

EDITORIALE

Come vedete da questo numero abbiamo arricchito la veste grafica del Notiziario Tecnico con le peculiarità della Corporate Identity Aziendale; questo per meglio valorizzare e rendere subito riconoscibile, specie all'esterno del Gruppo, il valore della rivista, che fa dell'innovazione tecnica di Telecom Italia il suo obiettivo editoriale.

In copertina vi proponiamo l'illustrazione artistica di Alberto Ruggieri, come metafora delle velocità dell'ultrabroadband, tema *core* di questo numero. La larga banda sul mobile è infatti la "protagonista" di questo Notiziario Tecnico: LTE, (*Long Term Evolution*), non è solo presentata come evoluzione dei sistemi mobili 3G, ma anche come asset tecnologico, su cui si basa la sperimentazione multivendor a Torino, condotta da Telecom Italia insieme a Nokia Siemens Networks, Alcatel Lucent, Huawei ed Ericsson. Questi ultimi due partner tecnologici ci hanno anche offerto due articoli specifici: il primo sulle peculiarità della soluzione *Single Ran*, il secondo sui risultati della sperimentazione LTE a Stoccolma.

Per la sezione Innovazione, l'articolo, frutto della cooperazione tra Telecom Italia, il Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino e Slow Food, mirato all'applicazione della realtà aumentata nella filiera enogastronomica, a testimonianza del successo di questa applicazione all'edizione 2010 del Salone del Gusto.

Innovare la gestione di alcuni processi aziendali, come l'analisi dei guasti, la modellizzazione dell'affidabilità di alcune scelte tecnologiche o la previsione dei comportamenti dei clienti, è invece lo sfidante obiettivo cui l'articolo sulle reti bayesiane mira.

Il tema della sicurezza informatica è invece su questo numero esemplificato dall'articolo dedicato alla protezione delle piattaforme DNS, in cui si sottolinea come l'evoluzione degli apparati di rete stia trasformando router e switch in oggetti informatici aperti e programmabili, che necessitano di aderire alla *Network Embedded Security*.

Da ultimo, l'articolo sull'innovazione sostenibile dell'*Access Gateway* domestico, che vede Telecom Italia sempre più attenta alla riduzione degli impatti energetici e ambientali per la casa connessa, luogo di fruizione dei vari servizi broadband.

Buona Lettura e... BUON NATALE!





WANTEAT: INNOVARE L'ECOSISTEMA ENO-GASTRONOMICO

Luca Console, Marina Geymonat, Rossana Simeoni

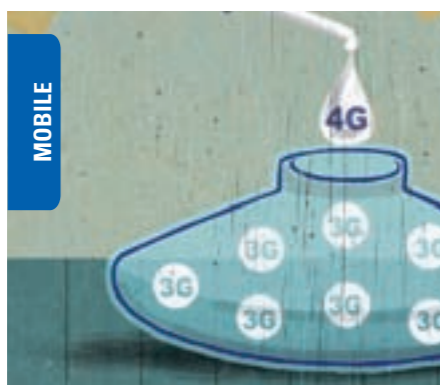
PAG. 6



RETI BAYESIANE: DA MODELLI DI CONOSCENZA A STRUMENTI INFERENZIALI E DECISIONALI

Serena Cenatiempo, Giulio D'Agostini, Aldo Vannelli

PAG. 16



I TRIAL LTE TI: EVOLUZIONE DEL SISTEMA RADIOMOBILE VERSO IL 4G

Loris Bollea, Marco Caretti, Vincenzo Torrasi

PAG. 26



LA PAROLA A ERICSSON: SPERIMENTAZIONE LTE A STOCCOLMA

Serena Cenatiempo, Giulio D'Agostini, Aldo Vannelli

PAG. 38



LTE SINGLE RAN: LA PAROLA A HUAWEI

Eric Xu

PAG. 42



NETWORK EMBEDDED SECURITY: NUOVI SCENARI

Stefano Brusotti, Marco Gazza, Dario Lombardo

PAG. 48



CONNECTED HOME: OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA E AMBIENTALE

Luca Giacomello, Patrizia Vaccarone

PAG. 58

WANTEAT: INNOVARE L'ECOSISTEMA ENO-GASTRONOMICO

Luca Console, Marina Geymonat, Rossana Simeoni



Telecom Italia, insieme al Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino (UniTo), all'Università di Scienze Gastronomiche di Pollenzo (UniSG) e a Slow Food Italia, è impegnata nello studio di soluzioni innovative basate sulle tecnologie informatiche e di telecomunicazione (ICT) che possano promuovere nuove dinamiche economiche, sociali e organizzative nel contesto enogastronomico.

La costruzione progressiva di un terreno comune tra ambiti di studio così distanti è resa possibile dalla collaborazione iniziata nel 2009 con il progetto PIEMONTE (*People Interaction with Enhanced-Multimodal Objects for a New Territory Experience*) [1].

Il concetto di qualità preso a riferimento è basato sull'accorciamento della filiera tra produttore e consumatore e sulla reciproca valorizzazione della cultura del territorio e dell'eccellenza enogastronomica[2]; il tutto per contribuire ad offrire a tutte le persone le informazioni, gli strumenti e la capacità necessarie per effettuare scelte alimentari consapevoli e sostenibili.

1 Gli obiettivi

Da uno studio preliminare e soprattutto attraverso lo scambio con esperti del settore, si è evinto che all'interno del contesto agro-alimentare sono in atto profondi cambiamenti processivi e gestionali, basati per lo più sulle possibilità offerte dalle nuove tecnologie. In particolare è emerso quanto l'informazione abbia un ruolo fondamentale sia nella relazione tra gli attori della filiera fino al consumatore, sia nelle attività di monitoraggio dei processi produttivi [3].

Da questa osservazione, considerando che «la tutela e la difesa del patrimonio agroalimentare non possono che passare attraverso la conoscenza» [4], si è concor-

dato sin dall'inizio di indirizzare gli sforzi sull'accorciamento della filiera informativa. Si è scelto inoltre di iniziare il progetto concentrandosi sui prodotti agroalimentari di qualità perché «più di altri in grado di raccontare i territori e le loro storie» [4].

A fronte di queste considerazioni, gli obiettivi del progetto possono essere così sintetizzati:

- ridurre la distanza tra produttore e consumatore;
- fare leva sulla qualità in termini di "buono, pulito e giusto";
- sensibilizzare i consumatori su una scelta informata;
- promuovere il territorio con i suoi prodotti.

Nelle linee di sviluppo derivanti dalla

formulazione di questi obiettivi [5] sono state ribadite la scelta di affrontare problematiche di tipo informativo e promozionale e non di certificazione, e l'importanza di lavorare agli estremi della filiera, la produzione e il consumo, per studiare come facilitare la generazione e la fruizione delle informazioni e della conoscenza. La disponibilità di fonti informative pregiate, come le pubblicazioni realizzate da UNISG e SlowFood, costituisce patrimonio importante da fruire e valorizzare e per questo ci si è concentrati proprio su questo nucleo all'avvio dei lavori. D'altra parte la necessità che la soluzione si autosostenga e si mantenga aggiornata nel tempo richiede di realizzare un processo dinamico di raccolta e aggregazione di nuova conoscenza che alimenti e rinnovi il sistema nel tempo.

La componente tecnologica gioca qui un ruolo chiave per far sì che la soluzione risulti adatta a tutti gli attori della filiera in termini di diffusione, facilità e naturalezza del processo di arricchimento delle informazioni disponibili. In questo scenario Telecom Italia è coinvolta nello studio e nella valorizzazione di tecnologie emergenti, quali l'Augmented Reality e il Trattamento di contenuti testuali e multimediali organizzati semanticamente in Ontologie e Basi di Conoscenza.

Inoltre, attraverso metodologie e strumenti propri dell'Interaction Design, Telecom Italia apporta competenze determinanti per la creazione, in questo contesto multidisciplinare, di nuove soluzioni ICT, progettate e sviluppate specificamente per l'eco-sistema enogastronomico (Figura 1). Si è scelto di valorizzare le informazioni legate alla tradizione del territorio, la sua cultura e la sua memo-

L'UNIVERSITÀ E L'AZIENDA INSIEME

La collaborazione tra il Dipartimento di Informatica di Torino e Telecom Italia è attiva da circa cinque anni e può essere riportata come un esempio di fruttuosa collaborazione tra centri di ricerca accademici e industriali. Non senza difficoltà, infatti, siamo riusciti a creare un gruppo di lavoro che collabora strettamente su tematiche di ricerca connesse allo studio ed integrazione di metodologie differenti, che vanno dalle ontologie e il Semantic Web, ai sistemi software sociali, ai sistemi adattivi e personalizzati basati su modelli utente, alle interfacce intelligenti, all'interaction design; il tutto con l'obiettivo di creare servizi innovativi basati su forme di interazione nuove. Il progetto PIEMONTE ha portato a risultati sia dal punto di vista teorico – metodologico, sia alla realizzazione di prototipi di servizi e applicazioni, quali WantEat. Le ragioni del successo della collaborazione sono molteplici; tra tutte la creazione di un gruppo di lavoro multidisciplinare, che offre un bilanciato mix tra ricerca di base e metodologica e ricerca applicata con sviluppo di prototipi e analisi e test sul campo. La speranza è che il modello di collaborazione che siamo riusciti a costruire possa da un lato essere rafforzato ulteriormente attraverso altri futuri progetti e obiettivi comuni, dall'altra anche esportato come piccolo esempio del fatto che la collaborazione tra la ricerca accademica e quella industriale è fondamentale per portare a soluzioni concrete e di assoluta innovatività.

console@di.unito.it

ria, perché la soluzione renda il territorio visibile, fruibile ed estendibile, grazie alla succitata possibilità di arricchire il sistema con nuove informazioni. A partire da queste linee di sviluppo ne derivano altre, come l'incentivazione della partecipazione attiva del produttore come attore del territorio, del consumatore come co-produttore del cibo,



Figura 1 - ICT nel contesto enogastronomico.

di tutti gli attori coinvolti come parte di una comunità. Tale partecipazione, facilitata e valorizzata con l'aiuto della tecnologia, pensiamo possa realmente ridurre la distanza tra consumatore e produttore, creando una "filiera corta dell'informazione".

