

# Curriculum Vitae et Studiorum

di

## Luca Moscardelli

1. Note biografiche e formazione
2. Attività di ricerca
3. Attività didattica
4. Altre attività lavorative
5. Elenco delle pubblicazioni

### 1 Note biografiche e formazione

Luca Moscardelli è nato a L'Aquila il 10 aprile 1981; sposato dal Settembre 2010, risiede a Francavilla al Mare (CH).

**1999:** diploma conseguito presso il Liceo Scientifico A. Bafile di L'Aquila con votazione 100/100.

**2004:** Laurea in Informatica presso l'Università degli Studi di L'Aquila con votazione 110/110 e lode (26 luglio 2004) discutendo una tesi dal titolo "Equilibri di Nash in reti ottiche non cooperative" (relatori: Prof. Michele Flammini e Dott. Vittorio Bilò).

da **Novembre 2004** a **Ottobre 2007:** Frequenza del corso di Dottorato di Ricerca in Informatica ed Applicazioni (XX ciclo) presso l'Università degli Studi di L'Aquila.

#### Scuole di dottorato seguite:

- **Springer School on Data Mining and Implicit Computational Complexity (BISS 2006):**  
Forlì, 6-11 Marzo 2006.
- **Springer School on Combinatorial Optimization and Communication Networks (ACSS 2006):**  
Budapest, Ungheria, 20-24 Marzo 2006.
- **Summer School on Game Theory (GAME 2006):**  
Aarhus, Danimarca, 26-30 Giugno 2006.

**11 Aprile 2008:** Conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca nell'ambito del corso di Dottorato di Ricerca in Informatica ed Applicazioni (XX ciclo) presso l'Università degli Studi di L'Aquila, con giudizio sintetico finale ECCELLENTE, a seguito della discussione della tesi

[T2], premiata dal capitolo italiano dell'EATCS come migliore tesi di dottorato per gli anni 2007–2009.

da **Marzo 2008** a **Novembre 2008**: titolare di assegno di ricerca annuale presso il Dipartimento di Informatica ed Applicazioni dell'Università degli Studi di Salerno.

dal **1° Dicembre 2008**: ricercatore (decreto rettorale di nomina n. 088 del 20/11/2008) presso la Facoltà di Economia dell'Università degli Studi "D'Annunzio" di Chieti-Pescara, con afferenza al Dipartimento di Scienze.

## 2 Attività di Ricerca

### Visite di collaborazione e seminari tenuti

- **COST 293 Discussion Workshop:**  
Milano, 9-11 Febbraio 2005.
- **Visita di collaborazione in Grecia:**  
Prof. Christos Kaklamanis, Patrasso, Grecia, 1-30 Giugno 2005.
- **Visita di collaborazione in U.S.A.:**  
Prof. Tim Roughgarden, Stanford University, California, 15 Ottobre-19 Novembre 2006.
- **Visita di collaborazione in Grecia:**  
Prof. Christos Kaklamanis, Patrasso, Grecia, 5-20 Dicembre 2006.
- **Visita di collaborazione in Francia:**  
Prof. Stephan Perennes, Nizza, Francia, 1-7 Marzo 2007.
- **Seminario e AEOLUS Workshop on Scheduling:**  
Nizza, Francia, 8-9 Marzo 2007, con seminario tenuto dal titolo **An exponential improvement on the MST heuristic for the Minimum Energy Broadcasting problem**
- **Seminario:**  
Università di Roma Tor Vergata, Italia, 20 Marzo 2007, seminario tenuto dal titolo **An exponential improvement on the MST heuristic for the Minimum Energy Broadcasting problem**
- **Seminario e COST 293 Discussion Workshop:**  
Castiglioncello, Italia, 4-6 Giugno 2007, con seminario tenuto dal titolo **An exponential improvement on the MST heuristic for the Minimum Energy Broadcasting problem**
- **Seminario:**  
Università di Salerno, Italia, 26 Settembre 2007, seminario tenuto dal titolo **Graphical Congestion Games**
- **COST 293 Discussion Workshop:**  
Roma, 29-31 Ottobre 2007.

- **Seminario:**  
Università di Roma La Sapienza, Italia, 23 Giugno 2008, seminario tenuto dal titolo **The Speed of Convergence in Congestion Games under Best-Response Dynamics**
- **Seminario e AEOLUS Workshop 2008:**  
Nizza, Francia, 8-9 Settembre 2008, con seminario tenuto dal titolo **Interference Games**
- **Visita di collaborazione in Germania:**  
Prof. Bertold Vockinh, RWTH Aachen University, Germania, 17-27 Agosto 2009
- Presentazione della tesi di dottorato [T2] all'undicesima Conferenza italiana sull'informatica teorica (Italian Conference on Theoretical Computer Science - ICTCS), a seguito della vincita del premio del capitolo italiano EATCS come **migliore tesi di dottorato** in informatica teorica degli anni 2007-2009:  
Cremona, 28-30 Settembre 2009

### Partecipazioni a conferenze internazionali

- **SIROCCO 2004:**  
Smolenice, Repubblica Slovacca, 21-23 Giugno 2004.
- **EUROPAR 2004:**  
Pisa, Italia, 31 Agosto-3 Settembre 2004.
- **STACS 2005:**  
Stoccarda, Germania, 24-26 Febbraio 2005. Nell'ambito della conferenza, ho presentato in un seminario la pubblicazione [I4].
- **DISC 2005:**  
Cracovia, Polonia, 26-29 Settembre 2005. Nell'ambito della conferenza, ho presentato in un seminario la pubblicazione [I5].
- **ICTON 2006:**  
Nottingham, Regno Unito, 18-22 Giugno 2006. Nell'ambito della conferenza, ho presentato in un seminario la pubblicazione [I7].
- **FOCS 2006:**  
Berkeley, California, U.S.A., 22-24 Ottobre 2006.
- **WINE 2006:**  
Patrasso, Grecia, 15-17 Dicembre 2006.
- **WEA 2007:**  
Roma, Italia, 6-8 Giugno 2007. Nell'ambito della conferenza, ho presentato in un seminario la pubblicazione [I13].
- **EUROPAR 2008:**  
Gran Canaria, Isole Canarie, 27-29 Agosto 2008. Nell'ambito della conferenza, ho presentato in un seminario la pubblicazione [I18].
- **WINE 2008:**  
Shanghai, Cina, 17-20 Dicembre 2008. Nell'ambito della conferenza, ho presentato in un seminario le pubblicazioni [I20,I21].

- **WINE 2009:**  
Roma, Italia, 14-18 Dicembre 2009. Nell'ambito della conferenza, ho presentato in un seminario la pubblicazione [I26].
- **WINE 2010:**  
Stanford University, Palo Alto, California, USA, 13-17 Dicembre 2010. Nell'ambito della conferenza, ho presentato in un seminario la pubblicazione [I28].
- **OPODIS 2011:**  
Tolosa, Francia, 12-16 Dicembre 2011. Nell'ambito della conferenza, ho presentato in un seminario la pubblicazione [I29].

### Attività di revisione

Ho effettuato ed effettuo regolarmente attività di revisione per riviste internazionali (tra cui Theoretical Computer Science, Transaction on Computation Theory, Discrete Optimization, Transaction on Algorithms) e conferenze internazionali (ESA, EC, ICALP, WG, MFCS, WAOA, WINE, IPDPS, SIROCCO, SAGT, ...).

### Patecipazione a progetti italiani ed europei

Ho partecipato ai seguenti progetti:

- Da Ottobre 2004 a Ottobre 2008: Progetto europeo **COST Action 293** "Graphs and algorithms in communication networks"
- Da Marzo 2008 a Novembre 2008: Progetto europeo **FRONTS** "Foundations of Adaptive Networked Societies of Tiny Artefacts"
- Dal 17 Giugno 2010: Progetto **COGENT** "COmputational and Game-theoretic aspects of uncoordinated NeTworks" finanziato con i fondi PRIN 2008.

### Collaborazioni internazionali.

L'attività di ricerca è stata svolta in collaborazione con diversi centri di ricerca; le principali collaborazioni internazionali sono con le Università di Nizza e Sophia Antipolis (F, Proff. Jean Claude Bermond e Stephane Perennes), il Technion (IL, Prof. Shmuel Zaks) e l'Università di Patrasso (GR, Proff. Christos Kaklamanis e Ioannis Caragiannis). I lavori [J4,J5,J6,J7,J13,J15,J16,J18,I5,I6,I8,I10,I11,I14,I15,I18,I22,I23,I27,I29,S2,S4] sono frutto di queste collaborazioni.

### Bibliografia esterna, lavori correlati e versioni complete.

Nel seguito di questa sezione viene analiticamente descritta l'attività di ricerca svolta, inquadrando le tematiche affrontate, e presentando i risultati ottenuti e le corrispondenti pubblicazioni. Per motivi di spazio, di leggibilità della relazione e per permettere una visione completa e globale dell'attività di ricerca, nella descrizione che segue sono omessi riferimenti bibliografici a lavori correlati di altri autori, come pure a volte la descrizione completa dei risultati ottenuti. Il lettore interessato può far riferimento ai miei lavori citati, reperibili sul sito web <http://www.moscardelli.it/> (utilizzare "luca" sia come nome utente che come password se richiesto).

## Sintesi dell'attività di ricerca

La mia attività di ricerca si è concentrata prevalentemente sullo studio della complessità e delle performance in sistemi distribuiti secondo tre principali aree di ricerca, ognuna delle quali è contraddistinta dalla non disponibilità parziale o totale di una classe di risorse.

Ecco le tre aree principali di ricerca:

- Studio di problemi di ottimizzazione classica per reti di comunicazione e sistemi di allocazione di task, anche in riferimento a problematiche di ottimizzazione multicriterio ed online (sottosezione 2.1).

