strategico*. L'analisi strategica è utilizzata prevalentemente per dare risposta a questioni del tipo: quale struttura reticolare, delle precedentemente esposte, emergerà dall'interazione strategica di individui auto-interessati? Sarà tale modello emergente di rete la scelta collettivamente ottimale o si paleseranno paradossi del tipo *dilemma del prigioniero*?

In quanto segue, saranno brevemente esposti due modelli in grado di dare alcune utili indicazioni sulla struttura ottimale di una rete potenzialmente tracciabile tra  $N$  individui<sup>6</sup>. Riferiremo l'analisi distintamente a:

<sup>5</sup>Non ci addentreremo, in quanto segue, nel tema, peraltro ampiamente esplorato in letteratura, della scelta tra tecnologie compatibili o incompatibili da parte di diversi soggetti produttori di infrastrutture informatiche o applicazioni utilizzate all'interno di una rete. In merito si rimanda, tra i tanti, a Shy (2001), Baake e Boome (2001), De Palma e Leruth (1996), Bental e Spiegel (1995) e Farrell e Saloner (1992).

<sup>6</sup>Altri modelli formali simili a quelli qui discussi sono Watts (2001), Bala e Joyal (2000) e Currarini e Morelli (2000).

- la scelta della struttura di rete ottimale nel caso in cui i nodi connettabili appartengano a due partizioni distinte (*reti bilaterali*) di nodi connettabili. Reti tra venditori e acquirenti di informazioni sono l'esempio più semplice a cui riferirsi.
- la scelta della struttura di rete ottimale laddove i nodi non siano chiaramente partizionabili e dunque ogni soggetto possa liberamente connettersi con qualunque altro (*reti multilaterali*). Reti di scambio *PTP* (*peer-to-peer*) di informazioni possono dunque essere il nostro riferimento pratico.

## 4.1 Reti Bilaterali

Consideriamo il caso in cui un'informazione possa essere scambiata tra due partizioni di nodi facenti capo rispettivamente a produttori e fruitori. Si immagini che un insieme di soggetti fruitori  $B$  debba decidere con quali soggetti produttori connettersi tra un insieme di questi indicato con  $S$ . Supponiamo che  $c(S) < c(B)$ , ovvero che ogni soggetto produttore possa scambiare la stessa unità di informazione al tempo  $t$  con più fruitori. Questa ipotesi consente di dare conto di come la produzione di un'informazione rilevante sia costosa e di come sia desiderabile la condivisione della medesima informazione replicata tra più fruitori (*economie di condivisione- economies of sharing*).

Adattando quanto contenuto in Kranton e Minehart (2001), prendiamo un numero di produttori fissato esogenamente e ipotizziamo che un dato insieme di fruitori debba decidere quali connessioni instaurare con questi al fine di ottenere un'unità di informazione rilevante. Ogni soggetto appartenente a  $B$  sceglie in modo non cooperativo quali legami reticolari strutturare posto un costo di un legame pari a  $c$ . Il gioco di formazione di rete (*Network Formation Game*) è immaginato a due stadi: nella prima fase del gioco ogni soggetto  $i \in B$  sceglie un insieme di legami bilaterali  $L_i$  che congiuntamente a quelli degli altri soggetti definiscono un grafo  $g \equiv (L_i; L_{-i})$  per ogni  $i \in B$ . La struttura reticolare conferisce un'utilità a ogni soggetto ridotta del prezzo pagato per l'informazione rilevante. Una volta costituita la rete ogni soggetto fruitore sarà dunque in competizione con gli altri per l'ottenimento dell'informazione. Il secondo stadio del gioco modella quindi tale competizione come un'asta alla Vickrey sul prezzo. Ogni fruitore può partecipare all'asta relativa alle informazioni possedute da un produttore con il quale è connesso. L'utilità netta ottenuta da un fruitore dalla rete  $u_i = v_i(g) - c|L_i|$  in cui  $v_i(g)$  dipende dalle condizioni di ottenimento delle informazioni rilevanti e  $c|L_i|$  sono i costi di interconnessione. In questo contesto, una struttura di rete bilaterale  $g^*$  è un equilibrio di Nash in strategie pure se e solo se per ogni  $i \in B$  è vero che

$$L_i^* = \arg \max_{L_i} v_i(L_i; L_{-i}^*) - c|L_i| \quad (5)$$

con  $v_i$  crescente al crescere del numero di legami individuali e decrescente, data la competizione tra fruitori per l'ottenimento dell'informazione, all'aumentare del numero di legami altrui.

Il benessere sociale relativo a una data struttura reticolare è dunque pari a

$$W(g) = H(g) - \sum_{i \in B} c|L_i| \quad (6)$$

dove  $H(g)$  indica il beneficio collettivo associato alla rete  $g$ . Dotandosi di un concetto di efficienza di una rete declinato in base alla sua utilità collettiva (i.e.  $W$ )<sup>7</sup> è dunque possibile mostrare la seguente:

*Proposizione 1: (Kranton e Minehart (2001)) Ogni rete efficiente è un equilibrio di Nash in strategie pure.*

*Traccia della dimostrazione della Proposizione 1:*

Sia  $g^0 = \{L_1^0, \dots, L_{c(B)}^0\}$  la configurazione di rete efficiente. Tale rete è un equilibrio di Nash laddove nessun fruitore abbia incentivo a modificare uno o più legami con alcuni fruitori ovvero a creare una struttura di rete alternativa  $g'$ . Si immagini che la rete  $g' = \{\emptyset, L_{-i}^0\}$  corrisponda al caso in cui il soggetto i-esimo recide ogni legame con altri. Dal momento che  $g^0$  massimizza il benessere sociale sarà vero che:

$$L_i^0 = \arg \max_{L_i} \left( W(g) - W(g') \right) \quad (7)$$

Lo stesso dicasi per ogni altro soggetto. La rete efficiente è quindi un equilibrio di Nash ■

Scelte individualmente razionali massimizzano dunque il benessere sociale e non si presentano paradossi del tipo dilemma del prigioniero. Precise indicazioni sulla struttura della rete efficiente si possono ottenere introducendo il concetto di *Rete minima allocativamente completa (Least-Link Allocatively Complete Network- LACN)*. Una rete è allocativamente completa laddove ogni soggetto fruitore ottenga un'unità dell'informazione rilevante; laddove la struttura reticolare realizza tale risultato con il numero minimale di connessioni, essa si dice una rete minima allocativamente completa. In questo caso,

<sup>7</sup>Possiamo considerare una rete  $G$  efficiente se e solo se  $W(G) \geq W(\hat{G})$  per ogni  $\hat{G} \neq G$ .

*Proposizione 2: (Kranton e Minehart (2001)) Dato un insieme di produttori  $S$  e di fruitori  $B$ , se ogni produttore è connesso con  $c(B)-c(S)+1$  soggetti fruitori allora la struttura di rete corrispondente sarà Minima e Allocativamente Completa.*

*Traccia della dimostrazione della Proposizione 2:*

La dimostrazione si avvale di un risultato proprio della teoria del calcolo combinatorio. Il Teorema del Matrimonio (Bose e Manvel (1984)) permette infatti di definire di una rete LAC come una rete in cui ogni sottoinsieme  $k$  di fruitori è connesso ad almeno  $k$  produttori per  $1 \leq k \leq c(S)$ . Per mostrare la proposizione basta mostrare come un insieme di legami pari a  $c(B) - c(S) + 1$  per ogni produttore sia condizione sufficiente per avere una rete minima allocativamente completa. A tal scopo, si costruisca una rete in cui  $c(S)$  fruitori sono connessi a  $c(S)$  produttori tramite esattamente un legame. I restanti fruitori sono connessi a ogni produttore. E' immediato verificare come tale rete soddisfi le condizioni per la validità del Teorema del Matrimonio e si costituisca da esattamente  $c(B) - c(S) + 1$  legami per ogni produttore ■

La seguente figura mostra, a titolo illustrativo, alcune possibili reti bilaterali allocativamente complete e minime.

[FIG. 6]

## 4.2 Reti Multilaterali

Jackson e Wolinsky (1996) analizzano la formazione di reti multilaterali utilizzando un gioco cooperativo tra  $N$  soggetti che possono connettersi reciprocamente per scambiare informazioni. I giocatori possono comunicare e coordinare le loro decisioni verso il modello di rete più efficiente, rendendo l'interazione strategica di tipo cooperativo. L'idea di efficienza della struttura reticolare è, in questo contesto, declinata in base al *valore* associato alla rete stessa dall'insieme di soggetti che la compongono. Dato un grafo di rete  $g \in G$ , il valore dello stesso è quindi determinato da una funzione  $v = \sum_{i \in N} u_i(g)$  dove  $u_i : g \rightarrow R$ . Coerentemente, una rete è detta *efficiente in senso forte* laddove  $v(g) \geq v(g')$  per ogni  $g' \neq g$ .