2 Dai requisiti alla soluzione

La definizione delle linee guida precedentemente esposte, su cui tutti i partner concordano, è stato un primo risultato di progetto [5]. A partire da questo, si è iniziato a lavorare per ideare, progettare e realizzare una soluzione ICT. Dato il forte carattere multidisciplinare del progetto, la soluzione ICT che presentiamo è stata sviluppata grazie ad un approccio sistemico (Figura 2) imperniato su strumenti e metodologie adatte a coniugare elementi socio-economici, elementi tecnologici di natura informativa ed architetture, elementi legati ai fattori umani, oltreché di elementi legati alla tecnologia dell'interazione e della rappresentazione delle informazioni. L'applicazione di tali metodi e strumenti fa sì che la soluzione risultante sia adatta agli specifici attori a cui è rivolta e profonda-

mente integrata nel contesto di utilizzo. In prima istanza è stato necessario precisare a chi fosse rivolta la soluzione, affinché studi socio-economici e legati ai fattori umani potessero guidare a rilevare le esigenze specifiche e dettagliare i requisiti. Si è convenuto che, volendo affrontare il tema della sensibilizzazione e della promozione, i protagonisti fossero:

- il **Territorio**: del quale si vogliono conservare, condividere e promuovere la cultura e la tradizione;
- gli **Operatori**: ai quali si vuole offrire uno strumento di promozione, di scoperta di come vengono collegati i loro prodotti, per renderli in grado di avere un rapporto più stretto con altri operatori, vedere come vengono valutati i loro prodotti, avere un contatto diretto con i consumatori, ed in estrema sintesi concorrere all'accorciamento della catena informativa tra produttore e consumatore;
- il **Consumatore**: a cui si vuole offrire strumenti di scoperta e di conoscenza, di facile utilizzo, in grado di fargli avere, attraverso l'interattività propria dei device evoluti e pervasivi, un'esperienza arricchita e condivisa.

Utilizzando una metodologia iterativa, si è proceduto attraverso diverse fasi:

- 1) interviste ai consumatori e produttori;
- 2) studio delle soluzioni ICT esistenti e



Figura 2 - L'approccio sistemico.

- 3) sviluppo in parallelo di diverse ipotesi di soluzione, concept, modelli di interazione e di servizi [7] da bilanciare con i vincoli e le opportunità tecnologiche ed infine alla
- 4) definizione di una soluzione prototipale verificabile in un contesto reale. La metodologia in questione si avvale di momenti di verifica e validazione con gli esperti e con gli utenti finali per la raccolta in itinere di nuovi requisiti o indicazioni di miglioramento dei concept o dei prototipi in sviluppo [8]. La soluzione ad oggi ottenuta, denominata WantEat, è articolata in diverse ap-

plicazioni collegate tra loro in un'esperienza cross mediale, che possa rispondere in modo complessivo alle esigenze di tutti questi protagonisti. La cross medialità è stata scelta per consentire la condivisione di informazioni, la loro fruizione e il loro continuo arricchimento attraverso i device di consumer electronics e le applicazioni più adatte alla situazione. Le situazioni in cui il consumatore o l'operatore di settore possono trovarsi (Figura 3) sono infatti estremamente diverse tra di loro; si pensi ad esempio ai casi di mobilità al mercato quando si sta andando a fare la spesa o alla situazione di scelta di un piatto tipico in ristorante, sicuramente distanti dall'utilizzo del PC.

Di qui l'idea di realizzare un modello d'interazione che costituisca un anello di congiunzione tra i diversi device e utilizzi delle funzionalità ICT cross mediali, che metta al centro i prodotti della tavola e in alternativa tutti i protagonisti del contesto enogastronomico. Tale modello vuol essere alla base di un servizio di comunicazione in grado di unire in un'unica rete sociale sia le persone sia i prodotti e gli altri protagonisti che altrimenti rimarrebbero ai margini dell'esperienza, e che grazie a questo strumento diventano parte viva e dinamica di arricchimento informativo. La soluzione mira a diventare un valido e facile strumento per un'esperienza arricchita del territorio e del cibo, ai fini di generare una filiera corta dell'informazione.



Figura 3 - Situazioni a cui risponde la soluzione cross-mediale.

3 WantEat: un'esperienza arricchita del cibo

WantEat, www.wanteat.it, è il nome di questa innovativa soluzione ICT, dimostrazione di un'ipotesi di servizio pensato per:

- la sensibilizzazione del consumatore che comunica con tutti gli attori della filiera "WantEat su Smartphone" e "WantEat su Web";
- la promozione del produttore, dei prodotti, del territorio resa possibile grazie al "Retrobottega di WantEat", un'applicazione accessibile da Web, da cui è possibile per ogni attore del sistema, inserirsi nel ciclo virtuoso e cross mediale e poi verificare cosa sta accadendo (per esempio, un produttore può vedere cosa si dice del suo prodotto);
- la fruizione in ambienti nuovi (es: ristorante) e per altri attori (es: ristoratore) grazie ai device di nuova generazione, come i tablet PC.

3.1 Elementi unificanti

Dal punto di vista concettuale e dell'interazione l'anello di congiunzione tra i diversi tipi di utilizzo di WantEat è costituito dal modello della Ruota (Figura 4), che rappresenta il concetto di focalizzazione su un elemento di interesse con il quale è possibile interagire o che può essere il fulcro intorno al quale esplorare gli elementi in relazione. È quindi attraverso l'interazione con la ruota e grazie alle funzionalità specifiche, studiate e realizzate per i diversi ruoli e compiti e sui diversi device, che si attua l'esperienza cross-mediale basata su una logica comune ed interallacciata. È questa la forza di una soluzione ICT che si delinea come ipotesi di nuovo strumento di comunicazione, facente leva sull'informazione strutturata, la sua generazione e la messa a disposizione in forme facili da fruire, sfruttando modalità visuali e tecnologia di larga diffusione. Dal punto di vista tecnico WantEat si configura come una suite

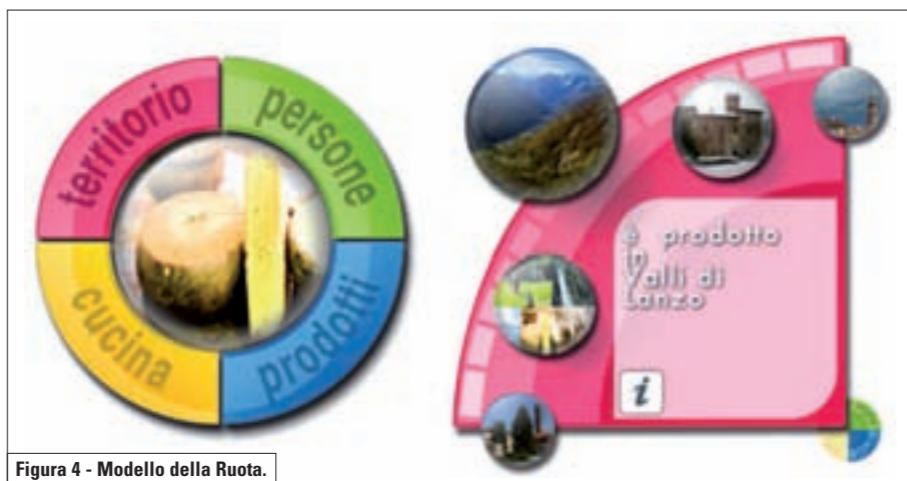


Figura 4 - Modello della Ruota.

di applicazioni con un application server in comune. A partire da una service logic unica sono state sviluppate, secondo una logica crossmediale, applicazioni diverse per diverse famiglie di dispositivi e per diversi gruppi di utenti. I dispositivi presi in considerazione sono smartphone (Apple iPhone), tablet computer (Apple iPad), computer (Web application). Per quel che concerne le tipologie di utenti si distingue tra servizi per l'utente generico e servizi per operatori del dominio (produttori, venditori, ristoratori, ...).

