

Reti-Networks

Alessio D'Ignazio - Emanuele Giovannetti*

University of Cambridge

Università «La Sapienza», Roma
University of Cambridge

1. Introduzione

La scienza economica si è storicamente occupata dell'interazione tra individui ed imprese attraverso istituzioni anonime come i mercati. Gli ultimi trenta anni di ricerca nella teoria dell'organizzazione industriale hanno però posto in rilevanza il ruolo dell'interazione strategica, generalmente non anonima, tra imprese (Kranton e Minehart, 2000, 2001) e ne hanno imposto la *Teoria dei giochi* come principale metodologia di studio.

Molto spesso i rapporti tra gli agenti economici vengono condizionati dalla posizione che questi occupano all'interno di uno spazio complesso, reale o virtuale, che consente loro di interagire solamente con un sottoinsieme di "vicini" nella popolazione. L'ambiente di riferimento, definito esogenamente o generato dagli agenti stessi, è una struttura multidimensionale, i cui effetti sul processo di interazione dipendono proprio dalle dimensioni considerate. Ta-

* <aledignazio@yahoo.it>; <E.Giovannetti@econ.cam.ac.uk>. Gli autori vogliono entrambi ringraziare il finanziamento da parte della Comunità Europea, tramite il Progetto CoCombine (www.cocombine.org) IST-2004-2012. Emanuele Giovannetti desidera inoltre ringraziare il contributo da parte dell'Università degli Studi di Roma «La Sapienza», Ricerca di Ateneo *Istituzioni crescita e coordinamento internazionale* e l'Isaac Newton Trust, Trinity College, University of Cambridge. Gli autori ringraziano anche per i preziosi suggerimenti: Cristiano Ristuccia, Emanuela Sciubba, Daniel SgROI e Giancarlo Spagnolo. La responsabilità di ogni errore e imprecisione rimane ovviamente interamente degli autori.

le ambiente, infatti, può essere definito, semplicemente, da una dimensione geografica; oppure, come osserva Lancaster (1971), da uno spazio delle caratteristiche che descrive, anche simultaneamente, differenziazioni qualitative ed orizzontali. Altre possibili dimensioni dello spazio dell'interazione possono essere relazioni di tipo produttivo: due imprese possono ad esempio essere in una relazione "puramente verticale", per cui un'impresa a monte fornisce un *input* di produzione a quella a valle, o "reciprocamente verticale", per cui due compagnie telefoniche terminano entrambe le telefonate originate dall'una e destinate ad utenti dell'altra. In realtà molti altri tipi di relazione possono esistere lungo morfologie più complesse dove operano gli agenti economici.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di introdurre parte della letteratura che si è occupata delle interazioni, non anonime, tra agenti economici su spazi-reti che delimitano l'insieme delle relazioni possibili.

Cercheremo di rispondere, in particolare, a tre principali domande: in che modo le reti influenzano il risultato dell'interazione economica? Quali tipologie di *networks* si formano con maggiore probabilità? Quando sono efficienti tali reti?

Il paragrafo 2 illustra l'importanza delle reti come substrato sul quale hanno luogo le interazioni tra gli agenti. Questi rapporti costituiscono un elemento di notevole importanza per spiegare i fenomeni della nonergodicità dei processi, della *pathdependency* e la transizione tra equilibri dinamici.

Nel paragrafo 3 le reti vengono esplicitamente inserite in un contesto di interazione strategica. La morfologia dei *networks* e le caratteristiche dei legami determinano le strategie dei singoli individui e, tramite questi, i risultati economici. Vengono analizzati, in particolare, i problemi dell'innovazione tecnologica, della cooperazione all'interno di giochi tipo "dilemma del prigioniero" ed il problema dell'accesso ad *input* essenziali in contesti di rete.

Nel paragrafo 4 l'ipotesi di reti esogene viene abbandonata. La letteratura che studia la formazione delle reti forma oggetto di un'attenta analisi che ripercorre l'evoluzione della teoria, evidenziando le peculiarità dei diversi approcci proposti. Seguono, quindi, alcune applicazioni relative alla costituzione di *networks* di ri-

cerca e sviluppo ed alle strutture di connessioni tra le imprese che gestiscono il traffico dell'Internet.

Il paragrafo 5 conclude analizzando il dibattito relativo alle condizioni dell'accesso. Tale problematica ha trovato ampio spazio all'interno delle politiche della concorrenza, adottate dai diversi organismi sovranazionali (International Telecommunications Union, Organizzazione Mondiale per il Commercio, Unione Europea, Federal Communications Commission, Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, Asia-Pacific Economic Cooperation, Comisión Interamericana de Telecomunicaciones) che hanno contribuito al processo di liberalizzazione nel settore delle telecomunicazioni.

In particolare l'Internet, rete delle reti, trova una naturale collocazione all'interno della nostra analisi: nell'interazione tra gli operatori coinvolti¹ si intrecciano, infatti, complesse relazioni di complementarità e concorrenzialità, e le decisioni di pochi determinano il risultato per molti. In particolare, la nostra analisi si concentra sulle strategie utilizzate dagli Internet Service Providers (ISPs) per collegarsi, tramite altri ISPs, all'intera Internet. Lo studio di questa problematica costituisce il *leitmotiv* del presente lavoro: inizialmente (nel paragrafo 2) analizziamo una situazione molto semplice in cui il *network* è esogeno e l'architettura di riferimento non esercita alcuna influenza sulle strategie degli ISPs (Norton, 2002); in seguito (nei paragrafi 3 e 4) superiamo questa ipotesi, dapprima ancora in un contesto di *network* esogeno (Laffont, Marcus, Rey e Tirole, 2003) e poi, invece, in presenza di legami endogeni (Badasyan e Chakrabarti, 2003).

Notevole risalto viene attribuito, nel paragrafo 5, al presente dibattito in sede ITU in merito alla possibile regolamentazione delle tariffe internazionali di accesso all'Internet. Mentre gli autori constatano come una regolamentazione *ex-ante* di tali tariffe sia una strada impercorribile, essi ritengono altresì che la possibilità di monitorare *ex post* possibili abusi di posizione dominante da parte delle autorità della concorrenza sia oggi vanificata dalla mancanza di trasparenza che caratterizza gli accordi di interconnessione nell'Internet.

¹ Tali interazioni avvengono a diversi livelli e coinvolgono molteplici operatori, dai semplici utenti agli ISPs di piccole e medie dimensioni, fino ai grandi *backbones*.

2. - Esternalità su reti

2.1 *L'interazione spaziale nella metafora dello spazzaneve*

In questa parte analizziamo la rilevanza del concetto di rete, spazio architettura, come substrato nel quale le interazioni degli agenti hanno luogo. In tale contesto, quindi, una rete è intesa come una struttura esogenamente data che vincola e definisce le possibili interazioni tra gli agenti.

Schelling (1978), ha descritto molteplici situazioni in cui i comportamenti collettivi ed influenze di tipo locale producono *feedback* positivi, o negativi, sulle decisioni individuali.

Un'introduzione affascinante a questi problemi è stata fornita da David (1992) con il modello-metafora dello "spazzaneve": siamo in una città circolare con N negozi distribuiti, ad intervalli regolari, lungo la strada principale. Dopo una nevicata, ogni negoziante può rendere di nuovo accessibile il proprio negozio andando di tanto in tanto alla soglia e spazzando via la neve. Ci sono però esternalità locali, infatti: «Affinché un cliente possa entrare in un negozio dal marciapiede, almeno un altro negozio confinante con il primo deve avere la propria parte di marciapiede spazzata». La strategia di un negoziante dovrà quindi essere condizionata alle azioni osservate dei suoi immediati vicini: «Spazzare la neve nel caso i suoi due vicini abbiano a loro volta spazzato la propria soglia, non pulire nel caso essi abbiano reso inaccessibile il marciapiede non spazzandolo in precedenza e spazzare con probabilità un mezzo nel caso in cui un solo vicino abbia la propria soglia pulita». Questa metafora descrive un insieme di strategie basate su osservazioni locali, dove ogni singola decisione dipende esclusivamente dallo stato in cui si trova la parte "vicina" alla singola unità decisionale. Tale insieme di strategie viene descritto, matematicamente, come un insieme di catene di Markov tra loro non indipendenti.

Nell'esempio dello spazzaneve la strategia sopra descritta produce due possibili configurazioni d'equilibrio, due stati assorbenti del processo aleatorio, in cui tutti i negozi seguono la stessa politica: spazzare o non spazzare; partendo da una configurazione

iniziale di scelte mista, il sistema convergerà verso uno dei due possibili equilibri a seconda della storia delle realizzazioni del processo stesso. La metafora dello spazzaneve ci mostra, quindi, come la sola interazione spaziale delle componenti di un sistema markoviano possa generare una dinamica caratterizzata da molteplicità degli equilibri, la selezione dei quali dipenderà dalla storia della realizzazione del processo. Tale molteplicità degli equilibri non implica però la non predicibilità del modello: una volta specificate le condizioni iniziali e la legge d'evoluzione del sistema, ogni storia è caratterizzata da una misura di probabilità e conduce ad una data configurazione assorbente.

L'effetto uniformante delle scelte dei vicini, descritto nel modello dello spazzaneve, non emerge, però, nel caso in cui la struttura spaziale è più complessa, almeno tridimensionale², oppure quando le unità del processo sono infinite. In tali casi, infatti, si possono avere continue oscillazioni tra i due stati in cui vi è uniformità di azioni, senza mai ottenere convergenza e cristallizzazione (*lock-in*) in uno dei due.

2.2 Come rappresentare l'influenza locale

2.2.1 Notazione

Un *network* è definito da un insieme finito di individui³, N , e dai legami esistenti tra loro. Tali legami (archi), possono essere unidirezionali o bidirezionali.

a) Nel caso d'"archi unidirezionali" (*one-way links*), come ne-

² Il modello dello spazzaneve è un'applicazione del modello dell'elettore (KINDERMANN R.P. - SNELL J.L., 1980). In tale modello le opinioni politiche di un elettore cambiano in tempi aleatori dopo l'osservazione dell'opinione di un vicino a caso. La prova dell'uniformità asintotica delle opinioni, come delle decisioni se spazzare o meno è basata su argomenti derivati dalla teoria della percolazione (GRIMMETT G.R., 1989) e richiede che due processi decisionali, analizzati a ritroso a partire dalla configurazione finale, si incontrino in un tempo finito, dopo il quale, data la descrizione del modello, seguiranno lo stesso percorso. La prova dell'incontro tra due qualsiasi processi decisionali a ritroso è basata sulla proprietà che due passeggiate aleatorie si incontrano con probabilità uno in un tempo finito, proprietà che non è estendibile a passeggiate aleatorie definite su di un grafo di tre o più dimensioni.

³ È necessario però che vi siano almeno tre individui.

gli *hyperlink* tra due siti *web* dove un sito contiene un legame ipertestuale verso l'altro sito, dati due individui è possibile che il primo possieda un legame che lo leghi al secondo, mentre il secondo non possieda alcun legame che lo leghi al primo. Formalmente, tali archi sono rappresentati da una variabile binaria, $g_{ij} \in (0,1)$, tale che $g_{ij} = 1$ implica che i possiede un legame che lo collega a j , mentre $g_{ij} = 0$ implica che i non possiede alcun legame che lo collega a j . Un *network* direzionale g è allora definito dalla collezione d'archi unidirezionali;

b) "Archi bidirezionali" (*two ways links*). Questi esprimono legami reciproci come nel caso delle relazioni di parentela, o di una strada che collega due località e può essere percorsa in ambedue le direzioni. In questo caso, dati due individui, questi o sono reciprocamente collegati oppure non sono collegati affatto. Formalmente, un *network* non direzionale \bar{g} è definito dalla collezione d'archi bidirezionali:

$$\bar{g} = \{g_{ij}\}_{i, j \in N}$$

tali che:

$$g_{ij} = g_{ji} \quad \forall i, j \in N$$

L'esistenza di un collegamento tra nodi-individui⁴, i e j , all'interno del *network* g , è alla base di una potenziale interazione tra gli individui stessi; il processo decisionale del generico individuo i è infatti influenzato dall'insieme dei suoi vicini immediati, definito da:

$$N^d(i, g) = \{j \in N \mid g_{ij} = 1\}$$

Dal momento che le decisioni di ogni individuo possono in generale essere rappresentate come distribuzioni di probabilità su di un insieme di azioni possibili, tale influenza esclusiva può essere espressa con la condizione che «una distribuzione di probabilità sulle azioni dell'agente i , condizionata alle azioni scelte da

⁴ Si può trattare di un collegamento diretto oppure indiretto, tramite lo sfruttamento di *links* costituiti da altri giocatori (in quest'ultimo caso si dice che esiste un "sentiero" tra i due individui).

tutti gli altri agenti del sistema, è equivalente ad una distribuzione di probabilità condizionata esclusivamente alle scelte degli immediati vicini, $N^d(i, g)$ ». Formalmente, dato il *network* g , indicando con S_i l'insieme delle azioni possibili del giocatore i , definiti gli spazi:

$$S^{N\{i\}} = S_{j_1} \times S_{j_2} \times \dots \times S_{j_N}, \text{ con } \{j_1, j_2, \dots, j_N\} \equiv N\{i\}$$

$$S^{N^d(i, g)} = S_{j_a} \times S_{j_b} \times \dots \times S_{j_k}, \text{ con } \{j_a, j_b, \dots, j_k\} \equiv N^d(i, g)$$

avremo che tale distribuzione di probabilità condizionata, si può esprimere come:

$$(1) \quad \mu_i(S_i/S^{N\{i\}}) = \mu_i(S_i/S^{N^d(i, g)})$$

$$\forall S^{N\{i\}} \in S^{N\{i\}}, S^{N^d(i, g)} \in S^{N^d(i, g)}$$

per ogni giocatore i .

2.3 Il concetto di equilibrio per un'insieme di decisioni caratterizzate da interazione locale

Per catturare allo stesso tempo la possibilità della molteplicità degli equilibri, e la dinamica della loro selezione in presenza di interazione locale su rete, Durlauf (1993) propone la seguente nozione di equilibrio:

«...un equilibrio esiste quando queste misure di probabilità condizionate sono compatibili con una misura di probabilità congiunta per tutti gli agenti ad ogni data» (Durlauf, 1993, p. 350).

La nozione di equilibrio di lungo periodo viene quindi a coincidere con la nozione di distribuzione invariante di un processo aleatorio multidimensionale, uno stato in cui le misure di probabilità condizionate che descrivono il comportamento degli agenti, riproducono se stesse come risultante delle forze dinamiche del sistema.

In tale quadro, la molteplicità degli equilibri corrisponde al-

l'esistenza di più misure invarianti del processo generato dai comportamenti individuali. La molteplicità di misure invarianti, associata alla dinamica descritta dalle probabilità di transizione del sistema, implica che il processo sottostante è non ergodico e questo, a sua volta, comporta che l'equilibrio di lungo periodo dipende dalla realizzazione della storia del processo. Derivare l'equilibrio vuol dire allora trovare una misura di probabilità, μ , compatibile con le probabilità condizionate di ogni singolo nodo.

Per quanto riguarda l'esistenza di tale equilibrio, Spitzer (1971) prova che: «Dato un insieme di agenti finito, N , una rete che descrive la morfologia della loro interazione, $g = \{g_{ij}\}_{i,j \in N}$, un insieme di scelte possibili, S , anch'esso finito, per ogni agente, e la descrizione delle probabilità locali condizionate esclusivamente dalle scelte degli immediati vicini, se queste probabilità sono tutte diverse da zero, per ogni possibile configurazione di scelte dei vicini esiste un'unica misura di probabilità globale, μ , compatibile con le probabilità condizionate di ogni agente».

L'unicità di tale misura invariante, nel caso di positività di tutte le probabilità condizionali locali e finitezza del numero di stati S e di individui I , implica che l'introduzione dell'interazione spaziale di per sé non mette in discussione l'ergodicità del processo: indipendentemente dalle condizioni iniziali la distribuzione finale del processo sarà quella unica di equilibrio.

2.3.1 Il modello di Ising

Uno dei modelli più intuitivi⁵ per lo studio degli effetti dell'interazione locale sull'equilibrio macroscopico del sistema è il modello di Ising (1925). Il valore interpretativo di questo modello sta nel fatto che esso descrive le caratteristiche di attrattività o cooperazione a livello locale tra le unità che compongono un sistema⁶. La versione monodimensionale considera una configurazione di un sottoinsieme di Z^1 in cui ogni luogo i può assumere

⁵ Derivato dagli studi sulle proprietà microscopiche del ferromagnetismo.

⁶ Vedremo, infatti, che, in genere, esso assegna probabilità più elevate a configurazioni del sistema in cui si ha allineamento locale delle decisioni adottate.

due diversi valori $S = \{-1, 1\}$. Ad ogni coppia di luoghi vicini è associato il prodotto tra i valori da essi assunti, definito come “il potenziale” dei due vicini. Per trovare la misura di equilibrio delle configurazioni spaziali di “+1” e “-1” bisogna sommare tutti i potenziali per tutte le possibili coppie di vicini:

$$H(x) = - \sum_{i,j:g(i,j)=1} x_i x_j$$

e quindi ottenere la probabilità⁷ per ogni possibile data configurazione, x , di collezione di scelte individuali, come:

$$\mu(x) = c^{-1} e^{-\left(\frac{1}{T}\right)[H(x)]}$$

dove c^{-1} è una costante di rinormalizzazione scelta, affinché sia $\sum_x \mu(x) = 1$, e T è un parametro che esprime l'inverso dell'intensità dell'interazione locale. Le condizioni indicate dal teorema di Spitzer sono tutte verificate: vi è un unico equilibrio, verso il quale il processo converge.

Per studiare l'evoluzione spazio-temporale dell'insieme delle decisioni di N agenti consideriamo un reticolo bidimensionale, Z^2 , in cui ogni nodo è ora caratterizzato da due coordinate (i, t) con $i \in N$ e $t \in Z_+$. Tale spazio, in cui l'influenza dei vicini ha luogo con un ritardo temporale, viene chiamato grafo evolutivo⁸ (Dobrushin *et AL.*, 1990). In questo modello bidimensionale il valore della costante $1/T$ diviene un parametro di biforcazione: per valori superiori al valore critico T_c il sistema avrà una sola misura di equilibrio, avente in media uno stesso numero di +1 e -1, mentre per valori inferiori a T_c il sistema convergerà ad una configurazione caratterizzata dalla sola presenza di -1 o di +1. Questo vuol dire che in Z^2 , ossia tenendo conto di ambedue le dimensioni, spa-

⁷ Definita anche in fisica come misura di Gibbs.

⁸ Con il grafo evolutivo basato sull'interazione spaziale su di un reticolo monodimensionale con caratterizzazione locale dei più immediati vicini un operatore di transizione omogeneo è definito da S^4 probabilità di transizione locali:

$$\mu_{p,q,r}^s = \mu(x_i^{t+1} = s/x_{i-1}^t = p, x_i^t = q, x_{i+1}^t = r)$$

$$p, q, r, s = 1, 2, \dots, S$$

tale che:

$$\sum_s \mu_{p,q,r}^s = 1, \mu_{p,q,r}^s > 0$$

zio e tempo, esiste, anche nella più semplice situazione possibile (2 stati-decisioni e interazione basata sui più immediati vicini), la possibilità di avere una molteplicità delle misure di equilibrio, e quindi nonergodicità del processo e *pathdependency*, con correlazioni spazio-temporali che non decadono al crescere della distanza tra luoghi e tra i tempi.

Considerando spazi degli stati più ricchi, $S = \{3, \dots, n\}$ ⁹ avremo che, lungo linee analoghe, l'ordine della molteplicità delle distribuzioni di equilibrio è uguale a n . L'intensità dell'interazione locale gioca quindi un ruolo di parametro di biforcazione, ai cui valori critici sono associate transizioni di fase macroscopiche anche in modelli più generali di quello di Ising.

2.4 L'introduzione dei reticoli nelle prime applicazioni economiche

Un pionieristico modello¹⁰ economico per la formalizzazione dell'interazione locale su rete è stata formulato da Foellmer (1974). Egli descrive un'economia composta da agenti che reagiscono allo stesso modo ad una identica caratterizzazione dell'ambiente locale di riferimento. In tale economia esistono due beni e due preferenze esclusive: $S = \{+1, -1\}$. Se $x_i = +1$ diremo che l'agente i vuole il massimo possibile del bene 1, mentre se $x_i = -1$, l'agente i vorrà la massima quantità possibile del bene 2.

Le preferenze d'ogni agente sono descritte come probabilità condizionate alle preferenze degli immediati vicini $N^d(i, g)$. Foellmer considera sia la caratteristica del modello di Ising di allineamento delle preferenze di agenti vicini, che la situazione opposta con tendenze *antitrend* dei comportamenti individuali; egli introduce inoltre la possibilità di considerare ancora un residuo di comportamento individuale non esposto ai condizionamenti dei

⁹ Con un più vasto spazio degli stati, si ha un modello chiamato di Potts a n stati, in cui una variabile che può assumere n diversi valori viene assegnata ad ogni nodo del reticolo. Tale modello ha n distribuzioni di equilibrio in cui tutti i luoghi presentano lo stesso valore, ma possono assumere qualunque degli n valori (YEOMANS J.M., 1992).

