



APPROFONDIMENTI ATTIVITÀ

Struttura della linea ricerca	67
Attività delle Unità di ricerca	
Content Centric Networks	69
Information Privacy	73
Attività dei Centri di competenza	
Trasporto dell'informazione	76
Gestione dell'informazione	83
Politiche dell'ICT	92
Attività delle Unità specialistiche	
Unità specialistica Statistico-economica	104
Unità specialistica Tecnologica	107

STRUTTURA DELLA LINEA RICERCA

Il modello organizzativo della Fondazione risponde all'esigenza di presidiare le tradizionali competenze FUB relative allo sviluppo delle reti e ai servizi della società dell'informazione, pur ampliandole con nuove competenze nell'ambito della regolamentazione e del mercato di reti e servizi.

La struttura organizzativa preserva inoltre uno dei principali asset immateriali della FUB: la formazione di ricercatori e di tecnici di elevato profilo.

Il personale FUB opera all'interno delle seguenti strutture:

- i Centri di competenza (CdC)
- le Unità di Ricerca
- le Unità specialistiche.

I Centri di competenza

I Centri di competenza lavorano principalmente sui Progetti e impiegano ricercatori FUB che hanno sviluppato, nella loro carriera, esperienza specifica sui temi cui fa riferimento il Centro.

I ricercatori che operano all'interno dei Centri di competenza lavorano tipicamente in Progetti, ma svolgono anche attività di studio e approfondimento scientifico. In tal modo il Centro di competenza mantiene aggiornate le competenze disponibili, promuove e coordina progetti di ricerca e attiva partnership con altri centri di ricerca.

I Centri di competenza sono:

- Trasporto dell'informazione
- Gestione dell'informazione
- Politiche dell'ICT.

Le Unità di ricerca

Le Unità di ricerca lavorano su temi d'interesse scientifico selezionati per il loro potenziale strategico e di ausilio ai Centri di competenza. Per queste Unità, è previsto sia l'impiego di ricercatori in organico alla Fondazione, sia l'attivazione di borse di dottorato di ricerca e il reclutamento di giovani ricercatori post-doc che opereranno sotto la responsabilità di un Tutor.

I ricercatori che operano all'interno di Aree di ricerca svolgono tipicamente attività di pubblicistica scientifica, prototipazione, brevettazione e trasferimento interno di conoscenze. Ma svolgono anche attività di consulenza per le tematiche scientifiche che trovano applicazione nei progetti. Anche in questo caso, è di norma previsto il ricorso a collaborazioni esterne con enti di ricerca e accademici.

Le Unità di ricerca ricevono input tematici dai Centri di competenza e riversano in essi nuove conoscenze, anche con il trasferimento di personale che abbia raggiunto la maturità per essere impiegato nell'ambito di attività progettuali finalizzate.

Le Unità specialistiche

Le Unità specialistiche raccolgono figure di eccellenza tecnica presenti in FUB che operano quasi a tempo pieno a supporto dei progetti, ma svolgono anche attività di aggiornamento e approfondimento culturale e tecnologico.

Le Unità specialistiche sono:

- l'Unità specialistica statistico-economica
- l'Unità specialistica tecnologica.

Le strutture di supporto alla Direzione delle Ricerche

Per finire, la Fondazione si avvale di due Strutture, istituite nel corso del 2012, che operano in stretta collaborazione con la Direzione delle Ricerche, le Unità di ricerca e i Centri di competenza:

Progetti Internazionali

Opera nei seguenti ambiti:

- monitoraggio dei bandi di gara comunitari
- progettazione europea
- networking.

Gli obiettivi specifici della struttura comprendono:

- l'analisi dei programmi per l'accesso ai finanziamenti internazionali al fine di individuare le possibilità di partecipazione
- la produzione di report su bandi e politiche europee
- la definizione di possibili collaborazioni interne tra aree di competenza presenti in Fondazione, in vista della partecipazione a iniziative di ricerca internazionali
- l'assistenza ai colleghi nella formazione di consorzi e nella preparazione di proposte
- la creazione di una rete di contatti per l'individuazione di possibili partner per la formazione di consorzi e la presentazione congiunta di domande di finanziamento.

Comunicazione e Disseminazione

Opera in stretta sinergia con la DR cui fornisce supporto per iniziative di comunicazione esterna e interna. Tra gli obiettivi generali affidati alla struttura vi sono:

- la gestione del Sito istituzionale
- l'ideazione, la progettazione e la realizzazione di soluzioni redazionali e grafiche
- l'organizzazione e la gestione di eventi
- la produzione annuale della Relazione sull'attività svolta nell'anno precedente
- l'archiviazione delle pubblicazioni scientifiche della Fondazione e la realizzazione di strumenti atti a promuovere la circolazione interna delle informazioni.

ATTIVITÀ DELLE UNITÀ DI RICERCA CONTENT CENTRIC NETWORKS

L'attività di ricerca su questa tematica riguarda lo studio delle metodologie di rete che permettono la ricezione dei contenuti agli utenti con caratteristiche definite in termini di Qualità del Servizio (QoS) e Qualità dell'Esperienza (QoE). Nello specifico ci si riferisce all'evoluzione delle tecniche di trasporto e instradamento dell'informazione dal livello fisico (con particolare rilevanza per le comunicazioni ottiche) a quello dei protocolli di livello 3 e 4, prendendo in considerazione anche la trasformazione dal paradigma server-client, tipico dell'Internet attuale, a quello client-content, con cui si caratterizza la nuova proposta di instradamento per le Content Centric Networks.

Le suddette tematiche di ricerca sono il proseguimento del precedente tema di ricerca ("Advanced Quality of Experience") di questa Unità che ha già svolto importanti studi sulle procedure di misura che consentono di correlare la qualità percepita dall'utente con la qualità misurata nella rete (2014), e sugli aspetti della gestione dinamica della rete (2015). Tali studi, assumendo come riferimento il paradigma *user centric network*, che mette l'utente al centro dell'universo ICT, hanno consentito di quantificare le esigenze in termini di contenuti e di individuare le modalità per ottenere la migliore fruizione dal punto di vista retistico.

