

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI  
Corso di Laurea Triennale in Informatica per il Management

**STRATEGIE INDIVIDUALI, STRUTTURE DI  
INTERAZIONE E PRODUTTIVITÀ DELLE  
RETI INTRA-ORGANIZZATIVE:  
STUDIO TRAMITE MODELLO AD AGENTI**

**Tesi di Laurea in Economia Aziendale**

**Relatore:**  
**Chiar.mo Prof.**  
**Edoardo Mollona**

**Presentata da:**  
**Nadia Nasato**

**Correlatore:**  
**Chiar.mo Prof.**  
**Mario Paolucci**

**Sessione**  
**Seconda 2010/2011**

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>ix</b>
<b>1 Un problema di coordinamento</b>	<b>1</b>
1.1 L'affermazione della knowledge-based economy . . . . .	1
1.2 Le principali caratteristiche dell'informazione . . . . .	3
1.3 La specializzazione come risposta alla dinamicità dei mercati . . . . .	5
1.4 L'evoluzione dei contratti di impiego . . . . .	8
<b>2 Le premesse del modello</b>	<b>11</b>
2.1 Lo sviluppo e la sostenibilità della cooperazione . . . . .	11
2.2 Il Dilemma del Prigioniero Ripetuto . . . . .	13
2.3 Le possibili soluzioni al problema dei free rider sviluppate in letteratura	18
<b>3 Lo sviluppo del modello</b>	<b>21</b>
3.1 La simulazione ad agenti come strumento per l'indagine sociale . . . . .	21
3.2 Note sull'ambiente di simulazione . . . . .	22
3.3 Le domande di ricerca, gli assunti del modello e le ipotesi . . . . .	24
3.4 Lo sviluppo . . . . .	26
3.4.1 Gli attori del sistema . . . . .	27
3.4.2 L'inizializzazione . . . . .	28
3.4.3 Il processo . . . . .	29
3.4.4 Le ipotesi . . . . .	31
<b>4 I test sul modello</b>	<b>35</b>
4.1 Test 1 . . . . .	35
4.2 Ipotesi 1 . . . . .	62
4.3 Ipotesi 2 . . . . .	64

---

4.4	Ipotesi 3 e 4 . . . . .	65
4.5	Ipotesi 5 . . . . .	66
4.6	Ipotesi 6 . . . . .	67
<b>5</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>69</b>
5.1	Conclusioni . . . . .	69
5.2	Futura ricerca . . . . .	78
<b>Appendice A</b>		
	<b>Codice NetLogo</b>	<b>79</b>
<b>Appendice B</b>		
	<b>Statistica sulle configurazioni considerate</b>	<b>85</b>
<b>Bibliografia</b>		<b>97</b>

# Elenco delle figure

3.1	Calcolo del payoff in un turno. . . . .	30
3.2	Procedura di imitazione della strategia. . . . .	30
3.3	Processo di rewiring della rete. . . . .	30
4.1	Distribuzione della ricchezza totale ottenuta in 50 esecuzioni (config. 1). . . . .	35
4.2	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 1, caso 1, T=200). . . . .	36
4.3	Rete finale (config. 1, caso 1). . . . .	36
4.4	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 1, caso 1, T=200). . . . .	37
4.5	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 1, caso 2, T=200). . . . .	38
4.6	Rete finale (config. 1, caso 2). . . . .	38
4.7	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 1, caso 2, T=200). . . . .	40
4.8	Payoff totale di ogni nodo, in base alla strategia implementata. . . . .	40
4.9	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 1, caso 3, T=200). . . . .	41
4.10	Rete finale (config. 1, caso 3). . . . .	41
4.11	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 1, caso 3, T=200). . . . .	41
4.12	Payoff totale di ogni nodo, in base alla strategia implementata e al numero di assestamenti della strategia. . . . .	41
4.13	Distribuzione della ricchezza totale ottenuta in 50 esecuzioni (config. 2). . . . .	42
4.14	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 2, T=80). . . . .	43
4.15	Rete finale (config. 2). . . . .	43
4.16	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 2). . . . .	43

4.17	Payoff totale di ogni nodo, in base alla strategia implementata e al numero di assestamenti della strategia. . . . .	43
4.18	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 3, T=160). . . . .	44
4.19	Rete finale (config. 3). . . . .	44
4.20	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 3, T=160). . . . .	44
4.21	Distribuzione del numero di cambi di strategia totali dei nodi. . . . .	44
4.22	Payoff finale di ogni nodo, in base alla strategia implementata e al numero di assestamenti della strategia. . . . .	44
4.23	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 3, T=20). . . . .	45
4.24	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 4, T=80). . . . .	45
4.25	Rete finale (config. 4). . . . .	45
4.26	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 4, T=10). . . . .	46
4.27	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 4, T=80). . . . .	46
4.28	Ricchezza totale nelle configurazioni con rete fissa. . . . .	46
4.29	Ricchezza totale, divisa per strategia, nelle configurazioni con rete fissa. . . . .	46
4.30	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia nelle configurazioni con rete fissa. . . . .	46
4.31	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 5, T = 200). . . . .	47
4.32	Rete finale (config. 5). . . . .	47
4.33	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 5, T=200). . . . .	48
4.34	Distribuzione dei payoff totali dei nodi in base al grado (config. 5). . . . .	48
4.35	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 6, T=40). . . . .	49
4.36	Rete finale (config. 6). . . . .	49
4.37	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (conf. 6). . . . .	50
4.38	Distribuzione dei payoff totali dei nodi in base alla strategia. . . . .	50
4.39	Payoff finale di ogni nodo in base al numero di legami. . . . .	50
4.40	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 7, T=20). . . . .	50
4.41	Rete finale (config. 7). . . . .	50
4.42	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (conf. 7). . . . .	50
4.43	Distribuzione dei payoff totali dei nodi in base alla strategia. . . . .	50
4.44	Payoff finale di ogni nodo in base al numero di legami. . . . .	50

4.45	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 8, T=10). . . . .	51
4.46	Rete finale (config. 8). . . . .	51
4.47	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 8). . . . .	51
4.48	Ricchezza totale finale media nelle esecuzioni con rewiring Payoff. . . . .	52
4.49	Distribuzione della ricchezza totale, divisa per strategia. . . . .	52
4.50	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia. . . . .	52
4.51	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 9, T=200). . . . .	53
4.52	Rete finale (config. 9). . . . .	53
4.53	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 9). . . . .	53
4.54	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 10, caso 1, T=40). . . . .	54
4.55	Rete finale (config. 10, caso 1). . . . .	54
4.56	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 10, caso 1). . . . .	54
4.57	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 10, caso 2, T=40). . . . .	54
4.58	Rete finale (config. 10, caso 2). . . . .	54
4.59	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 11, T=20). . . . .	55
4.60	Rete finale (config. 11). . . . .	55
4.61	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 11). . . . .	55
4.62	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 12, T=10). . . . .	56
4.63	Rete finale (config. 12). . . . .	56
4.64	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 12). . . . .	56
4.65	Ricchezza totale finale media nelle esecuzioni con rewiring Casuale. . . . .	56
4.66	Distribuzione della ricchezza totale, divisa per strategia . . . . .	56
4.67	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia . . . . .	56
4.68	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 13, T=200). . . . .	57
4.69	Rete finale (config. 13). . . . .	57
4.70	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 13). . . . .	57
4.71	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 14, caso 1, T=40). . . . .	58

---

4.72	Rete finale (config. 14, caso 1). . . . .	58
4.73	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 14, caso 2, T=40). . . . .	58
4.74	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 14, caso 1). . . . .	59
4.75	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 15, T=20). . . . .	59
4.76	Rete finale (config. 15). . . . .	59
4.77	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 15). . . . .	60
4.78	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 16, T=10). . . . .	60
4.79	Rete finale (config. 16). . . . .	60
4.80	Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 16). . . . .	60
4.81	Percentuale media di vicini confermati nel corso di un'esecuzione (rewiring Selezione). . . . .	61
4.82	Percentuale media di vicini confermati nel corso di un'esecuzione (rewiring Casuale). . . . .	61
4.83	Ricchezza totale finale media nelle esecuzioni con rewiring Selezione. . . . .	62
4.84	Distribuzione della ricchezza totale, divisa per strategia. . . . .	62
4.85	Numero di nodi che implementano ciascuna strategia. . . . .	62
4.86	Tavola riassuntiva dei risultati delle diverse configurazioni. . . . .	63
5.1	Tavola riepilogativa delle reti finali. . . . .	72

# Elenco delle tabelle

2.1	Matrice dei payoff del Dilemma del Prigioniero. . . . .	13
4.1	Numero medio di turni necessari a TFT per diventare la strategia più presente nella rete e valore modale. . . . .	61
4.2	Numero medio di turni necessari ai nodi TFT per superare in numero i nodi ALL-D.. . . .	65
4.3	Numero medio di turni necessari affinché il numero di nodi ALL-D sia il minimo dell'esecuzione.	66





# Introduzione

Nell'ultimo decennio abbiamo assistito a un mutamento radicale dell'economia. La transizione verso la knowledge-based economy è stata resa possibile dall'accesso alle tecnologie informatiche che consentono di comunicare e processare l'informazione in tempi ridotti, attraverso l'uso di reti telematiche. Parallelamente, l'interconnessione dei mercati ha portato a un cambiamento di prospettiva nella competizione tra imprese, adesso globale, che vede l'innovazione e la focalizzazione sulle competenze distintive come driver fondamentali per la sopravvivenza sul mercato. La svolta ha dunque portato al riconoscimento del ruolo della conoscenza come fattore produttivo a sé stante (assieme ai tradizionali capitale, terra e lavoro), precursore del vantaggio competitivo per le imprese e quindi della crescita economica. Il nuovo paradigma di produzione ha determinato una spinta in tre direzioni: la richiesta di lavoro altamente specializzato per far fronte alla complessità crescente dell'ambiente e delle tecnologie, la necessità di adottare una struttura che favorisca un apprendimento continuo e infine la domanda di misure a supporto dello sviluppo ai governi, come finanziamenti in Ricerca e Sviluppo, diffusione delle infrastrutture tecnologiche, riqualificazione delle competenze dei lavoratori e flessibilità del mercato del lavoro.

Con riferimento ai primi due aspetti, si evidenzia il fatto che la divisione del lavoro derivante dalla specializzazione ha messo in crisi la tradizionale organizzazione gerarchica. Due sono i fattori che hanno imposto il ripensamento dell'organizzazione aziendale: l'impossibilità di monitorare i lavoratori e quindi di fornire corrispettivi adeguati al loro sforzo produttivo, ma anche l'impossibilità di scoprire e sanzionare comportamenti opportunistici. Entrambi questi aspetti sono frutto del fatto che la produzione dell'informazione richiede una specializzazione molto maggiore di quella posseduta dai supervisor che sono preposti al controllo dei lavoratori. Sotto questo punto di vista, il ruolo del management diventa quindi quello di integratore di competenze specifiche ed eterogenee in grado di creare le condizioni

per lo sviluppo di nuova conoscenza.

La letteratura recente ha tentato di risolvere il problema del coordinamento a monte, suggerendo l'uso di strutture organizzative basate sui team e concentrandosi sullo studio della loro composizione ottimale. Da una parte il comando distribuito può allentare le tensioni che eventualmente si vengono a creare all'interno della rete aziendale, oltre che favorire un senso di responsabilità e di iniziativa nei lavoratori. Dall'altra, il buon funzionamento di un gruppo dipende dalla capacità di adattamento e di accettazione degli altri, condizioni che possono essere favorite dall'interdipendenza o dall'esistenza di una cultura comune e che possono risultare più importanti delle attitudini operative.

L'approccio usato in questa trattazione si discosta in parte dalla letteratura esistente. La premessa è che il comportamento di un individuo è codeterminato sia dal suo carattere, dalle sue motivazioni personali, che dalle circostanze in cui si viene a trovare, cioè dalle strutture di interazione. Per struttura si intende la natura e la combinazione delle relazioni che caratterizzano una rete sociale, o, seguendo Huisman (1973), l'organizzazione sottostante che spiega i fenomeni osservati e fornisce la chiave del funzionamento di un sistema. La struttura è una realtà dinamica che viene a sua volta influenzata dal comportamento individuale. Modellando l'organizzazione aziendale come una rete, il mio scopo è quello di indagare se lasciando agli individui la possibilità di auto-organizzarsi possono emergere schemi di cooperazione.

L'utilizzo di un modello consente di cogliere l'essenza di un fenomeno, escludendo i dettagli non necessari e le caratteristiche contingenti. In particolare ho utilizzato l'approccio della simulazione ad agenti. Questa metodologia consiste nell'imitare il fenomeno studiato in un ambiente "di laboratorio", utilizzando un programma a computer che modella, operando un'astrazione, il funzionamento sottostante del sistema e delle sue componenti. Il metodo è deduttivo: si parte da alcune assunzioni sul comportamento individuale per studiare le macrostrutture risultanti. La simulazione fornisce uno strumento di analisi potente per lo studio di sistemi complessi, caratterizzati cioè dalla presenza di un numero elevato di variabili, come sono i sistemi sociali. In particolare interessano le proprietà emergenti che derivano dall'interazione dei singoli agenti, diverse dalla semplice somma delle parti.

Il modello teorico di riferimento adottato per rappresentare le interazioni che avvengono in una rete aziendale è il Dilemma del Prigioniero e, in particolare, la sua versione iterata, studiata da [Axelrod, 1984]. Questo infatti presenta la strut-

tura più semplice e generale per descrivere il problema della cooperazione: due individui devono svolgere un compito congiuntamente e hanno la possibilità di scegliere se cooperare o non cooperare. Il dilemma emerge poiché il raggiungimento degli interessi personali da parte degli attori determina un esito dell'interazione stessa peggiore rispetto a quello che si potrebbe ottenere se gli individui cooperassero. Uno dei meriti del modello è proprio quello di essere valido anche in situazioni in cui gli individui perseguono i propri interessi, senza far riferimento a relazioni di parentela o motivazioni altruistiche.

In particolare, l'estensione del Dilemma del Prigioniero ripetuto qui presentato include la modellazione di diversi processi decisionali che influenzano la scelta della strategia di gioco e la selezione di nuovi legami da parte degli agenti, con lo scopo di analizzare come il loro comportamento individuale determina l'evoluzione della topologia della rete. Alla struttura di interazione sono imposti alcuni vincoli, da parte dell'organizzazione, sotto forma di numero di legami massimo e possibilità di scegliersi o meno i compagni di lavoro. La variabile che si va a misurare è la produttività totale della rete.

Il primo capitolo è dedicato a una descrizione generale della knowledge economy e delle caratteristiche dell'informazione che influenzano i mercati e l'organizzazione aziendale. Nel secondo capitolo passo ad analizzare il problema della cooperazione, presentando alcuni risultati che si sono sviluppati in letteratura.

Nel capitolo terzo introduco, dopo una panoramica sulla simulazione sociale, il funzionamento del modello che ho creato e le ipotesi di lavoro. I risultati saranno trattati nel capitolo quarto, cui segue una summa dei risultati ottenuti nel capitolo quinto.



# Capitolo 1

## Un problema di coordinamento

### 1.1 L'affermazione della knowledge-based economy

Nell'introdurre il concetto di knowledge-based economy, voglio soffermarmi su due doverose citazioni, una di Peter Drucker (1967), consulente e studioso anticipatore degli sviluppi attuali dell'economia, e una di Herbert Simon (1973), influente ricercatore nell'ambito dell'organizzazione aziendale e delle scienze cognitive:

*Every knowledge worker in modern organization is an "executive" if, by virtue of his position or knowledge, he is responsible for a contribution that materially affects the capacity of the organization to perform and to obtain results.*

*Technology is knowledge of how to do things, how to accomplish human goals.*

La globalizzazione, l'interdipendenza e la maggiore volatilità dei mercati, i cambiamenti socio-demografici, l'emergere di contesti di ipercompetizione Schumpeteriana, la demassificazione di alcuni settori e il parallelo prosperare di nuovi mercati sono tra i fenomeni che caratterizzano l'economia attuale [Daft e Lewin, 1993]. Considerando le due espressioni precedenti, cioè l'idea di conoscenza come strumento e non solo come contenuto del lavoro e di tecnologia come un insieme organizzato di saperi e come modo di operare, inserite nel contesto dinamico appena descritto, appare chiaro come la conoscenza svolga un ruolo centrale nell'ambito delle organizzazioni aziendali. La necessità di gestire l'informazione (memorizzazione, accesso e manipolazione) permea tutti i settori economici.

Appoggiandomi ora alla *resource-based view* - teoria che sostiene che la fonte di vantaggio competitivo per le aziende consista nelle competenze che vi sono riunite, conoscenze specifiche, uniche, non imitabili e non perfettamente trasferibili -, definiamo il ruolo del management come integratore di queste conoscenze [Grant, 1996]. In particolare, è suo compito specificare le modalità con cui i lavoratori possono interagire e fornire dei meccanismi e delle strutture che facilitino lo sviluppo di una base comune di risorse da utilizzare per la successiva creazione di valore (nuove conoscenze e nuove tecnologie).

E, ancora, poiché queste risorse distintive risiedono sempre più negli individui a causa della difficoltà di codificare il *know-how* specifico di un'azienda in modo tale da standardizzare l'apprendimento e propagarlo in tutta la rete aziendale, di fondamentale importanza risulta quella che Wegner [Wegner, 1986] definisce *memoria transazionale*: è l'insieme delle conoscenze possedute dai membri di un gruppo abbinata alla consapevolezza di chi è la persona a cui rivolgersi per reperire una certa informazione. In questo modo gli individui possono ridurre la quantità di competenze a loro carico, anzi specializzarsi, pur avendo comunque accesso a un vasto capitale di conoscenze, nell'ambito dello svolgimento del loro lavoro [Dess e Shaw, 2001, Reagans et al., 2005].

Parallelamente però, l'idiosincronicità delle competenze dei diversi attori, lascia spazio a un comportamento strategico da parte degli stessi. Come ci ricorda Hayek (1945), la conoscenza posseduta da un individuo può essere resa disponibile solo con il consenso attivo del suo repositario.

A questo punto possiamo quindi chiederci come sia possibile coordinare queste conoscenze diverse e come monitorare lo sforzo produttivo dei lavoratori.

I cambiamenti nei rapporti di potere intra-aziendali, la costituzione di reti di imprese, l'evoluzione delle tecnologie informatiche a supporto della comunicazione e dell'organizzazione – pensiamo al lavoro distribuito -, il cambiamento della prospettiva temporale in cui i manager agiscono e l'imprevedibilità dei fattori di rischio ha imposto un ripensamento dell'organizzazione aziendale, ma la dinamicità del contesto ha fornito anche soluzioni radicalmente nuove per farlo [Daft e Lewin, 1993]. Il legame stretto tra innovazione e competizione impone un adattamento continuo.

Quello che si ricerca nella progettazione aziendale è dunque la flessibilità. Come accennato, questa passa anche dalla capacità di integrare competenze specifiche e favorirne la cooperazione.

Le rimanenti sezioni 1.2 e 1.3 sono dedicate alla contestualizzazione del problema, mentre la sezione 1.4 cerca di offrire uno spunto di riflessione sull'evoluzione dei contratti di lavoro.

## 1.2 Le principali caratteristiche dell'informazione

L'informazione come bene economico presenta alcune caratteristiche distintive rispetto ai tradizionali beni privati. In particolare, è intangibile, non è pienamente appropriabile e presenta rendimenti crescenti nell'uso. Possiamo analizzare le sue caratteristiche sia nel contesto interno all'azienda sia le conseguenze che queste determinano sul mercato in cui opera. Proprio con questi riferimenti, le sono state attribuite i due attributi di "sticky" (conoscenza tacita, scarsamente trasferibile) e "leaky" (conoscenza esplicita che tende a propagarsi al di fuori dei confini aziendali) [Brown e Duguid, 2001].

Dall'intangibilità discende il fatto che l'informazione ha bisogno di essere strutturata in qualche modo o inserita in un supporto fisico per essere distribuita. Si può definire conoscenza tacita quel tipo di conoscenza difficilmente codificabile. Questa può essere acquisita solo tramite l'interazione e la sua applicazione pratica. È proprio in riferimento alla conoscenza tacita che emergono i maggiori problemi, in quanto, non essendo standardizzabile, il suo trasferimento risulta lento e costoso e non è semplice propagarla in tutta la rete aziendale [Grant, 1996].

La conoscenza tacita diventa idiosincratICA se è completamente dipendente dalle circostanze in cui è stata sviluppata e trova un modo di essere applicata solo all'interno di quella particolare azienda (qui diventa "sticky") [Grant, 1996]. Oltrepassa quindi il singolo individuo: l'idea è che il know-how di un'azienda non sia solo la somma delle sue parti, ma qualcosa in più, che si crea dall'interazione (sinergia) [Griffith et al., 2003]. In questo tipo di conoscenza risiede il vantaggio competitivo.

Il carattere della non piena appropriabilità dell'informazione agisce in due modi: rende difficile escludere persone diverse dal suo creatore dalla sua fruizione e impedisce di assegnarle un valore in una transazione, senza rivelarla prima concretamente. In questo senso l'informazione è "leaky": è fluida e tende a raggiungere persone diverse, indipendentemente dalla volontà del suo creatore. È l'effetto che le



aziende cercano di evitare, in particolare per quanto riguarda le scoperte innovative (spillover).

Nell'ambito interno aziendale, si sottolinea invece che l'informazione assume alcune delle caratteristiche dei beni pubblici, in particolare la non rivalità e la non escludibilità al consumo, perciò la sua produzione e diffusione da parte di individui razionali avverrà a un livello sub-ottimo. Questo perché se vengono valutati solo i benefici individuali derivanti dal suo consumo, ci si accorge che l'impossibilità di escludere coloro che ne fanno un utilizzo non lecito implica che solo una parte dei benefici a essa connessi verranno appropriati dal suo possessore, disincentivandolo a propagare l'informazione.

L'informazione presenta rendimenti crescenti nell'uso e in particolare può essere accumulata. L'esperienza (comprensione delle conseguenze di una decisione) fornisce informazioni aggiuntive e un'interiorizzazione delle pratiche adottate. In più, il feedback ottenuto da altre persone apporta nuovo valore a un'informazione. Raggiungendo un livello ulteriore, si dice che un'organizzazione "apprende" quando le sue azioni vengono modificate in base alla riflessione sulle sue azioni o in base all'emergere di nuove prospettive [Edmondson, 2000].

L'effetto positivo della comunicazione è consistente con uno studio effettuato su laboratori di Ricerca e Sviluppo statunitensi nel quale è stata riscontrata una correlazione positiva tra la performance dei team di lavoro e la quantità di informazioni scambiate all'interno del gruppo. È stato riscontrato anche un uso efficiente della rete di comunicazione verso le aree organizzative esterne per rispondere alle contingenze del progetto [Tushman, 1978]. Lo studio osserva inoltre che, nel trasferimento di conoscenze tacite, la comunicazione orale è la forma più efficiente e più immediata. Una variabile che influisce positivamente sul livello di comunicazione e di cui occorre tenere conto è la presenza e lo sviluppo di un linguaggio comune, facilitato dal possedere un background culturale simile. In ogni caso, lo sviluppo della cooperazione richiede un atteggiamento attivo volto all'adattamento reciproco e all'apprendimento.

I riscontri di [Edmondson, 2000] sui pattern di apprendimento indicano però che i lavoratori sono sensibili anche alla struttura di potere che si forma all'interno dei team di lavoro. Questo influenza la propositività e la capacità di presentare opinioni divergenti.

### 1.3 La specializzazione come risposta alla dinamicità dei mercati

Alla base delle theory of the firm che si sono succedute, rimane valido un assunto: l'azienda esiste per risolvere un problema di coordinamento.

La teoria dei costi di transazione spiega l'emergere delle aziende, come strutture alternative al mercato, in base alla valutazione dei costi opportunità: le aziende interiorizzano la produzione di quelle risorse che sono troppo costose da acquisire sul mercato [Coase, 1937]. La loro funzione è quella di una gestione efficiente delle risorse, attraverso una divisione del lavoro dettagliata, formata il più possibile da unità elementari e autonome, e attraverso l'assegnazione dei lavoratori ai diversi compiti [Garicano, 2000]. La struttura che emerge è quella gerarchica, basata su rapporti di autorità.

Williamson (1975) invece prende in considerazione anche il possibile comportamento opportunistico da parte del lavoratore che può contribuire impiegando il minimo sforzo. La sua teoria si è concentrata sul lavoro "idiosincratico", cioè quel lavoro che dipende fortemente dalle caratteristiche del lavoratore e dell'azienda in cui è inserito. La conclusione a cui arriva è simile e segue parametri di efficienza: è conveniente sia per il lavoratore che per l'azienda instaurare un rapporto di lavoro continuato, piuttosto che ricorrere al mercato. I lavoratori che entrano nell'azienda hanno la possibilità di essere promossi a un livello superiore, senza dover rinegoziare puntualmente il proprio contratto sul mercato, in competizione con altri lavoratori e quindi erodendo il proprio margine. D'altra parte, questa struttura rappresenta un valido strumento motivazionale nelle mani dell'azienda poiché permette di ridurre il problema dei free rider (cioè di chi acquisisce dei benefici - lo stipendio -, senza pagarne il corrispettivo - il lavoro).

Introduciamo ora il principio di razionalità limitata espresso da Simon (1955): la produzione efficiente della conoscenza richiede che gli individui si specializzino in particolari aree, poiché la possibilità di acquisire, memorizzare e processare l'informazione da parte degli esseri umani è limitata.

Se in passato la divisione del lavoro era il frutto di un'organizzazione orientata alla massimizzazione della produzione, ora è un'esigenza derivante dalle competenze specifiche richieste dal mercato. E se la gerarchia era emersa per raggiungere la

massima efficienza, ora l'interdipendenza che accompagna la specializzazione del lavoro non consente più di adottare questo tipo di modello organizzativo.

Il livello di specificità dell'informazione gioca un ruolo ambivalente. Da una parte, costituisce una risorsa strategica per l'azienda, dall'altra ogni lavoratore è in una posizione di vantaggio sugli altri per quanto riguarda le informazioni uniche che detiene perché sa qual è il beneficio che può trarne [Kim, Mauborgne, 1998]. Questo può far emergere un comportamento strategico da parte del lavoratore, per cui può sfruttare questa sua posizione nella negoziazione di condizioni più favorevoli. Inoltre, i lavoratori che occupano "structural holes", cioè che si trovano in una posizione di collegamento tra due reti sociali molto connesse al loro interno, potranno raggiungere più contenuti, più ricchi in varietà, aumentando il loro potere di negoziazione [Burt, 1995]. Il controllo sull'operato dei lavoratori è inoltre reso difficile da quello che Hodgson (1999) definisce "supervisory problem": poiché la produzione di informazione è scarsamente monitorabile, la tradizionale gerarchia di controllo risulta inefficiente. Possono allora emergere facilmente episodi di free riding.

Si fa notare inoltre che laddove le gerarchie assumevano un ruolo di filtro nella produzione di informazioni che dovevano seguire la linea di comando, questo non è più sostenibile perché è richiesto un adattamento continuo e un'elevata diffusione dell'informazione all'interno dell'azienda.

Secondo Demsetz (1991), l'esistenza dell'azienda può essere spiegata allora dalle asimmetrie informative presenti sul mercato dell'informazione. La produzione di conoscenza richiede una specializzazione molto maggiore di quella richiesta per la sua fruizione. Questo introduce un problema nella definizione e nell'applicazione dei contratti, dato dall'emergere di comportamenti opportunistici in transizioni su volumi ridotti o con investimenti specifici (hold up). I mercati in questo senso falliscono proprio a causa della difficoltà di trasferire la conoscenza tacita (e di definire esattamente l'oggetto del contratto) e a causa dell'assenza di garanzie per il produttore in termini di corrispettivo equo nello scambio economico. Quindi, le aziende esistono come istituzioni che creano le condizioni che permettono a una molteplicità di individui di integrare le loro conoscenze specifiche [Grant, 1996]. Se si ricorresse al mercato, si dovrebbe invece venire a creare una struttura di prezzi molto complessa perché questi dovrebbero essere diversificati in base agli attori coinvolti e allo specifico oggetto di contrattazione. L'internalizzazione di queste asimmetrie nell'azienda permette anche di raggiungere quella stabilità necessaria per imparare

a gestire le interdipendenze e produrre valore. Il compito del management diventa quello di broker di specialisti: si occupa di trovare le persone giuste, riconoscere e sviluppare opportunità, modificare e rivedere i piani in base ai cambiamenti del mercato [Burt, 1995].

Facendo un ulteriore passo avanti, Adler (2001) suggerisce che le future transazioni avverranno sempre più tra organizzazioni basate sulla fiducia.