¹⁰ Questo lavoro è basato sui risultati ottenuti del modello di Ising.

vicini. L'obiettivo del modello è quello di trovare un vettore dei prezzi per i due beni che annulli in media gli eccessi di domanda generati dalle preferenze stocastiche sopra descritte.

Foellmer dimostra che, fino a che rimane un residuo di autonomia decisionale per i singoli agenti, non ci sarà transizione di fase¹¹, e quindi sarà possibile determinare univocamente un vettore di prezzi di equilibrio; nel caso in cui, invece, la formazione stocastica delle preferenze degli agenti dipende esclusivamente dalla specificazione delle preferenze dei vicini, ci sarà, come dimostrato nella teoria del modello di Ising sopra accennato, un valore critico dell'intensità dell'interazione superato il quale, per reticoli di dimensionalità uguale o maggiore di due, ci saranno due equilibri compatibili con la specificazione microeconomica descritta. In tale caso di molteplicità delle possibili distribuzioni di equilibrio, Foellmer dimostra l'impossibilità di trovare un vettore di prezzi che possa stabilizzare simultaneamente le due fasi.

Allen (1982a e 1982b) ha studiato scelte di adozione tecnologica tenendo conto, nella definizione delle probabilità condizionate che descrivono le strategie individuali, sia di esternalità locali positive che negative. In tale contesto Allen ha analizzato il ruolo delle proprietà di dominanza stocastica degli equilibri risultanti, per studiare gli effetti dell'interazione locale sui possibili interventi di politica industriale.

Simili modelli, basati sull'esistenza di esternalità stocastiche locali di rete, sono stati introdotti nello studio dell'economia urbana e della persistenza della povertà.

Gli effetti della località di appartenenza sulla formazione del capitale umano sono alla base della nozione di "cultura della povertà", introdotta da Wilson (1987) e formalizzata da Streufert (1991), come una situazione in cui i giovani appartenenti ad una comunità socialmente isolata possono non avere la possibilità di osservare alcuni modelli comportamentali di successo, per cui, molto probabilmente, sottostimeranno la relazione esistente tra tali modelli e redditi futuri.

Un altro modo di spiegare la persistenza delle ineguaglianze

¹¹ Questa è un'applicazione del *Teorema di Spitzer*, SPITZER F. (1971).

dei redditi in base alle esternalità locali, si concentra sul ruolo svolto dai genitori nelle decisioni d'investimento nella formazione del capitale umano dei propri figli. Per Cooper (1998), l'influenza della struttura locale sulla formazione di capitale umano passa principalmente attraverso la qualità della scuola. Tale influenza viene quindi modellata ipotizzando che i bambini ricevano un livello d'educazione in funzione della spesa *pro-capite* in formazione di capitale umano decisa in una data comunità (vicinato). Durlauf (1992) introduce uno *shock* positivo di produttività individuale, la cui distribuzione dipende da quella del reddito nel vicinato (una media più alta nella distribuzione del reddito nel vicinato sposterà in avanti la distribuzione dello *shock*)¹².

Durlauf (1993) ha inoltre proposto un modello di crescita stocastica basato su nonconvessità degli insiemi di produzione ed esternalità positive, delimitate localmente, che rappresentano il legame tra complementarità intertemporali e spaziali. L'economia è composta da un'infinità numerabile di industrie, composte a loro volta da imprese identiche e competitive. La produzione corrente viene determinata dalle decisioni, effettuate nel periodo precedente, relative alla scelta di una tra due possibili tecnologie, f_1 e f_2 , ed alla definizione *stock* di capitale da trasferire¹³.

L'elemento centrale del modello si trova proprio nell'esplicitazione delle complementarità tecnologiche, dove si esprimono le

¹² La costruzione di effetti positivi o negativi di autorinforzo, per la spiegazione della dinamica dei redditi individuali e collettivi basata sulla nozione di appartenenza ad una data comunità o vicinato locale, al quale si è connessi attraverso il grafo che descrive la struttura dell'interazione dell'economia, non consente però lo studio di come queste strutture si formano, o con le parole di HAKEN H. (1978) è una dinamica guidata da una data organizzazione. DURLAUF S.N. (1992) ha cercato di introdurre un elemento auto-organizzativo nel proprio modello endogenizzando i processi di formazione dei vicinati, considerando la scelta di localizzazione delle famiglie come una strategia di equilibrio intertemporale in cui gli incentivi per l'integrazione si trovano nei costi *pro-capite* decrescenti nella formazione del capitale umano, e nei costi di mobilità, mentre la relazione tra *shock* di produttività e distribuzione del reddito nel vicinato fornisce gli incentivi alla separazione.

¹³ Possiamo definire una variabile binaria $w_{i,t}$ che assume valore 1 se l'industria sceglie la tecnologia f_1 e valore 0 se sceglie la tecnologia f_2 . Si può quindi rappresentare la scelta tecnologica dell'insieme delle industrie, al tempo t , con un vettore $\omega_t = [\omega_{i,t}]$, mentre l'intera storia delle adozioni delle due tecnologie considerate si può esprimere con una matrice $\Omega_t = [\omega_t]$.

esternalità locali intertemporali. Queste vengono espresse attraverso la dipendenza degli *shock* di produttività delle due tecnologie alternative dalla storia delle scelte tecnologiche.

L'intensità delle complementarità locali, esprimendo il grado di integrazione tra le diverse industrie, determina poi la possibilità di molteplicità degli equilibri. Il legame tra quello che si può interpretare come il disegno organizzativo di un'economia, e la sua dinamica di lungo periodo è spiegato infine con il rapporto esistente tra il raggio d'interazione delle complementarità intertemporali, il numero dei vicini la cui scelta tecnologica influenza la realizzazione del mio *shock* tecnologico, e la dimensione della regione critica dei parametri dell'interazione. Durlauf (1993) prova, infatti, che più alto è il grado d'integrazione tra industrie, ossia il numero di industrie incluse nell'insieme dei vicini diretti, maggiore è la possibilità di molteplicità e non ergodicità del sistema.

2.5 *Il ruolo della struttura nella dinamica: la metafora della "pila di sabbia"*

Il problema che vogliamo ora approfondire è quello del come si possa utilizzare la morfologia delle interazioni tra unità produttive per ottenere una spiegazione plausibile e coerente dell'instabilità degli aggregati economici. L'ostacolo principale che emerge nello spiegare le fluttuazioni aggregate a partire da fluttuazioni locali sta, infatti, nel ruolo svolto dalla legge dei grandi numeri che, quando applicabile, mostra come l'aggregazione di *shock* individuali tende a cancellarne gli effetti¹⁴.

L'ipotesi di interazioni localizzate e non lineari tra le unità che compongono il sistema aiuta invece a rimuovere le modalità

¹⁴ Partendo da microfluttuazioni, *shock* che colpiscono le singole unità produttive, abbiamo, infatti, che fluttuazioni aggregate si possono ottenere esclusivamente dall'accumularsi di molti eventi aventi lo stesso segno, "larghe deviazioni", v. ELLIS R. (1985); a causa del teorema del limite centrale la probabilità di tali fluttuazioni decresce esponenzialmente con il quadrato dell'ampiezza della deviazione, data l'approssimazione alla distribuzione normale a cui tende la somma di una sequenza di variabili aleatorie identicamente distribuite e indipendenti.

attraverso le quali si cancellano gli effetti dei singoli *shock*. Contesti così caratterizzati sono stati studiati come fenomeni di “auto organizzazione con criticalità” (Bak e Chen, 1991, p. 26). Il modello-metafora utilizzato per spiegare la dinamica di un sistema sottoposto a *shock* locali, che si trasmettono attraverso interazioni localizzate delle sue parti, è quello “della pila di sabbia”. Tale metafora viene descritta ipotizzando un apparato che versa sabbia lentamente e uniformemente, un grano alla volta, su di un tavolo. All’inizio i granelli stanno vicini alla posizione dove sono atterrati. Presto si accumulano l’uno sull’altro creando una pila con una leggera pendenza. Di tanto in tanto, quando la pendenza diviene troppo ripida, i granelli scivolano via causando piccole valanghe. Come si aggiunge più sabbia, la pendenza della pila aumenta e, con essa, anche la dimensione media delle valanghe. Ad un certo punto la dimensione della pila smette di crescere perché alla quantità di sabbia aggiunta corrisponde in media un’uguale quantità di sabbia che cade dalla superficie su cui si conduce l’esperimento: la pila ha raggiunto il suo “stato critico”. Quando la pila di sabbia si trova in tale stato ogni nuovo granello può provocare valanghe di tutte le dimensioni, anche catastrofiche.

La caratteristica auto-organizzativa di tale sistema sta nel fatto che la sua dinamica tende a riportare continuamente la pila di sabbia alla sua pendenza critica¹⁵, in cui larghe deviazioni non decadono più esponenzialmente in probabilità ma si ottengono molto più frequentemente, decadendo la loro probabilità in modo algebrico.

Studiando la dinamica delle valanghe di sabbia nel tempo, si è trovato inoltre che ad una regolare caduta dei granelli corrisponde una dinamica delle dimensioni delle valanghe di sabbia estremamente irregolare nel tempo¹⁶, fenomeno questo che Brock (1992), ritiene poter descrivere importanti serie temporali economiche.

¹⁵ In uno stato subcritico, infatti, la pendenza della pila tenderà a crescere perché si avranno in media valanghe di piccole dimensioni, mentre in uno stato supercritico si avranno valanghe più grandi che riporteranno la pendenza allo stato critico.

¹⁶ Tali sentieri, estremamente erratici, vengono definiti come *flicker noise* e risultano particolarmente differenti da quelli descritti come *white noise* che esprimono un comportamento completamente aleatorio in cui c’è incorrelazione tra le realizzazioni passate e quelle presenti del *pattern* studiato.

Il *flicker noise* può essere derivato dai modelli di auto-organizzazione con criticalità perché rappresenta una sovrapposizione di segnali di ogni dimensione e

A differenza dei lavori di Durlauf e di Foellmer, in cui economie rappresentate come modelli di Ising potevano esprimere un comportamento non ergodico solo per alcuni valori dei parametri che esprimono l'intensità dell'interazione locale, nei modelli di auto-organizzazione con criticalità si endogenizza il parametro critico (la pendenza critica nella pila di sabbia), rendendo quindi dominante il comportamento del modello.

Nel lavoro di Bak, Chen, Scheinkmann e Woodford (1993), un modello auto-organizzativo con criticalità viene studiato per descrivere un'economia composta da un largo numero di unità produttive, ognuna delle quali rifornisce solo un limitato numero di clienti e viene a sua volta rifornita solo da un ristretto numero di fornitori, dove sia clienti che fornitori sono localizzati spazialmente vicini all'unità produttiva.

Il grafo che descrive la localizzazione delle unità produttive è un reticolato cilindrico. Alla base di questo *network* i produttori di beni finali sono soggetti a fluttuazioni stocastiche indipendenti della domanda e tali fluttuazioni incideranno sulla variabilità delle ordinazioni per i fornitori dei produttori finali. Tali ordinazioni sono correlate localmente perché lungo il reticolo che rappresenta il sistema produttivo ogni produttore finale si rifornisce da due produttori situati una riga a monte nel reticolo. Andando molto indietro nella catena di produttori avremo che la correlazione degli *shock* avrà un raggio sempre più elevato, dato che ogni singolo *shock* dipenderà dall'interazione di sempre più *shock* della domanda finale. In tale quadro Bak, Chen, Scheinkmann e Woodford provano che la presenza congiunta di nonconvessità dei costi individuali e di interazione locale può aggregare piccoli *shock* individuali indipendenti in fluttuazioni aggregate nella produzione del sistema, violando la legge dei grandi numeri¹⁷.

durata, che è ciò che avviene quando ad esempio la pila di sabbia si è auto-organizzata nel suo valore critico, ed ogni valanga dipende dalla storia passata delle interazioni degli *shock* in molti luoghi del sistema.

¹⁷ Il legame con la metafora della pila di sabbia si ritrova nel modo in cui, partendo da fluttuazioni negli ordini dei beni finali, si possa derivare una "valanga produttiva" lungo l'insieme delle fasi del processo di produzione facendo ricorso esclusivamente alle complementarità spazio temporali del sistema produttivo.

Agliardi e Giovannetti (1998) hanno anch'essi ottenuto un comportamento aggregato di tipo autorganizzativo con criticità per un'economia, soggetta esclusivamente a *shock* idiosincratichi. Nel loro modello si ha un insieme di imprese poste su un reticolo monodimensionale, che devono decidere se imitare una tecnologia da un immediato vicino. L'imitazione è profittevole solo fino a quando produce differenziazione tra i vicini: si tratta infatti di un gioco di "anticoordinazione" i cui *payoff* individuali riflettono sostituibilità locale, per cui se entrambi i vicini di un agente scelgono una data azione, la scelta migliore per lui è quella di adottare l'azione alternativa. Le innovazioni partono dall'agente che ha ottenuto il più alto *shock* individuale di produttività e provocano una sequenza di adozioni, la cui lunghezza dipende dalla configurazione tecnologica di ogni nodo, ad ogni periodo. Una delle proprietà aggregate del modello, generate dai *microshocks* congiuntamente all'interazione locale su rete, è che l'attività aggregata si auto-organizza su di una dinamica a "equilibrio puntuato" (Gould e Eldredge, 1993), per cui al posto dell'avere una regolare evoluzione, il sistema è caratterizzato da lunghi periodi di quasi inattività seguiti da brevi periodi di cambiamenti catastrofici.

2.6 Il ruolo della struttura nelle scelte di peering

Il ruolo della struttura come determinante del risultato di un determinato sistema economico è particolarmente rilevante nel caso dell'Internet. Nella rete delle reti, interagiscono infatti diverse categorie di operatori-strutture: gli Internet *backbones* (conosciuti anche come Network Service Providers, NSPs), gli Internet Exchange Points (IXPs), gli Internet Service Providers (ISPs) ed altri operatori minori. I *backbones* sono *networks* di grosse dimensioni, che si scambiano traffico attraverso legami di *peering* in corrispondenza degli Exchange Points; inoltre vendono larghezza di banda a *Networks* di dimensioni più piccole, gli ISPs. Questi ultimi, per offrire i loro servizi, devono essere ovviamente collegati all'intera Internet; le due modalità attraverso le quali gli ISPs prov-

vedono a trasmettere (e ricevere) i flussi di traffico generati dai propri clienti sono il "transito" ed il *peering*.

Il "transito" è una relazione di natura puramente commerciale, in cui un ISP a monte vende all'ISP a valle l'accesso verso tutte le destinazioni che sono incluse nelle proprie tavole di *routing*; il *peering* è, al contrario, una relazione di tipo cooperativo e bilaterale in cui i due *partner* si scambiano esclusivamente il traffico destinato agli indirizzi dei propri clienti diretti. In genere gli accordi di *peering* si basano sulla suddivisione dei costi e spesso escludono transazioni finanziarie. La caratteristica che li rende particolarmente interessanti è che si tratta di accordi tra imprese che competono sullo stesso mercato, quindi posizionate su di uno stesso livello nella gerarchia della rete. Allo stesso tempo, queste imprese si complementano tra loro, recapitando il traffico a destinazione quando i *networks* di arrivo e di origine sono diversi. Baake and Wichmann (1999) hanno formalizzato la decisione di *peering* come una scelta di qualità dell'interconnessione tra due ISP che sono, tra loro, in competizione alla Cournot per la domanda finale. Il *peering* diretto viene considerato come una strategia di miglioramento della compatibilità nella trasmissione del traffico tra *network* diversi. Tale miglioramento ha ripercussioni positive sulla domanda, attraverso la maggiore disponibilità a pagare dei consumatori, dovuta alle esternalità di *network*¹⁸. Un'altra rilevante caratteristica delle relazioni di *peering* tra ISP situati ad un simile livello della gerarchia dell'Internet è che queste riducono i loro costi, rappresentando un'alternativa ai, generalmente più costosi, contratti di transito (Norton, 2001)¹⁹. Un ulteriore beneficio che deriva dall'aver molteplici *partners* di *peering*²⁰

¹⁸ Per una rassegna su cause ed effetti delle esternalità di *network* v. ECONOMIDES N. (1996).

¹⁹ Un'alterazione della struttura dei costi tra concorrenti, dovuta ad un accordo cooperativo, ha ovviamente conseguenze interessanti sui risultati dell'interazione strategica.

²⁰ Il *peering* inoltre può essere fatto in modo bilaterale o multilaterale, attraverso un *Internet Exchange Provider (IXP)*, che comporta una grande riduzione del numero di legami necessari all'interconnessione ed un rafforzamento dell'effetto reputazionale. Una volta che un ISP ha deciso di partecipare al *IXP*, deve poi decidere caso per caso con quali altri providers fare *peering* diretto v. GIOVANNETTI E. et AL. (2003).

è stato evidenziato da Titley (1997) nell'effetto reputazionale che questo può avere, e quindi nella facilitazione della cooperazione in un contesto di interazione strategica ripetuta²¹.

Un interessante lavoro che modella la definizione degli accordi di *peering* tra ISPs è dovuto a Norton (2002a). Egli considera una situazione caratterizzata dalla presenza di quattro ISPs, situati in altrettante località equidistanti tra loro. Il profitto di ciascuno di essi dipende dal numero dei propri clienti diretti e da quelli degli altri ISPs, ai quali è collegato indirettamente, attraverso un *transit provider*, oppure direttamente, tramite un accordo di *peering*; questo, tuttavia, può essere realizzato solo tra ISPs il cui *network* locale raggiunga lo stesso *Internet Exchange Point*²². Gli ISPs operano in maniera sequenziale: secondo un ordine preciso, ciascuno prova ad espandere il proprio *network* interno, attraverso strategie di *marketing* adeguate, e a negoziare, quando possibile, accordi di *peering*. L'obiettivo di ciascuno è quello di ottenere un livello di profitto superiore agli altri, in un contesto in cui non vi è competizione per acquisire clienti diretti; sostanzialmente, dunque, ciascuno cerca, da un lato, di ampliare il proprio *network* interno e, dall'altro, di risparmiare sui costi definendo, ove "vantaggioso"²³, relazioni di *peering* con gli altri ISPs²⁴.

Pur sottolineando la notevole importanza del *peering* per l'ottenimento di *payoff* elevati, i risultati ottenuti dalla simulazione del modello lasciano intendere che il vantaggio associato a strategie di *marketing* adeguate può essere addirittura superiore; inoltre, il desiderio di vincere impedisce spesso la realizzazione di *peering* profittevoli per entrambi gli ISPs coinvolti; infine, il modello dimostra l'esistenza di un notevole vantaggio nell'effettuare la "prima mossa", ovvero, nell'acquisire prima possibile una quota di mercato rilevante.

²¹ In questo caso il *peering* può risolvere i tipici problemi associati alla cooperazione, come la possibilità di *free riding* e di asimmetrie di traffico.

²² Vi sono quattro *exchange points*, anch'essi equidistanti dagli ISPs.

²³ Si tratta di un concetto piuttosto relativo, come si vedrà dai risultati del modello.

²⁴ Tale strategia è, effettivamente, indipendente dalla struttura di collegamenti.

3. - Reti ed interazione strategica

3.1 Reti ed apprendimento

Nei paragrafi precedenti abbiamo visto come l'introduzione dell'interazione, globale o locale, possa indurre nonergodicità, *pathdependency* e possa essere utilizzata per spiegare la transizione tra equilibri dinamici. Il passo successivo è dato dall'analisi del come le relazioni di rete influenzino l'interazione strategica tra giocatori. Un primo importante passo verso l'endogenizzazione strategica si trova con una serie di modelli che internalizza gli effetti di rete all'interno di meccanismi di apprendimento bayesiano; esempi di questa letteratura si possono trovare in Ellison e Fudenberg (1993), che hanno studiato l'impatto del *trade-off* tra osservazioni locali e collettive sulla dinamica del processo di apprendimento e di adozione relativo a due tecnologie di cui una è in media peggiore dell'altra, e in Bala e Goyal (1998). Questi ultimi hanno analizzato il ruolo delle strutture di *network* relativamente ai processi di apprendimento degli agenti in un contesto stocastico ed in particolare hanno dimostrato come le architetture influenzino la possibilità di apprendimento. Un risultato importante ottenuto dagli autori in tale contesto è che l'indipendenza locale, una situazione caratterizzata da forti legami di osservazione locale e debole ruolo dell'informazione centralizzata, facilita l'apprendimento collettivo: l'interconnessione locale aiuta a selezionare le informazioni rilevanti, senza dare troppo peso a quelle che possono essere controproducenti per il processo di apprendimento collettivo.