3.1.1 Il modello della ruota

Un obiettivo di WantEat è quello di permettere all'utente di usare gli oggetti con cui interagisce come punti di ingresso per esplorare il loro mondo ed eventualmente entrare in contatto con altri oggetti di quel mondo. Il modello di interazione si basa su una "ruota": l'oggetto è al centro della ruota ed intorno a lui ruotano gli oggetti del suo mondo, ossia della sua rete sociale in senso lato. Si tratta di oggetti in relazione con l'oggetto al centro, dove la relazione può essere derivata dalla conoscenza a priori sul dominio, o evinta dal comportamento e dall'interazione di altri utenti. La ruota è divisa in quattro settori, diversi a seconda del tipo di oggetto al centro. Ad esempio, se l'oggetto al centro è un prodotto, saranno presenti i settori:

- "Territorio", contenente oggetti del territorio e della filiera del prodotto

(inclusi produttori, luoghi di produzione, negozi, venditori, ...),

- "Cucina", contenente ricette che coinvolgono il prodotti e ristoranti cuochi in relazione con il prodotto;
- "Prodotti", contenente altri prodotti correlati, ad esempio prodotti con qualche caratteristica simile o prodotti che si abbinano o che utenti hanno spesso associato al prodotto al centro;
- "Persone" contenente utenti correlati al prodotti, ossia le persone che hanno interagito con esso o che lo hanno messo tra i preferiti.

3.1.2 Le basi della service logic di WantEat

La service logic comune mantiene informazione e conoscenza sugli oggetti del sistema, con cui gli utenti possono interagire. In particolare:

- il dominio di applicazione viene descritto tramite delle ontologie. Nel caso specifico si tratta di ontologie del dominio enogastronomico e ontologie geografiche per la descrizione dei territori;
- le informazioni associate agli oggetti dagli operatori (ad esempio foto, filmati) e quelle associate ad essi dagli utenti durante l'interazione (ad esempio tag, commenti) vengono associate agli oggetti e in alcuni casi condivise da altri oggetti;
- il sistema mantiene un insieme di relazioni sociali tra gli oggetti, derivate in parte dalla conoscenza, in parte dal

comportamenti degli utenti (ad esempio oggetti che sono spesso associati dagli utenti nei loro commenti).

Al fine di descrivere le applicazioni è sufficiente vedere la service logic comune come un sistema in grado di mettere in contatto un utente ed un oggetto, gestire l'interazione tra di essi e permettere di accedere alla rete sociale dell'oggetto stesso.

3.2 Le declinazioni applicative di WantEat

3.2.1 WantEat (mobile)

WantEat mobile (Figura 5) è un'applicazione per Apple iPhone che consente agli utenti di interagire con gli oggetti e di esplorare la loro rete sociale per navigarla ed entrare così in contatto con il loro mondo.

Le funzioni principali permettono ad un utente di entrare in contatto con un oggetto in vari modi:

- inquadrando con la videocamera del telefono l'etichetta dell'oggetto (che viene riconosciuta dal sistema);
 - passando vicino ad un territorio o al luogo in cui si trova un oggetto l'utente può venire "chiamato"; e decidere di iniziare con essi un'interazione;
 - tramite una raccomandazione del sistema, che tiene conto delle preferenze dell'utente e di fattori di localizzazione;
 - con un oggetto proposto a piacere dal sistema mirato a "sorprendere" l'utente;
 - una normale ricerca nel sistema del nome di un oggetto.
- Una volta creato il contatto l'utente può attuare con l'oggetto vari tipi di interazione, tra cui:
- ascoltare le cose che l'oggetto gli racconta; questo include sia informazione e conoscenza fornita dalla base di conoscenza ontologica e descrizioni fornite da operatori (con foto), sia commenti, tag e voti di altri utenti, presentati in forma sintetica;
 - parlare all'oggetto fornendo i propri commenti, tag e voti;
 - inserire l'oggetto tra i propri preferiti;
 - focalizzarsi sull'oggetto per esplorare

la sua rete sociale, ossia esplorare la "ruota" intorno all'oggetto.

La ruota poi può essere navigata. Dapprima ci si può focalizzare su un settore, che viene aperto e si possono scorrere, come in un disco di selettore telefonico del passato, gli elementi del settore. Toccando un elemento, si accede alla scheda di descrizione. In ogni istante un elemento è in evidenza e nello spicchio viene spiegata la relazione tra l'oggetto al centro e l'elemento. È possibile avere ulteriori spiegazioni sulla relazione ed in particolare sapere quali sono gli altri oggetti che stanno nella stessa relazione con l'oggetto al centro.

È quindi possibile effettuare un riposizionamento della ruota, trascinando l'elemento in evidenza al centro. In questo modo la ruota viene ricalcolata, ponendo il nuovo oggetto al centro.

3.2.2 WantEat (web)

WantEat web è simile a WantEat mobile in termini di funzionalità, ma permette all'utente di accedere ad informazioni più estese sugli oggetti, inclusi link verso siti web esterni che li riguardano. L'aspetto importante è che le azioni effettuate su uno dei media (web o iPhone) possono essere ritrovate sull'altro. Ad esempio, l'utente può inserire un oggetto nella lista dei preferiti da telefono nel momento in cui lo ha incontrato, per poi esplorarlo a partire dai preferiti a casa con l'applicazione Web.

3.2.3 Il retrobottega di WantEat

Il Retrobottega di WantEat (Figura 6) è un'applicazione Web pensata per gli operatori, con due gruppi fondamentali di funzioni:

- inserimento di oggetti nel sistema, ad esempio registrazione di un'azienda di produzione e dei suoi prodotti;
- analisi del "comportamento" degli oggetti e delle loro interazioni nel sistema. Nel primo caso si tratta di una serie di



Figura 5 - WantEat Mobile.

strumenti che permettono ad un operatore di registrare se stesso e di registrare oggetti nel sistema. Un oggetto deve essere inserito come istanza di una classe dell'ontologia e come tale entra immediatamente a far parte della rete creata dal sistema e ad avere relazioni sociali con altri oggetti. Ad un oggetto possono quindi essere associate descrizioni sia in forma testuale, sia in forma di immagini o filmati. Lo strumento di analisi del "comportamento" è più interessante ed innovativo, consentendo ad un operatore di esplorare tutto quello che succede ad un oggetto che ha registrato. Si può quindi analizzare quali siano gli utenti che hanno interagito con l'oggetto e in che modo (ad esempio i tag, commenti e voti

che hanno inserito); quanto spesso e da chi l'oggetto sia stato messo nei preferiti. Inoltre è possibile esplorare le relazioni sociali che si sono create per quell'oggetto, ossia con quali altri oggetti sia stato messo in relazione. In questo modo un produttore può scoprire dove il suo prodotto viene venduto o cucinato, può esplorare il profilo di chi ha interagito con lui, può entrare in contatto con altri operatori o utenti.

Si tratta quindi di una funzionalità importante per gli operatori, sia come strumento di promozione che di conoscenza e può essere altresì uno strumento importante per creare filiere corte.

Le informazioni possono essere presentate sia in forma estesa, sia in forma sin-

tetica attraverso statistiche. Le informazioni sintetiche potrebbero essere anche di tipo comparativo, ad esempio permettendo ad un produttore di confrontarsi con la media dei produttori simili o anche con specifici concorrenti. L'accettabilità di queste funzioni "comparative" deve tuttavia essere discussa con gli operatori del dominio.

3.2.4 Video WantEat

Video WantEat (Figura 7) è un'applicazione per iPad che permette di interagire con gli oggetti e le loro reti sociali, utilizzando lo stesso paradigma della ruota, tuttavia, nel momento in cui si esplora l'oggetto al centro, si può accedere a filmati che lo riguardano. Ad esempio, nel caso di un prodotto, si può accedere a filmati relativi alle sue tradizioni, al patrimonio culturale di un territorio, a interviste ai produttori eccetera.

Cliccando sul filmato, questo viene mostrato all'utente, a metà schermo, con l'altra metà per le informazioni associate al filmato se la fruizione avviene in modalità "portrait", a schermo intero nella modalità landscape, secondo una convenzione comune su iPad.

Questa applicazione potrebbe essere utilizzata in un ristorante, a corredo di un menù su iPad oppure in ambito turistico, o ancora come un modo per esplorare, guidati dagli oggetti e dalle relazioni tra questi, archivi di filmati sul patrimonio culturale. In questo senso l'applicazione è stata ispirata dal progetto del "Granaio della Memoria" recentemente esposto da Carlo Petrini [9].

4 Architettura del sistema

In questo capitolo faremo un breve cenno all'architettura globale del sistema [10], distinguendo tra la service logic e le diverse applicazioni lato client. L'architettura è schematizzata in Figura 8.

Quattro moduli fondamentali possono essere individuati nella service logic:



Figura 6 - Il Retrobottega di WantEat.



Figura 7 - Video WantEat.