Riguardo agli aspetti software, nel corso del 2015 sono state prese in considerazione le principali metodologie che ruotano intorno alle Software Defined Networks (SDN), a cominciare dall'Openflow, e alla loro applicazione in ambito 5G.

Per quanto riguarda l'evoluzione della rete wireline sono stati svolti moltissimi studi, anche con sperimentazioni in laboratorio, su reti e sistemi ottici, sia in ambito di accesso sia in ambito core. Si precisa che molte specifiche attività sperimentali sono svolte in collaborazione con i Progetti mPlane (misura della QoS e analisi del traffico) e Atena (sistemi ottici).

Le attività svolte nel corso del 2015 possono essere suddivise in cinque tematiche principali:

- Misura della Qualità del Servizio e correlazione con la qualità dell'esperienza (lato accesso).
- Correlazione tra misure di qualità a livello utente e livello rete (con particolare riferimento all'analisi passiva del traffico nei nodi).
- Riconfigurazione della rete secondo i principi delle Software Defined Networks.
- Comunicazioni ottiche: sistemi e reti.
- Aspetti strategici sulle Content Centric Networks.

Misura della Qualità del Servizio

Le tematiche della QoS sono state affrontate in stretta collaborazione con il Progetto europeo mPlane, nell'ambito del quale la FUB ha implementato una nuova sonda attiva (mSLAcert) che è in grado di misurare sia la capacità di linea a disposizione dell'utente, sia la capacità effettiva che ha a disposizione sul suo dispositivo (throughput) [1-5]. Per maggiori dettagli si rimanda al Progetto mPlane.

Mediante questa sonda sono state effettuate diverse campagne di misure sul test bed dell'ISCOM in diverse configurazioni di rete per vedere il comportamento del throughput in funzione sia della banda a disposizione dell'utenza, sia del ritardo del segnale in rete. In particolare, lo studio è stato focalizzato su accessi in fibra ottica di tipo GPON a 100 Mb/s [6]. Inoltre le misure di QoS sono state correlate con misure effettuate durante il monitoraggio del traffico (con particolare riferimento alla ritrasmissione dei pacchetti) effettuato alle uscite degli apparati centrali (router) [1].

Correlazione tra misure di qualità a livello di utente e livello di rete

È ben noto che misure di QoS sono fortemente influenzate dal comportamento della rete, specialmente in presenza di congestioni o strozzamento della banda in alcuni segmenti diversi da quelli dell'accesso. Questa è una situazione che si può verificare nei casi in cui gli Operatori si affidino a servizi di bit stream. In questi casi le misure di QoS possono essere influenzate da perdite di pacchetti, limitazioni di banda e aumento del tempo di ritardo (a causa dello spostamento del traffico su percorsi alternativi). Le misure di qualità dal lato utente possono indicare problemi di questo genere ed, in particolare, evidenziare che una diminuzione delle prestazioni non è imputabile alla rete di accesso ma alla rete metro e core; tuttavia, per avere una quantificazione del problema occorre ricorrere ad altre misure come quelle che derivano da analisi passive fatte sul traffico. Sono quindi stati fatti degli studi per analizzare la correlazione tra il comportamento della QoS dal lato utente e quello del traffico dati misurato in alcuni punti "interni" alla rete. La FUB, grazie alla partecipazione al Progetto mPlane, ha utilizzato come strumento di analisi del traffico il tool TSTAT, sviluppato dal Politecnico di Torino. In ambito mPlane la correlazione tra l'analisi del traffico e la qualità misurata in accesso ha portato ad interessanti risultati che sono riportati in [4].

I risultati più interessanti sono stati ottenuti durante la sperimentazione finale del Progetto mPlane con la realizzazione di tutta l'architettura del piano di misura su un'ampia rete europea costituita dai nodi di Heidelberg (NEC), Milano (Fastweb), Torino (TelecomItalia) e Roma (FUB). In questa sperimentazione, diverse sonde localizzate nelle quattro città si scambiavano dati sulle misure effettuate attraverso un supervisor (situato a Milano), riportando delle analisi sui possibili disturbi presenti nelle connessioni tra i quattro centri. Tutti i risultati sono riportati nel deliverable D6.3 del Progetto mPlane.

Riconfigurazione della rete secondo i principi delle Software Defined Networks

Lo scorso anno, FUB aveva assunto come modello una SDN basata su una rete core-metro-accesso (che include anche la parte broadband mobile), gestita in maniera automatica e dinamica da un orchestrator che permette di adattare questa rete di TLC a tutte le esigenze derivanti dalle periferie (data center, reti machine-to-machine, content delivery networks ed altre reti ad hoc). In questo modello veniva considerata una comunicazione tra Orchestrator e rete di TLC di tipo semplice e basata sul protocollo che gestisce attualmente i router e cioè l'SMNP [7]. Per venire incontro alle esigenze in termini di capacità che provengono dalla periferia della rete di TLC si suppone che la rete core ospiti sulla stessa infrastruttura WDM lunghezze d'onda con formati di modulazione e bit rate diversi. In questo ambito, FUB ha anche effettuato uno studio sull'utilizzo di tecniche di tipo Network Function Virtualization (NFV).

Nel corso del 2015, nell'ambito del Progetto Urban, è stato studiato come coniugare questo modello con le esigenze della futura generazione 5G per le reti mobili, ed in particolare con la gestione dei servizi su reti eterogenee (4G, Wi-Fi, WiMax, ...). I risultati sono stati presentati nell'ambito di un workshop organizzato dalla scuola superiore ISCOM (11 febbraio 2016).

