

PROGRAMMA DI RICERCA - MODELLO A
Anno 2006 - prot. 2006091851

PARTE I

1.1 Programma di Ricerca afferente a

Area Scientifico Disciplinare 09: Ingegneria industriale e dell'informazione 100%

1.2 Titolo del Programma di Ricerca

Testo italiano

CARTOON - Context Aware Routing Over Opportunistic Networks

Testo inglese

CARTOON - Context Aware Routing Over Opportunistic Networks

1.3 Abstract del Programma di Ricerca

Testo italiano

Nell'esperienza quotidiana di persone che si muovono all'interno di un'area urbana, un'università, o un palazzo ci sono molte applicazioni, che spaziano dal controllo ambientale all'intrattenimento, alla coordinazione di gruppo, alla condivisione di informazioni, per le quali la disponibilità di un'infrastruttura di rete wireless magliata, a basso costo e scalabile offrirebbe capacità di interazione fra dispositivi mobili più flessibile di quanto oggi consentito dalle classiche reti di accesso wireless *one hop*. Studi recenti sui comportamenti di aggregazione e di mobilità umana, affiancati da esperienze sul campo, hanno messo in luce che una tale infrastruttura ad hoc potrebbe essere facilmente realizzata abilitando i dispositivi radio, trasportati da veicoli e da persone, a comportarsi come nodi di instradamento di una rete a maglia in aggiunta alla loro normale capacità di fornire connessione diretta a punti informativi e di accesso alla rete. Il termine di *reti opportunistiche* è spesso utilizzato per identificare questo tipo di reti mobili in grado di fornire copertura a corto raggio all'interno di un'area limitata (ad esempio, un quartiere, un campus o un centro commerciale).

Le *reti opportunistiche* sono reti in grado di tollerare ritardi trasmissivi e nelle quali i nodi stabiliscono connessioni temporanee tra loro per il *forwarding* dei pacchetti utilizzando l'opportunità di connessione offerta da un'altra stazione all'interno del raggio di comunicazione. Nel caso non siano disponibili altri dispositivi nelle vicinanze, il pacchetto viene memorizzato localmente in attesa di una nuova possibilità di spedizione che si verificherà a creare per effetto della mobilità dei nodi.

Questa è un'area di ricerca emergente ed una tecnologia promettente per supportare *ubiquitous computing*. Tuttavia, per consentire che ciò accada, un grosso sforzo di ricerca è richiesto per progettare sistemi di comunicazione tra nodi che siano flessibili, affidabili ed efficienti.

CARTOON si focalizzerà sulla progettazione di protocolli originali per reti sia "reali" che virtuali (*overlay*). Per soddisfare i vincoli di efficienza e flessibilità, CARTOON realizzerà protocolli *sensibili al contesto*, cioè protocolli che tengono conto anche di informazioni provenienti da un gestore di risorse locali e da altri dispositivi vicini oltre che di quelle provenienti dai livelli inferiori e superiori dello stack. In questo contesto emergente la ricerca produrrà tre contributi principali:

- i) progettazione ed analisi di nuovi protocolli ed algoritmi per coprire le esigenze funzionali dei livelli di rete e di overlay;
- ii) uno strumento di simulazione specifico per reti opportunistiche, ottenuto dal miglioramento di un ambiente di simulazione esistente (*ns2*, *OMNeT++* o *GloMoSim*) e che sarà poi rilasciato alla comunità;
- iii) l'analisi e le specifiche architetturali di un dispositivo mobile CARTOON-based che costituiranno l'input ad un successivo programma di ricerca e sviluppo in cui i prototipi verranno valutati in un ambiente reale.

Testo inglese

In the everyday life of people moving within an urban area, a campus or a building, there are several applications, ranging from ambient intelligence to entertainment, group coordination and information sharing. For these applications the availability of a low cost, scalable meshed radio infrastructure would more efficiently support the interaction with other mobile devices than the classical *one hop* radio access to global networks. Recent studies on the human mobility and aggregation behaviors, together with in-field experiences, have shown that such an ad hoc infrastructure could be easily deployed by simply enabling vehicles and human-carried

radio devices to act as switching nodes of a meshed network, in addition to their ability to provide one hop connectivity to InfoSpots and Access Points. The term *Opportunistic networks* is often adopted to identify this type of mobile networks that provide short range radio connectivity within a localized area (e.g. a city's zone, campus or mall).

Opportunistic networks are delay tolerant networks in which nodes establish extemporaneous wireless connections for packet forwarding by exploiting the relay opportunity of another radio device in range. If devices are not available in the neighborhood, the packet is cached locally waiting for a new possibility of forwarding that mobility will eventually offer.

This is an emerging research area and a very promising technology to support *ubiquitous computing*. However, to make this happen, a great research effort is still required to design flexible, robust and efficient inter-node communication mechanisms.

CARTOON will focus on the design of innovative network and overlay protocols. To address the efficiency and flexibility requirements, CARTOON will design *context-sensitive* protocols, that is, protocols that consider information coming from the local resource manager and from other devices in range, in addition to the information coming from upper and lower layers. In this emerging scenario, the research will provide three main contributions:

- i) the design and analysis of novel protocols and algorithms to cover the functional needs of the network and overlay layers;
- ii) a general simulation tool for opportunistic networks, obtained as an enhancement of an existing simulation environment (e.g. *ns2*, *OMNeT++* or *GloMoSim*), to be released to the research community;
- iii) the system analysis and architectural specifications of a CARTOON-based mobile device that clasp this research with the next R&D phase in which the CARTOON prototypes will be experimented in a non simulated environment.

1.4 Durata del Programma di Ricerca

24 Mesi

1.5 Settori scientifico-disciplinari interessati dal Programma di Ricerca

ING-INF/03 - Telecomunicazioni

INF/01 - Informatica

1.6 Parole chiave

n°	Parola chiave (in italiano)	Parola chiave (in inglese)
1.	RETI TOLLERANTI AI RITARDI	DELAY TOLERANT NETWORKS
2.	ROUTING GEOGRAFICO	GEOGRAPHIC ROUTING
3.	ALGORITMI DI GOSSIPING	GOSSIPING ALGORITHMS
4.	RETI DI OVERLAY	OVERLAY NETWORKS
5.	PROTOCOLLI DI ROUTING	ROUTING PROTOCOLS
6.	DISTRIBUZIONE DI CONTENUTI	CONTENT DELIVERY

1.7 Coordinatore Scientifico del Programma di Ricerca

ROSSI
(Cognome)

GIAN PAOLO
(Nome)

Professore Ordinario
(Qualifica)

09/08/1951
(Data di nascita)

RSSGPL51M09L175M
(Codice di identificazione personale)

INF/01 - Informatica
(Settore scientifico-disciplinare)

Università degli Studi di MILANO
(Università)

Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI
(Facoltà)

Dipartimento di INFORMATICA E COMUNICAZIONE

(Dipartimento)

0250316272

(Prefisso e telefono)

0250316276

(Numero fax)

rossi@dico.unimi.it

(Indirizzo posta elettronica)

1.8 Curriculum scientifico

Testo italiano

Gian Paolo Rossi e' stato ricercatore universitario dal 1981 al 1989 e Professore Associato di Reti di Calcolatori fino al 2000. Attualmente e' Professore ordinario di Reti di Calcolatori presso il Dipartimento di Informatica e Comunicazione dell'Universita' degli Studi di Milano dove, nel periodo ottobre 2000 - settembre 2004, ha ricoperto la carica di Presidente del Consiglio di Coordinamento Didattico dell'area Informatica. Come responsabile del laboratorio di Computer Networks del proprio Dipartimento, svolge attivita' di ricerca nel settore delle architetture, dei protocolli e della valutazione di prestazioni di reti di calcolatori con particolare riferimento alla comunicazione multicast e alle reti ad hoc. In questo ambito, e' autore di numerosi lavori scientifici pubblicati su riviste e in atti di convegni internazionali. Ha coordinato e preso parte a numerosi progetti nazionali ed internazionali nel settore delle reti, finanziati da MURST, Comunita' Europea, CNR. Ha anche servito come PC member per i principali convegni internazionali di settore.

Nel 1985 ha fondato Syrea, societa' di ingegneria nel campo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione. E' anche socio fondatore di Teach, societa' leader nazionale per il trasferimento tecnologico nel campo dell'ICT, fondata nel 1990.

Testo inglese

Gian Paolo Rossi joined the Computer Science Department of the Università degli Studi di Milano in 1981 as a Researcher. From that time on, he headed the Computer Networks Laboratory. He has been Associate Professor from 1989 to 2000. From 2000 he has been Full Professor of Computer Networks at the Computer Science Dept. of the Università degli Studi di Milano. From Oct. 2000 to Sept. 2004 he served as Chairman of the teaching activities in Computer Science for his Faculty. The research interests of Gian Paolo Rossi include the architectures, the protocols and the performance evaluation of computer networks, area in which he recently focused on multicasting and ad hoc networking. He is the author of several technical papers, published on the most important international journals, magazines and conferences. He had part or coordinated many national research projects (MURST, CNR) and international programs (EC). He also served as PC member of the main international conferences on computer networks.

In 1985 he co-founded Syrea, an engineering and development company in the ICTs. In 1990 he co-founded Teach, an italian leading technology transfer company.

1.9 Pubblicazioni scientifiche più significative del Coordinatore del Programma di Ricerca

1. *FRANCESCO GIUDICI, ELENA PAGANI, ROSSI G. P. (2006). "Adaptive Retransmission Policy for Reliable Warning Diffusion in Vehicular Networks". Proc. Third Annual IFIP Conference on Wireless On demand Network Systems and Services.*
2. *BACCICHET PIERPAOLO, PAGANI ELENA, ROSSI G. P. (2002). Quality of Service Multipath Multicast Protocol. 4th ACM International Workshop on Networked Group Communication (NGC'02). 23-25 ottobre (pp. 123 - 129).*
3. *PAGANI E., ROSSI G. P. (2002). Distributed Bandwidth Broker for QoS Multicast Traffic. IEEE Intl. Conf. on Distributed Computing Systems (ICDCS 2002). Jul. 2-5*
4. *BORELLA A., CANCELLIERI G., PAGANI E., ROSSI G. P. (2001). Implementation Schemes for Multicast Bandwidth Brokers in Multidomain Networks. COMPUTER NETWORKS. vol. 37 pp. 519-540 ISSN: 1389-1286*
5. *BERTINO E., PAGANI E., ROSSI G. P., SAMARATI P. (2000). Protecting Information in the World Wide Web. COMMUNICATIONS OF THE ACM. vol. 43 pp. 189-199 ISSN: 0001-0782 Virtual Edition. <http://www.acm.org/pubs/contents/journals/cacm/2000-43/#11es>.*
6. *PAGANI E., ROSSI G. P. (1999). Providing Reliable and Fault Tolerant Broadcast Delivery in Mobile ad-hoc Networks. MOBILE NETWORKS AND APPLICATIONS. vol. 4 pp. 175-192 ISSN: 1383-469X*

1.10 Elenco delle Unità di Ricerca

Unità	Responsabile Scientifico	Qualifica	Settore Disc.	Università	Dipart./Istituto	Mesi Uomo
I	ROSSI GIAN PAOLO	Professore Ordinario	INF/01	Università degli Studi di MILANO	Dip. INFORMATICA E COMUNICAZIONE	14
II	GIACCONE	Ricercatore	ING-INF/03	Politecnico di	Dip. ELETTRONICA	12

III PAOLO *Universitario* TORINO
 FRATTA LUIGI *Professore Ordinario* ING-INF/03 *Politecnico di MILANO* Dip. *ELETTRONICA E INFORMAZIONE* 12

1.11 Mesi uomo complessivi dedicati al programma

		Numero	Mesi uomo 1° anno	Mesi uomo 2° anno	Totale mesi uomo
<i>Personale universitario dell'Università sede dell'Unità di Ricerca</i>		7	41	40	81
<i>Personale universitario di altre Università</i>		0	0	0	0
<i>Titolari di assegni di ricerca</i>		0			
<i>Titolari di borse</i>	<i>Dottorato</i>	2	13	13	26
	<i>Post-dottorato</i>	0			
	<i>Scuola di Specializzazione</i>	0			
<i>Personale a contratto</i>	<i>Assegnisti</i>	4	22	33	55
	<i>Borsisti</i>	0			
	<i>Altre tipologie</i>	0			
<i>Dottorati a carico del PRIN da destinare a questo specifico programma</i>		0	0	0	0
<i>Personale extrauniversitario</i>		0			
TOTALE		13	76	86	162

PARTE II

2.1 Obiettivo del Programma di Ricerca

Testo italiano

2.1.1 ROUTING SU RETI OPPORTUNISTICHE

Con il termine *reti opportunistiche* viene identificato un particolare tipo di reti mobili in grado di fornire una infrastruttura ad hoc sfruttando link radio a corto raggio all'interno di un'area limitata (ad esempio un quartiere, un'università o un centro commerciale). Le *reti opportunistiche* sono reti in grado di tollerare ritardi trasmissivi e nelle quali i nodi stabiliscono connessioni temporanee tra loro per il *forwarding* dei pacchetti utilizzando l'opportunità di connessione offerta da un'altra stazione all'interno del raggio di comunicazione. Nel caso non siano disponibili altri dispositivi nelle vicinanze, il pacchetto viene memorizzato localmente in attesa di una nuova possibilità di spedizione che si verterà a creare per effetto della mobilità dei nodi. Questa è un'area di ricerca emergente ed una tecnologia promettente per supportare *ubiquitous computing*. Tuttavia, per consentire che ciò accada, un grosso sforzo di ricerca è richiesto per progettare sistemi di comunicazione tra nodi che siano flessibili, affidabili ed efficienti. È infatti importante osservare che, in un ambiente opportunistico, mobilità, partizionamento della rete e vincoli energetici impongono un distacco da un'architettura rigidamente gerarchica e da comunicazioni basate sul modello-IP. Nuove architetture e protocolli sono necessari per soddisfare i requisiti di un ambiente di rete radicalmente nuovo. Da una parte, sono necessarie politiche flessibili di routing per adattarsi velocemente alle dinamiche della rete che alterna zone sovraffollate ad altre dove la mancanza di dispositivi porta a partizioni. I protocolli devono essere ottimizzati per assicurare un uso efficiente di risorse limitate e, a questo scopo, l'analisi dei protocolli nel contesto di un modello di mobilità che rifletta propriamente il comportamento di uno scenario reale, sta emergendo con un elemento chiave per la loro progettazione. Inoltre, parametri di contesto, come la densità delle periferiche nell'area, la loro velocità e direzione uniti agli interessi degli utenti, la loro posizione e la disponibilità di risorse del dispositivo possono essere tutte usate per controllare l'instradamento dei pacchetti all'interno di un'area limitata portando al progetto di protocolli di routing *sensibili al contesto*. In questo ambito applicativo ed architetturale, CARTOON si occuperà del progetto di protocolli originali per reti opportunistiche e di realizzare un ambiente specifico di simulazione.