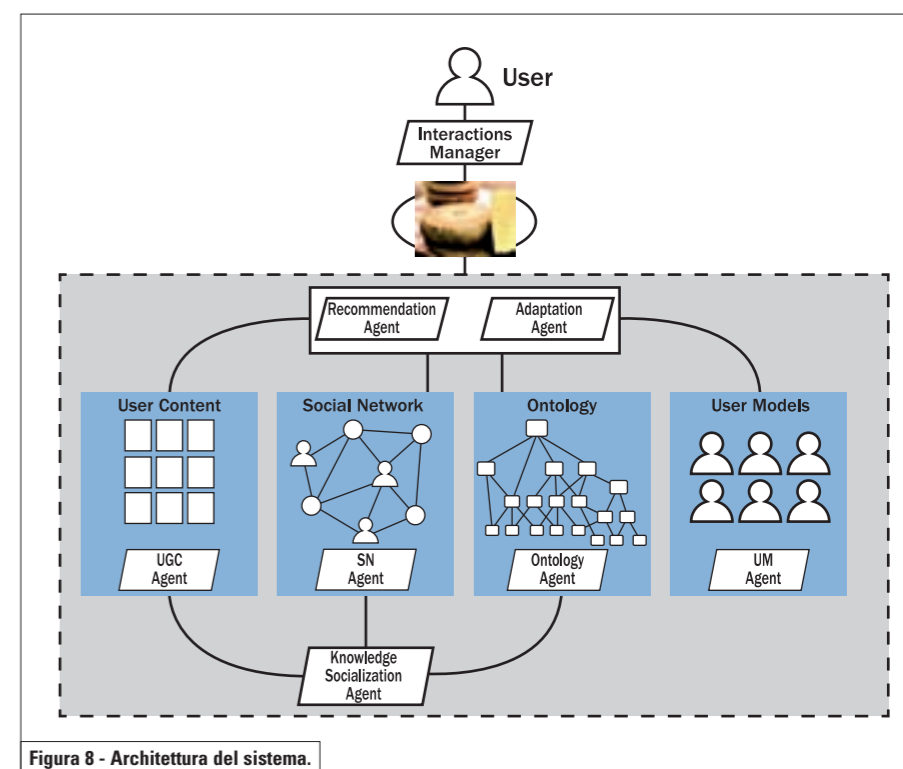


Figura 8 - Architettura del sistema.

- **Ontology Agent**, un gestore di ontologie, che esegue inferenze sulle ontologie del dominio derivando relazioni "ontologiche" tra oggetti;
- **User Model Agent**, un gestore dei modelli degli utenti che costruisce dei profili a partire dal comportamento degli utenti;
- **Social Network Agent**, un gestore di reti sociali, che crea e gestisce reti tra oggetti a partire dal comportamento degli utenti;
- **User Generated Content Agent**, un sistema che gestisce i contenuti inseriti dagli utenti creando le sintesi associate ai diversi oggetti;
- **Knowledge Socialization Agent**, un modulo di condivisione delle informazioni che permette di condividerle tra gli oggetti;
- **Recommendation Agent & Adaptation Agent**, un sistema di raccomandazione e uno di user-adaptation che permettono di tenere conto del modello dell'utente nel selezionare le informazioni da presentare all'utente stesso.

Su ogni specifico client si utilizza un Interaction Manager che realizza le forme di interazione utilizzando le funzioni fornite dalla service logic.

5 Il debutto della soluzione WantEat al Salone del Gusto 2010

In oltre un anno di lavoro in seguito agli approfondimenti svolti sul contesto specifico dell'eno-gastronomia e alla progettazione di WantEat in tutte le accezioni precedentemente descritte, si è finalmente consolidata una realizzazione software della soluzione cross mediale. La solidità del sistema e il buon livello di completezza raggiunto ha permesso di svolgere una sperimentazione d'uso in una delle occasioni pubbliche più significative del mondo eno-gastronomico, ovvero il Salone del Gusto 2010 di Torino organizzato da Slow Food (Figura 9). Dal 21 al 25 ottobre 2010 a Torino, è quindi avvenuta la presentazione della soluzione WantEat [11] nel corso del quale si è tenuta una massiccia sperimentazione (circa 700 utenti) per raccogliere feedback sull'utilizzo in un contesto reale da tipi di utenti eterogenei e attori che ricoprono diversi ruoli nella filiera. La sperimentazione è stata effettuata in collaborazione con la Provincia di Torino e ha riguardato i Prodotti del Paniere.

INNOVAZIONE
MOBILE
SICUREZZA
NETWORK

INNOVAZIONE
MOBILE
SICUREZZA
NETWORK



Figura 9 - WantEat al Salone del Gusto di Torino.

Conclusioni

Il progetto ed i risultati descritti nell'articolo nascono dall'impegno della struttura di Innovazione di Telecom Italia nel sondare nuove opportunità di business e di utilizzo delle TLC in eco-sistemi e filiere diverse da quelle di comune riferimento per l'azienda.

Telecom Italia è interessata infatti e a sviluppare nuovi servizi basati sulla diffusione delle tecnologie informatiche e di telecomunicazione per continuare ad essere un attore fondamentale nella comunicazione del nostro vivere quotidiano. Forti di una rete in grado di garantire una grande diffusione di Internet, Telecom Italia è oggi impegnata nella ricerca di soluzioni che spaziano dal settore energetico a quello dell'agroalimentare per fornire servizi pervasivi che concorrano ad un uso più consapevole delle risorse del nostro pianeta. Fanno parte di questo impegno gli studi sulle smart grid che permetteranno un'erogazione efficiente ed un utilizzo consapevole dell'energia nelle nostre case; con il progetto PIEMONTE si è intrapreso un primo passo per mettere l'ICT al servizio dei consumatori e degli attori della filiera eno-gastronomica, che ogni giorno con le proprie scelte determinano il flusso di produzione, distribuzione e vendita dei beni di consumo alimentare. L'informazione e le modalità che rendono facile la comunicazione interpersonale, con il territorio, con gli attori della filiera e con i prodotti stessi, si uniscono quindi alle potenzialità della rete di TLC per concorrere a scelte più consapevoli per un'eno-gastronomia sostenibile e di qualità. La nostra scelta è di continuare ad approfondire insieme a partner di alto profilo questo contesto, per contribuire davvero ad un cambiamento della vita di tutti i giorni, in un campo, quale la scelta del cibo, che ci tocca tutti da vicino. ■

marina.geymonat@telecomitalia.it
rossana.simeoni@telecomitalia.it

Si ringraziano tutte le persone di Telecom Italia, del Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino, dell'Università di Scienze Gastronomiche e di Slow Food che partecipano al progetto. Un ringraziamento speciale a Piergiorgio Bosco per il suo fondamentale contributo a questa iniziativa.



Bibliografia

- [1] Sito del progetto
www.progettapiemonte.unito.it
e bando e graduatoria
www.regione.piemonte.it/innovazione/ricerca/bandi-e-finanziamenti/bandi-in-corso-di-valutazione/bando-converging-technologies.html
- [2] C. Petrini, "Buono, Pulito e Giusto" 2005, Einaudi Gli struzzi
- [3] Descrizione workshop
www.regione.piemonte.it/innovazione/innovazione/ict-information-communication-technology/le-ict-nella-filiera-agroalimentare-prospettive-e-testimonianze.html
- [4] Articolo pubblicato in seguito alla partecipazione a Cheese 2009
http://www.slowfood.com/sloweb/ita/detta_glio.lasso?cod=5D3EE20E167cd1913BnUj27C3C69
- [5] Progetto PIEMONTE Deliverable D1.2 - Domain Description and Requirements
- [6] Progetto PIEMONTE Deliverable D4.4 - Device Benchmarking
- [7] Progetto PIEMONTE Deliverable D4.1 - New Interaction Model
- [8] Progetto PIEMONTE Deliverable D6.1 - Metodologia di valutazione
- [9] Articolo su "Granaio della Memoria"
http://www.ilmessaggero.it/articolo.php?id=120656&sez=HOME_PIACERI
- [10] Progetto PIEMONTE Deliverable D 3.1 - Specification of the global architecture
- [11] Sito del Salone del Gusto 2010
<http://www.salonedelgusto.it/>



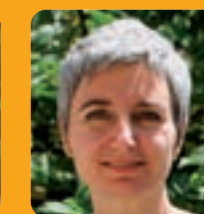
Luca Console

Professore Ordinario di Informatica presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Torino. La sua attività di ricerca riguarda i sistemi intelligenti e le tecniche di ragionamento automatico. Negli ultimi anni l'interesse di ricerca si è concentrato sull'integrazione tra sistemi sociali e sistemi intelligenti e, all'interno del progetto PIEMONTE sull'associazione di comportamenti intelligenti e sociali agli oggetti fisici. È stato coordinatore di numerosi progetti nazionali ed internazionali e ha pubblicato libri e articoli in riviste e conferenze internazionali.



Marina Geymonat

Laureata in Scienze dell'Informazione a Torino, è in Azienda dal '94 e da allora ha cambiato diversi ruoli e settori a partire dalle tematiche di Network & Service Management, alla responsabilità di progetti di ricerca. Ha di recente concluso con successo il progetto di ricerca DynamicTV, prototipando un paradigma innovativo per la TV interattiva. Attualmente guida un nuovo progetto di ricerca che mira a ideare e costruire un ruolo per Telecom Italia nell'ambito di ecosistemi complessi, quali l'eno-gastronomia di qualità.



Rossana Simeoni

Laureata in Scienze dell'Informazione, dal 1992 è in Azienda, dove si è occupata di Service Management, Customer Relationship Management, Service Personalization, Process Engineering e nuovi ruoli di responsabilità in progetti interni e internazionali e attualmente guida attività di progettazione e sviluppo di innovativi paradigmi d'interazione e servizi cross-mediali. I suoi interessi si focalizzano su aspetti di Interaction Design, Human-Computer Interaction e Knowledge-based Systems. È responsabile scientifico per Telecom Italia nel progetto PIEMONTE e insegna HCI presso l'Università di Torino.

