

Curriculum Vitae  
di  
Maurizio Pizzonia

7 marzo 2017

(Pagina lasciata intenzionalmente bianca)

## DATI ANAGRAFICI ED INDIRIZZI

**Cognome e nome:** Pizzonia Maurizio

**Luogo e data di nascita:** Roma, 19 febbraio 1971

**Residenza e domicilio:** Via Luigi Spazzapan 40, 00125 Roma

**Tel. abitazione:** +39-06-5212407

**Tel. cellulare:** +39-320-2296663

**Ufficio:** Dipartimento di Informatica e Automazione dell' Università degli studi "Roma Tre", Via della Vasca Navale 79 - 00146 Roma.

**Tel. ufficio:** +39-06-5733-3311

**Fax. ufficio:** +39-06-5733-3612

**e-mail:** pizzonia@dia.uniroma3.it

**www:** <http://www.pizzonia.it>

## POSIZIONE ATTUALE

Maurizio Pizzonia è attualmente *ricercatore confermato* (settore scientifico disciplinare ING-INF/05 Sistemi di Elaborazione delle Informazioni) presso la facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi "Roma Tre" e afferisce al Dipartimento di Informatica e Automazione della stessa.

## STUDI

- Maturità tecnico-commerciale conseguita presso l'Istituto Tecnico Commerciale C. Levi di Roma nell'anno scolastico 1989/90.
- Laurea in Ingegneria Informatica conseguita presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", in data 23 maggio 1997, con votazione 110/110 e lode. Titolo della tesi: "Una estensione del paradigma object-oriented e del linguaggio C++ volta alla descrizione di sistemi per il trattamento di grafi". Relatore: Prof. Paolo Atzeni, Corelatore: Prof. Giuseppe Di Battista.
- Dottorato di Ricerca in Ingegneria Informatica conseguito presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", in data 23 febbraio 2001. Titolo della tesi: "Engineering of Graph Drawing Algorithms for Applications". Tutore: Prof. Giuseppe Di Battista.

## INCARICHI PROFESSIONALI

- Nel 1997/98 ha lavorato per tre mesi presso la CM Sistemi S.p.A nell'ambito di un progetto di sviluppo di un tool di progettazione interattiva, produzione automatica e test di sistemi di data warehousing.
- Durante il periodo tra il 1° maggio 1998 ed il 31 dicembre 1998 ha lavorato presso Center for Geometric Computing – Brown University dove ha svolto

attività di ricerca nell'ambito del disegno di grafi e ha collaborato allo sviluppo della libreria di algoritmi e strutture di dati in Java JDSL.

- Nel periodo tra marzo 2001 e febbraio 2003 è stato assegnista di ricerca presso il Dipartimento di informatica e automazione dell'Università degli studi "Roma Tre"
- Nel periodo tra il 18 marzo 2003 al 30 luglio 2003 è stato collaboratore presso il Dipartimento di informatica e automazione dell'Università degli studi "Roma Tre" con riferimento a "Metodi e modelli per la realizzazione di reti di calcolatori efficienti con componenti mobili".
- Nel periodo tra il 15 ottobre 2003 e il 31 dicembre 2004 è stato ricercatore a tempo determinato (settore scientifico disciplinare ING-INF/05) presso il dipartimento di Informatica e Automazione dell'Università degli Studi "Roma Tre".
- A partire dal 1 gennaio 2005 è ricercatore (settore scientifico disciplinare ING-INF/05 Sistemi di Elaborazione delle Informazioni) presso la facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi "Roma Tre" e afferisce al Dipartimento di Informatica e Automazione della stessa.
- Ricercatore confermato nella stessa posizione a partire dal 1 gennaio 2008
- Negli anni 2009-2011 è stato coordinatore scientifico del Microsoft Innovation Center di Roma presso il Dipartimento di Informatica e Automazione dell'Università degli Studi Roma Tre.

## **ATTIVITÀ SCIENTIFICA**

- Dal 1998 partecipa attivamente a conferenze scientifiche su temi di visualizzazioni di dati e graph drawing, reti di calcolatori e cybersecurity pubblicando ed esponendo lavori scientifici.
- Ha avuto ruoli di coordinamento in due progetti europei
  - Coordinatore del progetto "Preemptive: Preventive Methodology and Tools to Protect Utilities" (FP7, Grant agreement n. 607093, 2012-2015) per l'unità di ricerca dell'Università degli Studi Roma Tre.
  - Coordinatore del progetto "Leone: From global measurements to local management" (FP7, Grant agreement n. 317647, 2014-2017) per il Workpackage concernente supporto agli operatori di rete e strumenti di visualizzazione e per l'Università degli Studi Roma Tre e coordinatore per l'unità di ricerca dell'Università degli Studi Roma Tre.
- Ha partecipato personalmente a vari congressi e workshop internazionali:
  - Graph Drawing '98 – Montreal
  - 3<sup>rd</sup> CGC Workshop on Computational Geometry 1998 – Providence
  - Alenex '99 – Baltimora

- Graph Drawing '99 – Praga
- VisSym 2000 – Amsterdam
- European Symposium on Algorithms 2000 – Saarbruecken
- Graph Drawing '01 – Vienna
- Graph Drawing '03 – Perugia
- IDRWS 2004 (Inter-Domain Routing Workshop) – Amsterdam
- Graph Drawing '05 – Limerick
- RIPE 55, 2007 – Amsterdam
- -----
- Ha fatto parte del comitato organizzativo del workshop CGC '98 – Providence.
- Ha fatto parte del comitato organizzativo della conferenza internazionale Graph Drawing 2003 organizzato dal Dipartimento di Ingegneria Elettronica e dell'informazione dell'Università degli studi di Perugia.
- Dal 1997 svolge con continuità attività di revisione di lavori scientifici e ha revisionato lavori per le seguenti riviste e congressi:

#### Riviste

- Software: Practice and Experience
- Journal of Graph Algorithm and Applications
- Computational Geometry: Theory and Applications
- Discrete and Applied Mathematics

#### Congressi

- Graph Drawing '97
- Graph Drawing '99
- Graph Drawing '00
- Foundations of Computer Science 2000
- International Conference on Graph Transformations 2000
- Graph Drawing '01
- European Symposium on Algorithms 2003
- Graph Drawing '03
- European Symposium on Algorithms 2004
- Graph Drawing '04
- Graph Drawing '05
- International Workshop on Efficient and Experimental Algorithms 2005
- Graph Drawing '06
- Graph Drawing '07

## **COLLABORAZIONI IN PROGETTI DI RICERCA**

- Maurizio Pizzonia ha collaborato ai seguenti progetti di ricerca
  - ESPRIT LTR Project n. 20244 – ALCOM-IT

- Progetto CNR "Geometria Computazionale Robusta con Applicazioni alla Grafica ed al CAD"
- "Progetto Algoritmi per Grandi Insiemi di Dati: Scienza e Ingegneria", MURST Programmi di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale;
- European Commission - Fet Open project COSIN - COevolution and Self-organisation In dynamical Networks - IST-2001-33555.
- Progetto ALINWEB: Algoritmica per Internet e per il Web, MIUR Programmi di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale
- "The Multichannel Adaptive Information Systems (MAIS) Project", MIUR Fondo per gli Investimenti della Ricerca di Base.
- European Commission - Fet Open project DELIS IST-001907 – Dynamically Evolving Large Scale Information System
- ALGO-NEXT: Algorithms for the Next Generation Internet and Web: Methodologies, Design, and Experiments", MIUR Programmi di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale.
- MAINSTREAM: Algoritmi per strutture informative di grandi dimensioni e data streams, MIUR Programmi di ricerca di Rilevante Interesse Nazionale.