2.1.2 OBIETTIVI DELLA RICERCA

Gli obiettivi di questo progetto di ricerca sono la progettazione, l'analisi e la specifica di una nuova architettura e protocolli per reti opportunistiche. L'ambito della ricerca è limitato alle funzioni dei livelli di rete e *middleware* (figura 1), i quali sono considerati le componenti chiave per la realizzazione di una infrastruttura di rete opportunistica capace di supportare applicazioni dipendenti dal contesto e tolleranti ai ritardi in uno scenario urbano. In linea con questa visione, CARTOON punta a raggiungere un stadio *pre-prototipale* delle componenti progettate ed a fornire i seguenti contributi generali:

- i) progettazione ed analisi di nuovi protocolli ed algoritmi per coprire le esigenze funzionali dei livelli di rete e di *overlay*;
- ii) uno strumento di simulazione specifico per reti opportunistiche, ottenuto dal miglioramento di un ambiente di simulazione esistente (*ns2*, *OMNeT++* o *GloMoSim*) e che sarà poi rilasciato alla comunità;
- iii) l'analisi e le specifiche architetture di un dispositivo mobile CARTOON-based che costituiranno l'input ad un successivo programma di ricerca e sviluppo in cui i prototipi verranno valutati in un ambiente reale.

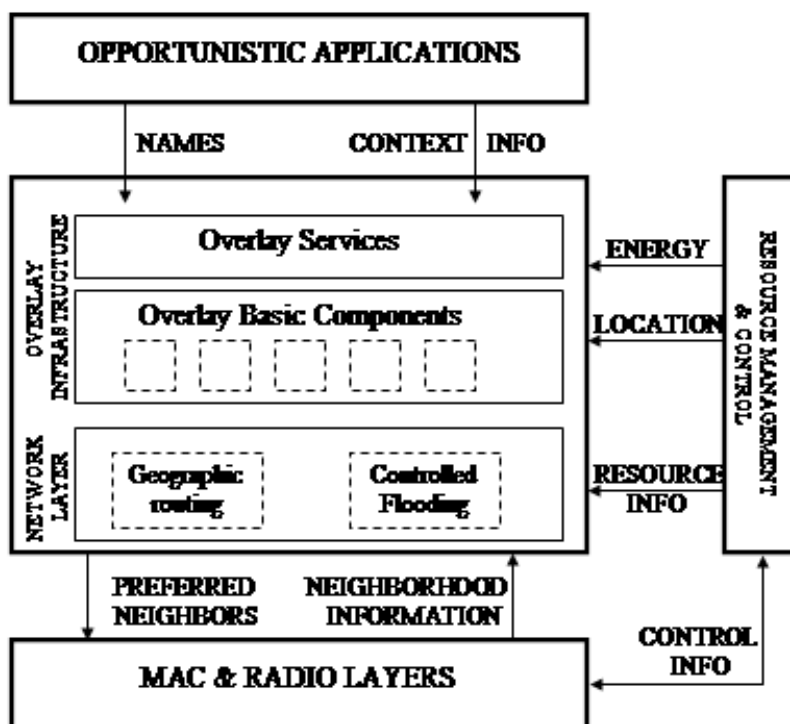


Figura 1. Architettura delle principali componenti considerate in CARTOON.

A seguire, descriveremo gli obiettivi di ricerca principali che saranno dettagliati, in termini di organizzazione e risultati attesi nella sezione 2.3.

A. Specifiche di un'architettura funzionale per reti opportunistiche

I comportamenti delle reti opportunistiche rendono lo stack ISO-OSI non più adatto a loro. Da una parte, l'uso di schemi di indirizzamento basati su IP non sono adeguati ad una massa potenzialmente molto grande di dispositivi solo occasionalmente collegati tra di loro e tipicamente non collegati ad Internet. Il sistema terminale in una comunicazione punto a punto non viene più identificato con un indirizzo IP a valore globale, ma per esempio, perché soddisfa una funzione di somiglianza con una certa risorsa o dato locali. Inoltre, il bisogno di protocolli con componenti leggeri ed altamente adattivi richiede nuove architetture in cui i vari livelli cooperano per condividere informazioni di contesto o dati riguardanti l'uso di risorse locali (si veda ad esempio figura 1). Di conseguenza, la progettazione di un'architettura funzionale non è solo un passo nel ciclo di vita del progetto, ma diventa un obiettivo di ricerca chiave per fornire l'ambiente interoperabile in cui i protocolli possono essere progettati.

B. Progettazione di protocolli di routing e per overlay per reti opportunistiche

Uno dei principali obiettivi di ricerca di CARTOON è la progettazione di meccanismi di rete e di overlay per ottenere un accesso alle informazioni scalabile e auto-organizzato in un ambiente opportunistico. Gli specifici modelli energetici, di mobilità e di fallimento costituiscono la base teorica per la valutazione ed il confronto degli algoritmi.

B1. Protocolli di routing

Nonostante le reti opportunistiche abbiano delle caratteristiche in comune con le reti ad hoc, il loro comportamento particolare rende difficoltosa l'adozione di protocolli di routing tipici di queste ultime per soddisfare i nuovi bisogni (si veda sezione 2.2). La ricerca di CARTOON concentra gli sforzi sull'uso di approcci epidemici e facenti uso di tecniche di gossip che, con i meccanismi di routing geografico, sono considerati più adatti per operare con l'estrema dinamicità della connettività sottostante opportunistica e sono in grado di diventare una componente fondamentale anche per la costruzione di servizi di overlay.

B2. Infrastruttura di overlay

La fornitura di servizi su reti di overlay è un problema ampiamente studiato per reti fisse ed in parte anche mobili (si veda § 2.2.) che rimane tuttavia un problema totalmente aperto se applicato alle reti opportunistiche. In questo nuovo ambito, infatti, vanno riprogettati i moduli a controllo distribuito che sono la base fondazionale su cui costruire generici servizi. Per questa ragione, CARTOON privilegia l'identificazione ed il progetto di componenti funzionali elementari allo studio dei servizi ottenibili attraverso di essi. La ricerca si occuperà dunque di fornire meccanismi di base ed efficienti nei tradizionali schemi uno-a-uno e uno-a-molti. In ambito P2P, l'obiettivo principale diventa la disponibilità dei contenuti, la loro raggiungibilità e la capacità di trasferimento robusto nei confronti di partizioni di rete o carenza di risorse. In ambito di gruppo, invece, a dominare sono le problematiche di gestione di una membership, di diffusione sul gruppo in assenza di infrastrutture multicast e di aggregazione spontanea.

C. Strumenti di analisi e simulazione

I protocolli e gli algoritmi distribuiti che il progetto definirà saranno valutati e confrontati con strumenti sia analitici che di simulazione. A questo fine, i ricercatori di CARTOON adotteranno ambienti di analisi e simulazione comuni per assicurare uniformità e comparabilità tra i prodotti della ricerca. I modelli di mobilità e di consumo energetico disponibili in letteratura saranno studiati e, se richiesto, adattati all'ambiente opportunistico in uso. Le componenti software che implementano i modelli selezionati rappresenteranno le librerie da aggiungere all'ambiente di simulazione adottato. Lo strumento di simulazione risultante sarà reso disponibile al resto della comunità di ricerca.

Testo inglese

2.1.1 ROUTING OVER OPPORTUNISTIC NETWORKS

Opportunistic networks identify mobile networks that provide ad hoc connectivity through short range radio links within a localized area (e.g. a city's zone, campus or mall). They are delay tolerant networks in which nodes establish extemporaneous wireless connections for packet forwarding by exploiting the relay opportunity of another radio device in range. If the proper contact is not available, the packet is cached locally waiting for a new possibility of forwarding that mobility will eventually offer.

This is an emerging research area and a very promising technology to support ubiquitous computing. However, to make this happen, a great research effort is still required to design flexible, robust and efficient inter-node communication mechanisms. It is worth to observe that, in an opportunistic environment, mobility dynamics, network partitions and energy constraints impose a departure from a rigid layered architecture and from IP-style communications. Novel architecture and protocols are required to satisfy the requirements of a radically new networking environment. On one hand, flexible routing policies are needed to quickly adapt to the dynamics of the connectivity conditions that alternate highly crowded zones to others where the lack of devices in range leads to network partitions. Protocols must be optimized to ensure the efficient use of constrained resources, and their analysis in the frame of a mobility model that properly reflects the mobility behavior of a real scenario is emerging as a key design element. On the other hand, context parameters, like the density of devices in the area, their speed and direction along with the user interests, location, the resource conditions of the device can all be used to control the forwarding of packets within a localized area and are pushing for context-sensitive routing protocols.

This research effort will focus on the development of a simulation environment and on the design of innovative protocols for opportunistic networks.

2.1.2 OBJECTIVES OF THE RESEARCH

The objectives of this research project are the design, the analysis and the specification of novel architecture and protocols for opportunistic networks. The research focus is limited to the functions of the network and middleware layers (Figure 1), which are considered the key components for a deployable opportunistic infrastructure capable to support context-aware and delay-tolerant applications in an urban scenario. In line with this view, CARTOON aims at reaching a *pre-prototype*' stage of the designed components and provides the following main contributions:

- i)** the design and analysis of novel protocols and algorithms to cover the functional needs of the network and overlay layers;
- ii)** the development of a general simulation tool for opportunistic networks, obtained as an enhancement of an existing simulation environment, to be released to the research community;
- iii)** the system analysis and architectural specifications of a CARTOON-based mobile device that clasp this research with the next R&D phase in which the CARTOON prototypes will be experimented in a non simulated environment.

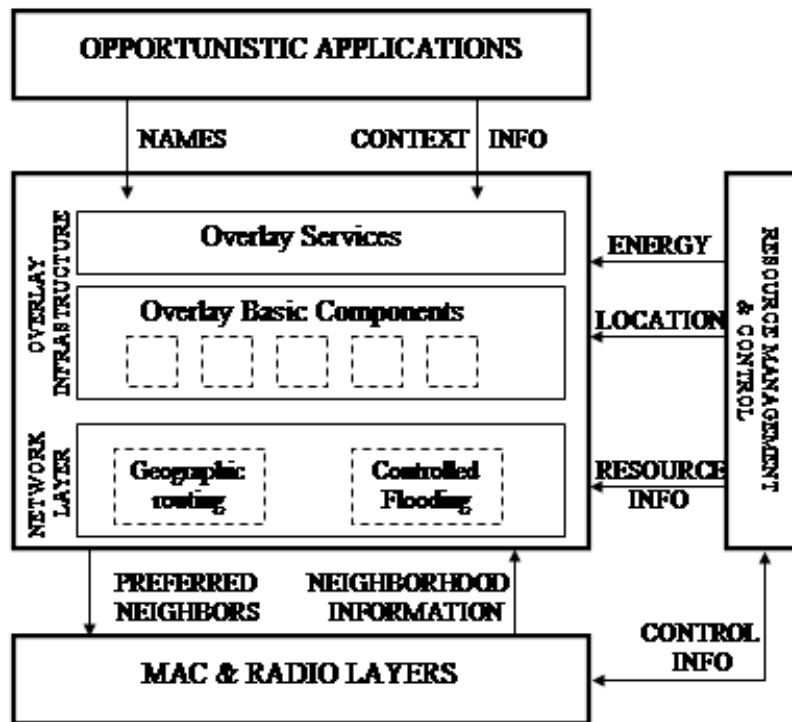


Figure 1. Overall architecture of the main components considered throughout the project.

In the following, we describe the main research objectives that will be detailed, in terms of both project organization and deliverables, in Section 2.3.

A. Specification of a functional architecture for opportunistic networks

The behaviors of opportunistic networks make the traditional OSI stack unsuitable for them. On one hand, naming and IP-based addressing schemes are inadequate for use with a potentially large amount of devices transiently connected to one another and usually not connected to the Internet. Traditional communication paradigms are not valid anymore. In fact, the end system of a point-to-point communication is no longer identified by its globally scoped IP address but, for example, because it satisfies a matching function with a *named* resource or data. On the other hand, the needs for lightweight and highly adaptive protocol components require novel architectures in which layer entities inter-operate to share application and context information or data about local resource consumption (a subset of possible context information is shown in Figure 1 with arrows between the main components of the CARTOON system). As a consequence, the design of a functional architecture is no longer a due step in the project life-cycle, but becomes a key research goal to provide the inter-operability framework in which routing and overlay protocols can be designed.