3.2 Reti come all'ambiente tecnologico

Vega Redondo (1994) ha proposto una modellizzazione dello spazio delle tecnologie come un grafo orientato, usato per rappresentare allo stesso tempo la nozione di "precedenza tecnologica" e di "gap tecnologico"; la nozione di precedenza tecnologica è collegata al processo di apprendimento ed esprime

la consequenzialità delle diverse scoperte od invenzioni²⁵, mentre la nozione di *gap* tecnologico viene usata per esprimere i costi di imitazione legati all'ampiezza del *gap* esistente. Le strutture considerate, dove avviene l'interazione strategica tra imprese, sono spazi tecnologici caratterizzati da diversi processi di apprendimento in termini di multidimensionalità e irreversibilità dei processi innovativi. In particolare, l'autore considera tre architetture diverse²⁶ e dimostra come ciascuna di queste produca effetti ben precisi sull'interazione strategica tra le imprese, influenzando l'evoluzione del sistema in cui queste operano²⁷.

Il lavoro di Vega Redondo di associazione tra architettura dello spazio tecnologico ed esito dell'interazione strategica è stato di particolare importanza per contributi più recenti dell'analisi dell'interazione strategica su reti. Tale letteratura si è però concentrata sull'idea di rete come struttura dove gli agenti sono localizzati più che come morfologia tecnologica lungo la quale le imprese innovano ed imitano.

²⁵ L'insieme delle invenzioni possibili è infatti definito dai "punti del grafo raggiungibili dalla posizione attuale occupata".

²⁶ Egli considera: (a) una struttura lineare, in cui ogni possibile opzione produttiva appartiene alla stessa linea tecnologica, ossia dati due punti nello spazio delle tecnologie è sempre possibile determinare quale punto precede e quale succede all'altro; (b) una struttura ad albero orientato, in cui ogni successiva biforcazione implica l'instaurarsi di una divaricazione irreversibile tra i successori di un dato punto; (c) una struttura reticolare dove lo spazio tecnologico è multidimensionale, si può infatti progredire in modo diverso lungo diverse dimensioni, ma le biforcazioni non sono necessariamente irreversibili, hanno infatti sempre un possibile sentiero successivo che può ricongiungere diversi percorsi nel futuro.

²⁷ I risultati ottenuti mostrano che: (a) in uno spazio tecnologico strutturato linearmente non c'è *turn-over* di imprese. Questa conclusione è legata alla monodimensionalità della struttura tecnologica lineare, che fa sì che la differenza tra i risultati delle imprese non sarà tale da forzarne alcune ad uscire dal mercato; (b) con una struttura ad albero il *turn-over* rimane invece costantemente in azione e questo avviene se le imprese scommettono su diverse linee di sviluppo tecnologico. Questa dinamica fa sì che, data l'irreversibilità dei sentieri tecnologici associata alla struttura ad albero, alcune delle imprese si troveranno "forzate" su sentieri che portano all'uscita dal mercato e, di conseguenza, la distribuzione di equilibrio del processo della dinamica industriale mostrerà, in equilibrio, un continuo flusso di entrate e di uscite dal mercato; (c) nel caso intermedio di struttura reticolare dello spazio delle tecnologie si possono ottenere le due situazioni precedenti a seconda delle dimensioni, del numero delle caratteristiche dello spazio tecnologico, del reticolo considerato.

3.3 Il ruolo dell'architettura di riferimento

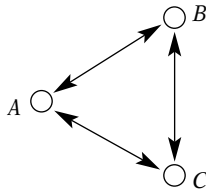
Come abbiamo visto in precedenza un *network* assume un significato attraverso le relazioni che si instaurano tra giocatori. Cominciamo con introdurre una classificazione delle principali morfologie di *network*²⁸.

Sia $g \in G$ un *network* direzionale. Tale *network* si dice completo, e si indica con g^c , se

$$g_{ij} = 1 \quad \forall i, j \in N, \text{ con } i \neq j$$

GRAF. 1

NETWORK COMPLETO



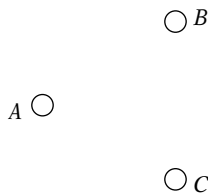
In un *network* completo ogni agente è collegato direttamente con tutti gli altri.

Un *network* $g \in G$ si dice invece “vuoto”, e si indica con g^e , se

$$g_{ij} = 0 \quad \forall i, j \in N, \text{ con } i \neq j$$

GRAF. 2

NETWORK VUOTO



²⁸ Tale classificazione è piuttosto importante, poiché la morfologia del *network* è al tempo stesso determinante fondamentale e risultato del sistema di relazioni tra i giocatori.

In tale *network*, dunque, non ci sono legami tra gli agenti.

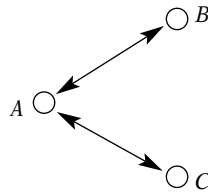
Un'altra rilevante architettura è quella del *network* a stella g^s , che si ottiene quando:

$$g_{ij} = g_{ji} = 1 \quad \forall i, j \in N \setminus \{i\}$$

e non vi sono altri legami.

GRAF. 3

NETWORK A STELLA



In un *network* a stella ciascun individuo è collegato ad ogni altro e il numero di legami tra due agenti non è mai superiore a due; inoltre vi è un unico sentiero tra ogni coppia di giocatori.

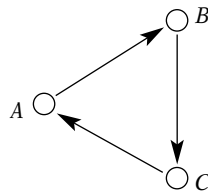
Infine un *network* $g \in G$, ha un'architettura a ruota, g^w , quando:

$$g_{i_1 i_2} = g_{i_2 i_3} = \dots = g_{i_{n-1} i_n} = g_{i_n i_1} = 1$$

e non vi sono altri legami.

GRAF. 4

NETWORK A RUOTA

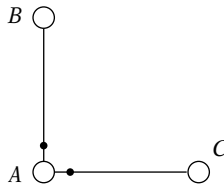


Questa è, per esempio, l'architettura della città circolare spesso usata nei modelli *à la Salop* di differenziazione orizzontale.

Nell'ambito dei *networks* non direzionali l'insieme delle architetture che presentano proprietà interessanti si riduce essenzialmente alla figura del *network* a stella; le caratteristiche di questa architettura sono identiche a quelle proprie dei *networks* direzionali, con delle specificazioni ulteriori: un *network* a stella si dice sponsorizzato dal centro se i legami sono costituiti tutti dall'individuo che si trova "al centro", mentre si dice sponsorizzato dalla periferia se i legami vengono costituiti tutti dagli individui "periferici"; si dice infine misto se i legami vengono costituiti in parte dall'individuo centrale ed in parte dagli individui periferici²⁹.

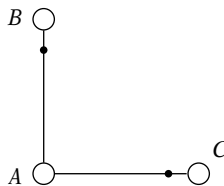
GRAF. 5

NETWORK A STELLA SPONSORIZZATO DAL CENTRO



GRAF. 6

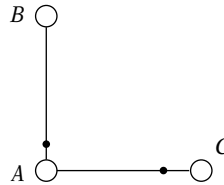
NETWORK A STELLA MISTO



²⁹ Ovviamente questa classificazione può essere adattata al caso in cui entrambi gli individui debbano essere d'accordo affinché un *link* possa essere costituito. Assumerebbe in questo caso rilievo l'individuo "attivo", inteso come colui che ha proposto il *link*, oppure chi tra i due sostiene il costo (maggiore) associato alla costituzione del *link*.

GRAF. 7

NETWORK A STELLA SPONSORIZZATO DALLA PERIFERIA



Goyal (2003) ha studiato gli effetti strategici dell'interazione locale, per un gioco di coordinazione con agenti esogenamente posizionati sui vertici di un *network* e dove ciascun giocatore interagisce con ciascun altro al quale è collegato, direttamente o indirettamente. In tale contesto Goyal dimostra che il risultato in cui ogni giocatore sceglie la stessa strategia è un equilibrio di Nash in ogni *network*; inoltre, nel caso di *network* completo, questa classe di equilibri è l'unica possibile. In presenza invece di *networks* incompleti vi possono essere anche altri profili di strategie equilibrio di Nash. Da un punto di vista dinamico, Goyal dimostra anche che ciascun equilibrio di Nash è stabile³⁰.

Goyal analizza anche il ruolo della struttura di interazione nella formazione delle scelte individuali in un contesto di giochi di conflitto, caratterizzati dal fatto che le variabili strategiche sono sostituti strategici. Tale classe di giochi è ben esemplificata dall'esempio classico del "dilemma del prigioniero", che presenta un unico equilibrio di Nash (in strategie dominanti), corrispondente all'esito inefficiente. L'introduzione del ruolo dei *networks* e della sua influenza sul meccanismo di apprendimento e decisione dei diversi individui che ne fanno parte consente di affrontare il problema da una prospettiva diversa: la possibilità di osservare le strategie giocate dai propri "vicini" ed i *payoff* da questi ottenuti può

³⁰ Si tratta di una stabilità locale dal momento che in corrispondenza di ciascun *network* vi sono almeno due profili di strategie che sono equilibrio di Nash (infatti la stessa nozione di gioco richiede che vi siano almeno due strategie per ciascun giocatore e, come appena detto, il risultato dato dalla scelta della stessa azione da parte di ciascun giocatore è un equilibrio di Nash in ogni *network*).

portare ad una convergenza verso la soluzione cooperativa senza la necessità di introdurre strategie punitive (Goyal, 2003).

Giovannetti (2000) studia l'interazione strategica tra imprese situate su di un *network* a ruota, interpretata come una geografia stilizzata, e definisce le condizioni affinché emergano equilibri simmetrici o asimmetrici. Questi ultimi vengono poi interpretati come asimmetrie, spesso osservate, tra regioni tra loro adiacenti.

3.4 Network e cooperazione nei giochi ripetuti

Bernheim e Whinston (1990) hanno analizzato per primi come l'interazione competitiva tra imprese su mercati diversi possa favorire la cooperazione tra queste se c'è, per esempio, un'asimmetria nei costi di tali imprese, che gli consente di coordinarsi nei mercati diversi alle condizioni più favorevoli. Spagnolo (1999) ha esteso tali risultati in termini di tipologia dei giochi e di funzioni di *payoff*, e Lippert e Spagnolo (2004) hanno generalizzato tale analisi agli effetti sulla sostenibilità della cooperazione all'interno di diverse morfologie di *networks*. A tal fine essi introducono il concetto di *network* relazionale: due agenti sono in relazione³¹ se ambedue cooperano e non hanno incentivo a deviare nella ripetizione del gioco uniperiodale³². Viene quindi analizzata la stabilità di strutture di *network* alternative, e la capacità di queste di garantire la sostenibilità della cooperazione all'interno di un gioco tipo "dilemma del prigioniero" ripetuto. In particolare, Lippert e Spagnolo studiano le condizioni affinché la cooperazione possa rimanere anche quando gli incentivi individuali non la consentirebbero (quando, dunque, i benefici dalla cooperazione non sono bilaterali ma unilaterali). In un contesto di *network* circolare³³, questo risultato si può ottenere aggregando le punizioni, la

³¹ Tali relazioni possono essere mutuamente o singolarmente benefiche (LIPPERT S. - SPAGNOLO G., 2004).

³² L'insieme di tali coppie di agenti dà luogo ad un *network* relazionale.

³³ Nel lavoro di Lippert e Spagnolo la circolarità è una componente essenziale sia per la trasmissione delle informazioni che per la realizzabilità delle punizioni collettive.

cui cadenza temporale dipende sia dalla struttura informativa³⁴ assunta che dalla lunghezza del sentiero da percorrere. Paradossalmente, introducendo un *network* relazionale misto, in cui cioè sono compresenti relazioni cooperative mutuamente profittevoli, ed altre solo unilateralmente tali, si ha che gli agenti con un beneficio bilaterale alla cooperazione, benché abbiano un incentivo minore a deviare, troveranno anche un incentivo minore ad implementare una punizione per un possibile deviante dall'accordo cooperativo. Una via d'uscita a tale paradosso può essere trovata nella costruzione di strategie punitive più articolate, capaci di limitare il sacrificio della punizione da parte dei giocatori non devianti³⁵, rendendo così più stabile la cooperazione. Tale risultato è rafforzato dal fatto che la possibilità di trasmettere informazioni in presenza di defezioni degli altri agenti nel *network*, non è mai utilizzata in equilibrio se l'imposizione alla cooperazione si basa su strategie punitive.

3.5 Giochi sui networks e politiche della concorrenza

3.5.1 Il problema dell'accesso alle componenti di un *network*

Una delle principali problematiche trattate dall'economia dei *networks* è il problema della definizione dei prezzi dell'accesso. In presenza di reti unidirezionali, il problema del prezzo dell'accesso viene definito, all'interno di una chiara relazione gerarchica, tra chi compra e chi vende l'accesso ad un determinato *input* di produzione, spesso in condizioni di monopolio. Quando si hanno invece reti bidirezionali, in cui quindi i singoli legami tra agenti sono percorribili in entrambe le direzioni, ognuna delle due im-

³⁴ Vengono considerati tre diversi contesti di trasmissione dell'informazione: il caso di informazione completa; il caso in cui ogni agente conosce solo la storia dell'interazioni con i propri immediati vicini; il caso in cui gli agenti, giocando, si scambiano informazioni relativamente alle proprie storie di gioco con i rispettivi vicini, venendo così a conoscere con un ritardo temporale, le storie relative ai vicini dei vicini e così via.

³⁵ Ad esempio, strategie che consentano agli agenti che non deviano di continuare a cooperare lungo il *network*, mentre si punisce esclusivamente il deviante.

prese agli estremi di un arco dovrà pagare un prezzo dell'accesso all'*input* essenziale dell'altra impresa, con la quale è contemporaneamente in competizione per la domanda finale. In questo caso avremo una morfologia di *network* caratterizzata da una gerarchia orizzontale, in cui le due imprese avranno un reciproco potere di mercato³⁶, che si rifletterà nella definizione dei rispettivi prezzi dell'accesso.

La letteratura che tratta dei problemi dei prezzi dell'accesso, per semplici relazioni bilaterali-orizzontali, o unidirezionali-verticali, in condizioni di interazione strategica e che ne analizza le implicazioni, in termini di benessere sociale, regolamentazione e politiche della concorrenza, è stata esaurientemente ricostruita in Laffont e Tirole (2001) e Armstrong (2002)³⁷.

Il problema dell'accesso, con riferimento all'Internet, è stato studiato da Crémer, Rey e Tirole (2000). Essi considerano un duopolio in cui i *backbones* competono per attirare nuovi clienti (si assume, infatti, che i costi nel passare da un *backbone* all'altro siano elevatissimi). La qualità del servizio offerto da ciascun *backbone* dipende sia dal numero degli utenti propri che dagli utenti dell'altro: l'apporto di questi ultimi è tuttavia legato alla qualità dell'interconnessione tra i due *backbones*³⁸. Nel primo stadio del gioco ciascun duopolista sceglie indipendentemente il livello della qualità di interconnessione con l'altro: la qualità effettiva dell'interconnessione è allora data dalla più bassa tra le due. Nel secondo stadio i due *backbones* competono alla Cournot. La soluzione del modello è immediata nel caso in cui la situazione di partenza sia caratterizzata da diverse quote di mercato per i due *backbones*: la strategia ottimale per il *backbone* con più clienti è infatti quella di offrire una bassa qualità di interconnessione con

³⁶ Le politiche della concorrenza si sono spesso concentrate su tali problematiche, analizzando sia le potenzialità collusive nella formazione di tali prezzi d'accesso — nel caso di *networks* orizzontali — che le politiche di discriminazione nelle condizioni d'accesso — nel caso di *networks* a gerarchia verticale —.

³⁷ Per una completa ed aggiornata trattazione in lingua italiana v. CAMBINI C. - RAVAZZI P. - VALLETTI T. (2000).

³⁸ Quest'ipotesi riflette il concetto di esternalità di rete, definito in maniera esemplare da KATZ M.L. - SHAPIRO C. (1985).

l'altro *backbone*³⁹. In questo modo, il *backbone* più grande continuerà a crescere, a discapito dell'altro⁴⁰.

Foros e Hansen (2001) introducono l'ipotesi di differenziazione orizzontale alla Hotelling tra i *backbones* duopolisti ed ottengono un risultato completamente diverso⁴¹. Come nel modello di Crémer, Rey e Tirole, i due operatori decidono prima la qualità dell'interconnessione e poi competono, stavolta alla Bertrand. In questo nuovo contesto le due imprese massimizzano la qualità dell'interconnessione, data la funzione di costo associata.

Il complesso rapporto di complementarietà e concorrenzialità tra operatori di *backbone* nell'Internet forma oggetto anche del lavoro di Laffont, Marcus, Rey e Tirole (2003). Essi considerano un modello di concorrenza tra *backbones*, per le due tipologie di clienti, consumatori finali e siti *web*. L'unica rilevante fonte di traffico è quella dai siti *web* ai consumatori. La struttura dei costi è definita da c_0 e c_1 , rispettivamente costo di originazione e di terminazione del traffico. I *backbones* fissano prezzi diversi per i consumatori e per i siti *web*; questi ultimi producono esclusivamente flussi di informazione in uscita, mentre i consumatori sono esclusivamente ricettori di tali flussi (le loro richieste di accesso alle pagine *web* hanno infatti una rilevanza informativa trascurabile). In tale contesto i profitti di un *backbone* sono dati da:

$$(2) \quad \pi_i = \alpha_i \tilde{\alpha}_i [p_i + \tilde{p}_i - c] + \alpha_i \tilde{\alpha}_j [p_i + a - c_1] + \alpha_j \tilde{\alpha}_i (\tilde{p}_i - c_0 - a)$$

dove $c = c_0 + c_1$; α_i e $\tilde{\alpha}_i$ rappresentano rispettivamente la quota di mercato dei consumatori e dei siti *web* del *backbone* i ; a è la tariffa d'interconnessione (uguale per i due *backbones*) per distribuire il traffico originato dall'altro *backbone*, *off-net*, agli utenti finali. Infine, p_i è il prezzo finale che i consumatori pagano al *backbone* per ricevere le informazioni richieste, mentre \tilde{p}_i è il prezzo

³⁹ Analiticamente, è possibile vedere questo definendo la qualità del servizio offerto dal *backbone* i come $s_i = k (d_i + \theta d_j)$, dove k è un parametro positivo, d_i indica gli utenti del *backbone* i e θ , infine, la qualità dell'interconnessione, con $\theta \in [0,1]$. Si ricava agevolmente che $s_j - s_i = k (1 - \theta) (d_i - d_j)$.

⁴⁰ Il risultato di fondo del modello non cambia se si introduce un mercato con più competitori, che hanno inizialmente le stesse quote di mercato.

⁴¹ v. anche ROSON R. (2002) per una valutazione comparativa dei due lavori.

pagato dai siti *web* per spedirle. La funzione di profitto (2) descrive bene la relazione di complementarità e concorrenzialità tra *backbones*:

1) La prima componente, $\alpha_i \tilde{\alpha}_i [p_i + \tilde{p}_i - c]$, rappresenta i profitti dovuti alle domande dei consumatori finali (per ricevere) e dei siti *web* (per inviare i propri dati), entrambi clienti dello stesso *backbone*. Ovviamente ai ricavi viene sottratto l'intero costo di trasmissione, $c = c_0 + c_1$;

2) Poi abbiamo la parte di profitti derivata dalla domanda degli utenti finali del *backbone i* relativa ai siti *web* clienti dell'altro *backbone j*: $\alpha_i \tilde{\alpha}_j [p_i + a - c_1]$, per cui il ricavo è dato dalla somma del prezzo finale pagato dagli utenti del *backbone i* e della tariffa di terminazione, a , corrisposta dal *backbone* concorrente, meno i costi di terminazione;

3) Infine si deve considerare la parte dei profitti che deriva dalla richiesta degli utenti finali della concorrenza dei contenuti dei siti *web* del nostro *backbone*, $\alpha_i \tilde{\alpha}_j (\tilde{p}_i - c_0 - a)$ per cui si ottiene il prezzo di trasmissione dei siti *web*, e si paga la tariffa di terminazione ed il costo di originazione.

Nel primo periodo si determina il prezzo dell'accesso a , o attraverso *bargaining* o intervento di un'autorità esogena; nel secondo periodo i *backbones* fissano i loro prezzi, $p_i, \tilde{p}_i, i = 1, 2$, e nel terzo periodo i consumatori scelgono i *backbones*.

Laffont, Marcus, Rey e Tirole dimostrano le condizioni per cui esiste un unico equilibrio di prezzo simmetrico, tale che il prezzo al consumo è uguale al costo di terminazione meno la tariffa dell'accesso, $p = c_1 - a$, mentre il prezzo per i siti *web* sarà uguale al costo di originazione più la tariffa dell'accesso, $\tilde{p}_i = c_1 + a$. Questo vuol dire che il prezzo al consumo è uguale al costo opportunità del perdere un cliente finale e darlo al competitore. In tale modo gli autori formalizzano l'effetto di *business stealing*⁴².

⁴² Se infatti il *backbone 1* conquista un consumatore già cliente del *backbone 2*, avremo che il traffico che origina dai siti *web* clienti del *backbone 2* e richiesto da quel consumatore, non rimarrà più interno al *backbone 2*. Infatti il *backbone 1* trarrà un profitto uguale al prezzo dell'accesso a , meno il costo di terminazione, c_1 . Quindi $c_1 - a$, è parte del costo opportunità di quel consumatore per il *backbone 1*. Inoltre c'è il traffico che tale cliente avrebbe richiesto ai siti *web* del *backbone 1*.