## ATTIVITÀ DIDATTICA

- Nel 1998-1999 è stato impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - ha svolto *seminari* per il corso di *Fondamenti di Informatica* nell'ambito della Facoltà di Ingegneria Informatica dell'Università di Roma Tre
  - *seminari e supporto alla didattica* per il modulo di *Sistemi di Elaborazione* del corso di Master in Ingegneria Computazionale, Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Perugia
- Nel 1999 - 2000 è stato impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *supporto alla didattica* per il corso di Impianti di Elaborazione, Facoltà di Ingegneria Informatica dell'Università di Roma Tre (20 ore)
  - *seminari* per il corso di *Sistemi di Elaborazione* nell'ambito della Facoltà di Ingegneria Informatica dell'Università di Roma Tre
- Nel 2000 - 2001 è stato impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* per il programma di Corsi "Cabletron Specialist" per la gestione e la configurazione di apparati SmartSwitch e SmartSwitchRouter nell'ambito di un contratto di collaborazione tra Dipartimento di Informatica e Automazione dell'Università di Roma Tre e la Cabletron Italia S.p.A. (10 giornate)
  - *attività di supporto alla didattica* per il corso di *Impianti di Elaborazione*, della Facoltà di Ingegneria Informatica dell'Università di Roma Tre.
  - *docenza* del corso per *Specialista Internet/Intranet ed E-business* nell'ambito dei corsi di Istruzione e Formazione Tecnica Superiore (IFTS) per l'ICTS "G. Salvemini" (10 ore)

- *docenza* del corso per *Specialista Internet/Intranet ed E-business* nell'ambito dei corsi di Istruzione e Formazione Tecnica Superiore (IFTS) per l'ITIS "L. Da Vinci" (7 ore)
- *docenza* del corso *Didattica delle reti di calcolatori B* (Laboratorio), nell'ambito della Scuola di Specializzazione all'Insegnamento Secondario (SSIS) (10 ore)
- *seminari* per il corso di *Sistemi di Elaborazione* nell'ambito della Facoltà di Ingegneria Informatica dell'Università di Roma Tre
- Nel 2001 - 2002 è stato impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* del corso per "Esperto di sistemi ERP" per il modulo di "S.O. – Reti – Internet – Web" nell'ambito dei corsi di Istruzione e Formazione Tecnica Superiore (IFTS), per l'ITFT "Marco Polo" (20 ore).
  - *docenza* per corso integrativo all'insegnamento di Fondamenti di Informatica 1 della facoltà di Ingegneria presso l'Università degli studi di Roma Tre (20 ore).
  - *docenza* per corso integrativo all'insegnamento di Fondamenti di Informatica 2 della facoltà di Ingegneria presso l'Università degli studi di Roma Tre (10 ore).
  - *docenza* del corso *Didattica delle reti di calcolatori*, nell'ambito della Scuola di Specializzazione all'Insegnamento Secondario (15 ore).
  - *docenza* per il programma di Corsi "Enterasys Specialist" per la gestione e la configurazione di apparati SmartSwitch e SmartSwitchRouter nell'ambito di un contratto di collaborazione tra Dipartimento di Informatica e Automazione dell'Università di Roma Tre e la Cabletron Italia S.p.A. (10 giornate)
  - *docenza* presso il CIOFS-FP Lazio di via dell'Ateneo Salesiano 81, per il corso "Specialista Sviluppo Applicazioni Object Oriented" nella materia "Linguaggio C++" (30 ore).
  - *seminari* per il corso di *Sistemi di Elaborazione* nell'ambito della Facoltà di Ingegneria Informatica dell'Università di Roma Tre.
- Nel 2002 - 2003 è stato impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* per il corso di "Fondamenti di Informatica 1 (canale M-Z)" della facoltà di Ingegneria presso l'Università degli studi "Roma Tre" (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
  - *docenza* per un corso integrativo all'insegnamento di Reti di Calcolatori della facoltà di Ingegneria presso l'Università degli studi di Roma Tre.
  - *docenza* per il corso "Didattica delle reti di calcolatori", nell'ambito della Scuola di Specializzazione all'Insegnamento Secondario, indirizzo tecnologico (15 ore)
  - *docente* in "Tecnologia Informatica di Base" del corso per "Assistenti eBusiness ICT", organizzato dall'Università di Tor Vergata e erogato dal Cedel Cooperativa Sociale Educativa Elis (27 ore)
  - *docente* su argomenti di reti di calcolatori per il "Corso Superiore" presso la Scuola di Polizia Tributaria (12 ore)

- *docente* per il corso “4° di programmazione C++” presso la Direzione Corsi di Specializzazione Elettronica Optoelettronica ed Informatica per le Forze Armate (38 ore)
- *attività seminariale* nell’ambito del Master in “Economia e Tecnologia della Società dell’Informazione” sul seguente tema: “Reti di Calcolatori”, presso l’Università degli Studi “Roma Tre” (6 ore)
- Nel 2003 - 2004 è stato impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* per il corso di “Ingegneria del Software” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
  - *docente* su argomenti di reti di calcolatori per il “Corso Superiore” presso la Scuola di Polizia Tributaria (12 ore).
  - *docenza* per il corso “Didattica delle reti di calcolatori”, nell’ambito della Scuola di Specializzazione all’Insegnamento Secondario, indirizzo tecnologico (12 ore)
  - *docente* per il corso “5° di programmazione C++” presso la Direzione Corsi di Specializzazione Elettronica Optoelettronica ed Informatica per le Forze Armate (38 ore)
- Nel 2004 - 2005 è stato impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* per il corso di “Sistemi Operativi 1” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
  - *docente* per il corso “Routing interdominio: BGP, politiche di Routing e Routing Registry” presso Telecom Italia Learning Services S.p.A. (16 ore)
  - *docente* per il “16° Corso sulla Sicurezza delle Reti Telematiche” presso la Direzione Corsi di Specializzazione Elettronica Optoelettronica ed Informatica per le Forze Armate (5 ore)
  - *docente* per il “2° Corso Avanzato di Sicurezza delle Reti Telematiche” presso la Direzione Corsi di Specializzazione Elettronica Optoelettronica ed Informatica per le Forze Armate (17 ore)
  - *docenza* per il corso “Didattica delle reti di calcolatori”, nell’ambito della Scuola di Specializzazione all’Insegnamento Secondario, indirizzo tecnologico (12 ore)
  - *docente*, nell’ambito del “1° Corso di Sicurezza ICT avanzato” presso la Direzione Corsi di Specializzazione Elettronica Optoelettronica ed Informatica per le Forze Armate, per i seguenti moduli: “Richiami sui sistemi operativi” (12 ore), “Richiami sulle reti di calcolatori” (34 ore), “Tecnologie anti intrusione e sistemi di autenticazione” (21 ore).
  - *docente*, nell’ambito del “2° Corso di Sicurezza ICT avanzato” presso la Direzione Corsi di Specializzazione Elettronica Optoelettronica ed Informatica per le Forze Armate, per i seguenti moduli: “Richiami sui sistemi operativi” (18 ore), “Richiami sulle reti di calcolatori” (27 ore), “Tecnologie anti intrusione e sistemi di autenticazione” (10 ore).
- Per l’a.a. 2005 - 2006 ha già ricevuto incarichi per le seguenti attività didattiche:



- *docenza* per il corso di “Sistemi Operativi” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
- *docenza* per il corso di “Informatica” della facoltà di Giurisprudenza presso l’Università degli studi “Roma Tre” (3 crediti formativi universitari, 30 ore).
- *docenza* per il corso “Didattica delle reti di calcolatori”, nell’ambito della Scuola di Specializzazione all’Insegnamento Secondario, indirizzo tecnologico (12 ore).
- *seminari* per il corso di “Impianti di elaborazione” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) nell’ambito della Facoltà di Ingegneria Informatica dell’Università di Roma Tre.
- *seminari* per il corso di “Reti 1” (laurea di primo livello in Ingegneria Informatica) nell’ambito della Facoltà di Ingegneria Informatica dell’Università di Roma Tre.
- *docente*, nell’ambito del Master di primo livello in “Sicurezza Informatica e delle Telecomunicazioni” della Facoltà di Ingegneria dell’Università degli Studi “Roma Tre” presso la Direzione Corsi di Specializzazione Elettronica Optoelettronica ed Informatica per le Forze Armate, per i seguenti moduli: “Introduzione” (5 ore), “Sistemi Operativi” (25 ore), “Vulnerabilità del software e delle reti” (13 ore), “Sicurezza dei sistemi operativi” (22 ore).
- Per l’a.a. 2006 - 2007 è stato impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* per il corso di “Sistemi Operativi” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
  - *docenza* per il corso di “Sicurezza dei Sistemi Informatici e delle Reti” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
  - *docenza* per il Master di secondo livello “Progettisti di Sistemi Informatici” della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” presso la Direzione Corsi di Specializzazione Elettronica Optoelettronica ed Informatica per le Forze Armate, per il modulo di “Reti di Calcolatori” (10 ore).
- Per l’a.a. 2007 - 2008 è stato, impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* per il corso di “Sicurezza dei Sistemi Informatici e delle Reti” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
  - *docenza* per il corso di “Sistemi Operativi” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
  - *docenza* per il modulo di “Sicurezza dei sistemi informatici” nel Master di secondo livello “Governare dei Sistemi Informativi: sviluppo, gestione,

monitoraggio” facoltà di Ingegneria, Università degli studi “Roma Tre” (8 ore).