RETI BAYESIANE: DA MODELLI DI CONOSCENZA A STRUMENTI INFERENZIALI E DECISIONALI

Serena Cenatiempo, Giulio D'Agostini, Aldo Vannelli



Prendere decisioni è tra le azioni più frequenti delle nostre giornate: le scelte personali, le decisioni manageriali, le diagnosi mediche sono solo i primi esempi che vengono in mente. Fattore imprescindibile in ogni decisione è la gestione delle incertezze. Queste ultime riguardano le informazioni di cui disponiamo, così come le relazioni che intercorrono tra le variabili del nostro problema. Nella maggior parte dei casi infatti tali relazioni non sono di tipo deterministico, ma probabilistico, si pensi ad esempio in campo medico alle relazioni tra malattie e sintomi, o in campo ingegneristico a quelle tra guasti e allarmi. L'incertezza può ancora riguardare quello che accadrà in prospettiva, per cui le conseguenze delle nostre scelte andranno valutate rispetto ad ogni scenario futuro che crediamo possibile. In una grande varietà di casi il problema davanti a cui ci troviamo è il seguente: avendo a disposizione una serie di dati, fatti o osservazioni, siamo interessati a risalire alla causa più probabile che li ha provocati, al fine di ottimizzare le nostre decisioni. A dispetto del fatto che si tratti di un'operazione che potremmo dire quotidiana, decidere in condizioni di incertezza è un processo tutt'altro che banale. Già in situazioni elementari - si vedano come esempi il paradosso di Ellsberg [1] o il *Monty Hall Problem* [2] - il nostro intuito porta a conclusioni non corrette dal punto di vista razionale. Affrontare problemi reali, dove al numero crescente di variabili si affianca un intricato gioco di relazioni tra le stesse, richiede strumenti che permettano di gestire le incertezze in maniera quantitativa. Un approccio quantitativo per integrare l'incertezza nel ragionamento viene dalle cosiddette reti bayesiane: potenti strumenti concettuali, matematici e applicativi che permettono di gestire problemi complessi con un grande numero di variabili legate tra loro da relazioni sia probabilistiche che deterministiche.

1 Il teorema di Bayes e l'inferenza nelle reti bayesiane

Le reti bayesiane rappresentano lo strumento logico e tecnico per strutturare i problemi e analizzare i dati in presenza di incertezze, in particolare quando le relazioni (probabilistiche) causa-effetto sono complicate, ovvero in tutti i casi realistici e di interesse [3]. Esse, infatti, permettono di aggiornare in maniera quantitativa le probabilità di tutte le variabili in gioco ogni volta che vengono acquisite nuove informazioni su alcune di esse, utilizzando un teorema della probabilità chiamato teorema di Bayes. Per capire il significato e la portata di questo importante teore-

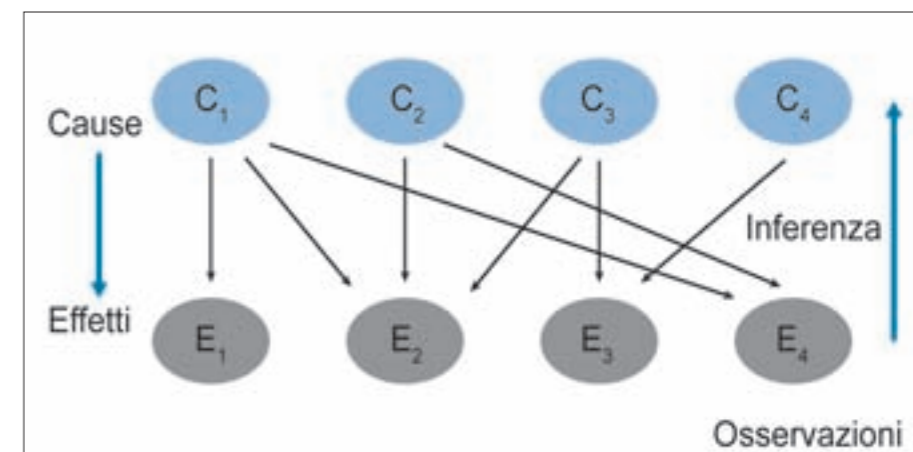


Figura 1 - Data un'osservazione possiamo non essere certi dell'esatta causa che l'ha provocata. Questo tipo di problema è classificato come 'probabilità delle cause' e il processo che porta alla sua risoluzione è detto 'inferenza'.

ma, è utile introdurre un semplice case-study in ambito medico. Un cittadino è scelto a caso nella popolazione italiana per essere sottoposto ad un test dell'AIDS. La prestazione del test, come in tutti i casi reali accade, non è perfetta. Da analisi precedenti è noto che il test risulta positivo nella totalità dei casi di infezione da HIV; al contrario esiste una piccola percentuale di persone non infette (pari allo 0,2%) per le quali il test dà risultato positivo. Volendo rappresentare il problema secondo lo schema di Figura 1 abbiamo due possibili cause (cittadino infetto o non infetto) che possono provocare, con probabilità rispettivamente del 100% e dello 0,2%, lo stesso effetto (risultato positivo del test). Le domande a cui siamo interessati sono: qual è la probabilità che il soggetto sotto esame sia infetto dal virus? È più probabile che il cittadino in questione sia infetto da AIDS o che non sia infetto? O ancora, possiamo dire che sia praticamente impossibile che la persona con test positivo sia non infetta, visto che è praticamente impossibile che una persona non infetta risulti positiva al test? Il problema che ci stiamo ponendo è un problema di 'probabilità delle cause', nel senso che siamo interessati a risalire alla causa più probabile tra quelle possibili a partire dall'osservazione dell'effetto 'risultato del test'. Il processo attraverso cui si ottengono informazioni sulle cause a partire dagli effetti prende il nome di inferenza. Se il problema viene valutato correttamente, il risultato è che la probabilità di essere infetti nel caso di un risultato positivo del test non è il 99,8%, ma si colloca intorno al 50%, cioè non si può concludere che la persona sia infetta da AIDS! Il concetto cruciale di cui abbiamo bisogno per risolvere il problema e che rappresenta uno dei concetti di base delle reti bayesiane è quello di probabilità condizionata. Quest'ultima è la probabilità che un evento E si verifichi ipotizzando il verificarsi di un determinato 'evento-causa' C. Per esempio la probabilità che si verifichi un incidente automobilistico può essere condizionata dal meteo, dalle condizioni della strada, dal traffico e così via. La notazione matematica che corrisponde ad un'affermazione di probabilità condizionata è $p(E|C)=x$, che si legge 'data la causa

C riteniamo che l'evento E si verifichi con probabilità x'. Se C_1, \dots, C_n sono n possibili cause che hanno effetti sull'evento E e se sappiamo che E si è verificato, allora $p(E|C_i)$ è la probabilità con cui crediamo che la causa C_i produce E. La regola fondamentale del calcolo delle probabilità è:

$$p(E|C) \cdot p(C) = p(E, C) \quad (1)$$

dove $P(E,C)$ è la probabilità che gli eventi E e C siano entrambi veri. La (1) può anche essere scritta scambiando C ed E e da questa osservazione abbiamo la seguente identità:

$$p(E|C) \cdot p(C) = p(C|E) \cdot P(E) \quad (2)$$

da cui deriva il **teorema di Bayes**

$$p(C|E) = p(E|C) \cdot p(C)/p(E) \quad (3)$$

che permette di calcolare la probabilità associata ad una causa C sotto l'ipotesi che l'effetto E si verifichi, ovvero di trasformare $p(E|C)$ in $p(C|E)$ ('inversione di probabilità'). Si parla di inferenza bayesiana quando il processo di inferenza è basato sulla relazione (3). Nel caso dell'AIDS le prestazioni del test altro non sono che probabilità condizionate, ovvero:

- $p(\text{test positivo}|\text{AIDS si}) = 100\%$;
- $p(\text{test negativo}|\text{AIDS si}) = 0\%$ (**assenza di falsi negativi**);
- $p(\text{test positivo}|\text{AIDS no}) = 0,2\%$ (**percentuale di falsi positivi**);
- $p(\text{test negativo}|\text{AIDS no}) = 99,8\%$.

Applicando la regola di Bayes si ottiene la seguente espressione per la probabilità di essere infetto dato un esito positivo del test, che è l'informazione che cerchiamo:

$$p(\text{test positivo}) = \frac{p(\text{test positivo}, \text{AIDS si}) + p(\text{test positivo}, \text{AIDS no})}{p(\text{test positivo})} \quad (4)$$

	p (test AIDS)		p (AIDS)	
	AIDS si	AIDS no	AIDS no	AIDS si
Test positivo	100%	0,2%	AIDS no	1/600
Testo negativo	0%	99,8%	AIDS si	599/600

Tabella 1 - Tabelle di probabilità associate ai nodi TEST e AIDS nella rete in Figura 3.