Comunicazioni ottiche: sistemi e reti

Al fine di ottenere un corretto design delle reti ottiche core, è stato studiato e testato con simulazioni un nuovo modello analitico per la valutazione di sistemi ottici WDM, considerando diversi bit rate e formati di modulazione [8-9]. Poiché consente di tenere in conto tutti gli aspetti trasmissivi dei segnali, questo modello analitico ha permesso una nuova modellizzazione delle reti WDM e di effettuare un'allocazione automatica delle lunghezze d'onda più efficiente. Lo stesso modello è stato utilizzato anche per realizzare degli algoritmi per il risparmio energetico nelle reti core nei momenti di minor traffico [10].

Altri studi hanno riguardato sistemi ottici per area di accesso che sono poi stati sperimentati nel test bed dell'ISCOM nell'ambito del Progetto ATENA, mostrando tutte le possibili implicazioni a livello strategico che potrebbero derivare dalla realizzazione delle reti FTTB e FTTH nell'ambito del programma del Governo. Tali studi sono stati presentati al Convegno Internazionale FIAT LUX alla presenza di Vincent Cerf (inventore di Internet) [7].

Infine, sono stati effettuati studi sull'evoluzione delle reti GPON con tecniche WDM e OFDM nell'ambito del progetto nazionale PRIN ROAD-NGN.

Aspetti strategici sulle Content Centric Networks (CCN)

Le possibili ricadute che potrebbero derivare dal passaggio dall'attuale paradigma client-server di Internet a quello client-content proposto per le Content Centric Networks (CCN) costituiscono oggi uno degli argomenti più dibattuti nell'ambito della ricerca sulle TLC.

FUB ha effettuato uno studio in merito dal quale si evince che il tema è molto importante anche per gli Operatori, per le manifatturiere e per gli organi di standardizzazione e di politica industriale. Infatti, le CCN, che prevedono una profonda modifica dei protocolli operanti al livello 4 della pila OSI, introducono una profonda rivoluzione nella rete: l'utente non cerca più un indirizzo, ma un contenuto, inviando una richiesta a tutti i nodi a lui vicini; il nodo che possiede questo contenuto (e tutto quello che è allegato) lo invia al richiedente. In questa modalità, i router (dotati di ampie memorie) riassumerebbero un ruolo fondamentale nella rete e, con loro, gli Operatori di rete. In altri termini, questa strategia sarebbe alternativa a quella delle Content Delivery Networks (CDN) che sono l'attuale fortuna degli Over The Top (OTT). È chiaro inoltre che le CCN hanno un ruolo strategico anche a livello di sicurezza e tracciabilità dell'informazione.

PUBBLICAZIONI

- [1] Tego E., Matera F., Del Buono D., "Experimental investigation on TCP throughput behavior in High Speed Optical Access Networks" accettato per la pubblicazione nella rivista *Fiber and Integrated Optics*.
- [2] Tego E., Matera F., "Comparison of TCP congestion control algorithms in data transfers on high RTT", *Traffic Monitoring and Analysis (TMA) 2015*, Barcelona, April 21-24 2015.
- [3] Tego E., Mammi E., Rufini A., Matera F., "SLA verification and certification", *Traffic Monitoring and Analysis (TMA) 2015*, Barcelona, April 21-24 2015.
- [4] D'Alconzo A., Tego E., Matera F., Casas P., Fiadino P., Wassermann S., Traverso S., Mellia M., "Unveiling Network and Service Performance Degradation in the Wild with mPlane", in press on *IEEE Communication Magazine*.
- [5] Rufini A., Giuntini M., Valenti A., Del Buono D., "Experimental and Simulation Investigation on the TCP Performance for Ultra Broadband Wireless Environment", *Convegno Annuale AEIT*, Napoli, 15 ottobre 2015.

- [6] Valenti A., Matera F., Del Buono D., Tosi Beleffi G.M., "Energy Impact of Future Optic Access Networks: Economic Perspectives", *Fotonica 2015, Atti IEEE Xplore, Torino, May 6-8 2015*.
- [7] Valenti A., Matera F., Del Buono D., Di Bartolo S., "All Optical Platform for Fiber to the Home Networks", *Conferenza Internazionale FIAT LUX, Roma, 3-5 giugno 2015*.
- [8] Matera F., "Nonlinear noise characterization in highly dispersive optical transmission systems", *Convegno IEEE Tirrhenian Workshop on Digital Communications, Florence, 22 September 2015*.
- [9] Matera F., "Nonlinear noise contributions in highly dispersive optical transmission systems", accettato per la pubblicazione su *Fiber and Integrated Optics*.
- [10] Matera F., "Riduzione dei consumi energetici nelle reti core ottimizzando le prestazioni dei sistemi ottici WDM", *La Comunicazione - Note, Recensioni & Notizie*, Pubblicazione dell'ISCOM - Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione, Ministero dello Sviluppo Economico, Numero Unico, Vol. LIX, Anno 2015, pp. 163-174.

SOFTWARE / TOOL

- Misure con la sonda mSLAcert (mPlane) su test bed internazionale.
- Test in reti GPON
- Realizzazione di un laboratorio software (4 PC) per l'implementazione di mPlane
- Codice NS3 per simulazione reti radio [5]

ATTIVITÀ DELLE UNITÀ DI RICERCA INFORMATION PRIVACY

L'unità di ricerca Information Privacy si occupa delle metodologie per l'ingegnerizzazione della privacy. L'obiettivo è la tutela dell'identità e dei dati personali sensibili, minacciati dalla sterminata produzione di tracce digitali che gli utenti cittadini forniscono direttamente o lasciano indirettamente su Internet quando interagiscono con reti sociali, motori di ricerca, siti di commercio elettronico, e con qualunque altro tipo di servizio che implichi il transito di dati riservati sulle reti di comunicazione elettronica.