- Per l'a.a. 2008 - 2009 è stato, impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* per il corso di “Sicurezza dei Sistemi Informatici e delle Reti” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
  - *docenza* per il corso di “Sistemi Operativi” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
- Per l'a.a. 2009 - 2010 è stato, impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* per il corso di “Sicurezza dei Sistemi Informatici e delle Reti” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (6 crediti formativi universitari, 60 ore).
  - *docenza* per il corso di “Sistemi Operativi” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” (5 crediti formativi universitari, 50 ore).
  - *docenza* per il modulo di “Sicurezza dei sistemi informatici” nel Master di secondo livello “Governo dei Sistemi Informativi: sviluppo, gestione, monitoraggio” facoltà di Ingegneria, Università degli studi “Roma Tre” (18 ore)
  - *docenza* per il modulo di “Sicurezza dei sistemi informatici” nel Master di secondo livello “Governo dei Sistemi Informativi: sviluppo, gestione, monitoraggio” facoltà di Ingegneria, Università degli studi “Roma Tre” (18 ore)
  - *docenza* per il modulo di “Reti di Calcolatori” nel Master di secondo livello “Governo dei Sistemi Informativi: sviluppo, gestione, monitoraggio” facoltà di Ingegneria, Università degli studi “Roma Tre” (10 ore)
- Negli anni dal 2010 al 2017 è stato, impegnato nelle seguenti attività didattiche:
  - *docenza* per il corso di “Sicurezza dei Sistemi Informatici e delle Reti” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” ora Dipartimento di Ingegneria.
  - *docenza* per il corso di “Sistemi Operativi” (laurea specialistica in Ingegneria Informatica) della facoltà di Ingegneria presso l’Università degli studi “Roma Tre” ora Dipartimento di Ingegneria.

## **ATTIVITÀ DI RICERCA**

L’attività di ricerca di Maurizio Pizzonia è iniziata nell’ambito degli algoritmi per la visualizzazione di informazioni e nel disegno di grafi. Gradualmente si è spostata verso tematiche relative alle reti e alla cybersecurity anche in

virtù di finanziamenti ricevuti dalla commissione europea con i progetti Leone e Preemptive.

Attualmente Gli interessi di ricerca di Maurizio Pizzonia comprendono le seguenti tematiche.

- Cybersecurity, negli ambiti Internet, infrastrutture critiche e industriali, cryptomonete, e colud computing. Tale tematica si coniuga con aspetti didattici essendo dal 2006 docente del corso di “Sicurezza dei sistemi Informatici e delle Reti” nell’ambito del corso di laurea in Ingegneria Informatica di Roma Tre.
- Reti di comunicazioni, negli ambiti dell'analisi dei dati di routing e di traffico provenienti dalla rete Internet
- Visualizzazione di informazioni reattive alla rete Internet e alla cybersecurity.

Nella sua attività di ricerca, egli pone grande attenzione agli aspetti applicativi e alle possibili ricadute industriali. In particolare, alcuni dei lavori prodotti nell'ambito delle reti di calcolatori (BGPlay e Netkit) sono tuttora progetti attivi con un bacino di utenza assodato. L'ambito di ricerca cybersecurity ha dato luogo ad una startup tecnologica per l'exploitation di risultati di ricerca. Alcuni dei suoi risultati di ricerca sono stati brevettati.

## 1. I lavori nell'ambito del disegno di grafi

L'area di ricerca del disegno automatico di grafi (“graph drawing”) ha un forte orientamento applicativo poiché mediante grafi si possono modellare molti fenomeni e sistemi reali, inoltre, intere aree dell'ingegneria esprimono i loro progetti mediante diagrammi che altro non sono se non una rappresentazione grafica di appropriati grafi. Un esempio fra tutti: l'area dell'ingegneria del software fa abbondante uso di schemi Entity-Relationship, class diagram, Data Flow Diagram, statechart diagram, ecc. La necessità di tali rappresentazioni è così sentita che sono stati creati degli standard il più noto dei quali è probabilmente l'Unified Modelling Language. Un così vasto campo di applicazioni stimola da tempo un'abbondante produzione di lavori di interesse sia pratico che teorico nell'area di ricerca del disegno di grafi.

Detto ciò è sorprendente come strumenti di ausilio alla creazione di software applichino tecnologie di disegno di grafi molto semplici con risultati deludenti. Le motivazioni dietro a questo fenomeno sono molteplici. Nella sua tesi di dottorato [T] Maurizio Pizzonia ha studiato, tra l'altro, una serie di problematiche teoriche e tecniche che rendono difficile l'applicazione delle tecniche di disegno automatico di grafi alle necessità industriali. Tale analisi mette in luce la difficoltà di coniugare le esigenze di standard di disegno complessi, perché pensati per una produzione manuale dei diagrammi, con le qualità estetiche che sono un obiettivo classico delle tecniche di disegno di grafi quali basso numero di incroci tra gli archi e di piegamenti, area ridotta, ecc.

La ricerca di Maurizio Pizzonia nell'area del graph drawing è principalmente indirizzata a colmare il divario tra teoria e pratica su problemi di disegno di grafi selezionati in base alla loro rilevanza applicativa. A tal proposito la sua ricerca è per lo più incentrata su standard di disegno che siano ampiamente utilizzati nelle applicazioni o su visualizzazione di diagrammi particolarmente complessi come quelli che derivano da applicazioni di Internetworking. Un approccio applicativo non può prescindere da una sperimentazione legata ad applicazioni concrete. I lavori [C19, J6, C14, J5, J4, J2, J1, C11, C10, C9, C6, C4, T] presentano realizzazioni applicative in cui molte delle tecniche studiate si dimostrano determinanti per la qualità dei disegni prodotti.

Nel lavoro di sperimentazione di tecniche di disegno di grafi nell'ambito delle reti di calcolatori i problemi legati al reperimento, all'aggregazione e all'elaborazione dei dati disponibili sono un ostacolo tutt'altro che secondario. Poiché tali tematiche sono importanti nell'area di ricerca delle reti di calcolatori esse sono state affrontate come temi di ricerca in [J6, C12, J4, J1, C11, C6].

Un interessante nuovo fronte di ricerca è quello dell'elaborazione dei dati disponibili circa la rete Internet al fine di ottenere informazioni non direttamente evidenti dai dati stessi, come ad esempio la natura delle relazioni di tipo economico tra le innumerevoli organizzazioni pubbliche e private che gestiscono la rete Internet. A questo fine nel lavoro mostrato in [C13] si applicano strumenti propri dell'ottimizzazione combinatoria a dati relativi all'instradamento nella rete Internet ottenendo, per la soluzione degli specifici problemi affrontati, risultati migliori di tutte le tecniche precedentemente note in letteratura.

In prospettiva tali risultati possono essere utili al fine di arricchire le informazioni fornite da strumenti software quali quelli descritti in [J6, C12, J4, J1, C11, C6].

### **1.1. L'approccio *topology-shape-metrics***

Molti degli standard di disegno adottati nell'industria sono di tipo ortogonale, cioè gli archi del grafo vengono disegnati con una poligonale i cui segmenti sono orizzontali o verticali. L'importanza applicativa di tale standard è ampiamente riconosciuta. L'attività di ricerca di Maurizio Pizzonia in tale campo si è concentrata soprattutto sull'approccio algoritmico noto come *topology-shape-metrics*, una delle metodologie più diffuse [C19, J5, J4, J3, J2, J1, C11, C10, C9, T, C7, C6, C5, C4, C3]. Tale approccio permette di ottenere un disegno tramite l'applicazione sequenziale di tre fasi.

La prima fase, detta *planarizzazione*, determina un ordinamento circolare degli archi incidenti su ciascun nodo. L'insieme di tali ordinamenti è detto *embedding*. Se il grafo è planare, e quindi ammette un disegno senza incroci, tale embedding sarà un embedding compatibile con un disegno planare. Grafi non planari vengono *planarizzati* in tale fase mediante l'inserimento di un certo numero di nodi fittizi che rappresentano incroci. Questi saranno tutti e soli gli incroci del disegno finale. Il problema

di testare la planarità di un grafo, ed eventualmente trovare l'embedding planare se esiste, è lineare. Tuttavia il problema di inserire il minor numero di nodi fittizi è NP-completo. Per questa fase viene quindi adottata una euristica che minimizzi, per quanto possibile, il numero di incroci.

La fase successiva, detta *ortogonalizzazione*, determina per ciascun arco la sequenza di piegamenti di  $90^\circ$  (a destra o a sinistra) che ciascun arco farà nel disegno. Inoltre viene assegnato a ciascun angolo, identificato da una coppia di archi incidenti su un nodo, una ampiezza in unità di  $90^\circ$ . Tale struttura viene detta *rappresentazione ortogonale*. L'obiettivo di questa fase è la minimizzazione del numero totale dei piegamenti sugli archi mantenendo invariato l'embedding precedentemente calcolato. Il problema può essere risolto in un tempo  $O(n^{7/4} \log n)$  utilizzando una interessante riduzione ad un problema di flusso a costo minimo.