Già Saxberg e Slocum (1968) erano giunti a una conclusione simile nell'ambito dello studio dell'organizzazione dei laboratori scientifici. Essi sostenevano che il lavoro di ricerca dovesse avvenire in organizzazioni informali in cui i meccanismi di controllo erano basati su un sistema di sanzioni auto-regolate dalla comunità di scienziati. Un esempio concreto è rappresentato dallo sviluppo del sistema operativo Linux [Lee e Cole, 2003]. Il ruolo dei commenti critici e l'ambiente aperto sono stati fondamentali per portare a termine un lavoro di qualità, ma anche nel riunire persone diverse, distanti geograficamente. Seppure la coesione dei lavoratori nello sforzo possa essere ricondotta a motivazioni etiche e al fatto che si trattasse di volontari, è indicativo osservare l'emergere di una differenziazione dei ruoli spontanea, non pianificata, basata sull'anzianità, sulla competenza e sull'ambito di sviluppo (sezioni critiche o parti periferiche del kernel).

In generale, possiamo notare che la recente adozione su larga scala delle strutture basate sui team è un tentativo di rispondere alle carenze delle strutture gerarchiche per quanto riguarda la motivazione dei lavoratori. Si riconosce quindi che la cooperazione può essere raggiunta attraverso l'auto-organizzazione dei team, poiché i manager non hanno le competenze necessarie per fornire ai lavoratori un supporto adeguato [Grant, 1996]. Il lavoro in team è collegato, in base a diverse ricerche, a un aumento della produttività (ma questo aspetto è più dibattuto), della qualità dei prodotti e del customer care. È da notare che si tratta sempre più di team di specialisti eterogenei che devono affrontare compiti non routinari. Questo è un fattore che agisce a discapito dello sviluppo della cooperazione, in quanto è riconosciuto che la divergenza di background e obiettivi possono generare conflitto. È necessario supportare in qualche modo lo sviluppo della cooperazione per rendere effettivamente efficiente l'impiego di questa struttura all'interno dell'azienda [Pinto et al., 1993].

Le abilità sociali diventano un fattore sempre più importante. Avere a disposizione una rete di relazioni ampia consente di avere accesso a un maggior numero

e una maggiore eterogeneità di risorse [Dess e Shaw, 2001]. Il valore di individui con reti sociali ricche è quindi più elevato perché sono in grado di attrarre altri lavoratori con competenze elevate. In più costituiscono un'interfaccia positiva verso gli stakeholder dell'azienda. Esistono report che ci dicono che succede sempre più spesso che aziende cerchino di cooptare dipendenti influenti di altre aziende, specialmente quando questi coltivano relazioni sociali in grado di determinare la successiva dipartita di altri colleghi [Dess e Shaw, 2001]. In questo modo si priva di capitale sociale l'azienda di partenza (che inoltre dovrà sostenere nuovi costi per trovare e addestrare nuovi lavoratori). Questo per le aziende significa una sfida a mantenere persone specializzate al loro interno. Coerentemente con la teoria dei costi transazionali di Williamson, l'azienda beneficia più della continuità del rapporto lavorativo che dei contratti flessibili.

Il ruolo giocato dalla cultura aziendale e dalle strutture sociali diventa critico per la capacità di sfruttare le competenze individuali. D'altronde la creazione di un'identità aziendale non è priva di aspetti negativi: può inficiare sulla spinta all'innovazione e l'omogeneità di vedute tende a erodere l'efficienza del decision-making collettivo. Secondo la McKinsey & Company [Fishman, 1998], la risorsa più importante nei prossimi 20 anni sarà il talento. Le aziende hanno bisogno di persone sveglie, in grado di sfruttare le tecnologie e "agili" in un contesto operativo e sociale.

## 1.4 L'evoluzione dei contratti di impiego

Se da una parte potremmo essere indotti a pensare che i contratti a progetto siano meglio indicati ad affrontare un contesto dinamico perché può risultare più facile descrivere di volta in volta contratti contingenti per aumentare l'efficienza nel breve periodo [Matusik e Hill, 1998], diversi studi suggeriscono che le aziende avrebbero una maggiore convenienza a utilizzare contratti a tempo indeterminato, cioè a sviluppare le competenze presenti all'interno della loro rete aziendale.

Come menzionato nel paragrafo 1.3 parlando di asimmetrie informative, è proprio la difficoltà di gestione dei contratti che giustifica la preferenza per i mercati di lavoro interni [Williamson et al., 1975]. Alcuni esperimenti di simulazione [Mollona e Hales, 2006] suggeriscono che la mobilità del lavoro avvantaggi le imprese specialmente quando la produttività dei dipendenti può essere determinata con una certa precisione. L'uso di contratti a tempo indeterminato può, invece, portare a una maggiore flessibilità nel lungo periodo. Se l'ambiente è instabile e

la produzione presenta interdipendenze tra i lavoratori, le conoscenze accumulate garantiscono l'accesso a una maggiore varietà di risorse che sapranno cogliere più velocemente i cambiamenti del mercato.

Anche dalla parte dei lavoratori si riscontra un'alta vitalità. Secondo lo scenario del mercato del lavoro disegnato del già citato studio di McKinsey & Company ([Fishman, 1998], sezione 1.3), questi sono attratti dalla possibilità di lavorare in aziende con una mission chiara, in un ambiente flessibile in cui vengono messi alla prova e stimolati ma dove ci sono opportunità di avanzamenti di carriera.

Si prefigura una corsa al talento tra le aziende.



## Capitolo 2

# Le premesse del modello

### 2.1 Lo sviluppo e la sostenibilità della cooperazione

Nella sua formulazione più semplice, la cooperazione può essere definita come la situazione in cui, due individui che devono portare a termine un compito, svolgono il lavoro congiuntamente e si spartiscono i benefici da esso derivanti.

Il *social dilemma* emerge quando gli interessi individuali sono in conflitto con quelli della collettività. Gli individui infatti hanno la possibilità di scegliere due tipi di azione, una prosociale (cooperare) e l'altra egoistica (non cooperare), tali per cui la prima impone di sostenere un costo maggiore o garantisce un beneficio minore rispetto alla seconda, anche se sarebbe preferibile per la società nel suo complesso.

Affrontiamo prima la questione della sostenibilità della cooperazione: i comportamenti altruistici appaiono fragili in un mondo in cui esistono non cooperatori. Da un punto di vista puramente razionale infatti, è immediato verificare che i benefici ottenuti dai free rider sono sempre maggiori di quelli ottenuti dai cooperatori, poiché questi vengono percepiti lo stesso, pur apportando il minimo sforzo. La domanda allora è perché esistono persone che cooperano, sapendo che altri non lo faranno [Simon, 1973, Eguíluz et al., 2005].

Sociologi, economisti e biologi hanno cercato di individuare le dinamiche che possono spiegare questi comportamenti. Tradizionalmente, si è fatto riferimento ai concetti di kinship (la cooperazione esiste nelle relazioni che coinvolgono individui che condividono una parte dei propri geni), group selection (la selezione naturale avviene al livello di gruppo, oltre che di individuo: la cooperazione intragruppo



incrementa la capacità di sopravvivere dello stesso) e reciprocità (la cooperazione è sostenibile se è basata sullo scambio di benefici).

Un esempio di reciprocità è quello di “enlightened selfishness” di Simon. Ogni individuo dipende per la sua sopravvivenza dalla società, per il reperimento e lo scambio di beni. Quindi, quando egli evita di compiere azioni che possono danneggiare la società nel suo complesso, avvantaggia anche sé stesso perché potrà contare ancora, in futuro, sulla cooperazione altrui e sulle risorse comuni. La tendenza a fare affidamento alle norme sociali (“docility”) e la razionalità limitata (quindi l’incapacità della mente umana di considerare tutte le alternative disponibili) sono i fattori che garantiscono la perpetuazione della cooperazione.

Un altro esempio di reciprocità è il Dilemma del Prigioniero Ripetuto [Axelrod, 1984] che verrà analizzato in dettaglio nella sezione 2.2. In questa cornice teorica sarà invece il tempo, la continuità dell’interazione o la “shadow of the future” che renderà sostenibile la cooperazione.

Passando ad analizzare come si sviluppa la cooperazione, pare imprescindibile iniziare a considerare la struttura delle relazioni tra gli individui.

Coleman (1988) fornisce una spiegazione in termini di presenza di sanzioni o norme, inserendole in un contesto di interazioni sociali. La sua osservazione di partenza è che si possono riscontrare episodi di free riding e comportamenti proattivi (sono quelli degli “zeloti”), all’interno di uno stesso ambito. Lo scopo della sua ricerca è allora volto a trovare le motivazioni che spingono gli individui ad assumere comportamenti opposti. Secondo Coleman la risposta si trova nella capacità del tessuto sociale di rendere effettiva una norma. Il merito di questa spiegazione è quello di ammettere un sistema di sanzioni, non necessariamente al di sopra delle parti, che si occupi di internalizzare le eventuali esternalità negative provocate dal comportamento opportunistico dei non cooperatori. Anzi, è proprio perché le azioni cooperative presentano esternalità positive su individui terzi che questi avranno la capacità di fornire un incentivo a cooperare. In più, differenze nei benefici percepiti tra i soggetti creano un potenziale, cioè un meccanismo che permette di amplificare l’effetto delle esternalità. Questo potenziale dipende dalla struttura sociale: maggiore è la chiusura della rete (elevata connessione tra i vicini di un nodo o “triadic closure”) e quindi maggiore è la possibilità di rendere effettiva una sanzione, tanto maggiore sarà il potenziale.

Il mio contributo a questa corrente di studi si è concentrato sullo sviluppo della cooperazione nell'ambito della vita aziendale, prendendo a riferimento una struttura a rete. Ho modellato le interazioni tra i lavoratori prendendo le mosse dal Dilemma del Prigioniero ripetuto [Axelrod, 1984] per studiare l'evoluzione che interviene sulla topologia della rete.

Prima di passare alla descrizione del modello, verranno riprese e dettagliate nella sezione 2.2 le caratteristiche del Dilemma del Prigioniero ripetuto.

La sezione 2.3 infine si occupa di fare una panoramica dei risultati, alcuni più tradizionali e altri più innovativi, proposti dalla letteratura recente al problema della cooperazione e della motivazione dei lavoratori.

## 2.2 Il Dilemma del Prigioniero Ripetuto

Il dilemma del prigioniero (codificato da A. W. Trucker nel 1950) è un gioco a informazione completa, tradizionalmente definito per 2 agenti. Questi devono svolgere un compito e hanno la possibilità di scegliere se cooperare ( $C$ ) o non cooperare ( $D$  - defect) con l'altro giocatore (le scelte a disposizione del primo giocatore sono indicate nella prima riga, quelle del secondo giocatore invece nella prima colonna), ottenendo, a seconda del risultato dell'interazione, uno dei seguenti payoff:

	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>C</b>	$R, R$	$S, T$
<b>D</b>	$T, S$	$P, P$

Tabella 2.1: Matrice dei payoff del Dilemma del Prigioniero.

I payoff sono così definiti:

- $T$  = Temptation to defect;
- $R$  = Reward for mutual cooperation;
- $P$  = Punishment for mutual defection;
- $S$  = Sucker's payoff.

Il paradosso che dà origine al dilemma nasce dal fatto che la scelta Pareto-ottimale ( $C, C$ ) non è quella preferita dai giocatori ( $D, D$ ), posto che i valori dei payoff rispettino la seguente disuguaglianza:

$$T > R > P > S$$

I due giocatori infatti conoscono i payoff risultanti dalla combinazione delle loro mosse, ma non possono comunicare tra loro. Possiamo immaginare che si tratti di due criminali che hanno commesso un reato e vengono arrestati e interrogati separatamente. Ognuno può scegliere se cooperare con il complice (e quindi non confessare) o non cooperare, cioè confessare il reato e in questo modo evitare la pena che verrà invece scontata interamente dall'altro. Se entrambi non confessano vengono tenuti in carcere per aver commesso un reato minore. Se entrambi confessano, ottengono la pena prevista, maggiore della precedente. Quindi, se ciascuno dei due valuta la risposta ottimale individuale in base alla possibile mossa dell'altro, si raggiunge sempre lo stato  $(D, D)$ . Ipotizzando che l'altro cooperi, si è indotti a non cooperare perché in tal modo si può ottenere il payoff più alto,  $T$  (*Temptation* - la scarcerazione nell'esempio). Se invece si assume che l'altro non cooperi, anche in questo caso il risultato migliore viene ottenuto non cooperando e facendo ottenere a entrambi  $P$  (*Punishment* - la pena ridotta nel nostro caso), piuttosto che farsi sfruttare dall'altro e ottenere  $S$  (*Sucker's payoff* - la pena più elevata).

L'idea di Axelrod (1984) è quella di ammettere la possibilità che i due agenti si incontrino nuovamente per vedere come può cambiare la scelta di cooperare o meno dei due giocatori. L'adozione di questo modello di riferimento nasce dal fatto che egli sostiene che l'emergere della cooperazione possa essere spiegato anche in casi in cui ognuno degli attori del sistema persegue i propri interessi. Il Dilemma del Prigioniero infatti non è un gioco a somma zero: è una situazione in cui gli interessi delle parti sono parzialmente in conflitto e parzialmente coincidono. Inoltre, in questo modo Axelrod fornisce una soluzione alternativa al problema della cooperazione che va oltre al caso di relazioni di parentela, poiché in questo modello gli attori non sono necessariamente spinti ad agire tenendo conto del benessere altrui. Né viene prevista un'autorità centrale che regoli la vita sociale e a cui gli individui si sottomettono, come teorizzato da Hobbes. Quello che viene assunto dal modello non è un comportamento utilitaristico, bensì strategico (dove per strategia si intende una specifica di cosa fare in qualunque situazione possa sorgere). Questo non vuol comunque dire che il comportamento degli agenti sia razionale o che il seguire una strategia sia un atto consapevole.

Se il gioco viene ripetuto, deve valere anche la condizione:

$$R > \frac{(T + S)}{2}$$

cioè i due agenti non possono risolvere il dilemma sfruttandosi a vicenda a turno (quindi guadagnando una volta  $T$  e una volta  $S$ ). Per evitare che questa sia un'alternativa conveniente, il guadagno derivante dalla mutua cooperazione deve essere maggiore della media del *Temptation payoff* e del *Sucker's payoff*. L'incertezza che esisteva riguardo la mossa altrui durante il gioco del Dilemma del Prigioniero semplice (o l'incapacità di monitorare l'altro per essere sicuri che venga giocata la mossa concordata) determinava lo stato finale ( $D, D$ ). Ora invece l'incertezza viene spostata tra un turno e l'altro, ovvero è sempre possibile che si verifichi in futuro un'interazione tra i medesimi agenti, ma gli agenti non sanno se questo accadrà e quando. Questo ha l'effetto di sovvertire l'esito del gioco, ammettendo l'emergere di uno schema di cooperazione. Le altre premesse del modello di Axelrod sono:

- non esistono meccanismi che consentano di fare appello a minacce credibili e mantenerle;
- non è possibile prevedere la mossa dell'altro giocatore guardandolo giocare con altri agenti, cioè non si prende in considerazione l'esistenza di un sistema di reputazioni affidabili;
- non è ammessa la possibilità di interrompere un'interazione;
- non è possibile modificare la matrice dei payoff.

La prima analisi da lui effettuata è la simulazione di un confronto tra coppie di strategie, per un certo numero fisso di iterazioni, con lo scopo di trovare la più efficace, in termini di payoff generato maggiore. Axelrod invitò studiosi e gente comune a contribuire possibili strategie di gioco e organizzò due tornei (il primo vide l'utilizzo di 14 diverse strategie, il secondo ne comprendeva in totale 63). Nei tornei ciascuna strategia è stata accoppiata - eseguendo 200 iterazioni - a tutte le altre (girone a round-robin), comprese la strategia stessa e quella RANDOM (in cui la scelta di ogni mossa è casuale). Alla fine si sono confrontati i payoff totali ottenuti da ciascuna strategia nei confronti delle altre. In entrambi i casi la strategia vincente è risultata Tit-For-Tat, presentata da A. Rapoport. Questa regola è molto semplice e richiede di ricordare solo la mossa precedente dell'intera sequenza di gioco: la prima mossa è  $C$ , le successive corrispondono alla mossa giocata dall'avversario nel turno precedente. Si nota che tra le strategie proposte, TFT non sarebbe stata la migliore nel primo torneo se fosse stata presente Generous TFT, una variante più

benevola che non defeziona sempre in risposta all'avversario ma continua a cooperare, in base a una certa probabilità. Questo ci fa comprendere che la performance di una strategia risente anche del contesto in cui è inserita e che le assunzioni sui comportamenti individuali che portano alla definizione di strategie di risposta hanno un effetto anche sul sistema nel suo complesso. Nel secondo torneo i partecipanti, a conoscenza dei risultati del precedente, hanno provato a migliorare le strategie proposte essenzialmente cercando di ricavarare il massimo sfruttando le strategie più benevole, finendo per modificare l'ambiente di interazione. Ciononostante, TFT è risultata ancora la strategia migliore. Le caratteristiche vincenti di TFT possono essere così riepilogate:

- *Nice*: TFT non è mai la prima strategia a non cooperare;
- *Retaliating*: è una strategia provocabile e reattiva. Se l'altro non coopera, TFT evita di farsi sfruttare a lungo ripagando con una mossa non cooperativa (o più, se l'altro continua a giocare *D*). Essere cooperativi incondizionatamente può essere pericoloso per sé stessi perché ci rende sfruttabili;
- *Forgiving*: indica la propensione di cooperare nelle mosse successive a quella in cui l'altro giocatore non ha cooperato. TFT è in grado di ripristinare il corso di cooperazione reciproca, una volta riconosciuti gli intenti dell'avversario, se questi riprende a cooperare;
- *Clarity*: le sue azioni sono manifeste, non mira all'astuzia o a raggirare l'avversario mascherando le sue intenzioni per sfruttare la cooperazione dell'altro in turni successivi;
- *Discriminating*: è in grado di riconoscere gli altri giocatori con cui ha interagito in passato e di adattare il suo comportamento in base al risultato ottenuto nel turno precedente.

Tutte le regole più sofisticate che cercavano di prevedere il comportamento dell'altro giocatore non hanno ottenuto un buon risultato nel torneo perché non hanno tenuto in considerazione il fatto che anche il comportamento dell'altro giocatore varia in base al comportamento perseguito da essi stessi.

La seconda analisi condotta da Axelrod è quella che assume una prospettiva ecologica, cioè parte da un contesto popolato da una o più strategie diverse che

cambiano nel tempo, con lo scopo di trovare fondamenti teorici al fenomeno dell'emergere della cooperazione. Il modello di lavoro viene modificato eseguendo più volte il torneo. In ciascun torneo rimane fissa la ripetizione del gioco tra ogni coppia di strategie considerate, per 200 volte. Alla fine di ogni torneo però, la ripartizione delle strategie presenti cambia. L'idea è che il payoff cumulato da una strategia, giocando contro tutte le altre, corrisponda alla sua fitness (capacità di sopravvivere nell'ambiente). Da una "generazione" all'altra le strategie meno produttive vengono abbandonate in favore di altre.

I risultati teorici indicano che strategie basate sulla reciprocità possono sempre affermarsi in un contesto dominato dalla non cooperazione, posto che l'entrata di nuovi agenti nell'ambiente simulato avvenga a piccoli gruppi che, interagendo frequentemente tra di loro, riescono a generare benefici sufficienti a proteggersi dalle interazioni con gli agenti non cooperativi che li danneggiano (penetrabilità iniziale). Considerando invece un mondo popolato da diverse strategie, si è trovato che le strategie basate sulla reciprocità possono prevalere sulle altre (robustezza). Infine, queste strategie si sono dimostrate stabili, cioè in un ambiente popolato solo da strategie basate sulla reciprocità, queste sono in grado di resistere all'invasione di singoli individui con strategie opportunistiche (sostenibilità).

Un'ulteriore variante considerata è quella in cui l'interazione è vincolata dalla territorialità. Rispetto all'analisi precedente, un certo numero di individui che implementano ciascuna strategia popola una griglia bidimensionale. Questa imposizione riduce l'interazione fra le sole coppie di individui che si trovano su due caselle adiacenti. Gli individui possono cambiare strategia confrontando il loro payoff con quello dei vicini; questo corrisponde all'idea che gli individui cerchino di sviluppare la strategia più promettente osservando i risultati altrui o semplicemente provandone diverse, determinando così un'evoluzione dell'insieme delle strategie presenti nell'ambiente simulato.

Imponendo ulteriori vincoli in termini di strategie considerate, è stato quindi possibile dimostrare che la performance di una strategia dipende dallo specifico contesto di interazione. In 5 simulazioni su 6, comunque, TFT è risultata ancora una volta la strategia predominante. L'andamento tendenziale delle simulazioni vede sopravvivere le strategie basate sulla reciprocità che hanno ottenuto i payoff maggiori nei due tornei ma possono emergere anche strategie minori che nei tornei avevano ottenuto un risultato inferiore, se riescono a ottenere buoni risultati con

il sottoinsieme di strategie considerate. Si nota che una volta che la cooperazione si è affermata si raggiunge anche la stabilità della griglia poiché i payoff generati dall'interazione sono uniformi, nessuna strategia è la prima a non cooperare in una sequenza di iterazioni e quindi non intervengono più cambiamenti di strategia.

### **2.3 Le possibili soluzioni al problema dei free rider sviluppate in letteratura**

Le nuove leve motivazionali proposte in letteratura riguardano due sfere: il riconoscimento sociale e gli incentivi economici. Nel primo caso, diversi studi si sono concentrati sulle variabili su cui agire nell'atto di formazione dei team. Citiamo alcuni esempi:

- promozione dell'empowerment dei team, che comprende la possibilità di auto-organizzare il lavoro, la discrezionalità nelle scelte, una maggiore comprensione del contributo dato all'azione dell'impresa, la possibilità di generare feedback e cambiamenti anche in altri reparti [Kirkman e Rosen, 1999];
- definizione di regole di composizione dei team, valutando per esempio le reazioni dei lavoratori a un incremento dell'autonomia e della responsabilità (può variare in base alla cultura di provenienza del lavoratore), le differenti propensioni degli individui al rischio, alla condivisione del comando e delle decisioni, alla percezione dell'equità della remunerazione [Kirkman e Shapiro, 1997, Kim, Mauborgne, 1998].

Tutte queste derivano dal riconoscimento che la spinta al comportamento opportunistico può essere limitata se i lavoratori sono soddisfatti del proprio lavoro e quindi sono orientati positivamente nei confronti del loro ruolo nell'azienda. Possiamo qui ritrovare degli echi di Coleman: l'inserimento sociale favorisce la motivazione e quindi la cooperazione.

Se si decide di utilizzare incentivi economici, bisogna fare attenzione nel legarli alla performance globale del team di lavoro: non tutti i lavoratori reagiscono positivamente a una simile pratica. La difficoltà di identificare i contributi individuali nella creazione di valore rende difficile la distribuzione equa degli incentivi. È stato suggerito [Barua et al., 1995] che il compito di supervisionare i lavoratori possa

essere svolto dal team stesso. Quest'idea si basa sul fatto che la pressione esercitata dagli altri lavoratori possa costituire un incentivo ad adottare un comportamento proattivo.

Pochi sono invece i contributi che indagano sul ruolo della struttura e sulle sue influenze nella promozione della cooperazione. Per analizzare gli effetti della struttura risulta spesso più comodo ricorrere a simulazioni piuttosto che effettuare ricerche dirette, come è il caso degli studi qui riportati. Inoltre, tutti i modelli considerati fanno ricorso a una struttura a rete, più adatta a modellare le interazioni sociali.

Stewart e Barrick (2000) attribuiscono l'efficienza del lavoro in team non solo alla motivazione che si può creare all'interno del gruppo stesso ma anche all'interdipendenza dei compiti assegnati e più in generale alla struttura del team, dove per struttura si intende la configurazione delle relazioni aziendali in termini di allocazione dei compiti, responsabilità e autorità. In particolare, un'interdipendenza accentuata favorisce la formazione di norme sociali. Questo sottintende un alto livello di concordanza sul comportamento ritenuto accettabile da parte del gruppo. È da notare che una bassa interdipendenza favorisce parimenti l'efficacia del team poiché ognuno è responsabile solo per sé stesso e non sono richiesti alti livelli di comunicazione per portare a termine i rispettivi compiti. Sono proprio i team con moderata interdipendenza che mostrano segni di disagio perché le interazioni non sono sufficienti a sviluppare un senso comune.

Eguiluz [Eguiluz et al., 2005] invece parte dalle seguenti premesse: 1) il comportamento degli individui è influenzato dalle persone con cui interagiscono e 2) la struttura sociale che si viene a creare non è un fattore esogeno. L'interazione tra i lavoratori nell'ambito dello svolgimento dei loro compiti è modellata come un gioco del Dilemma del Prigioniero, considerando due sole strategie, quella che coopera sempre e quella che non coopera mai. I risultati della simulazione indicano che, se la rete riesce a raggiungere uno stato stazionario, si sviluppa una gerarchia spontanea tra gli agenti in base alla capacità di rendere stabile la rete, cioè di rendere più conveniente la scelta di cooperare rispetto a quella di non cooperare.

Hanaki [Hanaki et al., 2007] invece, è arrivato a conclusioni che si trovano in contrasto con le teorie di Coleman viste nella sezione 2.1. La sua ricerca ha come oggetto la coevoluzione delle reti sociali e della cooperazione. Il modello, basato sempre sul Dilemma del Prigioniero, introduce una serie di varianti. Oltre alla pos-



sibilità di modificare la propria strategia include la possibilità di scegliere con chi giocare e la possibilità di terminare unilateralmente una relazione, in base a una valutazione dei benefici attesi da quel legame. Un ulteriore parametro considerato negli esperimenti è il livello di fiducia degli agenti sul comportamento altrui. Il risultato è che la cooperazione, variando i parametri iniziali, non viene promossa con le stesse modalità. La possibilità di escludere i non cooperatori (sciogliendo un legame) e la scelta di nuovi legami tra i vicini dei vicini favoriscono il rafforzamento locale di cluster di cooperatori. Questi stessi fattori, riducono l'espansione globale della cooperazione, che può invece essere sviluppata se la fiducia nel livello di cooperazione della rete è minore, se i legami sono più radi e se il raggio di scelta di un nuovo legame è più ampio e casuale.

## Capitolo 3

# Lo sviluppo del modello

### 3.1 La simulazione ad agenti come strumento per l'indagine sociale

Quando ci si avvicina a sistemi complessi, in cui l'interazione tra le diverse parti non è lineare, e si vuole ottenere una maggiore comprensione del fenomeno studiato, spesso si ricorre a simulazioni a computer. Questa metodologia consiste nell'imitare il fenomeno in un ambiente "di laboratorio", utilizzando un programma a computer che modella, operando un'astrazione, il funzionamento sottostante del sistema e delle sue componenti. Il vantaggio risiede nel fatto che eseguire il modello consente di osservare il fenomeno nella sua evoluzione e nel fatto che sarà sempre possibile rieseguire la simulazione, variarne i parametri di input e registrarne i risultati.

La simulazione sociale ad agenti modella gli elementi di un sistema usando l'artificio di "agente". Per agente si intende una qualsiasi entità dotata di intenzioni e comportamenti autonomi, inserito in una società virtuale, simulata al computer. A partire da alcune assunzioni sul loro comportamento individuale, è possibile indagare quali sono le conseguenze prodotte dall'interazione delle diverse parti sul sistema nel suo complesso.

La possibilità di tradurre i risultati della simulazione nel mondo reale dipende dalla qualità della modellazione ovvero da quanto il modello è una buona rappresentazione del fenomeno. La sfida è quella di cogliere i tratti determinanti, escludendo i dettagli inutili ai fini della domanda di ricerca. Fare un modello tanto complicato quanto la realtà non porta a nessuna lettura nuova del fenomeno.

La simulazione ad agenti è una disciplina molto recente (ha iniziato a essere largamente usata solo negli anni Novanta [Gilbert e Troitzsch, 2005]) e non ha ancora sviluppato approcci universali e assodati alla modellazione, ma ha trovato l'adozione in campi diversi: Sociologia, Economia, Fisica, Scienze Politiche, ecc.