Le comuni tecniche di anonimizzazione e protezione di dati personali adottate dai fornitori di servizi Internet non sono sufficienti ad impedire il processo di acquisizione su larga scala da parte di terzi di informazioni personali dettagliate, le quali possono essere vendute e utilizzate senza alcun controllo da parte dell'interessato. Il passaggio da dati anonimizzati a profili personali, perseguito da aziende specializzate, è oggi più facile grazie ai progressi delle tecniche di data mining e alla proliferazione di dati personali pubblici da incrociare. Inoltre, profili personali sempre più accurati vengono costruiti dalle reti pubblicitarie online monitorando la navigazione web degli utenti.

Essendo riconosciuta a livello internazionale l'impossibilità degli strumenti normativi di stare al passo con le innovazioni tecnologiche e i modelli di business emergenti, è diventato ormai necessario supportare l'azione legislativa con tecnologie di protezione della privacy incorporate direttamente nei servizi che trattano i dati degli utenti ("privacy by design").

Gestione e controllo dei profili d'utente costruiti dai Web tracker

Mediante l'analisi della navigazione sui siti Web, le reti pubblicitarie online sono in grado di acquisire profili commerciali dettagliati per ciascun utente. L'acquisizione dei profili è un processo opaco condotto con tecnologie proprietarie: in generale l'utente non ne è informato e non può condizionarlo in alcun modo. Questa attività di ricerca mira ad aumentare il grado di consapevolezza e le possibilità di controllo da parte dell'utente. A questi fini, è stato sviluppato un sistema denominato ManTra (Management of Tracking) che ha due componenti principali. La prima simula il procedimento di costruzione del profilo svolto dai Web tracker utilizzando una metodologia di apprendimento automatico per la mappatura delle URL della cronologia di un browser su una tassonomia d'interessi commerciali. Successivamente, all'utente viene consentito di esprimere una preferenza (ottimizzazione del tracciamento oppure protezione della privacy) e il sistema genera automaticamente un traffico Web sintetico che polarizza il profilo acquisito dai tracker in una delle due direzioni. Nel 2015 sono state effettuate anche delle sperimentazioni che hanno dimostrato l'effettiva capacità del sistema di influenzare i profili costruiti da un tracker commerciale ed è stato quasi completato lo sviluppo di una versione di ManTra che potrà essere installata come un'estensione (scaricabile da Internet) del browser Firefox. Questa ricerca viene condotta in collaborazione con uno studente di dottorato con borsa FUB.

Indici di privacy e di utilità per dati anonimizzati

Se, da un lato, tutte le tecniche per l'anonimizzazione di dati (strutturati o testuali) sono basate su un bilanciamento fra aumento della protezione delle informazioni personali e diminuzione di utilità per le applicazioni che fanno uso dei dati anonimizzati, in pratica, i modelli di privacy che sono stati proposti sono profondamente differenti e i loro risultati non sono facilmente confrontabili. La mancanza di metodi di valutazione e confronto è uno dei fattori che hanno ritardato l'applicazione di queste tecniche, in particolare per quanto riguarda la pubblicazione sicura dei web query logs. È per questo motivo che la ricerca si è concentrata su misure di riservatezza e utilità globali, cioè indipendenti da uno specifico modello di privacy o da una particolare applicazione. Nel 2014 avevamo introdotto due indici globali basati sulla teoria dell'informazione che si applicano direttamente ai dati anonimizzati e forniscono una misura della variazione rispetto ai dati originari, sia in termini di privacy che di utilità. Nel 2015 abbiamo effettuato una serie di esperimenti utilizzando questi indici per confrontare graficamente le prestazioni di alcuni noti metodi di anonimizzazione, incluso quello basato sull'affinità semantica [3].

Etichettatura semantica di testi con concetti Wikipedia

Le metodologie di text e data mining non riguardano direttamente la privacy, ma sono strumentali all'estrazione di informazioni personali da dati e servizi e possono quindi essere impiegate per analizzare le vulnerabilità e sviluppare adeguate contromisure. Nel 2015, è stata svolta un'attività sul riconoscimento automatico degli argomenti (topics) di un testo seguendo il paradigma della mappatura fra il testo da analizzare e gli articoli pertinenti di Wikipedia. I metodi che sono stati sviluppati finora sono prevalentemente locali ed estrattivi: essi lavorano cioè a livello di singole frasi e richiedono un matching quasi esatto fra le sequenze di parole contenute nel testo di input e quelle che descrivono l'articolo. In FUB, invece, abbiamo sviluppato una metodologia globale e astrattiva, in grado di riconoscere l'argomento **principale** di un testo di dimensione qualsiasi e di **riconoscere** l'articolo (o gli articoli) pertinenti di **Wikipedia** anche quando il testo di questi ultimi non **utilizza** le stesse parole adoperate nel documento di input. La metodologia prevede un potenziamento dei motori di ricerca per Wikipedia, con una fase di pre-processing e una di post-processing basate su metodi di elaborazione del linguaggio naturale semantici. Nel 2015 è stata sviluppata un'applicazione Web che rappresenta una versione di base del sistema, seppure incompleta e con un'interfaccia utente ancora rudimentale. Questa ricerca viene condotta in collaborazione con il Dipartimento di Informatica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

Attività di progetto

Le competenze su web privacy e data mining sono state utilizzate nello svolgimento dei Progetti SPAI e Paladin.

PUBBLICAZIONI

Gestione e controllo dei profili d'utente costruiti dai Web tracker

1. Lo Re D., Carpineto C., "Explicit User Management of the Privacy versus Targeting Spectrum in Web Tracking with ManTra", submitted to *Privacy Enhancing Technologies Symposium (PETS)*.

Indici di privacy e di utilità per dati anonimizzati

2. Carpineto C., Romano G., "Information-theoretic performance measures for anonymized search log data", submitted to *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE)*.
3. Carpineto C., Romano G., "K_g-Affinity Privacy: Releasing Infrequent Query Refinements Safely", *Information Processing & Management*, March 2015, 51 (2), pp. 74-88.