Per calcolare questo valore è necessario conoscere la probabilità $p(\text{test positivo})$ che il test sia positivo, che è data dalla somma della probabilità che il test sia positivo e la persona infetta e della probabilità che il test sia positivo e la persona non infetta:

$$p(\text{AIDS si}|\text{test positivo}) = \frac{p(\text{test positivo}|\text{AIDS si}) \cdot p(\text{AIDS si})}{p(\text{test positivo})} \quad (5)$$

Usando la (2), quest'ultima relazione può essere esplicitata come segue:

$$p(\text{test positivo}) = \frac{p(\text{test positivo}|\text{AIDS si}) \cdot p(\text{AIDS si}) + p(\text{test positivo}, \text{AIDS no}) \cdot p(\text{AIDS no})}{p(\text{test positivo})} \quad (6)$$

Dalla (4) e dalla (6) emerge chiaramente che per rispondere alla domanda che ci siamo posti abbiamo bisogno di un'informazione che avevamo trascurato, ovvero la probabilità $p(\text{AIDS si})$ che un cittadino selezionato a caso tra la popolazione italiana (quindi senza comportamenti a rischio) abbia contratto l'AIDS. Considerando la stima realistica $p(\text{AIDS si})=1/600$, dalla (4) si ottiene

$$p(\text{AIDS si}|\text{test positivo}) = 45\%$$

È quindi ancora più probabile essere non infetti che infetti, nonostante il test abbia dato risultato positivo. Tale risultato deriva dal fatto che il teorema di Bayes bilancia in maniera appropriata le osservazioni (il risultato dell'analisi) con le conoscenze 'a priori' riguardanti il problema in considerazione (nel nostro caso la bassa diffusione dell'AIDS nella popolazione italiana).

È interessante notare che solo scegliendo $p(\text{AIDS si}) = p(\text{AIDS no}) = 50\%$ la (4) restituisce $p(\text{AIDS si}|\text{test positivo}) = 99,8\%$; d'altra parte è assurdo pensare che una per-

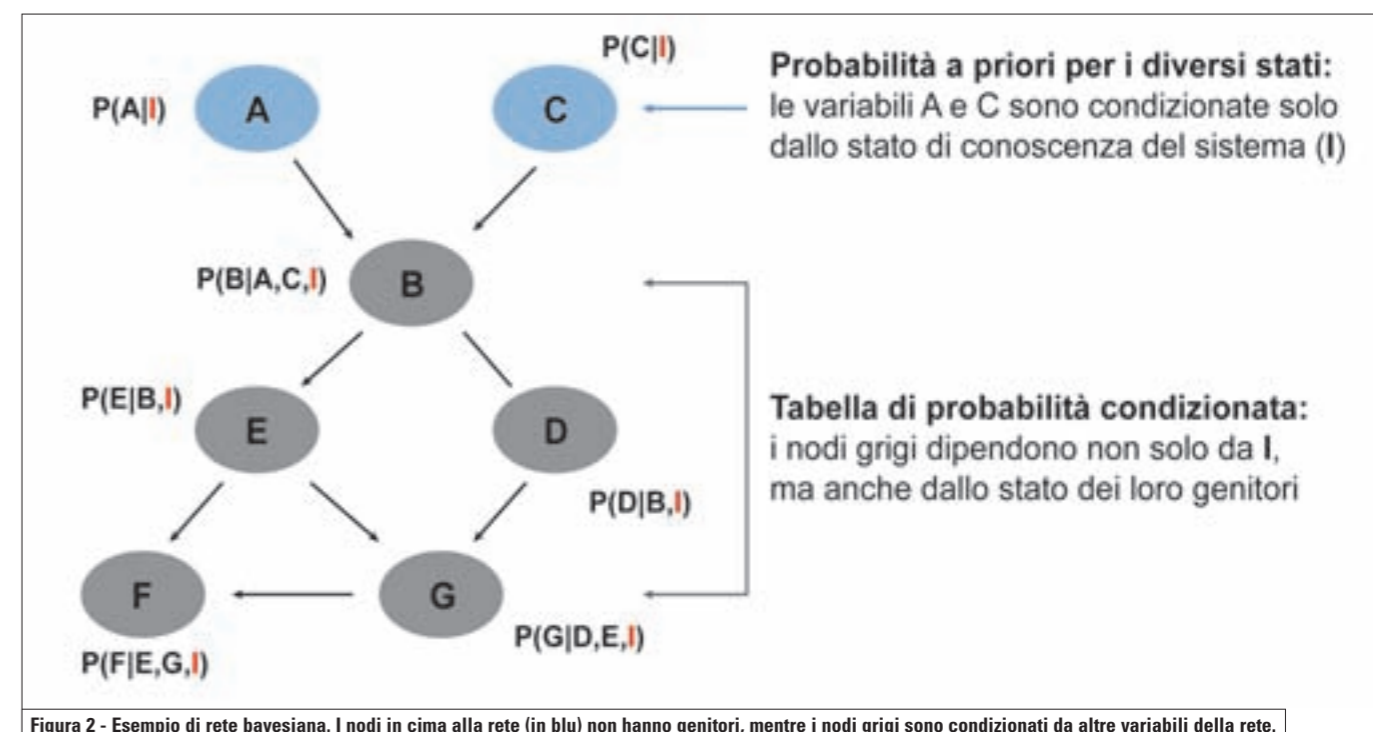


Figura 2 - Esempio di rete bayesiana. I nodi in cima alla rete (in blu) non hanno genitori, mentre i nodi grigi sono condizionati da altre variabili della rete.

sona scelta a caso abbia la stessa probabilità di essere o meno infetta dal virus dell'AIDS! Per convincerci ulteriormente del risultato ottenuto, supponiamo di sottoporre idealmente al test dell'AIDS l'intera popolazione italiana (diciamo 60 milioni di persone). Il test risulterà positivo sia per la totalità delle persone infette ($1/600 \cdot 60 \text{ milioni} = 100 \text{ mila}$) che per lo 0,2% delle persone non infette ($0,2\% \cdot 59,9 \text{ milioni di persone} = 119.800 \text{ falsi positivi}$). Il numero di falsi positivi è confrontabile con quello dei veri positivi perché, pur

essendo la probabilità di un falso positivo molto bassa, il numero di persone non infette è tre ordini di grandezza maggiore di quella delle persone infette. La probabilità di essere affetti da AIDS, se il test ha dato risultato positivo, è uguale alla proporzione di persone infette rispetto al numero totale di persone per il quale il test è risultato positivo, ovvero $100.000/219.800 = 0,45$.

Il problema del test dell'AIDS sopra descritto può essere schematizzato come in Figura 3, dove la variabile causa (AIDS) e la variabile osservazione (TEST) sono legate da una freccia che rappresenta la relazione causale tra i possibili stati della malattia del nodo AIDS (persona infetta o non infetta) e i due risultati del test. Alla variabile TEST è associata la Tabella 1 che quantifica la relazione espressa dalla freccia e che contiene quindi le probabilità condizionate sopra descritte. Alla variabile AIDS sono associate le due probabilità di essere infetti o meno da AIDS. Il verso della freccia in Figura 3 esprime la direzione in cui è noto il condizionamento tra le variabili in esame. Nel caso del test dell'AIDS abbiamo informazioni sulla probabilità che il test abbia un certo esito a seconda che la persona sia o meno

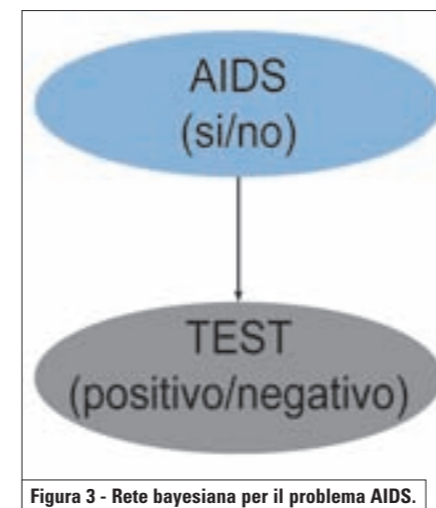


Figura 3 - Rete bayesiana per il problema AIDS.

infetta dal virus (significatività e specificità del test). Quello a cui siamo interessati è percorrere la freccia in verso contrario, ovvero valutare la probabilità del nodo AIDS a partire dalle informazioni sull'esito del test. La rete in Figura 3 è il più semplice esempio di rete bayesiana, con due sole variabili coinvolte. In situazioni più complesse ogni effetto può essere a sua volta causa di altri effetti, gli effetti possono essere tra loro dipendenti e così via. I software che implementano l'inferenza bayesiana sono in grado di propagare le informazioni in ogni nodo della rete utilizzando il teorema di Bayes, ovvero di estendere a molte variabili il processo che abbiamo applicato al problema del test dell'AIDS.