In questo filone di ricerca le risorse di cui si dispone solo parzialmente sono la risorsa *tempo* (per i problemi di ottimizzazione classici) e la risorsa *conoscenza del futuro* (per i problemi di ottimizzazione online).

- Analisi e progettazione di sistemi non cooperativi (sottosezione 2.2).

In questa area la risorsa non disponibile è la *coordinazione* tra gli agenti del sistema che essendo razionali ed egoisti agiscono con l'unico scopo di massimizzare la propria utilità.

- Progettazione di reti sociali di conoscenza ed analisi del loro impatto su sistemi distribuiti e non cooperativi (sottosezione 2.3).

In questo filone la risorsa completamente o parzialmente non disponibile è la *conoscenza tra gli agenti* del sistema distribuito.

Numerosi sono gli elementi di collegamento tra le tematiche affrontate nelle tre aree sopra descritte, elementi che conferiscono organicità e completezza all'attività di ricerca svolta. Ad esempio, lo studio della prima area (problemi di ottimizzazione classica) si è rivelato spesso propedeutico a quello della seconda e terza area, che rappresentano il centro nevralgico della mia attività di ricerca. Inoltre, considerati i numerosi punti di contatto individuabili tra le tre aree, la stessa suddivisione è frutto di un delicato e difficile lavoro di strutturazione volto ad una presentazione organica dei contenuti. Gli *equilibri di Nash* che caratterizzano l'attività di ricerca della seconda area possono essere infatti visti come ottimi locali, ben noti all'algoritmica classica nella tecnica della *ricerca locale*. La tecnica greedy e lo scenario online propri dei problemi classici di ottimizzazione sono in forte relazione con le problematiche che riguardano l'analisi delle performance di sistemi che evolvono verso equilibri di Nash e sono analizzati dopo un tempo di evoluzione limitato; lo stesso vale per le interconnessioni tra tali sistemi e sistemi in cui non è presente una conoscenza sociale completa. Man mano che nelle prossime sottosezioni verrà analiticamente descritta l'attività di ricerca, saranno anche messi in risalto i punti di incontro ed i collegamenti tra tematica e tematica, e tra le diverse aree.

### Reti di comunicazione.

Un'importante tematica trasversale alle tre aree considerate è quella delle reti di comunicazione, che rappresentano forse il sistema distribuito per eccellenza.

I problemi di comunicazione nelle reti di interconnessione hanno un ruolo fondamentale sia in ambito parallelo che distribuito e la loro inadeguata soluzione rappresenta spesso una delle cause principali del degrado complessivo delle prestazioni del sistema.

Per motivi di costo e realizzabilità a livello hardware non è sempre possibile collegare direttamente tutte le coppie di nodi della rete, pertanto per scambiare informazioni è spesso necessario utilizzare nodi intermedi. Il problema dell'instradamento (routing) concerne la

selezione di sequenze di canali di interconnessione (cammini) per collegare due nodi che vogliono comunicare. Il progetto di strategie di routing che minimizzino le risorse di calcolo impiegate ed il tempo di comunicazione è di fondamentale importanza, poiché le prestazioni del sistema risultano fortemente dipendenti da quelle della rete di interconnessione sottostante.

L'attività di ricerca svolta in questo ambito ha considerato i parametri principali che caratterizzano una strategia di routing, tra i quali la correttezza, ossia la garanzia che ogni messaggio arrivi a destinazione, la complessità, determinata dalla quantità di risorse utilizzate dalla strategia per effettuare la selezione dei cammini, ed infine l'efficienza, ovvero la scelta di cammini brevi e poco congestionati in modo da garantire un tempo di spedizione veloce. In modo ortogonale sono stati considerati paradigmi di routing ed architetture di rete differenti, come le reti ottiche, le reti wireless, le reti sociali ed altre.

Dal punto di vista metodologico, le soluzioni proposte sono state valutate in termini di complessità computazionale, coprendo tutti i principali aspetti coinvolti, quali l'intrattabilità e l'analisi delle proprietà strutturali dei problemi, l'analisi e il progetto di algoritmi efficienti, gli algoritmi di approssimazione, gli algoritmi online, l'analisi probabilistica, l'uso e lo sviluppo di strumenti combinatorici, la teoria dei giochi ed infine la teoria dei grafi. Infatti, le reti di interconnessione possono essere naturalmente modellate tramite grafi in cui i nodi rappresentano i processori e gli archi i canali di comunicazione.

Dal punto di vista tecnologico, le reti oggetto della mia attività di ricerca sono le seguenti.

- **Reti cablate tradizionali.**

Rappresentano il modello più classico di rete di comunicazione. Il messaggio viaggia in forma elettrica dalla sorgente alla destinazione attraverso i nodi della rete.

- **Reti senza filo (wireless).**

Le reti wireless sono sempre più studiate negli ultimi anni per via della loro sempre più ampia diffusione. Una rete wireless (ad-hoc) è caratterizzata da un insieme di stazioni trasmittenti e/o riceventi. La trasmissione avviene tramite segnali radio, per l'invio dei quali è necessaria una determinata potenza di emissione dipendente da vari parametri, il più importante dei quali è il raggio che la comunicazione deve coprire. La risorsa cruciale in una rete wireless dove generalmente le stazioni sono dotate di batterie è appunto quella energetica. Una modalità di comunicazione largamente utilizzata è quella *multi-hop* che permette a due stazioni lontane di comunicare sfruttando stazioni intermedie in modo tale da risparmiare energia di comunicazione.

L'attività di ricerca riguarda principalmente il problema del minimo consumo energetico nell'implementazione di primitive di instradamento dei messaggi in reti wireless.

- **Reti ottiche.**

Le reti ottiche sono caratterizzate dal fatto che i canali sono realizzati in fibra ottica e che i messaggi viaggiano in forma ottica dalla sorgente fino alla destinazione, evitando conversioni elettro-ottiche ai nodi intermedi. Ciò conferisce a tale reti una velocità parecchi ordini di grandezza superiore rispetto alle precedenti ed una ancor più elevata capacità di traffico viene raggiunta grazie alla tecnologia WDM, che permette simultaneamente il transito di diverse trasmissioni o messaggi su uno stesso canale, a patto che questi viaggino su lunghezze d'onda o "colori" differenti. Come controparte, i dispositivi di routing ottici sono generalmente molto costosi ed hanno una capacità di instradamento limitata, dovendo gestire segnali strettamente in forma ottica.

Un problema molto stringente nelle reti ottiche almeno fino a qualche anno fa era la scarsità dello spettro ottico, ossia del numero di colori a disposizione per effettuare l'instradamento. Per tale motivo, molti autori hanno considerato il problema della realizzazione di diversi pattern di comunicazione impiegando un numero minimo di lunghezze d'onda. A fronte del graduale miglioramento dello sfruttamento dello spettro ottico con conseguente aumento dei colori disponibili, sta assumendo sempre più rilevanza anche la questione della minimizzazione del costo dei componenti hardware utilizzati.

Nelle prossime sottosezioni verranno esposti in dettaglio i risultati ottenuti per tali modelli nell'ambito delle tre aree di ricerca precedentemente descritte.

## 2.1 Problemi di ottimizzazione con risorse limitate

In questa area sono stati affrontati problemi classici di ottimizzazione in sistemi distribuiti. Come già accennato e come verrà sottolineato analiticamente nel resto della sottosezione, il loro studio ha anche fornito utili strumenti e tecniche per la determinazione di risultati in ambito non cooperativo (si veda la sottosezione 2.2).

### 2.1.1 Broadcast in reti wireless.

In [I14,S2] è presentato un algoritmo di approssimazione per la minimizzazione del consumo energetico per il problema del Broadcast in reti di comunicazione wireless. In ogni istanza in cui il minimo albero ricoprente (l'euristica MST) ha un rapporto di approssimazione garantito pari a  $\rho$ , il nostro algoritmo garantisce un rapporto di approssimazione pari a  $2 \ln \rho - 2 \ln 2 + 2$ . L'algoritmo dunque migliora *esponenzialmente* il miglior algoritmo precedente (l'euristica MST), che per reti euclidee bidimensionali passa ad esempio da 6 a 4.2. Anche considerato l'elevato sforzo profuso negli ultimi anni dalla comunità internazionale per questo problema, sforzo che non aveva finora portato a trovare un algoritmo migliore dell'euristica MST, il risultato è assolutamente interessante dal punto di vista sia teorico che applicativo. I rapporti di approssimazione garantiti per istanze euclidee con più dimensioni sono illustrati in Tabella 1.

Numero di dimensioni	1	2	3	4	5	6	7
Approssimazione MST heuristic	2	6	18.8	80	242	728	2186
Approssimazione nostro algoritmo	2	4.2	6.49	9.38	11.6	13.8	16

Tabella 1: Confronto tra i rapporti di approssimazione garantiti dall'euristica MST e dal nostro algoritmo per il broadcast in reti wireless euclidee, al variare del numero di dimensioni.

Interessanti possono essere le ripercussioni di tali risultato in ambito non cooperativo, per esempio sulla definizione di meccanismi veritieri con buone prestazioni (si veda la sottosezione 2.2).