L'altra possibilità di *business stealing*, riguarda la conquista di un sito *web* dal rivale: questa genera, per ogni consumatore connesso a tale sito, un costo pari a $c_0 + a$ ⁴³. Quindi, nel caso di *backbones* perfetti sostituti e domanda perfettamente inelastica, la concorrenza alla Bertrand assicura che i profitti siano nulli, qualunque sia la tariffa di accesso, e quindi i prezzi combinati, fatti ai consumatori ed ai siti *web*, corrispondono esattamente al costo del traffico:

$$p_i + \tilde{p}_i = (c_0 + a) + (c_1 - a) = c$$

Il ruolo della tariffa di accesso, a , è allora esclusivamente quello di determinare come si suddivide il costo del traffico, tra siti *web* e consumatori. Più è alta la tariffa dell'accesso e maggiore è la quota di costo pagata dai siti *web*. Il modello, per cui i prezzi di equilibrio soddisfano il principio dei costi *off net* si estende senza problemi ad un numero arbitrario di *backbones*, a flussi di traffico misti a domanda elastica rispetto al prezzo, a qualità differenziata di servizio, a differenziazione dei costi di originazione e di terminazione sia tra i consumatori finali che tra i siti *web*⁴⁴.

Tale principio è inoltre ancora essenziale laddove l'esistenza di potere di mercato porti ad un *mark-up* dei prezzi sui costi, per esempio a causa dell'esistenza di una differenziazione orizzontale, con *backbones* posizionati agli estremi opposti di un segmento, del gusto, e con i siti *web* distribuiti uniformemente lungo tale dimensione.

La nozione stessa di rete può però essere usata per estendere l'analisi considerando morfologie più complesse di quelle viste

bone, 1, che sarebbe costato $c_0 + a$ quando il cliente apparteneva al *backbone* 2 e costa ora invece $c = c_0 + c_1$, quindi il costo opportunità della perdita di quest'altra componente di traffico legata allo stesso consumatore, equivale a $c_1 - a$.

⁴³ Questo perché c_0 è il costo di originazione del traffico, mentre a si perde per tutti i consumatori, infatti la tariffa di terminazione si deve pagare per tutti i consumatori clienti dell'altro *backbone* ma è anche quanto si perde per i propri clienti finali, perché il *backbone* 2 avrebbe dovuto pagarci quella tariffa, a , affinché 1 gli terminasse il traffico destinato ai propri clienti.

⁴⁴ I risultati precedenti cambiano però radicalmente se si considera la possibilità di vere tariffe di accesso asimmetriche, in particolare gli autori provano che in tale caso non c'è più equilibrio in strategie pure.

finora; questo è di particolare rilevanza, ad esempio, per l'analisi *antitrust*, che si è spesso concentrata sulla distinzione tra i potenziali effetti anticompetitivi esistenti tra fusioni verticali e orizzontali tra imprese⁴⁵.

La preclusione verticale all'accesso, *foreclosure*⁴⁶, sia parziale che completa, può essere la risultante di una fusione verticale tra un fornitore, a monte, di un bene di produzione essenziale, ed un rivenditore a valle: il fornitore può avere infatti degli incentivi ad impedire l'accesso, parzialmente o completamente, ai concorrenti della sua divisione a valle. La motivazione usualmente citata a fondamento di un comportamento preclusivo è quella di estendere i profitti di monopolio al di là dello specifico segmento, di produzione di un bene composto, dove questo monopolio è oggettivamente dettato da condizioni tecnologiche (collo di bottiglia). Ordober, Saloner e Salop (1990) hanno studiato in dettaglio gli effetti di una fusione verticale tra venditore di un mezzo di produzione, non monopolista di tale *input*, ed un rivenditore del bene finale. Una possibile conseguenza di tale integrazione è che la nuova impresa, verticalmente integrata, precluda l'accesso al suo *input* di produzione ai concorrenti della propria divisione, che opera nel settore della vendita ai consumatori finali⁴⁷. Questa preclusione verticale renderà meno concorrenziale il mercato a monte dell'*input* di produzione, restringendone l'offerta: i concorrenti a valle, rimasti non integrati, avranno probabilmente prezzi degli

⁴⁵ La letteratura sulle politiche della concorrenza si è più volte occupata degli incentivi alla preclusione dell'accesso al mezzo di produzione essenziale per un'impresa a valle, ottenendo risultati spesso contrastanti rispetto al sostegno per l'integrazione verticale, tradizionalmente espresso da parte della scuola classica di Chicago (BORK R., 1978). Un recente lavoro di BAAKE P. *et AL.* (2004) mostra, invece, che la separazione verticale con concorrenza a valle implica un livello inefficiente d'investimento in beni capitali, e che tale inefficienza potrebbe superare, in termini di perdita di benessere, le perdite dovute all'integrazione verticale.

⁴⁶ Tale preclusione può avere diverse modalità di implementazione tra cui l'integrazione a valle e le clausole in esclusiva; v. TIROLE J. (1988), cap. 8.

⁴⁷ Tale risultato non è affatto automatico, ed è strettamente legato all'impegno, da parte dell'impresa integrata, a non competere con le altre imprese a monte praticando *undercutting* relativamente all'offerta di *input* alle imprese intermedie non integrate. REIFFEN D. (1992), sottolinea energicamente questa condizione, affermando che l'integrazione verticale non è né necessaria tantomeno sufficiente a generare prezzi più alti per i beni intermedi: il ruolo chiave è giocato dall'impegno sul prezzo.

input più alti; di questo differenziale dei costi degli *input* beneficerà la divisione a valle dell'impresa ora integrata, mentre ovviamente il benessere dei consumatori finali diminuirà. L'esistenza quindi di una struttura di rete implica, in questo caso, che il potere di mercato possa essere esteso a mercati collegati, lungo la rete stessa. Gli incentivi alla preclusione dell'accesso dipendono dalla somma di tutti i diversi effetti che hanno luogo nei diversi mercati: oltre ai benefici provenienti dall'aver generato peggiori condizioni di costo per i rivali della propria divisione a valle, l'impresa integrata deve anche considerare la perdita di profitti dovuta alla preclusione della vendita degli *input* di produzione a tali imprese. Secondo Salinger (1988) si ha effettiva *foreclosure* soltanto quando l'integrazione verticale si risolve in un maggior prezzo del bene intermedio per le imprese non integrate; egli considera una situazione analoga a quella studiata da Ordover, Saloner e Salop e dimostra come, in presenza di ipotesi plausibili, un maggior grado di integrazione verticale possa dar luogo a prezzi decrescenti per l'*input* di produzione; in tal caso, anche il prezzo del bene finale è più basso rispetto ad una situazione caratterizzata da assenza di integrazione. A differenza di quanto affermato da Ordover, Saloner e Salop, una fusione verticale può dunque rivelarsi vantaggiosa per i consumatori finali.

In un simile contesto, ma con il produttore a monte monopolista, Rey e Tirole (2003) hanno descritto come la presenza di asimmetria informativa dia luogo ad un incentivo a comportarsi alla Cournot nell'offerta dell'*input* alle imprese a valle. Di conseguenza, i profitti del possessore di un mezzo di produzione essenziale a monte saranno minori rispetto a quelli ottenibili in condizioni di simmetria informativa. Inoltre, essendo tale perdita di profitti tanto maggiore quanto più alto è il numero di imprese a valle, la preclusione verticale da parte dell'impresa a monte diviene un'opportunità per mantenere i propri profitti di monopolio, e non più di estendere tale potere su altri mercati contigui. Rey e Tirole trovano anche che l'incentivo alla preclusione verticale dovuto all'asimmetria informativa è tanto più forte quanto meno differenziati sono i prodotti del mercato a valle, rivelando quindi un ulteriore effetto che la struttura di rete

può esercitare sulla relazione tra potere e differenziazione di mercato.

Gli incentivi alla preclusione dipendono inoltre dalla specifica localizzazione, nella rete, del collo di bottiglia che genera potere di monopolio. Infatti, considerando un'architettura rovesciata rispetto a quella appena vista, composta da due concorrenti a monte ed un monopolista a valle, quest'ultimo mantiene inalterato il proprio potere di monopolio anche in condizioni di asimmetria informativa. Con questa architettura il monopolista, al contrario del caso visto prima, non ha quindi più un incentivo alla preclusione verticale. Sempre con riferimento alla rilevanza della collocazione del monopolista, Rey e Tirole analizzano un'architettura con due imprese a monte e con asimmetrie di costi, per cui i loro *input* di produzione per le imprese a valle non sono più perfetti sostituti. In tale scenario il produttore a monte con i costi più alti rimane solo un concorrente potenziale di quello più efficiente, e, anche non vendendo i propri *input* a valle, il produttore inefficiente a monte induce una redistribuzione dei profitti attraverso gli strati di quest'industria verso i livelli finali del processo di produzione. Quando poi l'impresa a monte più efficiente è verticalmente integrata a valle, essa avrà incentivi a praticare la discriminazione di prezzo, basata sul modello di Cournot con costi asimmetrici verso l'impresa a valle non integrata. Anche in questo caso Rey e Tirole dimostrano come gli incentivi verso l'integrazione verticale siano tanto più alti: *a*) quanto meno concorrenziale è il settore a monte, e *b*) tanto più alto è il differenziale di costi tra le due imprese a monte.

Come abbiamo accennato in precedenza, una struttura a rete non solo introduce la possibilità di identificare meglio le differenze tra effetti strategici delle fusioni verticali e orizzontali ma consente anche la possibilità di analizzare altri comportamenti basati su diverse morfologie d'interazione. In particolare Higgins (1997), ha introdotto il concetto di fusioni diagonali come fusioni tra produttori di *input* di produzione e concorrenti a valle degli utilizzatori di tale *input*. Il caso è ben rappresentato dall'esempio proposto dall'autore.

Lo zinco è un *input* per l'ottone, che è a sua volta un sostit-

tuto per l'acciaio. Un venditore con il monopolio sullo zinco è vincolato, nell'alzare i propri prezzi, dalla possibile sostituibilità dello zinco da parte dei produttori di ottone, e dalla possibile sostituibilità dell'ottone da parte dei consumatori finali con l'acciaio. In tale contesto una fusione tra un produttore di zinco ed uno di acciaio non è né orizzontale, perché i due prodotti non sono diretti sostituti, né verticale, perché non sono legati allo stesso processo di produzione. Tale fusione viene quindi definita diagonale, e può avere effetti anticompetitivi. Con la fusione diagonale tra produttore di zinco e venditore di acciaio, infatti, il monopolista dello zinco potrebbe internalizzare alcuni dei vantaggi derivanti al produttore di acciaio dal rialzo del prezzo dell'ottone, di cui lo zinco è *input* essenziale, che avrebbe al contrario perso senza fusione. Il prezzo finale dello zinco potrebbe quindi essere più alto a causa della fusione diagonale e l'impatto negativo sui consumatori, sarà più forte tanto meno competitivo è il settore che lo utilizza come *input*. Giovannetti (2002) ha studiato la relazione tra differenziazione di prodotto e prezzi dell'accesso in una morfologia di rete dove si tiene conto degli effetti strategici diagonali nella formazione dei prezzi e nelle scelte d'interconnessione per un possessore di un collo di bottiglia. Giovannetti (2003) estende tale analisi per definire gli incentivi alla preclusione dovuti ad una fusione tra imprese che sono simultaneamente in competizione orizzontale ed in relazione di produzione verticale.

Tale fusione, anch'essa definita diagonale, è volta a descrivere la non connettività diretta dei flussi di traffico di Internet. Gli incentivi alla preclusione di una fusione diagonale in questo contesto dipendono dal livello di differenziazione del mercato a valle, dovuta a sua volta alle preferenze per la varietà delle modalità di accesso alla rete dei consumatori. In particolare, quando c'è poca differenziazione di prodotto non ci sono incentivi alla fusione. Con un livello poco superiore di differenziazione si ha un incentivo alla fusione ed una risultante struttura di prezzi che comporta l'uscita dal mercato in cui l'impresa era in competizione orizzontale con il possessore del collo di bottiglia (il mercato lungo il quale la fusione era orizzontale), e la continuazione dell'attività sull'altro mercato lungo il quale la fusione era verticale. In-

fine, in presenza di un alto livello di differenziazione si avrà fusione ed una risultante struttura di prezzi che mantiene operative tutte le imprese su tutti i mercati considerati.

3.5.2 Un'applicazione: interconnessione nell'Internet e scelte di *peering*

Le tematiche dei prezzi e delle condizioni dell'accesso in industrie strutturate a rete sono di particolare rilevanza per l'Internet, dove i rivenditori finali, *Internet Service Providers (ISPs)*, devono trasmettere, e ricevere, i loro flussi di traffico ad operatori situati a monte, *backbones*⁴⁸, che provvedono poi a ritrasmettere questi flussi verso i nodi-siti-agenti che rappresentano la destinazione finale del flusso originale. L'accesso ad un *input* di produzione essenziale è rappresentato, in questo caso, dal trasferimento di un flusso di traffico, secondo il protocollo Internet (I.P.). Il successo della Rete delle reti è, infatti, fortemente legato al sistema di interconnessione tra i *networks (providers)* che la costituiscono: questo, a sua volta, dipende dall'efficienza e affidabilità dei collegamenti, dalla possibilità di offrire servizi in diverse aree geografiche e, soprattutto, dalle modalità di accesso alle strutture fisiche di rete. Norton (1999) osserva come l'accesso alle strutture fisiche per l'interconnessione (indipendentemente dal fatto che questa avvenga tramite transito o *peering*) sia controllato da soggetti in competizione tra loro, e come questo limiti notevolmente la realizzazione di economie di scala. Partendo da questa osservazione, Norton definisce un modello ideale in cui i *carriers* vendono circuiti agli ISPs che, a loro volta, si scambiano il traffico attraverso relazioni di transito o di *peering*. Questo modello costituisce un'evoluzione teorica dell'*Exchange-Based Model*, caratterizzato da un punto d'incontro dove i diversi ISPs possono scam-

⁴⁸ Tali gerarchie non sono rigide nell'Internet, dove, infatti, si può avere un rovesciamento delle gerarchie iniziali, dato che la connessione non ha luogo attraverso una linea dedicata (GIOVANNETTI E., 2004). Questo fa sì che esistano diverse modalità di accesso, alcune propriamente gerarchiche come il transito ed altre più cooperative come il *peering*.

biarsi il traffico; lo schema opposto è invece quello che caratterizza il *Direct Circuit Interconnection Model*, dove tutti gli ISPs scambiano traffico attraverso relazioni dirette non mediate.

La prima morfologia è dunque costituita da un *network* a stella, in cui il giocatore centrale si comporta da coordinatore, mentre la seconda definisce un *network* completo.

Norton dimostra come la prima architettura sia più efficiente e permetta non solo di superare il problema relativo all'accesso ma anche di raggiungere una maggiore efficienza dell'interconnessione (si pensi, ad esempio, al vantaggio che si ha nel gestire circuiti centralizzati rispetto a circuiti dislocati in molte località differenti).

In precedenza abbiamo visto come Laffont, Marcus, Rey e Tirole abbiano affrontato il problema dell'accesso in relazione ad operatori di *backbone* dell'Internet. Adesso valutiamo la loro analisi relativa al problema del *peering* tra *backbone* e ISP nell'Internet. Gli autori si chiedono quali siano gli incentivi per un cliente dei *backbones* nel sostituire un contratto di transito con uno di *peering*. In particolare, si assume che, mentre i *backbones* sono perfettamente sostituibili per i consumatori finali, essi siano invece differenziati orizzontalmente rispetto ai siti *web*. Gli autori considerano un gioco in cui:

- 1) nel primo periodo i due *backbones* entrano in un accordo di *peering* a pagamento con tariffa di accesso a ;
- 2) nel secondo stadio un particolare ISP fa un'offerta di *peering* a pagamento da prendere o lasciare ai due *backbones*,
- 3) nel terzo stadio del gioco i *backbones* fanno un'offerta da prendere o lasciare agli altri ISPs e siti *web*.

In tale modello, un *backbone* non perde mai la sua interconnettività facendo *peering* con l'altro *backbone*. Quindi anche se un *backbone* non è connesso direttamente con un ISP, sarà comunque connesso ai suoi clienti indirettamente attraverso il proprio accordo di *peering* con l'altro *backbone* e la relazione di transito tra l'altro *backbone* e questo ISP.

Se un ISP costituisce una relazione di *peering* con uno dei due *backbones*, quest'ultimo offrirà un servizio nettamente migliore di quello offerto dall'altro. L'ISP può dunque sfruttare que-

sta situazione ed offrire di pagare una tariffa di *peering* più bassa rispetto al costo *off net* da pagare per il transito. Il *peering* in questo caso riduce i margini di profitto del *backbone*, dovuti al suo potere di mercato.

4. - Formazione endogena dei *networks*

I principali modelli di formazione endogena di *network* possono essere distinti tra diversi approcci:

a) un approccio puramente cooperativo, che si caratterizza per il fatto che la formazione di ciascun legame segue un processo di tipo bilaterale, ovvero entrambi gli individui devono essere d'accordo sulla costituzione del legame stesso;

b) un approccio puramente non cooperativo che invece, prevede la formazione di legami unilaterali, ovvero ciascun individuo può collegarsi ad un altro senza la necessità che questo sia d'accordo;

c) un approccio "misto" alla formazione del *network* che, infine, si pone in posizione intermedia, combinando diversi elementi delle due teorie indicate sopra.

4.1 *L'approccio cooperativo*

L'approccio cooperativo⁴⁹ alla formazione dei *networks* fonda le sue radici nella teoria della formazione delle coalizioni. A differenza di quest'ultima, che studia la struttura esterna delle coalizioni ovvero l'allocazione dei vari individui in questa o quella coalizione, la teoria cooperativa della formazione dei *networks* fa un passo avanti, con il lavoro di Myerson (1977), considerando l'insieme delle componenti di comunicazione⁵⁰ all'interno di ciascuna coalizione.

⁴⁹ È necessario il consenso di entrambi gli individui affinché possa essere costituito un legame tra di essi.

⁵⁰ MYERSON R.B. (1977) ha definito una "struttura di comunicazione" (N, L) come l'insieme dei giocatori, N , e dei legami, L , risultato di accordi bilaterali tra gli individui stessi.

Il lavoro di Myerson è stato seguito da una vasta letteratura relativa al processo di formazione dei *networks* nell'ambito di un'ottica cooperativa. I principali risultati sono quelli ottenuti da Aumann e Myerson (1988), Dutta, van den Nouweland e Tijs (1998), Calvo, Lasaga, e van den Nouweland (1999), Slikker e van den Nouweland (2000; 2001), e altri⁵¹. In particolare, Aumann e Myerson (1988) introducono un gioco a due stadi: nel primo stadio si ha il processo dinamico di formazione dei legami, che fornisce la struttura di cooperazione; nel secondo stadio i *payoff* dei giocatori sono assegnati partendo dal valore del *network* secondo una regola esogena.

Dutta, van den Nouweland e Tijs (1998) considerano un diverso modello di gioco a due stadi. Come in Aumann e Myerson (1988), i legami sono formati nel primo stadio, mentre nel secondo i *payoff* dei vari giocatori sono determinati seguendo una data (esogena) regola di allocazione. Tuttavia vi sono alcune differenze. Innanzitutto il processo di formazione dei legami, che avviene nel primo stadio, è un processo statico; coerentemente, a differenza di Aumann e Myerson, che modellano il gioco seguendo l'approccio in forma estesa, Dutta *et Al.* rappresentano il gioco in forma normale; ciascun giocatore annuncia (simultaneamente) a quali altri giocatori desidera essere collegato: un legame tra due giocatori si forma se vi è la volontà di entrambi.

Sia Aumann e Myerson (1988) che Dutta *et Al.* (1998) adottano l'ipotesi che costituire dei legami di comunicazione sia privo di costi espliciti (i costi potrebbero infatti essere implicitamente compresi nel meccanismo di allocazione). Slikker e van den Nouweland (2000) invece introducono espressamente la presenza di costi fissi di costituzione dei legami e mostrano, sempre all'interno di un contesto puramente cooperativo, gli effetti della presenza e dell'intensità di tali costi.

Calvo, Lasaga e van den Nouweland (1999) estendono il modello di Myerson (1977), superando l'ipotesi di grafo deterministico e introducendo invece il concetto di grafo probabilistico. Slikker e van den Nouweland (2001) introducono un modello ad

⁵¹ V. VAN DEN NOUWELAND A. (2004) per una dettagliata rassegna.

unico stadio, nel quale la struttura di cooperazione e la suddivisione dei *payoff* vengono determinati simultaneamente.