Se si ipotizza che il valore di flussi informativi provenienti da altri nodi sia dipendente dalla tempestività della ricezione di informazioni rilevanti, è possibile definire l'utilità di un soggetto facente parte della rete come:

$$u_i = \sum_{j \neq i} \delta^{t_{ij}} w_{ij} - \sum_{j: i_j \in g} c_{ij} \quad (8)$$

dove  $w_{ij}$  denota il valore intrinseco per il soggetto  $i$ -esimo di un legame con il soggetto  $j$ -esimo,  $c_{ij}$  il costo di tale legame,  $t$  il numero di legami sul sentiero più breve tra i due soggetti e  $\delta \in [0; 1]$  è un parametro in grado di catturare l'idea per cui il valore di una connessione è proporzionale al grado di prossimità dei nodi connessi ( $\delta = 1$  connessione diretta,  $\delta = 0$  assenza di connessione). Connessioni dirette sono preferite a connessioni mediate da lunghi sentieri di rete, tuttavia la costituzione di un legame diretto comporta un costo ( $c$ ).

In caso di completa simmetria tra i diversi nodi/soggetti connettabili e di assenza di trasferimenti compensativi tra questi, confrontando tre alternative i) reti stellari, ii) reti poliarchiche e iii) nessun legame (no rete) è possibile mostrare come:

*Proposizione 3 (Jackson e Wolinsky (1996)):* La struttura di rete efficiente in senso forte è:

- (i) una rete poliarchica laddove  $c < \underline{c}$
  - (ii) una rete stellare per  $\underline{c} < c < \bar{c}$
  - (iii) nessun legame se  $c > \bar{c}$
- dove  $c$  è il costo di un legame e  $\bar{c} = \delta + \left(\frac{N-2}{2}\right) \delta^2$ ,  $\underline{c} = \delta - \delta^2$ .

*Traccia della dimostrazione della Proposizione 3:*

La dimostrazione procede esaminando in successione i tre casi. Per il caso (i): se  $\delta^2 < \delta - c$  ogni coppia di agenti non direttamente connessi aumenta le proprie utilità creando un legame. Il valore della rete sarà dunque massimo e una rete poliarchica sarà sempre l'alternativa efficiente.

Nei casi (ii) e (iii) si consideri una porzione di rete  $g'$  composta da  $m$  individui con  $k \geq m - 1$  legami diretti. Il valore massimo della rete è ora pari a:

$$k(2\delta - 2c) + (m(m - 1) - 2k)\delta^2 \quad (9)$$

nel caso di rete poliarchica, mentre è pari a:

$$(m - 1)(2\delta - 2c) + (m - 1)(m - 2)\delta^2 \quad (10)$$

nel caso di rete stellare. Sottraendo (10) da (9) otteniamo:

$$(k - (m - 1))(2\delta - 2c - 2\delta^2) \quad (11)$$

che è al massimo pari a zero se  $k \geq m - 1$  e  $c > \delta - \delta^2$  e minore di zero se  $k > m - 1$ . Anche laddove  $k = m - 1$  non è quindi possibile realizzare alcun

aumento del valore della rete rispetto al caso di rete stellare. Questo mostra l'efficienza forte di una rete stellare laddove  $c > \underline{c}$ . Infine, nel caso in cui  $c > \bar{c}$  è possibile determinare come il valore complessivo sia di una rete stellare che di una rete poliarchica siano negativi. In quest'ultimo caso, la scelta ottimale è non costituire alcuna struttura reticolare ■

La Proposizione 3 suggerisce come tanto più sia ritenuta cruciale una connessione diretta, tanto più elevata sarà la soglia inferiore di costo  $\underline{c}$  e dunque la possibile insorgenza di una rete poliarchica. Questa tuttavia sarà una rete efficiente solo laddove il costo di ogni legame sia sufficientemente ridotto. Al crescere dei costi di connessione, al fine di massimizzare il valore della rete, sarà via via preferibile una struttura stellare sino alla mancata costituzione della rete stessa.

Sempre la costosità dei legami determina, quindi, la *stabilità bilaterale della rete* ovvero l'assenza di incentivi individuali a disconnettere un particolare legame: in corrispondenza di  $c < \underline{c}$  una rete poliarchica sarà oltre che efficiente, stabile bilateralmente; lo stesso dicasi per una rete stellare nel caso in cui  $\underline{c} < c < \hat{c} (< \bar{c})$ .

## 5 La Gestione della Rete: 1) Effetto Rete e Congestione

Un prerequisito tecnologico fondamentale al funzionamento di una rete come sistema di interscambio di informazioni e servizi, è, come detto, un alto grado di compatibilità tra le tecnologie di supporto e i protocolli di trasmissione dati utilizzati dai componenti della rete stessa. Tale compatibilità permette di suddividere tra le parti i costi fissi infrastrutturali, di dare vita a un processo continuo di scambio di *know how* e informazioni, nonché di aumentare le occasioni di esplorazione e riorganizzazione creativa delle attività (di consumo o produzione) individuali. Katz e Shapiro (1985) e Economides (1996a), (1996b) mostrano come l'esistenza di rilevanti *esternalità positive di rete* spinge generalmente i soggetti a preferire la partecipazione a una rete di ampie dimensioni piuttosto che a una struttura reticolare dimensionalmente minore. La compatibilità/incompatibilità tecnologica diviene dunque sia mezzo per attrarre un numero sempre maggiore di utilizzatori della rete, sia uno strumento in grado di separare nettamente diverse strutture reticolari. Le esternalità di rete sono imputabili a una serie di effetti spesso grossolanamente non distinti:

- un *effetto moltiplicazione dei legami* per cui tanto più elevato è il numero dei partecipanti alla rete tanto più il valore della stessa sarà collettivamente maggiore delle utilità dei membri della stessa. Un maggior numero di legami reticolari genera infatti la moltiplicazione delle possibilità di interscambio di informazioni e contenuti a basso costo. In strutture di rete

poliarchiche, un nodo addizionale consente al singolo membro della rete di allacciare un solo nuovo legame, ma permette alla comunità di rete di accrescere il numero di legami proporzionalmente alla propria numerosità. Si immagini, a titolo di esempio, una rete con  $c(N) = m$ . Ad ogni nodo corrisponde un soggetto che scambia con altri informazioni digitalizzate. Ogni legame reticolare comporta un flusso bidirezionale di informazioni di valore omogeneo che conferisce ai singoli utilità normalizzata a uno. In questo caso,  $u_i = l_{i-i} = m - 1$  per  $i = 1, \dots, m$ . Il numero totale di legami è pari a  $L = m(m - 1)$  e misura il valore collettivo della rete definito come somma delle utilità individuali  $W = \sum_i u_i = 2L = m^2 - m$ . Al crescere di  $m$ , l'aumento del valore della rete è maggiore dell'incremento delle singole utilità individuali. L'adesione individuale al circuito conferisce coerentemente al singolo un beneficio individuale minore del beneficio sociale e questo è tratto distintivo di ogni esternalità positiva.