Il motivo del suo successo può essere spiegato dal fatto che fornisce uno strumento di analisi potente. Tradizionalmente, con i modelli matematici (ampiamente utilizzati anche in Economia) l'idea era quella di partire da una serie di condizioni iniziali e poi dedurre le implicazioni di questi assunti per arrivare alla dimostrazione di un'ipotesi. Condurre questo tipo di ragionamento può diventare molto difficile in presenza di un numero elevato di variabili, come succede per i sistemi sociali. La simulazione ad agenti invece si preoccupa di specificare il comportamento individuale degli agenti e le loro risposte ai cambiamenti dell'ambiente, per poi osservare l'effetto complessivo. Quello che diviene interessante, piuttosto che arrivare a una dimostrazione, è guardare quello che emerge dal modello in sé. Non è cambiata solo l'analisi ma il modo di pensare riguardo ai processi sociali: si parte dal particolare per studiare le macrostrutture risultanti. Queste solitamente presentano proprietà nuove, derivanti dall'interazione complessa delle parti e quindi difficilmente prevedibili, diverse dalla semplice somma delle parti.

## 3.2 Note sull'ambiente di simulazione

Lo strumento che ho utilizzato per condurre la simulazione ad agenti è NetLogo.

Netlogo è sia un ambiente di modellazione che un linguaggio di programmazione per descrivere fenomeni naturali e sociali. È stato realizzato da Uri Wilensky nel 1999 e il suo sviluppo è continuato presso il Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling (ospitato prima alla Tufts University di Boston e dal 2000 alla Northwestern University di Chicago). La versione attuale è la 4.1 (2009).

NetLogo è open-source e multi-piattaforma (è supportato per Linux, Mac OS e Windows). Il linguaggio di modellazione è dichiarativo (internamente è implementato in Java) e consente di dare istruzioni a insiemi di agenti che agiscono indipendentemente e parallelamente. NetLogo risulta particolare adatto a modellare sistemi che si evolvono nel tempo. Dopo la fase di inizializzazione infatti, di norma l'esecuzione si compone di una serie di passi in cui gli agenti reagiscono alla modifiche dell'ambiente, al passare del tempo o *tick*.

NetLogo comprende una nutrita libreria di modelli appartenenti a settori scientifici diversi. Alcuni di questi sono realizzazioni di classici modelli di riferimento (Small World di Granovetter, 1973, Segregation di Schelling, 1971) che possono servire da base per prendere confidenza con la simulazione ad agenti e che possono essere estesi o modificati. Esiste anche una Community online in cui inserire e discutere nuovi modelli.

Sul sito sono reperibili anche un manuale e un dizionario contenente la spiegazione dei comandi base del linguaggio.

NetLogo si compone di due viste, l'interfaccia grafica e l'editor di programmazione. La scrittura del programma diviene subito eseguibile nell'interfaccia, dove si visualizza la simulazione vera e propria. L'interfaccia può essere inoltre arricchita con bottoni per azionare comandi, slider per selezionare i parametri e grafici che vengono disegnati dinamicamente, aumentando l'interattività del modello.

Il dominio di NetLogo comprende quattro tipi di attori:

- *turtles*: sono gli agenti che si muovono nel mondo simulato;
- *patches*: sono le caselle che compongono la griglia bidimensionale; sono il contesto che permette agli agenti di interagire;
- *observer*: è colui che guarda l'interazione e può dare comandi;
- *link*: sono una particolare struttura che permette di superare le limitazioni della griglia bidimensionale e sviluppare il concetto di rete.

Gli agenti vengono definiti autonomi nel senso che agiscono senza bisogno di un diretto intervento da parte del programmatore, una volta che il modello è in esecuzione. Sono inoltre ricettivi nel senso che modificano le loro azioni in base alle circostanze e all'evoluzione del modello allo scorrere del tempo e sono in grado di interagire con gli altri agenti. La proattività, cioè la capacità di agire seguendo un proprio piano e non solo in base a stimoli esterni, può essere una proprietà emergente del modello.

Oltre all'esecuzione interattiva, NetLogo comprende anche strumenti accessori come il Behaviour Space che consente di creare delle test suite, ovvero un insieme di

test da eseguire specificando le combinazioni di parametri che si intendono variare. Gli stati del sistema nei vari passi vengono poi salvati in forma tabellare per una successiva analisi.

### 3.3 Le domande di ricerca, gli assunti del modello e le ipotesi

Partendo dall'idea che le aziende knowledge-based svolgano la funzione di broker di competenze specializzate ed eterogenee, non facilmente integrabili e monitorabili, si vuole cercare di capire se la libertà di mobilità, intesa come possibilità di scegliere i propri compagni di lavoro, può sostituire altri tipi di incentivi per aumentare la cooperazione intra-aziendale e indirettamente il livello di produttività dei lavoratori. L'idea di base proviene da un altro modello, sviluppato da Ferriani e Mollona (non ancora pubblicato), presso il Dipartimento di Scienze dell'Informazione dell'Ateneo.

L'organizzazione interna di un'azienda è visualizzata come una rete, dove ogni nodo rappresenta un lavoratore e i link sono i legami formali e informali che i lavoratori stabiliscono tra di loro e che sottendono il completamento dei loro compiti. Ogni link è bidirezionale, cioè se il nodo  $a$  è connesso con il nodo  $b$ , anche  $b$  è connesso con  $a$ . Nella simulazione, la struttura reticolare risulta più adatta a modellare un ambiente in cui la partecipazione è fluida e i legami informali contano quanto quelli formali. Rispetto a una griglia bidimensionale, l'utilizzo di una struttura a rete permette quindi di oltrepassare i limiti dell'interazione basata sulla territorialità. In quest'ultimo caso infatti l'interazione di un nodo sarebbe vincolata dalla posizione in cui si trova sulla griglia e dal tipo e numero di strategie con cui può entrare in contatto (il numero massimo di vicini di un nodo, ossia i nodi adiacenti, è imposto dalla griglia). Questo renderebbe complessa e più artificiale la gestione della mobilità della rete che invece permette di connettere nodi distanti tra loro.

A differenza di quanto avviene già in [Ferriani e Mollona] dove era stato usato un approccio costi-benefici basato sulla Social Exchange Theory [Blau, 1964], in questo progetto l'interazione è modellata come un Dilemma del Prigioniero ripetuto. L'unità di interazione minima prima che sia ammessa la modifica del comportamen-

to strategico di un nodo è il *turno*. In ogni turno  $t$ , ciascun nodo ripete un certo numero di volte (*iterazioni*) il Dilemma del Prigioniero con i nodi vicini, adottando una delle tre *strategie* qui considerate (ALL-C – la strategia che coopera sempre -, ALL-D - la strategia che non coopera mai -, e TFT - cioè Tit-For-Tat). Il guadagno percepito da un nodo in una giocata è il payoff risultante dalla combinazione della mossa del nodo e di quella del vicino, in base alla matrice dei payoff riportata nella sezione 2.2, con  $R = 3$ ,  $T = 5$ ,  $S = 0$ ,  $P = 1$ . La *lunghezza del turno*, qui indicata con  $\lambda$ , è un parametro variabile che verrà modificato per trovare il valore ottimale in termini di *ricchezza totale* generata dalla rete (sommatoria dei payoff totali di tutti i nodi). La *mossa* effettuata da un nodo (cooperare –  $C$  -, o non cooperare -  $D$  -) dipende dalla strategia adottata. La strategia rimane la stessa all'interno del turno, ma la mossa giocata con un certo vicino può essere diversa da quella implementata con un altro (questo è vero con TFT, per esempio). Il payoff cumulato da un nodo in un turno è la somma dei payoff percepiti durante le  $\lambda$  iterazioni del Dilemma del Prigioniero con tutti i nodi vicini. Alla fine del turno, gli agenti possono cambiare la propria strategia imitando quella del nodo adiacente che ha ottenuto il *payoff totale* maggiore. Per payoff totale si intende il payoff cumulato in tutti i turni effettuati fino a quel momento.

Questo modello di rete “congelata” verrà confrontato con il caso in cui i lavoratori abbiano piena libertà nello scegliere i propri compagni di lavoro. Alla fine del turno quindi, ogni agente ha la facoltà di slacciarsi da tutti i legami e cercare di riconnettersi ad altrettanti nodi, riconfermando i nodi adiacenti o stabilendo nuovi legami con nodi vicini dei vicini. Verranno prese in esame diverse regole di rewiring, cioè regole che guidano la scelta dei legami da riallacciare:

- *Payoff maggiore*: gli agenti cercano di ristabilire i legami con i nodi vicini che hanno un payoff totale più elevato. Corrisponde all'idea che gli individui cerchino di connettersi a quei nodi che appaiono più performanti;
- *Casuale*: gli agenti cercano di ristabilire il numero di legami consentito scegliendo casualmente (ma sempre tra i nodi a massima distanza due). Questo caso serve come benchmark per valutare le altre due regole considerate;
- *Selezione*: gli agenti scelgono casualmente i legami da ristabilire, come nella regola precedente, ma escludono dall'insieme di nodi considerati gli agenti ALL-D con cui hanno interagito direttamente nel turno precedente. L'idea

è quella di vedere se effettivamente un apprendimento di questo tipo può costituire un meccanismo volto a promuovere la cooperazione.

Il modello si propone di studiare:

- l'evoluzione delle strategie adottate dagli agenti; in particolare, se Tit-For-Tat è in grado di promuovere un comportamento virtuoso;
- quali sono le condizioni che permettono a Tit-For-Tat di affermarsi;
- le variabili che influenzano la ricchezza totale della rete;
- la distribuzione della ricchezza nelle diverse reti prodotte dall'interazione tra gli agenti.

### 3.4 Lo sviluppo

La simulazione è costituita da due fasi: l'inizializzazione della struttura e il processo di interazione.

Durante la fase di inizializzazione viene creato il mondo che andiamo ad osservare. Innanzitutto vengono istanziati 200 nodi (il loro ID è un numero progressivo, da 0 a 199) e successivamente ognuno di essi cerca di allacciare 5 legami con altrettanti agenti, scegliendoli casualmente dall'insieme di nodi che ha grado inferiore a 5. L'ordine con cui i nodi si collegano alla rete stabilendo nuovi legami è casuale, quindi cambia a ogni esecuzione del modello. Analogamente, l'assegnazione della strategia iniziale avviene casualmente. Quindi in ogni esecuzione le coppie di nodi effettivamente collegate da un link può variare, così come cambiano le strategie implementate dal nodo e dai suoi vicini diretti.

Il processo di interazione è caratterizzato dalla ripetizione della giocata del Dilemma del Prigioniero tra tutte le coppie di nodi connesse da un legame, per 200 volte ( $K$  iterazioni globali). Queste ripetizioni sono raggruppate in maniera diversa, cioè si fa variare il numero di iterazioni  $\lambda$  che compongono un turno. Quindi anche il numero di turni di un'esecuzione è variabile ed è così distribuito:

- se  $\lambda$  è 1, allora il numero turni  $T$  è 200;
- se  $\lambda$  è 5, allora il numero turni  $T$  è 40;
- se  $\lambda$  è 10, allora il numero turni  $T$  è 20;
- se  $\lambda$  è 20, allora il numero turni  $T$  è 10;

In questo modo è possibile confrontare la ricchezza totale nelle diverse esecuzioni del modello, effettuate con parametri differenti (qui denominate *configurazioni di parametri*), perché ci si può aspettare che il numero di giocate globali sia circa lo stesso. Ovviamente quest'ultimo aspetto dipende anche dalla densità della rete che può cambiare nel corso dell'esecuzione.

Un turno comprende la giocata del Dilemma del Prigioniero fra le stesse coppie di nodi per  $\lambda$  volte, l'aggiornamento del payoff totale e della strategia di ogni nodo ed eventualmente il cambiamento di alcuni legami (se la rete non è fissa).

I parametri che si vanno quindi a modificare per studiare le situazioni in cui la cooperazione sopravvive sono la lunghezza del turno  $\lambda$  (livello di *continuità* dell'interazione), il numero di link da slacciare,  $\delta$ , e il numero di link da riallacciare,  $\gamma$ . In questo progetto mi sono concentrata sui casi  $\delta = \gamma = 0$  e  $\delta = \gamma = 5$ , come il grado iniziale. Questi parametri possono essere sintetizzati definendo  $\phi$  il rapporto tra il numero di legami modificabili e il numero massimo di legami.  $\phi$  risulta quindi 0 per la rete fissa e 1 per la rete con facoltà di *mobilità*.

L'output del modello è la topologia della rete che si sviluppa dopo  $K = 200$  iterazioni globali. Della rete risultante interessa conoscere la strategia prevalente, il payoff totale dei nodi, la struttura dei legami e la ricchezza totale della rete.

### 3.4.1 Gli attori del sistema

Gli attributi, cioè le proprietà che caratterizzano gli agenti/nodi sono:

- Strategy[ALL-D, ALL-C, TFT]: la strategia adottata in un turno;
- Move[ $D, C$ ]: mossa da giocare con un certo vicino, calcolata in base alla strategia:

**Se** il nodo ha strategia ALL-D giocherà sempre  $D$ ;

**Se** il nodo ha strategia ALL-C giocherà sempre  $C$ ;



Se il nodo ha strategia TFT giocherà  $C$  se è la prima volta che incontra l'altro agente; giocherà  $C$  o  $D$  se è un'iterazione successiva, a seconda di quella che è stata la mossa dell'altro agente l'ultima volta che i due si sono incontrati (a causa della procedura di rewiring può succedere di incontrare lo stesso agente in turni non consecutivi).

- Last-payoff: payoff realizzato in un turno con uno dei nodi vicini (viene memorizzato direttamente sui link);
- Total-payoff: payoff cumulato in tutti i turni giocati fino a un certo momento;
- Grado: numero di legami con altri nodi;
- Consideration-set: insieme dei nodi (i vicini e i vicini dei vicini) presi in considerazione nella scelta di rewiring;
- Droppable-mates: insieme dei nodi (i vicini) presi in considerazione nella scelta dei legami da recidere.

Gli agenti possiedono anche capacità di adattamento in base al mutare dell'ambiente. Questa facoltà è modellata attraverso la procedura di imitazione della strategia. Il comportamento strategico di un nodo è influenzato dalle proprietà degli altri agenti che è in grado di percepire: payoff totale, strategia e legami con altri nodi.

### 3.4.2 L'inizializzazione

- *Dimensione della rete*: il numero dei nodi è  $N = 200$ , il numero dei link è proporzionale al numero dei nodi;
- *Topologia iniziale della rete*: rete casuale con grado uniforme;
- *Numero di agenti che implementano ogni strategia*: ripartizione in parti uguali (33% ALL-C, 34% ALL-D, 33% TFT);
- *Inizializzazione delle variabili*:
  - matrice dei payoff:  $R = 3, T = 5, S = 0, P = 1$ ;
  - grado iniziale: 5;
  - $\delta$  (num-links-to-drop in NetLogo): numero dei legami da recidere;

- $\gamma$  (num-links-to-attach in NetLogo): numero massimo di nodi da connettere;
- $\lambda$  (num\_steps in NetLogo): lunghezza del turno.

### 3.4.3 Il processo

- *Interazione*: Ogni agente gioca il Dilemma del Prigioniero con ogni vicino e calcola il suo payoff cumulato sommando i payoff realizzati con ogni vicino. La procedura si ripete per  $\lambda$  volte, dove  $\lambda$  è la lunghezza del turno. Alla fine del turno, il nodo aggiorna il suo payoff totale, aggiugnendovi il payoff realizzato nel turno.

Il colore dei nodi riportati nella Figura 3.1 (pagina seguente) indica la strategia implementata: i blu sono ALL-C, i rossi sono ALL-D e i verdi sono TFT. La prima immagine da sinistra mostra la rete iniziale, con indicati un numero identificativo per ogni nodo e i legami che li uniscono. Nell'esempio i legami presenti sono quelli tra le seguenti coppie di nodi: [0,1], [0,2], [0,4], [0,6], [0,5], [1,3], [1,4], [1,5], [1, 6], [2, 3], [2, 4], [2, 5], [2, 6], [3, 4], [3, 5], [3, 6], [4, 5], [4, 6]. La seconda immagine riporta il payoff realizzato da ogni coppia di nodi, dopo aver giocato per  $\lambda = 5$  volte il Dilemma del Prigioniero. Nell'ultima immagine invece compare la somma dei payoff realizzati da un nodo giocando con tutti i vicini (al posto del suo numero identificativo).

- *Evoluzione*: Ogni agente imita la strategia che sembra più profittevole localmente, cioè quella implementata all'interno del vicinato (nodi vicini e sé stesso) che ha generato un payoff totale maggiore fino a quel momento.

La Figura 3.2 mostra prima la rete con l'indicazione della somma dei payoff percepiti dai nodi in un turno, poi l'aggiornamento della strategia. L'intensità del colore dei nodi è proporzionale alla ricchezza relativa (maggiore è l'intensità e maggiore è il payoff totale del nodo).

Se la rete non è fissa, vengono eseguite anche le seguenti procedure:

- *Scelta dei legami da slacciare*: ogni agente individua i  $\delta$  vicini (“droppable-mates”) con cui nell'ultimo turno ha ottenuto il payoff minore. A parità di payoff, sceglie casualmente.

Per  $\phi = 1$  vengono slacciati tutti i legami ( $\delta = 5$ ) di un nodo quindi non c'è necessità di operare una selezione.

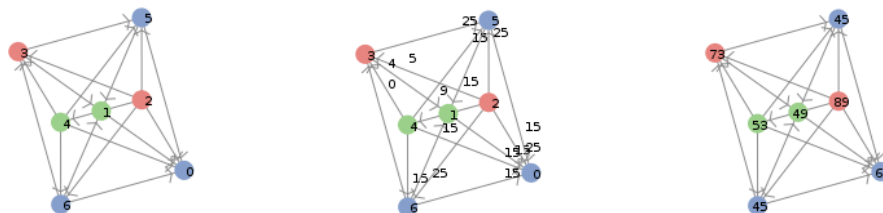


Figura 3.1: Calcolo del payoff in un turno.

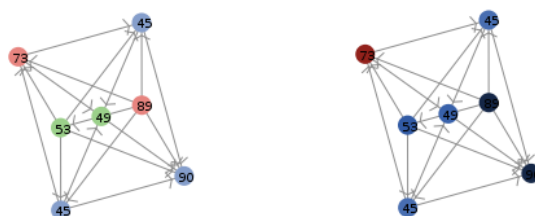


Figura 3.2: Procedura di imitazione della strategia.

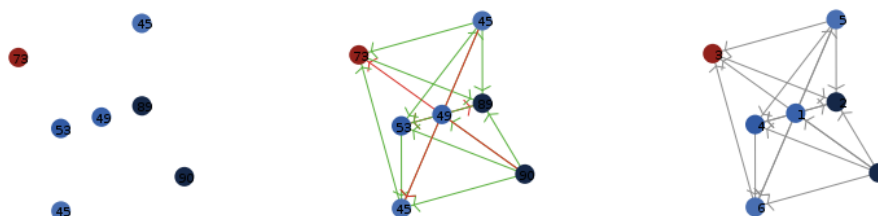


Figura 3.3: Processo di rewiring della rete.

- *Rewiring*: la scelta dei legami da allacciare si compone di una serie di operazioni.
  - Ricerca dell'insieme di possibili nuovi nodi (“consideration-set”) con cui allacciare un legame. I nodi considerati sono quelli che si trovano a massima distanza pari a due (cioè i nodi vicini e i vicini dei vicini diretti);
  - Rank dei nodi del consideration-set in base alla regola di rewiring adottata (Payoff, Casuale, Selezione);

- Match dei consideration-set: i nuovi legami vengono stabiliti in più passi. Ad ogni passo, ciascun nodo seleziona i suoi  $\gamma$  nodi preferiti (“top-list”) e vengono allacciati solo i legami fra nodi che si corrispondono (cioè sono uno nella top-list dell’altro). Se un nodo ha stabilito il numero di legami massimo, aggiorna gli altri nodi in modo che questi non lo considerino più nella loro top-list. Si ripete il processo, aggiornando le top-list, cioè ordinando i nodi del consideration-set ancora disponibili. L’operazione termina quando tutti i nodi hanno stabilito  $\gamma$  nuovi legami o quando non ci sono più corrispondenze tra consideration-set.

Nel caso preso in esame,  $\gamma = 5$ , il grado iniziale. Poiché anche  $\delta = 5$  il grado massimo della rete è autolimitato.

La Figura 3.3 mostra l’esito della procedura di rewiring: dopo aver staccato tutti i legami (prima immagine), viene visualizzata la topologia risultante (seconda e terza immagine). I legami presenti sono: [0,1], [0,2], [0, 3], [0,4], [0,6], [1, 2], [1,4], [1,5], [2, 3], [2, 4], [2, 5], [3, 5], [3, 6], [4, 5], [4, 6]. In rosso sono indicati i legami che non esistevano nel turno precedente, in verde quelli mantenuti.

#### 3.4.4 Le ipotesi

In prima battuta, nella sezione 4.1 mi occupo di analizzare le topologie di rete ottenute, per ogni configurazione, con lo scopo di studiare se la cooperazione sopravvive e come questo sia possibile. Le configurazioni considerate sono ottenute facendo variare  $\phi$  (facoltà di mobilità della rete),  $\lambda$  (lunghezza del turno) e la regola di rewiring. Nelle rimanenti sezioni del capitolo 4 verranno esplorati alcuni legami fra le componenti della rete per identificare le variabili che intervengono nell’influenzare la ricchezza totale del sistema. A questo scopo utilizzo differenti ipotesi di lavoro, illustrate qui di seguito.

Il primo test riguarda la sensibilità della topologia finale ai parametri iniziali, cioè vado a vedere se l’inizializzazione casuale della struttura della rete influenza i risultati. Per fare questo, ho ripetuto l’esecuzione del modello per 50 volte, per ogni configurazione. Per misurare la somiglianza delle reti ottenute, per la stessa configurazione, ho considerato alcuni parametri, come la ricchezza totale della rete e il numero di nodi che implementano le varie strategie, alla fine di ogni turno e alla

fine dell'esecuzione.

*Test 1: Sensibilità della topologia finale in funzione della configurazione iniziale casuale di nodi, link e strategie.*

Dall'analisi del Dilemma del Prigioniero ripetuto (sezione 2.2) definito in [Axelrod, 1984], ci si può aspettare che Tit-For-Tat si dimostri ancora una volta la strategia vincente. Tuttavia, l'utilizzo di una struttura a rete al posto di una griglia bidimensionale impone di ripercorrere l'analisi effettuata da Axelrod per vedere in quali circostanza effettivamente emerge la cooperazione.

Tra le caratteristiche desiderabili possedute da TFT, la *retaliation* è quella che può aiutare nel contesto di imitazione della strategia definito nel mio modello. Poiché la performance di una strategia non cooperativa come ALL-D dipende dalla possibilità di sfruttare le strategie più benevole, man mano che queste strategie scompaiono (per effetto della procedura di imitazione del nodo vicino con payoff totale maggiore), anche il payoff totale dei nodi ALL-D ne risentirà. TFT riuscendo a discriminare la mossa da effettuare con soggetti non cooperatori, una volta che questi si sono rivelati come tali, sarà in grado di minimizzare le volte in cui ottiene il payoff  $S = 0$  giocando con un non cooperatore, riducendo nel contempo il divario esistente con il payoff totale di quest'ultimo. Se TFT riesce a resistere alle fasi di imitazione della strategia (cioè esiste un certo numero di agenti TFT che interagendo tra di loro o con ALL-C riescono a garantirsi un payoff maggiore degli ALL-D più prossimi), può riuscire a colonizzare la rete. Quindi ripropongo la seguente ipotesi:

*Ipotesi 1: Tit-for-Tat è in grado di colonizzare la rete se la lunghezza del turno è maggiore di 1.*

Nel caso limite in cui il turno comprende una sola giocata si ricade infatti nel Dilemma del Prigioniero semplice. Il punto di equilibrio corrisponde allora alla scelta per ogni coppia di agenti di giocare  $D$ .

Aumentando la continuità del rapporto tra due nodi, cioè la lunghezza del turno prima del cambio di strategia, la differenza nei payoff generati dall'interazione diventerà più variegata. I payoff infatti dipendono dall'esatta combinazione di strategie implementate dai vicini di ciascun nodo. In particolare, la presenza di nodi TFT che smettono di cooperare con ALL-D dopo la prima iterazione del turno e la pre-

senza di nodi cooperatori che interagiscono fra di loro frequentemente può favorire la predominanza delle strategie cooperative più velocemente. Pertanto:

*Ipotesi 2: La velocità di convergenza di Tit-for-Tat sarà maggiore con l'aumentare della lunghezza del turno.*

Prendendo spunto da [Hanaki et al., 2007] e in particolare dalla mobilità lasciata agli individui, ipotizzo che la velocità di convergenza di TFT sia maggiore nelle configurazioni in cui è possibile effettuare il rewiring rispetto alle configurazioni con rete fissa. Una possibile motivazione è data dal fatto che i nodi hanno la possibilità di uscire da legami non produttivi e entrare in contatto con strategie diverse. Formalizzando:

*Ipotesi 3: La velocità di convergenza di Tit-for-Tat sarà maggiore nelle configurazioni in cui la rete può essere modificata ( $\phi = 1$ ) rispetto alle configurazioni in cui la rete è fissa ( $\phi = 0$ ).*

Rispetto al rewiring in base al Payoff, si può notare che questo non è sempre un parametro affidabile per indicare la possibilità di instaurare una relazione profittevole con un nuovo nodo: un payoff alto può essere dovuto a un numero elevato di giocate tra un ALL-D e un ALL-C. Quindi collegandosi a un non cooperatore, un nodo può finire con il ridurre il proprio payoff invece di incrementarlo. La regola di rewiring che dovrebbe dare i risultati migliori allora è Selezione, poiché riduce il numero di possibili non cooperatori a cui un nodo può allacciarsi.

*Ipotesi 4: La convergenza di Tit-For-Tat sarà maggiore se il rewiring avviene in base alla Selezione.*

Poiché il payoff percepito da un agente è non nullo in tutti i casi in cui c'è interazione, quindi un legame con un altro agente, la ricchezza totale della rete sarà influenzata dal numero di legami totali:

*Ipotesi 5: La ricchezza totale della rete dipende dal numero di legami della rete.*

Poiché il guadagno del sistema derivante dall'interazione fra due cooperatori ( $R + R = 3 + 3 = 6$ ) è maggiore di quello tra un cooperatore e un non cooperatore ( $S + T = 0 + 5 = 5$ ), mi aspetto che la ricchezza totale sia maggiore se la rete è

popolata da un numero superiore di operatori. Una rete poco connessa ma con un certo numero di legami fra operatori (in una configurazione stabile, che non rischia di essere sovvertita dalla procedura di imitazione della strategia) potrebbe superare in ricchezza una rete molto connessa ma costituita di soli ALL-D. Quindi:

*Ipotesi 6: La ricchezza totale dipende dal numero di operatori.*

## Capitolo 4

# I test sul modello

### 4.1 Test 1

*Sensibilità della topologia finale in funzione della configurazione iniziale casuale di nodi, link e strategie.*

**CONFIGURAZIONE 1** - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 0;
- Numero di link da allacciare: 0;
- Rewiring: no;
- Lunghezza del turno: 1;
- Numero di turni: 200.

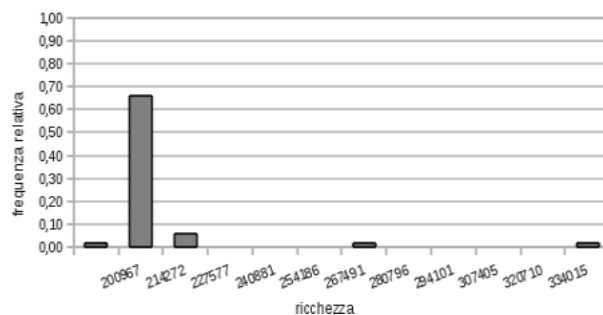


Figura 4.1: Distribuzione della ricchezza totale ottenuta in 50 esecuzioni (config. 1).

La Figura 4.1 presenta la distribuzione dei valori di ricchezza totale delle reti prodotte ripetendo 50 volte l'esecuzione del modello con i parametri della configurazione 1. Il grafico è stato creato suddividendo in classi (riportate sull'asse delle ascisse) i valori di ricchezza ottenuti e rappresentando per ogni classe, sull'asse delle



ordinate, il numero di volte che si è presentato un valore compreso tra i suoi estremi, in rapporto al numero totale di osservazioni (frequenza relativa).

Si notano tre possibili andamenti distinti. Affronterò quindi la discussione dei tre casi separatamente, prendendo spunto dall'evoluzione della rete in un'esecuzione tipica di ciascun andamento (una *storia* del modello). I parametri che ho usato per confrontare le reti ottenute sono il numero di agenti che implementano ciascuna strategia alla fine di ogni turno, la ricchezza totale e la sua distribuzione.