### 2.1.2 Ottimizzazione delle risorse hardware in reti ottiche.

L'attività di ricerca si è concentrata sulla minimizzazione di costosi componenti hardware necessari per il routing ottico. In primo luogo ci si è concentrati sulla minimizzazione del numero di ADM (Add-Drop Multiplexer), componenti hardware richiesti agli estremi di un percorso di

comunicazione in reti ottiche. Infatti, se due percorsi di comunicazione che utilizzano lo stesso colore hanno uno stesso estremo, essi possono condividere un ADM. Inoltre, con la nozione di *grooming* è possibile sfruttare l'ampia banda riservata ad un colore allocandovi fino a  $g$  richieste di comunicazione, dove  $g$  è detto fattore di grooming; in quest'ottica tali richieste, laddove abbiano lo stesso estremo, possono tutte utilizzare lo stesso ADM, realizzando così un considerevole risparmio di essi. Inoltre, si è considerato anche il problema della minimizzazione di componenti hardware necessari ai nodi intermedi di un percorso di comunicazione: gli OADM (Optical Add-Drop Multiplexer). Anche in questo caso, con fattore di grooming  $g$  è possibile che uno stesso OADM sia condiviso da al più  $g$  richieste che utilizzino lo stesso colore per la comunicazione.

In [J5,J6,I6,I10,I11] è presentato un algoritmo di approssimazione (il primo nella letteratura) per il problema della minimizzazione degli ADM con fattore di grooming  $g$ . Fissato  $g$ , la complessità temporale è polinomiale nella dimensione dell'input. Il rapporto di approssimazione garantito è  $2 \ln g + o(\ln g)$  per reti con topologia di anello e di albero diretto, e  $2 \ln(\Delta \cdot g) + o(\ln(\Delta \cdot g))$  per reti con topologia di albero non diretto con grado massimo  $\Delta$ . Inoltre viene caratterizzata completamente la complessità del problema per reti con topologia di stella.

In [I18] ci si è concentrati sul problema della minimizzazione di una qualsiasi combinazione lineare  $f(\alpha) = \alpha|OADM_s| + (1 - \alpha)|ADM_s|$ , con  $0 \leq \alpha \leq 1$ , del numero di ADM e OADM per reti con topologia di catena ed anello di dimensione  $n$ . Anche in questo caso questo è il primo lavoro in letteratura che fornisce un algoritmo con prestazioni garantite. Viene prima dimostrato che il problema è NP-completo per ogni valore di  $\alpha$  anche se  $g = 2$ . Inoltre viene presentato un algoritmo, polinomiale sia nella dimensione della rete che in  $g$ , con un rapporto di approssimazione garantito pari a  $2\sqrt{g} \lceil \log n \rceil$ , che diviene  $2 \lceil \log n \rceil$  per qualsiasi valore di  $g$  nel caso  $\alpha = 1$ .

Infine, in [J13,J16,J18,I22,I23,I27,I29,S4] e sempre considerando il grooming, si è studiato il problema della minimizzazione del costo hardware dovuto ad altri componenti, i rigeneratori di segnale ottico, che sono necessari all'interno di cammini ottici "lunghi" in quanto c'è una perdita di potenza del segnale ottico. Sono state studiate diverse varianti del modello (minimizzazione del numero totale di rigeneratori oppure minimizzazione del numero di locazioni dove i rigeneratori vanno posizionati) ed anche diverse topologie di rete, e sono stati forniti risultati sulla complessità ed inapprossimabilità del problema, come anche algoritmi di approssimazione con rapporti di approssimazione costanti o logaritmici.

Oggetto del futuro lavoro di ricerca sarà l'estensione di tali risultati ad altre topologie di rete e modelli correlati; lo studio di questi modelli ha fornito spunti e tecniche interessanti, utilizzate anche per l'analisi di reti ottiche non cooperative.

Alcuni risultati ottenuti in questo ambito di ricerca sono contenuti nel capitolo di libro [B1].

### 2.1.3 Problemi di bilanciamento di carico.

In un problema di bilanciamento di carico ogni client è interessato ad eseguire un job su un server scelto tra un sottoinsieme dei server contenente tutti i server ammissibili per quel determinato job. In [I8,J15] viene studiata la versione online del problema, in cui i client arrivano uno dopo l'altro e devono effettuare una scelta irrevocabile sul server da scegliere nel momento in cui giungono nel sistema. Assumiamo che i client facciano una scelta *greedy*, che massimizzi la funzione obiettivo globale data dalla somma dei carichi di tutti i client (il carico su un server in un determinato istante dipende unicamente ed in modo lineare dal numero di client che

stanno scegliendo quel server in quell'istante). Noi analizziamo l'algoritmo greedy di assegnazione dei server ai client chiudendo quasi definitivamente l'analisi del rapporto di competitività. Suri et al. nel 2004 hanno provato un upper bound al rapporto di competitività dell'algoritmo greedy di  $17/3$  e  $2 + \sqrt{5} \approx 4.2361$  per server generici e con velocità identiche, rispettivamente; inoltre, hanno provato un lower bound di  $3.0833$  per il caso di server con velocità identiche. Noi mostriamo un lower bound di  $17/3$  per server generici che fissa definitivamente il rapporto di competitività a  $17/3$ ; inoltre, per server con velocità identiche mostriamo che il rapporto di competitività è compreso tra  $4$  e  $\frac{2}{3}\sqrt{21} + 1 \approx 4.05505$ , significativamente assottigliando i bound della precedente analisi.

Ancora una volta, le tecniche utilizzate si sono rivelate utili anche per l'analisi del prezzo dell'anarchia e della stabilità (riportate nella sezione 2.2) per lo stesso modello di bilanciamento di carico in ambito non cooperativo, in cui ogni client è controllato da un agente egoista.

#### 2.1.4 Ottimizzazione multicriterio per problemi di scheduling.

Parte dell'attività di ricerca è stata rivolta ai problemi di ottimizzazione multicriterio, la cui caratteristica fondamentale è che una stessa soluzione deve essere valutata contemporaneamente rispetto a diverse misure di costo o obiettivi. Un esempio potrebbe essere la determinazione di un albero ricoprente in un grafo il cui costo complessivo sia basso rispetto a due diverse pesature degli archi, o tale che il costo complessivo sia basso rispetto alla prima pesatura ed il diametro limitato rispetto alla seconda. Poiché in generale i costi possono essere in conflitto tra loro, in modo naturale sorge il problema della determinazione di algoritmi che realizzano buoni trade-off tra le prestazioni ottenute rispetto alle diverse misure. Tali problemi hanno svariate applicazioni, come nei sistemi paralleli e distribuiti e nelle reti di interconnessione.

In [J1,I1] è stata considerata la versione multicriterio o  $d$ -dimensionale del classico problema di scheduling in cui una sequenza di processi aventi determinati tempi di esecuzione deve essere assegnata ad un insieme di processori paralleli in modo da minimizzare il tempo di completamento della sequenza, ossia dell'ultimo processo. Nel caso  $d$ -dimensionale ogni processo è caratterizzato da una  $d$ -tupla di costi, ognuno rappresentante il tempo o la percentuale di utilizzo di una particolare risorsa, e il tempo di completamento deve essere minimizzato contemporaneamente rispetto ad ogni dimensione. Per  $d = 2$  le due risorse in questione sono tipicamente il tempo e la memoria e il costo rispetto alla seconda misura di costo corrisponde alla massima occupazione di memoria per processore. Sono state presentate famiglie di algoritmi online bicriterio che per un numero di processori al più pari a tre generano la Pareto curva, ossia tutti e soli i trade-off ottimali tra i rapporti di competitività, mentre per un numero maggiore di processori generano curve molto prossime a quella di Pareto.

Un interessante filone di ricerca da sviluppare consiste nell'analizzare dal punto di vista multicriterio l'interazione egoistica di agenti in ambito non cooperativo.

## 2.2 Sistemi non cooperativi

Tutte le problematiche finora considerate nella prima area di ricerca assumono implicitamente che le risorse del sistema distribuito siano direttamente accessibili in modo centralizzato. In generale però, come accade ad esempio nella rete internet, le risorse sono gestite da entità o agenti non cooperativi ed egoisti, ossia interessati a collaborare nella misura in cui massimizzano il proprio guadagno o utilità. Per modellare un tale comportamento non cooperativo, sono stati mutuati concetti e tecniche dalla teoria dei giochi, teoria nata in campo matematico-economico proprio con lo scopo di interpretare e comprendere l'interazione non cooperativa di

entità razionali. L'unione tra la game theory e la progettazione di algoritmi per sistemi distribuiti ha dato vita ad una nuova interessante e molto investigata area di ricerca: l'*Algorithmic Game Theory*.

L'attività di ricerca in quest'area ha perseguito due filoni principali, il secondo dei quali costituisce la gran parte del lavoro di ricerca:

- la determinazione di meccanismi veritieri di condivisione di costo in reti di comunicazione;
- la progettazione di sistemi non cooperativi efficienti e l'analisi dell'interazione di agenti egoistici in reti o più in generale in sistemi distribuiti, con particolare riferimento alla nozione di Equilibrio di Nash. Un equilibrio di Nash è uno stato del gioco in cui nessun agente, ferme restando le scelte strategiche degli altri agenti, ha interesse a modificare la propria strategia. Le problematiche algoritmiche legate agli equilibri di Nash e affrontate nell'attività di ricerca sono: provare l'esistenza di un equilibrio di Nash e la convergenza ad esso (ovvero il numero di mosse necessarie per raggiungere un equilibrio) a partire da una generica configurazione iniziale degli agenti; determinare la complessità computazionale necessaria per individuare un equilibrio di Nash; data una funzione sociale, stimare il prezzo dell'anarchia (e della stabilità), ovvero, con riferimento ad una data funzione sociale, il rapporto tra il peggior (il miglior) equilibrio di Nash e l'ottimo sociale.

Alcuni risultati ottenuti in questo ambito di ricerca sono contenuti nel capitolo di libro [B2].