- un *effetto varietà* per cui un aumento del numero dei nodi connessi generalmente causa una maggior varietà di informazioni o contenuti disponibili. Ancora a titolo di esempio si immaginino due tipologie di informazioni o contenuti presenti all'interno di una struttura a rete rispettivamente in  $n$  e  $m$  varietà. Le possibili varietà composte sono  $mn$ . Un aumento del numero dei soggetti connessi alla rete non solo indurrà un aumento delle singole varietà, dato l'apporto personale di informazioni e contenuti resi disponibili, ma un allargamento del numero di varietà composte.
- un *effetto competitivo* imputabile a una crescente partecipazione alla struttura reticolare. La moltiplicazione di soggetti specializzati nell'erogazione di servizi a rete (*Service Provider- SP*) in grado di produrre maggiore concorrenzialità nella vendita di servizi e aumentare il benessere sociale.
- un *effetto innovazione* per il quale tanto maggiore è la dimensione della rete tanto maggiori sono le spinte sinergiche e le capacità innovative dei suoi membri. Al crescere della dimensione della rete aumenta il numero di servizi complementari di rete e dunque la convenienza dell'utilizzo della stessa (cfr. Chou e Shy (1990))

Questi elementi danno origine a un *effetto di rete* (*network effect*) (Liebowitz e Margolis (1994)) per cui il valore netto di un'azione (nel nostro caso l'utilizzo di una rete) dipende dal numero di soggetti compatibili che intraprendono l'azione stessa. Economides e Himmelberg (1995) hanno quindi mostrato come tale effetto rete implichi una domanda di connessione inizialmente crescente e quindi

decescente rispetto al numero di soggetti già connessi. Se, infatti, definiamo l'utilità che un soggetto può trarre dal connettersi a un rete come:

$$u_i = n(1 - x) - p \quad (12)$$

dove  $n \in [0; 1]$  è la percentuale degli  $N$  soggetti che formano la collettività già connessi alla rete,  $x \in [0; 1]$  la preferenza individuale per la connessione ( $x = 0$  molto preferito;  $x = 1$  poco preferito) che determina la propensione del soggetto a pagare per la partecipazione alla rete e  $p$  il prezzo di accesso alla rete stessa, possiamo determinare le condizioni per cui un soggetto sia indifferente tra connettersi o meno. L'utente indifferente è identificato dalla seguente espressione:

$$n(1 - x^*) - p = 0 \quad (13)$$

Poichè tutti gli utenti con una disponibilità a pagare maggiore di  $(1 - x^*)$  saranno sicuramente connessi, sarà vero che  $n = x^*$ . La domanda di connessione è pertanto pari a:

$$p = n(1 - n) \quad (14)$$

funzione strettamente concava in  $n$ . Più infatti si prevede una rete ampia, maggiore sarà l'interesse a parteciparvi a meno che questa non diventi di dimensioni troppo elevate per la sua *capacità tecnologica* (da qui in poi  $C(N)$ ) da renderla difficilmente gestibile e utilizzabile con agilità. La possibile insorgenza di *esternalità negative di congestione* (Mayeres e Proost (1997)) legate a un eccessivo traffico reticolare che riduce la convenienza di utilizzare la rete stessa, può significativamente ridurre esternalità di rete positive riducendo il prezzo di accesso in corrispondenza del quale un utente addizionale sarà disposto a connettersi al circuito.

Si immagini,avvalendosi della Figura 7,  $C(N) = \frac{1}{2}$ , ovvero che la capacità di rete sia tale da assicurare flussi non congestionati di dati tra il numero di utilizzatori che rende massimo il prezzo dell'ultima unità di rete occupata ( $p^*$ ). Un utilizzatore addizionale causa congestione e l'effetto di questa è quello di ridurre il prezzo che il soggetto è disposto a pagare per avere accesso alla rete. Laddove la dimensione della rete sia molto elevata tale prezzo potrebbe diventare nullo (punto A) o addirittura negativo.

[FIGURA 7]

In presenza di una domanda di interconnessione data dall'espressione (14) è quindi frequente l'esistenza di equilibri multipli. Sempre a fini illustrativi, si immagini che l'offerta di connessioni sia una funzione infinitamente elastica in corrispondenza di un prezzo  $p^*$ <sup>8</sup>. La figura 8 mostra i due equilibri rispettivamente indicati con  $E_1$  e  $E_2$  in corrispondenza dei quali il numero dei soggetti interconnessi è rispettivamente pari a  $n_1$  e  $n_2$ .

[FIGURA 8]

Laddove  $n < n_1$ , il prezzo di riserva dell'utente marginale è minore del prezzo di offerta. Questi coerentemente deciderà di non interconnettersi. Lo stesso dicasi per ogni utente marginale che valuti la possibile interconnessione a una struttura di rete con un numero di soggetti interconnessi minore di  $n_1$ . Laddove, per contro,  $n > n_1$  il prezzo di riserva di ogni utente marginale è maggiore di  $p^*$  sino a un numero di utenti interconnessi pari a  $n_2$ . Il primo equilibrio è dunque instabile e rappresenta la *massa critica di utenti* che rende appetibile la rete. Se il numero di utenti è minore di questa soglia, la rete collassa. Se è maggiore, la rete raggiunge le dimensioni corrispondenti all'equilibrio stabile  $E_2$ .

Come intuibile, la massa critica di utilizzatori è codeterminata dalla capacità di rete e dunque dalla possibilità di congestione. Reti facilmente congestionabili hanno solitamente ridotte masse critiche di utenti e effetti di rete ragionevolmente contenuti.

Church e Gandal (1993) suggeriscono, al fine di tener in considerazione il problema della congestione di rete nella determinazione della domanda di interconnessione, di attribuire a una rete  $N(g)$  una funzione di beneficio per ogni utilizzatore (*network benefit function*) data da:

$$Z_j(N) = \left\{ \begin{array}{ll} \left( \sum_j x_j^{1/\beta} \right)^{\kappa\beta} & \text{se } \sum_j x_j \leq C(N) \\ \left( x_j^{1/\beta} - \sum_{k \neq j} x_k^{1/\beta} \right)^{\kappa\beta} & \text{se } \sum_j x_j > C(N) \end{array} \right\} \quad (15)$$

dove  $C(N)$  è la capacità di transito della rete,  $\beta > 1$  e  $\kappa = \{0, 1\}$  con  $\kappa = 0$  nel caso di non connessione e  $\kappa = 1$  nel caso opposto. Secondo l'espressione (15), i benefici ottenibili dall'adesione alla rete aumentano tanto maggiore è il numero di soggetti coinvolti e tanto maggiore è il loro utilizzo della rete stessa in assenza di congestione  $\left( \sum_j x_j \leq C(N) \right)$ . Laddove si giunga a una struttura a rete congestionata, ulteriori aumenti dei nodi connessi e dell'utilizzo da parte di altri soggetti della rete ridurrebbero i benefici individuali, sempre proporzionali all'uso, dunque la domanda di connessione.

<sup>8</sup>Questa ipotesi è senza dubbio piuttosto realistica laddove la capacità tecnologica della rete sia sufficientemente ampia da escludere fenomeni di congestione. In questo caso, il tratto decrescente della funzione di domanda può essere giustificato dalla vendita di interconnessione a consumatori con prezzi di riserva progressivamente minori.

Possiamo dunque concludere come l'effetto rete spinga verso la costituzione di strutture reticolari di ampie dimensioni (anche dette ad ampia base installata di utenti). Tali dinamiche concentrative potranno tuttavia essere anche significativamente frenate dall'insorgenza di esternalità di congestione. E' tuttavia possibile creare le condizioni per cui una rete non sia permanentemente congestionata ? A questo tema è dedicato il prossimo paragrafo.

## 6 La Gestione della Rete: 2) Prezzi di Utilizzo e Meccanismi anti-Congestione

In presenza di effetti di rete, la richiesta di prezzo di utilizzo della rete può causare una dimensione sub-ottimale della rete stessa rispetto a quella collettivamente efficiente, visto che ogni singolo operatore avrà un beneficio marginale privato minore del beneficio marginale sociale. Al fine di consentire che la rete raggiunga la massa critica di utenti è quindi naturale imporre un prezzo di utilizzo nullo o pari a un emolumento fisso (*prezzi di penetrazione*). Una volta sostenuti i costi fissi per l'infrastruttura il costo marginale di un utente addizionale è nullo e quindi efficienza economica suggerisce la fissazione di un prezzo pari a zero o al massimo la richiesta di un esiguo contributo fisso alle spese infrastrutturali.

Separare tuttavia il prezzo corrisposto da quanto e come l'utente utilizza la struttura reticolare espone al rischio di sovra-utilizzo e dunque di congestione della rete. La domanda diviene infinitamente elastica in corrispondenza di un prezzo pari a zero e ciò spinge i singoli utilizzatori ad aumentare le richieste di transito sino alla soglia massima di capacità. Tale effetto è rilevato sperimentalmente da Altmann et al. (2001): il pagamento di un emolumento fisso piuttosto che di una tariffa parametrizzata all'uso dilata sia il tempo di connessione sia la quantità di bytes veicolati dagli utenti di una struttura reticolare.

Reti con un quantitativo di bytes transitati in un dato istante di tempo vicino alla capacità di rete richiedono dunque sia la definizione di prezzi parametrizzati all'effettivo utilizzo dell'infrastruttura reticolare da parte dei propri membri, sia la previsione di meccanismi automatici in grado di gestire periodi di traffico eccessivo.

Possiamo distinguere tre elementi componenti del prezzo di accesso di una rete<sup>9</sup>:

- un prezzo di interconnessione del browser dell'utente alla rete (*interconnection fee*)
- un prezzo di utilizzo (*usage fee*) della stessa

---

<sup>9</sup>Ignoreremo in quanto segue i problemi relativi alla cd *content delivery*. In merito si vedano Liver e Dermier (2000).