4.2 La stabilità a coppia

Jackson e Wolinsky (1996) hanno introdotto un modello di formazione di *networks* basato sul concetto della stabilità a coppia. Essi considerano un processo di formazione del *network* di tipo bilaterale: da un lato, entrambi gli agenti devono essere d'accordo affinché un legame tra di loro venga formato, e dall'altro l'eliminazione di un legame può essere fatta anche unilateralmente. Jackson e Wolinsky definiscono un *network*, g , come "stabile a coppia" (*pairwise stable*) se per ogni due agenti tra i quali già esiste un legame nessuno dei due ha un incentivo a scioglierlo, e per ogni coppia di agenti tra i quali non esiste un legame non si verifica mai che entrambi hanno convenienza a formarne uno.

Formalmente sia data la tripletta $(N, v, \{Y_i\})$ dove N è l'insieme finito dei giocatori e $v : G \rightarrow R$ è la funzione⁵² che indica il valore del generico *network* g e $Y_i(v, g)$ descrive in che modo il valore associato a ciascun *network* g , viene distribuito al giocatore i . Inoltre sia $ij \in g$ la notazione che indica che i e j sono direttamente collegati, dove $\{ij\}$ rappresenta proprio il legame tra i e j , mentre $ij \notin g$ indica il contrario. Definendo $g + ij$ come un *network* cui viene aggiunto un legame tra i e j , e $g - ij$ come un *network*, g , da cui è stato eliminato un legame tra i e j , la definizione di un *network* con stabilità a coppia è formalizzata dalle due condizioni:

$$(3) \quad \forall ij \in g, \text{ si ha: } Y_i(g, v) \geq Y_i(g - ij, v)$$

$$\text{e:} \quad Y_j(g, v) \geq Y_j(g - ij, v)$$

⁵² È peraltro proprio il fatto che la funzione v , sia definita sull'insieme dei grafi possibili, G , che fa sì che sia la morfologia delle connessioni che determina il valore reale di ogni *network*, e non il solo fatto di parteciparvi. Questo è importante per catturare la rilevanza della struttura di un *network*.

$$(4) \quad \forall ij \notin g, \quad \text{se } Y_i(g + ij, v) \geq Y_i(g, v)$$

$$\text{si ha:} \quad Y_j(g + ij, v) < Y_j(g, v)$$

Una volta analizzati gli incentivi a mantenere una data morfologia dell'interazione tra gruppi di individui, con il criterio della stabilità a coppia, si pone ovviamente il problema della desiderabilità di tali configurazioni di equilibrio. In particolare, non sempre le morfologie efficienti (cioè quelle che massimizzano la somma dei *payoff* dei singoli giocatori) risultano "stabili a coppia". Jackson e Wolinsky hanno presentato due tipologie di modelli: una caratterizzata da esternalità positive di rete, il modello delle connessioni, ed una da esternalità negative, il modello dei co-autori.

4.2.1 Il modello delle connessioni

Questo è basato sull'idea delle esternalità positive derivanti dall'essere in contatto con un numero ampio di persone, i costi sono solo relativi ai legami diretti mentre i benefici sono decrescenti nella distanza tra individui. Queste caratteristiche sono catturate da una funzione di *payoff* del tipo

$$\pi_i(g) = w_{ii} + \sum_{j \neq i} \partial^{t_{ij}} w_{ij} - \sum_{j:ij \in g} c_{ij}$$

dove w_{ij} è il beneficio della connessione tra i e j per i , t_{ij} è la distanza geodesica tra i e j , $\partial \in [0, 1]$ è il tasso di decadimento della trasmissione dell'informazione e c_{ij} il costo per la formazione del *link* tra i e j . Il problema posto dagli autori è quello di verificare le condizioni di stabilità a coppia e di efficienza⁵³ di tale modello. Il risultato principale presentato da Jackson e Wolinsky è che esiste un'unica architettura efficiente di rete, ma la sua morfologia dipende dal costo di stabilire un legame, c . In particolare,

⁵³ In particolare abbiamo che un *network* è (fortemente) efficiente se massimizza la somma dei *payoff* dei giocatori, rispetto all'insieme di tutti i *networks* possibili.

in un modello simmetrico in cui $w_{ii} = 0$, $c_{ij} = c$, $w_{ij} = w$, si ha che per valori bassi del costo del legame l'unica architettura efficiente è il grafo completo, per valori intermedi è il grafo a stella, e per valori più alti del costo del legame, il grafo vuoto (vi è, cioè, assenza di connessioni). La stabilità a coppia per una data morfologia dipende anch'essa dal costo dell'instaurazione del legame: il grafo completo è stabile a coppia per bassi costi; il *network* a stella è stabile per un intervallo intermedio di costi (ma non è necessariamente l'unica morfologia stabile) e, come prima, il *network* vuoto è stabile per costi maggiori del legame⁵⁴. Il fatto che la regione per cui il *network* vuoto è stabile sia più ampia di quella per cui esso è efficiente è dovuto alla non internalizzazione, nelle scelte bilaterali, delle esternalità positive dei legami indiretti che caratterizzano questo modello.

4.2.2 Il modello dei coautori

Quest'altro modello rappresenta al contrario una situazione caratterizzata da esternalità negative. Ogni autore ha un'unità di tempo che suddivide equamente tra progetti diversi; il profitto associato ad ogni progetto al quale partecipa deriva dal tempo congiunto dedicatogli dai due coautori,

$$\left[\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right]$$

e da una sinergia d'interazione $1/n_i n_j$; questo è il fattore che genera esternalità negativa. La funzione di *payoff* del giocatore i , relativa alla somma dei progetti a cui partecipa, è data da:

$$\pi_i(g) = \sum_{j:ij \in g} \left[\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} + \frac{1}{n_i n_j} \right]$$

In tale contesto gli autori dimostrano che il grafo efficiente si ottiene quando il *network* è composto da $N/2$ coppie separate di coautori. Per quanto riguarda invece la stabilità a coppia, si di-

⁵⁴ In molti casi, dunque, efficienza e stabilità coincidono.

mostra che gli autori hanno un incentivo a formare legami solo con coloro i quali hanno meno legami di loro. In questo caso un tipico risultato è che alla stabilità di coppia sarà associato un numero troppo elevato di connessioni, come nel *network* completo, rispetto ad una morfologia plausibilmente più efficiente, come quella del *network* a stella⁵⁵.

In questi esempi si manifesta una discrepanza tra incentivi individuali alla formazione dei legami, come richiesto nelle condizioni di stabilità a coppia, ed efficienza globale. Tale conflitto dipende sia dalla natura della “funzione di valore” che dalle condizioni imposte sulla “regola di allocazione”. Una ricca letteratura si sta sviluppando (Jackson, 2003) sulle proprietà di particolari classi “funzioni di valore”, e su diverse nozioni di efficienza per verificare le condizioni per le quali è possibile coniugare stabilità a coppia ed efficienza.

4.3 *Estensioni*

La nozione di “stabilità a coppia” considera deviazioni che riguardano un singolo legame (e quindi al massimo due giocatori) per volta. Potrebbe tuttavia accadere che, dato un certo *network* g , nessun giocatore tragga vantaggio dall’eliminazione di un solo legame (qualsiasi) ma che invece tragga vantaggio dall’eliminarne diversi insieme. Un *network* del genere, sebbene rispetti la condizione di “stabilità a coppia”, è tutt’altro che stabile. Inoltre, considerando solo interazioni che coinvolgono ogni volta al massimo due giocatori, potrebbe accadere che, dato un certo *network* g , nessuna coppia di giocatori abbia interesse a riorganizzare i loro legami mentre, allo stesso tempo, in un gruppo di più giocatori tutti abbiano vantaggio nel riorganizzare simultaneamente i loro legami. Anche questo *network*, sebbene rispetti la “stabilità a coppia”, non è generalmente stabile.

Un rafforzamento del concetto di “stabilità a coppia”, che con-

⁵⁵ Questo è un tipico risultato della non internalizzazione delle esternalità negative dovute alla congestione dei progetti per autori sovra-impegnati.

sidera la possibilità che coalizioni di giocatori (e non più solamente una coppia di giocatori al massimo) possano deviare è stato fornito inizialmente da Dutta e Mutuswami (1997) e, in seguito, anche da Jackson e van den Nouweland (2001). A questi ultimi è dovuta la nozione di “stabilità forte”.

Sia $S \subset N$ una coalizione di giocatori, e sia $g \in G$ il *network* di partenza. Un *network* $g' \in G$ è ottenibile da g a seguito della deviazione della coalizione S se ogni nuovo legame che viene aggiunto riguarda esclusivamente giocatori che appartengono alla coalizione S e se per ciascun legame che viene eliminato almeno uno dei due giocatori coinvolti appartiene alla coalizione. Un *network* g è “fortemente stabile” se, data una funzione valore v e una regola di allocazione Y , per ogni $S \in N$, g' che è ottenibile da g tramite deviazioni della coalizione S , e $i \in S$ tale che $Y_i(g', v) > Y_i(g, v)$, allora esiste un giocatore $j \in S$ tale che $Y_j(g', v) < Y_j(g, v)$. Questa definizione di stabilità comprende dunque anche il concetto di “stabilità a coppia” (che emerge appunto quando si considerano solo coalizioni di ordine due) del quale fornisce quindi un notevole potenziamento. Il concetto di “stabilità forte” trova una sua naturale applicazione in *networks* di piccole dimensioni, dove i giocatori hanno notevoli informazioni circa la struttura complessiva del *network* e i potenziali *payoff* dei giocatori, e possono coordinare le loro azioni.

Watts (2001) estende il modello (statico) di Jackson e Wolinsky considerando la formazione del *network* in un contesto dinamico. In particolare, definisce una procedura sequenziale basata sull'aggiunta o sull'eliminazione progressiva di un legame alla volta, a partire da una data configurazione iniziale fino a quando si hanno miglioramenti paretiani per gli agenti. Tale processo descrive effettivamente la morfogenesi di un *network* che avrà anche “stabilità a coppia”. Jackson e Watts (2002) hanno introdotto perturbazioni stocastiche al processo di formazione, o rescissione dei legami esistenti cosicché il processo non converga verso forme che possono avere proprietà di ottimalità locale.

Un'ultima rilevante generalizzazione è dovuta a Johnson e Gilles (1999) che introducono l'ipotesi di eterogeneità spaziale degli

individui, attraverso l'assunzione di una funzione di costo d'instaurazione di un legame positivamente correlata alla loro distanza.

4.4 *Modelli non-cooperativi di formazione dei networks*

La prima versione non cooperativa di un modello di formazione del *network* viene sviluppata in due lavori di Bala e Goyal (2000a e 2000b). In questo contesto ciascun individuo può formare e recidere legami unilateralmente: rispetto all'approccio cooperativo e a quello basato sul concetto di "stabilità a coppia" non è più richiesto il consenso reciproco alla formazione del legame. Ciascun giocatore definisce quindi una strategia dove indica a quali dei restanti $n - 1$ individui si legherà, basandosi esclusivamente sul costo del singolo legame e sui benefici che comporta. Il modello di formazione del *network* è dunque di tipo "unilaterale".

Bala e Goyal (2000a) considerano un insieme di individui nel quale ciascuno ha la possibilità di formare legami che lo legano ad altri del gruppo. Essere collegati ad altri individui è vantaggioso, poiché i legami trasmettono preziose informazioni (considerate non rivali). In particolare, i benefici per il generico giocatore i sono una funzione monotona crescente del numero di individui ai quali è collegato, sia direttamente attraverso i legami che esso stesso mantiene, sia indirettamente attraverso un sentiero di legami mantenuti da altri. I legami diretti hanno naturalmente un costo, sostenuto da colui che lo costituisce⁵⁶. Il flusso delle informazioni può seguire due meccanismi diversi. Supponiamo che A abbia costituito un legame con B , e che quindi ne abbia sostenuto i costi. Nel primo scenario, che caratterizza i cosiddetti "modelli a flussi unidirezionali", l'informazione fluisce solamente da B verso A . Nel secondo, tipico dei cosiddetti "modelli a flussi bidirezionali", l'informazione fluisce in entrambe le direzioni.

⁵⁶ Si fa invece l'ipotesi di *free riding* per l'utilizzo di *links* "altrui".

4.4.1 Nash networks

In tale contesto Bala e Goyal (2000a) definiscono un “gioco di network” $\Gamma = (N, \{G_i\}, \{\Pi_i\})$, dove $\{N = 1, \dots, n\}$, con $n \geq 3$, è l'insieme dei giocatori e G_i è l'insieme delle strategie per il generico giocatore i . La strategia pura per il giocatore i è un vettore $g_i = (g_{i1}, \dots, g_{ii-1}, g_{ii+1}, \dots, g_{in}) \in G_i$, tale che $g_{ij} \in [0, 1] \forall j \in N \setminus \{i\}$ ⁵⁷, e Π_i sono i *payoff*.

Un *network* è generato da un profilo di strategie $g \in G$, dove $G = G_1 \times \dots \times G_n$. Un Nash *network* è allora un profilo di strategie $g^* \in G$ equilibrio di Nash del gioco Γ , cioè tale che

$$(5) \quad \Pi_i(g_i^*, g_{-i}^*) \geq \Pi_i(g_i, g_{-i}) \quad \forall g_i \in G_i \quad \forall j \in N$$

L'ipotesi di Bala e Goyal (2000a) è che la funzione di *payoff* di ogni giocatore dipenda dalla numerosità di legami diretti ed indiretti stabiliti. In particolare, sia $N^d(i, g)$ l'insieme dei giocatori con i quali i ha costituito un legame, e sia $N(i, g)$ l'insieme dei giocatori con i quali i è collegato, direttamente o indirettamente tramite un sentiero di legami. Il numero degli elementi contenuti in ciascun insieme è dato rispettivamente da $|N^d(i, g)| = \mu_i^d(g)$ e $|N(i, g)| = \mu_i(g)$, allora la funzione di *payoff* del gioco $\Pi_i(g_i) = \Phi(\mu_i(g), \mu_i^d(g))$ sarà, *ceteris paribus*, crescente nel numero totale dei giocatori osservati e decrescenti nel numero dei legami formati⁵⁸.

⁵⁷ $g_{ij} = 1$ indica che il giocatore i costituisce un *link* con il giocatore j , mentre $g_{ij} = 0$ indica il contrario. Essendo $n - 1$ i giocatori con i quali il generico giocatore i può costituire un *link*, avremo $|G_i| = 2^{n-1}$.

⁵⁸ Il costo complessivo sostenuto da ciascun giocatore è infatti dato da $c\mu_i^d(g)$, dove c è l'investimento per la costituzione di un singolo legame. Una generalizzazione di questa funzione di costo è dovuta a VERGARA CAFFARELLI F. (2004). Egli considera il modello con archi unidirezionali e introduce una componente di costo relativa al mantenimento del *network*; tale costo è una funzione crescente e convessa del numero degli agenti osservati, e non dipende direttamente dal numero di legami formati. Vergara Caffarelli dimostra che il processo di formazione del *network* converge verso architetture di equilibrio la cui componente fondamentale è definita da una ruota stellata, dove gli agenti periferici osservano solamente quelli che compongono la ruota. Coerentemente con le ipotesi sul costo di mantenimento del *network*, la connettività del *network* di equilibrio non è un risultato auspicabile.

4.4.2 Proprietà dei Nash *networks*

In presenza dell'ipotesi di non deterioramento dell'informazione, Bala e Goyal dimostrano le seguenti proprietà:

1) nel caso di “modelli unidirezionali” un Nash *network* è “vuoto” oppure è “minimamente connesso”⁵⁹; 2) nel caso di “modelli bidirezionali”, un Nash *network* è o “vuoto” o “minimamente bidirezionalmente connesso”. Dunque, in entrambi gli scenari di trasmissione dell'informazione, in un Nash *network* o nessun giocatore è collegato a qualsiasi altro oppure sono tutti collegati tra loro, con la proprietà ulteriore che non vi sono legami ridondanti.

Bala e Goyal mostrano che, in generale, il numero dei Nash *networks* è elevatissimo. Il raffinamento (quasi naturale) del concetto di Nash *network* che introducono per superare tale problema conduce alla nozione di *strict Nash network*, cioè un *network* ottenuto in corrispondenza di uno *strict Nash equilibrium*⁶⁰. L'insieme degli *strict Nash networks* costituisce un sottoinsieme piuttosto ristretto dei Nash *networks*. Bala e Goyal dimostrano che: a) nel caso di “modelli unidirezionali” uno *strict Nash network* è o “vuoto” oppure una ruota; b) nel caso di “modelli bidirezionali” uno *strict Nash network* è ancora o vuoto oppure un *network* a stella sponsorizzato dal centro.

Il valore dei risultati associati al modello appena descritto ri-

⁵⁹ Un *network* g si dice connesso se ciascun giocatore è collegato a ciascun altro, direttamente o indirettamente tramite un “sentiero”. Si dice inoltre minimamente connesso se è connesso ed ogni coppia di giocatori è collegata tramite un solo sentiero.

Questo risultato può essere compreso partendo dalla considerazione di Nash *network* non vuoto è disconnesso. Dato un agente i che ha il massimo numero di connessioni (unidirezionali) ed un agente j a cui i non è connesso, ne segue che j stesso non è connesso ad i , altrimenti egli sarebbe, almeno indirettamente connesso a più agenti di i stesso, il che viola la prima assunzione. In questo scenario però j avrebbe un incentivo ad eliminare tutti i suoi legami diretti ed a legarsi unicamente ad i , ottenendo così più connessioni ad un costo minore. L'unico *network* non vuoto che resiste a questa obiezione è un *network* connesso, in cui quindi l'agente i è connesso a tutti gli altri agenti. La connessione deve però essere minimale perché altrimenti ogni altro agente potrebbe eliminare i propri legami ed essere ancora connesso attraverso i a tutti gli altri.

⁶⁰ Dato un gioco non cooperativo $\Gamma = (N, \{S_i\}, \{u_i\})$, il profilo di strategie $s^* = [s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*]$ è *strict Nash equilibrium* se $u_i(s_i^*, s_{-i}^*) > u_i(s_i, s_{-i}^*) \quad \forall s_i \in S_i, \quad \forall i \in N$.

sente però fortemente dell'ipotesi di assenza di deterioramento dell'informazione. L'assunzione secondo la quale l'informazione ottenuta attraverso legami indiretti ha lo stesso valore di quella ottenuta mediante legami diretti, è, infatti, molto forte. Gli stessi Bala e Goyal (2000a) estendono il loro modello ammettendo l'ipotesi di deterioramento dell'informazione. In particolare, assumendo pari a δ il valore informativo derivante dall'essere collegato direttamente ad un individuo, il valore dell'informazione ottenuta da un soggetto che si trova alla distanza geodesica, d è definito da δ^d .

Nel caso di "modelli unidirezionali" Bala e Goyal dimostrano che in presenza di "decadimento dell'informazione" un Nash network "non vuoto" non è necessariamente connesso; ovviamente l'analisi è più complessa, e la definizione di regole paga il prezzo di una minore generalità. In particolare, Bala e Goyal considerano la funzione di *payoff* lineare del tipo:

$$\Pi_i(g) = 1 + \sum_{j \in N(i,g) \setminus \{i\}} \delta^{d(i,j,g)} - \mu_i^d(g)c$$

e mostrano che, in presenza di tale *payoff*, ciascun *strict Nash network* è "connesso" oppure "vuoto". Analogamente, nel caso di "modelli bidirezionali" la funzione di *payoff* considerata è data da:

$$\Pi_i(\bar{g}) = 1 + \sum_{j \in N(i,\bar{g}) \setminus \{i\}} \delta^{d(i,j,\bar{g})} - \mu_i^d(\bar{g})c$$

Bala e Goyal mostrano che in tale caso ciascun *strict Nash network* è "connesso" oppure "vuoto". Bala e Goyal (2000b) estendono Bala e Goyal (2000a) abbandonando l'ipotesi di "perfetta affidabilità" assumendo, in un contesto di archi bidirezionali, che ciascun legame costituito può fallire con una data probabilità. L'ipotesi di "imperfetta affidabilità" del *network* è ovviamente più realistica. In termini formali, l'affidabilità di ciascun legame è misurata da un parametro $p \in (0,1)$, identico per ogni legame. Tale parametro rappresenta la probabilità che il legame costituito effettivamente assicuri il passaggio di informazioni tra gli agenti che

sono collegati; di conseguenza, la probabilità che il legame fallisca è pari ad $1-p$. Come nel modello con perfetta affidabilità, un *network* è un profilo di strategie $g \in G$, ma con un'importante differenza: ciascun *network* adesso è stocastico⁶¹. Il risultato principale è che a causa dell'inaffidabilità dei singoli legami i *networks* risultanti avranno una ridondanza di legami, e tanto più cresce il numero di agenti tanto più le risultanti architetture di equilibrio saranno "superconnesse"⁶².