Il calcolo delle coordinate dei nodi e dei piegamenti viene effettuato durante la successiva fase di *compattazione*. L'obiettivo di tale fase è quello di produrre un disegno di dimensione contenuta mantenendo costanti l'embedding e la rappresentazione ortogonale già calcolati. Purtroppo tale problema è stato dimostrato essere NP-completo. Il ricorso ad euristiche è quindi la scelta naturale anche in questo caso.

Studi empirici dimostrano come l'approccio topology-shape-metrics si comporta meglio di altre tecniche nel disegno di grafi secondo lo standard ortogonale. Tuttavia non è solo la qualità dei risultati a far preferire tale tecnica sulle altre. Infatti l'approccio topology-shape-metrics con la sua modularità permette di affrontare separatamente tre diversi problemi di ottimizzazione. Tale modularità si traduce anche in una interessante opportunità di sperimentazione poiché è possibile sostituire o modificare un dei passi dell'approccio e mantenere invariati gli altri. Inoltre è possibile introdurre varianti ai singoli passi al fine di supportare standard ortogonali vincolati in vari modi. I lavori [J5, J2, C10, C3, C4, T] presentano degli esempi di tale approccio.

## **1.2. Vertici di dimensione assegnata**

L'approccio topology-shape-metrics nella sua forma più semplice non permette all'utente di stabilire la dimensione che ciascun vertice avrà nel disegno finale ma tratta tutti i vertici come puntiformi. Moltissime applicazioni possono giovare di una tale possibilità che permette l'utilizzo dello spazio interno ai vertici per l'inserimento di etichette. Post-processamenti sono possibili per risolvere tale problema ma comportano normalmente grande dispendio di area.

In [C3] viene proposta una tecnica di compactazione che permette di ottenere disegni ortogonali i cui vertici siano di dimensione scelta dall'utente anziché puntiformi e contemporaneamente di ottenere un'area ridotta. Tale tecnica è anche la prima che permette di inserire vincoli sulla lunghezza degli archi in maniera arbitraria (purché non in conflitto tra loro).

Tale tecnica è utilizzata per ottenere standard di disegno simili a quelli usati in ingegneria del software [J5, J2, C10, T, C4] o come mezzo per generare diagrammi con un efficiente utilizzo dell'area di disegno [J4, J1, C11, C6].

### **1.3. Planarizzazione con embedding di profondità minima**

Nell'approccio topology-shape-metrics ciascun passo effettua delle scelte che non possono essere cambiate nei passi successivi. Il passo di planarizzazione, ad esempio, fissa un embedding che rimane immutato nel resto dell'esecuzione. Ovviamente la qualità del disegno prodotto può essere fortemente dipendente da tale scelta. Maurizio Pizzonia ha focalizzato la sua attenzione su grafi non biconnessi. In tali grafi la scelta dell'embedding attorno ai vertici di taglio determina come e quanto le componenti biconnesse sono annidate le une dentro le altre. Annidare componenti biconnesse significa rendere molto più difficile ottenere buoni risultati nelle fasi successive. Infatti se una faccia di una componente biconnessa ne contiene un'altra, magari di grosse dimensioni, gli archi della prima devono girare intorno alla seconda aumentando in questo modo la lunghezza totale degli archi ed il numero totale di piegamenti. Archi lunghi portano anche a aree molto grandi. Tale intuizione è stata formalizzata in [C5, T] dove si propone un algoritmo che permette di modificare l'ordine degli archi intorno ai vertici di taglio in modo da minimizzare la "profondità" dell'embedding risultante. L'algoritmo prende tempo lineare nel numero dei vertici del grafo, ed è di semplice implementazione poiché non richiede strutture di dati particolari. Una serie di risultati sperimentali comprovano l'intuizione che una bassa profondità dell'embedding porta ad un miglioramento della qualità del disegno finale pubblicati in [C19].

### **1.4. Standard di disegno complessi: schemi di basi di dati**

In [J5, J2, C10, T, C4] vengono presentate applicazioni nell'ambito del software engineering: il disegno automatico di schemi di database relazionali. Lo standard di disegno adottato prevede che ciascuna tabella (i nodi del grafo) venga rappresentata come un rettangolo contenente la lista dei suoi attributi. I vincoli di integrità referenziale dello schema vengono rappresentati come archi che incidono gli attributi coinvolti disegnati in maniera ortogonale. Tale standard è ampiamente accettato nella comunità di basi di dati. L'approccio utilizzato deriva dal topology-shape-metrics con un abbondante uso di vincoli in tutte le tre fasi e le tecniche per imporre tali vincoli sono tutte originali. Nella fase di planarizzazione l'embedding deve essere vincolato a rispettare l'ordinamento degli attributi all'interno delle tabelle. Nella fase di ortogonalizzazione deve essere rispettato il vincolo che gli archi incidano solo sui lati, destro o sinistro, delle tabelle. Nella fase di compattazione si adotta una versione modificata della tecnica esposta in [C3] per ottenere le tabelle della dimensione voluta e fare in modo che gli archi incidano sugli attributi che gli competono. Il motore di disegno realizzato per tale applicazione è stato poi inglobato in una interfaccia grafica amichevole che permette di ottenere il disegno dello schema di un database direttamente all'interno di un documento Microsoft Word e utilizzabile per scopi documentativi. Lo schema viene estratto da un database Microsoft Access. Tale architettura è descritta in [J5, J2, T].

### **1.5. Standard di disegno complessi: clustering**

Nelle applicazioni spesso la semantica prevede che il grafo sia organizzato secondo una struttura di raggruppamento logico. Esempi di tali applicazioni si trovano nell'ambito dell'ingegneria del software in cui gli elementi di un sistema sono normalmente raggruppati in package e sub-package e nell'ambito delle reti di calcolatori in cui i nodi di una rete sono raggruppati in Autonomous Systems a loro volta divisi in reti locali. La visualizzazione di grafi in tali ambiti trarrebbe grande vantaggio da tecniche che fossero in grado di convogliare graficamente tale aspetto semantico. Tali tecniche vengono dette di *clustering*. Nell'approccio topology-shape-metrics il clustering deve prevedere un supporto in tutte le fasi dell'elaborazione. Uno dei problemi più difficili in quest'ambito è quello del test di planarità clusterizzato. Il problema è risolvibile in tempo  $O(n^2)$  per grafi connessi in cui ciascun cluster è a sua volta connesso. Il problema per grafi clusterizzanti generici è ancora aperto. Si è dato un contributo alla soluzione di tale problema nei lavori [C16, J7, C18, J12] in cui si considerano specifiche classi di grafi clusterizzati altamente non connessi e si mostra come il problema del test di planarità clusterizzato per tali classi possa essere risolto in tempo lineare o quadratico. Tali classi sono in particolare cicli per cui i nodi sono clusterizzati in modo che il grafo dei cluster forma un ciclo o un grafo di cui è noto l'embedding.

### **1.6. Grafi di grandi dimensioni: esplorazione della topologia di Internet**

Il sistema Hermes [J4, J1, C11, C6] dimostra l'applicabilità dell'approccio topology-shape-metrics in un contesto applicativo estremamente difficile, dove la difficoltà questa volta non è nello standard di disegno ma nei dati stessi. Hermes permette di visualizzare la topologia di Internet a livello di *autonomous system*, per brevità AS. Un AS può essere considerato, in prima approssimazione, come un Internet Service Provider. Con Hermes l'utente esplora un grafo di grandi dimensioni contenente più di 6000 nodi, ciascuno dei quali rappresenta un AS, e più di 20000 archi, ciascuno dei quali rappresenta lo scambio di informazioni di routing a fronte di accordi per lo più di tipo commerciale tra gli AS. La visualizzazione contemporanea di tutto il grafo non è ovviamente praticabile. L'esplorazione in Hermes avviene interattivamente. In ciascun passo l'utente richiede l'introduzione di nuove parti del grafo in particolare richiedendo che tutti gli archi adiacenti ad un dato nodo vengano visualizzati. In tal modo i grafi che si devono visualizzare hanno una singolare caratteristica: è estremamente probabile ottenere nodi di grado molto alto (fino a circa 1000) per cui moltissimi dei nodi adiacenti hanno tutti grado 1. Gli approcci classici non riescono a sistemare un tale numero di nodi in un monitor. Per affrontare al meglio la visualizzazione di tali grafi si è introdotto un nuovo standard di disegno "pseudo-ortogonale" in cui i nodi di grado 1 vengono trattati in maniera particolare e disegnati con tecniche ad hoc attorno al loro nodo adiacente. Lo spazio per i nodi di grado uno è ottenuto utilizzando le stesse tecniche descritte in [C3].