B. Design of routing and overlay protocols for opportunistic networks

In the framework provided by the novel architecture, the CARTOON research goal is the design of network and overlay mechanisms to enable efficient and scalable self-organized information access and data exchange in an opportunistic environment. Moreover, novel energy, mobility and failure models have to be defined to provide the theoretical base for the algorithms evaluation and comparison. Finally, the *context* information that percolates throughout the architecture should influence both path discovery and nodes aggregation.

B1. Routing protocols

Although opportunistic networks have several characteristics in common with ad hoc networks, their specific behavior hinders to borrow ad hoc protocols for the new needs (see sect. 2.2). The CARTOON research concentrates the efforts on the use of epidemic and gossiping approaches that, together with the mechanisms of geographic routing, are considered more suitable to operate with the extreme dynamism of the underlying opportunistic and lossy connectivity and capable to become the key building blocks of overlay services.

B2. Overlay infrastructure

Although the provisioning of communication services over an overlay network has been widely studied for wired and even wireless networks (see, § 2.2.), the subject remains unexplored if applied to opportunistic networks. In this scenario, in fact, the distributed components that represent the building blocks of generic services must be re-designed. With this motivation, in CARTOON the identification and the design of such building components have priority over the design of the services achievable through them. The research will mainly address the design of efficient mechanisms in the classical one-to-one and one-to-many schema. In a P2P scenario, the main objective becomes the content availability, their reachability and the robust forwarding of packets under heavy load conditions and network partitions. When groups are involved, the membership management and the support of group interactions in the absence of some multicast infrastructure dominate the research issues.

C. Analysis and simulation tools

The protocols and distributed algorithms that the project will define must be evaluated and compared through both analytical and simulation efforts. To this purpose, CARTOON researchers will adopt common analysis and simulation frameworks to ensure uniformity and comparison amongst the products of the research. Energy and mobility models available in the literature will be studied and, if required, adapted to the identified opportunistic environment. The software components that implement the selected models will represent the library modules to be added to the adopted simulation environment. The obtained simulation tool will be released to the research community.

2.2 Base di partenza scientifica nazionale o internazionale

Testo italiano

CARTOON considera un ambiente urbano opportunistico dove veicoli, utenti mobili e dispositivi portatili giocano un triplice ruolo su una rete mobile che fornisce connettività radio all'interno di un'area limitata (ad esempio un quartiere, un campus universitario o un centro commerciale). Infatti, questi dispositivi possono agire come: (i) *sistemi terminali* per comunicazioni uno-a-uno o uno-a-molti, (ii) nodi per l'instradamento di pacchetti quando altri dispositivi sono disponibili nel raggio di comunicazione e (iii) *trasportatori* di pacchetti in una cache, quando la rete è partizionata e non ci sono dispositivi nel raggio di comunicazione.

Questi tipi di reti si considerano reti con tolleranza nel ritardo di trasmissione (Delay Tolerant Networks, DTNs) in quanto, in conseguenza della mobilità e del partizionamento della rete, esse possono introdurre lunghi tempi di latenza nella consegna dei pacchetti e sono capaci di offrire solo un semplice servizio di '*consegna eventuale*' degli stessi. La Internet Research Task Force (IRTF) ha cominciato solo recentemente a formalizzare le DTN [C+06]. Le attività di CARTOON si collocano all'interno di questo filone di ricerca, benché considerino solo un ambito di architetture di rete limitato; infatti, il progetto è focalizzato su reti mobili che forniscono connettività radio a corto raggio all'interno di un'area limitata, come quelle prese in considerazione in [C+05,H+05,S+04] o applicate in ZebraNet [J+02], dove è facile osservare partizionamenti della rete, e in SPAWN [D+04].

Questa è un'area di ricerca che sta attirando un crescente interesse scientifico a causa delle grandi sfide che comporta e dell'innovazione che richiede. CARTOON si concentra sulle funzionalità di rete e di overlay che coinvolgono i livelli dove sono necessari i maggiori sforzi nel medio termine. Questi livelli appartengono ad una sorta di architettura porosa dove le informazioni di contesto, provenienti dagli strati adiacenti, sono libere di percolare attraverso le interfacce e influenzare il comportamento dei protocolli (figura 1). Quindi, le informazioni energetiche [M+06], la posizione del dispositivo [C03] e altre informazioni ambientali sono utili per ottimizzare l'instradamento dei pacchetti, unitamente alle informazioni aggiornate riguardanti la mobilità degli utenti. Per esempio, è facile far vedere come la conoscenza che un insieme di dispositivi si muove come uno *sciame* sia altamente utile per consentire una distribuzione efficiente dei pacchetti all'interno dello sciame stesso. Analogamente, le informazioni di contesto legate alle applicazioni possono avere effetto sulla infrastruttura di overlay [A+04,RJH02]. La progettazione di un'architettura dove le informazioni di contesto vengono sfruttate e sono libere di fluire tra gli strati software può portare alla progettazione di protocolli efficienti e specializzati in grado di adattarsi a condizioni di connettività e richieste di applicazioni altamente variabili.

La sensibilità al contesto rappresenta il primo di molti obiettivi e spunti innovativi di questa proposta. Il secondo riguarda i meccanismi di instradamento a livello di rete. Come abbiamo già notato in precedenza, le reti opportunistiche necessitano di un distacco da algoritmi basati sulla topologia progettati per la MANET. In effetti, i classici algoritmi di routing ad hoc, come ad esempio quelli descritti in [RT99], non sono più utilizzabili in quanto essi o fanno uso di flooding oppure sprecano risorse per tenere aggiornate le tabelle di instradamento. Per le reti opportunistiche sono più adatti meccanismi di flooding controllato, come per esempio quelli basati su gossip o su politiche epidemiche, oppure il routing geografico. Descriveremo brevemente entrambi gli approcci qui di seguito.

Il routing basato su posizione sembra essere facilmente applicabile allo scenario preso in considerazione. I nodi non mantengono nessuna informazione sulla topologia; piuttosto, quando una certa destinazione D deve essere raggiunta, il nodo sorgente S recupera la posizione attuale di D tramite un servizio di localizzazione [C03]. S instrada quindi il pacchetto tentando di approssimare il percorso più breve tra la propria posizione attuale e quella di D . I protocolli che adottano questa strategia sono, ad esempio, Greedy Geographic Forwarding [GSB04,KSU99], GPSR [KK00], SAR [T+03], DREAM [B+98] e LAR [KV00]. Essi differiscono per il modello di mobilità considerati (open-space per Greedy Geographic Forwarding e GPSR, vincolato da una mappa stradale per SAR) e nella politica adottata per l'instradamento dei pacchetti (flooding ristretto per DREAM e LAR, punto-a-punto per gli altri). Altri approcci simili sono descritti in [GSB04].

Recentemente è stato proposto un nuovo approccio di routing geografico, basato su percorsi definiti come linee, per scenari dove le caratteristiche fisiche dell'area forzano i terminali mobili a spostarsi lungo percorsi predefiniti. Trajectory Based Forwarding (TBF) [NN03] considera uno schema di instradamento che, in maniera simile a source routing, richiede al nodo sorgente di codificare una traiettoria geografica nell'intestazione del pacchetto. Siccome la sequenza dei nodi da attraversare non è specificata, i pacchetti sono instradati hop-by-hop basandosi sulla posizione dei nodi rispetto alla traiettoria.

Entrambi gli schemi di comunicazione punto-a-punto e punto-a-multipunto possono essere supportati da sistemi di routing geografico. In questo ultimo caso, comunque, l'insieme dei ricevuti è normalmente definito come l'insieme di terminali in un'area di destinazione secondo il paradigma di geocast [KV00b,LTLS00].

Tutti gli schemi di routing geografico menzionati prima necessitano di mantenere una lista di nodi prossimi con la loro rispettiva posizione per poter dinamicamente selezionare il miglior nodo verso il quale instradare ogni pacchetto. Un nuovo approccio per l'instradamento geografico sposta la decisione di instradamento dal nodo sorgente al ricevente utilizzando trasmissioni broadcast

[ZR03,G+05,BM05,CFFP06].

La rapida presentazione dei sistemi di routing geografico vista prima mette in luce che esiste molta letteratura sull'argomento. E' però importante far notare che i vari approcci non possono essere applicati senza modifiche a questo nuovo scenario; quindi si motiva uno specifico sforzo di CARTOON sul routing geografico. Nonostante questo, è anche chiaro che uno scenario opportunistico è ricco di casi in cui l'indirizzamento diretto di un dispositivo tramite la sua locazione od il suo indirizzo IP non è nè richiesto nè possibile. Sotto queste condizioni, le varianti di strategie di flooding potrebbero essere utilizzate con successo. Recentemente, algoritmi randomizzati [JFP04] sono stati proposti per l'instradamento in DTN, che trattano il problema del routing come un problema di ottimizzazione. I sistemi basati su strategie di gossip sono stati usati congiuntamente a tecniche di cancellazione di codice per garantire affidabilità [W+05], o per aumentare le probabilità di successo utilizzando uno storico degli incontri recenti (approccio *history based* [W+05,J+02]). Altri approcci adottano tecniche di trasmissioni ridondate di r copie su cammini multipli e algoritmi di ritrasmissione di tipo *two hops* [C+05,GT02,W+05] derivati dalla teoria della ritrasmissione epidemica [D+87]. Il numero r delle copie è una funzione sia della densità dei nodi sia del modello di mobilità, e permette di trovare un compromesso tra il sovraccarico della rete ed il ritardo di consegna. I primi studi sul gossiping [D+87] hanno sollevato il dubbio riguardo al fatto che questo approccio possa non essere adatto ad ambienti mobili per via della criticità di mantenere una struttura topologica. Oggi è chiaro che gli algoritmi basati su gossip possono essere impiegati in scenari altamente dinamici sotto l'ipotesi di utilizzare informazioni di stato approssimative ed evitare il mantenimento di tabelle di instradamento. In questo modo, il gossiping è estremamente leggero in termini di uso di memoria e capacità computazionale (e presenta un costo di comunicazione più basso del puro flooding) ed è quindi appropriato per dispositivi con forti vincoli energetici. Inoltre, è anche utilizzabile per applicazioni tolleranti ai ritardi, anche se diversi miglioramenti sono necessari, come ad esempio *i*) la scelta dei nodi coinvolti nella ritrasmissione, *ii*) la definizione di meccanismi dipendenti dal contesto che siano reattivi agli spostamenti ed alla dinamicità dei dispositivi mobili con lo scopo di ridurre la latenza di trasmissione e di assicurare un uso ottimizzato delle risorse. Oggi, molti di questi algoritmi sono probabilistici; la possibilità di implementarli nella realtà dovrebbe essere valutata. Dovrebbe essere effettuato un confronto tra le diverse soluzioni proposte per mettere in risalto pregi e difetti quando vengono adottate come supporto per applicazioni distribuite su reti opportunistiche. In [LW05] viene presentato un modello analitico per confrontare tra loro tecniche epidemiche rispetto alla loro capacità di disseminare informazioni.

I passi richiesti verso lo sviluppo di applicazioni con tolleranza al ritardo vanno oltre le possibilità offerte da meccanismi di routing efficienti e necessariamente includono una infrastruttura wireless. Le reti di overlay sono un sistema interessante per rendere virtuali le topologie di rete e permettono di ottenere un ambiente per lo scambio dei dati lineare e facilmente utilizzabile dalle applicazioni, mentre tutti i dettagli relativi alla topologia reale ed alla dinamicità delle connessioni vengono nascosti. Con la progressiva adozione delle reti wireless nell'esperienza quotidiana e la loro presenza costante attorno a noi, la creazione di overlay su richiesta e altamente dinamiche sta diventando una necessità. La letteratura relativa alle reti di overlay si concentra normalmente su aspetti di ottimalità e scalabilità [RKV04,H+03,JMW03], mentre pochi sforzi sono stati fatti per investigare aspetti riguardanti la dinamicità di creazione e mantenimento di queste reti.

Fino ad ora, alcune architetture sono già state studiate per reti cablate, mentre un numero limitato di lavori esiste riguardo a overlay su reti wireless. Il gossiping può essere usato anche per operazioni di gestione nelle reti di overlay, come il mantenimento della composizione di un gruppo o la diffusione delle informazioni tra i nodi. In letteratura sono state presentate alcune proposte facenti uso di gossip per la consistenza dei dati al fine di distribuire aggiornamenti periodici ([MJB05], approccio *anti-entropy* [D+87,VB00]) e istantanei (politica *rumor* [D+87,BE02]) di un database a uno o più nodi vicini. Inoltre, la distribuzione di contenuti e la condivisione di informazioni tra nodi è un altro problema aperto che ha un effetto marcato sulla rete di overlay che dovrebbe fornire i servizi per organizzare i contenuti, per renderli disponibili e facilmente reperibili. Numerose soluzioni sono già state proposte in letteratura per supportare il reperimento di contenuti secondo un approccio peer-to-peer (P2P) in reti wired. Però il loro utilizzo non è in generale adatto per reti wireless per ragioni di scalabilità. Proposte che adottano un approccio P2P nelle MANET sono ad esempio AdTorrent [N+06], usato per la condivisione di contenuti in reti veicolari con Access Point, e HIGH-GRADE [YLZ04], che adatta Chord -- proposto per reti wired -- all'ambiente wireless allo scopo di mantenere un'infrastruttura di overlay costituita da location server che registrano informazioni riguardo alle posizioni dei nodi. Eventualmente un meccanismo simile potrebbe essere adottato per memorizzare e recuperare informazioni riguardo alla locazione di contenuti, in modo distribuito. In CARTOON verranno sfruttate anche le esperienze pregresse di partecipanti al progetto su sistemi peer-to-peer [CG05, MM05].