JOURNAL REVIEWER

- Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE), IEEE
- ACM Transactions on Information Systems (TOIS), ACM
- Information Sciences, Elsevier
- Information Processing & Management (IP&M), Elsevier

PARTECIPAZIONE A COMITATI DI PROGRAMMA

- SIGIR 2015: 38th ACM Special Interest Group On Information Retrieval Conference, Santiago, Chile.
- ICTIR 2015: International Conference on the Theory of Information Retrieval.
- ECIR 2015, 37th European Conference on Information Retrieval, Vienna, Austria.
- WI 2015: IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, Singapore.
- ICFCA 2015: 12th International Conference on Formal Concept Analysis, Nerja, Spain.
- CLA 2015: 11th International Conference on Concept Lattices and Their Applications, Clermont-Ferrand, France.
- IIR 2015: 5th Italian Information Retrieval Workshop, Cagliari.

ATTIVITÀ DIDATTICA

- Carpineto è un membro del Consiglio di Dottorato in Informatica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

COLLABORAZIONI SCIENTIFICHE

- Roberto Navigli (Università degli Studi di Roma "La Sapienza") sul tema "text mining".
- Alessandro Mei (Università degli Studi di Roma "La Sapienza") sul tema "web privacy".

DOTTORANDI

- Il 2015 è stato il secondo anno di Dottorato in Informatica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" per Davide Lo Re (supervisor Carpineto), sul tema "Internet privacy". Lo Re lavora in FUB e la ricerca viene svolta in collaborazione.

ATTIVITÀ DEI CENTRI DI COMPETENZA

TRASPORTO DELL'INFORMAZIONE

Il Centro di competenza Trasporto dell'Informazione racchiude tutte le competenze FUB sulle reti, sia terrestri (su cavo e fibra), sia a radiofrequenza, nonché sulla qualità del servizio offerto dalle reti medesime.

I concetti di rete e di qualità del servizio sono da intendersi in tutte le possibili declinazioni, con riferimento alla funzionalità delle reti nella loro globalità (reti pubbliche fisse e mobili, reti locali, reti private a lungo e corto raggio, reti di diffusione radiofonica e televisiva).

Si fa riferimento alle sezioni funzionali delle reti (accesso fisso, accesso radio, Core Network) e alle tematiche più strettamente tecniche quali routing, switching e codifiche di dati per le reti, nonché alle problematiche inerenti allo spettro radio con le metodologie e tecniche di pianificazione e assegnazione delle risorse trasmissive.

Sulla base delle attività svolte dai ricercatori all'interno dei progetti in cui operano, è possibile individuare dei temi di approfondimento scientifico. In particolare, nel corso del 2015, sono state realizzate le seguenti schede di studio:

- Propagazione radio
- Attività inerenti la QoS nelle reti di accesso
- ICT per l'energia.

Propagazione radio

Nella scheda Propagazione radio confluiscono tutte le attività di ricerca e sviluppo che fanno riferimento a tecniche di trasmissione radio, studio delle interferenze e comunicazioni satellitari.

Evoluzione dei sistemi wireless a larga banda verso il 5G: problematiche di coesistenza e modelli di propagazione

La migrazione dei sistemi cellulari 4G verso la futura tecnologia 5G richiede di affrontare diversi aspetti tecnici e normativi. Un particolare tema d'interesse è lo studio delle bande di frequenza nelle quali potrà essere implementato il sistema IMT di futura generazione.

In ambito ITU sono state esaminate le bande inferiori a 6 GHz, effettuando studi di compatibilità e coesistenza tra IMT e diversi servizi incumbent (diffusivi, terrestri, satellitari, scientifici) nelle bande 2.3-2.4 GHz e 3.4-4.2 GHz. In particolare, per la banda 2.3-2.4 GHz, gli studi sono stati effettuati considerando diversi servizi incumbent (fisso, PMSE, telemetria), sia attraverso simulazioni sia attraverso misure in campo rese possibili dallo sviluppo di una sperimentazione dell'approccio LSA avviata dal MiSE e dal JRC con il coordinamento della FUB.

I primi risultati sperimentali evidenziano che la verifica in campo del rispetto di criteri di protezione molto stringenti richiede strumenti avanzati e metodologie di misura particolarmente complesse.

Sono stati effettuati anche studi sui modelli di propagazione da utilizzare per stimare in modo rigoroso il livello d'interferenza che arriva al ricevitore del servizio incumbent da proteggere.

Inoltre, nell'ambito del progetto PACOS, è stato implementato presso ISCOM un banco di misura per valutare le problematiche di compatibilità e coesistenza in canale adiacente tra possibili sistemi IMT operanti nella parte alta della banda 2.3-2.4 GHz e i sistemi WiFi che lavorano sopra i 2.4 GHz. L'attività sperimentale ha avuto come obiettivo la valutazione dell'effetto dell'interferenza del sistema LTE sulle prestazioni del canale WiFi (ad es. bit rate, ritardi).

Gli studi per la banda 3400-4200 MHz sono stati indirizzati alla valutazione dei possibili approcci di condivisione dello spettro tra sistemi IMT e il servizio fisso FS, al fine di individuare le effettive condizioni per uno sviluppo e un'implementazione del sistema LTE che garantiscano la protezione del servizio fisso già esistente. A tale scopo, l'approccio adottato prevede l'individuazione di zone di restrizione in prossimità del ricevitore FS, in funzione della potenza trasmessa dalla stazione base LTE. Anche per quest'analisi si è reso necessario affinare il modello di propagazione a 3.5 GHz per tener conto dell'effetto dell'ambiente (ad es. terreno, edifici) nella valutazione del contributo interferenziale per lo scenario di coesistenza IMT- FS.