- un prezzo per la capacità richiesta da ogni partecipante (*bandwidth set up fee*).

Deteminati servizi offerti in rete implicheranno un maggior transito di informazioni e dati, richiedendo un maggior capacità del circuito e un lungo utilizzo della rete (ad es. consultazione banche dati, organizzazione di eventi o conferenze on line ecc...); altri scambi di informazioni necessiteranno, al contrario, di poca capacità e utilizzo limitato della rete (surfing, e-mail ecc...). In generale, se è necessaria una qualche discriminazione di prezzo basata sulle caratteristiche delle attività svolte in rete dai diversi soggetti connessi, questa potrà realizzarsi tramite diverse combinazioni delle tre componenti suindicate. Nello specifico, una tariffa a due parti che preveda il pagamento di una quota fissa di accesso e di una quota variabile legata all'utilizzo concreto della rete (*traffico*) sembra ridurre fortemente fenomeni di sovra-utilizzo. Se la quota fissa è determinata sulla base della capacità di rete (*bandwidth*) richiesta, ovvero sulla base del massimo tasso di flusso di byte (*flow-rate*) garantito, la quota variabile può essere collegata ai tempi di connessione attiva all'interno del circuito (*usage based pricing*), alla priorità accordata alla connessione dell'utente e alle garanzie di consegna entro tempi previsti dei flussi informativi (*differentiated services pricing*) o al volume di dati transitato sulla rete (*volume based pricing*).

In ognuno di questi casi, seguendo Wilson (1993), l'applicazione di una tariffa a due parti permette: (i) di discriminare tra i diversi utenti, facendo pagare una tariffa media via via decrescente data la distribuzione su quantità maggiori di transito della quota fissa, (ii) di rispettare condizioni di efficienza allocativa legate all'applicazione della regola del *marginal cost pricing*, infine, (iii) di contenere la congestione di rete scremando quegli utilizzatori con bassi prezzi di riserva.

Piuttosto naturalmente, la fissazione di un prezzo di utilizzo più o meno elevato avrà, perlomeno nel medio termine, effetti sulla domanda di interconnessione e dunque sul traffico reticolare. La possibilità di esternalità di congestione costringe il gestore della rete a valutare attentamente gli effetti di un elevato prezzo di utilizzo sulla domanda complessiva di connessione al circuito. Due sono infatti le vie attraverso le quali tale prezzo influisce sulle scelte dei potenziali utenti: in primo luogo attraverso effetti diretti sulla domanda di connessione, in secondo luogo attraverso le variazioni indotte indirettamente nel livello di congestione che vanno a modificare i costi di utilizzo e nuovamente la domanda di connessione. Aumenti del prezzo di utilizzo ridurrebbero infatti, in un primo momento, la domanda di connessione, diminuendo la congestione della rete e l'impatto sui costi di utilizzo di esternalità negative. Un elevato prezzo di utilizzo tuttavia ha come effetto di secondo ordine quello di indurre aumenti nella domanda di traffico reticolare, data l'osservazione di come l'uso della rete sia particolarmente efficiente e veloce, e quindi della congestione stessa. De Borger (1997) mostra come se tale effetto di feedback è particolarmente intenso la fissazione di prezzi vicini ai costi marginali è la scelta paretianamente ottimale. Se, per contro, tale effetto è ridotto e la congestione difficilmente realizzabile,

allora il prezzo di utilizzo può allontanarsi dal costo marginale.

Anche una volta strutturato un sistema di prezzi che sia parametrizzato all'uso effettivo della rete possono ugualmente presentarsi problemi di traffico eccessivo. La nota spirale tra informazioni disponibili e nuovi bisogni comunicativi (Gambaro e Ricciardi (1997)) può infatti congestionare anche strutture reticolari abilmente strutturate e opportunamente dimensionate. Numerosi sono stati i tentativi di identificare meccanismi automatici e facilmente implementabili che gestiscano in modo efficiente il traffico reticolare in presenza di congestione. Possiamo, senza pretesa di esaustività, menzionarne tre<sup>10</sup>:

1. *Asta alla Vickrey nei prezzi di utilizzo* tramite la quale ordinare i transiti in momenti di congestione sulla base del livello di priorità richiesto dall'utente rivelato dalla sua disponibilità a pagare per ogni pacchetto di dati scambiato sulla rete (MacKie-Mason e Varian (1993)). L'asta alla Vickrey, oltre a essere, come noto, un meccanismo compatibile negli incentivi di rivelazione delle preferenze individuali, assicurerebbe la gestione economicamente efficiente della rete in momenti di alta congestione assegnando banda a quegli utenti che maggiormente valutano il transito sulla rete in quell'istante. Essa tuttavia presenta almeno due problemi fondamentali: i) gli elevati costi di transazione necessari per gestire un sistema coordinato di offerte tra una molteplicità di utenti; ii) la difficoltà, data l'unidimensionalità del meccanismo d'asta, di determinare un prezzo di equilibrio (*clearing price*) che assicuri il pieno utilizzo delle risorse di rete. Alcuni contributi (ad es. Lazar e Semret (1997), MacKie-Mason et al. (1999)) hanno, proprio per far fronte al problema appena menzionato, cercato di ampliare tale meccanismo d'asta in un'ottica bidimensionale (prezzo e quantità) che consenta di stabilire l'allocazione di precise quote di capacità di rete sulla base del prezzo offerto per una data quantità di dati transitati su di essa.
2. *Tariffazione Dinamica per Volumi (Dynamic Volume Pricing Model)*. In questo caso il gestore della rete fissa un prezzo di equilibrio per i transiti reticolari in un dato istante di tempo ( $b^t$ ); il prezzo di utilizzo della rete è determinato da tale prezzo e da un fattore di traffico ( $T$ ) parametrizzato al rapporto tra domanda aggregata di connessioni al tempo  $t$  ( $X_t^d$ ), ovvero

$$p^t = b^t T (X_t^d / C) \quad (16)$$

con  $\frac{\partial T}{\partial X_t^d} > 0$  e  $\frac{\partial T}{\partial C} < 0$ . Laddove il traffico atteso sia minore della capacità della rete  $p^t \leq b^t$  al fine di incentivare la domanda, nel caso opposto  $p^t > b^t$  con un valore tale da assicurare il pieno utilizzo della rete e assenza di congestione.

---

<sup>10</sup>Per una rassegna dettagliata sui meccanismi economici per la gestione di congestioni reticolari si veda Fankhauser et al. (1999).

3. *Tariffazione per Profili (Differentiated Services Pricing Model)*. La coesistenza di diverse tipologie di servizi, ad alta o bassa qualità, consente di discriminare tra diversi profili di traffico conferendo in periodi di congestione un diritto prioritario di transito ad alcune classi di utenti a scapito di altre. Gupta, Stahl e Whiston (1994) elaborano un algoritmo in grado di collegare il prezzo di utilizzo della rete con il grado di priorità accordato alla tipologia di servizio offerto all'utente. Esso dipenderà positivamente dalla classe di priorità e dalla garanzia di consegna entro tempi determinati, dal tasso di arrivo di dati in quel punto della rete e dal costo che l'utente assegna ad eventuali perdite. In caso di congestione, il prezzo per i servizi ad elevata priorità e garanzia aumenta e i servizi di qualità ridotti sono sospesi o messi in coda.

Tutti i meccanismi suindicati presentano, infine, un limite comune: funzionano in modo indistinto innanzi a flussi informativi di mole ridotta o flussi di dimensioni elevate. La necessità di monitorare attentamente i flussi di bytes di ampia dimensione, causa principale di periodi di congestione, può invece richiedere l'elaborazione di *meccanismi di tariffazione differenziata* per cui a diverse tipologie di traffico corrispondono differenti modalità di fissazione del prezzo di utilizzo. Il tema tuttavia è per ora inesplorato<sup>11</sup>.

## 7 La Concorrenza tra Reti

La pervasiva introduzione di reti all'interno dei processi di creazione di valore o di scambio di informazioni ha indotto la nascita di imprese specializzate nell'erogazione di servizi di accesso, transito e vendita di informazioni (*content delivery*). Tali imprese si collocano logicamente su differenti livelli gerarchici se la struttura reticolare riproduce la morfologia della principale rete esistente: l'*Internet Pubblica*<sup>12</sup>. In quanto segue, saranno presentati e discussi i principali contributi forniti dall'analisi economica relativamente a come avvenga la competizione tra diverse imprese che compongono una rete aperta e a più livelli gerarchici, offrendo servizi di transito reticolare.