Come visto in precedenza, le reti opportunistiche differiscono in maniera significativa dalle reti wireless tradizionali viste fino ad ora. Questo è principalmente una conseguenza di comportamenti di dinamicità e mobilità dei nodi radicalmente diversi. La possibilità di caratterizzare questi comportamenti mediante un modello di mobilità adatto è il punto di partenza per ogni ricerca sull'argomento. Una grande attività di ricerca sulle reti opportunistiche è fiorita in questi ultimi anni, da quando è stato dimostrato che la mobilità fisica dei nodi facenti la funzione di ripetitori può aumentare in maniera significativa le potenzialità di una rete wireless [GT02]. In [C+05] viene proposto un modello analitico per reti opportunistiche. In [CBD02], alcuni modelli vengono descritti e confrontati rispetto alla loro capacità di rappresentare correttamente il comportamento reale. In [C+03] viene presentato un modello per descrivere la dinamicità della conformazione di un gruppo. In [S+04,H+05] vengono descritte delle sperimentazioni riguardanti monitoraggio e analisi della mobilità umana. Alcuni lavori teorici [SM04,EG+04,LS04] hanno raffinato le idee in [GT02] analizzando le prestazioni di reti opportunistiche usando diverse semplici tecniche di instradamento. Come risultato è stata provata l'esistenza di un compromesso accettabile tra il throughput asintotico (quando il numero di nodi diventa arbitrariamente grande) di una rete wireless con nodi mobili e il tempo di ritardo nella consegna dei messaggi.

Testo inglese

CARTOON considers an urban opportunistic environment where vehicles, end-user terminals, personal appliances and pocket devices play a threefold role in a mobile network that provides short range radio connectivity within a localized area (e.g. a city's neighbor, campus or mall). They can in fact act as: (i) *end system* of one-to-one or one-to-many communications, (ii) *packet forwarding node*, when another device is available in range, (iii) *packet carrier*, or transporter of cached packets, when the network is partitioned and no neighbor devices are available.

This type of networks is considered to be Delay Tolerant Networks (DTNs) because, as the consequence of mobility and network partitions, they can introduce long latencies in the delivery of packets and are capable to provide a simple 'eventual delivery' service. The Internet Research Task Force (IRTF) has only recently started to formalize DTNs [C+06]. CARTOON activities are inside this main research stream, although they consider a limited networking framework; in fact, the project focus is centered on mobile networks that provide short range radio connectivity within a localized area such as those considered, for instance, in [C+05,H+05,S+04] or applied in ZebraNet [J+02], where network partitions are frequently experienced, and SPAWN [D+04].

This is a recent research area that is rapidly attracting scientific interests because of the great challenges it involves and the innovation it requires. CARTOON is centered on network and overlay functionalities that represent the layers where the greatest medium-term efforts are required. The network and overlay layers, however, belong to a sort of porous architecture where context information, coming from the upper and lower layers, is free to pass through the interfaces and influences the protocol's behavior (Figure 1). Thus, energy information [M+06], the device location [C03] and other environment information are useful to optimize packet routing and forwarding along with the timely knowledge of the user's mobility behavior. In fact, it is easy to see that the knowledge of the fact that a set of devices follows a *swarm* mobility is highly helpful in providing efficient packet forwarding inside the swarm. On the other hand, application arguments are more likely affecting the overlay infrastructure [A+04,RJH02]. The design of an architecture where context information is captured and free to flow intra-layers can lead to the design of efficient and specialized protocols capable to adapt to highly varying connectivity conditions and application requirements.

Context sensitiveness represents the first among the main objectives and innovation hints of this proposal. The second is related to the routing and forwarding mechanisms at the network layer. As we have noticed before, opportunistic networks require a departure from topology-based algorithms designed for MANETs. In fact, the classical ad hoc routing protocols, like for instance those surveyed in [RT99], are no longer viable because they either resort to flooding or waste resources to maintain their routing tables updated. Opportunistic networks are more likely suitable to exploit either controlled flooding mechanisms, like for instance gossip-based or epidemic policies, or geographic routing. We briefly describe both approaches in the sequel.

The position-based routing seems to be easily applied to the considered scenario. Nodes do not maintain any topological information; rather, when a certain destination D must be reached, the source node S retrieves current D 's geographical position using a location service [C03]. S then forwards its packet trying to approximate the shortest route from its own position to that of D . Protocols adopting this strategy are for instance Greedy Geographic Forwarding [GSB04,KSU99], GPSR [KK00], SAR [T+03], DREAM [B+98], LAR [KV00]. They differ in the mobility model considered (open-space for both Greedy Geographic Forwarding and GPSR, constrained by a street map for SAR) and in the policy adopted for packet forwarding (restricted flooding for both DREAM and LAR, point-to-point for the other mentioned algorithms). Other similar approaches are described in [GSB04].

Recently a new geographic routing approach based on geographical routes, defined as lines, has been proposed for scenarios where physical characteristics of the service area force terminals to move along predefined paths. Trajectory Based Forwarding (TBF) [NN03] considers a routing scheme that, similarly to source routing, requires the source node to encode a geographical trajectory into the packet header. Since the sequence of forwarding nodes is not specified, packets are routed hop-by-hop according to nodes positions with respect to the trajectory.

Both point-to-point and point-to-multipoint communications can be supported by geographic routing. In this latter case, however, the set of receivers is usually defined as the set of terminals in a destination area according to the geocasting paradigm [KV00b,LTLS00].

All the aforementioned geographic routing schemes require to maintain a list of neighboring nodes and their positions in order to dynamically select the best next-hop node for each packet. A new approach to geographic forwarding shifts the forwarding decision from transmitter to receiver exploiting broadcast transmissions [ZR03,G+05,BM05,CFFP06].

The above brief overview of geographic routing mechanisms shows that a wide literature exists on the subject. However, it is worth noticing that the various approaches cannot be directly applied to this new scenario, thus motivating a specific CARTOON's effort on geographic routing. Nonetheless, it is also clear that an opportunistic scenario is rich of forwarding needs in which the direct addressing of a device by its geographic location or IP address is neither required nor possible. Under these conditions, the different variations of flooding can be properly adopted. Recently, randomized algorithms [JFP04] have been proposed for routing in DTNs where the routing problem is dealt with as an optimization problem. Gossip-based mechanisms have been used in combination with erasure coding techniques to guarantee reliability [W+05], or to increase the probability of successful delivery by exploiting the history of recent encounters (*history-based* approach [W+05,J+02]). Other approaches adopt redundant transmissions of r replicas over multi-paths and *two-hops* relay algorithms [C+05,GT02,W+05] derived from the theory of epidemic forwarding [D+87]. The number r of replicas is a function of both node density and mobility model, and allows to find the trade-off between the network overhead and the delivery latency. Early studies on gossiping (e.g. [D+87]) raised some doubts that this approach was unsuitable for being applied to mobile environments because of the critical maintenance of some topology structure. It is now clear that gossip-based algorithms can be applied to highly dynamic scenarios under the hypothesis of using a soft state approach and to avoid the maintenance of forwarding tables. This way, gossiping is extremely lightweight in terms of memory and computation overhead - and has lower communication overhead than pure flooding - and is thus appropriate for thin devices with strict energy constraints. Moreover, it is also suitable for delay-tolerant applications, even if great advances are required in many directions, such as, for instance, *i*) the choice of the relay nodes to involve in the forwarding process, *ii*) the definition of context-aware mechanisms that are reactive to the dynamics and density variation of mobile devices with the aim of reducing the latency of the eventual delivery and to ensure an optimized use of resources. Yet, many of these algorithms are probabilistic; the possibility of implementing them in real environments should be investigated. A comparison amongst different proposed solutions should be performed to highlight their strengths and weaknesses when adopted to support distributed applications in opportunistic networks. In [LW05], an analytical model is presented for comparison amongst epidemic techniques with respect to their capability of information dissemination.

The required steps towards deployable delay tolerant applications goes beyond the availability of efficient routing mechanisms and necessarily include a middleware infrastructure. Overlay networks are an attractive way to virtualize network topology and provide a plain and application-friendly communication environment while hiding topological issues and dynamic aspects of connections. With

the increasing adoption of wireless networks for everyday life and their ubiquitous presence all around us the creation of on-demand highly-dynamic overlays on wireless network is becoming a necessity. Literature on overlay usually addresses issues related to optimality and scalability [RKV04, H+03, JMW03] and not many efforts have been devoted to investigate dynamic behavior of overlay creation and maintenance.

Several architectures have already been studied for wired-network overlay, while a limited literature exists on wireless-network overlay. Gossiping could be also used for some management tasks in overlays, such as membership maintenance or information dissemination amongst peers. In the literature, some proposals have been presented using gossip for data alignment, to distribute either recent changes to the database ([MJB05], *anti-entropy* approach [D+87,VB00]) or every update (*rumor* policy [D+87,BE02]) to one or more neighbors of the source node, and for a variable TTL. Moreover, the content delivery and information sharing among peers is another open issue with clear impacts on the overlay network that should provide the services to organize the contents to enable their availability, quick localization and download. Several solutions have already been presented in the literature to support peer-to-peer (P2P) content retrieval in wired systems. However, their utilization is in general not adequate in wireless networks because of scalability considerations. Proposals adopting a P2P approach in MANETs are for instance AdTorrent [N+06], used for content sharing in a vehicular environment with Access Points, and HIGH-GRADE [YLZ04], which adapts Chord -- proposed for wired networks -- to the wireless environment with the aim of maintaining an overlay infrastructure of location servers that record information about nodes locations. Possibly, a similar mechanism could be adopted to record and retrieve content location information in a distributed fashion. In CARTOON, also previously acquired experience of project's participants will be exploited on peer-to-peer systems [CG05, MM05].

As previously noticed, opportunistic networks significantly differ from more traditional wireless networks considered so far. This is mainly the consequence of a radically different dynamics and mobility behavior of the network nodes, and the ability of characterizing these behaviors into the proper mobility model is the starting point of any research on the subject. Massive research on opportunistic networks architecture has been spurred out in the last years since physical mobility of nodes acting as relays has been shown to potentially significantly increase the capacity of a wireless network [GT02]. In [C+05], an analytical mobility model for opportunistic networks is proposed. In [CBD02], several models are described, and compared vs. their capability of accurately represent real behavior. In [C+03], a model describing group membership dynamics in overlays is presented. In [S+04,H+05], experimentations are described of monitoring and analysis of real human mobility. Several theoretical works [SM04,EG+04,LS04] have refined the ideas in [GT02] analyzing the performance of opportunistic networks under different simple forwarding techniques. As a result, the existence of a trade-off between the asymptotic throughput (when the number of nodes becomes arbitrarily large) of a wireless network with moving nodes and the message delivery delay has been proved.

2.2.a Riferimenti bibliografici

- [A+04] A. Agostini, C. Bettini, N. Cesa-Bianchi, D. Maggiorini, D. Riboni, M. Ruberl, C. Sala, D. Vitali, "Towards Highly Adaptive Services for Mobile Computing". *Mobile Information Systems*, pp. 121-134, Springer, 2004.
- [B+98] S. Basagni, I. Chlamtac, V.R. Syrotiuk, B.A. Woodward, "A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)". *Proc. 4th Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking*, pp. 76-84, 1998.
- [BE02] D. Braginsky, D. Estrin, "Rumor routing algorithm for sensor networks". *Proc. 1st ACM Intl Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, pp. 22-31, 2002.
- [BM05] S. Biswas and R. Morris, "ExOR: Opportunistic MultiHop Routing for Wireless Networks". *Proc. of ACM SIGCOM 2005*.
- [C03] T. Camp, "Location Information Services in Mobile Ad Hoc Networks". *Technical Report MCS-03-15*, The Colorado School of Mines, October 2003. <http://toilers.mines.edu/Public/PublicationList>
- [C+03] J.-H. Cui, M. Faloutsos, D. Maggiorini, M. Gerla, K. Boussetta, "Measuring and Modelling the Group Membership in the Internet". *Proc. Internet Measurement Conference*, Oct. 2003.
- [C+05] A. Chaintreau, P. Hui, J. Crowcroft, C. Diot, R. Gass, J. Scott, "Pocket Switched Networks: Real-World Mobility and its Consequences for Opportunistic Forwarding". *Technical Report UCAM-CL-TR-617*, University of Cambridge, Computer Laboratory, Feb. 2005.
- [C+06] V. Cerf, S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, H. Weiss, "Delay-Tolerant Network Architecture". *Internet Draft draft-irtf-dtnrg-arch-05*, March 2005. Work in progress.
- [CBD02] T. Camp, J. Boleng, V. Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research". *Wireless Communication & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, Vol.2, N.5, pp. 483-502, 2002.
- [CFFP06] A. Capone, I. Filippini, L. Fratta, L. Pizziniaco, "Receiver Oriented Trajectory Based Forwarding". *Springer Lecture Notes in Computer Science*, Volume 3383, 2006.
- [CG05] G. Carofiglio, R. Gaeta, M. Garetto, P. Giaccone, E. Leonardi, M. Sereno, "A Statistical Physics Approach for Modelling P2P Systems". *ACM Performance Evaluation Review*, Vol. 33, No. 2, September 2005.
- [D+04] S. Das, A. Nandan, G. Pau, M.Y. Sanadidi, M. Gerla, "SPAWN: A Swarming Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks". *Proc. 1st ACM VANET*, Oct. 2004.
- [D+87] A. Demers, D. Greene, C. Hauser, W. Irish, J. Larson, S. Shenker, H. Sturgis, D. Swinehart, D. Terry, "Epidemic algorithms for replicated database maintenance". *Proc. 6th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, pp. 1-12, 1987.
- [EG+04] A. El Gamal, J. Mammen, B. Prabhakar, D. Shah, "Throughput-Delay Trade-Off in Wireless Networks". *IEEE Infocom'04*, March 2004.
- [G+05] O. Goussevskaia, M.D.V. Machado, R.A.F. Mini et al., "Data dissemination based on the energy map". *IEEE Communications Magazine*, Vol.43, N.7, 2005, pp. 134-143.
- [GSB04] S. Giordano, I. Stojmenovic, L. Blazevic, "Position based routing algorithms for ad hoc networks: a taxonomy". *Ad Hoc Wireless Networking*, Kluwer, pp. 103-136, 2004.
- [GT02] M. Grossglauser, D.N.C. Tse, "Mobility increases the capacity of ad hoc wireless networks". *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.10, N.4, pp. 477-486, 2002.
- [H+03] N.J.A. Harvey, M.B. Jones, S. Saroiu, M. Theimer, A. Wolman, "SkipNet: A Scalable Overlay Network with Practical Locality Properties". *Proc. 4th USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems*, March 2003.
- [H+05] P. Hui, A. Chaintreau, J. Scott, R. Gass, J. Crowcroft, C. Diot, "Pocket Switched Networks and the Consequences of Human Mobility in Conference Environments". *Proc. SIGCOMM 2005 Workshop on Delay Tolerant Networking*, August 2005.