Un altro argomento di studio affrontato nel corso del 2015, nell'ambito del Progetto "µWaves-5G", riguarda l'analisi delle caratteristiche di propagazione sopra 6 GHz, in vista di un possibile utilizzo di queste frequenze per le reti mobili di quinta generazione. Al fine di valutare le potenziali aree di copertura ottenibili alle frequenze superiori ai 6 GHz, sono state effettuate delle simulazioni attraverso un software implementato dalla Fondazione Ugo Bordoni. Il modello di propagazione utilizzato per le verifiche di copertura dipende dallo scenario di propagazione. Sono stati considerati due diversi scenari: un ambiente di propagazione di tipo area rurale/suburbana, in cui i collegamenti sono prevalentemente in linea di vista (LOS), e un ambiente di tipo area urbana densa, dove la propagazione avviene non in linea di vista. Lo studio simulativo relativo alle aree di copertura e le conseguenti analisi sono state svolte per le seguenti bande di frequenze: 28 GHz, 38 GHz, 72 GHz. È stato inoltre considerato uno scenario indoor e sono stati calcolati i livelli di potenza ricevuti da stazioni picocellulari utilizzando sia un modello di propagazione semplificato che tiene conto in maniera statistica della presenza delle pareti sia un modello rigoroso di ray-tracing.

Sempre in riferimento alla propagazione sopra i 6 GHz è stata studiata, in collaborazione con l'Università di Bologna, la propagazione in ambito urbano per collegamenti wireless di backhauling. È stato utilizzato un modello di pronazione over-roof top e confrontati i valori ottenuti dalle simulazioni con misure disponibili in letteratura.

Un'altra attività di ricerca ha riguardato l'analisi delle problematiche di coesistenza nella banda 700 MHz. In particolare, è stato effettuato uno studio di coesistenza in banda adiacente tra sistemi SDL e M2M nel duplex gap della banda 700 MHz. Si è inoltre iniziato ad esaminare gli scenari di coesistenza LTE-DVB-T in vista del graduale passaggio della banda verso l'utilizzo da parte di sistemi IMT nei paesi della comunità europea. Ciò richiede di prendere in considerazione anche scenari di coesistenza al confine tra paesi, qualora il passaggio al sistema LTE avvenga in tempi diversi.

Reforming delle bande GSM

L'attività di studio effettuata durante il 2015 nell'ambito del Progetto Refarming ha riguardato la valutazione della qualità degli utenti GSM in diversi scenari: solo refarming 900 MHz, refarming sia 900 sia 1800 MHz, refarming 1800 su 2 canali. Le metodologie di verifica della qualità GSM "prima e dopo" il refarming utilizzate nei diversi scenari sono state definite tenendo conto delle tipologie di città (grandi, medie, piccole). Per le città medio-grandi, la metodologia prevede la valutazione dei parametri di blocking e dropping prima e dopo il refarming esclusivamente attraverso l'utilizzo dei contatori di rete. Per lo scenario solo refarming 900 MHz, sono stati analizzati i dati dei contatori delle città medio-piccole con aggregazione dei dati a livello di sito, mentre per gli scenari misti (900 e 1800; 1800 su 2 canali), i dati sono stati elaborati con aggregazione a livello di BSC. Infine, sono stati analizzati e presentati i risultati ottenuti dalle elaborazioni dei dati forniti dagli Operatori e derivanti da misure per la valutazione dell'impatto sulla qualità GSM in seguito al refarming a 900 MHz ed a 1800 MHz. Un altro argomento di studio di particolare interesse per il Tavolo tecnico del refarming riguarda

l'analisi del mercato GSM retail. A tal fine, è stato predisposto un questionario finalizzato all'analisi del mercato GSM retail, sia per le reti mobili sia per le reti machine to machine. Il questionario è stato inviato agli Operatori del Tavolo per verificare la disponibilità a fornire dati al riguardo. Quindi sono stati analizzati i primi dati forniti dagli Operatori sul mercato GSM retail individuando possibili disomogeneità delle informazioni. Sono state inoltre identificate le modalità di analisi delle informazioni per garantire la riservatezza dei dati. Infine, è stata effettuata una valutazione preliminare dell'andamento delle tecnologie 2G/3G/4G per le linee mobili. Per le connessioni cellulari M2M, invece, l'analisi è in corso per la maggiore complessità dell'estrazione di informazioni sugli apparati e sulle tecnologie.

Advanced Global Navigation Satellite Systems Tropospheric Products for Monitoring Severe Weather Events and Climate (GNSS4SWEC)

FUB ha aderito alle iniziative scientifiche della "COST Action ES1206: Advanced Global Navigation Satellite Systems Tropospheric Products for Monitoring Severe Weather Events and Climate (GNSS4SWEC)". Quest'azione COST si occupa delle sinergie derivanti dall'uso dei tre sistemi GNSS (GPS, GLONASS e Galileo) per lo sviluppo di nuovi "prodotti" troposferici avanzati, sfruttando il potenziale offerto dalle osservazioni del multi-GNSS nello stimare e monitorare i fondamentali parametri troposferici rispetto alle possibili scale temporali e spaziali. Da un punto di vista Sat/Com, attraverso l'attività scientifica COST, si generano competenze utili all'analisi dei canali di comunicazione sia satellitari sia orizzontali (punto-punto) a frequenze dai 6 ai 70 GHz (bande C-K-Q-V). Tali bande sono di spiccato interesse per quanto riguarda lo sviluppo delle comunicazioni cellulari di quinta generazione (5G).

Impatto ambientale dei CEM

L'attività di studio sull'impatto ambientale dei CEM ha riguardato principalmente tre tematiche:

- misure e simulazioni del segnale LTE
- analisi delle potenze trasmesse dai terminali
- misure e simulazioni di siti complessi.

Nell'ambito del pilot LSA, sono state effettuate presso il MiSE misure dei livelli di campo generati da stazioni basi LTE outdoor (small cell) e indoor (picocelle) operanti a 2.3-2.4 GHz. Sono state implementate misure sia a banda larga sia a banda stretta in diversi punti, all'interno dell'edificio del MiSE e all'esterno utilizzando diverse tipologie di strumentazione. È stato inoltre effettuato un monitoraggio in continuo dell'andamento dei livelli di esposizione attraverso una centralina posta sul tetto dell'edificio del MiSE.