Seguendo il modello offerto da Internet, possiamo distinguere almeno tre categorie di *network service provider*:

---

<sup>11</sup>Un primo tentativo in questa direzione è contenuto in Lanzi (2001).

<sup>12</sup>Per una discussione sulle dimensioni e l'utilizzo dell'Internet pubblica rispetto altre strutture reticolari di veda Odlyzko (2000). Per una descrizione, più articolata di quella qui esposta, di quali siano i soggetti economici coinvolti nell'erogazione di servizi Internet e delle relative strutture di mercato si rinvia a Cambini e Valletti (2001). Una semplice, ma giustamente famosa, discussione delle caratteristiche economiche di Internet è contenuta in MacKie-Mason e Varian (1994), mentre una panoramica sui primi risultati ottenuti dalle discipline economiche sul mondo di Internet si veda McKnight e Bailey (1994).

- *Service Backbone (SB)* ovvero provider transcontinentali in grado, tramite dorsali o legami a lunga distanza, di transitare a lungo raggio ampi pacchetti di informazioni o dati
- *Service Provider (SP)* di dimensione regionale in grado di connettere diverse reti locali e assicurarne l'integrazione
- *Reti di Accesso locale (Local Access Network-LAN)* ovvero reti localizzate su scala territoriale a cui si connettono direttamente gli utenti finali per scambiare informazioni e/o acquisire dati

La collocazione dei provider su distinti livelli gerarchici crea una naturale segmentazione verticale dei mercati. Sarà dunque naturale attendersi un'accesa competizione tra SB per attrarre la domanda di SP, concorrenza tra SP per attrarre la domanda di utenti finali o reti di accesso locale. Chiamiamo, quindi, *Access Provider (AP)* imprese che offrono connessione tra diverse reti locali, verticalmente intergrate con una o più di queste.

In quel che segue tenteremo di comprendere come avvenga il gioco competitivo tra service backbone e access provider. A tal proposito, è necessario distinguere tra due modalità fondamentali di interconnessione tra diversi gestori di reti:

- *l'acquisto di transito* da altri SPs a un dato rapporto prezzo-qualità
- la conclusione di accordi di *peering* sia a livello locale (*local secondary peering*) sia per traffici a lunga distanza (*band wagon rolling*), per lo scambio bilaterale a prezzo nullo di flussi di byte.

## 7.1 Costi e Ricavi di un Network Provider

Possiamo identificare almeno tre tipologie di costi sostenuti da un gestore di rete. Come si noterà, esse corrispondono ai tre prezzi menzionati nella sezione precedente.

- 1 Costi comuni legati alla creazione delle  $n$  porzioni di rete e funzione della loro capacità di transito  $\left(\sum_{n \in N(g)} I(k_n)\right)$  dove  $k_n$  indica la capacità del tratto di rete n-esimo
- 2 Costi fissi di interconnessione dell'utente alla rete ( $F$ )
- 3 Costi marginali di transito ( $c$ ) che supporremo costanti

La struttura di costi di un AP e di un SB che connette  $P$  utenti propri, ovvero che eroga unicamente servizi *on-net*<sup>13</sup> potrà dunque essere espressa, in forma lineare, come segue:

$$CT^i = c \sum_{p=1}^P q_p^i + \sum_{n \in N(q)} I(k_n) + \sum_{p=1}^P F_p \quad (17)$$

dove  $q_p^i$  è la domanda di transito rivolta al provider  $i$ -esimo. Laddove un AP o un SB debbano connettere un nodo della propria rete con uno o più nodi appartenenti a reti gestite da altri provider (*servizi off-net*) si pone il problema dell'accesso a reti rivali paritetiche, ovvero collocate allo stesso livello gerarchico, o strutturalmente sovra-ordinate. In questi casi, al costo di un transito si somma il *prezzo di accesso* ( $a$ ) richiesto dal rivale per ogni unità di transito concessa sulla propria rete. Solitamente tale prezzo corrisponde ai costi (opportunità e non) sostenuti dall'impresa rivale per transitare a un proprio utente il flusso informativo ricevuto dall'esterno. Esso sarà dipendente dalla capacità di rete messa a disposizione dell'impresa concorrente per terminare servizi off-net altrui.

Ogni AP o SB per poter essere sufficientemente competitivo deve possedere una quantità sufficientemente elevata di utenti connessi alla propria rete (*base installata- installed base*). Questo assicura ad ogni nuovo utilizzatore benefici connessi a effetti di rete sufficientemente elevati. E' dunque naturale attendersi che il primo obiettivo di un provider sia la costituzione di una base installata di utenti sufficientemente ampia e che dunque esso adotti politiche volte a sottrarre con offerte particolarmente convenienti utenti a imprese rivali (*attached consumer competition*). Non infrequente per imprese appena entrate nel mercato è quindi l'utilizzo di politiche di *bundling* con servizi diversi offerti della stessa impresa o da imprese sempre afferenti al settore dell'ICT o l'offerta a potenziali utenti di connessione a prezzi inferiori ai costi marginali per il periodo di start-up (Gans e King (2001)). Una volta infatti sostenuto l'investimento iniziale in capacità la concessione di transito a prezzo nullo o minore dei costi marginali permette di attrarre consumatori, crearsi la base installata di utenti senza sostenere alcun costo legato al loro utilizzo dell'infrastruttura. Il costo marginale  $c$  sarà poi ragionevolmente vicino a zero sino al raggiungimento di un numero critico di utenti il cui utilizzo della rete appare in grado di esaurirne la capacità. Solo una volta raggiunta tale massa critica di utilizzatori, ogni transito addizionale comporterà un costo marginale non nullo per il SP. Il suo valore sarà determinato da una componente di *opportunità*, ovvero potenziale profitto ottenibile dalla concessione di transito a un utente alternativo, e da una componente di *gestione traffico* ovvero monitoraggio e selezione dei flussi di byte al fine di ridurre al minimo i rischi di congestione<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> Un servizio si definisce *on-net* se coinvolge due nodi della stessa struttura reticolare.

<sup>14</sup> Ovviamente in caso di congestione della rete il costo marginale di transito aumenterà.

Per contro, laddove si fronteggino sul mercato provider con ampie base installate di utenti, la competizione interesserà prevalentemente gli utenti potenziali non ancora associati ad alcun provider (*unattached consumer competition*). La loro domanda di servizi per l'impresa  $i$ -esima dipenderà, date certe basi installate di utenti e dunque un certo grado di congestione della rete, da molteplici variabili tra cui i prezzi di utilizzo fissati dalle diverse imprese  $p = (p_i; p_{-i})$ , la qualità dei servizi  $s = (s_i; s_{-i})$  e la qualità di interconnessione concessa ad altri gestori  $k_{i-i}$ .

La qualità percepita da ogni utente può essere espressa come:

$$s^i = v [\beta_i + k_{i-i}\beta_{-i}] + \alpha_i \quad (18)$$

dove  $v$  è un parametro che riflette l'importanza per l'utente dell'impresa  $i$ -esima della connettività con altre basi installate di utenti,  $\beta$  sono le basi installate di utilizzatori e  $\alpha$  indica la componente edonica della qualità del servizio (e.g. tempi di consegna, garanzie di buon fine ecc...). Ogni provider potrà fornire ai rivali diverse qualità di interconnessione che potremmo immaginare, a fini espositivi, rappresentate da una maggior o minor capacità della banda di rete riservata allo scambio di pacchetti di bytes ( $k$ ). Laddove l'interconnessione sia concesso a titolo oneroso il provider  $i$ -esimo che richiede accesso pagherà un prezzo  $a_{-i}$  fissato dal rivale per ogni unità di servizi off-net terminati. Esso corrisponderà, rispettivamente, a una voce di costo e di ricavo per le due imprese.

I ricavi di ogni SB o AP saranno pertanto pari alla somma tra ricavi ottenuti su transiti on-net, ricavi legati a transiti off-net e ricavi relativi all'interconnessione concessa a imprese rivali:

$$R^i = RT_i^{on}(p, s) + RT_i^{off}(p; s) + RT_i^{acc}(a_i, k_{i-i}) \quad (19)$$

Il prezzo di interconnessione non viene normalmente corrisposto laddove due imprese concludano accordi di *peering*. In questa circostanza, le due reti si connettono reciprocamente a una data capacità, si integrano in un'unica struttura reticolare e gli scambi di pacchetti di informazioni avvengono di sovente a titolo gratuito. La conclusione di un accordi paritetici con altri AP o SB è tuttavia la scelta ottimale solo in alcune circostanze. La desiderabilità di questi dipende dalle caratteristiche delle imprese sia in termini di tipologia di traffici normalmente gestiti e servizi offerti, sia in termini infrastrutturali. Come mostrano Little e Wright (2000) accordi di peering a titolo gratuito sono ottimali tra imprese simmetriche per capacità di rete<sup>15</sup>, produttrici di servizi differenziati, al fine di evitare *underpricing*, e aventi basi installate di dimensioni similari.