- [J+02] P. Juang, H. Oki, Y. Wang, M. Martonosi, L.S. Peh, D. Rubenstein, "Energy-efficient computing for wildlife tracking: design tradeoffs and early experiences with ZebraNet". *Proc. 10th Intl Conf. Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, pp. 96-107, 2002.
- [JFP04] S. Jain, K. Fall, R. Patra, "Routing in a delay tolerant network". *Proc. Conf. SIGCOMM'04*, pp. 145-158, 2004.
- [JMW03] S. Jain, R. Mahajan, D. Wetherall, "A Study of the Performance Potential of DHT-based Overlays". *Proc. 4th USENIX Symposium on Internet*, 2003.
- [KK00] B. Karp, H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks". *Proc. 6th Intl. Conf. MobiCom'00*, pp. 243-254, 2000.
- [KSU99] E. Kranakis, H. Singh, J. Urrutia, "Compass routing on geometric networks". *Proc. 11th Canadian Conference on Computational Geometry*, Vancouver, Aug. 1999.
- [KV00] Y.B. Ko, N.H. Vaidya, "Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks". *Proc. 4th Intl. Conf. MobiCom'98*, pp. 66-75, 1998.
- [KV00b] Y. Ko and N. H. Vaidya, "GeoTORA: A Protocol for Geocasting in Mobile Ad-Hoc Networks". *Proc. of IEEE ICNP 2000*.
- [LS04] X. Lin, N.B. Shroff, "The Fundamental Capacity-Delay Tradeoff in Large Mobile Ad Hoc Networks". *Third Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop*, 2004.
- [LTL00] W.H. Liao, Y.C. Tseng, K.L. Lo, and J.P. Sheu, "GeoGRID: A Geocasting Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks based on GRID". *Journal of Internet Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 23-32, December 2000.
- [LW05] C. Lindemann, O.P. Waldhorst, "Modeling epidemic information dissemination on mobile devices with finite buffers". *Proc. ACM SIGMETRICS'05*, pp. 121-132, 2005.
- [M+06] U. Monaco, F. Cuomo, T. Melodia, F. Ricciato, M. Listanti, "Data Gathering in Wireless Sensor Networks: Insights into Energy-oriented Approaches". *Proc. 3rd Networking Workshop*, Jan. 2006.
<http://www.telematica.polito.it/courmayeur06/papers/12-A.3.2.pdf>
- [MJB05] A. Montessor, M. Jelasity, O. Babaoglu, "Gossip-based Aggregation in Large Dynamic Networks". *ACM Transactions on Computer Systems*, Vol.23, N.3, pp. 219-252, August 2005.
- [MM05] M. Meo, F. Milan, "Content Management Policies in Peer-to-Peer File Sharing Networks". *IEEE Globecom 2005*, St. Louis, MO, USA
- [NN03] D. Niculescu, B. Nath, "Trajectory Based Forwarding and Its Application". *Proc. of ACM Mobicom 2003*.
- [N+06] A. Nandan, S. Tewari, S. Das, M. Gerla, L. Kleinrock, "AdTorrent: Delivering Location Cognizant Advertisements to Car Networks". *Proc. 3rd Annual IFIP Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services*, pp. 203-212, Jan. 2006.
- [RJH02] G.-C. Roman, C. Julien, Q. Huang, "Network abstractions for context-aware mobile computing". *Proc. ICSE'02*, pp. 363-373, 2002.
- [RKV04] A. Rodriguez, D. Kostic, A. Vahdat, "Scalability in Adaptive Multi-Metric Overlays". *Proc. Intl Conf. ICDCS*, March 2004.
- [RT99] E.M. Royer, C.-K. Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks". *IEEE Personal Communications*, pp. 46-55, Apr. 1999.
- [S+04] J. Su, A. Chin, A. Popivanova, A. Goel, E. de Lara, "User Mobility for Opportunistic Ad-Hoc Networking". *Proc. IEEE WMCSA*, 2004.
- [SM04] G. Sharma, R. Mazumdar, "On Achievable Delay/Capacity Trade-offs in Mobile Ad Hoc Networks". *Proc. WiOpt 2004*, Cambridge, UK, March 2004.
- [T+03] J. Tian, L. Han, K. Rothenmel, C. Cseh, "Spatially Aware Packet Routing for Mobile Ad Hoc Inter-Vehicle Radio Networks". *Proc. 6th IEEE ITSC*, pp. 1546-1552, Oct. 2003.
- [VB00] A. Vahdat, D. Becker, "Epidemic Routing for Partially-connected Ad hoc Networks". *Technical Report CS-2000-06*, Duke University, July 2000.
- [W+05] Y. Wang, S. Jain, M. Martonosi, K. Fall, "Erasure-coding based routing for opportunistic networks". *Proc. 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking (WDTN'05)*, pp. 229-236, 2005.
- [YLZ04] Y. Yu, G.-H. Lu, Z.-L. Zhang, "Enhancing Location Service Scalability With HIGH-GRADE". *Proc. IEEE MASS 2004*, Oct 2004.
- [ZR03] M. Zorzi, R. R. Rao, "Geographic Random Forwarding (GeRaF) for Ad Hoc and Sensor Networks". *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 2, no. 4, pp 337-365, Oct-Dec 2003.

2.3 Descrizione del Programma di Ricerca e del ruolo delle Unità operative locali

Descrizione del Programma di Ricerca

Testo italiano

2.3.1 ORGANIZZAZIONE DI CARTOON

Gli obiettivi di CARTOON, come sono brevemente descritti in § 2.1, sono la progettazione, l'analisi e la stesura delle specifiche di nuovi protocolli di rete per reti opportunistiche. Questa sezione descrive il piano delle attività del progetto ed il ruolo delle unità di ricerca (UR) all'interno di un intervallo di tempo di due anni. Nell'organizzazione di CARTOON il termine *Work Package*, o WP_x, dove *x* è un numero intero progressivo, è adottato per raggruppare un insieme di *task* omogenei, o Tx.y, dove *y* è un intero progressivo che identifica un task all'interno di WP_x. Ogni task è organizzato in specifiche *attività* identificate progressivamente tramite numeri romani.

CARTOON è organizzato in modo da assicurare la copertura funzionale delle componenti a livello di rete e da fornire gli elementi base di un'architettura di overlay necessari per supportare i servizi di middleware (figura 1). CARTOON non si occupa del progetto

di specifici servizi di overlay ma produrrà le componenti costruttive elementari necessarie al loro sviluppo. Le Unità di Ricerca, UR, di CARTOON sono state appositamente identificate sulla base delle loro esperienze al fine di garantire la copertura di tutto l'insieme di componenti dell'architettura proposta. Le UR afferenti al progetto sono:

- Università degli Studi di Milano, UniMI,
- Politecnico di Milano, PoliMI,
- Politecnico di Torino, PoliTO.

Il progetto si compone dei seguenti 4 WP.

WP1: Architettura, modelli e strumenti di simulazione

Lo scopo di questo WP è la definizione di un ambito architeturale, analitico e di simulazione omogeneo per il progetto. Ciò costituirà il riferimento comune alle UR in cui riflettere i requisiti delle applicazioni, rendere accessibili le informazioni di contesto per valutarne l'influenza sul comportamento dei protocolli, effettuare campagne di analisi comparative e valutazioni dei propri protocolli, arricchire l'ambiente di simulazione selezionato con nuove librerie software che derivano dall'applicazione dei modelli di mobilità ed energetici presenti in letteratura al contesto opportunistico considerato. Inoltre, WP1 fornisce l'analisi del sistema e le specifiche dettagliate di un dispositivo mobile basato su CARTOON che permetterà una facile migrazione di questa attività di ricerca verso un successivo programma di sperimentazione in un ambiente reale.

Di conseguenza, WP1 può essere organizzato in 3 task:

T1.1: Architettura funzionale comune

Il task studia lo scenario applicativo, ne deriva i requisiti funzionali, identifica ambienti e vincoli sulle risorse e produce i requisiti applicativi del progetto e l'architettura di riferimento.

Task input: letteratura sull'argomento, vincoli del sistema e scenario applicativo.

Task output: documento di *Specifica di Progetto* contenente i requisiti dell'applicazione e l'architettura funzionale.

UR coinvolte: il task coinvolge tutte le UR del progetto (UniMI, PoliMI, PoliTO).

Le attività sono:

- i) Progettazione di un'architettura per reti opportunistiche.

T1.2: Strumento di simulazione per reti opportunistiche

Il task studia i modelli di mobilità e consumo energetico disponibili in letteratura e li applica alle reti opportunistiche, definisce l'architettura dello strumento di simulazione per reti opportunistiche, implementa la libreria software di componenti che descrivono i modelli ed il comportamento dell'architettura descritta in T1.1 e, come ultima cosa, integra i moduli software in un simulatore di rete già disponibile (ad esempio *ns2*, *OMNeT++* o *GloMoSim*).

Task input: letteratura sull'argomento, documento di *Specifica di Progetto*

Task output: strumento di simulazione per reti opportunistiche

UR coinvolte: il task coinvolge tutte le UR del progetto (UniMI, PoliMI, PoliTO).

Le attività sono:

- ii) Analisi dei modelli di mobilità presenti in letteratura.

- iii) Progettazione, sviluppo ed integrazione di componenti software per lo strumento di simulazione.

T1.3: Specifiche di un dispositivo mobile specifico per CARTOON

Questo task fornisce le specifiche dettagliate del dispositivo mobile specifico per CARTOON, un dispositivo mobile che integra le strategie di comunicazione definite e valutate nel progetto. Queste specifiche sono un passo necessario verso la costruzione di un test-bed per reti opportunistiche il cui sviluppo, comunque, è al di fuori degli obiettivi di questo progetto. Le specifiche permetteranno di realizzare un modulo aggiuntivo per CARTOON da inserire in una piattaforma mobile esistente (Symbian, Windows CE o Linux Embedded). I nuovi moduli opereranno sopra il software esistente per la gestione delle connessioni wireless per modificare il comportamento del dispositivo dell'utente in quello richiesto per operare come un nodo di instradamento in una rete opportunistica.

Task input: documento di *Specifica di Progetto*, *Specifica di dettaglio* dei protocolli di CARTOON.

Task output: *Specifica Architeturale* del dispositivo mobile specifico per CARTOON.

UR coinvolte: il task coinvolge tutte le UR del progetto (UniMI, PoliMI, PoliTO).

Le attività sono:

- iv) Progetto architeturale di un dispositivo mobile specifico per CARTOON.

WP2: Instradamento in reti opportunistiche

Scopo del WP2 è la definizione di protocolli ed algoritmi originali per l'instradamento efficiente di pacchetti all'interno dell'architettura specificata nel WP1. Per raggiungere questo obiettivo il WP considera le principali categorie di protocolli che possono essere impiegati in uno scenario con reti opportunistiche: i) *routing geografico* e ii) le differenti modalità di flooding controllato, con un'attenzione particolare agli *algoritmi epidemici*. Di conseguenza, il WP2 può essere organizzato in 2 task:

T2.1: Routing geografico

Questo task studia e definisce meccanismi di routing geografico per reti opportunistiche. Gli schemi di routing geografico per reti ad

hoc disponibili in letteratura assumono che la topologia di rete sia connessa. Poiché la principale caratteristica delle reti opportunistiche è una topologia altamente dinamica, gli schemi di instradamento devono essere adattati allo scopo di sfruttare la capacità di caching degli apparati e la loro mobilità. Di conseguenza, i meccanismi di instradamento devono considerare un'ampia insieme di informazioni che include la posizione, la velocità e direzione di movimento e, quando possibile, anche l'itinerario. Poiché la consegna dei pacchetti non può essere garantita tramite un meccanismo di inoltra strettamente hop-by-hop, copie multiple dei pacchetti possono essere inviate in rete allo scopo di aumentare la probabilità di consegna. Informazioni sulla posizione delle sorgenti di informazioni (InfoSpot) può essere assunta nota ai terminali e può essere sfruttata per rendere il meccanismo di instradamento più affidabile ed efficiente.

Task input: letteratura sull'argomento, documento di *Specificità di Progetto*, strumento di simulazione per reti opportunistiche.

Task output: *Specificità di dettaglio* dei protocolli, analisi e valutazione dettagliate dei protocolli tramite simulazioni.

UR coinvolte: il task coinvolge una delle UR del progetto (PoliMI).

Le attività sono:

v) Progettazione e sviluppo di protocolli di routing geografici per reti opportunistiche.