## **1.7. Rappresentazioni di visibilità ed upward embedding**

Alcuni approcci per il disegno di grafi utilizzano come primo passo il calcolo di una *rappresentazioni di visibilità*, cioè disegni in cui ciascun vertice è rappresentato con un segmento orizzontale e ciascun arco con un segmento verticale (è possibile rappresentare in questo modo tutti i grafi planari). Calcolare una rappresentazione di visibilità è semplice utilizzando tecniche standard se il grafo in questione è biconnesso e dotato di embedding planare. Nel caso che il grafo non sia biconnesso si procede all'introduzione di archi fittizi che lo rendano biconnesso, tuttavia l'aggiunta di tali archi degrada il risultato dell'algoritmo di disegno. Ciò è aggravato dal fatto che il problema di aggiungere un numero minimo di archi fittizi è NP-hard e l'implementazione di un buon algoritmo di approssimazione è molto complessa.

Lo studio presentato in [J3, C7] permette di calcolare rappresentazioni di visibilità di grafi non biconnessi mediante il calcolo di un upward embedding. In un disegno upward di un grafo diretto ciascun arco è monotonamente diretto dal basso verso l'alto e per ciascun vertice gli archi entrano dal basso ed escono dall'alto. Le sequenze lineari degli archi entranti ed uscenti da ciascun vertice per un disegno upward identificano un upward embedding. Si può porre il problema in maniera diversa. Supponiamo che l'orientazione non sia data ma sia dato un embedding planare. In [J3, C7] viene fornita una caratterizzazione di tutti i possibili upward embedding coerenti con l'embedding planare dato. La caratterizzazione è data in termini di flussi ammissibili su una rete di flusso che dipende dall'embedding planare dato. La soluzione di tale problema di flusso è più efficiente degli algoritmi che rendono il grafo biconnesso e librerie di supporto sono maggiormente disponibili.

In [J3, C7] viene inoltre mostrato come sia possibile sfruttare tale caratterizzazione per minimizzare il numero di vertici con soli archi incidenti superiormente od inferiormente e si mostra anche come sia possibile ottenere un certo controllo tra altezza ed altezza del disegno mediante aggiustamenti sul flusso intorno ad eventuali vertici di taglio.

## **1.8. Navigazione in grafi "infiniti"**

La visualizzazione di grafi di grandi dimensioni (teoricamente infiniti) con tecniche interattive rientra in un interessante filone di ricerca, quello del disegno dinamico di grafi. In tale campo la qualità di un algoritmo non è legata solo alla qualità di un singolo disegno (*qualità statica*) ma anche alla qualità della sequenza che ha portato a tale disegno (*qualità dinamica*). In altre parole una buona sequenza è quella che introduce il "minimo cambiamento" tra un disegno ed il successivo. L'utilità pratica di tale approccio è evidente. L'utente che "modifica" il grafo desidera avere di fronte un disegno molto simile al precedente. Nella nostra situazione di navigazione su un grafo di grandi dimensioni abbiamo alcuni vantaggi, possiamo infatti conoscere il grafo che verrà visualizzato guardando oltre a ciò che l'utente vede con un meccanismo che chiamiamo *look-ahead*. In alcune applicazioni è anche possibile sapere quale zona di grafo l'utente esplorerà nei prossimi  $k$  passi. Il problema della navigazione con look-ahead è stato affrontato per gli alberi, una classe di grafi elementare, ma



sufficientemente espressiva da essere spesso utilizzata per la rappresentazione della struttura di siti Web. In [C8] sono stati proposti algoritmi con look-ahead di  $k$  passi per alberi infiniti. Si è visto per tali algoritmi che mentre la qualità statica diminuisce al crescere di  $k$  non è del tutto ovvio che la qualità dinamica migliori. Per uno degli algoritmi proposti in [C8] si è dimostrato che l'aumento di  $k$  comporta sempre un miglioramento della qualità dinamica.

### **1.9. Problematiche architetture dei sistemi per il disegno di grafi**

La realizzazione di sistemi complessi come quelli per il disegno di grafi si basa sulla composizione di un gran numero di tecniche frutto di anni di ricerca. La possibilità di sperimentare nuove tecniche di disegno e di adattare tecniche note alle specifiche esigenze delle applicazioni dipende in maniera determinante dalla possibilità di dotarsi di librerie software che mettano a disposizione gli strumenti di base necessari. Per strumenti di base intendiamo strutture dati per il disegno di grafi che non sono normalmente disponibili nelle librerie di strutture dati ed algoritmi, quali ad esempio grafi, embedding planari, rappresentazioni ortogonali, ecc. Librerie di tal genere sono già disponibili (due esempi notevoli sono AGD e GDToolkit) tuttavia l'esperienza realizzativa mostra come tali strumenti sono da un lato estremamente complessi da usare, quindi utilizzabili solo da esperti, dall'altro molto poco flessibili, cosa che di fatto ne limita le potenzialità.

Maurizio Pizzonia ha studiato le problematiche architetture che rendono estremamente complessa la realizzazione di tale tipo di librerie [C1, T]. Data la complessità di tali librerie l'adozione di un paradigma descrittivo orientato agli oggetti è la scelta obbligata e oramai comunemente accettata nel campo. Tuttavia l'orientazione agli oggetti non è da sola sufficiente ad assicurare flessibilità ed estendibilità. Infatti, se da un lato si vuole sfruttare l'orientazione agli oggetti al fine di dare delle classi (o interfacce) che siano quanto più simile al linguaggio usato nel mondo scientifico, dall'altro le interazioni tra i vari concetti possono essere molto complesse e difficili da modellare. Ad esempio, l'utilizzo di classi per rappresentare grafi con determinate proprietà porta o ad uno utilizzo dell'ereditarietà multipla che ne limita l'estendibilità, o alla limitazione di rappresentare le proprietà di un oggetto una alla volta. Inoltre i grafi cambiano le loro proprietà nel corso dell'esecuzione degli algoritmi mentre la tipizzazione normalmente supportata dai linguaggi più diffusi ed efficienti (ad esempio C++) e di tipo statico.

In [C4, T] si è dettagliatamente descritto l'utilizzo della libreria GDToolkit per l'implementazione del motore di disegno per schemi di database relazionali presentato nei lavori stessi. Inoltre l'architettura proposta mira a produrre un motore di disegno che sia molto semplice da usare per sviluppatori non specialisti ed estremamente mirato all'applicazione in esame.

### **1.10. Complessità di problemi legati al disegno di grafi**

Il problema affrontato in [C8] è quello di ottenere un taglio di un grafo che sia anche un matching. Tale problema nasce osservando che esistono

algoritmi di disegno di grafi che creano il disegno partendo da un disegno degenerare in cui tutti i nodi hanno la stessa posizione e procedono separando i nodi in modo che essi assumano una posizione simile a quella finale. La qualità dei disegni ottenuti ed il tempo di calcolo migliorano nel caso che il taglio in questione sia un matching è quindi naturale porsi il problema di quanto sia difficile trovare un tale tipo di taglio. In [C8] è mostrato che verificare l'esistenza di un taglio che sia anche un matching è un problema NP-completo.

## 2. Strumenti e tecniche per lo studio delle reti di calcolatori

I lavori [C13, C12, J4, J1, C11, C6, J6, J9, J10, J11] presentano strumenti algoritmici per l'analisi di vari aspetti legati al routing a livello di AS all'interno della rete Internet. Alcuni di tali lavori sono pesantemente basati su tecniche di graph drawing.

Un AS può essere considerato, in prima approssimazione, come un Internet Service Provider. In Internet informazioni di routing vengono scambiate tra AS "adiacenti" per mezzo del protocollo BGP il quale permette ai router degli AS di scambiarsi informazioni di raggiungibilità, dette *annunci*. Un annuncio contiene una indicazione della zona di Internet interessata, identificata mediante il cosiddetto *prefisso*, a cui sono relative le informazioni di raggiungibilità e il cammino (*AS-path*) per arrivare a tale zona. Poiché la topologia di Internet subisce continui cambiamenti (dovuti a malfunzionamenti degli apparati, cambiamento degli accordi commerciali, ecc.) tali annunci tengono costantemente aggiornate le informazioni di routing degli apparati. Le fonti dati disponibili in questo campo sono molteplici e molte sono pubblicamente accessibili via Web. Tali fonti possono essere di vario tipo: *amministrativo (statico)*, nel qual caso sono aggiornate manualmente e rappresentano Internet come dichiarata dalle varie organizzazioni coinvolte agli *Internet routing registries*; *operativo (dinamico)*, nel qual caso i dati provengono direttamente dalle apparecchiature di routing coinvolte nei processi di instradamento. Per ciascuna categoria possiamo avere dati *istantanei*, cioè relativi al momento attuale, o *storici* cioè relativi a varie "istantanee" prese nel passato, normalmente ad intervalli regolari.