### **2.2.1 Meccanismi veritieri per reti wireless.**

Per quanto concerne il primo filone di ricerca affrontato all'inizio del corso di dottorato, in [J3] vengono dati meccanismi di condivisione di costo veritieri per reti wireless. Tali meccanismi, a partire dalla richiesta di dichiarazione da parte degli agenti della propria utilità nella ricezione, devono stabilire quali utenti possono ricevere il messaggio e come suddividere tra essi i costi di trasmissione. Tale ripartizione deve essere fatta in modo tale che gli agenti siano spinti a non mentire per convenienza e quindi a cooperare in modo veritiero, ossia massimizzando sempre il loro guadagno quando dichiarano la loro effettiva utilità. Tali meccanismi, nel caso unidimensionale in cui le stazioni giacciono su una linea, ripartiscono i costi garantendo il soddisfacimento di determinate proprietà, quali la partecipazione volontaria dei riceventi, pagamenti non negativi e garanzia di ricezione a fronte di un'alta utilità. Mentre il costo ripartito è quello di una soluzione ottima, nel caso generale di  $d > 1$  dimensioni viene dimostrato che non è possibile mantenere tali proprietà pagando sempre il minimo e viene dato un meccanismo di ripartizione il cui ammontare complessivo su tutti gli agenti per ogni  $\alpha \geq d$  è al più pari a  $2(3^d - 1)$  volte quello di una soluzione ottima.

### **2.2.2 Condivisione di costo in reti wireless non cooperative.**

In [J2,I3] è stata investigata la performance del gioco di multicast su reti wireless non cooperative, nello scenario in cui gli agenti condividono il costo totale pagato (dovuto all'energia impiegata) per il servizio di routing nella rete di comunicazione in modo equo, tramite il classico metodo egalitario e Shapley, o altri definiti in modo originale. Il lavoro fornisce una caratterizzazione completa della convergenza e dell'esistenza dell'equilibrio per i metodi di condivisione di costo considerati, e mostra come calcolare il miglior Nash equilibrio sia un problema NP-hard.

Infine, vengono dimostrati upper e lower bound esattamente corrispondenti per il prezzo dell'anarchia del gioco avente come funzione sociale la somma dei costi degli agenti oppure ancora il massimo costo pagato da un agente.

### 2.2.3 Reti ottiche non cooperative.

L'attività di ricerca nella reti ottiche non cooperative ha interessato due scenari.

Nel primo scenario (in modo simile allo scenario wireless appena descritto), in [J7,I7,I15] si è ancora investigata l'esistenza e la convergenza ad equilibri di Nash, e si è stimato il prezzo dell'anarchia e della stabilità dei giochi risultanti dal problema della condivisione del costo dovuto agli ADM. Ogni richiesta di comunicazione è controllata da un giocatore, e la funzione sociale da minimizzare è il numero di ADM impiegati nella rete. In particolare, si sono considerati due metodi di costo fondamentali, lo Shapley e l'egalitario e si è mostrato che il prezzo dell'anarchia è al più  $\frac{5}{3}$ , e che tale bound è stretto anche per reti con topologia di anello. Inoltre, si è ottenuto un risultato piuttosto sorprendente considerando la collusione di al più  $k$  giocatori: in questo caso si hanno giochi, indotto dalla funzione di condivisione di costo egalitaria, con prezzo dell'anarchia, compreso tra  $\frac{3}{2}$  e  $\frac{3}{2} + \frac{1}{k}$ , che eguaglia in modo non cooperativo e distribuito la performance del miglior algoritmo centralizzato attualmente noto per il problema. È importante sottolineare un interessante punto di contatto tra algorithmic game theory ed ottimizzazione in ambito distribuito: per quanto riguarda la funzione Shapley con collusione, si può dimostrare che essa induce giochi non ben definiti. In ogni modo, essa conduce alla definizione di algoritmi di ricerca locale potenzialmente performanti come PTAS; sfortunatamente, tali algoritmi di ricerca locale potrebbero però non convergere. Una interessante direzione di ricerca aperta è dunque quella di individuare un algoritmo di ricerca locale che migliori le prestazioni del miglior algoritmo noto, avente cioè un rapporto di approssimazione inferiore a  $\frac{3}{2}$ .

Nel secondo scenario, si consideri un gestore di rete interessato a far pagare gli agenti che usano il servizio di comunicazione in modo tale da massimizzare l'efficienza sociale della rete. A differenza dello scenario precedente, qui l'enfasi non è posta sull'equità e la performance del metodo di condivisione di costo: lo scopo è migliorare il più possibile la performance dell'equilibrio. Inoltre, in questo scenario l'obiettivo è minimizzare il numero di lunghezze d'onda impiegate nella comunicazione. In [I2,I4,I7] sono state analizzate diverse funzioni di pagamento nell'ambito delle reti ottiche di comunicazione, con riferimento a tre diversi livelli di informazione degli agenti, che specificano la conoscenza locale che gli agenti possono sfruttare per il calcolo dei propri pagamenti. In qualche senso, dunque, questo lavoro prefigura i lavori successivi sulla conoscenza sociale descritti nella sottosezione 2.3. Se si considera il livello di informazione completa, ogni agente sono a conoscenza delle scelte effettuate da tutti gli altri, e il gestore della rete può fornire una funzione di pagamento capace di indurre giochi con prezzo dell'anarchia pari al rapporto di approssimazione di un qualsiasi algoritmo centralizzato. Se il costo pagato da un agente dipende unicamente dalle lunghezze d'onda utilizzate lungo i path di comunicazione (livello minimo) o lungo ogni loro arco (livello intermedio), le più ragionevoli funzioni di pagamento non ammettono equilibrio, oppure ammettono equilibri aventi un pessimo prezzo dell'anarchia. Se però restringiamo la topologia della rete, un prezzo dell'anarchia costante per catene ( $PoA = 3$ ) ed anelli ( $PoA = 6$ ), e logaritmico nel numero di giocatori per alberi possono essere ottenuti progettando opportunamente funzioni di pagamento rispettivamente per il livello di informazione minimo ed intermedio.

#### 2.2.4 Bilanciamento di carico in ambiente non cooperativo.

Si è effettuato uno studio classico circa il prezzo dell'anarchia e della stabilità in una sottoclasse dei giochi di congestione. Nei giochi di congestione ogni agente ha un insieme di strategie che coinvolgono risorse. Il punto chiave è che la congestione di una risorsa, ovvero la latenza che si deve affrontare per utilizzarla, dipende unicamente dal numero di agenti che la impiega. Come già anticipato nella sezione precedente in occasione dell'analisi greedy, in [I8,J15] sono stati analizzati giochi di bilanciamento di carico, ovvero congestion game in cui ogni strategia è composta unicamente da una risorsa. Sono stati forniti risultati che risolvono problemi lasciati aperti da alcuni importanti lavori della recente letteratura scientifica sui giochi di congestione, tra cui quelli di Awerbuch ed altri, Christodoulou e Koutsoupias, Suri ed altri (per le citazioni complete far riferimento agli articoli [I8,J15]).

In particolare, è stato dimostrato che il prezzo dell'anarchia è esattamente pari a  $\frac{5}{2}$ , e pari a  $\frac{3+\sqrt{5}}{2}$  per la variante del gioco con gli agenti pesati. Inoltre, se le risorse hanno tutte la stessa funzione di latenza, il prezzo dell'anarchia è pari a  $1 + \frac{2}{\sqrt{3}}$ .

Numerose estensioni di tali risultati sono infine presenti nella versione completa dell'articolo [J15].

#### 2.2.5 Analisi delle prestazioni dopo un numero limitato di mosse di Nash.

Spesso gli equilibri di Nash possono non esistere, o possono essere difficili da calcolare o il tempo di convergenza ad un equilibrio può essere estremamente alto anche se i giocatori scelgono sempre una mossa best-response, ovvero una mossa che procura loro la massima utilità possibile. Motivati da queste considerazioni, e seguendo il filone di ricerca recentemente proposto da Mirrokni e Vetta, in riferimento a reti di comunicazioni classiche, in [J8,J9,I9,I12] l'attività di ricerca è stata indirizzata nella valutazione della perdita di performance sociale dopo un numero limitato e polinomiale di mosse egoistiche ottimali (best-response) degli agenti, che non necessariamente conducono ad un equilibrio di Nash, sotto differenti assunzioni sul tipo e sul numero di mosse degli  $n$  agenti.

In particolare, per il gioco indotto dal problema del multicast in reti dirette e non dirette, in [J9,I9] sono state analizzate le performance di una famiglia di metodi di condivisione di costo che soddisfano determinate proprietà (fairness, budget-balance, etc.). Poiché ogni metodo equo (che verifica la proprietà di fairness) può richiedere un numero arbitrariamente alto di mosse best-response per raggiungere un equilibrio di Nash, i metodi sono stati valutati rispetto allo stato ottenuto dopo un round di mosse, ovvero dopo che ogni agente ha effettuato una mossa best-response, e rispetto a due diverse funzioni sociali: il costo totale della soluzione e il massimo costo pagato da un giocatore. È stato dimostrato che l'unico metodo che soddisfa tutte le proprietà desiderabili, il metodo Shapley, dopo un round ha "prezzo dell'anarchia" (con un piccolo abuso di termini chiamiamo prezzo dell'anarchia il rapporto tra lo stato raggiunto dopo un round e l'ottimo sociale, nel caso peggiore)  $\Theta(n^2)$ . Rilassando alcune delle proprietà, si è definita una famiglia di metodi *ammisibili* per i quali è mostrato un lower bound al "prezzo dell'anarchia" dopo un round pari a  $\Omega(n)$ ; viene inoltre determinato un metodo asintoticamente ottimale all'interno della famiglia, avente pertanto prezzo dell'anarchia  $\Theta(n)$ . Infine, viene mostrato come determinare la migliore permutazione dei giocatori sia un problema NP-hard.