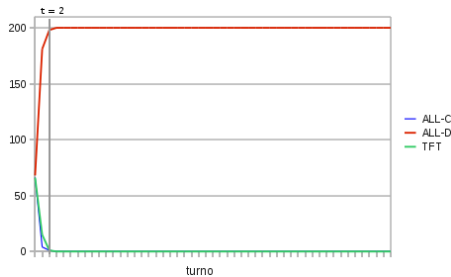


Figura 4.2: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 1, caso 1,  $T=200$ ).

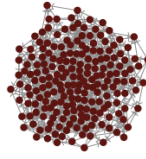


Figura 4.3: Rete finale (config. 1, caso 1).

L'andamento prevalente (66% delle esecuzioni) vede ALL-D conquistare la rete entro il secondo turno (Figura 4.2).

Data l'inizializzazione casuale delle strategie assegnate a ciascun nodo, in media, la ripartizione delle strategie dei vicini di ogni nodo sarà circa uguale alla ripartizione globale delle strategie (33% ALL-C, 34% ALL-D, 33% TFT). Per semplicità assumiamo che ogni nodo abbia sei vicini, due per ciascuna strategia. I payoff dopo il primo turno (corrispondente in questo caso a una sola giocata del Dilemma del Prigioniero) saranno i seguenti:

Se il nodo è ALL-C, guadagnerà in un turno:

$$R \cdot 2(ALL - C) + R \cdot 2(TFT) + S \cdot 2(ALL - D) = 3 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 0 \cdot 2 = 12;$$

Se il nodo è TFT, guadagnerà in un turno:

$$R \cdot 2(ALL - C) + R \cdot 2(TFT) + S \cdot 2(ALL - D) = 3 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 0 \cdot 2 = 12;$$

Se il nodo è ALL-D, guadagnerà in un turno:

$$T \cdot 2(ALL - C) + T \cdot 2(TFT) + P \cdot 2(ALL - D) = 5 \cdot 2 + 5 \cdot 2 + 1 \cdot 2 = 22;$$

Il payoff di ALL-D risulta in media sempre superiore a quello dei suoi vicini. I nodi ALL-C e TFT quindi, durante la procedura di imitazione della strategia alla fine del primo turno, sceglieranno anch'essi di adottare la strategia ALL-D, determinando la conversione totale della rete. Se persistono nodi cooperativi, questi cambieranno

strategia al secondo turno, quando la maggior parte delle interazioni avviene con nodi ALL-D. Le giocate del Dilemma del Prigioniero che generano un payoff più elevato sono quelle con un cooperatore, quindi i nodi ALL-D che confinano con i nodi cooperativi rimasti, incrementeranno il loro payoff in misura maggiore rispetto ai cooperatori, guidando ancora una volta la procedura di imitazione verso la totale affermazione di ALL-D. Se il numero di vicini cooperativi di un nodo cooperativo è sufficientemente alto, quest'ultimo può ottenere un payoff maggiore di quello di un vicino ALL-D e quindi determinare un'evoluzione diversa della rete. Questo caso verrà discusso in dettaglio in seguito.

Siccome tutti i nodi diventano ALL-D dopo il primo o il secondo turno, il payoff totale di ciascun agente si differenzierà solo per il risultato ottenuto nel primo turno. Nei turni successivi infatti, ogni nodo guadagnerà un payoff pari a 1 (*Punishment for mutual defection*) per ogni legame che possiede. Poiché il numero di legami e quindi di giocate totali del Dilemma del Prigioniero è fisso, il divario derivante dal payoff generato nel primo turno non risulta rilevante e il payoff finale è uniforme (media: 1007,65, deviazione standard: 20,54).

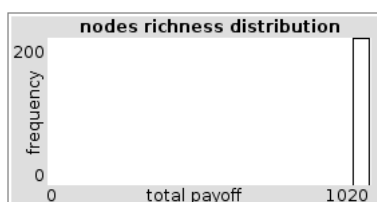


Figura 4.4: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 1, caso 1, T=200).

La Figura 4.4 mostra la distribuzione dei payoff totali, ovvero la distribuzione del numero di agenti che ha ottenuto un certo payoff finale al variare dell'ammontare del payoff. Il grafico è stato generato dall'interfaccia di NetLogo, dividendo i valori dei payoff finali di tutti i nodi in 20 classi di frequenza e poi contando per ciascuna classe il numero di nodi che presentavano un payoff finale compreso tra i suoi estremi. In questo caso, tutti i nodi hanno un payoff simile perciò troviamo un'unica barra in corrispondenza del massimo payoff ottenibile in una rete di soli non cooperatori.

Il secondo andamento che emerge (18% delle esecuzioni) è simile al precedente ma esiste un cluster di cooperatori che si trovano casualmente vicini e che riesce a resistere all'interno della rete, a causa di una particolare configurazione nei payoff dei nodi (Figura 4.5). La maggior parte dei nodi TFT si converte in ALL-D dopo il

primo turno (come nel caso 1); i pochi nodi TFT che sopravvivono, confluiranno negli ALL-C che devono necessariamente avere un payoff superiore a quello degli altri nodi della rete (altrimenti avrebbero cambiato strategia anche loro). In particolare il loro payoff risulta superiore di quello di TFT perché si trovavano protetti dall'interazione con ALL-D; TFT invece ha giocato una parte delle sue interazioni anche con nodi ALL-D, riuscendo a spuntare al massimo un payoff pari a 1 (*Punishment for mutual defection*), se aveva già incontrato il nodo ALL-D in passato e ha quindi appreso a defezionare con quel nodo ALL-D, altrimenti 0 (*Sucker's payoff*). Nei turni successivi, la sopravvivenza di ALL-C sarà garantita dalla struttura dei payoff: emerge una differenziazione netta tra i nodi.

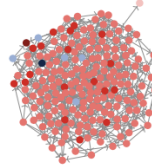
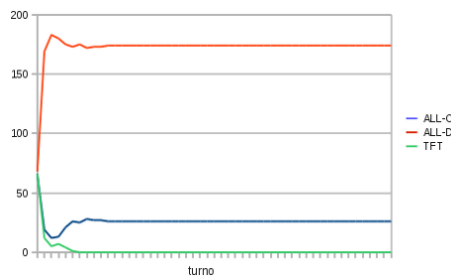


Figura 4.5: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 1, caso 2,  $T=200$ ).

Figura 4.6: Rete finale (config. 1, caso 2).

La rete finale riportata in Figura 4.6 può ingannare riguardo alla presenza del cluster di ALL-C: a causa dell'elevato numero di legami totali della rete, i vicini di ogni nodo possono non corrispondere ai nodi più prossimi che la visualizzazione grafica della rete può suggerire. Analogamente, come sarà discusso nel prossimo paragrafo, i nodi ALL-D con un colore rosso più intenso (quindi con un payoff maggiore) in realtà sono i vicini dei nodi ALL-C con un colore azzurro più chiaro (cioè i nodi con un payoff inferiore).

In questo tipo di rete distinguiamo quattro tipi di nodi:

- uno o più nodi interni ALL-C che hanno solo vicini ALL-C e guadagnano  $R \cdot 5(ALL - C) = 3 \cdot 5 = 15$  in ogni turno;
- nodi ALL-C di confine: guadagnano a volte  $R = 3$  (se giocano con un loro simile), a volte  $S = 0$  (se giocano con ALL-D);
- nodi ALL-D di confine: guadagnano una volta (o più)  $T = 5$  (se giocano con ALL-C), le rimanenti volte guadagnano  $P = 1$ ;
- nodi ALL-D interni: guadagnano sempre  $P \cdot 5(ALL - D) = 1 \cdot 5 = 5$ .

I payoff dei nodi di confine devono essere strutturati in modo tale che la rete rimanga in uno stato stazionario. Per esempio, se prendiamo un nodo di confine ALL-D che abbia un solo legame con un nodo ALL-C (i rimanenti vicini sono ALL-D), deve essere che ALL-C abbia al più due vicini ALL-C. Solo così il suo payoff sarà inferiore di quello di ALL-D e quest'ultimo non muterà strategia in ALL-C. Nell'esempio, il payoff realizzato in un turno da ALL-C sarà:

$$R \cdot 2(ALL - C) + S \cdot 3(ALL - D) = 3 \cdot 2 + 0 \cdot 3 = 6,$$

quello di ALL-D:

$$R \cdot 1(ALL - C) + S \cdot 4(ALL - D) = 3 \cdot 1 + 1 \cdot 4 = 9.$$

Si nota inoltre che i nodi ALL-D di confine devono essere legati al massimo a due nodi ALL-C. In questo caso ottengono il payoff:

$$T \cdot 2(ALL - C) + P \cdot 3(ALL - D) = 5 \cdot 2 + 1 \cdot 3 = 13$$

Se fossero legati a un addizionale nodo ALL-C, otterrebbero:

$$T \cdot 3(ALL - C) + P \cdot 2(ALL - D) = 5 \cdot 3 + 1 \cdot 2 = 17,$$

un payoff maggiore di quello dei nodi ALL-C centrali (15). Se si verificasse questa situazione, i nodi ALL-C di confine imiterebbero ALL-D e non ALL-C, disgregando il cluster.

Quindi, in fase di rewiring:

- i nodi interni ALL-C hanno un payoff totale maggiore dei vicini ALL-C che hanno una parte delle loro interazioni anche con nodi ALL-D, quindi non cambiano strategia. In ogni caso, avendo solo vicini ALL-C, se il payoff di uno dei vicini risultasse maggiore di quello del nodo interno, l'imitazione della strategia non produrrebbe cambiamenti;
- i nodi di confine ALL-C confrontano il payoff dei nodi interni ALL-C con quello dei nodi ALL-D a cui sono collegati: il primo risulta maggiore e quindi rimangono ALL-C;
- i nodi di confine ALL-D hanno un payoff maggiore sia dei vicini ALL-C che dei vicini ALL-D (che giocano solo con altri ALL-D), quindi mantengono la propria strategia;

- i nodi interni ALL-D hanno il payoff più basso possibile e imitano i nodi ALL-D di successo che si trovano al confine con il cluster di cooperatori (di fatto non cambiando strategia).

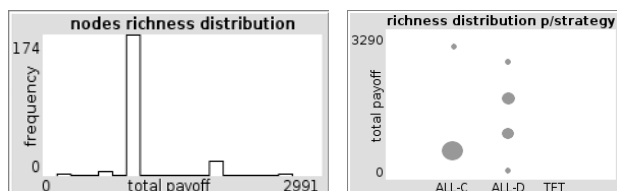


Figura 4.7: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 1, caso 2,  $T=200$ ).

Figura 4.8: Payoff totale di ogni nodo, in base alla strategia implementata.

La distribuzione dei payoff finali (Fig. 4.7) dipende dal numero di nodi che compone il cluster di cooperatori (payoff medio: 1164,46, deviazione standard: 381,42). Se si confronta con il caso 1, in cui la rete era caratterizzata da sole giocate non cooperative, si nota facilmente che l'interazione con nodi cooperativi genera sempre un payoff più alto, sia se la giocata avviene tra due cooperatori ( $3 + 3 = 6$ ) che tra un cooperatore e un non cooperatore ( $0 + 5 = 5$ ).

La Figura 4.8 mostra il payoff finale dei nodi in base alla strategia implementata (indicata sull'asse delle ascisse). La dimensione dei cerchi indica la numerosità di nodi che hanno guadagnato un certo payoff finale (asse delle ordinate). Questo grafico schematizza bene la differenziazione che si viene a creare tra i nodi. La cooperazione resiste perché esiste una base di nodi ALL-C di confine che guadagnano meno di ALL-D ma che non cambiano strategia perché imitano il nodo ALL-C con il payoff più alto di tutta la rete. Sono i nodi che nel modello di [Eguiluz et al., 2005] erano stati definiti "conformisti". Anche se la procedura di imitazione può sembrare limitante e non razionale in questo caso, si fa notare che se i nodi ALL-C cambiassero la propria strategia in ALL-D, otterrebbero un payoff inferiore al caso in cui rimangono ALL-C e si fanno sfruttare per una parte delle loro interazioni dagli ALL-D. Nel primo caso infatti, otterrebbero un payoff pari a 1 per ciascun legame, anziché un'alternanza di *Sucker's Payoff* (0) e *Reward for mutual cooperation* (3). Quindi, non hanno convenienza a cambiare strategia, in una prospettiva di lungo periodo.

Si nota infine che in questa configurazione ALL-C non è in grado di espandere la cooperazione.

L'ultimo caso che si può verificare (16% delle esecuzioni) è quello in cui non resiste un cluster di ALL-C ma un cluster di TFT che, riuscendo a minimizzare le perdite delle giocate contro ALL-D, riesce piano piano a conquistare la rete, una

volta che i nodi ALL-C sono spariti e ALL-D non trova più nodi da sfruttare (Figura 4.9). È proprio dopo il turno 2, quando il numero di ALL-C è il minimo (zero), che TFT inizia a risalire, arrivando a superare il numero di ALL-D. In questa particolare esecuzione si verifica al turno 16.

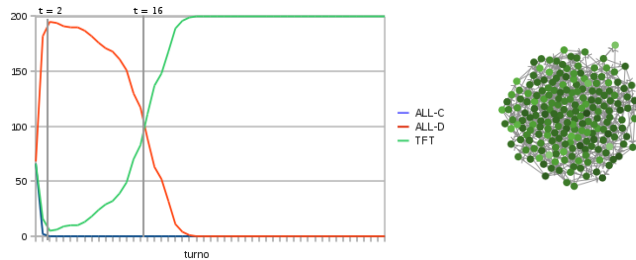


Figura 4.9: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 1, caso 3,  $T=200$ ).

Figura 4.10: Rete finale (config. 1, caso 3).

In questo caso risulta significativa la correlazione tra il payoff di un nodo e il numero di volte che ha cambiato strategia (Figura 4.12: la ricchezza di ciascun nodo è rappresentata da un puntino, disegnato in corrispondenza della strategia implementata - asse  $x$  - e dell'ammontare del suo payoff totale - asse  $y$ ). Si escludano per un attimo i primi turni, in cui gli ALL-D che giocano con ALL-C o TFT guadagnano un payoff elevato. Quando non sono più presenti nodi ALL-C, ALL-D guadagna  $P = 1$  per ogni interazione (sia che giochi con un altro ALL-D che con un TFT "saggio", che si è adattato alla mossa dell'altro giocatore iniziando a rispondere  $D$ ). I nodi TFT che riescono a giocare un certo numero di volte tra di loro, invece, iniziano a far salire il loro payoff (guadagnando  $R = 3$  per ogni legame cooperativo). Il payoff finale è quindi determinato dal momento in cui un nodo passa alla strategia TFT, ripristinando la cooperazione con i vicini.

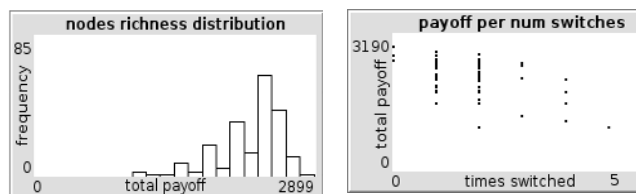


Figura 4.11: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 1, caso 3,  $T=200$ ).

Figura 4.12: Payoff totale di ogni nodo, in base alla strategia implementata e al numero di assestamenti della strategia.

Il payoff realizzato nei primi turni si può escludere perché l'imitazione della strategia nel secondo turno non è più fruttuosa: la maggior parte dei nodi diventa ALL-D quando stanno scomparendo gli agenti sfruttabili. Si può assumere che la media del primo turno in cui ALL-D guadagna molto e il secondo turno in cui guadagna poco (prima di passare a TFT) sia circa uguale alla media del payoff realizzato dai nodi cooperatori che, trovandosi casualmente vicini, hanno interagito

più frequentemente tra di loro che con nodi non cooperativi. Il payoff medio della rete risulta pari a 2059,62, la deviazione standard è 351,79.

Riprendendo la Figura 4.1 che visualizzava la ricchezza totale ottenuta nelle 50 esecuzioni, si osserva che la presenza anche solo di un piccolo cluster di cooperatori aumenta notevolmente la ricchezza totale della rete.

#### CONFIGURAZIONE 2 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 0;
- Numero di link da allacciare: 0;
- Rewiring: no;
- Lunghezza del turno: 5;
- Numero di turni: 40.

I valori della ricchezza totale ottenuti per la seconda configurazione, nelle 50 esecuzioni, risultano più omogenei:

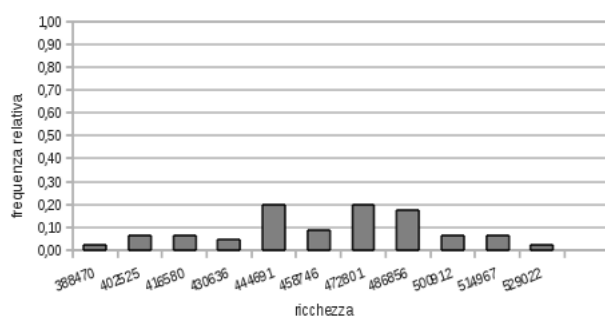


Figura 4.13: Distribuzione della ricchezza totale ottenuta in 50 esecuzioni (config. 2).

Qui il ruolo della strategia ALL-C è controintuitivo: inizialmente ( $t = 1$ ), questa strategia viene sopraffatta da ALL-D, ma un piccolo nucleo di nodi cooperativi riesce a resistere. La dimensione dell'insieme di questi nodi varia a seconda della rete prodotta dall'inizializzazione casuale. Tra  $t = 1$  e  $t = 3$ , TFT riesce incrementare il proprio payoff e quindi ad attrarre nuovi nodi in fase di imitazione. Quando TFT riesce a scalzare ALL-D, ecco che il nucleo di ALL-C, che avevano sempre interagito tra di loro (ed erano necessariamente riparati da interazioni dannose con ALL-D, altrimenti non sarebbero sopravvissuti, imitando anch'essi quest'ultima strategia), ha un payoff maggiore di TFT (che ha affrontato interazioni anche con nodi ALL-D – si nota che TFT in una serie di giocate ottiene sempre un payoff minore o uguale a quello dell'avversario, perché non è mai la prima strategia a non cooperare)

e inizia ad assorbire i nodi TFT. L'incremento della presenza di ALL-C nella rete, determina anche una risalita del numero di nodi ALL-D che trovano nuovamente nodi sfruttabili. Protraendo la simulazione per un numero maggiore di turni ( $T = 80$ ) rispetto a quelli previsti, possiamo notare che la rete si assesta e le tre strategie convivono (Figura 4.14). ALL-D non riesce a dominare la rete, ma rimane a un livello di poco inferiore a ALL-C.

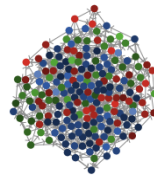
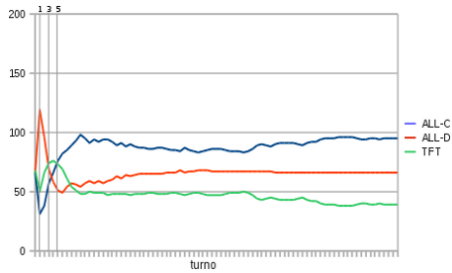


Figura 4.14: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 2,  $T=80$ ).

Figura 4.15: Rete finale (config. 2).

La distribuzione della ricchezza per  $T = 40$  turni (Figura 4.16) ha un andamento normale e non presenta differenze significative tra le strategie (Figura 4.17). Questo risultato è frutto della complessa evoluzione dei payoff percepiti, determinata dai ripetuti cambi di strategia dei nodi e dei loro vicini. Il payoff medio è pari a 2227,45, la deviazione standard è 432,91.

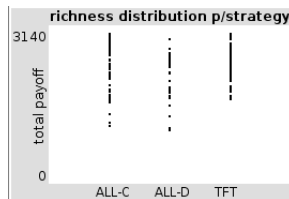
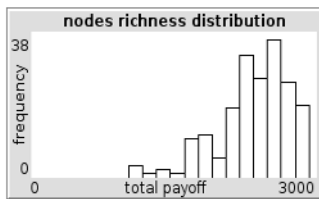


Figura 4.16: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 2).

Figura 4.17: Payoff totale di ogni nodo, in base alla strategia implementata e al numero di assestamenti della strategia.

Aumentando  $\lambda$ , la lunghezza del turno, si ottengono grafici simili e l'evoluzione della rete presenta gli stessi stadi già descritti per la configurazione 2.

### CONFIGURAZIONE 3 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 0;
- Numero di link da allacciare: 0;
- Rewiring: no;
- Lunghezza del turno: 10;
- Numero di turni: 20.



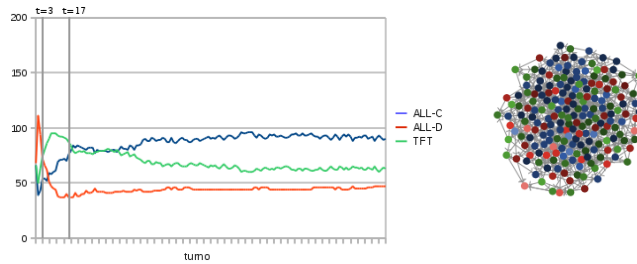


Figura 4.18: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 3,  $T=160$ ).

Figura 4.19: Rete finale (config. 3).

Allungando il numero di turni effettuati è possibile notare che la ripartizione delle strategie presenta maggiori oscillazioni, rispetto alla configurazione 2, ma il risultato finale (per un numero di turni totali  $T = 160$ ) dell'evoluzione della rete fissa con  $\lambda > 1$  rimane la coesistenza fra le strategie.

In questa particolare esecuzione, il numero di TFT è superiore al numero di ALL-D, ma l'esatta ripartizione dipende da come si configura la struttura dei payoff. Le oscillazioni sono in larga parte ripetuti scambi tra ALL-C e TFT. Questi possono essere dovuti al fatto che se più vicini di un certo nodo presentano lo stesso payoff, in fase di imitazione della strategia, il nodo considerato sceglierà casualmente quale strategia adottare.

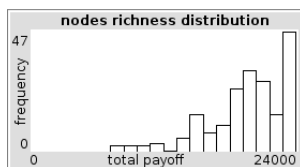


Figura 4.20: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 3,  $T=160$ ).

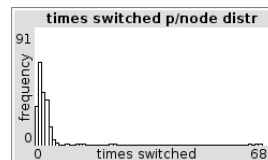


Figura 4.21: Distribuzione del numero di cambi di strategia totali dei nodi.

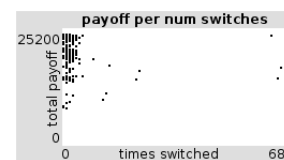


Figura 4.22: Payoff finale di ogni nodo, in base alla strategia implementata e al numero di assestamenti della strategia.

Le Figure 4.20-22 possono suggerire una correlazione inversa tra il numero di volte che un nodo ha imitato una strategia diversa (indice del fatto che la posizione in cui si trovava era insoddisfacente) e il payoff totale finale. In particolare, nella Figura 4.22, il payoff totale di ciascun agente è rappresentato da un pallino disegnato all'altezza corrispondente all'ammontare del suo payoff e posizionato lungo l'asse  $x$  in corrispondenza del numero di volte che ha cambiato strategia (da 0 a 68 - il massimo registrato per questa esecuzione). Se è vero che esistono nodi con un payoff basso che non hanno mai cambiato strategia, si può notare anche che non ci sono nodi che hanno cambiato spesso strategia e che presentano un payoff elevato.

Per  $T = 20$ , il payoff medio dei nodi risulta 2172,99 con una deviazione standard di 458,99. La distribuzione del payoff totale ottenuta è influenzata dal fatto che è richiesto un tempo più lungo alla rete per assestarsi.

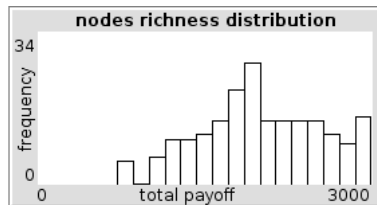


Figura 4.23: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 3,  $T=20$ ).

#### CONFIGURAZIONE 4 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 0;
- Numero di link da allacciare: 0;
- Rewiring: no;
- Lunghezza del turno: 20;
- Numero di turni: 10.

Anche in questa configurazione le prime iterazioni sono segnate dalla predominanza di ALL-D. Nella seconda fase, TFT riesce ad avere la meglio su ALL-D, gettando le basi per l'espansione di ALL-C. Il risultato è un assestamento della rete in cui le tre strategie coesistono. La Figura 4.24 mostra la ripartizione delle strategie per  $T = 80$  turni.

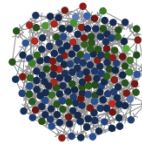
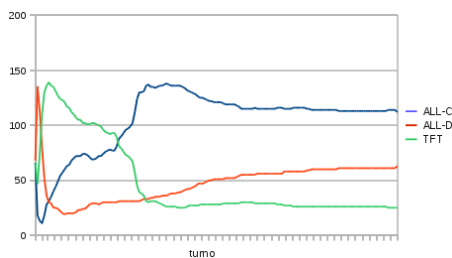


Figura 4.24: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 4,  $T=80$ ).

Figura 4.25: Rete finale (config. 4).

La tipologia di legami - intesa come combinazione delle strategie di nodi vicini - che si viene a creare è molto variegata. La stabilità della rete è il risultato della presenza sia di legami efficienti (cooperatori con cooperatori), sia di legami in cui solo una delle parti trae beneficio e riesce a mantenere un comportamento opportunistico, senza essere incentivato a modificare il suo comportamento, sia di chi sta ai margini, non ha relazioni profittevoli e per sfiducia o impossibilità non riesce a modificare la propria situazione.

Per  $T = 10$ , il payoff medio dei nodi risulta 2049,00, la deviazione standard 451,70.

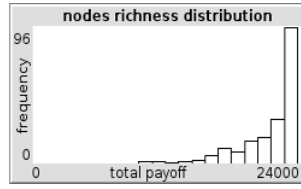
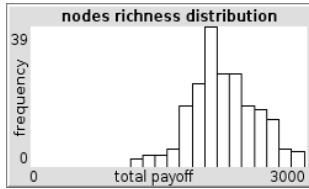


Figura 4.26: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 4,  $T=10$ ).

Figura 4.27: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 4,  $T=80$ ).

Ora passo a considerare le medie dei risultati finora ottenuti variando la lunghezza del turno, nel caso più generale di rete fissa.

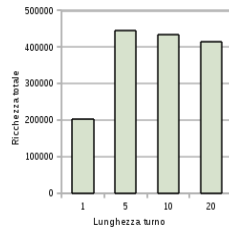


Figura 4.28: Ricchezza totale nelle configurazioni con rete fissa.

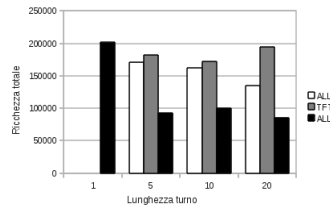


Figura 4.29: Ricchezza totale, divisa per strategia, nelle configurazioni con rete fissa.

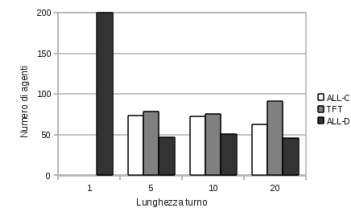


Figura 4.30: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia nelle configurazioni con rete fissa.

Confrontando la configurazione 1, in cui  $\lambda = 1$ , con le altre tre configurazioni, è evidente che TFT beneficia di un numero di iterazioni maggiore, prima del cambio di strategia, riuscendo in tal modo a promuovere la cooperazione più di quanto ALL-C non riesca a fare. ALL-C riesce ad attrarre nodi TFT e solo in rari casi riesce a convertire nodi ALL-D.

Dalla simulazione emerge anche il fatto che la cooperazione per sopravvivere ha bisogno di essere separata, almeno in un primo momento, dalle altre strategie, prima di avviare una percorso di cooperazione. Senza un solido intreccio di legami cooperativi, nessuna strategia basata sulla reciprocità è in grado di invadere la rete, se le interazioni avvengono in larga parte con non cooperatori. Questo sviluppo è in linea con i risultati teorici a cui era giunto [Axelrod, 1984].

La segregazione può supportare l'espansione più della dispersione dei cooperatori nella rete iniziale. I nodi adattano il loro comportamento in base al contesto locale di interazione. Se questi sono propensi a collaborare, beneficiano di interazioni con altri cooperatori, mentre se sono dispersi conoscono solo la defezione e imparano a comportarsi allo stesso modo.

La ricchezza totale (Figura 4.28) più elevata si ottiene per  $\lambda = 5$ . La sua successiva diminuzione per  $\lambda = 10$  e  $\lambda = 20$  può essere spiegata dal fatto che nelle ultime due configurazioni il numero di iterazioni prevalentemente cooperative è minore. ALL-D viene sopraffatta da TFT circa allo stesso turno ( $t_{medio} = 4,34$ ) in tutte le configurazioni con  $\lambda > 1$  ma il numero di iterazioni globali necessarie ( $t \cdot \lambda$ ) è maggiore negli ultimi due casi. Quindi i nodi della rete guadagnano un payoff più consistente e stabile (quello che ottengono una volta che la rete ha raggiunto uno stato stazionario) per un minor numero di iterazioni. Il payoff totale degli ALL-C segue lo stesso andamento della ricchezza totale (Figura 4.29).