2 Reti bayesiane: struttura e primi esempi

In generale una rete bayesiana (Figura 2) consiste di un insieme di variabili dette nodi (che indicheremo con lettere maiuscole, A,B,C ...), che si possono trovare in un numero finito di stati mutuamente esclusivi (che indicheremo con lettere minuscole; ad esempio gli stati del nodo

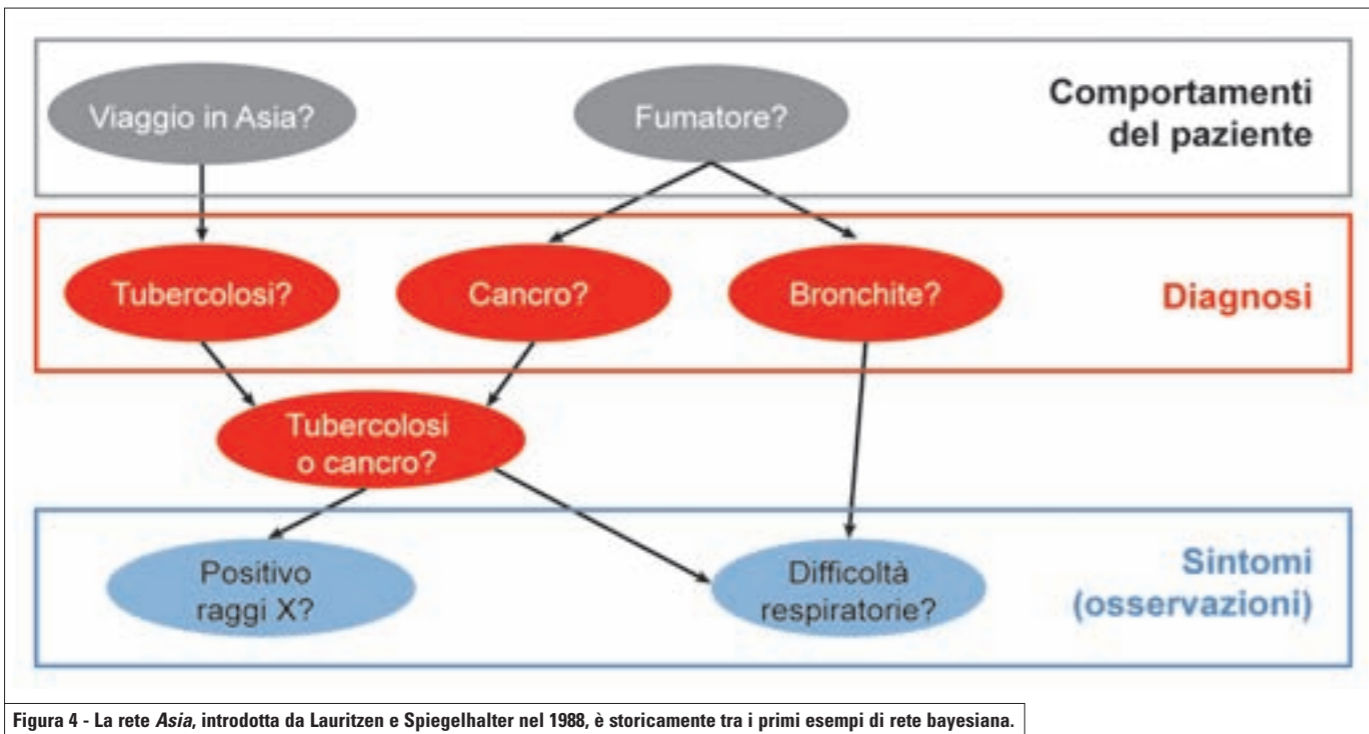


Figura 4 - La rete Asia, introdotta da Lauritzen e Spiegelhalter nel 1988, è storicamente tra i primi esempi di rete bayesiana.

Asaranno indicati con a_1, a_2, a_3, \dots . Le relazioni (probabilistiche e deterministiche) tra le diverse variabili sono rappresentate da frecce. Le variabili insieme alle frecce che le congiungono formano un grafico aciclico, ovvero un grafico in cui non esiste nessun cammino che permetta di partire da una variabile e tornare sulla stessa seguendo le direzioni delle frecce. Ad ogni variabile E condizionata da altre variabili C_1, \dots, C_n - chiamate 'genitori di E ' - è associata una tabella di probabilità condizionata $P(E|C_1 \dots C_n)$ che quantifica la dipendenza del nodo E , detto 'figlio', dai nodi genitori. Nel caso in cui la variabile E (con stati e_1, \dots, e_n) è condizionata da una sola variabile C (con stati c_1, \dots, c_m) $P(E|C)$ è una tabella ($n \times m$) contenente tutte le probabilità $P(e_i|c_j)$ associate alle diverse combinazioni di stati dei nodi C ed E .

La tabella 1 per il nodo TEST è di questo tipo. Nel caso in cui E è condizionata da due variabili C_1 e C_2 la tabella di probabilità condizionata ha n righe ed $m_1 \times m_2$ colonne e così via al crescere dei nodi genitori. Se una variabile A con n stati non ha genitori, la tabella a essa associata si riduce ad una singola colonna di n numeri, ciascuno dei quali rappresenta

la probabilità che la variabile A si trovi in uno dei suoi stati a_i , ovvero

$$P(A) = (x_1, \dots, x_n) \quad x_i \geq 0 \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1$$

dove x_i è la probabilità che A si trovi nello stato a_i . Le probabilità x_i non sono condizionate dalle altre variabili presenti nella rete, ma sono certamente condizionate dalle informazioni che abbiamo sul modello o problema che stiamo descrivendo¹. La tabella di probabilità per il nodo AIDS è di questo secondo tipo.

Uno dei primi esempi accademici di rete bayesiana è la rete Asia [4], rappresentata in Figura 4; essa mostra in maniera efficace quali sono la potenzialità di questo strumento. Si tratta della versione semplificata di una rete per la diagnosi di malattie ai polmoni, in particolare tubercolosi, cancro e bronchite.

Ogni nodo della rete corrisponde a un comportamento del paziente o al risultato di un esame medico, mentre la direzione delle frecce descrive le relazioni tra le variabili: ad esempio essere fumatore alza la probabilità di avere un tumore ai polmoni o di soffrire di bronchite, mentre non ha alcuna relazione con la tubercolosi.

Nel momento in cui si inseriscono nella rete le informazioni sul paziente in esame (sintomi e comportamenti), queste si propagano all'interno della rete, aggiornando in maniera quantitativa le probabilità associate ai nodi non noti della rete (malattie). Le immagini 5 e 6 sono l'interfaccia grafica per la rete Asia di uno dei software utilizzati per la costruzione di reti bayesiane Hugin Expert [5], prima e dopo che siano inserite le informazioni relative al paziente e sui sintomi abbiano cambiato le probabilità iniziali di avere una delle tre malattie. La rete Asia può essere facilmente ampliata includendo risultati di ulteriori test utili alla diagnosi, semplicemente aggiungendo nuovi nodi alla struttura già esistente. I software in commercio per l'implementazione di reti bayesiane sono comprensivi di API, permettendo così di gestire i problemi a livello di programmazione, effettuare analisi di sensibilità rispetto alle variazioni di determinati parametri, o gestire informazioni real time all'arrivo di nuovi imput, con ovvie applicazioni su sistemi esperti.

L'approccio alla base della rete Asia può

opinioni diverse sulle probabilità da assegnare ad un certo evento.

a conoscenza del fatto che il dado è truccato la nostra idea sulla probabilità dell'uscita del numero 6 sarebbe diversa. Lo stato di informazione può essere diverso da soggetto a soggetto, in quanto persone diverse possono avere informazioni diverse e pertanto

¹ Ogni probabilità è sempre condizionata almeno dal nostro stato di informazione rispetto al problema che stiamo descrivendo: la probabilità che il lancio di un dado dia risultato 6 è $1/6$ perché riteniamo le facce del dado equiprobabili. D'altra parte se fossimo