In [J8,I12] è stato studiato il secondo round di evoluzione per la funzione Shapley che dopo un round, come precedentemente detto, ha un "prezzo dell'anarchia" piuttosto alto pari a  $\Theta(n^2)$ . È doveroso sottolineare come lo studio del secondo round differisce sostanzialmente da quello del primo round, in quanto pone la necessità di utilizzare tecniche di analisi che tengano

conto delle proprietà della soluzione raggiunta dopo il primo round. Gli articoli [J8,I12] sono i primi nella letteratura scientifica ad analizzare il secondo round di un gioco non cooperativo, ed introducono una interessante tecnica (del *potenziale di disturbo*) che ci aspettiamo possa rivelarsi utile anche per l'analisi dei round successivi al primo di altri giochi non cooperativi. Viene dimostrato un upper bound di  $O(n\sqrt{n})$  al prezzo dell'anarchia dopo due round, ed un lower bound generico al 'prezzo dell'anarchia' dopo  $k$  round pari a  $\Omega(n\sqrt[k]{n})$ , che per  $k = 2$  fornisce un lower bound asintoticamente corrispondente all'upper bound appena citato. Inoltre sono determinati bound relativi ad evoluzioni che partono da stato vuoto, ed analizzati anche gli altri metodi di condivisione introdotti in [J9,I9].

### 2.2.6 Velocità di convergenza a equilibrio in giochi di congestione.

In [J17,I25] è stata studiata la qualità dello stato raggiunto dopo un round a partire dallo stato vuoto in giochi di congestione con funzioni di latenza lineare, chiudendo risultati lasciati aperti da precedenti lavori dell'area.

In [J12,I17] è stata studiata la velocità di convergenza a equilibrio di Nash in giochi di congestione con funzioni di latenza lineari. È stata stimata la performance sociale dello stato del gioco ottenuto dopo un numero limitato di round, in ognuno dei quali ogni giocatore effettua un numero costante di mosse best-response. In particolare, il prezzo dell'anarchia ottenuto dopo  $k$  round, definito come il più alto rapporto tra la latenza totale a equilibrio e l'ottimo sociale è  $O(2^{k-1}\sqrt{n})$ , dove  $n$  è il numero di giocatori. Per valori costanti di  $k$ , tale bound è asintoticamente stretto con riferimento al lower bound pari a  $\Omega(2^{k-1}\sqrt{n}/k)$ , presente anch'esso tra i risultati del lavoro. Pertanto, viene mostrato come  $\log \log n$  round non sono necessari e sufficienti per ottenere una soluzione sociale comparabile a quella che si ha ad equilibrio di Nash, che ha un prezzo dell'anarchia costante. Questo risultato è particolarmente interessante, poiché raggiungere un equilibrio può richiedere un numero di round esponenziale in  $n$ . Infine, viene fornito un lower bound pari a  $\Omega(2^{k-1}\sqrt{n})$  for giochi di bilanciamento di carico, che sono un caso particolare di giochi di congestione in cui ogni strategia consiste in un'unica risorsa; tale lower bound mostra come  $\log \log n$  round sono necessari anche sotto tale restrizione di gioco. I risultati ottenuti risolvono l'importante problema aperto della determinazione della velocità di convergenza a soluzioni con un rapporto di approssimazione costante, in giochi di congestione con funzioni di latenza lineari.

I risultati sono estesi a giochi di congestione con funzioni di latenza polinomiali in [J19,I26].

Infine, in [S6] si è caratterizzato in modo completo come, in giochi di congestione con funzioni di latenza polinomiali, la frequenza con la quale ciascun giocatore partecipa alla dinamica del gioco influisce sulla possibilità di raggiungere in tempo polinomiale stati aventi un rapporto di approssimazione ordine del prezzo dell'anarchia. In particolare, viene provato come nel caso più generale di gioco asimmetrico (in cui ogni giocatore ha il suo insieme di strategie) se ogni giocatore gioca almeno una ed al più  $\beta$  volte durante ogni  $T$  best response, stati con rapporto di approssimazione  $O(\beta)$  volte il prezzo dell'anarchia sono raggiunti dopo  $T \log \log n$  best response, e che tale bound è stretto anche dopo un numero esponenziale di best response. Inoltre, nel caso simmetrico (in cui tutti i giocatori condividono un unico insieme di strategie) il gioco converge sempre velocemente a stati buoni, indipendentemente dal parametro  $\beta$ .

### 2.2.7 Giochi di interferenza in reti wireless

In [I21] è presentato un approccio con teoria dei giochi allo studio di comunicazioni in reti wireless, e viene introdotta e studiata una classe di giochi chiamata *Giochi di Interferenza*.

Nel modello in questione, un giocatore può trasmettere con successo se “parla abbastanza forte”, ovvero se la sua potenza di trasmissione è sufficientemente alta rispetto a tutte le altre trasmissioni simultanee più il rumore d’ambiente. Tale fenomeno fisico è noto come il “Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio” (SINR). In particolare, viene mostrato come tali giochi non hanno equilibri di Nash in strategie pure, e che gli equilibri di Nash in strategie miste o sono “unfair” (nel senso che l’utilità di un giocatore è molto maggiore di quella degli altri), o hanno utilità sociale pari a 0. Questi risultati negativi giustificano lo studio di altre nozioni di equilibrio. Viene mostrato come esistono equilibri *Sink* ed equilibri *Correlati* con valore sociale vicino all’ottimo sociale. Infine, vengono studiati giochi di interferenza ripetuti, nei quali i giocatori giocano più volte di seguito il gioco base. Viene mostrato che esiste un fair *Subgame Perfect Equilibrium* con valore sociale massimo, ottenuto tra l’altro sotto l’ipotesi di *partial monitoring*, ovvero nel caso in cui ogni giocatore sappia unicamente se le sue trasmissioni precedenti abbiano avuto successo.

### 2.2.8 Giochi di isolamento

I giochi di isolamento sono una classe di giochi in cui l’utilità di ogni giocatore dipende dalla sua distanza dagli altri. Ad esempio, l’utilità potrebbe essere definita come la distanza dal più vicino giocatore, o come la somma delle distanze da tutti gli altri giocatori. In [J11,I24] si è studiata l’efficienza degli equilibri di Nash per alcune classi di giochi di isolamento già introdotte da precedenti lavori in letteratura. Per tutti i casi in cui l’equilibrio è garantito esistere, si sono fornite delimitazioni strette o asintoticamente strette ai prezzi dell’anarchia e della stabilità.

### 2.2.9 Giochi di Stackelberg

Nei giochi di Stackelberg un’autorità centrale ha la possibilità di decidere la strategia di una frazione di giocatori, i giocatori coordinati, in modo da indurre nel gioco risultante prestazioni migliori degli equilibri di Nash.

Si consideri il gioco di network design introdotto da Anshelevich et al. in cui  $n$  coppie di nodi sorgente-destinazione devono essere connesse condividendo equamente il costo degli archi utilizzati. È ben noto che il prezzo dell’anarchia per questa classe di giochi è  $n$ . In [I28,S3] si è mostrata l’efficacia delle strategie di Stackelberg nel ridurre tale prezzo dell’anarchia. In particolare, si mostrano delimitazioni ottime o quasi ottime all’efficacia di strategie di Stackelberg per vari pattern di comunicazione (multicast, one-to-one). Inoltre, si forniscono strategie di Stackelberg calcolabili in tempo polinomiale ed in grado di ridurre il prezzo dell’anarchia da  $n$  a  $2(\frac{1}{\alpha} + 1)$ , in presenza di  $\alpha n$  giocatori coordinati.

### 2.2.10 Giochi di creazione di reti mobili

In [S5] viene studiata la creazione spontanea di reti di comunicazione a seguito dell’interazione distribuita e non coordinata di  $k$  agenti mobili. Ogni agente, che possiede una sua posizione base, può scegliere la propria posizione sulla rete in modo da minimizzare una funzione di costo che tiene conto di due fattori: la distanza dalla propria posizione base ed il numero di giocatori a cui non è connesso; tale secondo fattore è prevalente, nel senso che in tutti gli equilibri di Nash è assicurato che ogni giocatore è sempre connesso a tutti gli altri. Viene provata l’esistenza degli equilibri di Nash, e la convergenza nel caso in cui i giocatori effettuano best response. Viene inoltre determinato in modo stretto il prezzo dell’anarchia e la velocità di convergenza del gioco, anche nel caso particolare di dinamiche best response che partono dallo stato in cui

ogni giocatore è sulla propria posizione iniziale. Mentre in generale la velocità di convergenza può essere molto alta e la qualità degli equilibri bassa, in questo ultimo caso in cui i giocatori partono dalla propria posizione iniziale dopo  $\Theta(k \min\{k^2, D\})$  best response il gioco raggiunge un equilibrio che approssima l'ottimo con un fattore  $\Theta(k \min\{k, D\})$ , dove  $D$  è il diametro della rete.

## 2.3 Conoscenza sociale limitata: reti sociali

Il Web è un esempio di rete sociale. Le reti sociali sono state tema di ricerca approfondita già molto tempo prima l'avvento del Web. Forse in coincidenza, fra il 1950 e il 1980, le scienze sociali fecero grandi passi nel misurare e nell'analizzare le reti sociali. Reti di interazione sociale si instaurano fra gli accademici tramite la collaborazione, i consigli e l'interazione all'interno di comitati; fra personale cinematografico tramite il dirigere ed il recitare; fra persone che effettuano chiamate telefoniche; fra paesi tramite relazioni commerciali; fra giornali attraverso citazioni; e fra le pagine Web attraverso il meccanismo degli hyperlink verso altre pagine Web. La teoria sulle reti sociali è legata a proprietà relative alla connettività e la distanza nei grafi.