<sup>15</sup>In questo modo si riduce la possibilità di *free riding* ovvero di concessione di poca capacità di rete e il persistente utilizzo da parte di un provider di tratti di rete altrui tramite una specializzazione in traffici off-net.

Per contro, un accordo per l'acquisto di transiti è solitamente concluso tra imprese gerarchicamente non paritetiche o tra provider altamente asimmetrici e venditori di servizi fortemente sostituibili<sup>16</sup>.

## 7.2 Competizione Oligopolistica tra Network Provider

Possiamo dunque porre in evidenza alcune dinamiche competitive riconosciute dalla letteratura come caratterizzanti i mercati per i servizi a rete. Tali mercati sono generalmente visti come imperfettamente competitivi date le preferenze per l'agglomerazione imputabili ad effetti rete. Ognuno dei risultati presentati e commentati è stata individuato all'interno di modelli differenti per cui sarà necessario descrivere da quali quadri analitici essi sono stati dedotti.

In particolare, si passeranno in rassegna alcuni recenti contributi di organizzazione industriale dai quali si possono agevolmente rinvenire precise strategie competitive per network provider.

### 7.2.1 Collusione sul prezzo di accesso

Si immaginino due APs ( $i = 1, 2$ ) totalmente simmetrici per tecnologie e costi ma differenziati orizzontalmente alla Hotelling. I consumatori potenziali sono uniformemente distribuiti su un intervallo di lunghezza unitaria e traggono dal transito reticolare un surplus netto pari a:

$$V(p) = \max_q \{u(q) - pq\} \quad (20)$$

dove  $u$  è l'utilità soggetti accordata al transito e  $p$  è il prezzo uniforme applicato per il servizio. I servizi offerti non presentano alcuna differenza sostanziale in termini di qualità ( $\Delta s = 0$ ). I costi di trasporto sono pari a  $t$  e sono interpretabili in termini di disutilità conseguente alla connessione con un provider diverso da quello preferito per localizzazione. Ogni impresa vende unità di transito a un prezzo  $p_i$ , sostenendo un costo fisso pari a  $f$  e pagando un prezzo di interconnessione pari ad  $a$  per accedere alla rete del rivale e terminare i propri servizi off-net. La qualità di interconnessione è fissa e pari a  $\bar{k}$ .

Data la simmetria delle imprese, specificate alcune opportune condizioni sui parametri del modello, esisterà sempre, almeno che i prezzi di interconnessione o il livello di sostituibilità tra i servizi non siano troppo elevati, un equilibrio in corrispondenza del quale le imprese non si pongono agli estremi del mercato. Più precisamente, è possibile mostrare come:

<sup>16</sup>Una rapida ma efficace discussione degli aspetti positivi e negativi di accordi paritetici, si trova in Laffont et al. (2000).

*Proposizione 4 (Laffont, Rey e Tirole (1998)):* Il prezzo di accesso è uno strumento di collusione tacita: se esiste un equilibrio tale che  $p_1 = p_2 = p^*(a)$ ,  $p^*$  aumenta al crescere di  $a$ .

*Traccia della dimostrazione della Proposizione 4:*

Imponendo la condizione di indifferenza tra i due AP per un generico soggetto  $x$

$$V(p_1) - tx = V(p_2) - t(1 - x) \quad (21)$$

è possibile giungere secondo il classico modello di *Hotelling* alla determinazione dei profitti delle due imprese. Si massimizzi il profitto per il prezzo, posto che i servizi abbiano un grado di sostituibilità non nullo. Cercando un equilibrio di Nash simmetrico e interno alla città lienare, è possibile determinare il prezzo di equilibrio  $p^*$ . Questo deve soddisfare la seguente condizione:

$$\frac{p^* - \left(c + \frac{a - c_0}{2}\right)}{p^*} = \zeta - \frac{1}{\vartheta} \Pi(p^*, a) \quad (22)$$

dove  $c_0$ ,  $\zeta$  e  $\frac{1}{\vartheta}$  sono parametri e  $\Pi$  indica la funzione di profitto della singola impresa. Come si nota dalla (22), in assenza del secondo termine sul lato destro dell'espressione è facile mostrare la proporzionalità diretta di  $p^*$  rispetto ad  $a$ . La veridicità della proposizione dipende dunque dalla conformazione della funzione  $\Pi$ . Affinchè il prezzo di equilibrio sia unico è necessario che la derivata prima dei profitti rispetto al prezzo sia nulla e che la conseguente derivata seconda sia non positiva. Imponendo tali condizioni sui profitti di equilibrio, gli intervalli di definizione dei parametri ci consentono di concludere come  $\frac{\partial p^*}{\partial a} > 0$  ■

La collusione sul prezzo di accesso consente alle imprese di innalzare il prezzo di utilizzo delle proprie reti pagato dall'utente finale e dunque i profitti. Se gli accordi tra le parti soddisfano requisiti di reciprocità (*reciprocal interconnection pricing*), ovvero il prezzo di accesso concesso al rivale è uguale a quello concesso dal rivale ( $a_i = a_{-i} = a$ ), la spartizione del mercato è totale e l'equilibrio di mercato subottimale in termini di benessere sociale. In caso di fissazione non cooperativa delle tariffe di commessione, la spinta al rialzo di  $a$  sarà tanto maggiore quanto più alto è il grado di sostituibilità tra i servizi offerti data la possibilità di indurre aumenti del prezzo dell'impresa rivale rendendo più oneroso il transito dalla propria rete per i servizi off-net e dunque sottraendo, *ceteris paribus*, clienti al concorrente. A conclusioni simili giungono, pur per una direttrice in parte differente, Carter e Wright (1999).

## 7.2.2 Degradazione della Qualità di Interconnessione

Laddove le imprese possano liberamente determinare la qualità di interconnessione concessa ai rivali emerge una nuova strategia competitiva detta *degradazione della qualità di interconnessione (degradation of connectivity)*.

Cramer et al. (2000) considerano due SBs ( $i = 1, 2$ ) che competono sulla quantità, date due basi installate di utenti e una certa preferenza per la connessione da parte di consumatori uniformemente distribuiti su un intervallo di lunghezza unitaria ( $\tau \in [0; 1]$ ). I servizi offerti sono edonicamente omogenei (i.e.  $\Delta\alpha = 0$ ). Ogni impresa prima sceglie la qualità di interconnessione concessa al rivale, corrisposta a titolo gratuito ( $a = 0$ ), dunque fissa il prezzo per i propri servizi. I consumatori traggono un surplus netto dall'adesione a uno o all'altro SB pari a:

$$u_i = \tau + s_i - p_i \quad (23)$$

Tramite la condizione di indifferenza tra le due imprese per un generico utente e attraverso una serie di manipolazioni algebriche, si ottengono i profitti delle due imprese pari a:

$$(p_i - c) q_i = (1 + v (\beta_i + k_{i-i} \beta_{-i}) - (1 - v) q_i - (1 - k_{i-i} v) q_{-i} - c) q_i \text{ per } i = 1, 2 \quad (24)$$

E' possibile dimostrare la seguente:

*Proposizione 5 (Cremer, Rey e Tirole (2000)): L'impresa con una maggior base installata preferisce una minor qualità di interconnessione. Questa decresce all'aumentare della differenza in dimensioni delle due imprese.*

*Traccia della dimostrazione Proposizione 5:*

Derivando l'espressione (24) rispetto alla quantità si può determinare l'equilibrio di Nash-Cournot in cui:

$$q_i^* = \frac{1}{2} \left( \frac{2(1-c) + v(1+\theta)\beta}{2(1-v) + (1-\theta v)} + \frac{(1-\theta)v\Delta_i}{2(1-v) - (1-\theta v)} \right) \quad (25)$$

con  $\beta = \beta_i + \beta_{-i}$  e  $\Delta_i = \beta_i - \beta_{-i} \geq 0$ . Dalla (25) si determinano i profitti di equilibrio pari a:

$$\Pi_i^* = (1-v)(q_i^*)^2 \quad (26)$$

Derivando per  $\theta$  e calcolando la derivata seconda rispetto a  $\Delta_i$  di quanto ottenuto, si ottiene il risultato ■

La degradazione della qualità di interconnessione è pertanto uno strumento nelle mani del SB di maggiori dimensioni per acquisire un rilevante vantaggio competitivo sull'impresa rivale. Laddove l'effetto di rete sia particolarmente rilevante nella determinazione della qualità percepita dall'utente del servizio ( $v \gg 0$ ), un abbassamento della qualità di connessione tra le due reti, dunque l'adozione di standard tecnologici scarsamente compatibili, crea una netta differenziazione qualitativa tra i servizi il cui effetto positivo sui profitti dell'impresa di dimensioni maggiori è più intenso dell'effetto negativo imputabile alla contrazione della domanda aggregata causata dalla minor appetibilità di connettersi con un operatore di rete incapace di assicurare servizi off-net di buona qualità. Il livello di connettività sarà minore di quello socialmente ottimale e tanto più basso quanto più radicate sono le asimmetrie tra le basi di utenti installati delle due imprese<sup>17</sup>.