T2.2: Routing epidemico

Il task studia gli algoritmi epidemici disponibili per verificare come questi possano essere applicati allo scenario definito nel progetto. Il task considera l'approccio epidemico in diverse condizioni di connettività e sotto vincoli di risorse variabili al fine di fornire una soluzione modulare ai requisiti variabili di una situazione reale. In effetti, quando la connettività di rete è disponibile, il problema principale diventa la capacità del protocollo di consegnare a destinazione i pacchetti in modo efficiente. Quando la rete subisce un partizionamento, il problema principale diventano i meccanismi per assicurare integrità e consegna dei pacchetti tollerando i ritardi nella rete. In ambedue gli scenari, il comportamento mobile degli utenti e la condizione delle risorse locali e di rete potrebbe influenzare le prestazioni del protocollo in maniera sia positiva che negativa e dovranno, quindi, essere considerati con attenzione. Infine, la progettazione del protocollo è influenzata dalle caratteristiche del traffico da trasportare. In caso di traffico 'pesante', associato per esempio ad alcuni sistemi di distribuzione di contenuto in uno scenario P2P, il protocollo deve incorporare politiche per un uso ottimale delle risorse (la gestione locale della memoria è fondamentale per evitare il problema di collasso della rete a causa della congestione) e per la giusta distribuzione dei frammenti di contenuto all'interno della rete.

Task input: letteratura sull'argomento, documento di *Specificità di Progetto*, strumento di simulazione per reti opportunistiche.

Task output: *Specificità di dettaglio* del protocollo, analisi e valutazione dettagliate del protocollo stesso tramite simulazioni.

UR coinvolte: il task coinvolge due UR del progetto (UniMI, PoliTO).

Le attività sono:

vi) Progettazione e sviluppo di protocolli di routing epidemici per reti opportunistiche.

WP3: Protocolli di overlay per reti opportunistiche

Lo scopo del WP3 è la definizione di protocolli ed algoritmi originali per la distribuzione efficiente di contenuti, la condivisione di informazioni, l'aggregazione e cooperazione in uno scenario P2P o all'interno di un paradigma di comunicazione uno-a-molti dove, per esempio, i contenuti sono fruiti da una risorsa di tipo <any> o distribuiti in un'area geografica. Di conseguenza, il WP3 può essere organizzato in 2 task:

T3.1: Distribuzione P2P di contenuti

Il task studia lo scenario di applicazione e ne deriva gli algoritmi per organizzare i contenuti in modo da ottenere una facile raggiungibilità e disponibilità di questi ultimi. Il task considera inoltre le politiche per la frammentazione dei messaggi per assicurare un trasferimento efficiente dei contenuti attraverso la rete. La ricerca considera diverse condizioni di connettività e si occupa prevalentemente di problemi relativi alla gestione dei contenuti quando grandi quantità di dati entrano in gioco.

Task input: letteratura sull'argomento, documento di *Specificità di Progetto*, strumento di simulazione per reti opportunistiche.

Task output: *Specificità di dettaglio* del protocollo, analisi e valutazione dettagliate del protocollo stesso tramite simulazioni.

UR coinvolte: il task coinvolge una delle UR del progetto (PoliTO).

Le attività sono:

vii) Progettazione e sviluppo di un protocollo P2P per reti opportunistiche.

viii) Analisi delle tecniche di frammentazione del contenuto e gestione delle risorse.

T3.2: Protocolli di gossiping per il supporto di paradigmi di comunicazione uno-a-molti

Il gossip è stato dimostrato essere un approccio efficiente e robusto per la disseminazione di informazioni all'interno di un gruppo di nodi noti o per supportare l'aggregazione ed il coordinamento all'interno di un gruppo. Il task studia questo approccio nei contesti di mobilità e risorse di questo progetto e propone un insieme di algoritmi modulari basati su strategie di gossip per supportare un largo spettro di bisogni da parte delle applicazioni. Per ottenere questo risultato due problemi progettuali diventano critici. Da una parte c'è la necessità di fornire meccanismi efficienti e flessibili per la formazione di gruppi in un ambiente molto dinamico. Questo problema è l'argomento del task 3.3. Dall'altra parte le tecniche di randomizzazione che sono insite in tutti gli algoritmi basati su gossip devono essere riviste all'interno del nuovo scenario di rete. Queste tecniche sono alla base dello sviluppo dei protocolli considerati in questo task.

Task input: letteratura sull'argomento, documento di *Specificità di Progetto*, strumento di simulazione per reti opportunistiche.

Task output: *Specificità di dettaglio* del protocollo, analisi e valutazione dettagliate del protocollo stesso tramite simulazioni.

UR coinvolte: il task coinvolge una delle UR del progetto (UniMI).

Le attività sono:

- ix) Analisi e progettazione di strategie randomizzate per algoritmi di gossip.
- x) Progettazione e sviluppo di protocolli facenti uso di strategie di gossip per reti opportunistiche.

T3.3: Membership in reti opportunistiche

La maggioranza dei servizi di overlay considerati opera all'interno di un gruppo di nodi. La capacità di creare e di gestire dinamicamente gruppi in un ambiente mobile è, contemporaneamente, sia un problema critico per la progettazione di servizi middleware, sia una stimolante area di ricerca. Con questa motivazione, CARTOON considera lo studio dell'appartenenza ad un gruppo come uno dei task fondamentali, nonostante il servizio di membership sia in pratica un servizio di supporto ai protocolli studiati nei task 3.1 e 3.2. Da una parte sussiste la necessità di fornire meccanismi flessibili ed efficienti per la formazione di gruppi in ambienti molto dinamici. D'altra parte saranno anche forniti nuovi meccanismi per assicurare aggregazione spontanea tra i nodi e per riconoscere e sfruttare particolari comportamenti, come quelli a sciami.

Task input: letteratura sull'argomento, documento di *Specifica di Progetto*, strumento di simulazione per reti opportunistiche.

Task output: *Specifica di dettaglio* del protocollo, analisi e valutazione dettagliate del protocollo stesso tramite simulazioni.

UR coinvolte: il task coinvolge una delle UR del progetto (UniMI).

Le attività sono:

- xi) Progettazione e sviluppo di un sistema di membership per ambienti dinamici.
- xii) Progettazione e sviluppo di un sistema di formazione spontanea di gruppo.

WP4: Diffusione dei risultati

I risultati della ricerca verranno diffusi attraverso la pubblicazione di articoli in conferenze internazionali e su riviste scientifiche. Inoltre, sulla base dei risultati positivi delle esperienze passate nei progetti PRIN (MQOS, NEBULA etc), in CARTOON desideriamo replicare l'esperienza di workshop interni da organizzare alla fine di ogni anno di progetto. Questa attività è descritta da:

T4.1: Organizzazione di Workshop

Questo task organizza il workshop intermedio alla fine del primo anno ed il workshop conclusivo alla fine del secondo anno.

Task input: Attività del progetto.

Task output: Organizzazione del workshop.

UR coinvolte: il task coinvolge tutte le UR del progetto (UniMI, PoliMI, PoliTO).

Le attività sono:

- xiii) Organizzazione dei workshop alla fine del primo e del secondo anno.

2.3.2 RESPONSABILITA' DELLE UR IN CARTOON

La figura 2 raffigura la responsabilità e la cooperazione delle unità di ricerca in rapporto ai diversi Task. Le UR sono ugualmente responsabili nei task 1.1, 1.2, 1.3 e 4.1 dove tutte cooperano alle stesse attività. Nei task 2.1, 2.2, 3.1, 3.2 e 3.3 le UR sono coinvolte in accordo con le loro specifiche esperienze e capacità al fine di fornire la copertura totale delle funzionalità identificate nell'architettura opportunistica. Nello specifico:

- ° PoliMI è responsabile delle attività nel task 2.1;
- ° UniMI e PoliTO condividono la responsabilità del task 2.2 in cui le UR si concentreranno su diversi casi di connettività e carico di traffico;
- ° PoliTO è responsabile del task 3.1, e
- ° UniMI è responsabile dei task 3.2 e 3.3.

La responsabilità di un task significa che la UR specificata coordina le attività del task e, per i task 2.1, 3.1, 3.2 e 3.3 svolge la maggior parte delle attività. Nella organizzazione globale dei task la cooperazione tra UR è richiesta per definire interfacce comuni, per specificare la comunicazione tra strati software e per fornire valutazioni comparative delle prestazioni dei protocolli progettati.

	UniMI	Polimi	Polito
T1.1	●	●	●
T1.2	●	●	●
T1.3	●	●	●
T2.1		●	
T2.2	●		●
T3.1			●
T3.2	●		
T3.3	●		
T4.1	●	●	●

Figura 2: Relazione Task - UR

2.3.3. PRODOTTI DELLA RICERCA E GESTIONE DEL PROGETTO

I prodotti di CARTOON possono essere riassunti nei seguenti elementi:

1. Documenti di specifiche architeturali e dei protocolli ottenuti come risultato dei task descritti nella sezione 2.3.1. e rivisti in accordo con l'organizzazione interna descritta di seguito;
2. Lo strumento di simulazione per reti opportunistiche, ottenuto come estensione di un simulatore esistente, per integrare sia i necessari modelli che descrivono uno scenario opportunistico sia i moduli software che implementano i protocolli sviluppati durante il progetto;
3. La pubblicazione dei risultati della ricerca su riviste scientifiche e ad atti di conferenze specializzate e la loro discussione scientifica nell'ambito dei workshop organizzati dal progetto.

Le attività del progetto, durante il suo ciclo di vita, si articolano in tre fasi:

- 1) *Analisi e specifica, o fase 1.* In questa fase viene analizzata la letteratura disponibile sul soggetto della ricerca e le proposte confrontate nel contesto definito nel progetto in maniera tale da ottenere le valutazioni e le specifiche dei problemi da affrontare, dei vincoli e dell'ambiente in cui ci si muoverà.
- 2) *Progettazione e sviluppo, o fase 2.* In questa fase i componenti specificati nella fase 1 vengono progettati e il relativo modulo software implementato all'interno dell'ambiente di simulazione per poter passare alla terza fase.
- 3) *Valutazione e Validazione, o fase 3.* In questa fase le proposte avanzate nella fase 2 sono verificate ed analizzate e le loro prestazioni confrontate tramite simulazioni.

La gestione del progetto viene portata avanti tramite coordinamento interno che viene finalizzato in tre revisioni. Ogni revisione rappresenta una *revisione di fase* e considererà i risultati pianificati per quella fase. In particolare:

° Alla fine della fase 1 è pianificato il rilascio di un documento di *Specifica di Progetto*, attività *i*), e di un documento di specifica dello strumento di simulazione per reti opportunistiche, attività *ii*).

° Alla fine della fase 2, è pianificato il rilascio dello strumento di simulazione per reti opportunistiche, attività *iii*), della *Specifica Architeturale* del dispositivo mobile specifico per CARTOON, attività *iv*), e delle *Specifiche di dettaglio* dei protocolli per le attività da *v*) a *xii*).

° Alla fine della fase 3, la revisione farà una valutazione dei risultati finali del processo di simulazione e dei progressi nell'organizzazione del workshop. Questa revisione si occuperà inoltre di verificare lo stato della versione finale dello strumento di simulazione che, in questo stadio, integrerà il codice dei componenti progettati durante il progetto.

La figura 3 descrive il diagramma Gantt di CARTOON dove WP e task sono organizzati in un intervallo di tempo di due anni.