I dati operativi sono disponibili mediante accesso, diretto o mediato da interfacce Web, alle apparecchiature di rete (*looking glasses*). Archivi storici sono disponibili su Internet sia per quanto riguarda istantanee delle tabelle di instradamento sia per quanto riguarda la storia degli annunci.

Le tecniche e gli strumenti presentati in [C13, C12, J4, J1, C11, C6, J6, J9, J10, J11] fanno tutti riferimento a dati classificabili come appena detto.

### **2.1. Sistemi per l'analisi visuale di Internet**

Il sistema Hermes descritto in [J4, J1, C11, C6] integra i dati relativi al routing da vari routing registries e ne permette l'esplorazione mediante un sistema client-server accessibile vie Web che evidenzia la topologia, la copertura di ciascun routing registry nella zona esplorata, i dati estratti dai registries per ciascun AS visualizzato.

Un altro aspetto dell'analisi di Internet è lo studio della dinamica dell'instradamento in Internet, molto importante per la gestione e per lo studio delle proprietà statistiche di malfunzionamenti e altri fenomeni dinamici. Gli aspetti dinamici del routing vengono studiati mediante l'osservazione degli annunci BGP. Il sistema Bgplay descritto in [C12, C14, J6, J9] integra due sorgenti storiche di dati relative ad annunci BGP, effettuando delle copie locali dei dati qualora le caratteristiche dei dati lo necessitano, e ne permette l'*animazione* per mezzo di tecniche di graph drawing. Il sistema ha una architettura client-server accessibile via Web. Tale sistema è stato adottato da organizzazioni internazionali quali RIPE NCC (Routing Information Service) e Oregon University (RouteViews project) per la pubblicazione di dati di routing interdominio. Esso ha ricevuto e riceve tuttora apprezzamenti da parte del mondo industriale. Dal progetto BGPlay è nato il progetto iBGPlay, una versione di BGPlay per la visualizzazione di dati di proprietà dell'ISP ([www.ibgplay.org](http://www.ibgplay.org)). Una evoluzione del sistema BGPlay è in grado di visualizzare anche relazioni di tipo economico tra Autonomous Systems secondo uno standard di disegno di tipo topografico in cui Internet è rappresentata come una montagna con gli i grandi carrier internazionali sulla cima e gli AS meno importanti al livello del mare [J8].

Dal punto di vista dell'esplorazione dell'interno di un singolo AS il sistema Polyphemus descritto in [J4, C11], permette la visualizzazione dei singoli router. Esso è dotato di un sistema di discovery della topologia e permette la visualizzazione di essa mediante varianti dell'approccio topology-shape-metrics specificatamente sviluppati per tale dominio applicativo.

## **2.2. Inferenza delle relazioni commerciali tra autonomous systems**

In una tabella di routing di router BGP gli AS-path associati a ciascun prefisso rappresentano una parte della topologia della rete Internet a livello di AS ed in particolare rappresentano l'insieme dei cammini che il traffico in partenza dal router percorre per arrivare a ciascuna destinazione su Internet. Recentemente vari lavori hanno posto l'attenzione sul problema di inferire, a partire da tali dati, le relazioni economico/contrattuali esistenti tra gli innumerevoli AS che compongono Internet. Tali relazioni possono essere di vario tipo: customer-provider, peer-peer, sibling-sibling, ecc. Ciascuna relazione impone delle regole al routing che verranno realizzate mediante opportune configurazioni degli apparati di routing. Tali regole si riflettono sugli AS-path contenuti nelle tabelle di instradamento di tutti i router BGP di Internet.

Supponiamo, per semplicità, che gli AS di Internet abbiano tra di loro dei rapporti contrattuali sempre del tipo customer-provider e che tutte le apparecchiature siano configurate correttamente. Sotto tali ipotesi gli AS-path di tutti i router BGP in Internet sarebbero tutti composti da una parte "ascendente" formata da relazioni customer-provider (possibilmente nulla) e da una parte "discendente" formata da relazioni provider-customer (possibilmente nulla), tale configurazione è detta *valley-free*. In vari lavori è stato osservato che il modello valley-free approssima con un buon grado di accuratezza la realtà.

Nel lavoro esposto in [C13, J11] si considera il problema di orientare ciascuna relazione tra AS (cioè assegnare il ruolo, customer o provider, agli estremi di ciascun arco del grafo degli AS) in modo da minimizzare il numero di AS-path non valley-free. In [C13, J11] si dimostra che tale problema è NP-completo e che tuttavia è possibile verificare in tempo polinomiale (lineare) se esiste una orientazione in cui tutti i cammini sono valley-free. Viene quindi proposta una euristica che permette di trovare un insieme massimale di cammini per il quale sia possibile trovare una orientazione nel quale tutti gli AS-path risultino valley-free.

La teoria utilizzata sia nella dimostrazione di NP-completezza sia nella euristica prevede l'utilizzo di una riduzione del problema descritto ad un problema di soddisfacibilità di una formula logica in forma normale congiuntiva con 2 letterali per clausola (2SAT).

I dati sperimentali dimostrano che l'euristica descritta in [C13, J11] ottiene risultati migliori (in termini del numero di cammini valley-free) di qualsiasi altra euristica nota in letteratura fino a questo momento. I test comparativi con le altre euristiche note sono state effettuati su insiemi di dati disponibili su Web.

Nel lavoro [C15] vengono messi in relazione i risultati di due algoritmi per l'inferenza di relazioni commerciali tra AS (tra cui quello descritto in [C13]). In tale lavoro si nota come i risultati dell'inferenza dipendono poco dall'algoritmo che si usa per il calcolo e che le proprietà di stabilità nel tempo sono coerenti con la scala dei tempi con cui le relazioni commerciali tra AS cambiano.

### **2.3. Ottimizzazione del traffico tra Autonomous Systems**

L'ottimizzazione del traffico entrante in un AS, al fine di bilanciare il traffico tra i vari provider, di ridurre i costi o ottenere maggiore affidabilità è notoriamente un problema di difficile soluzione poiché i percorsi del traffico vengono scelti dal protocollo BGP, cioè da un processo distribuito che potenzialmente può coinvolgere un gran numero di router in Internet. Inoltre, mentre i percorsi scelti in un dato istante sono noti almeno ad alcuni router della rete, i percorsi potenzialmente ammessi ma non scelti non sono noti ad alcun router. Le tecniche di collezionamento dati adottate non possono quindi mostrarli. Tuttavia, la conoscenza di tali percorsi alternativi permetterebbe sia di valutare l'affidabilità della connessione al resto di Internet sia di effettuare una ingegnerizzazione del traffico a fini di ottimizzazione.

In [C20, J10] si è fornita una tecnica basata sull'uso di annunci BGP standard per costringere il protocollo a scoprire i percorsi alternativi. In tali lavori si mostra come sia possibile con tale tecnica ottenere molte più informazioni che con un semplice osservazione di ciò che è noto ad i router in un certo momento: il numero di scopribili AS viene moltiplicato per 3, il numero delle connessioni scopribili viene moltiplicato per 7.

In [C17] si è fornito un possibile modello per l'ingegnerizzazione del traffico entrante in un AS basato su strumenti BGP standard (prepending). La tecnica si avvale di un approccio che prevede la soluzione o di un problema di programmazione lineare intera o di un problema geometrico in uno spazio  $n$ -dimensionale dove  $n$  è il numero dei provider dell'AS di interesse.

## **2.4. Identificazione di fault da traceroutes e visualizzazione**

In [C26, C27] si mostra come sia possibile elaborare un gran quantitativo di traceroute per estrarne una descrizione concisa ed usabile da un ISP delle cause e delle caratteristiche delle variazioni di routing avvenute. Questa tematica di ricerca è stato un interessante risultato della collaborazione avvenuta con un grand ISP internazionale nell'ambito del progetto europeo Leone. La bontà dell'inferenza è stata verificata su dati reali con eventi di routing sia spontanei che generati appositamente. I dati prodotti da tale tecnica sono stati poi visualizzati in [C29].

## **3. Strumenti per la virtualizzazione per la didattica delle reti di calcolatori**

Lo studio delle reti di calcolatori a livello universitario e di ricerca non può prescindere dalla prova sul campo delle tecniche e dei protocolli. Tuttavia, l'acquisto e la gestione di un gran numero di apparati di rete è raramente alla portata di università ed enti di ricerca. In [C21, J14] viene descritto un sistema per creazione di reti virtuale in cui è possibile emulare tutto ciò che è supportato da un qualsiasi sistema basato sul kernel Linux: forwarding di livello 2 e 3 unicast, multicast e label switching, protocolli di routing, e servizi di ogni genere. Tale sistema è inoltre interessante per il test di configurazioni di sicurezza. L'applicabilità è principalmente in ambito didattico e di ricerca.