### 7.2.3 Sovrainvestimento in Capacità

Consideriamo, infine, il caso in cui due APs ( $i = 1, 2$ ) decidano di connettersi reciprocamente dotandosi di un'infrastruttura dedicata costruita ripartendone equamente i costi e dunque concedendo libero al rivale a titolo gratuito. Si immagini che il costo di tale infrastruttura sia proporzionale alla sua capacità e strettamente convesso ( $I = I(k)$  con  $I' > 0$  e  $I'' > 0$ ) Le due imprese vendono servizi differenziati solo lievemente in senso edonico e i consumatori, distribuiti uniformemente su un intervallo unitario, ottengono un'utilità netta dal consumo di una unità di transito dall'impresa  $i$ -esima pari a:

$$u_i = v(\beta_i + k_{i-i}\beta_{-i}) + \alpha_i - t|x - x_i| - p_i \quad (27)$$

dove  $t|x - x_i|$  sono i costi dovuti al non servizi dall'impresa preferita ( $x$ ). Gli AP prima determinano la qualità di interconnessione supposta simmetrica ( $k_{i-i} = k_{-ii} = k$ ) quindi competono nei prezzi. Dalla condizione di indifferenza tra le due imprese per un generico consumatore è possibile giungere ai profitti delle due imprese pari a:

---

<sup>17</sup>Considerando, in alternativa, un modello di differenziazione verticale del prodotto ( $\Delta\alpha \neq 0$ ) si mostra come (Lanzi (2002)), anche quando non si rilevino considerevoli differenze tra le basi installate di utenti delle due imprese, laddove non sia possibile degradare la qualità di interconnessione, concessa a titolo oneroso ( $a \neq 0$ ), non solo queste colluderanno sul prezzo di interconnessione, ma sceglieranno, al fine di attenuare la concorrenza nei prezzi, la massima differenziazione verticale. Per contro, se è possibile mutualmente degradare la qualità di interconnessione le imprese sceglieranno la minima differenziazione verticale, venderanno servizi di qualità massima e sfrutteranno l'incompatibilità tra le reti per attenuare la competizione sui prezzi.

$$\Pi_i = (p_i - c) \left( \frac{1}{2} + \sigma \Delta \alpha - \sigma (p_i - p_{-i}) \right) - \frac{1}{2} I(k) \quad (28)$$

dove  $\sigma = \frac{1}{(2(t-v(1-k)))}$  e  $c$  è il costo marginale di un transito. Risolvendo un gioco a due stadi e determinandone l'equilibrio di Nash perfetto nei sottogiochi è possibile mostrare la seguente:

*Proposizione 6 (Foros e Hansen (2001)):* *In assenza di differenziazione verticale dei servizi offerti o laddove questa non sia eccessivamente ampia, in equilibrio le imprese sovrainvestono in capacità aumentando la qualità di interconnessione al di sopra del livello socialmente ottimale.*

*Traccia della dimostrazione Proposizione 6:*

Massimizzando l'espressione (27) rispetto a  $p_i$  e combinando le condizioni di primo ordine per i due AP si determinano i prezzi di equilibrio e le corrispondenti quote di mercato rispettivamente pari a:

$$\begin{aligned} p_i &= \frac{1}{2\sigma} + \frac{\Delta\alpha}{3} + c \\ \alpha_i &= \frac{1}{2} + \frac{\sigma\theta_i}{3} \end{aligned} \quad (29)$$

Da queste è possibile derivare i profitti corrispondenti all'equilibrio di Nash-Bertrand nella seconda fase del gioco uguali a:

$$\pi_i = \frac{(t - \beta(1 - k))}{2} + \frac{\Delta\alpha}{3} + \frac{(\Delta\alpha)^2}{18(t - \beta(1 - k))} \quad (30)$$

Assumendo un funzione di costo di interconnessione crescente e convessa (i.e.  $I = I(k)$  con  $I(k) = 0, I' > 0, I'' > 0, \lim_{k \rightarrow 1} I(k) = \infty, \lim_{k \rightarrow k^+} I(k) = 0$ ), nella prima fase del gioco ogni impresa fisserà un livello di investimento in capacità di rete pari a:

$$k^d = \arg \max \left( \pi_i - \frac{1}{2} I(k) \right) \quad (31)$$

da cui è immediato derivare la seguente condizione di ottimo:

$$\frac{1}{2}\beta = I'(k) \quad (32)$$

Al fine di mostrare la proposizione in esame è dunque necessario confrontare la condizione (32) con la condizione equivalentemente nel caso di massimizzazione del benessere sociale. Così facendo si ottiene che nell'ottimo sociale dovrà verificarsi che:

$$\frac{1}{2}\beta - \Xi = I'(k) \quad (33)$$

Dalla positività di  $\Xi$  deriva la conclusione ■

L'intuizione alla base della Proposizione 6 è la seguente: se non vi è alcuna differenza edonica tra i servizi offerti ( $\Delta\alpha = 0$ ), una qualità di interconnessione più elevata aumenta il valore dei servizi per l'utente, il suo prezzo di riserva e dunque consente alle imprese di aumentare i prezzi finali. Laddove i servizi delle due imprese siano lievemente differenziati, l'impresa produttrice di servizi di maggior qualità vedrà ridotti i propri profitti da decisioni di maggior compatibilità con il rivale, ma tale effetto negativo sarà dominato dai maggiori introiti attribuibili all'aumento delle disponibilità a pagare degli utenti. Per contro, entrambi gli effetti saranno positivi per l'impresa produttrice di servizi di qualità inferiore.

## 8 Alcune Osservazioni Conclusive sulle Organizzazioni a Rete

A fianco dello sviluppo di reti interne può insorgere un'analoga forma organizzativa detta *organizzazione a rete (OR)*. Essa si distingue da strutture gerarchiche e forme organizzative totalmente decentrate (quale il mercato) per specifiche caratteristiche relative sia all'utilizzo di risorse, conoscenze e impianti, sia ai processi con cui si definiscono obiettivi e finalità<sup>18</sup>.

Da un'ottica strutturale, un'OR combina fattori di produzione co-specializzati, provvedendo a una stretta, ma flessibile, integrazione di informazioni, abilità e *assets*. Fondamentali sono dunque la proprietà condivisa e il controllo congiunto delle strutture produttive impiegate per il raggiungimento di obiettivi comuni ai membri dell'organizzazione. La struttura poliarchica delle OR, solitamente aventi confini flessibili e dinamici a nuove esigenze produttive, consente di organizzare, su precisi progetti, le risorse disponibili nei differenti tratti della rete. Le informazioni sono scambiate multilateralmente (*many to many*) tra i diversi nodi e la conoscenza di problemi ed opportunità emerge in modo informale attraverso i molteplici contatti o scambi che intervengono tra gli attori coinvolti

<sup>18</sup>Per un'ampia rassegna sullo stato dell'arte degli studi organizzativi sulle reti si veda Van Alstyne (1997).

nell'organizzazione. Risorse e conoscenze specifiche vengono quindi orientate e organizzate per specifici obiettivi di progetto, solitamente coerenti, pur se concepiti localmente, con gli obiettivi generali dell'OR. A tal scopo, il potere decisionale a livello operativo è decentrato e le decisioni strategiche fondate su un articolato processo di negoziazione multilaterale che coinvolge tutti i membri dell'organizzazione.