Entrambi i lavori di Bala e Goyal (2000a), (2000b) analizzati precedentemente considerano agenti omogenei. Haller e Sarangi (2003) sviluppano invece un modello non cooperativo di formazione del *network* che generalizza Bala e Goyal (2000b): come questi essi definiscono il *network* come una serie di legami probabilistici⁶³ ma introducono l'ipotesi più generale di eterogeneità degli agenti⁶⁴ assumendo che la probabilità di successo di legami che legano individui differenti sia non più uguale. Essi dimostrano come il risultato di Bala e Goyal (2000b), secondo il quale i Nash *networks* sono o vuoti o connessi, rimane valido quando le probabilità di fallimento di un legame non sono troppo diverse tra coppie di agenti diversi. In presenza di maggiore

⁶¹ Il *payoff* atteso sarà quindi dato dalla differenza tra i benefici della connessione ed i costi della connessione attraverso legami diretti:

$$\pi_i(g) = B_i(g) - \mu_i^d(g)c$$

(ma ora i benefici sono espressi in termini di valore atteso data la possibilità di fallimento dei singoli legami; tale valore atteso è calcolato su tutti i possibili *networks* che si possono ottenere a partire da quello originale. In tale situazione avremo che se nessun legame fallisce, l'insieme dei profili delle strategie degli agenti produrrà un grafico unidirezionale come nel modello precedente con legami affidabili, nel caso in cui invece qualche legame dovesse fallire avremo che il *network* risultante sarà ovviamente un sottoinsieme di quello originale.

⁶² Un *network* "connesso" si dice "superconnesso" se esiste almeno un *link* tale che anche dopo la sua eliminazione il *network* rimane "connesso".

⁶³ I cosiddetti "grafi aleatori", presenti in questi due lavori, erano stati precedentemente utilizzati per modellare opportunità di comunicazione tra imprese all'interno di mercati molto ampi (KIRMAN A.P., 1983; KIRMAN A.P. et AL., 1986; HALLER H., 1990; IOANNIDES Y.M., 1990); anche CALVO E. - LASAGA J. - VAN DEN NOUWELAND A. (1999) introducono l'ipotesi di "grafi probabilistici", applicandola tuttavia in un contesto di formazione del *network* puramente cooperativo.

⁶⁴ Tale ipotesi di eterogeneità è quasi completamente ignorata dalla letteratura, con poche eccezioni; tra queste vi è il lavoro di JOHNSON C. - GILLES R.P. (1999). Tuttavia, a differenza di Johnson e Gilles, che utilizzano il concetto di *pairwise stability*, il lavoro di HALLER H. - SARANGI S. (2003) rientra nella letteratura sui Nash *networks*.

eterogeneità tra gli agenti, Haller e Sarangi dimostrano che i *networks* di equilibrio possono anche essere parzialmente connessi⁶⁵.

Haller e Sarangi affrontano anche le critiche che sono portate all'approccio non cooperativo. In particolare, forniscono anche un'estensione del modello introducendo l'ipotesi di informazione incompleta e trovando che legami ridondanti vengono costituiti quando le "credenze" circa le probabilità di legami indiretti sono più basse delle probabilità effettive. Un altro modello che introduce l'ipotesi di eterogeneità degli agenti sempre nello stesso contesto introdotto da Bala e Goyal (2000b) di legami unidirezionali e flussi di informazione bilaterali senza decadenza dell'informazione è quello di Galeotti e Goyal (2002). Ipotizzando l'eterogeneità tra gli agenti non nelle probabilità di fallimento del legame, ma direttamente nei costi e benefici ottenuti dal legame stesso attraverso la funzione di *payoff*

$$\pi_i(g) = \sum_{j \in N(i,g)} b_{ij} - \sum_{j \in N^d(i,g)} c_{ij}$$

essi dimostrano che ogni *network strict Nash* è minimale⁶⁶. Questo risultato si può comprendere per contraddizione; si supponga che ci sia un *network Nash* non minimale, quindi ci sarà un giocatore i , collegato a due giocatori, j e k , che sono anche collegati tra di loro. Data la mancanza di decadimento dell'informazione il giocatore i potrebbe eliminare il suo legame verso j

⁶⁵ In particolare sia p_{ij} la probabilità di fallimento di un legame tra agente i e j . L'intera popolazione sarà allora caratterizzata da una matrice di queste probabilità $P = [p_{ij}]$. Data questa matrice essi provano che esiste un costo massimo della formazione del legame, funzione di questa matrice, sotto il quale il *network* completo è un *Nash strict*. Essi dimostrano anche che se tale costo di formazione del legame è superiore al valore massimo della probabilità di fallimento del legame nella popolazione, $c > \max\{p_{ij}\}$, allora il *network* vuoto sarà un *Nash strict* del sistema. Per i casi intermedi sono richieste più assunzioni.

⁶⁶ Dato un *network* g , diciamo che $C \subset N$ è un "componente" di g se e solo se tutti gli individui che appartengono a tale insieme C sono collegati tra loro (direttamente o indirettamente), mentre nessuno di questi possiede alcun legame con individui non appartenenti a C . Indicando con $\#C(g)$ il numero dei suoi "componenti", un *network* g si dice "minimale" se $\#C(g) < \#C(g - g_{i,j}) \forall g_{i,j} = 1$, dove $\#C(g - g_{i,j})$ è il numero di "componenti" di g quando viene rimosso il *link* tra i e j .

e continuare ad osservare j con la stessa efficacia, attraverso il legame indiretto passante per k . Tale deviazione incrementerebbe quindi il *payoff* del giocatore i . Per questo un Nash *network* deve essere minimale. Questo è un risultato rilevante perché implica che l'essere un Nash *strict*, non restringe la classe delle architetture di equilibrio oltre alla minimalità delle connessioni. Allo stesso tempo Galeotti e Goyal dimostrano anche che dato un *network* minimale esisterà una lista di costi e benefici individuali per l'intera popolazione per cui tale architettura è anche Nash⁶⁷. Una minore generalità del modello è il prezzo da pagare per ottenere classi più ristrette di architetture di equilibrio. In particolare con benefici eterogenei e costi la cui eterogeneità dipende solo dal giocatore che paga per il legame, e non quindi dall'identità di colui verso il quale il legame viene costruito, si dimostra che un *network strict* Nash può esclusivamente essere: una stella sponsorizzata dal centro, una collezione di tali stelle o il *network* vuoto.

4.4.3 Altri sviluppi

L'ipotesi di formazione del *network* di tipo "unilaterale" non include situazioni in cui è necessario il consenso di entrambi gli individui per la costituzione del "legame" e dà luogo inoltre al problema della possibile presenza di legami ridondanti nei "modelli con flussi bidirezionali". Una diversa e recente alternativa che combina aspetti dell'approccio non-cooperativo con quello cooperativo, è stata proposta da Goyal e Joshi (2003b), con un modello in cui la nozione di stabilità a coppia è definita come un raffinamento dell'equilibrio di Nash. In questo lavoro i giocatori (*ex ante* identici) scelgono simultaneamente con quali dei restanti individui intendono formare legami⁶⁸: questi si formano esclusiva-

⁶⁷ Per cui una classe molto larga di architetture di rete può essere un equilibrio (ora Nash non *strict*), per una scelta appropriata di costi e benefici individuali.

⁶⁸ L'elemento dell'annuncio dei *link* desiderati è stato introdotto per la prima volta nel modello di DUTTA B. - VAN DEN NOUWELAND A. - TIJS S. (1998).

mente se entrambi gli individui interessati lo desiderano. L'insieme dei legami così formati definisce allora il *network*, mediante un "grafo non direzionale". Il gioco di *network* $\Gamma(f)$ riproduce quello definito da Bala e Goyal (2000a), con la differenza che adesso una strategia pura per il giocatore i è data dal vettore di legami desiderati $s_i = (s_{i1}, \dots, s_{ii-1}, s_{ii+1}, \dots, s_{in}) \in S_i$. Il concetto di stabilità definito da Goyal e Joshi (2003b) è un raffinamento del concetto di equilibrio di Nash. In particolare, dato il gioco in forma normale $\Gamma(f)$, un profilo di strategie $s^* = \{s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*\}$ è un equilibrio di Nash se:

$$\Pi_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq \Pi_i(s_i, s_{-i}^*) \quad \forall s_i \in S_i, \quad \forall i \in N$$

Un tale concetto di equilibrio comporta però il problema che il "grafo vuoto" risulta sempre un equilibrio di Nash dato che è sempre necessario il consenso di entrambi i giocatori per la formazione di un legame, e questo evidentemente comporta che è sempre risposta mutuamente ottimale non offrire di formarlo.

La soluzione che Goyal e Joshy propongono è molto interessante, e consiste nell'inserire la condizione aggiuntiva di "stabilità a coppia". Un *network* g , sarà "di equilibrio con stabilità a coppia" (*pairwise stable equilibrium*) quando valgono entrambe le seguenti:

- a) esiste un profilo di strategie equilibrio di Nash del gioco $\Gamma(f)$ che supporta g ;
- b) $\forall g_{i,j} = 0$

si ha: $\Pi_i(g + g_{i,j}) - \Pi_i(g) > f \Rightarrow \Pi_j(g + g_{i,j}) - \Pi_j(g) < f$

dove f è il costo che ciascun giocatore sostiene quando si lega ad un altro.

Si noti come la condizione b esprima solamente la seconda delle due proprietà che definiscono il concetto di "stabilità a coppia" di Jackson e Wolinsky. Infatti, la prima è compresa nel concetto stesso di equilibrio di Nash: se il legame tra i e j esiste in g , essendo g supportato da un equilibrio di Nash, significa che nessun individuo ha interesse a cambiare unilateralmente strategia, e quindi ad eliminare un legame già esistente. Viceversa, la

condizione b è fondamentale perché assicura che il *network* vuoto non sia sempre una soluzione di equilibrio⁶⁹.

In generale, un *network* supportato da un equilibrio di Nash in cui uno o più legami non vengono formati non è considerato stabile secondo il concetto di Goyal e Joshy se, per almeno una coppia di giocatori non collegati, entrambi hanno un incentivo a formare un legame⁷⁰. I *networks pairwise stable equilibrium* costituiscono dunque un sottoinsieme dei *networks* supportati da un equilibrio di Nash del gioco $\Gamma(f)$.

4.4.4 Applicazioni

L'importanza delle reti nell'interazione tra agenti economici è messa in evidenza da Kranton e Minehart (2001) che studiano le proprietà di un'economia in cui compratori e venditori interagiscono direttamente attraverso precise relazioni di natura bilaterale: una "rete" in luogo del mercato, dunque. Gli autori trovano che, anche quando gli agenti economici danno luogo ad un'allocazione efficiente, non sempre è tale anche la struttura dei collegamenti formati tra loro. Kranton e Minehart (2000) analizzano la morfologia delle reti che collegano vari produttori di beni finali con diversi fornitori di *input*, sotto l'ipotesi che ciascuna delle imprese produttrici di beni finali si trovi a fronteggiare una situazione di incertezza relativa al livello della sua domanda futura. Essi dimostrano che, se l'incertezza è elevata e mantenere una certa capacità produttiva è costoso, reti complesse costituiscono le strutture industriali più efficienti, preferibili ad un semplice contesto di imprese integrate verticalmente.

4.4.5 Ricerca e sviluppo

Il beneficio di partecipare ad un *network* di ricerca e svilup-

⁶⁹ Naturalmente ciò non toglie che in alcune situazioni, per particolari funzioni di *payoff* o valori di f , *network* vuoto possa risultare *pairwise stable equilibrium*, ma evidentemente tale risultato eventuale non è considerabile patologico.

⁷⁰ Ne deriva che, se il *network* completo g^c è supportato da un equilibrio di Nash, allora è anche *pairwise stable equilibrium*.

po è stato modellato, in letteratura, attraverso un effetto positivo sui costi marginali, del tipo:

$$c_i(g) = \gamma_0 - \gamma\eta_i(g), \quad i \in N$$

dove $\eta_i(g)$ è la numerosità delle imprese direttamente collegate all'impresa i .

In un contesto del genere, dove i costi dipendono dalla struttura del *network*, la possibilità della formazione di una rete di cooperazione tra le imprese è fortemente (e inversamente) legata al grado di competizione esistente tra le imprese stesse.

In presenza di concorrenza alla Bertrand la funzione di profitto della generica impresa è data da:

$$\begin{aligned} \pi_i(g) &= 0, \quad \text{se } c_i(g) \geq c_j(g) \text{ per almeno un } j \neq i \\ \pi_i(g) &= 0, \quad \text{se } c_i(g) < c_j(g) \quad \forall j \neq i \end{aligned}$$

Il grado di competizione esasperato annulla qualsiasi incentivo alla collaborazione, e l'unico *network* stabile è quello vuoto.

Goyal e Joshi (2003a) analizzano, invece, un mercato in cui le imprese competono alla Cournot, trovando risultati diversi: essi dimostrano che ciascun *network* stabile ha un'architettura a gruppo dominante g^{kd} , ossia un'architettura caratterizzata da una componente completa composta da almeno due nodi (no singolo), e con le altre componenti tutte composte da singole imprese⁷¹.

Formalmente, quindi, ci sarà un insieme d'impreses N' tale che:

$$g_{ij} = 1 \dots \forall i, j \in N'$$

mentre: $\forall k \in N \setminus N'$ si ha: $g_{k,l} = 0, \forall l \in N \setminus \{k\}$

Goyal e Moraga-Gonzales (2001) introducono un modello più complesso, dove l'effetto del *network* sul costo marginale non è più esogeno ma endogeno. Il beneficio associato alla partecipazione ad un R&D *network* dipende infatti adesso non solo dalla morfologia del *network* ma anche dalle scelte delle singole imprese

⁷¹ Dunque il *network* vuoto non è mai un equilibrio.

relative ai propri investimenti in R&D. Formalmente, l'effetto sui costi marginali è dato da:

$$c_i(g) = \beta_0 - \sum_{k \in N(i,g)} \gamma_k, i \in N$$

dove γ_k è l'investimento effettuato dall'impresa k .

Il caso di imprese operanti in mercati indipendenti, poco rilevante ai fini del presente lavoro, conduce a risultati piuttosto scontati: il *network* completo è l'unico ed essere stabile⁷². In un mercato competitivo, in cui le imprese competono alla Cournot, si ottengono invece risultati interessanti⁷³: in un contesto di *networks* simmetrici (ciascuna impresa detiene un eguale numero di *links*) il *network* vuoto è instabile, mentre il *network* completo è stabile⁷⁴.

L'analisi viene poi estesa, ammettendo la possibilità di *networks* asimmetrici ed introducendo una componente che rappresenta gli *spillovers* tra imprese non collegate si ottiene:

$$c_i(g) = \beta_0 - \sum_{k \in N(i,g)} \gamma_k + \beta_1 \sum_{l \notin N(i,g)} \gamma_l, i \in N$$

I risultati, relativi al semplice caso di tre sole imprese, sono simili a quelli ottenuti da Goyal e Joshi: il *network* completo è sempre stabile, mentre un *network* parzialmente connesso è stabile solo per valori non troppo grandi di β_1 .

4.4.6 Applicazioni: strutture endogene di *peering*

Concludiamo questa rassegna tornando al problema del *pee-*

⁷² Il concetto di stabilità considerato è quello definito da JACKSON M.O. e WOLINSKY A. (1996).

⁷³ Questi riflettono la presenza di due effetti che agiscono in direzioni contrapposte: ciascun legame determina una riduzione dei costi marginali ma allo stesso tempo determina un aumento nella competitività dei rivali (i *links* sono bidirezionali).

⁷⁴ È anche l'unico ad essere stabile nel caso di sole quattro imprese; in presenza di un maggior numero di imprese si possono avere ulteriori soluzioni; queste sono però molto difficili da derivare.

ring da un'ottica della teoria della formazione endogena dei *networks* come descritta precedentemente. In particolare Badasyan e Chakrabarti (2003) hanno proposto un'interessante applicazione della teoria della formazione endogena dei *networks* alla definizione di accordi di *peering* tra *backbones* simmetrici.

Gli autori definiscono un gioco non cooperativo a quattro stadi. Nel primo stadio ciascun *backbone* segnala la propria disponibilità a fare *peering* con gli altri⁷⁵: i legami di *peering* si materializzano ove si abbiano due giocatori reciprocamente disponibili; successivamente, ciascun *backbone* definisce la capacità del proprio *network* interno. Nel terzo stadio, poi, ciascun membro di un accordo di *peering* decide quanto investire nella capacità di tale legame⁷⁶: Infine, nell'ultimo stadio i *backbones* competono à la Bertrand.

La domanda complessiva per i *backbones* è considerata esogena (dunque restano da definire le quote di mercato dei singoli *backbones*) ed i consumatori (omogenei) scelgono in base al prezzo del servizio offerto ed alla qualità dello stesso. Procedendo a ritroso a partire dall'ultimo stadio, il gioco iniziale viene condensato in un *network game* ad unico stadio, le cui soluzioni forniscono gli equilibri di Nash perfetti nei sottogiochi del modello iniziale.

In una situazione caratterizzata da un livello piuttosto basso di infrastruttura pubblica, gli autori ottengono due equilibri di Nash perfetti nei sottogiochi: un primo caso, in cui tutti fanno *peering*, ed un secondo, opposto, in cui nessuno fa *peering*; quest'ultimo, inoltre, è conveniente per i *backbones* rispetto al primo. Tale risultato è dovuto al fatto che gli investimenti nei legami di *peering* esercitano un beneficio soltanto in termini della qualità del servizio offerto, riducendo la possibilità di congestione (senza, dunque, diminuzione dei costi di transito); i *backbones* che offrono una qualità migliore potranno dunque fissare prezzi maggiori:

⁷⁵ BADASYAN N. - CHAKRABARTI S. (2003), ipotizzano inizialmente che non vi sia possibilità di discriminare tra i *backbones*.

⁷⁶ Questa risulta data dalla somma degli investimenti dei due *peers* e da una componente che riflette il livello esistente di infrastruttura pubblica utilizzabile dai *backbones*.

quando l'interconnessione è completa, tuttavia, la differenziazione qualitativa scompare e solo gli utenti traggono vantaggio dalla costituzione dei legami di *peering* (questo è un tipico risultato di "fallimento della coordinazione").

Con una maggiore capacità dell'infrastruttura pubblica il rischio di congestione del traffico diminuisce e gli incentivi dei *backbones* al *peering* privato (bilaterale) scompaiono; Badasyan e Chakrabarti dimostrano come a tale caso sia associato un livello di profitto più basso per i *backbones* rispetto a quello ottenuto in corrispondenza del *network* vuoto e del *network* completo in presenza di congestione, e un'utilità degli utenti finali più elevata.

Se si ammette la possibilità di discriminare nel *peering* tra i *backbones* si ottiene un numero elevato di architetture di equilibrio. Gli autori analizzano allora il *peering* in un'ottica cooperativa, applicando il concetto di stabilità a coppia definito da Jackson e Wolinsky (1996). In questo contesto, gli autori trovano che l'unica architettura stabile è quella completa, mentre quella che massimizza il profitto complessivi dei *backbones* è ancora il *network* vuoto.

Una possibile causa di un risultato in effetti poco interessante ottenuto da una modellistica appropriata si può individuare nel fatto che le scelte modellate erano limitate alla possibilità di fare esclusivamente o *peering* bilaterale privato, o *peering* pubblico. Badasyan e Chakrabarti non modellano inoltre la possibilità del "transito" che è la naturale alternativa da tenere in considerazione quando si studia il *peering*. Una strategia più opportuna si può avere modellando prima la decisione se aderire ad un *Internet exchange point (IXP)* e poi all'interno dei membri di tale associazione, decidere se fare o no *peering* bilaterale, introducendo il transito nella funzione di *payoff*.

In tutti i modelli analizzati finora la formazione del legame di *peering* segue uno schema molto semplice: il *provider* "iniziatore" individua il *provider* "obiettivo", al quale offre il *peering*. Il *provider* "obiettivo" accetta solo se reputa la proposta conveniente. Ma nella realtà accade veramente questo? Vi è possibilità di fare *peering* anche quando non si è sufficientemente "appetibili" agli occhi dell'"obiettivo"? Norton (2002b) sintetizza le esperien-

ze di numerosi ISP *peering coordinators*, trovando un risultato piuttosto interessante: la tattica seguita è importantissima, ed una scelta azzeccata spesso permette la realizzazione del *peering* anche quando l'approccio diretto (quello considerato dalla modellistica) risulta inefficace⁷⁷; nella sua dettagliata analisi, Norton distingue diciannove tattiche effettivamente utilizzate dagli ISP *peering coordinators*⁷⁸. L'analisi empirica produce un secondo risultato di rilievo, sintetizzato nell'espressione "*once a customer, never a peer*": una volta che si stabilisce un legame di "transito", cioè, diventa difficilissimo trasformare tale rapporto in un *peering*; la definizione del tipo di relazione con gli altri ISP deve quindi essere valutata molto attentamente, specialmente con riferimento ai potenziali *peers*.

5. - Conclusioni

Come si è visto nel corso di questo lavoro, i rapporti tra le imprese che compongono i diversi settori dell'industria delle telecomunicazioni sono caratterizzati da una duplice natura di complementarità e concorrenzialità, che può condurre alla possibilità di esiti subottimali.