Osservando il numero medio di agenti che implementano ciascuna delle tre strategie alla fine delle esecuzioni (Figura 4.30), nelle varie configurazioni, otteniamo un grafico simile a quello della ripartizione della ricchezza totale. Il maggior numero di TFT nel caso in cui  $\lambda = 20$  può essere dovuto al fatto che il numero di turni (in particolare il numero di cambi di strategia) è inferiore rispetto alle configurazioni precedenti. Quindi lo stadio dell'evoluzione della rete, nel momento in cui si è registrato il valore medio di agenti per strategia, non comprendeva ancora la fase di assestamento della rete, in cui il numero di ALL-C aumenta.

#### CONFIGURAZIONE 5 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Payoff;
- Lunghezza del turno: 1;
- Numero di turni: 200.

In questa configurazione il risultato è netto: ALL-D prevale fin da subito (da  $t = 1$ ) in tutte e 50 le esecuzioni (come nel caso 1, configurazione 1).

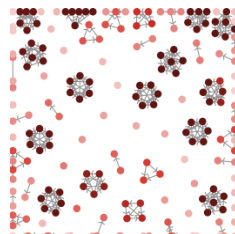


Figura 4.31: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 5,  $T = 200$ ).

Figura 4.32: Rete finale (config. 5).

Durante l'esecuzione si può notare che la rete va via via disgregandosi. La crescita del grado è autolimitata dal fatto che ogni nodo scioglie esattamente 5 legami ( $\delta$ )

e ne può riallacciare altri 5 ( $\gamma$ ). Non è però detto che in fase di rewiring tutti i nodi trovino 5 corrispondenze con altrettanti nodi e quindi può succedere che alcuni di essi rimangano con un numero minore di legami. Minore è il grado di un nodo e minore sarà l'insieme di nodi a distanza due considerati nelle fasi di riallacciamento successive, diminuendo nuovamente la probabilità di trovare 5 corrispondenze. A questo punto, dalla componente maggiore si può distaccare un singolo nodo oppure un gruppo di nodi uniti tra di loro, a seconda del legame o dei legami recisi (il rewiring che avviene alla fine del turno è effettuato globalmente da tutti i nodi). La disgregazione di ogni sottorete si ferma quando la sua dimensione è tale per cui la componente è completamente connessa e ogni rewiring permette a tutti i nodi di riallacciare tutti i legami già esistenti. In particolare, per questo modello, la dimensione massima di una componente è di 6 nodi. I nodi più ricchi sono quelli che riescono a rimanere nei gruppi che contano un maggior numero di agenti e a continuare a interagire.

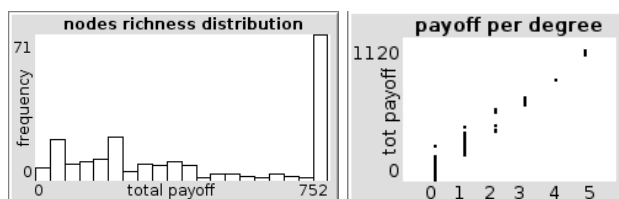


Figura 4.33: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 5,  $T=200$ ).

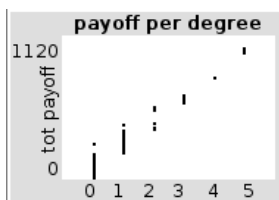


Figura 4.34: Distribuzione dei payoff totali dei nodi in base al grado (config. 5).

Quanto discusso nel paragrafo precedente è ben evidenziato dalla Figura 4.34 che mostra il payoff totale di ogni nodo al variare del grado (il payoff è rappresentato da un puntino in corrispondenza del numero di legami posseduti - asse  $x$  - e del suo ammontare - asse  $y$  -). Come nella configurazione 1, le sole interazioni della rete sono non cooperative, quindi il massimo payoff per ogni legame è  $P = 1$ . La differenza tra le due configurazioni risiede nel numero di legami presenti nel sistema e quindi nel numero totale di interazioni.

Il payoff medio risulta 570,74, la deviazione standard è 381,90.

#### CONFIGURAZIONE 6 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Payoff;
- Lunghezza del turno: 5;
- Numero di turni: 40.

I risultati delle 50 esecuzioni sono tutti allineati. L'evoluzione della rete (Figura 4.35) presenta un iter già visto per la configurazione 1, caso 3. Dopo una prima fase di affermazione di ALL-D (più lenta rispetto alla configurazione 5), ALL-C scompare e TFT risulta vincente rispetto a ALL-D (le due fasi sono quasi coincidenti, come riportato in Figura 4.35). L'invasione della rete da parte di TFT non è completa perché esistono dei gruppi di ALL-D che si staccano dalla rete prima che TFT sia in grado di espandersi totalmente. Questo è dovuto al fatto che durante il rewiring non tutti i nodi riescono a ristabilire il numero massimo consentito di legami, come già discusso per la configurazione precedente.

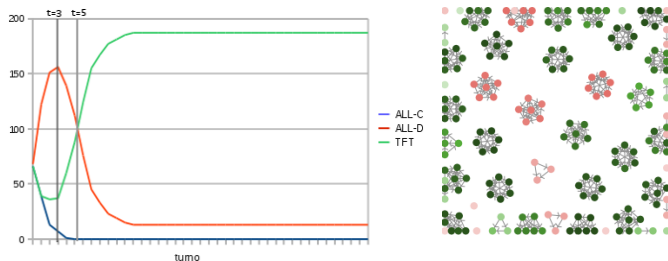


Figura 4.35: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 6,  $T=40$ ).

Figura 4.36: Rete finale (config. 6).

Data la presenza di due tipologie distinte di gruppi (componenti composte da soli ALL-D o soli TFT), troviamo due diversi andamenti nella distribuzione della ricchezza dei nodi (payoff medio: 2003,82, deviazione standard: 864,75) (Figura 4.37). La distribuzione di payoff di ALL-D dipende dal momento in cui i gruppi di ALL-D si distaccano dalla rete iniziale e quindi dal momento in cui inizia a diminuire il payoff che ottengono in ciascun turno (sia per la tipologia che per il numero di legami posseduti).

La componente connessa di dimensione maggiore è quella in cui TFT continua a espandersi. Ma anche questa componente si disgrega a causa della limitazione del rewiring che lascia alcuni nodi senza legami perché i nodi preferiti sono già occupati. Quindi anche la distribuzione di payoff di TFT è spiegata dal momento in cui un nodo si distacca dalla componente principale e riduce il suo numero di interazioni (Figura 4.39).

La differenza tra i due tipi di payoff è dovuta alla tipologia di legami esistenti: le interazioni di TFT (sempre tra coppie di TFT che giocano  $C$ ) generano un payoff superiore, in ogni turno, a quello di ALL-D (Figura 4.38).

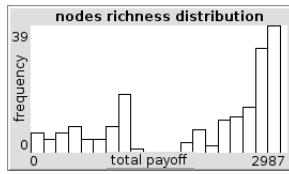


Figura 4.37: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (conf. 6).

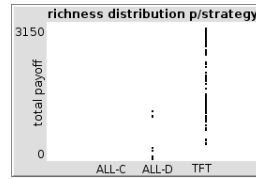


Figura 4.38: Distribuzione dei payoff totali dei nodi in base alla strategia.

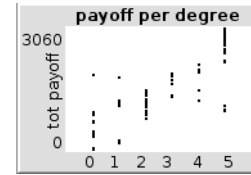


Figura 4.39: Payoff finale di ogni nodo in base al numero di legami.

### CONFIGURAZIONE 7 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Payoff;
- Lunghezza del turno: 10;
- Numero di turni: 20.

I risultati delle 50 esecuzioni sono omogenei e sono analoghi al caso precedente.

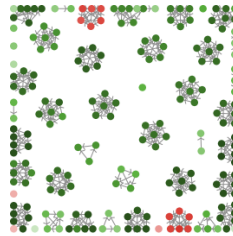
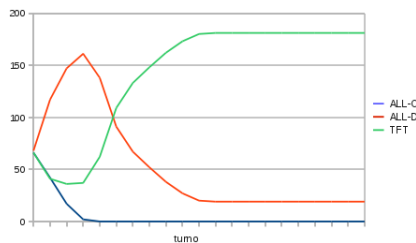


Figura 4.40: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 7, T=20).

Figura 4.41: Rete finale (config. 7).

Anche la distribuzione della ricchezza è in linea con il risultato generale di questa tipologia di configurazione (rewiring Payoff) ed è spiegata dal tipo e dal numero di interazioni tra i nodi della rete (Figure 4.42-44). Il payoff medio registrato è 2212,14, la deviazione standard è 699,83.

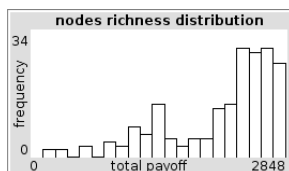


Figura 4.42: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (conf. 7).

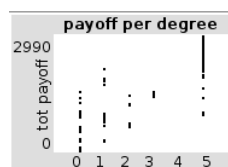


Figura 4.43: Distribuzione dei payoff totali dei nodi in base alla strategia.

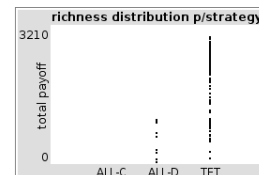


Figura 4.44: Payoff finale di ogni nodo in base al numero di legami.

**CONFIGURAZIONE 8 - Parametri:**

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Payoff;
- Lunghezza del turno: 20;
- Numero di turni: 10.

I risultati delle 50 esecuzioni non presentano particolari differenze rispetto a quanto finora descritto per le configurazioni con rewiring Payoff. Dato il numero minore di turni in questa simulazione è possibile visualizzare ancora la presenza di una componente connessa maggiore, da cui si distaccano le componenti minori (Figura 4.46).

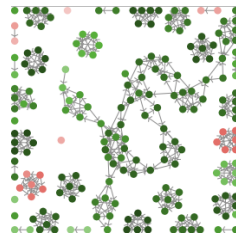
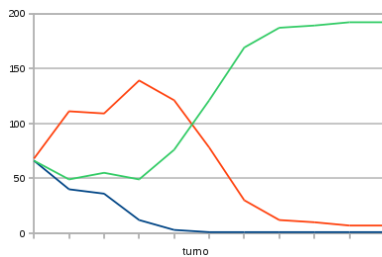


Figura 4.45: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 8, T=10).

Figura 4.46: Rete finale (config. 8).

Si riporta la distribuzione della ricchezza anche per questa configurazione (payoff medio: 2090,56, deviazione standard: 531,55):

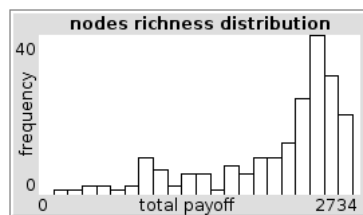


Figura 4.47: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 8).

Per le reti ottenute con regola di rewiring Payoff si può notare una netta predominanza di TFT tra le strategie (Figura 4.50) e uno scarto maggiore tra la ricchezza totale della rete ottenuta per  $\lambda = 1$  e le altre configurazioni (Figura 4.48). Come nel caso di rete fissa, si rileva un decremento nella ricchezza totale per  $\lambda = 20$ . La ricchezza totale più elevata si ottiene invece per  $\lambda = 10$ .

Si può notare inoltre che per  $\lambda = 20$ , il numero di ALL-D medio è inferiore ai casi precedenti. Questo vuol dire che l'espansione di TFT è più rapida, se la misuriamo



prendendo a riferimento il numero di turni necessari per affermarsi. Però, l'elevato numero di iterazioni effettuate prima di avere la possibilità di cambiare strategia contribuisce a mortificare il payoff dei nodi ALL-D e TFT che sono costretti a giocare ripetutamente con altri nodi ALL-D (ALL-C è una strategia poco robusta e viene sopraffatta immediatamente per qualsiasi lunghezza del turno). Questo contribuisce sì a creare un divario più pronunciato tra i payoff e accelerare l'imitazione di TFT, ma riduce anche la ricchezza totale della rete.

La disgregazione della rete e quindi il minor numero di legami influisce sulla ricchezza totale. Axelrod notava che uno dei modi per promuovere la cooperazione è quello di limitare le relazioni con l'esterno, incrementando la frequenza di interazione all'interno di piccoli gruppi. Nel nostro modello però le componenti ALL-D non hanno modo di imparare la cooperazione e rimangono intrappolate in relazioni improduttive.

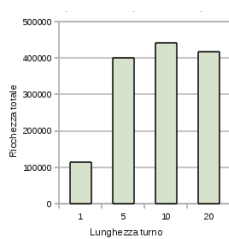


Figura 4.48: Ricchezza totale finale media nelle esecuzioni con rewiring Payoff.

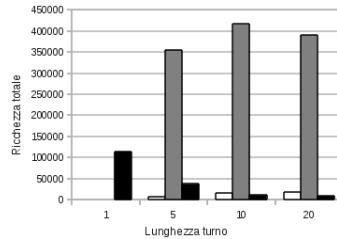


Figura 4.49: Distribuzione della ricchezza totale, divisa per strategia.

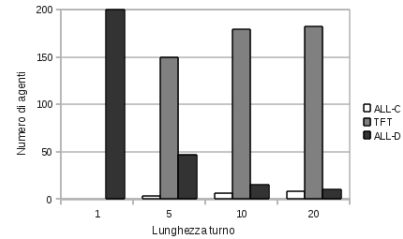


Figura 4.50: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia.

#### CONFIGURAZIONE 9 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Casuale;
- Lunghezza del turno: 1;
- Numero di turni: 200.

Come già riscontrato, quando la lunghezza del turno  $\lambda$  è pari a 1 l'interazione degenera nel Dilemma del Prigioniero semplice e l'equilibrio della rete viene raggiunto già dal primo turno. Rispetto al caso di rewiring in base al Payoff, il rewiring Casuale assicura ai nodi di ripristinare sempre 5 legami. La seconda regola infatti fa in

modo che ogni nodo presente nel consideration-set di un certo nodo venga selezionato in fase di riacciamento della rete e quindi sia sempre possibile ricombinare il numero di legami preesistente.

Il numero di legami con nodi diversi da quelli del turno precedente, in media, si assesta intorno al 70-75% per tutta la durata dell'esecuzione, indicando un raggio di interazione maggiore rispetto al caso di rewiring in base al Payoff che ha invece l'effetto di disgregare la rete e segregare i nodi in gruppi omogenei.

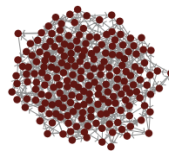
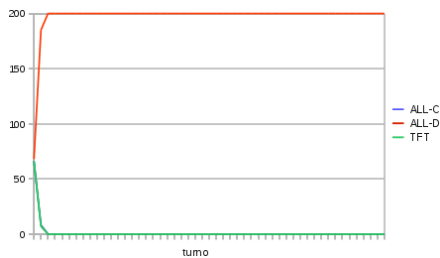


Figura 4.51: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 9, T=200).

Figura 4.52: Rete finale (config. 9).

Anche la distribuzione della ricchezza non è dissimile dal risultato generale ottenuto per configurazioni con  $\lambda = 1$ . La ricchezza totale è spiegata dal tipo di interazioni ( $D, D$ ) e dal loro numero (la rete rimane connessa quindi il numero di legami rimane costante). Il payoff medio è pari a 1002,86 e la deviazione standard è 6,70.

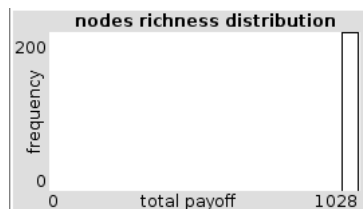


Figura 4.53: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 9).

#### CONFIGURAZIONE 10 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Casuale;
- Lunghezza del turno: 5;
- Numero di turni: 40.

Nell'88% delle esecuzioni effettuate la lunghezza del turno pari a 5 è sufficiente per consentire a TFT di risultare una strategia più profittevole rispetto a ALL-D,

quando i nodi ALL-C sono spariti dalla rete (Figura 4.54). L'espansione di TFT è totale in quanto la rete rimane connessa (Figura 4.55).

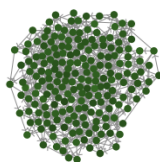
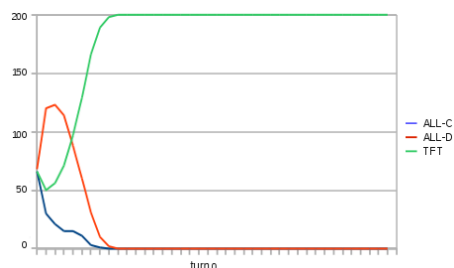


Figura 4.54: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 10, caso 1,  $T=40$ ).

Figura 4.55: Rete finale (config. 10, caso 1).

La distribuzione della ricchezza risulta omogenea perché la tipologia di legami e il numero di legami si mantiene uniforme una volta che TFT ha invaso la rete (payoff medio: 2636,85, deviazione standard: 62,13).

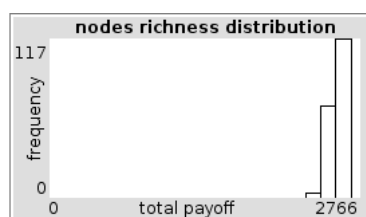


Figura 4.56: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 10, caso 1).

Nelle rimanenti esecuzioni, dopo una prima rimonta sia di TFT che di ALL-C, ALL-D, che ha ancora una presenza consistente nella rete, riesce a prevalere sfruttando i nodi cooperativi. Il payoff totale medio è la metà di quello precedente, ossia 1105,33, e la deviazione standard si mantiene bassa (43,21), indicando uniformità tra i valori dei payoff.

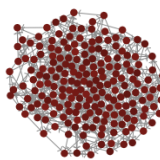
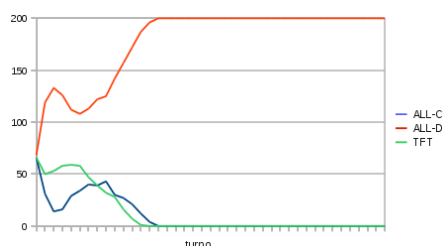


Figura 4.57: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 10, caso 2,  $T=40$ ).

Figura 4.58: Rete finale (config. 10, caso 2).

#### CONFIGURAZIONE 11 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;

- Rewiring: Casuale;
- Lunghezza del turno: 10;
- Numero di turni: 20.

L'evoluzione della rete segue il profilo già descritto, di cui riporto gli usuali grafici (Figure 4.59-60).

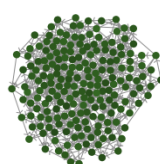
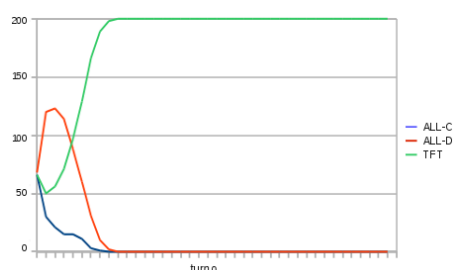


Figura 4.59: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 11, T=20).

Figura 4.60: Rete finale (config. 11).

L'andamento della distribuzione della ricchezza è simile a quello di una distribuzione normale (payoff medio: 2501,29, deviazione standard: 111,46) ed è dovuto al fatto che il numero maggiore di iterazioni che compongono il singolo turno diversifica maggiormente i payoff dei nodi.

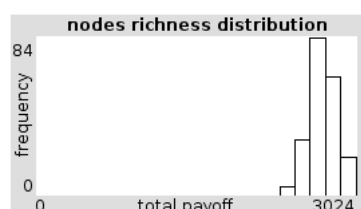


Figura 4.61: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 11).

#### CONFIGURAZIONE 12 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Casuale;
- Lunghezza del turno: 20;
- Numero di turni: 10.

L'espansione di TFT è ancora consistente. Dato il numero limitato di turni di questa configurazione, nodi che implementano altre strategie possono essere ancora presenti nella rete finale ma l'evoluzione verso la predominanza di TFT è segnata.

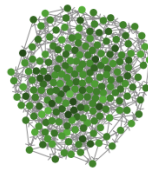
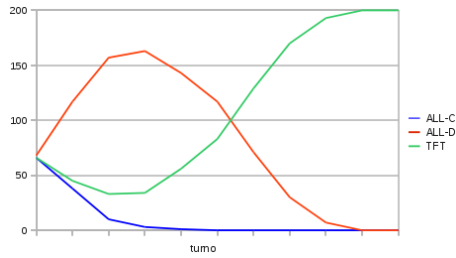


Figura 4.62: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 12, T=10).

Figura 4.63: Rete finale (config. 12).

La distribuzione della ricchezza è meno uniforme (payoff medio: 2137,64, deviazione standard: 209,31), come già riscontrato per la configurazione 11, ed è spiegata dalla lunghezza del turno maggiore.

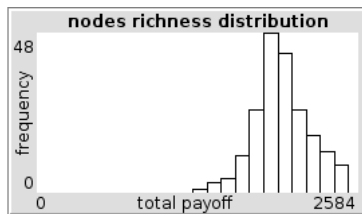


Figura 4.64: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 12).

Il successo di TFT nelle configurazioni con rewiring Casuale è ancora più evidente, posta la lunghezza del turno  $\lambda > 1$ . Eliminati i nodi ALL-C, TFT è in grado di invadere completamente la rete poiché è una strategia più robusta di ALL-C. In particolare, riuscendo a discriminare la mossa da giocare è in grado di indurre i nodi ALL-D a cooperare, mentre ALL-C elicitagli dagli ALL-D vicini proprio la non cooperazione poiché, continuando a cooperare, garantisce loro un payoff maggiore.

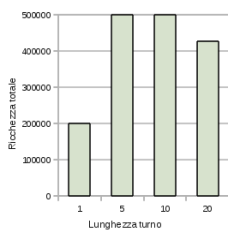


Figura 4.65: Ricchezza totale finale media nelle esecuzioni con rewiring Casuale.

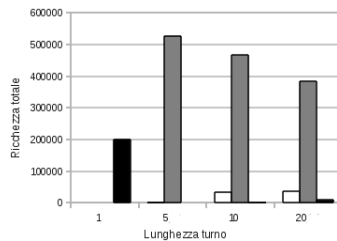


Figura 4.66: Distribuzione della ricchezza totale, divisa per strategia

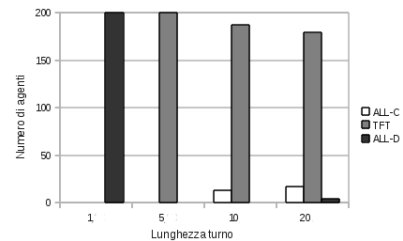


Figura 4.67: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia

La ricchezza totale (Fig. 4.65) non presenta differenze per  $\lambda = 5$  e  $\lambda = 10$  (ma si ricorda che per  $\lambda = 5$  non sempre TFT riesce a prevalere). Dai grafici relativi alla

ripartizione delle strategie si può notare che l'invasione della rete da parte di TFT per  $\lambda = 10$  e  $\lambda = 20$  non è ancora completata alla fine delle esecuzioni e sono ancora presenti nella rete nodi che implementano le altre due strategie.

#### CONFIGURAZIONE 13 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Selezione;
- Lunghezza del turno: 1;
- Numero di turni: 200.

Per questa configurazione non sono state registrate differenze rispetto alla configurazione 9. Riporto il grafico della ripartizione delle strategie e la rete finale:

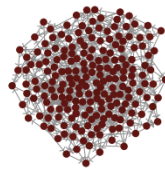
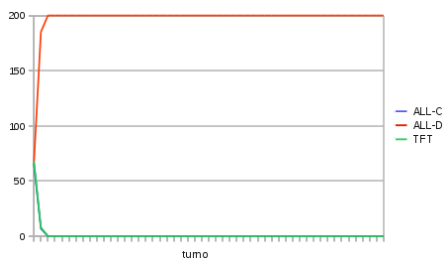


Figura 4.68: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 13, T=200).

Figura 4.69: Rete finale (config. 13).

La percentuale di legami nuovi in ogni turno è del 100%: l'effetto di escludere i vicini diretti in fase di rewiring, in un contesto di non cooperazione totale, ha il solo effetto di indurre i nodi a cercare nodi da sfruttare a una distanza maggiore, ma senza trovarli, non entrando mai in contatto con strategie diverse e continuando ad allacciare legami non cooperativi.

La distribuzione della ricchezza è in linea con i risultati già riscontrati per le configurazioni con  $\lambda = 1$ . Il payoff medio ammonta a 1000,17 e la deviazione standard è 7,11.

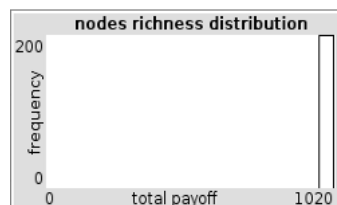


Figura 4.70: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 13).

### CONFIGURAZIONE 14 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Selezione;
- Lunghezza del turno: 5;
- Numero di turni: 40.

Come per la configurazione 10, si presentano due casi, uno in cui si afferma TFT e uno in cui la spinta alla cooperazione non è sufficiente e l'evoluzione della rete si conclude con l'affermazione di ALL-D:

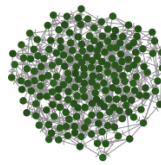
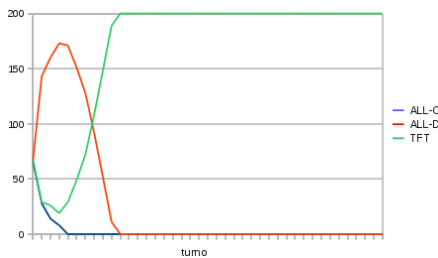


Figura 4.71: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 14, caso 1,  $T=40$ ).

Figura 4.72: Rete finale (config. 14, caso 1).

Del secondo caso riporto solo il grafico dell'evoluzione delle strategie durante l'esecuzione (Figura 4.73).

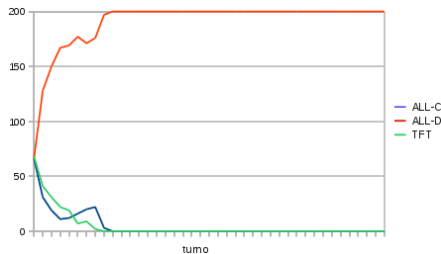


Figura 4.73: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 14, caso 2,  $T=40$ ).

Andando ad osservare la distribuzione della ricchezza per il caso più frequente (86% delle esecuzioni), si può notare che, rispetto al rewiring in base al Payoff, la ricchezza risulta molto più omogenea (payoff medio: 2643,00, deviazione standard: 56,00): TFT invade completamente la rete e il numero di legami totali rimane lo stesso (anche se cambiano le coppie di nodi coinvolte), quindi le giocate del Dilemma del Prigioniero producono tutte lo stesso payoff.

Si nota ancora che le configurazioni con rewiring Payoff presentavano un alto numero di componenti connesse diverse. Il rewiring per Selezione invece mantiene un'unica rete connessa nonostante il fatto che nei primi turni (quando sono ancora

presenti nodi ALL-D) gli agenti non considerino una parte dei loro vicini diretti (i non cooperatori) durante la procedura di riallacciamento dei legami. Questo implica che i consideration-set dei nodi non sempre trovino piena corrispondenza. In questa fase la maggior parte dei legami viene stabilita tra nodi a distanza due. Successivamente, quando la cooperazione prevale, il numero di legami mantenuti (quindi con i vicini diretti) aumenta e si assesta intorno al 20-25%, come per le configurazioni con rewiring Casuale.

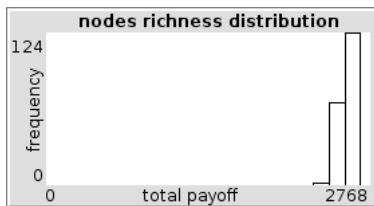


Figura 4.74: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 14, caso 1).

#### CONFIGURAZIONE 15 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Selezione;
- Lunghezza del turno: 10;
- Numero di turni: 20.

L'evoluzione della rete non presenta differenze rispetto alla configurazione precedente.

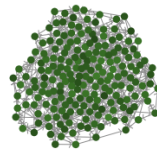
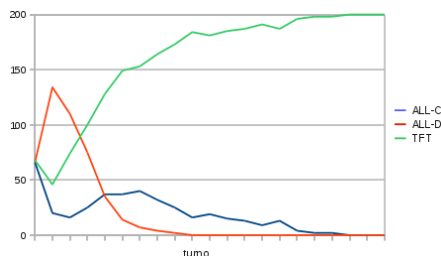


Figura 4.75: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 15, T=20).