Da una prospettiva economica, il decentramento dei poteri decisionali, la fitta filiera di relazioni fiduciarie e le comunicazioni dirette tra i membri dell'OR, consentono di eliminare inefficienze imputabili a forme di opportunismo pre e post contrattuale tipiche di rapporti di agenzia in cui un soggetto sovrapposto delega a un agente l'esecuzione di un determinato progetto o mansione. Al tempo stesso, la frequente eterogeneità dei membri, ognuno in grado di controllare risorse specifiche ma complementari, consente, da un verso la riduzione di rischi di produzione, dall'altro la piena realizzazione di economie di esplorazione e selezione al fine di ottenere crescente specializzazione locale e pieno sfruttamento di sinergie sul versante della progettazione e della produzione. Comunicazione continua e interscambio di *know-how* tra i nodi dell'OR permettono, altresì, l'ottimizzazione delle informazioni disponibili, la pervasiva riduzione dei costi di search e lo spontaneo insorgere di innovazioni.

Si instaura dunque, all'interno di un'OR, un insieme di relazioni di lungo periodo tra soggetti specializzati localmente che assumono decisioni coordinate sulla base di un nucleo di competenze specifiche. Utilizzando i termini della teoria dei giochi, la ripetizione di interazioni strategiche tra soggetti razionali e l'elevato grado di fiducia esistente tra essi ovviano problemi di coordinamento, rendendo la cooperazione preferibile all'opportunismo. I legami di stretta collaborazione tra le parti di un'OR permettono dunque di sviluppare e sostenere nel tempo sinergie produttive: i soggetti perseguiranno spontaneamente la massimizzazione dei profitti congiunti, condividendo risorse e conoscenze e sfruttando il più intensamente possibile economie di varietà o scala.

## 9 Riferimenti Bibliografici

- Altmann J., Rupp B., Varaiya P.** (2001) "Effects of Pricing on Internet User Behaviour", *Netnomics*, 3(1), pp.67-84
- Baake P., Boom A.** (2001) "Vertical Product Differentiation, Network Externalities and Compatibility Decisions", *International Journal of Industrial Organisation*, pp.267-284
- Bala V., Goyal S.** (2000) "A Noncooperative Model of Network Formation", *Econometrica*, 68(5), pp.1181-1229
- Bental B., Spiegel M.** (1995) "Network Competition, Product Quality and Market Coverage in the Presence of Network Externalities", *Journal of Industrial Economics*, 43, pp. 197-208
- Bose R.C., Manvel B.** (1984) "*Introduction to Combinatorial Theory*", Wiley, New York
- Cambini C., Valletti T.** (2001) "I Servizi Internet: Struttura di Mercato e Concorrenza" in Garrone P. e Mariotti S. (Eds) op.cit.
- Carter M., Wright J.** (1999) "Interconnection in Network Industries", *Review of Industrial Organisation*, 14, pp.1-25
- Chou C., Shy O.** (1990) "Network Effect without Network Externalities", *International Journal of Industrial Organization*, 8(2), pp.259-70
- Church J., Gandal N.** (1993) "Complementary Network Externalities and Technological Adoption", *International Journal of Industrial Organisation*, 11(2), pp. 239-60
- Cr mer J., Rey P., Tirole J.** (2000) "Connectivity in the Commercial Internet", *Journal of Industrial Economics*, n. 3, pp. 85-103
- Currarini S., Morelli M.** (2000) "Network formation with Sequential Demand", *Review of Economic Design*, 5(3), pp.229-49.
- De Borger B.** (1997) "Public Pricing of Final and Intermediate Goods in Presence of Externalities", *European Journal of Political Economy*, 13(4), pp. 765-81
- De Palma A., Leruth L.** (1996) "Variable Willingness to Pay for Network Externalities with Strategic Standardisation Decisions", *European Journal of Political Economy*, 12, pp.235-51
- Economides N.** (1996a) "The Economics of Networks", *International-Journal-of-Industrial-Organization*, 14(6), pp. 673-99
- Economides N.** (1996b) "Network Externalities, Complementaries and Invitation of Entry", *European Journal of Political Economy*, 12(3), pp.214-38
- Economides N., Himmelberg C.** (1995) "Critical Mass and Network Size with Application to the US Fax Market", Stern School of Business Discussion Paper EC-95-11, NY
- Farrell J., Saloner G.** (1985) "Standardisation, Compatibility and Innovation", *Rand Journal of Economics*, Vol.16, pp.70-83
- Fankhauser G., Plattner B., Stiller B.** (1999) "A Flexible Architecture for an Accounting and Charging Infrastructure in the Next Generation Internet", *Netnomics*, 1(2), pp. 201-23..

- Foros O., Hansen B.** (2001) "Competition and Compatibility Among Internet Service Providers", *Information Economics and Policy*, 13, pp.411-25
- Gambaro M., Ricciardi C.** (1997) "Economia dell'Informazione e della Comunicazione", Laterza, Roma
- Gans J.S., King,S.P.** (2001) "Using 'Bill and Keep' Interconnect Arrangements to Soften Network Competition", *Economics-Letters*, 71(3), pp. 413-20..
- Gupta A., Sthal O., Whinsotn A.** (1994) "Priority Pricing of Integrated Services Networks" in McKnight e Bailey op.cit.
- Katz M.L., Shapiro C.** (1994) "Systems Competition and Network Effects", *Journal of Economic Perspectives*, 8(2), pp. 93-115
- Katz M., Shapiro C.** (1985) "Network Externalities, Competition and Compatibility", *American Economic Review*, Vol.75, pp. 424-440
- Kranton R.E., Minehart D.F.** (2001) " A Theory of Buyer-Seller Networks", *American Economic Review*, 91(3), pp. 485-508
- Iacobucci D.** (1994) "Graph Theory" in Wasserman S. e Faust K (Eds) "Social Networks: Analyses, Applications and Methods", Cambridge University Press, Cambridge
- Jackson M.O., Wolinsky A.** (1996) "A Strategic Model of Social and Economic Networks", *Journal of Economic Theory*, Vol.71, pp.44-74
- Laffont J.J, Marcus S., Rey P., Tirole J.** (2001) "Internet Peering", *American Economic Review*, 91(2), pp.287-91
- Laffont J.J, Tirole J.** (2000) "Competition in Telecommunication", MIT Press, Cambridge, US
- Laffont J.J., Rey P., Tirole J.** (1998) "Network Competition: I. Overview and Nondiscriminatory Pricing", *Rand Journal of Economics*, Vol. 29, pp.1-37
- Lanzi D.** (2002) "Vertical Product Differentiation, Network Competition and Regulation of Connectivity", *Risec-International Review of Economics and Business*, 49(1), pp.13-30
- Lanzi D.** (2001) "A Multi-Stage Mechanism for Managing Aggressive Flows in the Next Generation Internet", Working Paper n.462, Department of Economics, University of Bologna
- Lazar A., Semret N.** (1997) "Auctions for Network Resource Sharing", CTR Tech.Report, Columbia University, New York
- Liebowitz S.J., Margolis S.E.** (1994) "Network Externalities: An Uncommon Tragedy", *Journal of Economic Perspectives*, 8(2), pp.133-50.
- Little I., Wright J.** (2000) "Peering and Settlement in the Internet: an Economic Analysis", *Journal of Regulatory Economics*, 18(2), pp.151-73
- Lomi A.** (1991) "Le Reti Organizzative", Il Mulino, Bologna
- MacKie-Mason J.K., Walsh W.E., Wellman M.P., Wurman P.R.** (1999) "Auction Protocols for Decentralized Scheduling", Working Paper n.347, Department of Economics, University of Michigan
- MacKie-Mason J., Varian H.R.** (1993) "Pricing the Internet", JFK School of Government, May 1993
- MacKie-Mason J., Varian H.R.** (1994) "Economic FAQs about the Internet", *Journal of Economic Perspective*, 8(3), pp.75-96

- McKnight L.W., Bailey J.** (Eds) (1994) "*Internet Economics*", Mit Press, Cambridge, US
- Mayeres I., Proost S.** (1997) "Optimal Tax and Public Investment Rules for Congestion Type of Externalities", *Scandinavian Journal of Economics*, 99(2), pp. 261-79
- Odlyzko A.** (2000) "The Internet and other Networks: Utilisation Rates and their Implications", *Information Economics and Policy*, 12, pp.341-365
- Shy O.** (2001) "*Economics of Network Industries*", Mit Press, Cambridge, US
- Van Alstyne M.** (1997) "The State of Network Organisation", *Journal of Organizational Computing*, 7(1), pp.150-203
- Varian H.R.** (2001) "Economics of Information Technology", mimeo
- Watts E.** (2001) "A Dynamic Model of Network Formation", *Games and Economic Behaviour*, 34(2), pp. 331-41
- Wilson R.B.** (1993) "*Nonlinear Pricing*", Oxford University Press, Oxford