Nel Progetto "Green LTE", FUB ha fornito supporto all'attività di valutazione della documentazione prodotta dai quattro Operatori mobili (TIM, Vodafone, Wind, H3G) al fine di rendicontare i consumi energetici relativi alle due componenti, TLC ed infrastruttura, riferibili alle stazioni radiobase delle loro reti mobili. In particolare, FUB ha partecipato ad incontri di coordinamento organizzati singolarmente con ciascun operatore ed alla preparazione di un documento, condiviso con il MiSE, orientato alla definizione delle procedure che occorre seguire per realizzare un'analisi comparativa dei dati di consumo comunicati dagli Operatori; tale documento deve tenere conto di tutti gli aspetti che influenzano la valutazione dei risparmi energetici conseguibili anno per anno dalle reti degli Operatori, in funzione delle scelte evolutive che questi ultimi hanno compiuto sulle proprie reti.

Attività inerenti la QoS nelle reti di accesso

Qualità di accesso ad Internet

Nel corso del 2015 sono state approfondite le tematiche della qualità di accesso Internet nell'ambito dei due importanti progetti commissionati da AGCOM e riguardanti la misura della qualità del servizio di accesso ad Internet sia da postazione fissa sia da postazione mobile. Nell'ambito dello sviluppo delle architetture hardware e delle architetture software delle misure, sono stati approfonditi aspetti di studio legati ai metodi e alle metriche di misura con lo scopo di proporre i prossimi passi

da seguire nell'evoluzione dei progetti stessi. Si rinvia pertanto alle relative Schede di Progetto. Si segnala, inoltre, che le attività di ricerca sulle tematiche della QoS sono esaustivamente trattate nella sezione relativa al Centro di Ricerca Content Centric Networks.

Analisi prestazioni Reti di sensori sottomarini

Nell'ambito dell'attività di studio delle reti di sensori sottomarini, sono state analizzate le prestazioni di una rete in configurazione di Sciame (Underwater Swarm Network) valutando le prestazioni della rete con due possibili tecnologie di trasmissione: tecnologia acustica e tecnologia ottica. Lo Sciame è una particolare configurazione di rete, caratterizzata da nodi molto vicini l'uno all'altro, con possibilità di mobilità. Questo tipo di rete pone sfide per la sua reale implementazione, per cui il solo uso di comunicazione acustica, come tradizionalmente suggerito nella comunicazione sottomarina, potrebbe non essere sufficiente. Ad oggi, i dispositivi per il monitoraggio sottomarino prevedono l'uso di robot AUV (Automotive Underwater Vehicle) in grado di monitorare opportune grandezze e di inviare queste informazioni, tramite trasmissione acustica, ad un ricevitore (Boa) posto in superficie. L'evoluzione in questo ambito prevede la possibilità che vari AUV costituiscano una rete in modo da operare in maniera collaborativa e di comunicare tra loro in maniera efficiente sotto varie condizioni di acqua. Per realizzare questo sistema, date le limitazioni del mezzo trasmissivo, bisogna effettuare alcune valutazioni sulle possibili scelte nell'architettura del protocollo di comunicazione da adottare. Nello specifico, nel lavoro "Data Link Layer Effect over Swarm Underwater Network Performance", presentato alla conferenza internazionale sulle reti di sensori *Sensornet 2016*, è stata proposta una nuova soluzione ibrida che combina l'uso del canale acustico e di quello ottico, al fine di superare le limitazioni del primo in ambiente sottomarino, ed è stato evidenziato come le tecnologie di trasmissione utilizzate influenzino le prestazioni di comunicazione dello Swarm (sono stati considerati in particolare gli effetti a livello di Data Link Layer). Per finire, sono state effettuate analisi di prestazioni a livello simulativo al fine di suggerire come potrebbe essere progettato un nuovo AUV basato su tecnologia di comunicazione ibrida. Mentre le tecnologie acustiche hanno un raggio di copertura ampio con basse prestazioni in termini di velocità di trasmissione, ma sono indipendenti dalle condizioni dell'acqua, le comunicazioni ottiche sono in grado di coprire distanze più brevi con velocità di trasmissione maggiore e con un ridotto consumo di potenza, ma dipendono fortemente dal grado di trasparenza dell'acqua. A seconda, quindi, della tipologia di applicazione (monitoraggio periodico di porti in acque torbide) e del traffico prodotto (allarme con dati da trasmettere in tempo reale) è possibile selezionare una delle due tecnologie, o entrambe. In pratica, l'analisi di uno sciame ibrido è stata effettuata facendo particolare attenzione alle prestazioni degli strati più bassi del protocollo di comunicazione, per verificare la possibilità di risparmiare energia, evitare le collisioni e massimizzare il throughput. Per questo scopo, è stato considerato un modello migliorato per il recupero degli errori Stop & Wait Automatic Repeat Request (S&W-ARQ), basato sulla trasmissione di messaggi di ACK per gruppi di pacchetti dati. L'efficienza di Throughput di questi tipi di protocolli può essere massimizzata selezionando una dimensione ottimale dei pacchetti dati, in funzione dei parametri del collegamento acustico e ottico. Inoltre, le scelte di rete basate su soluzioni multi-hop sono state studiate tenendo conto dei vincoli dei MAC nella valutazione delle prestazioni della rete considerando due semplici schemi per l'accesso al mezzo: l'Aloha puro e lo Slotted Aloha. Le prestazioni sono state analizzate per diverse configurazioni Sciame, ed i risultati sono stati valutati al variare delle dimensioni dei pacchetti dati e del massimo traffico sostenibile dallo Sciame. I risultati ottenuti hanno mostrato che una dimensione del pacchetto dati di non più di 200 bit permette di ottenere buone prestazioni della rete in termini di pacchetti persi e ritrasmissioni, per bassi carichi di traffico. Ulteriori miglioramenti, che saranno oggetto di analisi future, potrebbero essere ottenuti valutando altre soluzioni di MAC più efficienti. Inoltre, lavori futuri potranno prendere in considerazione l'effetto della scalabilità dello Sciame nella valutazione delle prestazioni di rete, aumentando drasticamente il numero di nodi in modo da suggerire indicazioni utili per la reale implementazione del modulo di comunicazione dell'AUV.