Figura 4.76: Rete finale (config. 15).

Anche la distribuzione della ricchezza è in linea con il risultato generale di questa tipologia di configurazione ed è spiegato dalla rapida evoluzione della rete verso TFT. Il payoff medio è 2451,12, la deviazione standard 107,48.



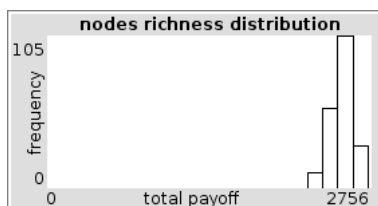


Figura 4.77: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 15).

#### CONFIGURAZIONE 16 - Parametri:

- Numero di link da slacciare: 5;
- Numero di link da allacciare: 5;
- Rewiring: Selezione;
- Lunghezza del turno: 20;
- Numero di turni: 10.

Dato il numero minore di turni, si può notare che non sempre l'invasione della rete da parte di TFT è completa al turno  $t = 10$  (Figura 4.79). Ad ogni modo, la rete segue l'evoluzione già delineata per le configurazioni 14 e 15.

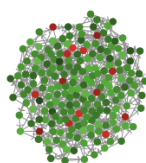
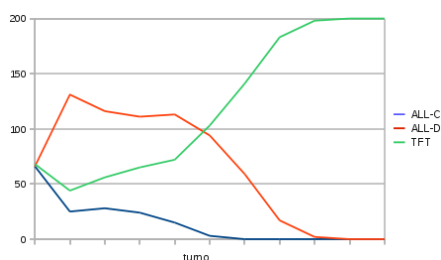


Figura 4.78: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia, misurato alla fine di ogni turno (config. 16,  $T=10$ ).

Figura 4.79: Rete finale (config. 16).

La distribuzione della ricchezza ricalca quella della configurazione 12. Il payoff medio registrato è 2111,15 e la deviazione standard è pari a 197,49. Il divario tra i payoff dei nodi è quindi superiore rispetto alle configurazioni precedenti.

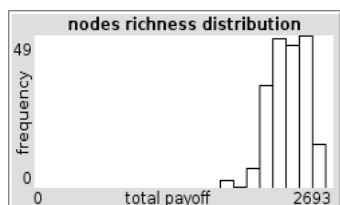


Figura 4.80: Distribuzione dei payoff totali dei nodi (config. 16).

Osservando le reti ottenute con regola di rewiring Selezione si può notare che non c'è una grossa differenza con quelle ottenute per le configurazioni con rewiring

Casuale. La Selezione infatti non ha effetto nei primi turni perché in fase di rewiring i nodi, pur evitando alcuni ALL-D (i vicini diretti), nella scelta dei nuovi legami non tengono conto del cambiamento di strategia. Come già osservato, in tutte le configurazioni, i primi turni vedono l'affermazione di ALL-D. Quindi anche non considerando i non cooperatori diretti, i nodi allacciano comunque, con un'alta probabilità, legami con nodi ALL-D. La Selezione non ha effetto neanche quando la rete è stata invasa da TFT poiché tutti i nodi a questo punto sono cooperativi. La sua influenza potrebbe avere un peso nella velocità con cui il numero di nodi TFT cresce e supera ALL-D. La Tabella 4.1 riporta il numero di turni medio che intercorre tra il momento in cui il numero di nodi TFT raggiunge il livello minimo e il momento in cui supera ALL-D, nelle configurazioni con rewiring Casuale e Selezione, e anche il valore modale delle osservazioni. Il confronto non evidenzia differenze significative, tranne per  $\lambda = 5$ , in cui il rewiring Selezione richiede quasi un turno in più.

$\lambda$	Casuale		Selezione	
	media	moda	media	moda
5	3,93	3	4,63	4
10	2,67	2	2,50	2
20	2,40	2	2,40	2

Tabella 4.1: Numero medio di turni necessari a TFT per diventare la strategia più presente nella rete e valore modale.

L'effetto del rewiring Selezione si manifesta unicamente nel raggio di ricerca dei nuovi nodi. Riprendendo e dettagliando la discussione iniziata per la configurazione 14, si nota che nei primi turni il consideration-set dei nodi cooperativi (ALL-C e TFT) è formato solo dai nodi ALL-D a distanza 2 e dai nodi cooperatori. I nodi ALL-D invece, pur avendo nel loro consideration-set anche i vicini diretti cooperativi, non riescono a stabilire legami con essi perché questi ultimi non li hanno inclusi nei propri consideration-set. Quindi i nodi ALL-D possono concludere legami solo con nodi a distanza due. Questi due fattori fanno sì che vengano privilegiati, in questa fase di riallacciamento, i nodi più distanti: il grafico che visualizza la media (percentuale) di vicini mantenuti, tra un turno e l'altro, da ogni nodo (Figura 4.81) presenta una flessione, mentre nel rewiring Casuale oscilla intorno a un valore fisso.

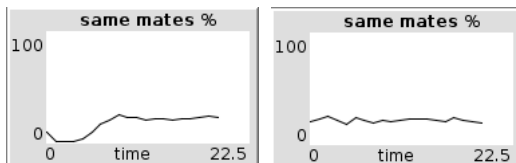


Figura 4.81: Percentuale media di vicini confermati nel corso di un'esecuzione (rewiring Selezione).

Figura 4.82: Percentuale media di vicini confermati nel corso di un'esecuzione (rewiring Casuale).

Anche l'analisi relativa all'influenza della lunghezza del turno sul rewiring Selezione ricalca i risultati ottenuti per il rewiring Casuale.

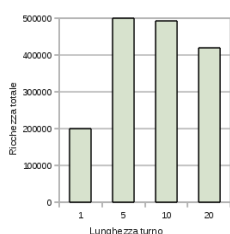


Figura 4.83: Ricchezza totale finale media nelle esecuzioni con rewiring Selezione.

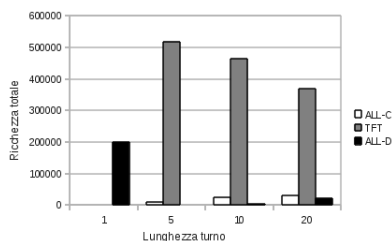


Figura 4.84: Distribuzione della ricchezza totale, divisa per strategia.

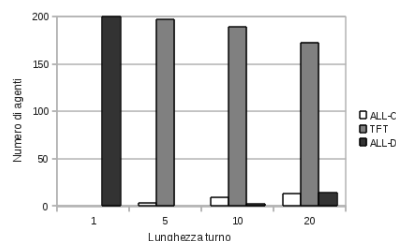


Figura 4.85: Numero di nodi che implementano ciascuna strategia.

## 4.2 Ipotesi 1

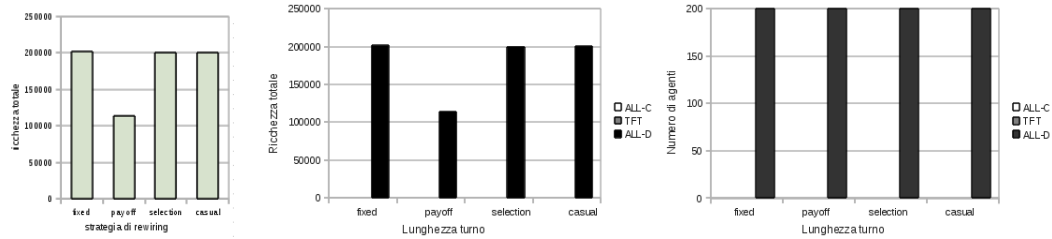
*Tit-for-Tat è in grado di colonizzare la rete se la lunghezza del turno è maggiore di 1.*

Il primo fatto che emerge dalle simulazioni precedenti è che non in tutte le configurazioni con  $\lambda > 1$  TFT riesce a invadere la rete. Il legame ipotizzato è più complesso e coinvolge la struttura della rete e i cambiamenti introdotti dalla procedura di imitazione della strategia nell'ambiente simulato. In particolare:

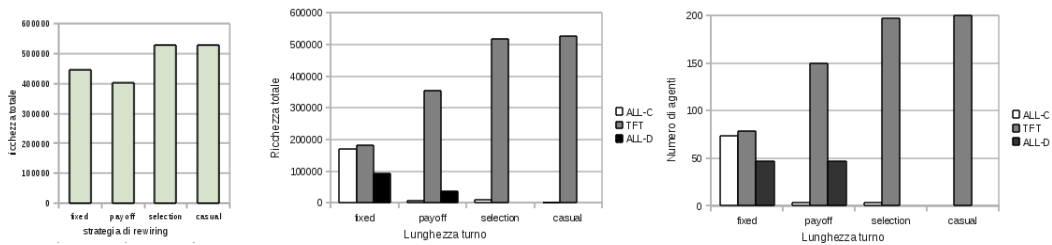
- La configurazione 1 (rete fissa), in cui  $\lambda = 1$ , ammette la presenza di una rete finale di soli TFT, purché nella rete iniziale sia presente un cluster di TFT che riesce a interagire frequentemente;
- Nelle configurazioni 2, 3 e 4 (rete fissa), con  $\lambda > 1$ , TFT non è la strategia che conta una maggiore presenza nella rete. Il suo ruolo per permettere l'espansione della strategia ALL-C, nella quale viene assorbita, è comunque centrale. I cluster di cooperatori che resistevano in alcune esecuzioni della configurazione 1 indicano che ALL-C può rafforzarsi localmente ma non espandersi. La sua capacità di sopravvivenza dipende dall'inizializzazione iniziale della rete e dalla costituzione di una particolare struttura in cui esistono una serie di nodi ALL-C di confine che guadagnano molto poco ma sono incentivati a rimanere

Ricchezza totale finale, distribuzione della ricchezza e ripartizione delle strategie ottenute per le diverse configurazioni al variare della lunghezza del turno  $\lambda$ :

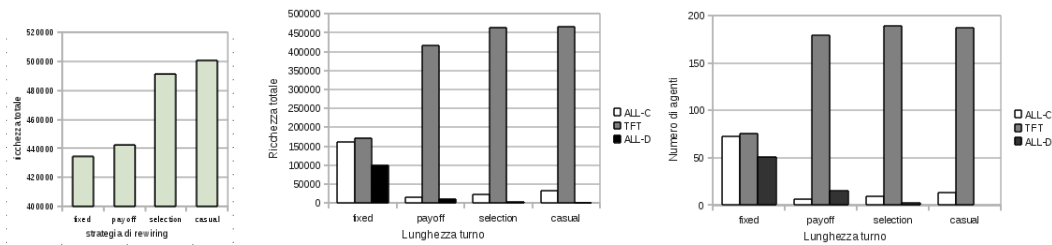
$\lambda = 1$ :



$\lambda = 5$ :



$\lambda = 10$ :



$\lambda = 20$ :

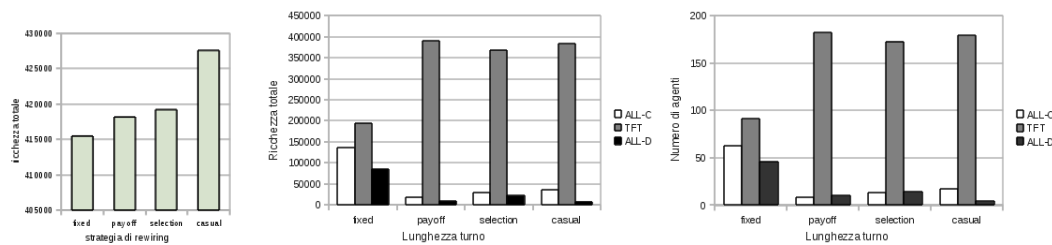


Figura 4.86: Tavola riassuntiva dei risultati delle diverse configurazioni.

cooperatori. ALL-C è in grado di trasformare nodi TFT in ALL-C ma non di convertire nodi ALL-D. Infatti questi ultimi, interagendo con nodi cooperatori, elevano il loro payoff in misura maggiore rispetto a ALL-C. Quindi, anche quando ALL-C riesce a espandersi grazie a TFT, non riesce mai a colonizzare la rete.

- Nelle configurazioni con  $\phi = 1$  (rete con facoltà di mobilità) e rewiring Payoff, la disgregazione della rete non permette a TFT di promuovere la cooperazione nelle componenti formate da ALL-D.

Come si può notare guardando i grafici riepilogativi riportati nella pagina precedente TFT è sempre la strategia predominante per  $\lambda > 1$  (Figura 4.86).

**Si può quindi affermare che TFT, anche se non conquista completamente la rete nelle configurazioni con rete fissa, ha un successo più stabile e di maggiore portata quando  $\lambda > 1$  perché la maggiore continuità del turno permette di discriminare meglio la mossa da giocare con i vicini e quindi di propagare l'apprendimento della cooperazione basata sulla reciprocità nella rete.**

### 4.3 Ipotesi 2

*La velocità di convergenza di Tit-for-Tat sarà maggiore con l'aumentare della lunghezza del turno.*

Per misurare la velocità di convergenza, ho considerato solo quelle configurazioni in cui il successo di TFT è netto: tutte le configurazioni con rete mobile e  $\lambda > 1$ . Per ogni esecuzione di ciascuna configurazione è stato registrato il turno in cui il numero di TFT supera il numero di ALL-D. Ho scelto di impostare il confronto in questo modo perché non sempre TFT è in grado di conquistare tutta la rete. Nel caso di rewiring Payoff infatti sopravvivono componenti ALL-D non raggiungibili dagli altri nodi della rete. Inoltre, nelle configurazioni con  $\lambda = 20$ , siccome il numero di turni è inferiore, non sempre si completa la colonizzazione della rete da parte di TFT entro il decimo turno.

Per la serie di valori trovati ho calcolato valore medio e moda:

$\lambda$	Payoff		Casuale		Selezione	
	media	moda	media	moda	media	moda
5	5,73	5	7,14	5	8,48	8
10	4,16	4	5,16	4	5,08	4
20	4,20	4	4,67	4	4,58	4

Tabella 4.2: Numero medio di turni necessari ai nodi TFT per superare in numero i nodi ALL-D..

L'ipotesi ha trovato un riscontro nei dati raccolti. Per  $\lambda$  crescente, in tutti i tipi di rewiring, il tempo necessario a TFT per affermarsi decresce. Il numero maggiore di iterazioni che compongono il turno ha l'effetto di differenziare di più i payoff dei nodi, privilegiando una strategia discriminatoria come TFT.

Se contemporaneamente si considera la ricchezza totale media risultante da ciascuna configurazione, si può notare un trade-off tra la velocità di convergenza e la ricchezza stessa. La ricchezza maggiore infatti si ottiene, solitamente, per  $\lambda = 5$  (a volte  $\lambda = 10$ ). L'efficacia dell'allungamento del turno è mediata dal cambiamento dell'ambiente di interazione prodotto dalla fase di imitazione della strategia. Un cambiamento più repentino nell'atteggiamento adottato permette ai nodi di limitare le perdite e favorisce l'instaurarsi di iterazioni cooperative (considerandole singolarmente e non raggruppate nei turni).

**Il tempo impiegato da TFT per diventare la strategia prevalente diminuisce all'aumentare della lunghezza del turno  $\lambda$ , quindi l'ipotesi 2 è valida.**

## 4.4 Ipotesi 3 e 4

*La velocità di convergenza di Tit-for-Tat sarà maggiore nel caso in cui la rete può essere modificata rispetto al caso in cui la rete è fissa.*

*La convergenza di Tit-for-Tat sarà maggiore se il rewiring avviene in base alla Selezione.*

Come già osservato TFT non è la strategia che prevale nelle configurazioni con rete fissa. Ad ogni modo, modificando l'impostazione delle ipotesi, vado a confrontare il tempo impiegato da ALL-D per raggiungere il livello minimo, prima della risalita delle altre strategie (TFT o ALL-C).

ALL-D raggiunge il livello più basso quando ciascun nodo ALL-D effettua la maggior parte delle sue interazioni con ALL-D, guadagnando un payoff molto ridotto

rispetto ai primi turni. Il raggiungimento di questo punto dovrebbe essere accelerato nelle configurazioni in cui si favorisce l'interazione locale e i nodi hanno meno probabilità di incontrare strategie diverse, quindi di sfruttare più a lungo i nodi cooperativi che potrebbero essere sopravvissuti. Le due configurazioni che rispondono a questa descrizione sono le reti fisse e le reti con mobilità e rewiring Payoff.

Ai dati riportati in Tabella 4.3, si aggiungono quelli relativi alla rete fissa (per le altre configurazioni i due parametri considerati coincidono):

$\lambda$	Payoff		Fissa		Casuale		Selezione	
	media	moda	media	moda	media	moda	media	moda
5	5,73	5	4,68	5	7,14	5	8,48	8
10	4,16	4	4,52	3	5,16	4	5,08	4
20	4,20	4	3,83	3	4,67	4	4,58	4

Tabella 4.3: Numero medio di turni necessari affinché il numero di nodi ALL-D sia il minimo dell'esecuzione.

Effettivamente si può notare una differenziazione tra le due tipologie di configurazioni, ma risulta rilevante solo per il caso  $\lambda = 5$ .

Si nota inoltre che nonostante l'evoluzione della rete sia più lenta, la ricchezza totale prodotta nelle configurazioni con rewiring Casuale e Selezione risulta maggiore.

**La velocità di convergenza di TFT non è significativamente influenzata dalla struttura di interazione o dalla regola di rewiring.**

## 4.5 Ipotesi 5

*La ricchezza totale della rete dipende dal numero di legami della rete.*

Per testare questa ipotesi ho considerato i valori medi dei parametri della rete misurati per ogni configurazione (riportati in Appendice B) e li ho confrontati tra di loro. Per ciascuna coppia di parametri ho calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson.

La correlazione tra ricchezza totale della rete e numero di legami risulta pari a 0,495. Il numero di legami non è quindi sufficiente a spiegare il payoff totale, prodotto dall'evolversi della rete. La ricchezza totale dipende fortemente anche dalla tipologia di legami presenti in ogni stadio dell'evoluzione della rete. Questa

variabile quindi è frutto dell'interazione complessa dei nodi della rete ed è difficilmente riconducibile a funzioni matematiche.

**Non è stata trovata una dipendenza lineare tra la ricchezza totale della rete e il numero di legami.**

## 4.6 Ipotesi 6

*La ricchezza totale dipende dal numero di cooperatori.*

Il risultato della statistica effettuata è apparentemente deludente. La correlazione risulta infatti pari a 0,280 (Appendice B).

Se si procede al contrario, cercando le variabili che effettivamente risultano essere correlate alla ricchezza totale, il risultato precedente appare assurdo. La ricchezza totale è influenzata dal payoff totale ottenuto dai nodi, ripartiti per strategia (ALL-C: 0,999, ALL-D: -0,840, TFT: 0,899), dal numero di nodi TFT (0,891) e dal numero di nodi ALL-D (-0,961) ma non dal numero di nodi ALL-C.

Per spiegare questo risultato allora, faccio ricorso al payoff medio dei nodi. Infatti, all'aumentare del numero di TFT si verifica un aumento del payoff medio dei nodi TFT. Se invece aumenta il numero di ALL-D, il payoff medio ottenuto da ALL-D diminuisce (è il caso delle configurazioni con  $\lambda = 1$ ). Non è così per ALL-C: il payoff medio di ALL-C non presenta una proporzionalità diretta con la ricchezza totale. Il suo guadagno dipende strettamente dalla tipologia di nodi con cui interagisce. È una strategia fragile. Se le interazioni avvengono solo all'interno del cluster o con altre strategie cooperative come TFT, il payoff medio dei nodi ALL-C sarà molto alto, indipendentemente dalle dimensioni del cluster. Viceversa, la sopravvivenza di un numero maggiore di ALL-C sparsi, o la comparsa di ALL-C dopo diversi cambi di strategia, può far sì che, mediamente, essi abbiano un payoff molto basso.

**La ricchezza totale non dipende dal numero di cooperatori, ma dalla posizione dei cooperatori nella rete.**





## Capitolo 5

# Conclusioni

### 5.1 Conclusioni

Attraverso il modello di simulazione ad agenti qui presentato ho mostrato come la cooperazione possa prendere piede in relazioni non dominate da vincoli di parentela o, più in generale, in cui gli attori non agiscono in base a motivazioni altruistiche, ma anzi perseguono i propri interessi.

A tale scopo ho fatto ricorso al modello del Dilemma del Prigioniero e, in particolare, alla sua versione iterata, studiata da [Axelrod, 1984]. Il modello di riferimento infatti cattura l'essenza del problema sociale che emerge nell'interazione fra due individui, quando il raggiungimento degli interessi personali determina un esito dell'interazione stessa peggiore rispetto a quello che essi avrebbero ottenuto cooperando (da qui, il dilemma). Le strategie di comportamento considerate sono tre (ALL-C, ALL-D, TFT). L'ambiente simulato non risulta quindi eccessivamente sofisticato ma è esemplificativo delle relazioni che si possono venire a creare. Gli individui agiscono in base a motivazioni e tendenze diverse: alcuni possono continuare a cooperare anche quando non appare razionale farlo, per rispondere a scopi o spinte individuali particolari, altri possono agire in maniera diversa a seconda del comportamento della controparte e altri, opportunisti o fatalisti, scegliere di non cooperare mai.

Rispetto al modello base, sono stati introdotti alcuni cambiamenti per adattarlo a quello che può essere un contesto aziendale in cui la conoscenza è distribuita e specifica, come succede nelle aziende knowledge-based. La modifica principale riguarda l'utilizzo di una struttura a rete in cui l'interazione avviene tra coppie di nodi connesse da un legame, con l'effetto di vincolare in tal modo il raggio di intera-

zione di ogni nodo. Il modello prevede anche la possibilità di cambiamenti dinamici nell'ambiente simulato, in termini di tipologia di agenti presenti e legami che li coinvolgono con altri agenti.

La scelta dello strumento utilizzato per condurre l'analisi ha svolto un ruolo determinante. La simulazione ad agenti è una disciplina relativamente nuova che permette di fare alcune assunzioni sull'atteggiamento individuale degli agenti modellati per desumere le conseguenze prodotte sull'intero sistema sotto osservazione. Questo ha consentito di seguire l'evoluzione della rete senza preoccuparsi di programmare nel dettaglio ogni modifica che potesse intervenire nell'ambiente.

La spiegazione dell'emergere della cooperazione non coinvolge più, come in [Axelrod, 1984], solo la presenza di strategie di cooperazione basate sulla reciprocità e la continuità dell'interazione ma è il risultato dell'azione e dell'influenza reciproca di diverse variabili. In particolare, interviene la struttura, intesa come tipo e numero di legami della rete, che non può più essere trattata come una variabile esogena ma che è parte integrante del modello. Questo approccio deriva dagli studi di [Eguiluz et al., 2005] e [Hanaki et al., 2007], discussi nella sezione 2.3. Si ricorda che le simulazioni del Dilemma del Prigioniero usate dagli autori citati a supporto dell'analisi dello sviluppo della cooperazione in una struttura a rete, consideravano due sole strategie, ALL-C e ALL-D, per modellare il comportamento dei nodi della rete. Si nota che queste due strategie non hanno memoria della sequenza di gioco, cioè indicano la mossa da effettuare senza considerare l'interazione trascorsa. In questi due modelli è solo in fase di scelta della strategia da implementare (determinata dall'imitazione della strategia che ha generato un payoff maggiore localmente) che i nodi hanno la facoltà di apprendere la cooperazione reciproca.

D'altra parte nel mio modello ho separato più nettamente le fasi di adattamento reciproco tra i nodi e di evoluzione della rete, intesa come cambiamento nella ripartizione delle strategie presenti. Pur prevedendo l'impostazione diversa di alcuni parametri iniziali, per comporre molteplici configurazioni, rimane costante la suddivisione dell'interazione in turni, composti da un numero variabile di giocate del Dilemma del Prigioniero di ogni nodo con i suoi vicini. Alla fine di ciascun turno, tutti i nodi aggiornano la propria strategia contemporaneamente (con le stesse modalità di [Eguiluz et al., 2005, Hanaki et al., 2007]) e, se la configurazione ammette la mobilità, modificano i loro legami scegliendo nuovi nodi a cui connettersi (rewiring).

Osservando la topologia finale (Figura 5.1) ottenuta al variare della configurazione di parametri, è possibile segmentare i risultati in base a tre discriminanti chiare che agiscono a livelli diversi: mobilità ( $\phi = 0$  e  $\phi = 1$ ), lunghezza del turno ( $\lambda = 1$  e  $\lambda > 1$ ) e rewiring (Payoff, Casuale-Selezione).

La differenza tra le configurazioni con rete fissa e le reti con facoltà di mobilità riguarda le modalità con cui emerge la cooperazione. Nel primo caso, la sua sostenibilità dipende dalle condizioni iniziali, cioè dalla topologia iniziale della rete che permette o meno l'interazione frequente tra strategie cooperative che possono in questo modo rafforzarsi e svilupparsi. Le altre configurazioni invece hanno la capacità di auto-aggiustarsi e seguire un percorso di adattamento che porta alla piena affermazione di TFT (si ricorda che TFT è una strategia robusta in grado di resistere all'invasione di altre strategie), dopo un primo momento in cui prevale la non cooperazione.

Inoltre, si nota che la ricchezza totale prodotta dalle reti fisse è sempre inferiore a quella delle altre configurazioni perché la strategia ALL-D riesce a sopravvivere: la cooperazione non si propaga all'interno di tutta la rete.

La coesistenza delle tre strategie nelle configurazioni con rete fissa è in contrasto con i precedenti risultati di [Axelrod, 1984], prendendo a riferimento la sua implementazione del modello in una griglia bidimensionale in cui assumeva un cambiamento dinamico delle strategie presenti (in base a una procedura di imitazione della strategia localmente di successo) ma non dei nodi che interagiscono. In quel caso lo stato stazionario veniva raggiunto quando rimanevano sulla griglia solo strategie cooperative (il guadagno di ogni nodo diventava allora indifferenziato e quindi non occorre più mutamenti di strategia), mentre nel modello qui presentato l'interazione locale ammette il consolidamento di tutte le strategie all'interno della rete. Anche [Eguíluz et al., 2005] era arrivato a una conclusione di coesistenza ma a condizione che la rete fosse flessibile (i nodi possono modificare i propri legami) e che i nodi non cooperatori non interagissero con altri non cooperatori, vincoli da me non riscontrati. Ovvero, la probabilità di incontrare nodi ALL-D, connessi alle altre strategie, all'interno della rete finale, è maggiore quando la rete non ha facoltà di mobilità, mentre la scelta dei nodi con cui interagire favorisce la piena espansione di TFT. La differente sopravvivenza e integrazione di ALL-D nel modello di Eguíluz e nel mio, può essere spiegata dalla procedura di rewiring, casuale nel primo caso e assente nel sottoinsieme delle reti da me ottenute qui considerate (configurazioni

1-4). La stabilità della rete in [Eguiluz et al., 2005] è influenzata dalla possibilità di entrare ripetutamente in contatto con strategie non cooperative per cui non riesce a costituirsi una struttura di payoff che supporta il raggiungimento di uno stato stazionario della rete.

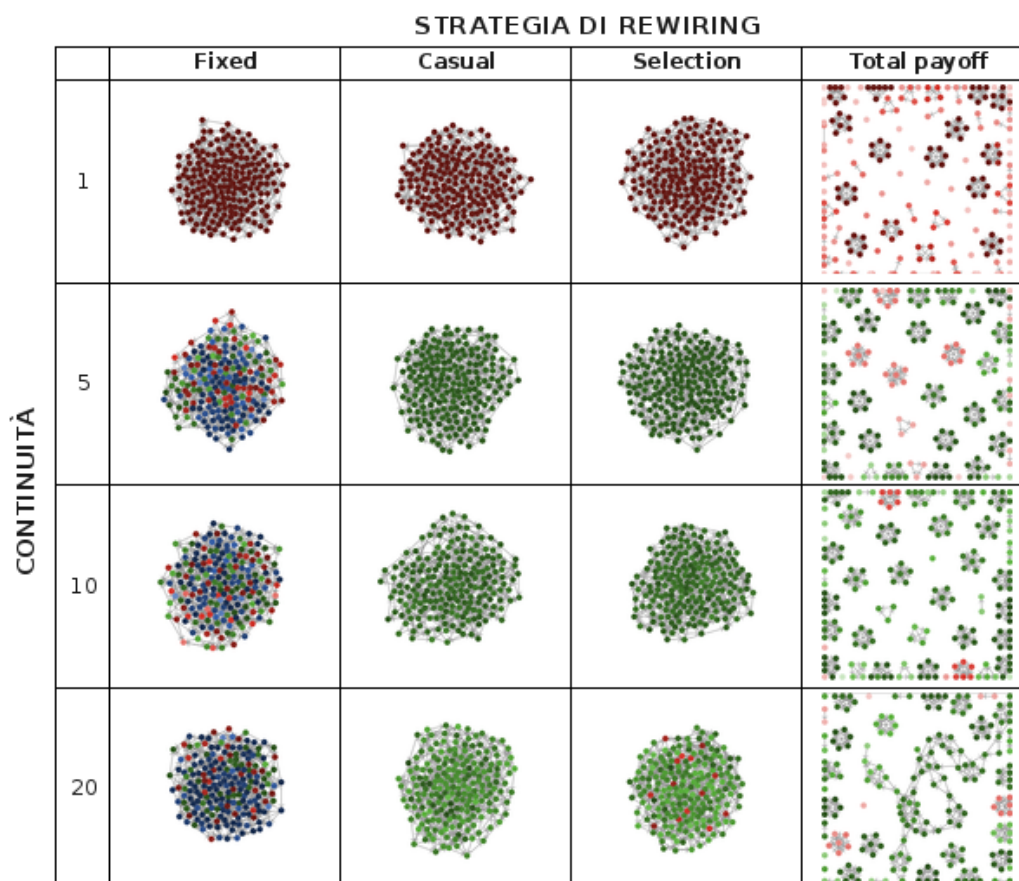


Figura 5.1: Tavola riepilogativa delle reti finali.