La concorrenzialità è peraltro spesso limitata dai vantaggi di cui godono le vecchie compagnie monopoliste relativamente ai potenziali entranti. Questi vantaggi si esplicitano nel controllo delle

⁷⁷ L'inefficacia dell'approccio diretto è piuttosto frequente; moltissimi, tra gli ISP *peering coordinators* intervistati hanno infatti dichiarato di aver incontrato grosse difficoltà persino nell'ottenere una semplice risposta ad una loro *email* di apertura.

⁷⁸ Tra le tattiche "lecite", particolarmente efficaci appaiono il "transito col passaggio al *peering*" e la tattica di "*end run*": la prima consiste nell'acquistare un contratto di transito da trasformare automaticamente in *peering* se i requisiti fissati dall'ISP "obiettivo" sono raggiunti; la seconda consiste invece nel contattare direttamente i clienti maggiori dell'ISP non interessato a fare *peering* e nello stabilire un legame diretto con essi, in modo da ridurre sostanzialmente i costi legati al servizio di transito. Tra le tattiche "meno lecite o non lecite affatto" vi sono il "*bluff*" e la "manipolazione del traffico"; la prima strategia, vecchia ma efficace, consiste, ad esempio, nell'affermare che un grosso cliente è in arrivo; la seconda, invece, agisce proditoriamente sul traffico dell'ISP "obiettivo", massimizzandone i costi d'accesso presso il proprio *network*. Per una dettagliata analisi delle strategie v. comunque NORTON (2002b).

infrastrutture essenziali⁷⁹, nella presenza di economie di scala e di varietà, nella possibilità di effettuare sussidi incrociati e nell'inerzia che spesso caratterizza le decisioni effettuate dai consumatori relativamente all'operatore scelto⁸⁰. L'implementazione di adeguate politiche della concorrenza, è stata a lungo ostacolata anche a causa dall'affermazione, negli anni '50, della teoria del monopolio naturale⁸¹. Soltanto dagli anni '80 si è infatti cominciato ad assistere ad una progressiva apertura del settore alla concorrenza.

Le problematiche centrali associate alla transizione verso la concorrenza nelle industrie a rete ruotano principalmente intorno all'introduzione del meccanismo del prezzo dell'accesso. Tale prezzo, pagato da un'impresa entrante a quella dominante per utilizzare la sua infrastruttura esistente è infatti uno strumento che ha consentito l'apertura del mercato delle telecomunicazioni alla concorrenza senza dover rinunciare ai vantaggi delle economie di scala che caratterizzano tale industria.

La transizione dal monopolio verso la concorrenza attraverso l'introduzione dei prezzi dell'accesso è un esempio illuminante della rilevanza della letteratura analizzata in questo lavoro per le politiche della concorrenza nelle industrie a rete. Tali politiche, infatti, devono considerare gli incentivi strategici che guidano gli operatori nella formazione di reti endogene di interconnessione, così come le loro decisioni all'interno di strutture date. In particolare, le politiche della concorrenza che regolano l'accesso alle infrastrutture essenziali costituiscono un elemento di notevole importanza, dal momento che gli operatori che gestiscono tali strut-

⁷⁹ Un'infrastruttura si dice essenziale se è fornita esclusivamente o in maniera predominante da una singola impresa o da un gruppo ristretto di imprese e se non può essere replicata per ragioni economiche o tecniche al fine di offrire il servizio in questione (OMC, *Regulation Reference Paper*).

⁸⁰ v. McCHARTY T., 2000.

⁸¹ Lo sviluppo della teoria del "monopolio naturale" portò i governi di molti paesi a regolamentare il settore delle telecomunicazioni, prevedendo la presenza di un unico operatore monopolista ed istituendo autorità di controllo che avevano il compito di evitare la fissazione di prezzi eccessivi per i servizi offerti. La regolamentazione dei monopoli naturali si dimostrò tuttavia inefficiente: la qualità dei servizi era scarsa e le autorità di controllo non riuscivano a monitorare i costi degli operatori monopolisti, che quindi applicavano elevatissimi margini di ricarico, a danno dei consumatori.

ture hanno a disposizione molteplici soluzioni per limitare la concorrenza dei nuovi entranti⁸². Il *Libro verde sulle telecomunicazioni*, del 1987, ha introdotto alcune prime misure in materia nell'ambito dell'Unione Europea⁸³; nel 1997 la *Direttiva sull'interconnessione* ha poi rafforzato tale normativa richiedendo che gli accordi di interconnessione siano pubblici e non discriminatori e che il prezzo d'accesso sia basato sui costi. Un'armonizzazione della regolamentazione in materia di accesso è fornita dalla nuova *Direttiva sull'interconnessione*⁸⁴ del 2002. All'interno di altre organizzazioni regionali, quali l'Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) e la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CI-TEL) in America Latina, è stato invece sviluppato un quadro che, seppur non vincolante, fornisce principi ed informazioni utili strumentali allo sviluppo di politiche adeguate di interconnessione.

Un importante accordo sulle politiche di interconnessione è stato raggiunto nel 1997, con il *Reference paper* dell'Organizzazione Mondiale per il Commercio (OMC). I principi fondamentali di questo accordo, vincolante per oltre 60 Paesi membri, sono la non discriminazione, la possibilità di accedere solo ad alcune componenti del *network* (*unbundled access*) e la definizione di prezzi d'accesso basati sui costi. Tali obbligazioni riguardano tuttavia esclusivamente gli operatori dominanti (i vecchi monopolisti): questo elemento, che caratterizza anche l'orientamento della Commissione Europea, riflette il consenso, piuttosto generale, sul fatto che l'imposizione di obblighi di interconnessione su tutti gli operatori si risolve in un esito inefficiente.

L'accesso a componenti separate del *network* era stato un elemento portante del *Telecommunications act* del 1996 in USA, dove già nel 1999 oltre il 70% degli operatori era in grado di offrire linee locali separate. In Europa, tale problematica è stata di-

⁸² Per esempio, possono applicare prezzi eccessivi o addirittura negare l'accesso, ritardarlo, rifiutare l'accesso a singole componenti del loro *network* e considerarlo quindi un bene inscindibile.

⁸³ Già nel 1985, tuttavia, una sentenza della Corte Europea di Giustizia aveva operato una distinzione tra l'attività di gestione delle reti, per la quale l'operatore è protetto da un monopolio, e l'attività di fornitura dei servizi, per la quale non possono esistere protezioni legali.

⁸⁴ v. COMMISSIONE EUROPEA (2002).

sciplinata a partire dal dicembre 2000, con l'approvazione del Regolamento n. 2887. L'introduzione di questa prima specifica normativa⁸⁵ in materia è rimasta tuttavia piuttosto isolata a livello mondiale per un lungo periodo: alla fine del 2001 solo quarantuno paesi membri dell'*International Telecommunications Union* (ITU)⁸⁶ e venticinque in America Latina prevedevano l'accesso a componenti separate⁸⁷. All'interno dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) invece, la liberazione dell'ultimo miglio, *local loop unbundling*, è stata uno degli obiettivi principali delle autorità di regolamentazione dal 2000 al 2002⁸⁸: nell'aprile 2002 l'accesso a componenti separate era stato effettivamente introdotto, o quantomeno regolamentato, in ventitre paesi membri dell'organizzazione.

Un secondo problema che le autorità di regolamentazione si sono trovate a dover affrontare, sempre in termini di prezzo dell'accesso, è costituito dal fatto che gli operatori di rete hanno un effettivo potere di mercato su tutte le chiamate destinate ai propri utenti (un abbonato è dunque un "collo di bottiglia"). Tale problematica ha assunto particolare rilievo con riferimento alla

⁸⁵ Alcuni paesi hanno anticipato la normativa comunitaria. La Germania è stato uno dei primi Paesi ad introdurre una disciplina in materia con la legge sulle telecomunicazioni del 1996, che obbligava l'operatore dominante Deutsche Telekom ad offrire accesso a componenti separate dei suoi *networks* sulla base di prezzi non discriminatori basati sui costi. In Austria, il *Telecommunications Act* del 1997 introduce gli stessi principi; la regolamentazione in materia adottata in Danimarca risale invece al 1998.

⁸⁶ L'International Telecommunications Union fu costituita nel 1934, con l'entrata in vigore della convenzione per le telecomunicazioni, firmata a Madrid nel dicembre 1932. In vista di tale convenzione veniva effettuata la fusione delle precedenti Unione Telegrafica Internazionale e Unione Radiotelegrafica Internazionale, fondate nel 1866 da diciotto nazioni europee tra le quali Italia, Germania, Spagna, Russia, Francia. Gli Stati Uniti sono entrati a far parte dell'organizzazione nel 1908. L'ITU, che conta oggi 189 paesi membri, ha il compito di assicurare la cooperazione internazionale per lo sviluppo e il funzionamento ottimale delle telecomunicazioni. In particolare, le telecomunicazioni internazionali venivano considerate come un servizio prodotto congiuntamente da coppie di compagnie telefoniche ed il meccanismo che venne individuato rifletteva ovviamente questo punto di vista. Dopo le nuove norme statutarie adottate nel 1982 i regolamenti dell'ITU sono presi a maggioranza e vincolano gli Stati membri in quanto hanno forza di trattato internazionale.

⁸⁷ v. ITU (2002).

⁸⁸ v. OCSE (2003). L'introduzione tempestiva di un piano normativo in materia sembra essere stata una caratteristica dei paesi ad alto reddito.

terminazione di chiamate dalla rete fissa verso la rete mobile ed alla telefonia internazionale. Valletti (2001)⁸⁹ individua nell'ignoranza (favorita dall'introduzione della portabilità del numero) degli utenti in merito all'operatore mobile che termina il servizio una fonte di inefficienza: in un contesto del genere gli utenti decidono sulla base di un prezzo medio, ricavato conoscendo le quote di mercato dei singoli operatori; se uno tra questi alza il prezzo, quindi, ne sopporta solo in parte le conseguenze, con esito palesemente inefficiente. Valletti propone dunque delle misure atte a diffondere maggiori informazione sui prezzi da fisso a mobile. Nell'Unione Europea, la *Nuova direttiva sull'interconnessione*, di cui si è parlato in precedenza, ha attribuito maggiori poteri di controllo alle autorità nazionali di regolamentazione sugli operatori mobili proprio per monitorare i comportamenti relativi alle tariffe di terminazione. In generale, tuttavia, l'intervento regolatorio nei confronti degli operatori mobili è rimasto piuttosto limitato rispetto a quello relativo agli operatori di rete fissa.

Il problema dei prezzi dell'accesso, e quindi anche di terminazione, ha assunto particolare rilievo con riferimento ai servizi di telecomunicazioni internazionali, che ovviamente richiedono l'interconnessione tra *networks* localizzati in paesi diversi. Per molti anni non è stato infatti permesso agli operatori nazionali di offrire servizi completi dal chiamante al ricevente, *end-to-end*, e ciò ha reso necessario per ciascun operatore telefonico il raggiungimento di una serie di accordi, sia con le compagnie operanti negli eventuali paesi di transito che con quella operante dove la chiamata era indirizzata.

Il metodo preferito dalla maggioranza degli operatori per la suddivisione degli utili relativi alle telefonate internazionali è stato per molto tempo l'*Accounting Revenue Division Procedure (ARDP)*, sviluppato sotto l'egida dell'ITU e adatto a situazioni in cui le compagnie operano come monopoliste. Questo sistema è definito da due caratteristiche tra loro indipendenti: *a)* gli operatori internazionali che si trovano in una relazione bilaterale si obbligano a dividere le loro entrate esattamente a metà; *b)* gli ope-

⁸⁹ v. dipeco.economia.unimib.it/Iniziative/Pdf/valletti.pdf

ratori negoziano un costo comune (*accounting rate*) per l'accesso al loro *network* locale (nazionale)⁹⁰.

In generale, quando il procedimento di *bargaining* ha luogo tra un compratore ed un venditore, il risultato di equilibrio (prezzo) rappresenta normalmente, in assenza di potere di mercato, una valutazione giusta del bene o servizio scambiato. Tuttavia, quando questo procedimento riguarda la definizione dell'*accounting rate* negoziata tra due monopolisti, questa perde ogni credibilità di essere una misura equa, ed il maggior costo finisce per essere scaricato sui consumatori, che possono non avere alcuna altra scelta nello scegliere la propria compagnia telefonica. Come osserva Frieden (1998), sotto il sistema dell'*accounting rate* gli operatori hanno negoziato prezzi d'accesso inadeguati che, nonostante il loro *trend* decrescente, sono rimasti sempre ben al di sopra del costo associato alla trasmissione e ricezione della telefonata.

Il carattere discriminatorio di questo meccanismo ha prodotto una pressione crescente all'interno di organizzazioni internazionali come l'ITU, l'OCSE, la *Federal Communications Commission* (FCC) e l'OMC, a favore di una sua riforma; l'obiettivo era quello di sostituire l'ARDP con procedure compatibili con una situazione caratterizzata da una sempre maggiore competitività. Secondo la FCC l'*Accounting Revenue Division Procedure* si traduceva in prezzi d'accesso troppo alti pagati dalle compagnie statunitensi e quindi in un fardello per i consumatori americani, che finivano per sussidiare le compagnie telefoniche straniere⁹¹. Coerentemente, la FCC ha proposto, a partire dal

⁹⁰ In pratica, la somma pagata dall'utente per la chiamata internazionale veniva incassata dalla compagnia che aveva originato la chiamata; tale compagnia provvedeva poi a compensare quella che terminava la telefonata corrispondendole una somma pari al *settlement rate* (equivalente alla metà dell'*accounting rate*) per ciascun minuto di telefonata effettuato. Questo meccanismo operava ovviamente in maniera efficiente: solo la differenza relativa ai minuti di chiamate internazionali tra ciascuna coppia di imprese formava oggetto di compensazione, proprio come accade tra le banche.

⁹¹ Nel 1994 i *carriers* statunitensi hanno versato complessivamente alla compagnia straniera più di 5 miliardi di dollari; secondo la FCC soltanto un terzo di tale somma era giustificabile, mentre il resto rappresentava un vero e proprio sussidio a favore delle compagnie straniere.

1999, l'introduzione di tetti di prezzo, *price caps*, sulle tariffe applicabili agli operatori statunitensi a fronte della ricezione delle chiamate da essi originate, incontrando ovviamente l'opposizione delle compagnie straniere, specialmente quelle dei paesi in via di sviluppo. L'OMC ha invece suggerito un approccio multilaterale alla determinazione dei prezzi d'accesso. Le proposte della FCC e dell'OMC sono state sostenute dai risultati ottenuti da Wright (1999)⁹².

Altre proposte sono state avanzate, e, tra queste, quella che sembra raccogliere i maggiori consensi è la procedura dell'*International Terminating Traffic Fee* (ITTF). In base a tale sistema ciascun operatore nazionale che richiede accesso ad un dato *network* "straniero" dovrebbe pagare lo stesso prezzo d'accesso; questa uniformità riflette il fatto che il costo relativo alla ricezione di telefonate originate dall'estero all'interno del proprio *network* locale ed il trasferimento al destinatario è indipendente da dove la telefonata è originata. A differenza dell'*ARDP*, caratterizzato da negoziazione bilaterale, l'*ITTF* prevede che ciascun operatore fissi

⁹² WRIGHT J. (1999) dimostra che, nel caso di operatori monopolisti, la tariffa d'accesso (*settlement rates*) negoziata risulta superiore al costo sostenuto per terminare la chiamata se il reddito *pro-capite* nei due paesi è diverso. Infatti, il numero delle telefonate effettuate dagli utenti del paese ad alto reddito (ad esempio gli Stati Uniti) verso il paese a basso reddito (ad esempio la Cina) sarà superiore al numero di telefonate nella direzione opposta; questo squilibrio nelle domande fa sì che l'operatore statunitense cerchi di negoziare una tariffa d'accesso molto bassa, mentre esattamente opposto è l'obiettivo dell'altro operatore. Il fatto che, tuttavia, sia l'operatore americano a subire un danno maggiore in caso di mancato accordo comporta che il risultato della negoziazione si risolva in un *settlement rate* superiore al costo di terminare la telefonata. Ovviamente ciò determina un incremento dei costi marginali per la compagnia operante negli USA e dunque un maggior prezzo per i consumatori americani che, effettivamente, finiscono per sussidiare le compagnie telefoniche operanti in paesi a basso reddito. Il risultato non cambia se si introduce la competizione nei due paesi. Il modello di Wright sostiene la proposta della FCC mostrando come la riduzione delle tariffe d'accesso al livello del costo marginale sostenuto per terminare la telefonata comporta una diminuzione dei prezzi delle telefonate internazionali, maggiore efficienza e soprattutto minori pagamenti netti dagli Stati Uniti verso i paesi a più basso reddito. Wright, tuttavia, fa notare come sia difficile mettere in pratica un meccanismo del genere.

Il modello di Wright avvalorava anche la proposta originata dall'OMC, dimostrando come una compagnia telefonica operante in un paese a reddito medio possa negoziare un *settlement rate* più basso nei confronti di compagnie operanti in paesi a più alto reddito se questo gli consentisse di ottenere, a sua volta, prezzi d'accesso più bassi dagli operatori dei paesi a reddito più basso.

unilateralmente il prezzo d'accesso al suo *network*⁹³. Nonostante gli ampi consensi, il meccanismo dell'*ITTF* non è mai riuscito ad imporsi.

A partire dal 2003, tuttavia, la grande maggioranza del traffico internazionale non è più soggetta al meccanismo dell'*accounting rate system*. Infatti, a seguito dell'apertura pressoché generalizzata agli investimenti stranieri negli operatori nazionali del settore (*cross-border ownership*), moltissimi operatori possiedono oggi degli *access networks* in un gran numero di paesi ed utilizzano tali infrastrutture per portare a termine le telefonate da essi originate. Questo nuovo sistema ha portato, secondo la maggior parte della dottrina, ad una maggiore efficienza e ad una notevole riduzione dei prezzi.

5.1 Reti e contiguità dei mercati

L'analisi dei comportamenti strategici nelle industrie a rete assume particolare interesse quando riguarda l'interazione tra imprese in mercati diversi, ma contigui nell'architettura data. Un operatore che domina in un mercato può, per esempio, applicare dei margini di ricarico molto alti ed utilizzare parte dei profitti per sussidiare una politica di bassi prezzi negli altri mercati, più competitivi, dove opera. Il *Reference Paper* dell'OMC ha individuato tale pratica come anticompetitiva, vietandola espressamente; in molti paesi le autorità di regolamentazione nazionali hanno ribadito tale divieto⁹⁴; quest'ultimo risultava tuttavia inefficace senza l'introduzione di una serie di misure più specifiche. L'articolo 8

⁹³ La letteratura scientifica si è occupata di questa problematica. Il lavoro di DE FRAJA G. - VALBONESI P. (2001) studia gli effetti dei due sistemi di divisione degli utili sul livello dei prezzi delle telefonate internazionali, nell'ipotesi che ciascuna compagnia nazionale operi come monopolista; i risultati ottenuti mostrano che il sistema dell'*accounting revenue division procedure* può determinare più facilmente prezzi più bassi del sistema basato sull'*international terminating traffic fee*.

⁹⁴ Un esempio è dato dalla *Licenza generale sulle telecomunicazioni* rilasciata dall'autorità di regolamentazione in Irlanda, che assoggetta gli operatori del settore al controllo del Ministero delle Telecomunicazioni e li obbliga a mantenere una contabilità appropriata al fine di agevolare tali indagini.

della *Direttiva comunitaria sull'interconnessione* del 1997 ha introdotto quindi il principio delle *Accounting separations*, in base al quale gli operatori che hanno potere di mercato significativo devono separare la contabilità delle loro attività legate all'interconnessione dalle altre attività commerciali. La *Nuova direttiva sull'interconnessione* del 2000 ha rafforzato tale concetto, attribuendo maggiori poteri alle autorità nazionali di controllo. Alcune volte le autorità di regolamentazione hanno fatto ricorso a misure più drastiche a fronte di comportamenti anti-competitivi di particolare gravità. La *Direttiva UE* del 1999 (*Cable Ownership*), ad esempio, prevede che gli operatori dominanti nel mercato delle telecomunicazioni attribuiscano ad imprese strutturalmente separate la gestione della televisione via cavo; ancora più estrema è la soluzione che ha posto fine, nel 1984, al contenzioso in materia di *antitrust* tra la AT&T ed il governo statunitense: la separazione della AT&T dalle *Regional Bell Operating Companies*. Tale separazione era radicale, in quanto prevedeva proprietà indipendenti.

5.2 *L'Internet*

Questo lavoro ha considerato diverse applicazioni relative a decisioni d'interconnessione nell'Internet. In particolare, abbiamo discusso diversi approcci per lo studio delle scelte di *peering* e di transito, che costituiscono due diverse modalità di contratti, e quindi di prezzi, di accesso.

Benché l'Internet si sia sviluppata al di fuori di un preciso sistema di regolamentazione diretta, data anche la sua natura sovranazionale, essa è stata in parte condizionata dalla normativa propria del mercato contiguo della telefonia, di cui si avvale per l'accesso diretto dei consumatori finali alla rete. Un intervento diretto delle autorità *antitrust* si è avuto invece con alcune decisioni vincolanti nell'ambito di progetti di fusioni tra rilevanti *backbones* come MCI e Worldcom e MCI-Worldcom e Sprint⁹⁵.