ICT per l'energia

Le tematiche di ricerca inerenti la scheda "ICT per l'energia" sono state trattate nell'ambito dei progetti di ricerca RSE e pertanto sono esaustivamente descritte nelle relative Schede di Progetto.

Di seguito viene approfondito l'aspetto relativo alla tematica M2M per applicazioni smart grid. Negli ultimi anni, c'è stato un interesse crescente riguardo a tecniche di controllo avanzate per la gestione efficiente della rete di distribuzione elettrica al fine di definire un nuovo concetto della stessa, passando dall'ormai obsoleto concetto di rete di distribuzione elettrica passiva a quello di rete attiva: la Smart Grid. Tra i vari fattori ICT abilitanti per lo sviluppo delle Smart Grid, l'uso del paradigma di comunicazione Machine-to-Machine (M2M) è quello che consentirà di definire un sistema di monitoraggio avanzato. Tuttavia, le caratteristiche uniche delle comunicazioni M2M pongono una serie di questioni sulle reti di telecomunicazioni tradizionalmente concepite per un traffico dati completamente differente. In tale ambito, si è cercato di valutare come le tecnologie di reti cellulari di nuova generazione, come la rete 4G e la rete Long Term Evolution (LTE), possano essere considerate adatte per implementare applicazioni M2M in ottica Smart Grid. In particolare, sono state valutate le prestazioni della rete in termini di copertura e di capacità considerando due casi d'uso tipici per applicazioni M2M in ambito energia:

- il monitoraggio dati dei contatori intelligenti (AMI - Advanced Metering Infrastructure Use Case);
- il monitoraggio delle Cabine Secondarie nella rete di distribuzione della rete elettrica per lo scambio dati necessario alla gestione della tratta di linea a MT (Substation Monitoring Use Case).

Lo scopo di quest'attività è di verificare se la rete d'accesso radio della tecnologia cellulare è in grado di soddisfare i requisiti delle applicazioni proposte, al fine di dare indicazioni per l'effettiva implementazione di nuovi servizi per le Smart Grid (Smart Energy Services). L'analisi per i due casi d'uso è stata effettuata partendo dapprima da un approccio teorico, per poi validarlo tramite un modello simulativo. Pertanto, in primo luogo si è stimato il numero massimo di dispositivi che è possibile servire con la rete 4G facendo una valutazione di copertura radio teorica. Il valore trovato per ciascun caso d'uso è stato stimato considerando dei contesti di utilizzo realistici di propagazione radio e di distribuzione di dispositivi elettrici per entrambe le applicazioni energetiche. In particolare, si è considerato un contesto urbano di copertura radio con una conseguente densità di distribuzione di dispositivi (Smart Meter per il primo scenario, e Cabine Secondarie per il secondo) realisticamente ammissibile in ambito urbano. Tali valori, calcolati tramite considerazioni teoriche, non tengono conto di eventuali limitazioni dovute alla reale capacità della rete effettivamente disponibile.

Il contesto reale in cui la Smart Grid si troverà a funzionare non può prescindere da considerazioni di massimo traffico che può supportare la rete di telecomunicazioni, pertanto è stato sviluppato un modello simulativo per la valutazione della reale capacità della rete 4G legata al contesto di utilizzo (urbano, rurale, ecc.) e alla tipologia di traffico. I valori ottenuti per via teorica sono stati quindi confrontati con quelli ottenuti attraverso il simulatore e si è trovata una soglia interessante tra la reale velocità di trasmissione e il massimo carico di traffico dati raggiungibile in un dato contesto reale per cui i valori possono coincidere.

L'analisi condotta ha portato a concludere che la rete LTE è in grado di raggiungere i valori teorici di massimo numero di dispositivi che possono essere serviti (ottenuti considerando solo valutazioni di copertura e senza tener conto di valutazioni sul carico di traffico massimo sostenibile), solo quando vengono considerati nella stima i valori nominali di velocità di trasmissione (Data rate = 100 Mbit/s). In condizioni reali, considerando velocità di trasmissioni dati più verosimili (Data Rate meno di 20 Mbit/s) non è possibile raggiungere la stima teorica per il caso d'uso dello Smart Metering, mentre è possibile raggiungerla per il caso d'uso del monitoraggio delle cabine secondarie. Ciò è dovuto al fatto che, in un contesto urbano, il numero di smart meter da servire è nettamente maggiore rispetto al numero di Cabine Secondarie, benché la quantità di dati scambiati per singolo dispositivo sia inferiore nel primo caso rispetto al secondo. In definitiva, si riesce a raggiungere il valore teorico in entrambi i casi d'uso, solo in situazioni in cui il carico di traffico dati è molto basso. Ciò suggerisce che per lo sviluppo di nuovi servizi Smart Grid, in cui si prevede un intenso scambio di dati, la tecnologia LTE tradizionalmente pensata per una tipologia di traffico diverso (Human2Human Communication) dovrà essere opportunamente riadattata per rispondere alle esigenze crescenti della rete elettrica.

Lavori futuri potranno confrontare i risultati ottenuti relativamente alla tecnologia LTE con altre tecnologie radio, quali ad esempio la tecnologia WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) che potrebbe essere vista come una soluzione wireless alternativa per l'effettivo sviluppo di servizi emergenti per Smart Grid.