I risultati teorici di [Axelrod, 1984] indicano che la cooperazione basata sulla reciprocità funziona grazie all'incertezza esistente riguardo a future interazioni tra due agenti: c'è sempre la possibilità che questi si incontrino nuovamente in futuro. Se invece l'interazione è limitata a un'unica giocata, gli agenti non sono propensi a cooperare ma ad adottare comportamenti opportunistici. La cooperazione infatti è scoraggiata dal fatto che è necessario incentivare l'altro a cooperare - anche se questi otterrebbe, a breve termine, un payoff maggiore non cooperando - e dal fatto che si può essere tentati di implementare la stessa mossa (defezionare se l'altro

coopera) cercando di uscire dalla relazione con il payoff maggiore e sostenendo il costo minore.

Questi risultati sono stati riscontrati pienamente anche nel mio modello: nelle configurazioni con  $\lambda > 1$  (quindi in cui il numero di giocate prima dell'aggiornamento della strategia è maggiore di uno) la Cooperazione riesce a farsi strada. Facendo un parallelo con il mondo reale, la lunghezza del turno può essere pensata come il grado di interdipendenza richiesta per lo svolgimento di un compito, tale per cui per gli agenti coinvolti risulta difficile cambiare atteggiamento nel corso della sua esecuzione o svincolarsi da un legame. Nel caso di rete fissa con  $\lambda = 1$ , in cui l'interazione fra le stesse coppie di nodi di fatto è continua anche se il turno è composto di un'unica iterazione, si può ritenere che l'interdipendenza tra gli agenti sia molto bassa e quindi ognuno di essi cerchi di ottenere il massimo per sé, non necessitando della cooperazione altrui per lo svolgimento dei propri compiti. Il risultato è infatti una rete non cooperativa.

Con riferimento agli altri modelli analizzati, si nota che in [Eguiluz et al., 2005, Hanaki et al., 2007] i nodi della rete iniziale non partono con un grado uniforme. Inoltre, non esiste il concetto di lunghezza del turno: l'aggiornamento della strategia avviene alla fine di ogni iterazione (dove per iterazione si intende una giocata del Dilemma del Prigioniero tra tutte le coppie di nodi connesse da un legame) in [Eguiluz et al., 2005], mentre in [Hanaki et al., 2007] occorre solo con una certa probabilità, diversa per ogni nodo. Questi fattori fanno sì che l'interazione generi una distribuzione di payoff dei nodi molto differenziata, anche nelle prime iterazioni, laddove nel mio modello, per  $\lambda = 1$ , il payoff dei nodi ALL-D risulta sempre maggiore di quello degli altri nodi. Le configurazioni con  $\lambda = 1$  (config. 1, 5, 9, 13) soffrono del fatto che, allo stato iniziale, esiste un'unica componente molto connessa e quindi la propagazione della non cooperazione è immediata. Questa evoluzione intrappola i nodi della rete in relazioni improduttive da cui non è possibile uscire.

L'unica eccezione emersa riguarda alcune esecuzioni del modello con rete fissa e  $\lambda = 1$  (configurazione 1), dove la Cooperazione riesce comunque a sopravvivere (ma non ad espandersi, caso 2) o, con probabilità ancora minore, riesce a conquistare la rete (caso 3). In questi casi predomina l'influenza delle condizioni iniziali, analizzata precedentemente. Si nota infine che la presenza di due tipi di nodi (ALL-C e ALL-D) nel caso 2 ha le caratteristiche di una segregazione, cioè i nodi ALL-D non sono integrati nella struttura ma si trovano ai margini di un cluster di ALL-C.

La perturbazione al sistema introdotta con la procedura di rewiring negli altri

due modelli di confronto ha una portata molto minore. L'aggiornamento dei legami avviene a un ritmo più lento: ogni nodo può modificare al massimo un legame alla volta. In [Eguíluz et al., 2005, Hanaki et al., 2007], quindi, il consolidamento della cooperazione è più lento e in particolare è sempre ammessa la possibilità che un cooperatore molto connesso venga agganciato da un non cooperatore. Se quest'ultimo ha un payoff maggiore, il cooperatore finisce per imitarlo introducendo cambiamenti a cascata anche nella strategia implementata da tutti i nodi a lui connessi. Nel modello da me presentato invece non si verificano mai riverberi casuali del comportamento di un nodo sulla strategia di altri nodi, ma l'evoluzione della rete segue un ciclo ben preciso. Una volta che la cooperazione ha preso piede non c'è la possibilità di ricadute verso la non cooperazione. Il raggruppamento delle iterazioni in turni e il processo di imitazione della strategia meno frequente hanno l'effetto di interiorizzare nel turno l'apprendimento reciproco. Il numero di turni richiesti per l'assestamento della rete è minore, rispetto agli altri due modelli considerati.

Riguardo alle regole di rewiring esaminate nel modello qui presentato, si osserva che la decisione dei nodi in merito ai legami da allacciare non viene effettuata valutando ciascun legame separatamente, per esempio calcolando l'utilità attesa derivante dalla futura interazione con il nodo considerato, come in [Ferriani e Mollona]. L'atteggiamento degli agenti, piuttosto, è influenzato dalla percezione locale che hanno dell'ambiente circostante. Gli agenti adottano lo stesso comportamento (strategia) nei confronti di tutti gli altri agenti e questo dipende dalla conoscenza che essi hanno delle altre strategie presenti nella rete e della loro efficienza passata. La valutazione del successo di una strategia può essere inteso come una misura della possibilità, copiandola, di instaurare più relazioni produttive, in base al livello di cooperazione che era presente nella rete nel turno precedente. Questo approccio "miope" è condiviso dagli altri due modelli confrontati finora [Eguíluz et al., 2005, Hanaki et al., 2007]: l'apprendimento è stocastico nel senso che gli individui cercano di ottimizzare il loro comportamento in base a una memoria limitata della loro esperienza passata.

Raggruppando le configurazioni analizzate nel capitolo 4 in base al parametro "regola di rewiring", il confronto dei risultati medi ottenuti, in termini di ricchezza totale e ripartizione delle strategie della rete, indica che la varietà produce i risultati migliori: con il rewiring Casuale la rete rimane connessa mentre il rewiring in base al Payoff produce una rete disgregata in cui TFT non riesce a raggiungere i gruppi

di non cooperatori che si sono disconnessi dalla rete.

Il rewiring Casuale nella realtà aziendale può essere determinato dall'interdipendenza e dalla complessità dei compiti lavorativi, più che da una scelta consapevole della persona con cui interagire, ma piuttosto selezionando via via i compagni di lavoro in base alla disponibilità del momento. Quando la rete diventa cooperativa, la scelta dei collaboratori non cambia i payoff risultanti.

Si osserva inoltre che l'evoluzione seguita dalla rete fissa è molto diversa (ALL-D, TFT e ALL-C, nell'ordine, si alternano come strategie predominanti per poi stabilizzarsi e coesistere nella rete), nonostante ogni nodo mantenga 5 legami, come avviene anche nel caso di rewiring Casuale. L'affermazione della cooperazione nel primo caso non è mai totale. Quindi, si può concludere che la maggiore possibilità di spaziare nella ricerca di legami introduce svolte casuali che hanno ricadute positive.

Un comportamento utilitaristico come quello modellato con il rewiring Payoff, invece, conduce alla disgregazione della rete. La ricchezza (richness) inferiore risultante è dovuta principalmente alla riduzione del numero e della varietà di legami (reachness), già nei primi turni delle esecuzioni. La rottura unilaterale di un legame è un meccanismo più semplice rispetto a un sistema di sanzioni, nota [Hanaki et al., 2007], per promuovere la cooperazione, poiché riduce il numero di interazioni e quindi il payoff del nodo disconnesso. L'apprendimento può però non essere immediato e va supportato. Nel mio modello i nodi isolati, vittime della scelta di disconnessione da parte di altri nodi, non hanno mai l'opportunità di riconnettersi alla componente maggiore, rimanendo segregati; d'altro canto in Hanaki, prevedendo il riacciamento dei nodi isolati, si può verificare un dissesto temporaneo della struttura di cooperazione, prima che l'apprendimento della reciprocità abbia raggiunto la stabilità, a causa dell'imitazione della strategia ALL-D a catena. In questo senso, la coesione di una rete produce un effetto non desiderabile, cioè la propagazione della non cooperazione.

Il fenomeno di instabilità appena menzionato può essere limitato introducendo un costo per l'aggiungimento di un nuovo legame. Questo infatti produce una rete più sparsa in cui la probabilità di propagare la non cooperazione è minore. Non solo, Hanaki ha individuato nel costo dei legami un meccanismo a sostegno dell'espansione globale della cooperazione: gli agenti in questo modo selezionano più attentamente i nodi con cui stabilire un nuovo legame, richiedendo un beneficio atteso maggiore. Concretamente, significa che la probabilità che un nodo ha di connettersi a un cooperatore è maggiore.



Un ulteriore appunto va fatto riguardo alle differenze esistenti tra le regole di rewiring Casuale e Selezione, considerate nel mio modello. Includere una maggiore intenzionalità in fase di scelta dei legami da allacciare ha offerto una performance lievemente inferiore. La spiegazione si può trovare nel cambiamento dell'ambiente che segue l'imitazione della strategia e di cui gli agenti non tengono conto. Un'estensione futura del modello potrebbe introdurre un sistema di reputazione in cui gli agenti dispongono di informazioni sul comportamento tenuto in passato dai nodi con cui non hanno interagito direttamente, ricorrendo all'esperienza altrui. La reputazione serve come segnalazione: i nodi formuleranno delle aspettative rispetto a un nuovo legame in base ad essa.

È significativo però ricordare che [Hanaki et al., 2007] ha trovato una maggiore espansione della cooperazione nelle reti con raggio di rewiring maggiore (probabilità più elevata di agganciare un nodo non appartenente al vicinato) e in assenza di informazioni riguardo al comportamento passato del nodo considerato per il nuovo legame, rispetto al caso in cui si privilegia la *triadic closure* (connessione ai vicini dei vicini): il rafforzamento locale non si dimostra in grado di espandere la cooperazione perché rende più vulnerabile la rete a un attacco da parte di una strategia come ALL-D. Inoltre, nelle reti con un livello di fiducia nella collaborazione altrui più basso il livello di cooperazione globale risulta maggiore perché i nodi riescono a selezionare più accuratamente i legami da ristabilire.

Nel mio modello, invece, l'effetto di propagare in tutta la rete la cooperazione è stato raggiunto sostituendo, nel processo di interazione, l'inserimento di diversi parametri, in parte regolabili e in parte casuali (livello di fiducia, raggio di rewiring, probabilità di aggiornamento della strategia e dei legami), con la strategia TFT che di fatto assume un comportamento discriminante nei confronti degli agenti con cui interagisce. Quindi, riducendo il payoff degli agenti non cooperativi con cui gioca, risulta più profittevole a lungo termine, determinando la sua imitazione da parte degli altri nodi della rete. L'unica condizione che pone è una fase di adattamento reciproco, sia tra i nodi che sono costretti a interagire per un certo numero fisso di iterazioni tra di loro, sia globalmente, per adattarsi alle altre strategie presenti.

In conclusione il ruolo di TFT si è dimostrato ancora una volta efficace nel promuovere la cooperazione. L'evoluzione della rete è determinata più dalle caratteristiche della strategia stessa che dalle regole di rewiring testate (ipotesi 4). Queste infatti producono risultati omogenei per quanto riguarda la ripartizione delle strategie

nella rete finale.

Includendo una strategia discriminante nel modello non c'è nemmeno bisogno che si venga a creare una differenziazione gerarchica nel ruolo dei nodi, in base alla loro capacità di stabilizzare la rete, come in [Eguíluz et al., 2005]. L'espansione della cooperazione segue lo stesso cammino, indipendentemente dalla posizione delle strategie nella rete.

Per riassumere, nel progetto di reti aziendali, se la stabilità è importante e se fosse possibile suddividere esattamente i compiti elementari tra i lavoratori, eliminando le dipendenze reciproche, e quindi anche, a posteriori, monitorarli nello svolgimento del loro lavoro, l'aggregazione dei cooperatori potrebbe portare a migliori risultati globali rispetto alla dispersione dei cooperatori nella rete, nella speranza che siano di esempio per gli altri lavoratori. L'apprendimento per imitazione funziona se la strategia cooperativa appare vincente. Concretamente, i cooperatori hanno bisogno di un'elevata interazione tra di loro affinché si sviluppi una base di relazioni solide che li tuteli dalle relazioni improduttive con i non cooperatori. La performance così ottenuta dovrebbe inoltre essere in grado di attrarre altri agenti. Il prezzo da pagare è una struttura in cui sopravvive un mix di strategie cooperative e non cooperative, in cui alcuni lavoratori sono insoddisfatti ma disincentivati a modificare il loro comportamento, e quindi dove la ricchezza totale è sub-ottima. L'apprendimento comunque può non andare nel senso previsto. Se i cooperatori conoscono solo la non cooperazione, impareranno a comportarsi in modo opportunistico e le relazioni instaurate porteranno loro un risultato peggiore di quello che sarebbe stato possibile cooperando.

Se l'ambiente è dinamico e l'interdipendenza è elevata, l'auto-organizzazione può costituire un meccanismo efficiente per il coordinamento della rete. Non si deve però dimenticare che è necessario un periodo di apprendimento che può risultare in una fase in cui la cooperazione è quasi inesistente. Inoltre, la simulazione suggerisce che sia richiesta una mediazione tra la continuità dell'interazione e la velocità di apprendimento della rete. Forzare il mantenimento degli stessi legami per un tempo eccessivamente prolungato può mortificare senza motivo le interazioni presenti nella rete.

## 5.2 Futura ricerca

Nel progetto è stato preso in esame solo il caso di rete iniziale formata da 200 nodi e grado uniforme. Futuri sviluppi potrebbe essere interessati a sondare la scala ottimale della rete e se i risultati del modello sono ancora validi partendo da una topologia differente.

Nel presente modello non si è volutamente tenuto conto del ruolo che l'autorità può svolgere all'interno della rete. Ma, in strutture diverse, prevedere più tipi di agenti, con potere decisionale non omogeneo può costituire un ulteriore vincolo nel percorso di espansione della cooperazione. Per esempio, il diverso grado di potere potrebbero essere modellato come differenza di potere decisionale in fase di rewiring: un nodo di livello inferiore dovrà sempre accettare i legami di un nodo di livello superiore. Le motivazioni in base alle quali agiscono i nodi con più autonomia possono essere diverse e richiedono di inserire nel modello un ulteriore fattore di complessità.

Le interdipendenze tra le competenze degli specialisti possono inoltre essere rese più esplicite, imponendo la presenza di un certo numero di tipologie di competenze diverse in ogni gruppo di lavoro.

Uno dei difetti di TFT, come notava [Axelrod, 1984], è che una volta iniziato un ciclo di mosse *C-D* alternate tra due giocatori TFT, questo può continuare all'infinito perché ciascuno dei due ripaga l'altro con una mossa vendicativa per la non cooperazione subita nell'interazione immediatamente precedente. Quindi sarebbe interessante studiare la sostenibilità di una rete di soli TFT, se si introduce la possibilità di mutazione. Per mutazione si intende far implementare a un nodo una mossa diversa da quella prevista dalla sua strategia, con un'occorrenza basata su una certa probabilità. Questo corrisponde all'idea che è sempre possibile comprendere male il comportamento altrui e agire in maniera opposta alla condotta che si sarebbe tenuta altrimenti. La mutazione può portare il sistema a oscillare e non raggiungere mai uno stato stazionario ma anche a ritrovare più velocemente la cooperazione, se si dovesse imboccare un percorso non cooperativo.

In generale, considerare un ambiente con un numero maggiore di strategie diverse e con una ripartizione non omogenea (per esempio prevedere la presenza di una minoranza all'interno di un gruppo predominante) può contribuire a rafforzare i risultati del modello, se TFT dovesse risultare la strategia vincente.

## Appendice A

# Codice NetLogo

```
extensions [matrix]

globals [
  initial_degree ; grado iniziale uniforme della rete
  C ; mossa "Cooperate" in una giocata
  D ; mossa "Defect" in una giocata
  payoff ; matrice dei payoff
  strategies ; lista contenente le strategie possibili
  ALL-D ; strategia
  ALL-C ; strategia
  TFT ; strategia
  num_tot_switchers ; numero totale di nodi che esegue la procedura di imitazione della strategia
  num_switchers ; numero di nodi che imitano una strategia diversa dalla precedente
  best_strategy ; strategia con payoff cumulato maggiore
  num_components ; numero di componenti connesse
  max_component ; dimensione della componente connessa maggiore
  dim ; variabile per il confronto delle dimensioni tra le componenti connesse
  best_performer ; uno dei nodi con payoff maggiore
  clustering-coefficient ; coefficiente di clustering medio
  ordered-payoffs ; TEST: lista contenente i payoff totali di tutti gli agenti
  meanAtStep ; TEST: media dei payoff totali
  varAtStep ; TEST: varianza dei payoff totali
  stdAtStep ; TEST: deviazione standard dei payoff totali
  num_C ; numero di giocate C in un'iterazione
  num_D ; numero di giocate D in un'iterazione
]

links-own [
  last_payoff ; payoff realizzato da end1 nell'ultimo turno
  marked? ; true se la coppia di nodi che connette ha già giocato
]

turtles-own [
  degree ; numero di vicini
  my_memory ; lista delle ultime mosse dei nodi con cui ha giocato
  old-mates ; agentSet di vicini
  isConsidered? ; booleano usato per il calcolo del consideration_set
  consideration_set ; agentSet formato dai vicini e dai vicini dei vicini
  top_list ; num-links_to_attach nodi preferiti, presi dal proprio consideration_pool
  strategy ; strategia implementata
  next_strategy ; strategia da adottare
  total_payoff ; payoff cumulato
  move ; mossa da effettuare
  new_links ; contatore per il numero di legami ristabiliti
  explored? ; variabile usata per calcolare le componenti connesse
  node-clustering-coefficient ; coefficiente di clustering individuale
  new_same_links ; numero di legami con vicini diretti mantenuti
  num_switches ; numero di volte che ha cambiato strategia
]

to setup
  init
  create-network
  do-plots
end

; Creazione di un nodo.
to hire
  sprout 1 [
    set my_memory n-values num_nodes [0]
  ]
end
```

```

        set old-mates no-turtles
        set isConsidered? false
    ]
end

to plug-in [mate]
    create-link-from mate [set color red]
    create-link-to mate [
        set color red
        hide-link ]
end

to create-network
    ; Ogni nodo cerca di stabilire initial_degree legami.
    ask n-of num_nodes patches [hire]
    ask turtles [
        let done false
        while [not done AND count my-in-links < initial_degree]
            [let possible_mates other turtles with [not out-link-neighbor? myself
                AND count my-out-links < initial_degree]
            ifelse (any? possible_mates)
                [ask one-of possible_mates [plug-in myself]]
                [set done true]
            ] ]
    ; Ripartizione dei nodi tra le strategie.
    set-default-shape turtles "circle"
    ifelse (%ALL-D + %ALL-C + %TFT != 100)
        [print "Ripartizione tra le strategie errata."]
        [ask n-of (num_nodes / 100 * %ALL-D) turtles with [next_strategy = ALL-C]
            [set next_strategy ALL-D]
            ask n-of (num_nodes / 100 * %TFT) turtles with [next_strategy = ALL-C]
            [set next_strategy TFT]
        ]
    update-turtles-variables
    update-links-variables
end

to go
    repeat num_steps [work] ; Ciascun nodo gioca il dilemma del prigioniero con ogni vicino.
    best-strategy ; Individua il nodo con il payoff cumulato maggiore e la sua strategia (attuale).
    update-strategy ; Imitazione della strategia vincente localmente.
    rewire ; Mobilita'.
    do-plots
    tick
end

to work
    update-links-variables
    while [any? links with [not marked?]] [
        ask one-of links with [not marked?] [
            let tmp other links with [end1 = [end2] of myself AND end2 = [end1] of myself]
            ask both-ends [set-first-move]
            update-payoff
            set marked? true
            ask tmp [
                update-payoff
                set marked? true]
            ask both-ends [choose-next-move]
        ]
    ]
    set-current-plot "richness distribution p/strategy"
    clear-plot
    set-plot-x-range -1 3
    ask turtles [
        set total_payoff total_payoff + sum [last_payoff] of my-out-links
        plotxy strategy total_payoff
    ]
    set num_C count turtles with [move = C AND degree > 0]
    set num_D count turtles with [move = D AND degree > 0]
end

to update-payoff
    set last_payoff last_payoff + matrix:get payoff [move] of end1 [move] of end2
end

to update-strategy
    set num_tot_switchers 0
    set num_switchers 0
    ; Ogni nodo adotta la strategia implementata dal vicino
    ; che ha ottenuto un payoff totale maggiore.
    ask turtles with [any? out-link-neighbors] [
        let max_payoff max [total_payoff] of out-link-neighbors
        ; Seleziona uno dei vicini che hanno il payoff maggiore.
        let winner one-of out-link-neighbors with [total_payoff = max_payoff]
        ; Confronta il massimo payoff del vicino con il proprio ed eventualmente
        ; cambia la propria strategia.
        if (total_payoff < max_payoff)

```

```

    [let his_strategy [strategy] of winner
      if (his_strategy != [strategy] of self)
        [set num_switchers num_switchers + 1
          set next_strategy his_strategy
          set num_switches num_switches + 1]
        set num_tot_switchers num_tot_switchers + 1
      ]
    ]
  end

to rewire
  update-consideration-pool      ;Trova i nodi raggiungibili entro un certo raggio
  disconnect                    ;Slaccia num_links_to_drop legami
  connect                        ;Riallaccia i legami con i nodi prescelti
  set-current-plot "same mates %"
  plot sum [new_same_links] of turtles / count links * 100
  update-turtles-variables
  update-links-variables
  compute-components
end

to update-consideration-pool
  if (num_links_to_attach > 0) [
    ask turtles [
      let old-neighbors out-link-neighbors
      set old-mates old-neighbors
      ask old-mates [set isConsidered? true]
      let new-mates other turtles with [any? out-link-neighbors with [member? self old-neighbors]]
      ask new-mates [set isConsidered? true]
      if (rewiring_strategy = "selection")
        [ask old-neighbors with [strategy = ALL-D]
          [set isConsidered? false]]
      set consideration_pool turtles with [isConsidered?]
      ask turtles with [isConsidered?] [set isConsidered? false]
    ]
  ]
end

to disconnect
  ifelse (num_links_to_drop >= initial_degree)
    [ask links [die]]
    [if (num_links_to_drop > 0) [
      ask turtles with [degree > 0] [
        let counter num_links_to_drop
        ;Slaccia un numero di legami uguale al massimo fra num_links_to_drop e il grado.
        if (degree < num_links_to_drop)
          [set counter degree]
        ask min-n-of counter my-out-links [last_payoff] [die] ]
      ;NOTA: ogni nodo slaccia individualmente i suoi out-links e solo alla fine vengono
      ;eliminati gli in-links rimasti senza un out-link corrispondente (per non perdere
      ;le informazioni sul last_payoff).
      ask links [
        if (not any? other links with [end1 = [end2] of myself AND end2 = [end1] of myself])
          [die] ] ]
    ]
end

to filter-out
  ;Elimina dal consideration_pool eventuali nuovi vicini già allacciati e i nodi non più disponibili.
  set consideration_pool consideration_pool with
    [(not out-link-neighbor? myself) AND new_links < num_links_to_attach AND any? consideration_pool]
  ;Quando ha ristabilito num_links_to_attach legami, smette di cercare, impostando una top_list vuota.
  ifelse (num_links_to_attach - new_links = 0)
    [set top_list no-turtles]
    ; Se la top_list ha un numero di nodi maggiore di quello consentito, seleziona quelli preferiti. [
      ifelse (count consideration_pool > (num_links_to_attach - new_links))
        [ifelse (rewiring_strategy = "total payoff")
          [set top_list max-n-of (num_links_to_attach - new_links) consideration_pool [total_payoff]]
          [set top_list n-of (num_links_to_attach - new_links) consideration_pool] ]
        [set top_list consideration_pool] ]
end

;La procedura di connessione viene eseguita in più iterazioni, cercando sempre
;una corrispondenza tra proposte e offerte di allacciamento dei legami.
to connect
  if (num_links_to_attach > 0) [
    let done false
    ask turtles [set new_links 0]
    ask turtles [filter-out]
    while [not done]
      [ask turtles with [degree > 0] [
        ;Costruisce nuovi legami con i nodi che ricambiano le sue offerte.
        if (any? top_list with [member? myself top_list])
          [set top_list top_list with [member? myself top_list]
            set new_links new_links + count top_list with [not out-link-neighbor? myself]
            ask top_list [
              if (not out-link-neighbor? myself)

```

```

        [set new_links new_links + 1
         ifelse (member? myself old-mates)
         [create-link-from myself [
           set color green
           ask both-ends [set new_same_links new_same_links + 1 ]
           create-link-to myself [
             set color green
             hide-link ]
           ];; fine if
         [plug-in myself];; fine else
        ];; fine if esterno
      ]
    ]
  ]
  ;Ricalcola la top-list.
  ask turtles [filter-out]
  if (count turtles with [count top_list = 0] = num_nodes)
    [set done true ]
]
end

;Imposta le mosse successive in base alla strategia.
to set-first-move
  if (strategy = ALL-C) [set move C]
  if (strategy = ALL-D) [set move D]
  if (strategy = TFT) [set move item ([who] of other-end) my_memory]
end

to choose-next-move
  if (strategy = TFT)
    [set my_memory replace-item [who] of other-end my_memory [move] of other-end]
end

to update-turtles-variables
  ask turtles [
    set degree count my-out-links
    set strategy next_strategy
    show-strategy
    set explored? false
    set old-mates no-turtles
    set new_same_links 0
    set ordered-payoffs replace-item who ordered-payoffs total_payoff
  ]
  find-clustering-coefficient
  set meanAtStep mean ordered-payoffs
  set varAtStep variance ordered-payoffs
  set stdAtStep sqrt (varAtStep)
end

to update-links-variables
  ask links [
    set last_payoff 0
    set marked? false
    set color gray]
end

to do-layout
  repeat 10
    [layout-spring turtles links 0.3 (world-width / (sqrt num_nodes)) 1]
end

to init
  ca
  set initial_degree 5
  ask patches [set pcolor white]
  set C 0
  set D 1
  set ALL-C 0
  set ALL-D 1
  set TFT 2
  set strategies []
  set strategies fput ALL-C strategies
  set strategies fput ALL-D strategies
  set strategies fput TFT strategies
  set payoff matrix:from-row-list [ [0 0] [0 0] ]
  matrix:set payoff 0 0 R
  matrix:set payoff 0 1 S
  matrix:set payoff 1 0 T
  matrix:set payoff 1 1 P
  set ordered-payoffs n-values num_nodes [0]
end

;L'intensita' del colore del nodo dipende dal suo payoff cumulato relativo.
to show-strategy
  let tmp max [total_payoff] of turtles;
  with [strategy = [strategy] of myself]
  let bias 2