### 2.3.1 Modello Small-World.

L'attività di ricerca ha riguardato lo studio di una particolare famiglia di grafi, Small World Graph (SWG), ideata da J. Kleinberg per modellare una rete sociale in cui l'interazione tra persone avviene per vicinanza geografica o per conoscenza "diretta" dovuta ad esempio ad interessi in comune. Nel modello SWG, dato un grafo  $G$  di partenza che modella la vicinanza geografica, vengono aggiunti dei collegamenti tra nodi in base ad una distribuzione di probabilità  $f$  correlata con la distanza tra i nodi stessi; tali collegamenti rappresentano rapporti di conoscenza "diretta". Mentre gli archi in  $G$  sono conosciuti da tutti i nodi della rete, i collegamenti aggiunti sono conosciuti solo dal nodo di partenza del collegamento stesso.

Sono stati ottenuti in [J4,I5] risultati interessanti riguardo al routing greedy effettuato in SWG sia probabilistici che deterministici con topologia di linea, anello, ed albero.

In particolare, è stato fornito il primo lower bound generale al diametro indotto dal routing greedy, pari a  $\Omega(\log^2 n)$  su un path di  $n$  nodi, che vale per una ampia classe di funzioni  $f$  di distribuzione di probabilità, mostrando così l'ottimalità della funzione proposta da Kleinberg che realizza un upper bound asintoticamente corrispondente.

Inoltre, sono fornite costruzioni deterministiche per reti con topologia di path e di albero, che inducono reti SWG con un diametro logaritmico.

È auspicabile in futuro l'estensione di tali risultati a topologie più generali.

### 2.3.2 Giochi non cooperativi con conoscenza sociale limitata.

La ricerca descritta in questo paragrafo si pone a cavallo tra l'area dei sistemi non cooperativi e quella della conoscenza sociale limitata.

Motivata dal fatto che in un sistema altamente distribuito e decentralizzato l'assunzione che ogni agente sia a conoscenza delle scelte strategiche di tutti gli altri giocatori sembra essere troppo forte, l'attività di ricerca si è concentrata sull'analisi di sistemi non cooperativi governati da un grafo sociale delle conoscenze  $k$  i cui nodi sono i giocatori ed in cui c'è un arco dal giocatore  $i$  al giocatore  $j$  se  $i$  conosce  $j$ , ovvero se l'utilità del giocatore  $i$  è influenzata dalle scelte strategiche del giocatore  $j$ .

Per via della loro somiglianza con un modello di gioco conosciuto nella teoria dei giochi classica, sebbene sussistano differenze sostanziali dovute al fatto che il grafo delle conoscenze

in tale modello era solo uno strumento descrittivo del gioco (nel senso che rispecchiava la mutua influenza tra i giocatori) mentre nel nostro modello è una componente che completa la definizione dello stesso introducendo una conoscenza sociale limitata, questi giochi sono stati battezzati *graphical games*.

L'attività di ricerca si è sviluppata in due filoni. Per entrambi è stata prima di tutto completamente caratterizzata l'esistenza e la convergenza ad equilibri di Nash dei giochi considerati, dipendentemente dalle caratteristiche del grafo sociale di conoscenza  $K$ . Oltre ai risultati particolari per i vari modelli analizzati, si è mostrato che in generale se  $K$  è diretto aciclico (DAG) la convergenza ad equilibrio è assicurata in qualsiasi graphical game.

Nel primo filone, in [J14,I16,I20] è stato studiato l'impatto che l'introduzione di tali grafi di conoscenza sociale ha sul prezzo dell'anarchia e della stabilità dei giochi di congestione con funzioni di latenza lineari, in funzione di proprietà strutturali del grafo  $K$ , ed in particolare del massimo grado  $\Delta$ . Lo studio è stato effettuato rispetto a due classi di funzioni sociali, la prima riguardante le latenze presunte dai giocatori (dovute cioè solo ai giocatori conosciuti), e la seconda quelle reali (dovute cioè a tutti i giocatori). Per ogni classe di funzione sociale ed ogni tipologia di grafo sociale per cui è assicurata la convergenza in questo modello ( $K$  diretto aciclico e  $K$  non diretto) sono state analizzate la somma delle latenze e la massima latenza pagata da un agente. Inoltre, tutti i risultati sono stati estesi a giochi di bilanciamento di carico. Per 31 dei 32 casi risultanti sono stati individuati bound esattamente o asintoticamente corrispondenti (si vedano le Tabelle 2 e 3 per una sintesi dei risultati ottenuti;  $n$  indica il numero di giocatori,  $\mathcal{G}(\Delta)$  e  $\overrightarrow{\mathcal{A}\mathcal{G}}(\Delta)$  la classe dei grafi rispettivamente non diretti e diretti aciclici con grado massimo dei nodi  $\Delta$ ).

	$PoS^{sum}, PoS^{max}$	$PoA^{sum}, PoA^{max}$
$\mathcal{G}(\Delta)$	$2, \Theta(\Delta + 1)$	$\Theta(\Delta + 1), \Delta + 1$
$\overrightarrow{\mathcal{A}\mathcal{G}}(\Delta)$	$\Theta(\Delta + 1), \Delta + 1$	$\Theta(\Delta + 1), \Delta + 1$

Tabella 2: Latenze presunte: bound per giochi di congestione e giochi di bilanciamento di carico.

	Giochi di congestione		Giochi di bilanciamento di carico	
	$PoS^{sum}, PoS^{max}$	$PoA^{sum}, PoA^{max}$	$PoS^{sum}, PoS^{max}$	$PoA^{sum}, PoA^{max}$
$\mathcal{G}(\Delta)$	$n, n \div n\sqrt{\Delta + 1}$	$\Theta(n(\Delta + 1))$	$n, \Theta(n)$	$\Theta(n)$
$\overrightarrow{\mathcal{A}\mathcal{G}}(\Delta)$	$\Theta(n(\Delta + 1))$	$\Theta(n(\Delta + 1))$	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$

Tabella 3: Latenze percepite (reali): bound per giochi di congestione e giochi di bilanciamento di carico.

Nel secondo scenario, in [J10,I19] lo scopo del lavoro più che di analisi è di progettazione. Viene considerato il gioco di condivisione di costo multicast con metodo di condivisione di costo Shapley, in cui ogni giocatore vuole connettersi ad un'unica sorgente. Tale gioco, nella sua versione classica in cui tutti i giocatori si conoscono vicendevolmente, possiede prezzo dell'anarchia molto alto, pari al numero di giocatori  $n$ . L'obiettivo del lavoro è di progettare il grafo delle conoscenze  $K$  in modo tale da migliorare il prezzo dell'anarchia. Dopo aver mostrato che gli unici grafi che garantiscono la convergenza ad equilibrio in questo modello sono i grafi

diretti aciclici (DAG), mostriamo come le performance date dal grafo completo aciclico siano molto interessanti. In particolare, il DAG completo assicura un prezzo dell'anarchia al più  $\log^2 n$ ; inoltre, se esso è progettato in funzione dell'istanza il prezzo dell'anarchia può essere ulteriormente abbassato a 4. Infine, tali risultati mostrano come il DAG completo sia tra i migliori grafi che assicurano la convergenza, in considerazione del fatto che lower bound quasi corrispondenti e validi per l'intera classe di DAG (se non a volte addirittura per ogni possibile grafo  $K$ ) sono provati. I risultati ottenuti sono alquanto sorprendenti, in quanto introducendo una limitata conoscenza sociale si è riusciti a diminuire il prezzo dell'anarchia del gioco. In qualche modo, essi forniscono una ulteriore evidenza del famoso paradosso di Braess.

## 2.4 Ulteriori attività di ricerca

Un'ulteriore attività di ricerca intrapresa [I13,S1] è la sperimentazione di algoritmi per la compressione di tabelle IP con riferimento al fattore di compressione della tabella e al tempo di lookup dei principali algoritmi noti. In particolare sono stati confrontati algoritmi che prevedono il riassegnamento di indirizzi (proposti da V.Bilò e M. Flammini e pubblicati nella conferenza *IPDPS 2004*) con altri che al contrario mantengono gli indirizzi IP originari per gli host della rete, ed inoltre sono state proposte nuove euristiche che sperimentalmente migliorano tali algoritmi.

## 3 Attività didattica

### 3.1 Corsi universitari

2004-2005: ha collaborato svolgendo cicli di seminari all'attività didattica della Facoltà di Scienze MM.FF.NN della Università degli Studi di L'Aquila nell'ambito dei corsi "Algoritmi e Strutture Dati 2: Tecniche Evolute" (corso di Laurea in Informatica) e "Laboratorio Calcolatori 1" (corso di Laurea in Fisica).

2005-2006: ha collaborato svolgendo cicli di seminari all'attività didattica della Facoltà di Scienze MM.FF.NN della Università degli Studi di L'Aquila nell'ambito del corso "Algoritmi e Strutture Dati 2 con laboratorio" (corso di Laurea Specialistica in Informatica).

2006-2007: ha collaborato svolgendo cicli di seminari e collaborando alla preparazione e valutazione degli esami all'attività didattica della Facoltà di Scienze MM.FF.NN della Università degli Studi di L'Aquila nell'ambito del corso "Algoritmi e Strutture Dati 2 con laboratorio" (corso di Laurea Specialistica in Informatica) e del corso "Architettura degli Elaboratori" (corso di laurea base in Informatica).

2007-2008: ha collaborato svolgendo cicli di seminari e collaborando alla preparazione e valutazione degli esami all'attività didattica della Facoltà di Scienze MM.FF.NN della Università degli Studi di L'Aquila nell'ambito del corso "Algoritmi e Strutture Dati 2 con laboratorio" (corso di Laurea Specialistica in Informatica).

2007-2008: È titolare del corso "Tecnologie dei linguaggi di Programmazione" (corso di Laurea Specialistica in Informatica) presso la Facoltà di Scienze MM.FF.NN della Università degli Studi di L'Aquila.