⁹⁵ v., per esempio, GIOVANNETTI E. (2004).

Il dibattito se introdurre o meno qualche forma di regolamentazione delle tariffe di interconnessione Internazionale di Internet è ancora aperto in seno all'ITU al tempo in cui scriviamo (giugno 2004). In particolare, la *Raccomandazione* D.50 dell'ITU suggerisce di basare le tariffe di interconnessione internazionale all'Internet su elementi di costo e valutazioni dei flussi di traffico. Tale raccomandazione, comunque non vincolante, viene però considerata troppo restrittiva dai maggiori *backbones* e dalla maggioranza dei paesi occidentali; altri paesi come la Cina, il Vietnam e l'Australia, contrari ad una determinazione delle tariffe internazionali d'interconnessione esclusivamente basata su logiche commerciali, la considerano invece insufficiente. In particolare questi paesi lamentano il fatto di farsi carico delle intere spese d'investimento e di mantenimento dei canali di collegamento con i punti d'ingresso della rete, mentre tali canali sono utilizzabili in modo bidirezionale, ossia anche dai paesi dove operano i maggiori *backbones*.

Un obiettivo di interesse attuale per la ricerca economica è l'individuazione, e l'analisi della relativa rilevanza, dei fattori che inducono ad avere alti prezzi d'accesso all'Internet nei paesi in via di sviluppo; uno di questi può essere riscontrato nella presenza di trattamenti d'interconnessione, e quindi prezzi di accesso, asimmetrici: i grandi *backbones* fanno *peering* tra loro mentre fanno pagare il transito a quelli minori, così che i paesi periferici pagano l'intero costo dell'interconnessione; d'altro canto, questi alti prezzi sono spesso causati dalla sopravvivenza di monopoli dell'accesso locale alla telefonia e dalla mancata liberalizzazione del settore in molti paesi in via di sviluppo (molti sono, per esempio, membri dell'OMC ma non ne hanno ratificato il *Reference Paper*, non aprendo così alla concorrenza estera il proprio mercato delle telecomunicazioni).

Probabilmente entrambi questi fattori, ovvero discriminazione di prezzo a monte e monopoli a valle, contribuiscono congiuntamente a mantenere alti i divari di prezzo dell'accesso all'Internet, ed a rinforzare dunque il divario digitale già esistente. Quest'ultimo viene individuato proprio come uno dei principali ostacoli al processo di crescita e di uscita dal sottosviluppo dal

presente dibattito nella comunità internazionale, tanto che la prima fase del World Summit on the Information Society (WSIS)⁹⁶, tenutasi a Ginevra nel dicembre 2003⁹⁷, ha individuato in una priorità mondiale il suo superamento.

Essendo l'Internet il prototipo di un'industria a rete, le politiche di liberalizzazione del settore a valle non sono uno strumento efficace se non accompagnate da una seria possibilità di monitorare l'effettiva competitività dei mercati dell'accesso a monte; ciò è tuttavia reso difficile dal carattere confidenziale che caratterizza la maggior parte dei contratti bilaterali d'interconnessione in cui si formano i prezzi di transito⁹⁸.

Una maggiore trasparenza in questo mercato per quanto riguarda le politiche dell'accesso, espresse sia nei prezzi di transito che nelle condizioni associate delle politiche di *peering*, sarebbe di indubbio aiuto per le autorità di regolamentazione nazionali ed internazionali. Senza tali elementi informativi, risulta infatti pressoché impossibile affrontare analisi di mercato, quando ne sorga la necessità, ossia quando si è in presenza di imprese con un significativo potere di mercato. L'elemento cruciale, in un'industria la cui dinamica tecnologica e natura transnazionale rendono inapplicabili forme di regolamentazione *ex ante*, risiede quindi nella possibilità di monitorare, ed eventualmente punire, comportamenti di abuso di posizione dominante, che possono esprimersi sia attraverso discriminazioni di prezzo dell'accesso che attraverso forme di discriminazione relative alla sua qualità. Quest'ultima forma di discriminazione risulta particolarmente incisiva quando la profittabilità delle applicazioni Internet offerte è strettamente legata alla qualità e velocità del processo di trasmissione delle informazioni e quindi, indirettamente, al sistema di interconnessioni fisiche e accordi di accesso tra imprese. Proprio l'analisi di tali rapporti, come si è visto, occupa una posizione di assoluta centralità all'interno di questo lavoro.

⁹⁶ v. <http://www.itu.int/wsisis/>

⁹⁷ La seconda fase si svolgerà a Tunisi nel novembre 2005.

⁹⁸ v. GIOVANNETTI E. - RISTUCCIA C.A. (2003).

BIBLIOGRAFIA

- AGLIARDI E. - GIOVANNETTI E., «Morphogenesis of an Institution on a Lattice Game», *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2, 1998, pp. 209-13.
- ALLEN B., «A Stochastic Iterative Model for the Diffusion of Information», *Journal of Mathematical Sociology*, n. 8, 1982a, pp. 265-81.
- ALLEN B., «Some Stochastic Processes of Interdependent Demand and Technological Diffusion of an Innovation Exhibiting Externalities Among Adopters», *International Economic Review*, n. 23, 1982b, pp. 595-608.
- ARMSTRONG M. «The Theory of Access Pricing and Interconnection», in CAVE M. - MAJUMDAR S.K. - VOGELSANG A. (a cura di), *Handbook of Telecommunications Economics*, Amsterdam, North-Holland, 2002.
- AUMANN R.J. - MYERSON R.B., «Endogenous Formation of Links between Players and of Coalitions: An Application of the Shapley Value», in ROTH A.E. (a cura di), *The Shapley Value*, Cambridge, Cambridge University Press, 1988, pp. 175-91.
- BAAKE P. - KAMECKE U. - NORMANN H.T., «Vertical Foreclosure Versus Downstream Competition with Capital Precommitment», *International Journal of Industrial Organization*, n. 22, 2004, pp. 185-92.
- BAAKE P. - WICHMANN T., «On the Economics of Internet Peering», *Netnomics*, vol. 1, 1999, pp. 89-105.
- BADASYAN N. - CHAKRABARTI S., «Private Peering Among Internet Backbone Providers», *WUSTL, Working Paper*, n. 0301002, 2003.
- BAK P. - CHEN K., «Self-Organized Criticality», *Scientific American*, gen. 1991, pp. 26-33.
- BAK P. - CHEN K. - SCHEINKMAN J. - WOODFORD M., «Aggregate Fluctuations from Independent Sectoral Shocks: Self-Organized Criticality in a Model of Production and Inventory Dynamics», *Ricerche Economiche*, n. 47, 1993, pp. 3-30.
- BALA V. - GOYAL S., «A Noncooperative Model of Network Formation», *Econometrica*, vol. 68, 2000a, pp. 1181-229.
- BALA V. - GOYAL S., «A Strategic Analysis of Network Reliability», *Review of Economic Design*, vol. 5, 2000b, pp. 205-28.
- BALA V. - GOYAL S., «Learning From Neighbours», *Review of Economic Studies*, vol. 65, 1998, pp. 595-621.
- BERNHEIM B.D. - WHINSTON M.D., «Multimarket Contact and Collusive Behavior», *RAND, Journal of Economics*, vol. 21, 1990, pp. 1-26.
- BORK R., «The Antitrust Paradox», New York:, Basic Books, 1978.
- BROCK W.A., «Beyond Randomness, or, Emergent Noise: Interactive Systems of Agents With Cross Dependent Characteristics», Department of Economics, University of Wisconsin, *Working Paper*, 1992.
- CALVO E. - LASAGA J. - VAN DEN NOUWELAND A., «Values of Games with Probabilistic Graphs», *Mathematical Social Sciences*, vol. 37, 1999, pp. 79-95.
- CAMBINI C. - RAVAZZI P. - VALLETTI T., *Regolamentazione e mercato nelle telecomunicazioni*, Roma, Carocci, 2000.
- COOPER S.J., «A Positive Theory of Income Redistribution», *Journal of Economic Growth*, vol. 3, giu., 1998, pp. 171-95.
- COMMISSIONE EUROPEA, «Direttiva 2002/19EC su Access to, and Interconnection of, Electronic Communication Networks and Associated Facilities», *Official Journal of the European Commission*, 24 apr. 2002.

- CREMÉR J. - REY P. - TIROLE J., «Connectivity in the Commercial Internet», *Journal of Industrial Economics*, vol. 48, 2000, pp. 433-72.
- DAVID P., *Path-Dependence in Economic Processes: Implication for Policy Analysis in Dynamical System Contexts*, Torino, Rosselli Foundation Workshop, mimeo, 1992.
- DE FRAJA G. - VALBONESI P., «Revenue Sharing Rules for International Telephony», *Journal of Regulatory Economics*, vol. 20, 2001, pp. 5-20.
- DOBRUSHIN R.L. - KRYUKOV V.I. - TOOM A.L., *Stochastic Cellular Systems: Ergodicity, Memory, Morphogenesis*, Manchester, Manchester University Press, 1990.
- DURLAUF S.N., «A Theory of Persistent Income Inequality», Department of Economics, Stanford University, *NBER Working Paper*, n. 4056, 1992.
- DURLAUF S.N., «Nonergodic Economic Growth», *Review of Economic Studies*, n. 60, 1993, pp. 349-66.
- DUTTA B. - MUTUSWAMI S., «Stable Networks», *Journal of Economic Theory*, vol. 76, 1997, pp. 322-44.
- DUTTA B. - VAN DEN NOUWELAND A. - TIJS S., «Link Formation in Cooperative Situations», *International Journal of Game Theory*, 1998, pp. 245-56.
- ECONOMIDES N., «The Economics of Networks», *International Journal of Industrial Organization*, vol. 14, n. 6, ott. 1996, pp. 673-99.
- ELLIS R., *Entropy, Large Deviations and Statistical Mechanics*, New York, Springer Verlag, 1985.
- ELLISON G. - FUDENBERG D., «Rules of Thumb for Social Learning», *Journal of Political Economy*, n. 101, 1993, pp. 612-43.
- FOELLMER H., «Random Economies with Many Interacting Agents», *Journal of Mathematical Economics*, n. 1, 1974, pp. 51-62.
- FOROS Ø. - HANSEN J., «Competition and Compatibility Among Internet Service Providers», *Information Economics and Policy*, vol. 13, 2001, pp. 411-25.
- FRIEDEN R., «Falling Through the Cracks. International Accounting Rate Reform at the ITU and WTO», *Telecommunications Policy*, vol. 22, n. 11, 1998, pp. 963-75.
- GALEOTTI A. - GOYAL S., «Network Formation with Heterogeneous Players», Tinbergen Institute, *Discussion Paper*, n. 2002-069/1, 2002.
- GIOVANNETTI E., «Technology Adoption and the Emergence of Regional Asymmetries», *Journal of Industrial Economics*, vol. 48, n. 1, mar. 2000.
- GIOVANNETTI E., «Interconnection, Differentiation and Bottlenecks in the Internet», *Information Economics and Policy*, vol. 14, n. 3, 2002, pp. 385-404.
- GIOVANNETTI E., «Internet Upstream Connectivity and Competition Policy: Western Europe and Southern Africa», in KAGAMI M. - TSUJI M. - GIOVANNETTI E., *Information Technology Policy and the Digital Divide: Lessons for Developing Countries*, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, 2004.
- GIOVANNETTI E., «How Different is Wireless Access? Implication for Internet Mergers», Department of Applied Economics, University of Cambridge, *Working Paper*, n. 0307, 2003.
- GIOVANNETTI E. - NEUHOFF K. - SPAGNOLO G., «Agglomeration in the Internet: Does Space Still Matter? The MIX-IXP Case», in KAGAMI - TSUJI (a cura di), *Industrial Agglomeration: Facts And Lessons For Developing Countries*, Tokyo, IDE, 2003.
- GIOVANNETTI E. - RISTUCCIA C.A., «Estimating Market Power in the Internet Back-

- bone Using Band-X data», Department of Applied Economics, University of Cambridge, *Working Paper*, n. 0332, 2003.
- GOULD S.J. - ELDREDGE N., «Punctuated Equilibrium Comes of Age», *Nature*, n. 366, 1993, pp. 223-7.
- GOYAL S., «Learning in Networks: a Survey», in DEMANGE G. - RAY D. - WOODERS M. (a cura di), *Group Formation in Economics Networks, Clubs and Coalitions*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003.
- GOYAL S. - JOSHI S., «Networks of Collaboration in Oligopoly», *Games and Economic Behavior*, vol. 43, n. 1, 2003a, pp. 57-85.
- GOYAL S. - JOSHI S., *Unequal Connections*, University of London and George Washington University, mimeo, 2003b.
- GOYAL S. - MORAGA-GONZALES J.L., «R&D Networks», *RAND, Journal of Economics*, vol. 32, inverno 2001, pp. 686-707.
- GRIMMETT G.R., *Percolation*, Berlino, Springer Verlag, 1989.
- HAKEN H., *Synergetics*, Berlino, Springer, 1978.
- HALLER H. «Large Random Graphs in Pseudo-Metric Spaces», Universität Bonn, *Discussion Paper*, n. A-301, 1990.
- HALLER H. - SARANGI S., «Nash Networks with Heterogeneous Agents», German Institute for Economic Research, *Discussion Paper*, mar. 2003.
- HIGGINS R.S., «Diagonal Merger», *Review of Industrial Organization*, vol. 12, n. 4, ago. 1997, pp. 607-23.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, *Trends in Telecommunication Reform: Effective Regulation*, Ginevra, 2002.
- IOANNIDES Y.M., «Trading Uncertainty and Market Form», *International Economic Review*, vol. 31, n. 3, ago. 1990, pp. 619-38.
- ISING E., «Beitrag zur Theorie des Ferromagnetismus», *Z. Phys*, n. 31, 1925, pp. 253-8.
- JACKSON M.O., «A Survey of Models of Network Formation: Stability and Efficiency», in DEMANGE G. - RAY D. - WOODERS M. (a cura di), *Group Formation in Economics Networks, Clubs and Coalitions*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003.
- JACKSON M.O. - VAN DEN NOUWELAND A., «Strongly Stable Networks», University of Oregon Economics Department, *Working Paper*, n. 2001-3, 2001.
- JACKSON M.O. - WATTS A., «The Evolution of Social and Economic Networks», *Journal of Economic Theory*, vol. 106, n. 2, 2002, pp. 265-95.
- JACKSON M.O. - WOLINSKY A., «A Strategic Model of Social and Economic Networks», *Journal of Economic Theory*, vol. 71, 1996, pp. 44-74.
- JOHNSON C. - GILLES R.P., «Spatial Social Networks», *Review of Economic Design*, vol. 5, 1999, pp. 273-300.
- KATZ M.L. - SHAPIRO, C., «Network Externalities, Competition, and Compatibility», *American Economic Review*, vol. 75, 1985, pp. 424-40.
- KINDERMANN R.P. - SNELL J.L., «On the Relation Between Markov Random Fields and Social Networks», *Journal of Mathematical Sociology*, n. 7, 1980, pp. 1-13.
- KIRMAN A.P. - ODDOU C. - WEBER S., «Stochastic Communication and Coalition Formation», *Econometrica*, vol 54, gen. 1986, pp. 129-38.
- KIRMAN A.P., «Mistaken Beliefs and Resultant Equilibria», in FRYDMAN R. - PHELPS E. (a cura di), *Individual Forecasting and Collective Outcomes*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

- KRANTON R.E. - MINEHART D.F., «Networks Versus Vertical Integration», *RAND, Journal of Economics*, vol. 31, 2000, pp. 570-601.
- KRANTON R.E. - MINEHART D.F., «A Theory of Buyer-Seller Networks», *American Economic Review*, vol. 91, 2001, pp. 485-508.
- LAFFONT J.-J. - MARCUS S., REY P. - TIROLE J., «Internet Interconnection and the Off-Net-Cost Pricing Principle», *RAND, Journal of Economics*, vol. 34, n. 2, 2003, pp. 370-90
- LAFFONT J.-J. - TIROLE J., *Competition in Telecommunications*, Cambridge (Mass.), MIT Press, 2001.
- LANCASTER K.J., *Consumer Demand: A New Approach*, New York, Columbia University Press, 1971.
- LIPPERT S. - SPAGNOLO G., «Network of Relations», North American Winter Meeting of the Econometric Society, saggio presentato alla Conferenza «Network: Theory and Applications», 10-12 giu. 2004 Vaxholm, *Working Paper*, 2004.
- MCCHARTY T., *Telecommunications Regulation Handbook*, Washington, World Bank, 2000.
- MYERSON R., «Graph and Cooperation in Games», *Mathematics of Operation Research*, vol. 2, 1977, pp. 225-9.
- NORTON W.B., «Interconnection Strategies for ISPs», California (US), Equinix Inc., *Technical White Paper*, 1999, <http://www.nanog.org/mtg-9905/ppt/norton16.ppt>
- NORTON W.B., «Internet Service Providers and Peering», California (US), Equinix Inc., *Technical White Paper*, 2001, <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/shivkuma/teaching/sp2001/readings/norton-peering.pdf>.
- NORTON W.B., «The Peering Simulation Game», California (US), Equinix Inc., 2002, <http://www.cs.berkeley.edu/~randy/Courses/cs294.s02/PeeringGame.pdf>
- NORTON W.B., «The Peering Playbook», California (US), Equinix Inc., *Technical White Paper*, 2002b, <http://www.xchangepoint.net/info/wp20020625.pdf>.
- OCSE, *Communications Outlook*, Parigi, OCSE, 2003, Publications Service.
- ORDOVER J.A. - SALONER G. - SALOP S.C., «Equilibrium Vertical Foreclosure», *American Economic Review*, vol. 80, n. 1, mar. 1990, pp. 127-42.
- REIFFEN D., «Equilibrium Vertical Foreclosure: Comment», *American Economic Review*, vol. 82, giu. 1992, pp. 694-7.
- REY P. - TIROLE J., «A Primer on Foreclosure», ARMSTRONG M. - PORTER R. (a cura di), *Handbook of Industrial Organization*, vol. III, New York, North-Holland, 2003.
- ROSON R., «Two Papers on Internet Connectivity and Quality», *Review of Network Economics*, vol. 1, mar. 2002, pp. 75-80.
- SALINGER M.A., «Vertical Mergers and Market Foreclosure», *Quarterly Journal of Economics*, vol. 103, mag. 1988, pp. 345-56.
- SHELLING T., *Micromotives and Macrobehaviour*, New York, W.W. Norton, 1978.
- SLIKKER M. - VAN DEN NOUWELAND A., «A One-Stage Model of Link Formation and Payoff Division», *Games and Economic Behavior*, vol. 34, 2001, pp. 153-75.
- SLIKKER M. - VAN DEN NOUWELAND A., «Network Formation Models with Costs for Establishing Links», *Review of Economic Design*, vol. 5, 2000, pp. 333-62.
- SPAGNOLO G., «On Interdependent Supergames: Multimarket Contact, Concavity, and Collusion», *Journal of Economic Theory*, vol. 89, n. 1, nov. 1999, pp. 127-39.
- SPITZER F., «Random Fields and Interacting Particle Systems», *Mathematical As-*

- sociation of America Summer Session, Williams College, Williamstown (Mass.), *Notes on Lectures*, 1971.
- STREUFERT P.A., *The Effect of Underclass Isolation on Schooling Choice*, University of Wisconsin, Madison, mimeo, 1991.
- TIOLE J., *The Theory of Industrial Organization*, Cambridge (MA), MIT Press, 1988.
- TITLEY N., *An Analytical Model of Peering Between Internet Service Providers. Release 1*, mimeo, Londra, Flag Telecom, 24 giu. 1997.
- VAN DEN NOUWELAND A., «The Formation of Communication Networks in Cooperative Games», University of Oregon Economics Department, *Working Paper*, n. 2004-2, 2004.
- VALLETTI T., *Competizione e regolamentazione nella telefonia mobile: il problema delle tariffe di terminazione fisso-mobile*, Imperial College, Politecnico di Torino e CEPR, 2001, dipeco.economia.unimib.it/Iniziative/Pdf/valletti.pdf
- VEGA-REDONDO F., «Technological Change and Path Dependence: A Co-evolutionary Model on a Directed Graph», *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 4, 1994.
- VERGARA CAFFARELLI F., «Non-Cooperative Network Formation with Network Maintenance Costs», European University Institute, Department of Economics, *Working Paper*, n. 2004/18, 2004.
- WATTS A., «A Dynamic Model of Network Formation», *Games and Economic Behavior*, vol. 34, 2001, pp. 331-41.
- WILSON W.J., «The Truly Disadvantaged», Chicago, University of Chicago Press, 1987.
- WRIGHT J., «International Telecommunications, Settlement Rates, and the FCC», *Journal of Regulatory Economics*, vol. 15, 1999, pp. 267-91.
- YEOMANS J.M., *Statistical Mechanics of Phase Transitions*, Oxford, Clarendon Press, 1992.