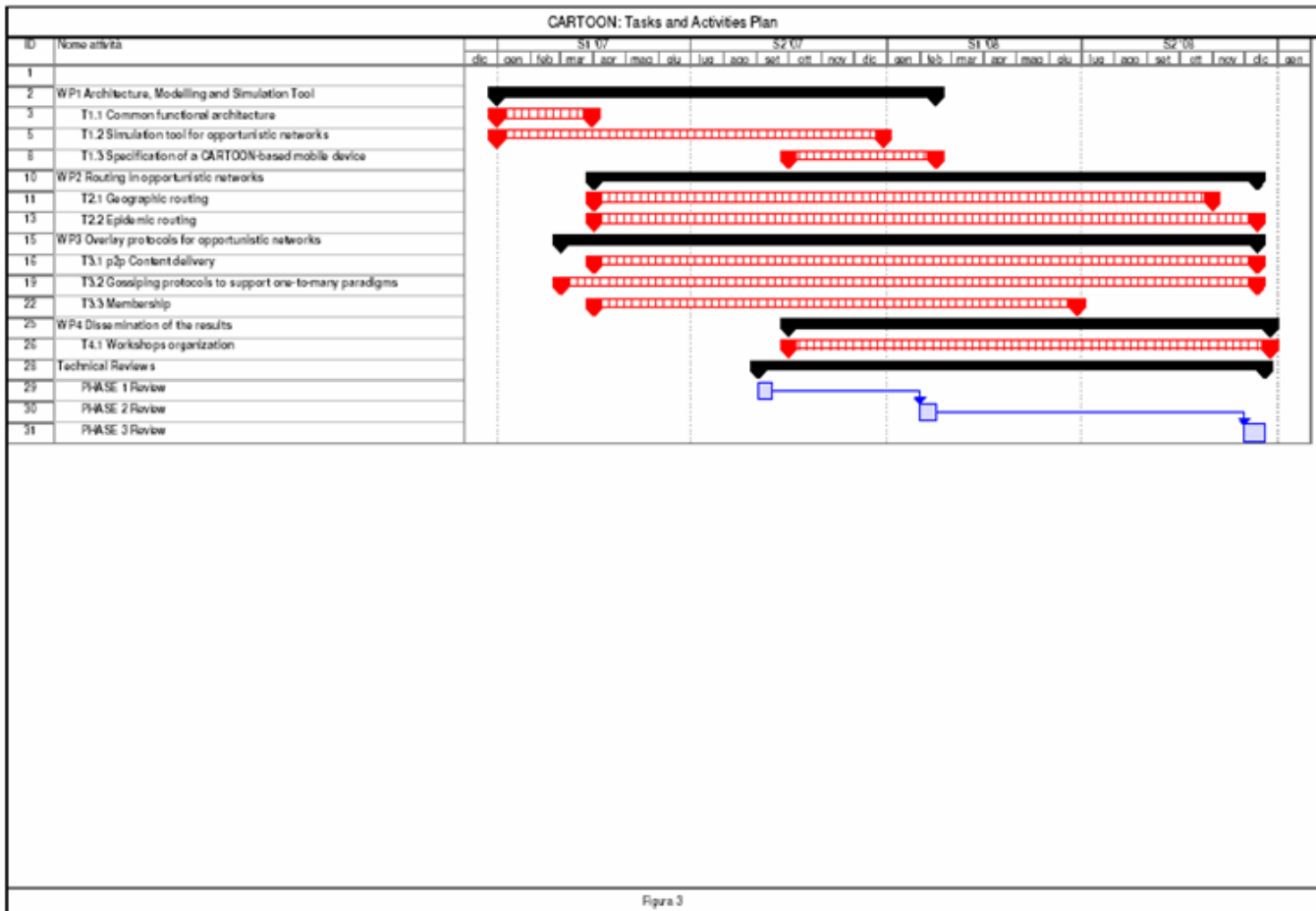


Figura 3

Testo inglese

2.3.1 THE CARTOON ORGANIZATION

The CARTOON objectives, as they are briefly described in § 2.1, are the design, analysis and specification of novel network protocols for opportunistic networks. This section describes the activity plan of the project and the role of the Research Units (U.R.) within a 2 years time frame. In the CARTOON organization the term *Work Package*, or WPx, where x is a progressive integer, is adopted to group a set of homogeneous *Tasks*, or Tx.y., where y is a progressive integer that identifies the task inside the WPx. Each Task is organized in specific *Activities* that are progressively identified through integers in roman digits.

CARTOON is organized to ensure the functional coverage of the components at the network layer and to provide the basic building blocks of an overlay architecture needed to support the services (Figure 1). The project does not provide the design or the development of specific overlay services, although they will be considered and simulated to facilitate the design of the overlay basic components. The CARTOON Research Units (U.R.) have been purposely identified on the base of their specific experience in order to guarantee the coverage of the entire components set of the proposed architecture. The URs of CARTOON are:

- Università degli Studi di Milano, UniMI,
- Politecnico di Torino, PoliTO,
- Politecnico di Milano, PoliMI.

The project considers the following 4 WPs.

WP1: Architecture, modelling and simulation tool

Scope of this WP is the definition of a common project framework that analyses the application scenario and requirements to derive a suitable functional architecture in which context information are considered to evaluate their influence on the protocol behaviors. Secondly, WP1 aims at the upgrade of a simulation environment, chosen amongst the most suitable for the project's purposes, to obtain a common framework through which U.R. can perform their protocol analysis and evaluation. To achieve this goal, the energy and mobility models available in the literature need to be evaluated in the frame of the functional and architectural framework with the purpose of deriving software library modules that enrich the selected simulation environment. Thirdly, WP1 provides the system analysis and detailed specifications of a CARTOON-based mobile device that enable the graceful migration of this research towards the next experimental phase in a non simulated environment. As the consequence, WP1 can be organized into 3 Tasks:

T1.1: Common functional architecture

The task studies the application scenario, derives the functional requirements, identifies environment and resource constraints and produces the project's application requirements and reference architecture.

Task input: literature on the subject, system constraints and application scenario

Task output: Project Specification Document containing the application requirements and the functional architecture

Involved U.R.: The task involves all the project's U.R. (UniMI, PoliMI, PoliTO)

The activities are:

i) Design of the architecture for opportunistic networks

T1.2: Simulation Tool for opportunistic networks

The task studies the available mobility and energy models and applies them to opportunistic networks, defines the architecture of the simulation tool for opportunistic networks, implements the library of software components that describe the models and the behavior of the architecture in T1.1. and, finally, integrates the software modules in some available network simulator (e.g. *ns2*, *OMNeT++* or *GloMoSim*).

Task input: literature on the subject, Project Specification Document

Task output: Simulation Tool for Opportunistic Networks

Involved U.R.: The task involves all the project's U.R. (UniMI, PoliMI, PoliTO)

The activities are:

ii) Analysis of mobility models of the literature

iii) Design, development and integration of software components for the simulation tool

T1.3: Specification of a CARTOON-based mobile device

This Task provides the detailed specification of a CARTOON-based mobile device, that is, a mobile device that integrates the communication mechanisms defined and evaluated by the project. This specification is the needed step towards the deployment of an opportunistic network test-bed whose development, however, is outside the scope of the project. The specification will provide the design of the add-on CARTOON's modules to be embedded into one of the available mobile platforms (e.g. Symbian, Windows CE or Linux Embedded). The new modules will operate on top of existing wireless links to modify the behavior of the user's devices into those required to operate as relay node in an opportunistic network.

Task input: Project Specification Document, Detailed Protocol Specifications of the CARTOON protocols.

Task output: Specifications of the architecture of the CARTOON-based mobile device

Involved U.R.: The task involves all the project's U.R. (UniMI, PoliMI, PoliTO)

The activities are:

iv) Architectural Design of the CARTOON-based mobile device

WP2: Routing in opportunistic networks

Scope of WP2 is the definition of novel and original protocols and algorithms to efficiently route packets within the architecture specified in WP1. To achieve this goal, the WP considers the main protocol categories that can be applied to an opportunistic network scenario: i) *geographic routing* and ii) the different forms of controlled flooding, with a main focus on *epidemic algorithms*. As the consequence, the WP2 can be organized into 2 Tasks:

T2.1: Geographic routing

This task studies and defines geographic routing mechanisms for opportunistic networks. The available geographic routing schemes for ad hoc networks assume that the network topology is connected. Since the main characteristic of opportunistic networks is a highly dynamic topology, the routing schemes must be adapted in order to exploit node caching capability and terminal mobility. Therefore, the routing mechanisms must consider a wide class of information that include the position, the speed and the direction of movement and, when possible, even the movement path. Since packet delivery cannot be guaranteed with a strict hop-by-hop forwarding mechanism, more copies of the packet can travel in the network to increase delivery probability. The information on the position of information sources (InfoStations) can be assumed to be known to terminals and can be exploited to make the routing process more reliable and efficient.

Task input: literature on the subject, Project Specification Document, Simulation Tool for Opportunistic Networks

Task output: Protocol Detailed Specifications, protocol analysis and evaluation through simulations

Involved U.R.: The task involves 1 of the project's U.R. (PoliMI)

The activities are:

v) Design and development of geographic routing protocols for opportunistic networks

T2.2: Epidemic routing

The task studies the available epidemic algorithms to verify how they apply to the defined project scenario. The task considers the epidemic approach in different connectivity conditions and under variable resource constraints to provide a modular solution to the changing requirements of a real setting. In fact, when the network connectivity is available, the main issue becomes the capability of the protocol to efficiently deliver the packets to destinations. When the network partitions, the main issue becomes the mechanisms

to ensure robustness and packet delivery under delay tolerant conditions. In both scenarios, the mobile behavior of the users and the status of local and network resources can either positively or negatively affect the protocol performances and must be carefully considered. Finally, the protocol design is influenced by the need to transport light or heavy traffic from source to destination. In this latter case, for instance associated to some content delivery in a P2P scenario, the protocol must embed the policies leading to an optimal use of the resources (e.g. the local memory management is crucial to avoid the congestion collapse problem) and to properly distribute the content fragments over the network.

Task input: literature on the subject, Project Specification Document, Simulation Tool for Opportunistic Networks

Task output: Protocol Detailed Specifications, protocol analysis and evaluation through simulations

Involved U.R.: The task involves two project's U.R. (UniMI, PoliTO)

The activities are:

vi) Design and development of epidemic routing protocols for opportunistic networks

WP3: Overlay protocols for opportunistic networks

Scope of WP3 is the definition of novel and original protocols and algorithms to efficiently support the content delivery, information sharing, aggregation and cooperation within a P2P overlay scenario or within a one-to-many paradigm where, for instance, contents are pull from <any> resource or pushed to a geo-localized area. As the consequence, the WP3 can be organized into 2 Tasks:

T3.1: P2P Content delivery

The task studies the application scenario and derives the algorithms to organize the contents to enable their efficient reachability. The Task will also consider the message chunking policies to ensure the efficient content transfer over the network. The research considers different connectivity conditions and mainly addresses the resource management issue when large contents are involved.

Task input: literature on the subject, Project Specification Document, Simulation Tool for Opportunistic Networks

Task output: Protocol Detailed Specifications, protocol analysis and evaluation through simulations

Involved U.R.: The task involves 1 of the project's U.R. (PoliTO)

The activities are:

vii) Design and development of a P2P protocol for opportunistic networks

viii) Analysis of the chunking techniques and resource management

T3.2: Gossiping protocols to support the one-to-many communication paradigm

The gossip has been proved to be an efficient and robust approach to disseminate data within a group with known membership or to support aggregation and coordination within a group. The task studies the approach within the mobility and resource framework of the project and proposes a modular set of gossip-based algorithms to support a wide range of application needs. To achieve this goal, two design issues become critical. On the one side, there is the need to provide efficient and flexible mechanisms for group formation within a highly dynamic scenario. This issue is the topic of Task 3.3. On the other side, the randomization techniques that are lying inside all the gossip-based algorithms must be reconsidered in the new networking scenario. The protocols that will be designed in task 3.2 are based on the aforementioned mechanisms.

Task input: literature on the subject, Project Specification Document, Simulation Tool for Opportunistic Networks

Task output: Protocol Detailed Specifications, protocol analysis and evaluation through simulations

Involved U.R.: The task involves 1 of the project's U.R. (UniMI)

The activities are:

ix) Analysis and design of randomized policies for gossip-based algorithms

x) Design and development of gossip-based protocols for opportunistic networks

T3.3: Membership in opportunistic networks

The most part of the considered overlay services are operating within a group of peer entities. The capability of creating and dynamically manage the membership of groups in a mobile scenario is, at the same time, a critical issue to design middleware services and a challenging research area. With this motivation, CARTOON considers the membership as one of the key Tasks, although the membership service is in practice a support service to the protocols in task 3.1 and 3.2. On the one side, there is the need to provide efficient and flexible mechanisms for group formation within a highly dynamic scenario. On the other side, novel mechanisms, to ensure spontaneous aggregation among peers and to recognize and exploit swarm mobility, will also be provided.

Task input: literature on the subject, Project Specification Document, Simulation Tool for Opportunistic Networks

Task output: Protocol Detailed Specifications, protocol analysis and evaluation through simulations

Involved U.R.: The task involves the project's U.R. UniMI

The activities are:

xi) Design and development of membership mechanisms for dynamic environments

xii) Design and development of spontaneous group formation mechanism

WP4: Dissemination of the results

The results of the research are disseminated through the publishing of research papers at international conferences and on journals and magazines. Moreover, on the base of the positive results of previous experiences in the frame of PRIN projects (MQOS,

NEBULA etc), in CARTOON we wish to replicate the experience of internal workshops to be organized at the end of each project year. This activity is described by the:

T4.1: Workshops organization

The Task aims at the organization of the intermediate workshop, at the end of the first year, and of the final workshop at the end of the second year.

Task input: Project's activities

Task output: Workshop organization

Involved U.R.: The task involves all the project's U.R. (UniMI, PoliMI, PoliTO)

The activities are:

xiii) Organization of the workshops at the end of the first and the second year

2.3.2. RESPONSIBILITIES OF THE CARTOON RESEARCH UNITS

Figure 2. shows the task responsibilities of the Research Units and their cooperation. U.R. are equally responsible in Tasks 1.1, 1.2, 1.3, 4.1 where they are all cooperating to perform the same activities. On Tasks 2.1, 2.2., 3.1, 3.2, 3.3 the U.R. are involved according to their specific expertises and skills with the aim of providing the total coverage of the functionalities identified in the opportunistic architecture. In particular:

- ° PoliMI is responsible of the activities of Task 2.1;
- ° UniMI and PoliTO share the responsibilities of Task 2.2., in which the U.R. will focus on different connectivity and traffic load conditions;
- ° PoliTO is responsible for Task 3.1. and, finally,
- ° UniMI is responsible of Tasks 3.2 and 3.3.

The Task responsibility means that the specified U.R. coordinates the task activities and, for Task 2.1, 3.1 and 3.2 and 3.3., performs the most part of the efforts. In the overall task organization, U.R. cooperation is also required to define common interfaces, to specify interlayer communication and to provide compared performance evaluation of the designed protocols.

	UniMI	PoliMI	PoliTO
T1.1	●	●	●
T1.2	●	●	●
T1.3	●	●	●
T2.1		●	
T2.2	●		●
T3.1			●
T3.2	●		
T3.3	●		
T4.1	●	●	●

Figure 2: Task - U.R. relationship

2.3.3. PRODUCTS OF THE RESEARCH AND PROJECT MANAGEMENT

The CARTOON research products can be summarized in the following items:

1. Architectural and protocol specification documents obtained as the output of the tasks described in section 2.3.1. and reviewed according to the internal organization described in the sequel;
2. The Simulation Tool for Opportunistic Networks, obtained as an extension of an available simulator to integrate the required models to describe an opportunistic delay tolerant scenario and the software modules implementing the protocols designed throughout the project;

3. The publishing of the research results on specialized journals and conference proceedings and their scientific discussion inside the organized project workshops.