```

```

    if (tmp > 0) [set bias 7 * total_payoff / tmp]
    if (strategy = ALL-C) [set color 109 - bias] ;ALL-C sono blu
    if (strategy = ALL-D) [set color 19 - bias] ;ALL-D sono rossi
    if (strategy = TFT) [set color 59 - bias] ;TFT sono verdi
end

;@networks-class-2.nlogo del corso di MCAE 2010/2011
to compute-components
  set num_components 0
  set max_component 0
  while [any? turtles with [not explored?]]
    [set num_components num_components + 1
     set dim 0
     ask one-of turtles with [not explored?]
       [explore]
     if max_component < dim
       [set max_component dim] ]
end

; Metodo chiamato prima dell'aggiornamento delle strategie
to do-statistics
  let tot_max [total_payoff] of turtles
  if any? turtles with [strategy = ALL-C] [
    set payoff_ALL-C mean [total_payoff] of turtles with [strategy = ALL-C]]
  if any? turtles with [strategy = ALL-D] [
    set payoff_ALL-D mean [total_payoff] of turtles with [strategy = ALL-D]]
  if any? turtles with [strategy = TFT] [
    set payoff_TFT mean [total_payoff] of turtles with [strategy = TFT]]
end

to do-plots
  set-current-plot "num ALL-D"
  set-plot-pen-color red
  if (count turtles with [strategy = ALL-D] > 0)
    [plot count turtles with [strategy = ALL-D] / count turtles * 100]
  set-current-plot "num ALL-C"
  set-plot-pen-color blue
  if (count turtles with [strategy = ALL-C] > 0)
    [plot count turtles with [strategy = ALL-C] / count turtles * 100]
  set-current-plot "num TFT"
  set-plot-pen-color green
  if (count turtles with [strategy = TFT] > 0)
    [plot count turtles with [strategy = TFT] / count turtles * 100]
  if max ordered-payoffs > 0
    [set-current-plot "nodes richness distribution"
     set-histogram-num-bars 20
     set-plot-x-range 0 [total_payoff] of best_performer
     histogram ordered-payoffs ]
  if max [num_switches] of turtles > 0
    [set-current-plot "times switched p/node distr"
     set-histogram-num-bars max [num_switches] of turtles
     set-plot-x-range 0 max [num_switches] of turtles
     histogram [num_switches] of turtles
     set-current-plot "payoff per num switches"
     clear-plot
     set-plot-x-range 0 max [num_switches] of turtles
     ask turtles [plotxy num_switches total_payoff]
     set-current-plot "payoff per degree"
     clear-plot
     set-plot-x-range -1 6
     ask turtles [plotxy degree total_payoff] ]
  set-current-plot "C_moves"
  set-plot-pen-color blue
  plot num_C
end

to explore
  set explored? true
  set dim dim + 1
  while [any? out-link-neighbors with [not explored?]]
    [ask one-of out-link-neighbors with [not explored?]
     [explore] ]
end

to best-strategy
  set best_performer one-of turtles with [total_payoff = max [total_payoff] of turtles]
  let str [strategy] of best_performer
  if (str = ALL-C) [set best_strategy "ALL-C"]
  if (str = ALL-D) [set best_strategy "ALL-D"]
  if (str = TFT) [set best_strategy "TFT"]
end

;@NetLogo Models Library/Small Worlds
to find-clustering-coefficient
  ifelse all? turtles [count out-link-neighbors <= 1]
  [
    ;; it is undefined
  ]

```



```

;; what should this be?
set clustering-coefficient 0
]
[
let total 0
ask turtles with [ count out-link-neighbors <= 1 ]
[ set node-clustering-coefficient "undefined" ]
ask turtles with [ count out-link-neighbors > 1 ]
[
let hood out-link-neighbors
set node-clustering-coefficient (2 * count links with [ in-neighborhood? hood ] /
((count hood) * (count hood - 1)) )

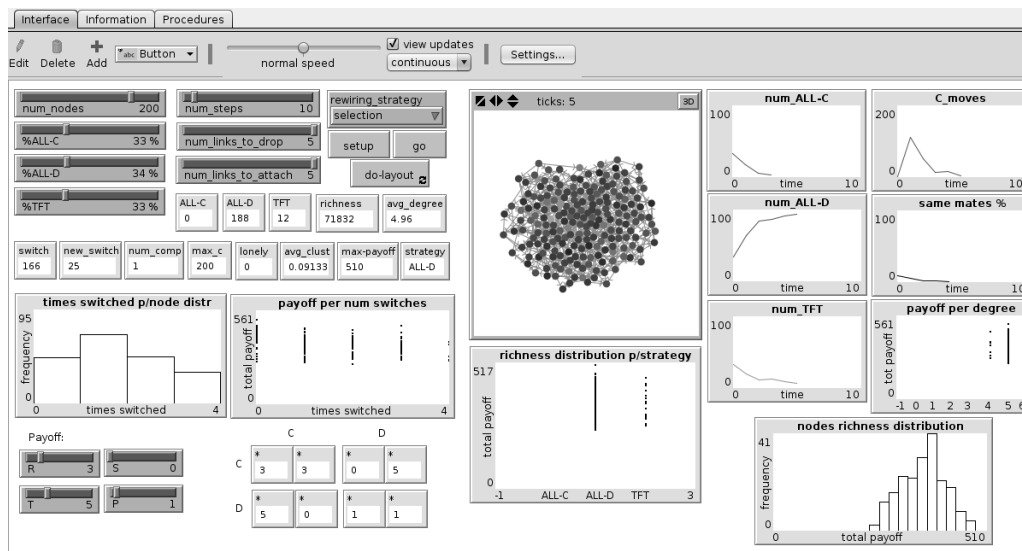
;; find the sum for the value at turtles
set total total + node-clustering-coefficient
]
;; take the average
set clustering-coefficient total / count turtles with [count out-link-neighbors > 1]
]
end

to-report in-neighborhood? [ hood ]
report ( member? end1 hood and member? end2 hood )
end

```

## Modello in esecuzione

L'interfaccia del modello si presenta come in figura. La scelta dei parametri della configurazione viene effettuata agendo sugli slider presenti nella sezione in alto a sinistra. Al centro si visualizza la rete e i cambiamenti dinamici che intervengono. Anche i grafici vengono disegnati man mano che l'esecuzione procede e consentono di dare una prima stima dei fattori che influenzano l'evoluzione della rete.



## Appendice B

# Statistica sulle configurazioni considerate

### Media e scarto quadratico medio ottenuti per le ripetizioni di ciascuna configurazione

Riporto la media dei parametri della rete misurati alla fine di ogni esecuzione nelle 50 ripetizioni effettuate per ciascuna configurazione. I dati statistici sono serviti per formulare possibili spiegazioni sull'evoluzione della rete e per produrre la matrice di correlazione che si trova in coda all'appendice, utilizzata per verificare l'influenza reciproca tra i parametri considerati.

#### Configurazione 1, Caso 1

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	201.531,00	60.378,51	0,0012
Payoff totale medio	1.007,65	1,23	0,0012
Dev. Std Payoff medio	20,54	12,37	0,6022
Varianza Payoff medio	570,19	546,94	0,9595
Numero nodi ALL-C	0	0	0
Payoff totale ALL-C	0	0	0
Numero nodi ALL-D	200,00	0	0
Payoff totale ALL-D	201.531,03	245,72	0,0012
Numero nodi TFT	0	0	0
Payoff totale TFT	0	0	0

Numero link	499,24	0,60	0,0012
Grado medio	4,99	0,01	0,0012

### Configurazione 1 - Caso 2

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	232.893,00	24.517,95	0,1050
Payoff totale medio	1.164,46	122,59	0,1050
Dev. Std Payoff medio	381,42	135,85	0,3560
Varianza Payoff medio	159.321,13	118.475,36	0,7440
Numero nodi ALL-C	12,00	10,00	0,7930
Payoff totale ALL-C	13.350,00	11.560,02	0,8660
Numero nodi ALL-D	188,00	10,00	0,0510
Payoff totale ALL-D	219.543,00	12.960,71	0,0590
Numero nodi TFT	0	0	0
Payoff totale TFT	0	0	0
Numero link	499,50	1,00	0,0010
Grado medio	5,00	0	0

### Configurazione 1 - Caso 3

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	411.923,82	42.833,42	0,1040
Payoff totale medio	2059,62	214,17	0,1040
Dev. Std Payoff medio	351,79	93,21	0,2650
Varianza Payoff medio	131.652,03	69.759,84	0,5300
Numero nodi ALL-C	2,91	4,44	1,525
Payoff totale ALL-C	4.740,73	7.799,66	1,645
Numero nodi ALL-D	6,00	9,00	1,50000
Payoff totale ALL-D	9.217,73	13.769,83	1,4938
Numero nodi TFT	191,00	12,53	0,0655
Payoff totale TFT	397.965,36	61.952,61	0,1557
Numero link	499,27	0,47	0,0009

Grado medio	4,99	0	0,0009
-------------	------	---	--------

## Configurazione 2

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	445.489,28	46.014,60	0,1033
Payoff totale medio	2.227,45	230,07	0,1033
Dev. Std Payoff medio	432,91	89,45	0,2066
Varianza Payoff medio	195.973,49	77.336,06	0,3946
Numero nodi ALL-C	73,98	32,84	0,4439
Payoff totale ALL-C	170.419,08	85.284,37	0,5004
Numero nodi ALL-D	47,02	31,79	0,6761
Payoff totale ALL-D	92.960,54	54.021,70	0,5811
Numero nodi TFT	79,00	47,01	0,5951
Payoff totale TFT	182.109,66	107.410,32	0,5898
Numero link	499,28	0,64	0,0013
Grado medio	4,99	0,01	0,0013

## Configurazione 3

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	434.598,04	34.465,25	0,0793
Payoff totale medio	2.172,99	172,33	0,0793
Dev. Std Payoff medio	458,99	84,43	0,1839
Varianza Payoff medio	217.661,07	76.007,20	0,3492
Numero nodi ALL-C	72,88	21,31	0,2925
Payoff totale ALL-C	162.250,76	55.539,50	0,3423
Numero nodi ALL-D	50,96	29,28	0,5746
Payoff totale ALL-D	100.058,98	55.355,45	0,5532
Numero nodi TFT	76,16	35,35	0,4642
Payoff totale TFT	172.288,30	83.042,21	0,4820
Numero link	499,14	0,78	0,0016
Grado medio	4,99	0,01	0,0016

## Configurazione 4

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	415.092,44	27.420,02	0,0661
Payoff totale medio	2.045,29	269,48	0,1318
Dev. Std Payoff medio	457,24	26,91	0,1026
Varianza Payoff medio	211.223,48	43.028,92	0,2037
Numero nodi ALL-C	65,63	19,51	0,2972
Payoff totale ALL-C	140.934,73	46.015,77	0,3265
Numero nodi ALL-D	47,73	25,65	0,5373
Payoff totale ALL-D	89.239,73	47.857,33	0,5363
Numero nodi TFT	86,65	34,43	0,3974
Payoff totale TFT	184.917,98	75.345,57	0,4075
Numero link	499,35	0,64	0,0013
Grado medio	5,00	0	0

## Configurazione 5

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	114.146,26	7.545,45	0,0661
Payoff totale medio	570,74	37,73	0,0661
Dev. Std Payoff medio	381,90	9,66	0,0253
Varianza Payoff medio	145.936,00	7.376,22	0,0505
Numero nodi ALL-C	0,04	0,20	4,9487
Payoff totale ALL-C	0,38	2,29	6,0359
Numero nodi ALL-D	199,96	0,20	0,0010
Payoff totale ALL-D	114.146,88	7.545,08	0,0661
Numero nodi TFT	0	0	0
Payoff totale TFT	0	0	0
Numero link	257,78	21,53	0,0835
Grado medio	2,58	0,22	0,0853

## Configurazione 6

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	400.763,52	58.569,73	0,1461
Payoff totale medio	2.003,82	292,85	0,1461
Dev. Std Payoff medio	864,75	111,37	0,1288
Varianza Payoff medio	759.944,42	159.935,67	0,2105
Numero nodi ALL-C	2,98	16,08	5,3954
Payoff totale ALL-C	7903,80	44.112,20	5,5811
Numero nodi ALL-D	46,94	40,51	0,8629
Payoff totale ALL-D	37.349,10	37.212,78	0,9964
Numero nodi TFT	150,08	42,28	0,2817
Payoff totale TFT	355.510,62	99.628,14	0,2802
Numero link	420,12	14,16	0,0337
Grado medio	4,20	0,14	0,0337

## Configurazione 7

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	442.427,00	23.066,98	0,0521
Payoff totale medio	2.212,14	115,33	0,0521
Dev. Std Payoff medio	699,83	67,26	0,0961
Varianza Payoff medio	494.196,44	95.290,11	0,1928
Numero nodi ALL-C	6,04	13,83	2,2895
Payoff totale ALL-C	15.278,30	35.287,33	2,3096
Numero nodi ALL-D	14,56	10,82	0,7432
Payoff totale ALL-D	10.998,82	10.261,39	0,9330
Numero nodi TFT	179,40	16,85	0,0939
Payoff totale TFT	416.149,88	43528,39	0,1046
Numero link	425,36	13,31	0,0313
Grado medio	4,25	0,13	0,0313

## Configurazione 8

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	418.111,96	24.360,66	0,0589
Payoff totale medio	2090,56	123,15	0,0589
Dev. Std Payoff medio	531,55	53,88	0,1014
Varianza Payoff medio	285.392,99	60.485,27	0,2119
Numero nodi ALL-C	8,08	12,61	1,5603
Payoff totale ALL-C	19.296,54	30.288,98	1,5697
Numero nodi ALL-D	10,02	10,41	1,0384
Payoff totale ALL-D	8.922,88	11.911,25	1,3349
Numero nodi TFT	181,90	16,14	0,0887
Payoff totale TFT	389.892,54	40.430,27	0,1037
Numero link	434,18	9,45	0,0218
Grado medio	4,34	0,09	0,0218

## Configurazione 9

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	200.571,78	78,7313	0,0004
Payoff totale medio	1.002,86	0,3937	0,0004
Dev. Std Payoff medio	6,70	0,3524	0,0526
Varianza Payoff medio	44,95	4,6969	0,1045
Numero nodi ALL-C	0	0	0
Payoff totale ALL-C	0	0	0
Numero nodi ALL-D	200,00	0	0
Payoff totale ALL-D	200.571,78	78,7313	0,0004
Numero nodi TFT	0	0	0
Payoff totale TFT	0	0	0
Numero link	496,88	1,0230	0,0021
Grado medio	4,97	0,0102	0,0021

### Configurazione 10 - Caso 1

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	527.370,00	25.183,80	0,0478
Payoff totale medio	2.636,85	125,92	0,0478
Dev. Std Payoff medio	62,13	7,40	0,1191
Varianza Payoff medio	3.914,19	957,73	0,2447
Numero nodi ALL-C	0,02	0,15	6,6332
Payoff totale ALL-C	59,36	393,77	6,6332
Numero nodi ALL-D	0	0	0
Payoff totale ALL-D	0	0	0
Numero nodi TFT	199,98	0,15	0,0008
Payoff totale TFT	527.310,64	25.175,24	0,0477
Numero link	496,77	1,24	0,0025
Grado medio	4,97	0,01	0,0025

### Configurazione 10 - Caso 2

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	221.065,17	13.203,60	0,0597
Payoff totale medio	1.105,33	66,02	0,0597
Dev. Std Payoff medio	43,21	18,21	0,4215
Varianza Payoff medio	2143,78	1.582,25	0,7381
Numero nodi ALL-C	0	0	0
Payoff totale ALL-C	0	0	0
Numero nodi ALL-D	200,00	0	0
Payoff totale ALL-D	221.065,17	13.202,60	0,0597
Numero nodi TFT	0	0	0
Payoff totale TFT	0	0	0
Numero link	496,67	1,03	0,0021
Grado medio	4,97	0,01	0,0021



## Configurazione 11

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	500.258,84	33.971,53	0,0679
Payoff totale medio	2.501,29	169,86	0,0679
Dev. Std Payoff medio	11,46	14,41	0,1293
Varianza Payoff medio	12.627,08	3.495,27	0,2768
Numero nodi ALL-C	13,02	25,69	1,9730
Payoff totale ALL-C	33.066,02	66.323,24	2,0058
Numero nodi ALL-D	0,35	2,43	7,0000
Payoff totale ALL-D	811,43	5.680,00	7,0000
Numero nodi TFT	186,63	25,95	0,1391
Payoff totale TFT	466.381,39	70.383,87	0,1509
Numero link	496,78	1,33	0,0027
Grado medio	4,97	0,01	0,0027

## Configurazione 12

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	427.528,78	37.357,38	0,0874
Payoff totale medio	2.137,64	186,79	0,0874
Dev. Std Payoff medio	209,31	21,53	0,1029
Varianza Payoff medio	44.265,98	9.063,08	0,2047
Numero nodi ALL-C	17,06	26,31	1,5419
Payoff totale ALL-C	36.317,33	56.482,93	1,5553
Numero nodi ALL-D	4,16	11,15	2,6785
Payoff totale ALL-D	8.229,96	22.141,45	2,6903
Numero nodi TFT	178,78	31,79	0,1778
Payoff totale TFT	382.981,49	79.469,41	0,2075
Numero link	496,59	1,17	0,0024
Grado medio	4,97	0,01	0,003

### Configurazione 13

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	200.034,30	80,84	0,004
Payoff totale medio	1.000,17	0,40	0,004
Dev. Std Payoff medio	7,11	0,37	0,0525
Varianza Payoff medio	50,64	5,26	0,1038
Numero nodi ALL-C	0	0	0
Payoff totale ALL-C	0	0	0
Numero nodi ALL-D	200	0	0
Payoff totale ALL-D	200.034,30	80,84	0,0004
Numero nodi TFT	0	0	0
Payoff totale TFT	0	0	0
Numero link	495,74	1,31	0,0026
Grado medio	4,96	0,01	0,0026

### Configurazione 14 - Caso 1

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	528.606,59	26.912,96	0,0509
Payoff totale medio	2.643,03	134,56	0,0509
Dev. Std Payoff medio	55,56	5,52	0,994
Varianza Payoff medio	3.116,64	666,20	0,2138
Numero nodi ALL-C	3,46	18,35	5,2969
Payoff totale ALL-C	9.510,12	50.355,51	5,2949
Numero nodi ALL-D	0	0	0
Payoff totale ALL-D	0	0	0
Numero nodi TFT	196,54	18,35	0,0933
Payoff totale TFT	519.096,46	53.429,89	0,1029
Numero link	496,41	1,20	0,0024
Grado medio	4,96	0,01	0,0024

## Configurazione 14 - Caso 2

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	212.174,44	3.393,28	0,0160
Payoff totale medio	1.060,87	16,97	0,0160
Dev. Std Payoff medio	32,02	5,92	0,1849
Varianza Payoff medio	1.056,63	413,85	0,3917
Numero nodi ALL-C	0	0	0
Payoff totale ALL-C	0	0	0
Numero nodi ALL-D	200,00	0	0
Payoff totale ALL-D	212.174,44	3.393,28	0,0160
Numero nodi TFT	0	0	0
Payoff totale TFT	0	0	0
Numero link	495,11	1,45	0,0029
Grado medio	4,95	0,01	0,0029

## Configurazione 15

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	491.199,52	43.965,01	0,0895
Payoff totale medio	2.451,12	219,35	0,0895
Dev. Std Payoff medio	107,48	15,97	0,1486
Varianza Payoff medio	11.801,83	3.848,93	0,3261
Numero nodi ALL-C	9,30	22,55	2,4249
Payoff totale ALL-C	23.117,48	56.614,69	2,4490
Numero nodi ALL-D	1,68	7,74	5,6051
Payoff totale ALL-D	3.452,12	15.350,49	4,4467
Numero nodi TFT	189,02	25,51	0,1349
Payoff totale TFT	464.629,92	77.885,85	0,1676
Numero link	496,74	0,80	0,0016
Grado medio	4,97	0,01	0,0016

## Configurazione 16

	Media	Deviazione Standard	Media/Dev. Std.
Ricchezza totale	419.281,88	53.937,41	0,1286
Payoff totale medio	2.111,15	251,32	0,1190
Dev. Std Payoff medio	197,49	22,97	0,1163
Varianza Payoff medio	39.518,68	9.069,55	0,2295
Numero nodi ALL-C	13,36	19,82	1,4837
Payoff totale ALL-C	29.169,38	44.414,01	1,5226
Numero nodi ALL-D	13,66	36,79	2,6931
Payoff totale ALL-D	21.911,92	53.770,78	2,4540
Numero nodi TFT	172,98	41,35	0,2391
Payoff totale TFT	368.200,58	102.032,59	0,2771
Numero link	496,70	1,15	0,0023
Grado medio	4,97	0,01	0,0023

## Matrice di correlazione

	Ricchezza	Num ALL-C	Payoff ALL-C	Num ALL-D	Payoff ALL-D	Num TFT	Payoff TFT	Num Link	Grado
Ricchezza	1								
Num ALL-C	0,262	1							
Payoff ALL-C	0,999	0,999	1						
Num ALL-D	-0,959	-0,206	-0,218	1					
Payoff ALL-D	-0,828	0,079	0,065	0,924	1				
Num TFT	0,882	-0,134	-0,121	-0,942	-0,962	1			
Payoff TFT	0,892	-0,165	-0,151	-0,921	-0,950	0,989	1		
Num link	0,495	0,288	0,288	-0,340	-0,026	0,246	0,249	1	
Grado	0,498	0,279	0,279	-0,343	-0,033	0,252	0,256	0,999	1



# Bibliografia

- [Adler, 2001] Adler, Paul S., 2001, *Market, Hierarchy, and Trust: The Knowledge Economy and the Future of Capitalism*, Organization Science.
- [Axelrod e Hamilton, 1981] Axelrod, Robert, William D. Hamilton, 1981, *The Evolution of Cooperation*, Science.
- [Axelrod, 1984] Axelrod, Robert, 1984, *The Evolution of Cooperation*, Basic Books.
- [Barua et al., 1995] Barua, Anitesh, C.-H Sophie Lee, Andrew B. Whinston, 1995, *Incentives and Computing Systems for Team-Based Organizations*, Organization Science.
- [Blau, 1964] Blau, Peter M., 1964, *Exchange and Power in Social Life*, New York: Wiley.
- [Brown e Duguid, 2001] Brown, John S., Paul Duguid, 2001, *Knowledge and Organization: A Social-Practice Perspective*, Organization Science.
- [Burt, 1995] Burt, Ronald S., 1995, *Structural holes: the social structure of competition*, Harvard University Press.
- [Coase, 1937] Coase, R. H., 1937, *The nature of the firm*, *Economica*.
- [Coleman, 1988] Coleman, James S., 1988, *Free Riders and Zealots: The Role of Social Networks*, *Sociological Theory*.
- [Daft e Lewin, 1993] Daft, Richard L. e Arie Y. Lewin, 1993, *Where Are the Theories for the «New» Organizational Forms? An Editorial Essay*, Organization Science.
- [Demsetz, 1991] Demsetz, H., 1991, *The theory of the firm revisited*. In O. E. Williamson and S. G. Winter (eds.), *The Nature of the Firm*. Oxford University Press.

- [Dess e Shaw, 2001] Dess, Gregory G., Jason D. Shaw, 2001, *Voluntary Turnover, Social Capital, and Organizational Performance*, The Academy of Management Review.
- [Drucker, 1967] Drucker, P., 1967, *Effective Executive*, . Chicago, Illinois.
- [Edmondson, 2000] Edmondson, Amy C., 2002, *The Local and Variegated Nature of Learning in Organizations: A Group-Level Perspective*, Organization Science.
- [Eguiluz et al., 2005] Eguiluz, Victor M., Zimmermann, Martìn G., Cela-Conde, Camilo J., San Miguel, Maxi, 2005, *Cooperation and the Emergence of Role Differentiation in the Dynamics of Social Networks*, American Journal of Sociology.
- [Ferriani e Mollona] Ferriani, Simone, Edoardo Mollona, -, *Should I stay or should I go?*, Dipartimento di Scienze dell'Informazione, Università di Bologna.
- [Fishman, 1998] Fishman, Charles, 1998, *The War for Talent*, FastCompany.
- [Garicano, 2000] Garicano, Luis, 2000, *Hierarchies and the Organization of Knowledge in Production*, The Journal of Political Economy.
- [Gilbert e Troitzsch, 2005] Gilbert, Nigel, Klaus G. Troitzsch, 2005, *Simulation for the Social Scientists*, McGraw-Hill.
- [Grant, 1996] Grant, Robert M., 1996, *Toward a Knowledge-Based Theory of the Firm*, Strategic Management Journal, Vol. 17, Special Issue: Knowledge and the Firm.
- [Griffith et al., 2003] Griffith, Terri L, John E. Sawyer, Margaret A. Neal, 2003, *Virtualness and Knowledge in Teams: Managing the Love Triangle of Organizations*, MIS Quarterly.
- [Hanaki et al., 2007] Hanaki, Nobuyuki, Alexander Peterhansl, Peter S. Dodds, Duncan J. Watts, 2007, *Cooperation in Evolving Social Networks*, Management Science.
- [Hayek, 1945] Hayek, F. A., 1945, *The use of knowledge in society*, American Economic Review.
- [Hodgson, 1999] Hodgson, Geoffrey M., 1999, *Economics and Utopia*, Routledge.
- [Huisman, 1973] Huisman, Denis, 1973, *Psicologia generale*, Procaccianti.

- [Kim, Mauborgne, 1998] Kim, Chan W., Renée Mauborgne, 1998, *Procedural Justice, Strategic Decision Making, and the Knowledge Economy*, Strategic Management Journal.
- [Kirkman e Shapiro, 1997] Kirkman, Bradely L., Benson Rosen, 1999, *Beyond Self-Management: Antecedents and Consequences of Team Empowerment*, The Academy of Management Journal.
- [Kirkman e Rosen, 1999] Kirkman, Bradley L., Debra L. Shapiro, 1997, *The Impact of Cultural Values on Employee Resistance to Teams: Toward a Model of Globalized*, The Academy of Management Review.
- [Lee e Cole, 2003] Lee, Gwendolyn K., Robert E. Cole, 2003, *From a Firm-Based to a Community-Based Model of Knowledge Creation: The Case of the Linux Kernel Development*, Organization Science.
- [Matusik e Hill, 1998] Matusik, S.F., C. W. L., Hill, 1998, *The utilization of contingent work, knowledge creation and competitive advantage*, Academy of Management Review.
- [Mollona e Hales, 2006] Mollona, Edoardo, Hales David, 2006, *Economia della conoscenza, governo delle risorse umane e confini dell'impresa*, Sistemi intelligenti.
- [Mollona e Marcozzi, 2008] Mollona Edoardo, Marcozzi, Andrea, 2008, *Self-emerging coordination mechanisms for knowledge integration processes*, Springer.
- [Mollona e Marcozzi, 2009] Mollona Edoardo, Marcozzi, Andrea, 2009, *FirmNet: the scope of firms and the allocation of task in a knowledg-based economy*, Springer.
- [NetLogo] Wilensky, U. 1999. NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL.
- [OCDE96] OCDE, 1996, *The Knowledge-Economy*, <http://www.oecd.org/dataoecd/51/8/1913021.pdf>
- [Pinto et al., 1993] Pinto, Mary Beth, Jeffrey K. Pinto, John E. Prescott, 1993, *Antecedents and Consequences of Project Team Cross-Functional Cooperation*, Management Science.



- [Reagans et al., 2005] Reagans, Ray, Linda Argote, Daria Brooks, 2005, *Individual Experience and Experience Working Together: Predicting Learning Rates from Knowing Who Knows What and Knowing How to Work Together*, Management Science.
- [Saxberg e Slocum, 1968] Saxberg, Borje O., John W. Slocum, 1968, *The Management of Scientific Manpower*, Management Science.
- [Simon, 1955] Simon, Herbert A., 1955, *A Behavioral Model of Rational Choice*, Quarterly Journal of Economics.
- [Simon, 1973] Simon, Herbert A., 1973, *Technology and Environment*, Management Science.
- [Stewart e Barrick, 2000] Stewart, Greg L., Murray R. Barrick, 2000, *Team Structure and Performance: Assessing the Mediating Role of Intrateam Process and the Moderating Role of Task Type*, The Academy of Management Journal.
- [Tushman, 1978] Tushman, Michael L., 1978, *Technical Communication in R & D Laboratories: The Impact of Project Work Characteristics*, The Academy of Management Journal.
- [Wegner, 1986] Wegner, D. M., (1986), *Transactive memory: A contemporary analysis of the group mind*, in B. Mullen & G. R. Goethals (Eds.), *Theories of group behavior*, (pp. 185-208), Springer-Verlag.
- [Williamson et al., 1975] Williamson, Oliver E., Michael L. Wachter, Jeffrey E. Harris, 1975, *Understanding the Employment Relation: The Analysis of Idiosyncratic Exchange*, The Bell Journal of Economics.