## **4. Cybersecurity**

La tematica di ricerca cybersecurity è stata affrontata in [C24, C28] e nell'ambito del progetto di ricerca Preemptive, specificatamente mirato alla sicurezza dei sistemi industriali che ha dato luogo ai lavori [C30, C31, C32, B2]. In [C28] si mostra un sistema di visualizzazione della struttura dati blockchain che è alla base della criptomoneta BitCoin. Blockchain è di fatto una specifica *struttura dati autenticata*, cioè una struttura dati su cui le query possono essere verificate in maniera efficiente contro un singolo valore che rappresenta l'hash crittografico dell'intera struttura dati. In questo modo la struttura dati può essere usata su sistemi di memorizzazione non fidati (ad esempio in cloud). Tecniche per ottimizzare l'uso di strutture dati non fidate memorizzate in un database sono mostrate in [C24]. Strutture dati autenticate sono anche alla base di [C31] in cui si mostra un sistema per permettere l'uso di *pen drive USB* qualsiasi in sistemi critici in cui si vuole evitare di propagare malware, o dati manomessi, da sistemi regolari (anche personali e quindi non gestiti) verso sistemi critici. Tale approccio, non essendo basato su signature (come ad esempio gli antivirus) permette di proteggere i sistemi critici da qualsiasi attacco ai dati. Tuttavia, in tale lavoro si presume il pen drive sia passivo, cioè non abbia capacità di calcolo propria. Nella realtà questo non è vero. Il controller di una pen drive esegue un firmware che può essere esso stesso oggetto di attacco. L'esempio più tipico è l'attacco noto come BadUSB in cui il firmware del pen drive viene manomesso al fine di emulare una tastiera. L'attacco in questo caso consiste nell'inviare

“comandi” malevoli al computer come se questi fossero digitati da un utente. Per proteggere sistemi critici da questo tipo di attacchi, si è sviluppato un sistema, che prevede una implementazione hardware che abbiamo chiamato USBCheckIn, che forza l'utente a interagire con la tastiera prima che questa possa inviare caratteri al sistema. In questo modo, nessuna emulazione di tastiera può inviare dati al computer, neanche in caso di utente malevolo che inserisca il pen drive infetto di proposito. Tale lavoro è documentato in [C32] ed è stato brevettato [B2].

Alcune delle public azioni in ambito networking possono essere considerate relative a cybersecurity in quanto certi risultati aumentano la capacità degli ISP nel contrasto di incidenti che compromettono la disponibilità del servizio di connettività.

## PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE

- C1 M. Pizzonia, G. Di Battista. **Object-oriented design of graph oriented data structures**. In M. T. Goodrich and C. C. McGeoch, editors, *Algorithm Engineering and Experimentation (ALENEX '99)*, vol. 1619 of Lecture Notes Comp. Sci., pages 140–155, Springer-Verlag, 1999.
- C2 C. Demetrescu, G. Di Battista, I. Finocchi, G. Liotta, M. Patrignani, M. Pizzonia. **Infinite trees and the future**. In J. Kratochvil, editor, *Graph Drawing (Proc. GD'99)*, Volume 1731 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 379–391, Springer-Verlag, 1999.
- C3 G. Di Battista, W. Didimo, M. Patrignani, M. Pizzonia. **Orthogonal and quasi-upward drawings with vertices of prescribed size**. In J. Kratochvil, editor, *Graph Drawing (Proc. GD'99)*, Volume 1731 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 297–310, Springer-Verlag, 1999.
- C4 G. Di Battista, W. Didimo, M. Patrignani, M. Pizzonia. **Drawing relational schemas**. In W. de Leeuw e R. van Liere (eds.) *Data Visualization 2000*, pages 53–62, SpringerWienNewYork, 2000.
- C5 M. Pizzonia, R. Tamassia. **Minimum depth graph embedding**. In M. Paterson, editor, *ESA: Annual European Symposium on Algorithms*, Volume 1879 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 356–367, Springer-Verlag, 2000.
- C6 A. Carmignani, G. Di Battista, W. Didimo, F. Matera, M. Pizzonia, **Visualization of the Autonomous Systems Interconnections with Hermes**, In J. Marks, editor, *Graph Drawing (Proc. GD 2000)*, Volume 1984 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 150–163, Springer-Verlag, 2000.

- C7 W. Didimo, M. Pizzonia, **Upward Embeddings and Orientations of Undirected Planar Graphs**, *Proc. 7th Workshop Algorithms Data Struct. (WADS'01)*, Volume 2125 of Lecture Notes Comput. Sci., Springer-Verlag, pages 339-ff, Springer-Verlag, 2001.
- C8 M. Patrignani, M. Pizzonia, **The Complexity of the Matching-Cut Problem**, *27th International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science (WG 2001)*, Volume 2204 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 284-295, Springer-Verlag, 2001.
- T M. Pizzonia. **Engineering of graph drawing algorithms for applications**. *Ph.D. thesis*, Dipartimento di Informatica e Sistemistica, Università "La Sapienza" di Roma, 2001.
- C9 W. Didimo, M. Patrignani, M. Pizzonia, **Industrial Plant Drawer**, *Graph Drawing (Proc. GD 2001)*, Volume 2265 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 475–476, Springer-Verlag, 2002.
- C10 G. Di Battista, W. Didimo, M. Patrignani, M. Pizzonia, **Drawing Database Schemas with Dbdraw**, *Graph Drawing (Proc. GD 2001)*, Volume 2265 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 451–452, Springer-Verlag, 2002.
- C11 G. Barbagallo, A. Carmignani, G. Di Battista, W. Didimo, M. Pizzonia, **Exploration and Visualization of Computer Networks: Polyphemus and Hermes**, *Graph Drawing (Proc. GD 2001)*, Volume 2265 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 444–445, Springer-Verlag, 2002.
- J1 Andrea Carmignani, Giuseppe Di Battista, Walter Didimo, Francesco Matera, Maurizio Pizzonia. **Visualization of the High Level Structure of the Internet with Hermes**. *Journal of Graph Algorithms and Applications*, Vol. 6, no. 3, pp. 281-311, 2002.
- J2 Di Battista, W. Didimo, M. Patrignani, M. Pizzonia. **Drawing database schemas**. *Software: Practice & Experience*, Volume 32 (11), pages 1065-1098, John Wiley & Sons, 2002.
- J3 W. Didimo, M. Pizzonia. **Upward Embeddings and Orientations of Undirected Planar Graphs**. *Journal of Graph Algorithms and Applications*. Volume 7(2), pages 221-241, 2003.
- J4 G. Barbagallo, A. Carmignani, G. Di Battista, W. Didimo, M. Pizzonia. **Polyphemus and Hermes – Exploration and Visualization of Computer Networks**. In P. Mutzel e M. Juenger (eds.), *Graph Drawing Software, Mathematics and Visualization*, pages 341-364, Springer-Verlag, 2003.
- J5 G. Di Battista, W. Didimo, M. Patrignani, M. Pizzonia. **DBdraw – Automatic Layout of Relational Database Schemas**. In P. Mutzel e

- M. Juenger (eds.), Graph Drawing Software, Mathematics and Visualization, pages 237-256, Springer-Verlag, 2004.
- C12 G. Di Battista, F. Mariani, M. Patrignani, M. Pizzonia. **Archives of BGP Updates: Integration and Visualization**. International Workshop on Inter-domain Performance and Simulation. IPS 2003. On-line <http://www.ist-intermon.org/workshop/>.
- C13 G. Di Battista, M. Patrignani, M. Pizzonia. **Computing the Type of Relationships Between Autonomous Systems**. IEEE INFOCOM 2003, The Conference on Computer Communications, The 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.
- C14 G. Di Battista, F. Mariani, M. Patrignani, M. Pizzonia. **BGPlay: a System for Visualizing the Interdomain Routing Evolution**, Giuseppe Liotta, editor, Graph Drawing (Proc. GD '03), Lecture Notes Comput. Sci., pages 295-306, Springer-Verlag, 2004.
- C15 M. Rimondini, M. Pizzonia, G. Di Battista, M. Patrignani. **Algorithms for the Inference of the Commercial Relationships between Autonomous Systems: Results Analysis and Model Validation**. In Proceedings of IPS 2004, International Workshop on Inter-domain Performance and Simulation, Budapest, Hungary, 22-23 March, 2004, pag. 33-45.
- C16 P. Francesco Cortese, G. Di Battista, M. Patrignani, M. Pizzonia. **Clustering Cycles into Cycles of Clusters**. In János Pach, editor, Graph Drawing (Proc. GD '04), volume 3383 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 100-110, Springer-Verlag. 2004.
- C17 G. Di Battista, M. Patrignani, M. Pizzonia, M. Rimondini. **Towards Optimal Prepending for Incoming Traffic Engineering**. In Proceedings of IPS-MoMe 2005, Third International Workshop on Internet Performance, Simulation, Monitoring and Measurement, March 14-15, 2005, Warsaw, Poland.
- J6 L. Colitti, G. Di Battista, F. Mariani, M. Patrignani, M. Pizzonia. **Visualizing Interdomain Routing with BGPlay**. In Giuseppe Liotta, Guest editor, Journal of Graph Algorithms and Applications, Special Issue on the 2003 Symposium on Graph Drawing, GD '03. 9(1):117-148. 2005
- J7 P. F. Cortese, G. Di Battista, M. Patrignani, M. Pizzonia. **Clustering Cycles into Cycles of Clusters**. In Emden R. Gansner and János Pach, Guest editors, Journal of Graph Algorithms and Applications, Special Issue on the 2004 Symposium on Graph Drawing, GD '04. 9(3):391-413. 2005.