The project's activities span over the 3 Phases of the project's life cycle:

1) *Analysis and Specification, or Phase 1.* In this Phase, the available literature on the subject is analysed, the proposals compared in the frame of the scenario defined for the project in order to obtain problem assessment and specification, constraints setting and environment definition.

2) *Design and Development, or Phase 2.* In this Phase, the component specified in Phase 1 is designed and the related software module implemented within the simulation environment to enable the 3rd Phase.

3) *Evaluation and Validation, or Phase 3.* In this Phase, the proposals of Phase 2 are validated, analysed and their performances compared through simulations.

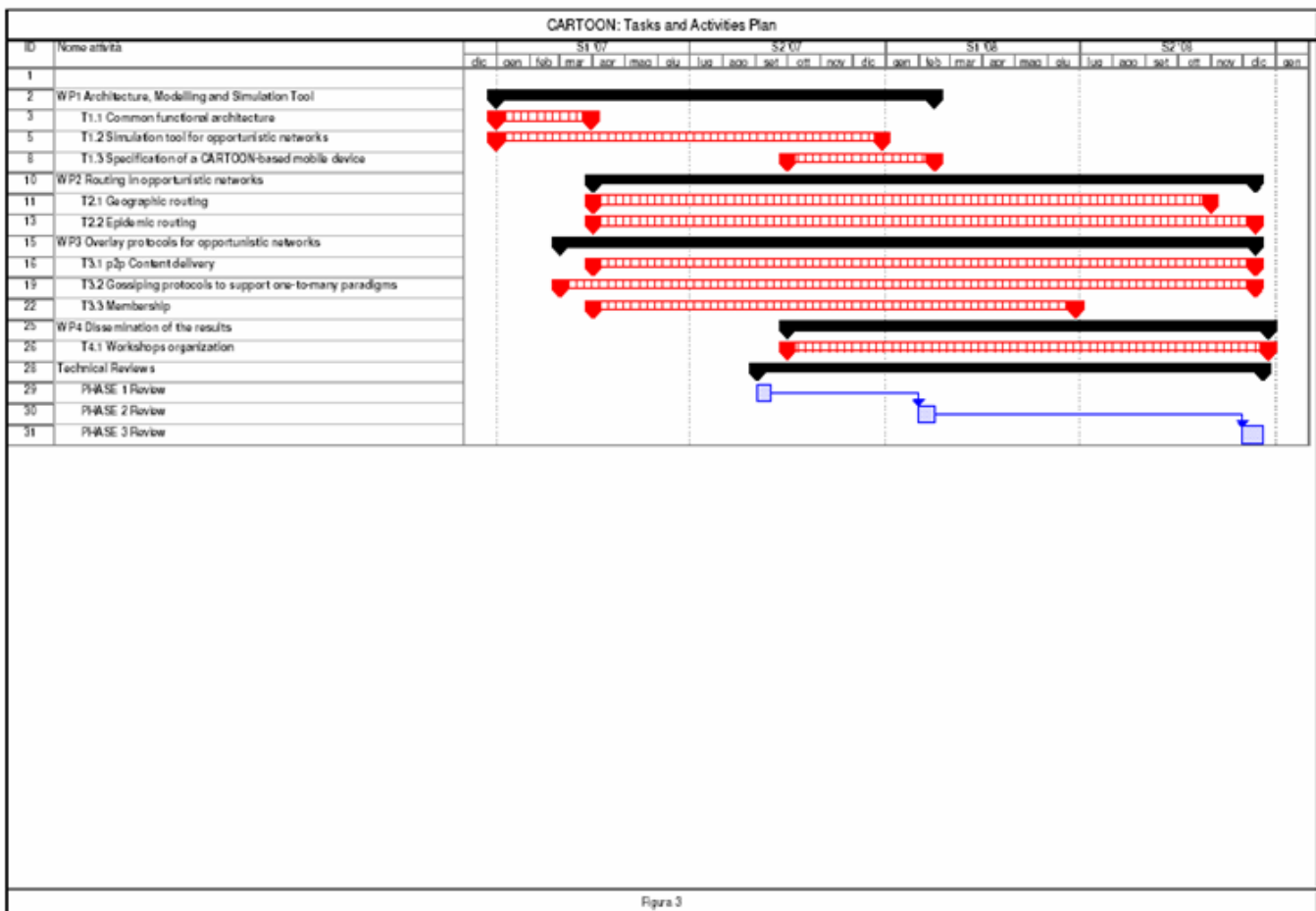
The project management is conducted through internal coordination that is finalized in 3 project reviews. Each review represents the *Phase Review* and will process the planned *Phase Deliverables*. In particular:

◦ At the end of Phase 1 it is planned the delivery of the *Project Specification Document*, activity i), and *Specification of the Simulation Tool Document* for the activity ii).

◦ At the end of Phase 2 it is planned the delivery of the *Simulation Tool for Opportunistic Networks*, activity iii), the *Design Specification of the CARTOON-based mobile device*, activity iv), and the *Protocol Detailed Specifications* for the activities v) through xii).

◦ At the end of Phase 3 the review will assess the final results of the simulation process together with the progress in the workshop organization. This review will also verify the state of the final version of the *Simulation Tool* that, at this stage, will integrate the code of the protocol components designed throughout the project.

Figure 3 provides the CARTOON Gantt sheet where WP and Tasks are organized into a two years time frame.



Descrizione del ruolo delle Unità operative locali

Testo italiano

Unità I
ROSSI Gian Paolo In CARTOON, UniMI svolge il doppio ruolo di coordinatore di progetto e di unità di ricerca. Il coordinamento è orientato a garantire che gli obiettivi di ricerca siano raggiunti, la pianificazione delle attività soddisfatta e che la cooperazione fra unità di ricerca sia finalizzata ed armonizzata ad ottenere prodotti della ricerca integrati sia a livello di sistema (simulatore) che di specifica.

L'attività di ricerca è svolta da UniMI in base alla organizzazione descritta in sezione 2. Da una parte, UniMI è co-responsabile, con PoliMI e PoliTO, per i Task 1.1, 1.2, 1.3, 4.1 nei quali tutte le unità cooperano per svolgere le stesse attività. Da un'altra parte, UniMI è:

- co-responsabile con PoliTO per il Task 2.2., in cui UniMI si occupa principalmente dello studio e del progetto di algoritmi epidemici;
- responsabile per il Task 3.2, in cui UniMI indirizzerà la ricerca verso i paradigmi one-to-many. In quest'area, UniMI vanta una lunga esperienza di ricerca;
- responsabile per il Task 3.3., per il quale le precedenti esperienze di UniMI nel settore della comunicazione di gruppo sono la base per il progetto di meccanismi di gestione membership specifici per reti opportunistiche.

Con il termine 'responsabilità di Task' intendiamo il fatto che una specifica UR coordina le attività e in alcuni casi, come ad esempio i Task 3.2 e 3.3 di UniMI, essa svolge la maggior parte degli sforzi.

Nell'organizzazione complessiva in Task, le UR devono anche cooperare allo scopo di garantire interoperabilità fra i moduli progettati e confrontabilità fra i risultati delle simulazioni.

Unità II
GIACCONE Paolo L'attività di ricerca è svolta da PoliTO in base alla organizzazione descritta in sezione 2. Da una parte, PoliTO è co-responsabile, con UniMI e PoliMI, per i Task 1.1, 1.2, 1.3, 4.1 nei quali tutte le unità cooperano per svolgere le stesse attività. Da un'altra parte, PoliTO è:

- co-responsabile con UniMI per il Task 2.2., in cui PoliTO si occupa principalmente dello studio e del progetto di protocolli di forwarding robusti nei confronti di partizione di rete;
- responsabile per il Task 3.1, in cui l'UR si occuperà del progetto di protocolli in ambito P2P. In questo settore, PoliTO ha recentemente avviato una interessante attività di ricerca che ha già portato ad alcuni risultati di rilievo.

Con il termine 'responsabilità di Task' intendiamo il fatto che una specifica UR coordina le attività e in alcuni casi, come per esempio il Task 3.1 di PoliTO, essa svolge la maggior parte degli sforzi.

Nell'organizzazione complessiva in Task, le UR devono anche cooperare allo scopo di garantire interoperabilità fra i moduli progettati e confrontabilità fra i risultati delle simulazioni.

Unità III
FRATTA Luigi L'attività di ricerca è svolta da PoliMI in base alla organizzazione descritta in sezione 2. Da una parte, PoliMI è co-responsabile, con UniMI e PoliTO, per i Task 1.1, 1.2, 1.3, 4.1 nei quali tutte le unità cooperano per svolgere le stesse attività. Da un'altra parte, PoliMI è:

- responsabile per il Task 2.1, in cui l'UR si occuperà del progetto di protocolli di routing geografico. In quest'area, PoliMI vanta una lunga esperienza di ricerca.

Con il termine 'responsabilità di Task' intendiamo il fatto che una specifica UR coordina le attività e in alcuni casi, come per esempio il Task 2.1 di PoliMI, essa svolge la maggior parte degli sforzi.

Nell'organizzazione complessiva in Task, le UR devono anche cooperare allo scopo di garantire interoperabilità fra i moduli progettati e confrontabilità fra i risultati delle simulazioni.

Testo inglese

Unit I
ROSSI Gian Paolo In CARTOON, UniMI performs the twofold role of project coordinator and of research unit. Coordination is oriented to guarantee that the research objectives are met, the defined scheduling satisfied and that the cooperation among research units is harmonized and finalized to obtain the research products where a single research object is integrated in a larger system (simulator) or specification.

The research activity is performed by UniMI according to the organization given in section 2. On the one side, UniMI is co-responsible, together with PoliMI and PoliTO, for Tasks 1.1, 1.2, 1.3, 4.1 where they are all cooperating to perform the same activities. On the other side, UniMI is:

- co-responsible with PoliTO for Task 2.2., in which UniMI mainly focuses on the study and design of epidemic algorithms;
- responsible for Task 3.2., in which UniMI will address the research to the one-to-many paradigm. In this area UniMI counts on nearly 15 years of research experience;
- responsible for Task 3.3., in which the previous UniMI experiences on group communications represent the background to design membership mechanisms for opportunistic networks.

The Task responsibility means that the specified U.R. coordinates the task activities and, for Tasks 3.2 and 3.3., performs the most part of the efforts. In the overall task organization, U.R. cooperation is also required to define common interfaces, to specify interlayer communication and to provide compared performance evaluation of the designed protocols.

Unit II
GIACCONE Paolo In CARTOON, the research activity is performed by PoliTO according to the organization given in section 2. On the one side, PoliTO is co-responsible, together with PoliMI and UniMI, for Tasks 1.1, 1.2, 1.3, 4.1 where they are all

Paolo cooperating to perform the same activities. On the other side, PoliTO is:

- co-responsible with UniMI for Task 2.2., in which PoliTO mainly focuses on the study and design of robust forwarding protocols in the presence of network partitions and variable traffic load;
- responsible for Task 3.1., in which PoliTO will address the research to the P2P paradigm and to the content delivery issue. In this area PoliTO has a recent but solid research experience;

The Task responsibility means that the specified U.R. coordinates the task activities and, for Task 3.1, performs the most part of the efforts. In the overall task organization, U.R. cooperation is also required to define common interfaces, to specify interlayer communication and to provide compared performance evaluation of the designed protocols.

Unit III
FRATTA
Luigi

In CARTOON, the research activity is performed by PoliMI according to the organization given in section 2. On the one side, PoliMI is co-responsible, together with UniMI and PoliTO, for Tasks 1.1, 1.2, 1.3, 4.1 where they are all cooperating to perform the same activities. On the other side, PoliMI is:

- responsible for Task 2.1., in which PoliMI will address the research to novel geographic routing protocols. In this area PoliMI counts on a long research experience;

The Task responsibility means that the specified U.R. coordinates the task activities and, for Task 2.1, performs the most part of the efforts. In the overall task organization, U.R. cooperation is also required to define common interfaces, to specify interlayer communication and to provide compared performance evaluation of the designed protocols.

PARTE III

3.1 Spese delle Unità di Ricerca

	Unità I	Unità II	Unità III
Materiale inventariabile	10.000	10.000	10.000
Grandi Attrezzature	0	0	0
Materiale di consumo e funzionamento (comprensivo di eventuale quota forfetaria)	8.000	7.400	10.000
Spese per calcolo ed elaborazione dati	0	0	0
Personale a contratto	20.000	40.000	40.000
Dottorati a carico del PRIN da destinare a questo specifico programma	0	0	0
Servizi esterni	15.000	600	0
Missioni	18.000	20.000	20.000
Pubblicazioni	5.000	1.000	4.000
Partecipazione / Organizzazione convegni	7.000	7.000	5.000
Altro	2.000	1.000	2.000
TOTALE	85.000	87.000	91.000

3.2 Costo complessivo del Programma di Ricerca

	Unità I	Unità II	Unità III
RD+RA (fondi di Ateneo)	26.000	26.100	27.300
Cofinanziamento di altre amministrazioni pubbliche, private o fondazioni	0	0	0
Cofinanziamento richiesto al MIUR	59.000	60.900	63.700
Costo totale del programma	85.000	87.000	91.000

	Euro
Costo complessivo del Programma	263.000
Risorse complessivamente disponibili all'atto della domanda (RD + RA)	79.400
Cofinanziamento di altre amministrazioni pubbliche, private o fondazioni	0
Cofinanziamento richiesto al MIUR	183.600

(per la copia da depositare presso l'Ateneo e per l'assenso alla diffusione via Internet delle informazioni riguardanti i programmi finanziati e la loro elaborazione necessaria alle valutazioni; D. Lgs, 196 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali")

Firma _____

Data 03/05/2006 ore 12:49