2008-2009: È titolare del corso "Algoritmi e strutture dati 1", corso di Laurea in Economia ed Informatica, presso la Facoltà di Economia della Università degli Studi "D'Annunzio" di Chieti-Pescara.

2009-2010: È titolare del corso “Algoritmi e strutture dati 1”, corso di Laurea in Economia ed Informatica, presso la Facoltà di Economia della Università degli Studi “D’Annunzio” di Chieti-Pescara.

2009-2010: È titolare del corso “Laboratorio di Programmazione 1”, corso di Laurea in Economia ed Informatica, presso la Facoltà di Economia della Università degli Studi “D’Annunzio” di Chieti-Pescara.

2010-2011: È titolare del corso “Programmazione”, corso di Laurea in Economia ed Informatica per l’Impresa, presso la Facoltà di Economia della Università degli Studi “D’Annunzio” di Chieti-Pescara.

2011-2012: È titolare del corso “Programmazione”, corso di Laurea in Economia ed Informatica per l’Impresa, presso la Facoltà di Economia della Università degli Studi “D’Annunzio” di Chieti-Pescara.

### **3.2 Attività di relazione di tesi**

Dall’anno accademico 2004/2005 segue in qualità di correlatore diverse tesi di laurea base e specialistica presso la Facoltà di Scienze MM.FF.NN. della Università di L’Aquila.

Dall’anno accademico 2007/2008 segue in qualità di *relatore unico* o correlatore diverse tesi di laurea base e specialistica presso la Facoltà di Scienze MM.FF.NN. della Università di L’Aquila.

### **3.3 Altre attività didattiche**

Nel 2005 è stato docente di un corso di formazione aziendale su linguaggio di programmazione C.

Nel 2005 è stato docente di un corso finanziato dalla regione Abruzzo per progettazione web e multimediale.

Nel 2006 è stato docente di un corso finanziato dalla regione Lazio per Java e progettazione web.

Nel 2011 è stato docente di un corso di informatica di base per utenti del centro diurno di salute mentale dell’ASL di Lanciano e Vasto.

## **4 Altre attività lavorative**

Nel 2004 ho curato la progettazione e realizzazione come collaboratore co.co.co. di un sistema software per l’analisi della produzione industriale basata su catena di montaggio e relativa alla fabbricazione di tegole per immobili, presso la Sigma S.p.a. di Pedaso (AP).

Tra il 2005 e il 2011 ho curato la progettazione e lo sviluppo di diversi portali web dinamici, utilizzando la piattaforma di sviluppo PHP–MySQL–Apache.

## **5 Elenco delle pubblicazioni**

### **Riviste Internazionali [J]**

- J1 V. Bilò, M. Flammini, L. Moscardelli “Pareto Approximations for the Bicriteria Scheduling Problem”, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, volume 66, numero 3, pp. 393-402, 2006, doi:10.1016/j.jpdc.2005.07.006

- J2 V. Bilò, M. Flammini, G. Melideo, L. Moscardelli “On Nash Equilibria for Multicast Transmissions in Ad-Hoc Wireless Networks”, *Wireless Networks* volume 14, numero 2, Aprile 2008, doi:10.1007/s11276-006-8817-y
- J3 V. Bilò, M. Flammini, G. Melideo, L. Moscardelli, A. Navarra “Sharing the Cost of Multicast Transmission in Wireless Networks”, *Theoretical Computer Science* 369 (2006) pp. 269 - 284, doi:10.1016/j.tcs.2006.09.004
- J4 M. Flammini, L. Moscardelli, A. Navarra, S. Perennes “Asymptotically Optimal Solutions for Small World Graphs”, *Theory of Computing Systems* volume 42, numero 4, pagg. 632 - 650, 2008, doi:10.1007/s00224-007-9073-y
- J5 M. Flammini, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks, “Approximating the Traffic Grooming Problem”, *Journal of Discrete Algorithms* (2008), volume 6, Issue 3, Settembre 2008, pp. 472-479, doi:10.1016/j.jda.2007.09.001
- J6 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “Approximating the Traffic Grooming Problem in Tree and Star Networks”. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, volume 68, Issue 7, Luglio 2008, Pages 939-948 doi:10.1016/j.jpdc.2008.01.003
- J7 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “Selfishness, Collusion and Power of Local Search for the ADMs Minimization Problem”. *Computer Networks*, volume 52, Issue 9, 26 Giugno 2008, Pages 1721-1731, doi:10.1016/j.comnet.2008.02.009
- J8 A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “On the Convergence of Multicast Games in Directed Networks”. *Algorithmica*, volume 57, numero 2, Giugno 2010, doi:10.1007/s00453-008-9212-0
- J9 V. Bilò, A. Fanelli, M. Flammini, G. Melideo, L. Moscardelli “Designing Fast Converging Cost Sharing Methods for Multicast Transmissions”., *Theory of Computing Systems* volume 47, numero 2, pagg. 507 - 530, 2010, doi:10.1007/s00224-009-9207-5
- J10 V. Bilò, A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “When Ignorance helps: Graphical Multicast Cost Sharing Games”, *Theoretical Computer Science* 411 (2010) pp. 660 - 671, doi:10.1016/j.tcs.2009.10.007
- J11 V. Bilò, M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli “On the performances of Nash equilibria in isolation games”, *Journal of Combinatorial optimization* 22, pp. 378–397, 2011, doi:10.1007/s10878-010-9300-3
- J12 A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “The speed of Convergence in Congestion Games under Best Response Dynamics”, accettato per la pubblicazione su *Transaction on Algorithms (TALG)*, 2010.
- J13 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, H. Shachnai, M. Shalom, T. Tamir, S. Zaks “Minimizing Total Busy Time in Parallel Scheduling with Application to Optical Networks”, *Theoretical Computer Science* 411 (2010) pp. 3553 - 3562, doi:10.1016/j.tcs.2010.05.011
- J14 V. Bilò, A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “Graphical Congestion Games”, *Algorithmica* (61), pp. 274-297, 2011 doi:10.1007/s00453-010-9417-x

- J15 I. Caragiannis, M. Flammini, C. Kaklamanis, P. Kanellopoulos, L. Moscardelli “Tight Bounds for Selfish and Greedy Load Balancing”, *Algorithmica* (61), pp. 606-637, 2011 doi:10.1007/s00453-010-9427-8
- J16 M. Flammini, A. Marchetti-Spaccamela, G. Monaco, L. Moscardelli, S. Zaks “On the Complexity of the Regenerator Placement Problem in Optical Networks” *IEEE/ACM Transactions on Networking* (19), pp. 498-511, 2011 doi:10.1109/TNET.2010.2068309
- J17 V. Bilò, A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “Performances of One-Round Walks in Linear Congestion Games”, *Theory of Computing Systems* 49(1), pp. 24-45, 2011 doi:10.1007/s00224-010-9309-0
- J18 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “Optimizing Regenerator Cost in Traffic Grooming”. *Theoretical Computer Science* (412), pp. 7109-7121, 2011 doi:10.1016/j.tcs.2011.09.023
- J19 A. Fanelli, L. Moscardelli “On Best Response Dynamics in Weighted Congestion Games with Polynomial Delays”. *Distributed Computing* (24), pp. 245-254, 2011 doi:10.1007/s00446-011-0145-5

### Capitoli di libri [B]

- B1 T. Cinkler, D. Coudert, M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, X. Munoz, I. Sau, M. Shalom, S. Zaks, “Traffic Grooming: Combinatorial Results and Practical Resolutions”. Koster, Arie M.C.A.; Muñoz, Xavier (Eds.) (a cura di) *Graphs and Algorithms in Communication Networks* Springer-Verlag, Berlino GERMANIA pp.63-94 (2009). isbn:978-3-642-02249-4 doi:10.1007/978-3-642-02250-0\_2
- B2 V. Bilò, I. Caragiannis, A. Fanelli, M. Flammini, C. Kaklamanis, G. Monaco, L. Moscardelli, “Game-Theoretic Approaches to Optimization Problems in Communication Networks”. Koster, Arie M.C.A.; Muñoz, Xavier (Eds.) (a cura di) *Graphs and Algorithms in Communication Networks* Springer-Verlag, Berlino GERMANIA pp.241-263 (2009). isbn:978-3-642-02249-4 doi:10.1007/978-3-642-02250-0\_9

### Conferenze Internazionali [I]

- I1 V. Bilò, M. Flammini, L. Moscardelli “Pareto Approximations for the Bicriteria Scheduling Problem”. *Proc. of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2004)*, CD-ROM / Abstracts Proceedings, 26-30 April 2004, Santa Fe, New Mexico, USA. IEEE Computer Society, doi:10.1109/IPDPS.2004.1303023
- I2 V. Bilò, L. Moscardelli “The Price of Anarchy in All-Optical Networks”. *Proc. of the Structural Information and Communication Complexity, 11th International Colloquium, SIROCCO 2004*, Smolenice Castle, Slovakia, June 21-23, 2004, *Lecture Notes in Computer Science* 3104, Springer-Verlag, 2004, pag. 13-22, doi:10.1007/978-3-540-27796-5\_2
- I3 V. Bilò, M. Flammini, G. Melideo, L. Moscardelli “On Nash Equilibria for Multicast Transmissions in Ad-Hoc Wireless Networks”. *Proc. of the 15th Annual International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC)*, HongKong, China, December 20-22, 2004, *Lecture Notes in Computer Science* 3341, Springer-Verlag, 2004, pag. 172-183, doi:10.1007/978-3-540-30551-4\_17