- C18 P. F. Cortese, G. Di Battista, M. Patrignani, M. Pizzonia. **On Embedding a Cycle in a Plane Graph**. In Peter Eades and Patrick Healy, editors, Graph Drawing (Proc. GD '05), Lecture Notes Comput. Sci., Springer-Verlag, volume 3843 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 46-60, 2005.
- C19 M. Pizzonia. **Minimum Depth Graph Embeddings and Quality of the Drawings: an Experimental Analysis**. In Peter Eades and Patrick Healy, editors, Graph Drawing (Proc. GD '05), Lecture Notes Comput. Sci., Springer-Verlag, volume 3843 of Lecture Notes Comput. Sci., pages 397-408, 2005.
- J8 Pier Francesco Cortese, Giuseppe Di Battista, Antonello Moneta, Maurizio Patrignani, Maurizio Pizzonia. **Topographic Visualization of Prefix Propagation in the Internet**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 12(5):725-732. 2006.
- C20 Lorenzo Colitti, Giuseppe Di Battista, Maurizio Patrignani, Maurizio Pizzonia, Massimo Rimondini. **Investigating Prefix Propagation through Active BGP Probing**. In 11th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2006), IEEE Computer Society, pages 497-504, 2006.
- J9 P. Giacomazzi, A. Lapiana, G. Mulas, L. Musumeci, G. Paltenghi, M. Pizzonia, D. Ragazzi, I. Sartini, G. Verticale. **Adaptive Networks**. In Mobile Information Systems: Infrastructure and Design for Adaptivity and Flexibility, pages 117-153, 2006.
- J10 Lorenzo Colitti, Giuseppe Di Battista, Maurizio Patrignani, Maurizio Pizzonia, Massimo Rimondini. **Investigating Prefix Propagation through Active BGP Probing**. Microprocessors and Microsystems. 31:460-474. 2007.
- J11 Giuseppe Di Battista, Thomas Erlebach, Alexander Hall, Maurizio Patrignani, Maurizio Pizzonia, Thomas Schank. **Computing the Types of the Relationships between Autonomous Systems**. IEEE/ACM Transactions on Networking. 15(2):267-280. Apr 2007.
- J12 Pier Francesco Cortese, Giuseppe Di Battista, Maurizio Patrignani, Maurizio Pizzonia. **On Embedding a Cycle in a Plane Graph**. Discrete Mathematics. 309(7):1856-1869. Apr 2009.
- C21 Maurizio Pizzonia, Massimo Rimondini. **Netkit: Easy Emulation of Complex Networks on Inexpensive Hardware**. In Proc. International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities (TridentCom 2008).
- J13 Pier Francesco Cortese, Giuseppe Di Battista, Fabrizio Frati, Maurizio Patrignani, Maurizio Pizzonia. **C-Planarity of C-Connected**

**Clustered Graphs.** Journal of Graph Algorithms and Applications. 12(2):225-262. Nov 2008

- C22 Stefano Vissicchio, Luca Cittadini, Maurizio Pizzonia, Luca Vergantini, Valerio Mezzapesa, Maria Luisa Papagni . **Beyond the Best: Real-Time Non-Invasive Collection of BGP Messages.** In Internet Network Management Workshop/Workshop on Research on Enterprise Networking (INM/WREN 2010), USENIX, 2010.
- C23 Pier Francesco Cortese, Francesco Gemmiti, Bernardo Palazzi, Maurizio Pizzonia, Massimo Rimondini. **Efficient and Practical Authentication of PUF-based RFID Tags in Supply Chains.** In Proc. IEEE International Conference on RFID-Technology and Applications (RFID-TA 2010), IEEE pages 182-188, 2010.
- C24 Bernardo Palazzi, Maurizio Pizzonia, Stefano Pucacco. **Query Racing: Fast Completeness Certification of Query Results.** In Proc. Working Conference on Data and Applications Security and Privacy (DBSEC'10), Springer Verlag, volume 6166 of Lecture Notes in Computer Science, pages 177-192, 2010.
- C25 Giacomo Balestra, Salvatore Luciano, Maurizio Pizzonia, Stefano Vissicchio. **Leveraging Router Programmability for Traffic Matrix Computation.** In Proc. Workshop on Programmable Routers for Extensible Services of Tomorrow (PRESTO 2010), ACM, 2010.
- B1 Giacomo Balestra, Salvatore Luciano, Maurizio Pizzonia, Stefano Vissicchio.. **Metodo per la misura della matrice di traffico in reti di telecomunicazioni basate su pacchetti (Method to Measure Traffic Matrix in Datagram Based Telecommunication Networks).** IT patent pending May 2010, RM2010A000279. 2010.
- J14 Maurizio Pizzonia, Massimo Rimondini. **Netkit: Network Emulation for Education.** Software: Practice and Experience. 46(2):133-165. Feb 2016. *First appeared online in 2014.*
- C26 Valentino Di Donato, Marco Di Bartolomeo, Maurizio Pizzonia. **Visual Correlation Of Large-Scale Network Measurements With TPlay.** In Proc. 23rd European Conference on Networks and Communications (EuCNC 2014), 2014. *Poster.*
- C27 Marco Di Bartolomeo, Valentino Di Donato, Maurizio Pizzonia, Claudio Squarcella, Massimo Rimondini. **Discovering High-Impact Routing Events Using Traceroutes.** In Proc. 20th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2015), IEEE, pages 295-300, 2015. Best International Paper Award.
- C28 Giuseppe Di Battista, Valentino Di Donato, Maurizio Patrignani, Maurizio Pizzonia, Vincenzo Roselli, Roberto Tamassia.

[BitConeView: Visualization of Flows in the Bitcoin Transaction Graph](#). In, Lane Harrison, Nicolas Prigent, Sophie Engle, Daniel M. Best, editors, Proc. 12th IEEE Symposium on Visualization for Cyber Security (VizSec 2015), IEEE, pages 1-8, 2015.

- C29 Davide Ceneda, Marco Di Bartolomeo, Valentino Di Donato, Maurizio Patrignani, Maurizio Pizzonia, Massimo Rimondini. **RoutingWatch: Visual Exploration and Analysis of Routing Events**. In, Melike Erol-Kantarci, Brendan Jennings, Helmut Reiser, editors, Proc. IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS 2016), pages 591-597, 2016.
- C30 Roberto di Lallo, Federico Griscioli, Gabriele Lospoto, Habib Mostafaei, Maurizio Pizzonia, Massimo Rimondini. **Leveraging SDN to Monitor Critical Infrastructure Networks in a Smarter Way**. In Proc. IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2017), 2017.
- C31 Federico Griscioli, Maurizio Pizzonia. **Securing promiscuous use of untrusted usb thumb drives in industrial control systems**. In Proceedings of the 14th Annual Conference on Privacy Security and Trust (PST 2016). IEEE.
- C32 Federico Griscioli, Maurizio Pizzonia, Marco Sacchetti. **UsbCheckIn: Preventing BadUSB attacks by forcing human-device interaction**. In Proceedings of the 14th Annual Conference on Privacy Security and Trust (PST 2016). IEEE.
- B2 Federico Griscioli, Maurizio Pizzonia, Marco Sacchetti. **Metodo e apparato per la protezione di apparecchiature elettroniche con interfaccia USB da attacchi che emulano un human interface device**. IT patent N. 102016000125464. Patent pending 2016.

*Autorizzo al trattamento dei miei dati nel rispetto del D. Lgs. n. 196/2003.*

Roma, 7 marzo 2017

Maurizio Pizzonia