- I4 V. Bilò, M. Flammini, L. Moscardelli “On Nash Equilibria in Non-Cooperative All-Optical Networks”. Proc. of the 22nd Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS), Stuttgart, Germany, February 24-26, 2005, Lecture Notes in Computer Science 3404, Springer-Verlag, 2005, pag. 448-459, doi:10.1007/978-3-540-31856-9\_37
- I5 M. Flammini, L. Moscardelli, A. Navarra, S. Perennes “Asymptotically Optimal Solutions for Small World Graphs”. Proc. of the 19th International Symposium on Distributed Computing (DISC), Cracow, Poland, September 26-29, 2005, Lecture Notes in Computer Science 3724, Springer-Verlag, 2005, pag. 414-428, doi:10.1007/11561927\_30
- I6 M. Flammini, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “Approximating the Traffic Grooming Problem”. Proc. of the 16th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC), Sanya, Hainan, China, December 19-21, 2005, Lecture Notes in Computer Science 3827, Springer-Verlag, 2005, pag. 915-924, doi:10.1007/11602613\_91
- I7 A. Fanelli, M. Flammini, G. Melideo, L. Moscardelli, A. Navarra “Game Theoretical Issues in Optical Networks”, invitato a International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON) 2006, June 18-22, 2006 - Nottingham, United Kingdom, doi:10.1109/ICTON.2006.248444
- I8 I. Caragiannis, M. Flammini, C. Kaklamanis, P. Kanellopoulos, L. Moscardelli “Tight Bounds for Selfish and Greedy Load Balancing”, Proc. of the Automata, Languages and Programming, 33rd International Colloquium, ICALP 2006, Venice, Italy, July 10-14, 2006, Lecture Notes in Computer Science 4051, Springer-Verlag, 2006, pag. 311-322, doi:10.1007/11786986\_28
- I9 A. Fanelli, M. Flammini, G. Melideo, L. Moscardelli “Multicast Transmission in Non-Cooperative Networks with a Limited Number of Selfish Moves”, 31st International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS), August 28 - September 1, 2006, Lecture Notes in Computer Science 4162, Springer-Verlag, 2006, pag. 363-374, doi:10.1007/11821069\_32
- I10 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “Approximating the Traffic Grooming Problem in Tree and Star Networks”, 32st International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science (WG), 2006 June 22-24, Bergen, Norway, Lecture Notes in Computer Science 4271, Springer-Verlag, 2006, pag. 147-158, doi:10.1007/11917496\_14
- I11 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “Minimizing the number of ADMs with and without traffic grooming: complexity and approximability”, invitato a International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON) 2006, June 18-22, 2006 - Nottingham, United Kingdom, doi:10.1109/ICTON.2006.248411
- I12 A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “On the Convergence of Multicast Games in Directed Networks”, 19th ACM Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures (SPAA), San Diego, CA, USA June 9 - 11, 2007, doi:10.1145/1248377.1248433
- I13 A. Fanelli, M. Flammini, D. Mango, G. Melideo, L. Moscardelli “Experimental Evaluation of Algorithms for IP Table Minimization”, 6th Workshop on Experimental Algorithms (WEA), June 6-8, 2007 Rome Italy, Lecture Notes in Computer Science 4525, Springer-Verlag, 2007, pag. 324-337, doi:10.1007/978-3-540-72845-0\_25

- I14 I. Caragiannis, M. Flammini, L. Moscardelli “An exponential improvement on the MST heuristic for the Minimum Energy Broadcasting problem”, Automata, Languages and Programming, 34th International Colloquium, ICALP 2007, July 9-13, 2007 Wroclaw, Poland, Lecture Notes in Computer Science 4596, Springer-Verlag, 2007, pag. 447-458, doi:10.1007/978-3-540-73420-8\_40
- I15 S. Di Giannantonio, M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “Selfishness, Collusion and Power of Local Search for the ADMs Minimization Problem”, 3rd International Workshop On Internet And Network Economics (WINE 2007), San Diego, CA, USA. December 12-14, 2007, Lecture Notes in Computer Science 4858, pp.404-411, doi:10.1007/978-3-540-77105-0\_45
- I16 V. Bilò, A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “Graphical Congestion Games with Linear Latencies”. Accettato a 20th ACM Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures (SPAA), Munich, Germany, 2008, doi:10.1145/1378533.1378571
- I17 A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “The speed of Convergence in Congestion Games under Best Response Dynamics”, Automata, Languages and Programming, 35th International Colloquium, ICALP 2008, July 6 - 13, Reykjavik - Iceland, Lecture Notes in Computer Science 5125, pp. 796-807, Springer-Verlag, 2008, doi:10.1007/978-3-540-70575-8\_65
- I18 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “Approximating the Traffic Grooming Problem with respect to ADMs and OADMs”, 14th International Euro-Par Conference European Conference on Parallel and Distributed Computing (Euro-Par 2008), August 26-29th, 2008 UAB-ULPGC, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, Lecture Notes in Computer Science 5168, pp. 920-929, Springer-Verlag, 2008, doi:10.1007/978-3-540-85451-7\_99
- I19 V. Bilò, A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “When Ignorance helps: Graphical Cost Sharing Games”. Accettato a MFCS 2008 - 33rd International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science, August 27-31, 2008, Torun, Poland, Europe, Lecture Notes in Computer Science 5162, pp. 108-119, Springer-Verlag, 2008, doi:10.1007/978-3-540-85238-4\_8
- I20 V. Bilò, A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “Graphical Congestion Games”. Proc. of the 4th International Workshop On Internet And Network Economics (WINE 2008), December 17-20, 2008, Shanghai, China, doi:10.1007/978-3-540-92185-1\_16
- I21 V. Auletta, L. Moscardelli, P. Penna, G. Persiano “Interference Games in Wireless Networks”. Proc. of the 4th International Workshop On Internet And Network Economics (WINE 2008), December 17-20, 2008, Shanghai, China, doi:10.1007/978-3-540-92185-1\_34
- I22 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, H. Shachnai, M. Shalom, T. Tamir, S. Zaks “Minimizing Total Busy Time in Parallel Scheduling with Application to Optical Networks”, Proc. of 23rd IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing, IPDPS 2009, Rome, Italy, May 23-29, 2009, doi:10.1109/IPDPS.2009.5161017

- I23 M. Flammini, A. Marchetti Spaccamela, G. Monaco, L. Moscardelli, S. Zaks “On the complexity of the regenerator placement problem in optical networks”, Proc. of the 21st Annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures (SPAA 2009), Calgary, Alberta, Canada, August 11-13, 2009, doi:10.1145/1583991.1584035
- I24 V. Bilò, M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli “On the Performances of Nash Equilibria in Isolation Games”. Proc. of Computing and Combinatorics, 15th Annual International Conference, COCOON 2009, Niagara Falls, NY, USA, July 13-15, 2009, doi:10.1007/978-3-642-02882-3\_3
- I25 V. Bilò, A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “Performances of One-Round Walks in Linear Congestion Games”. Proc. of the Algorithmic Game Theory, Second International Symposium, SAGT 2009, Paphos, Cyprus, October 18-20, 2009, December 17-20, 2008, Shanghai, China, LNCS 5814, doi:10.1007/978-3-642-04645-2\_28
- I26 A. Fanelli, L. Moscardelli “On Best Response Dynamics in Weighted Congestion Games with Polynomial Delays”. Proc. of the Internet and Network Economics, 5th International Workshop, WINE 2009, Rome, Italy, December 14-18, 2009, LNCS 5929, doi:10.1007/978-3-642-10841-9\_7
- I27 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “Optimizing Regenerator Cost in Traffic Grooming”, Proc. of the 14th International Conference On Principles Of Distributed Systems (OPODIS 2010), December 14-17, 2010, Tozeur, Tunisia. LNCS 6490, doi:10.1007/978-3-642-17653-1\_32
- I28 A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “Stackelberg Strategies for Network Design Games”, Proc. of the 6th Workshop on Internet and network Economics (WINE 2010), December 13-17, 2010, Stanford University, Stanford, California, USA. LNCS 6484, doi:10.1007/978-3-642-17572-5\_18
- I29 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “On the Complexity of the Regenerator Cost Problem in General Networks with Traffic Grooming”. Proc. of the 15th International Conference On Principles Of Distributed Systems (OPODIS 2011), December 12-16, 2011, Toulouse, France. LNCS 7109, doi:10.1007/978-3-642-25873-2\_8

#### Articoli sottomessi per la pubblicazione [S] e tesi [T]

- S1 A. Fanelli, M. Flammini, D. Mango, G. Melideo, L. Moscardelli “Experimental Evaluation of Algorithms for IP Table Minimization”. Sottomesso per pubblicazione a rivista.
- S2 I. Caragiannis, M. Flammini, L. Moscardelli “An exponential improvement on the MST heuristic for the Minimum Energy Broadcasting problem”. Sottomesso per pubblicazione a rivista.
- S3 A. Fanelli, M. Flammini, L. Moscardelli “Stackelberg Strategies for Network Design Games”. Sottomesso per pubblicazione a rivista.
- S4 M. Flammini, G. Monaco, L. Moscardelli, M. Shalom, S. Zaks “On the Complexity of the Regenerator Cost Problem in General Networks with Traffic Grooming”. Sottomesso per pubblicazione a rivista.

- S5 M. Flammini, V. Gallotti, G. Melideo, G. Monaco, L. Moscardelli “Mobile Creation Games”. Sottomesso per pubblicazione a conferenza.
- S6 A. Fanelli, L. Moscardelli and A. Skopalik “On the Impact of Fair Best Response Dynamics”. Sottomesso per pubblicazione a conferenza.
- T1 Tesi di Laurea: “*Equilibri di Nash in reti ottiche non cooperative*” (Relatori: Prof. Michele Flammini e Dott. Vittorio Bilò), L’Aquila, 26 luglio 2004.
- T2 Tesi di Dottorato: “*The impact of non-cooperativeness and of limited resources and social knowledge on distributed systems: performances and complexity*” (Advisor: Prof. Michele Flammini), 2008.