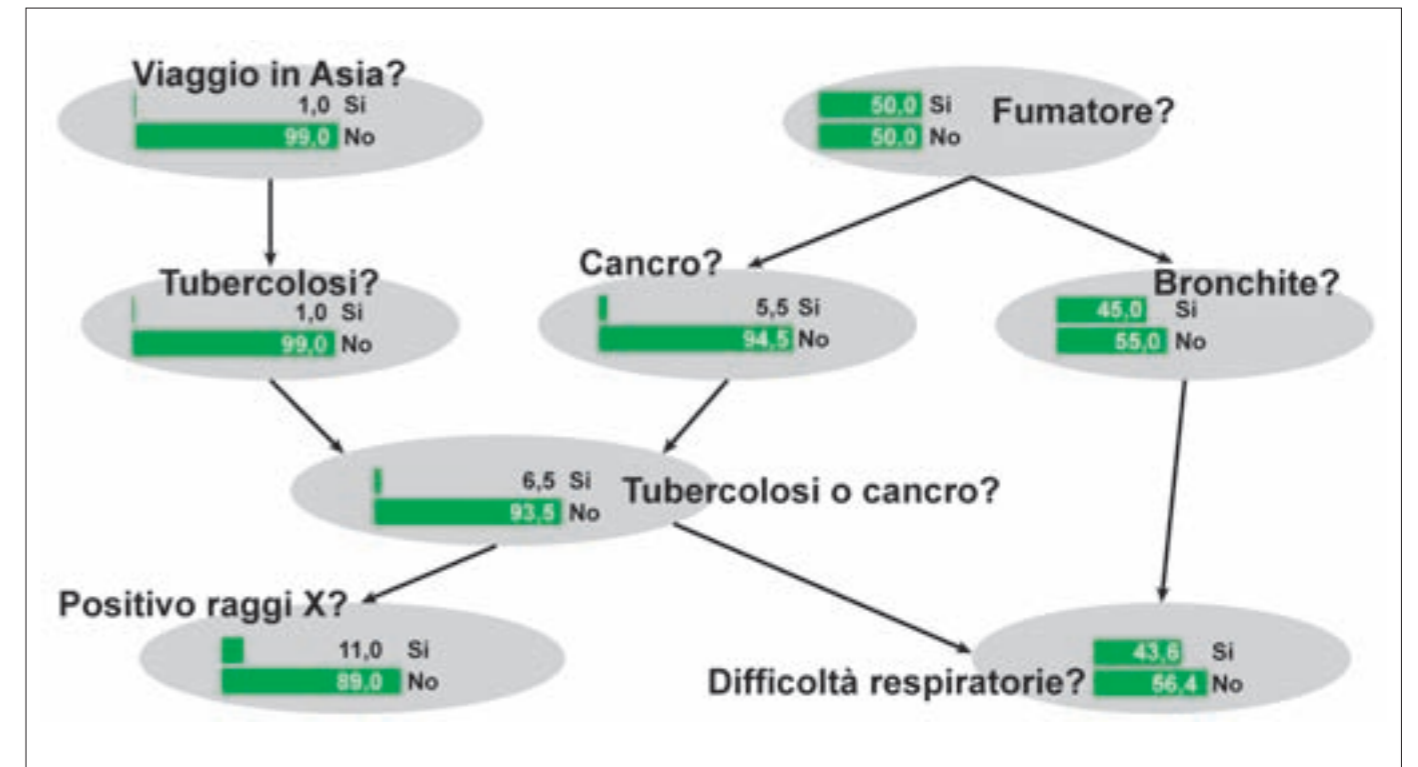


Figura 5 - Rete Asia prima di inserire le informazioni sul singolo paziente. Le probabilità per ciascun nodo figlio sono calcolate dal software bayesiano a partire dalle probabilità a priori e condizionate che sono state inserite in fase di costruzione della rete.

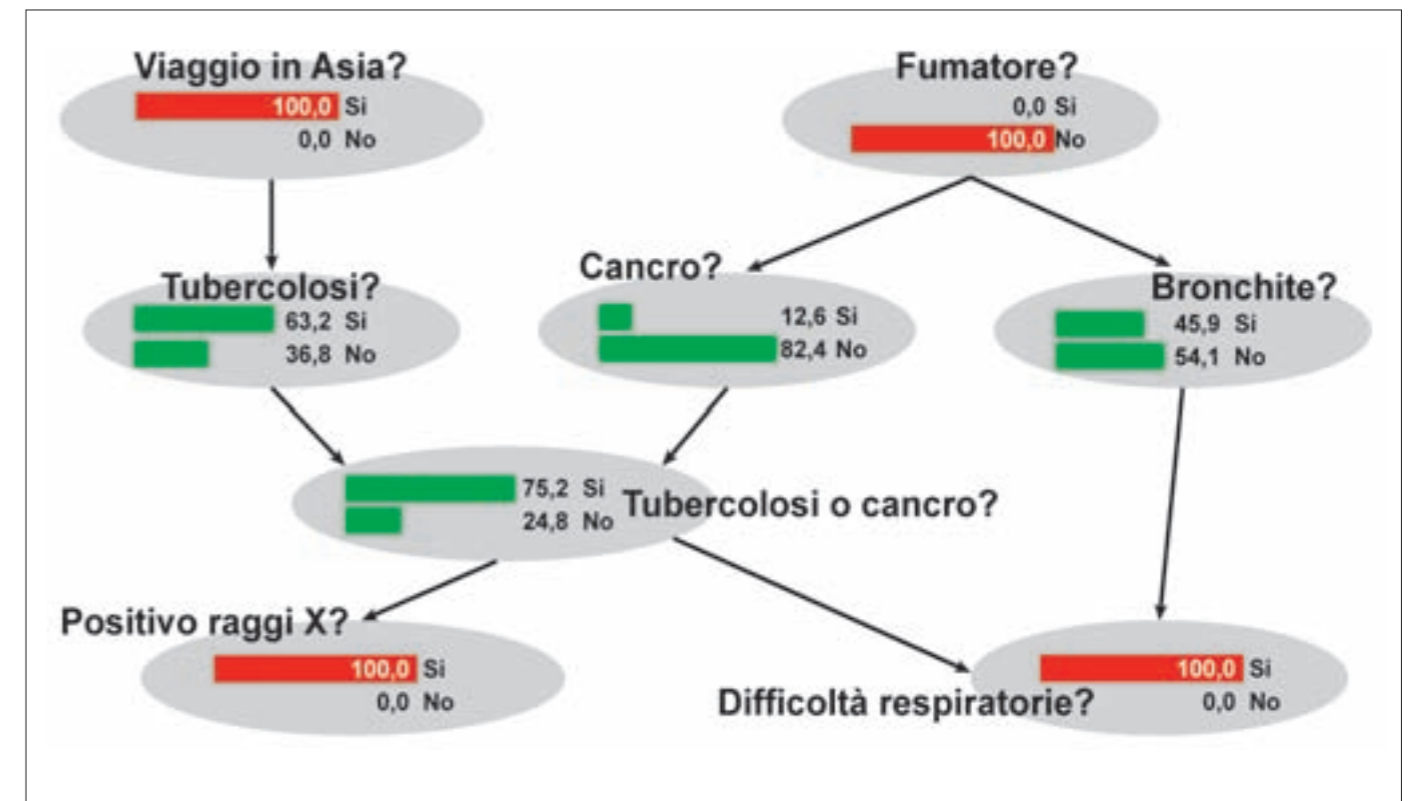


Figura 6 - Rete Asia in cui sono state inserite le informazioni sul paziente e i risultati delle analisi. La diagnosi più probabile è quella di tubercolosi, con una probabilità del 63,2%, mentre le probabilità associate alla presenza di un tumore o bronchite sono rispettivamente del 12,6% e del 45,9%.

INNOVAZIONE
MOBILE
SICUREZZA
NETWORK

INNOVAZIONE
MOBILE
SICUREZZA
NETWORK

essere facilmente generalizzato ad altri campi. Si pensi ad esempio all'analisi dei guasti in una rete di telecomunicazioni, dove gli allarmi corrispondono alle osservazioni sul Sistema di Gestione e i guasti delle diverse componenti tecnologiche rappresentano le cause di cui si vogliono inferire le probabilità. Le reti bayesiane rappresentano inoltre lo strumento ottimale per l'integrazione di dati provenienti da rivelatori e sensori di diverso genere. Un esempio di integrazione di algoritmi bayesiani e sensori di posizione è il progetto *Wearable Museum* del MIT [6], in cui i dati riguardanti gli spostamenti di un visitatore in un museo e i tempi di sosta davanti alle diverse opere esposte consentono di ottenere informazioni utili (ad es. la tipologia di opere preferite dal visitatore, nonché il tempo a sua disposizione) per adattare i contenuti di una guida interattiva ai suoi specifici interessi.

L'ipotesi cruciale del progetto è che i visitatori possano essere classificati in alcune tipologie definibili in base alle caratteristiche della visita (percorso e durata); possibili tipologie di visitatori sono ad esempio l'appassionato d'arte, il visitatore selettivo, interessato alle sole opere principali, così come il visitatore con poco tempo a disposizione, che vuole avere solo un'idea generale delle opere esposte. Una rete bayesiana appositamente sviluppata (Figura 7) permette di stimare con alta probabilità la categoria di appartenenza del visitatore, sulla base dai dati misurati da un sensore di posizione, e di fornire informazioni adeguate al contesto di fruizione.

Le probabilità necessarie per il funzionamento della rete *Museo* sono definibili sulla base di ricerche di anteriorità sul comportamento dei visitatori o in base a stime soggettive, permettendo la realizzazione immediata del progetto. D'altra parte, una volta in funzione, la guida interattiva fornisce una grande quantità di informazioni sui visitatori del museo e i loro comportamenti, che possono essere utilizzate per ridefinire i parametri della rete stessa.

Per un altro originale e interessante esempio di uso dell'inferenza bayesiana, questa volta in campo forense, si rimanda a [7], in cui i concetti di base delle reti bayesiane

sono introdotti attraverso un toy model (implementato con *Hugin Expert* e scaricabile online, si veda [7]) che permette di discutere alcuni punti che risultano cruciali quando si voglia estendere il ragionamento qui presentato a casi reali, quali la presenza di errori nei report forniti dai rivelatori che forniscono i dati sperimentali e l'effetto di report concordi o discordi sull'aggiornamento delle probabilità.

3 Vantaggi delle reti bayesiane

Diversi sono i motivi che fanno delle reti bayesiane strumenti privilegiati nella gestione dell'incertezza. Ne elenchiamo di seguito i principali, evidenziando in particolare le differenze essenziali tra reti bayesiane e reti neurali.

Le reti bayesiane offrono la possibilità di integrare in un approccio unitario probabilità provenienti da fonti diverse: conoscenze teoriche, frequenze in un database, così come stime soggettive sul verificarsi di un evento². Al contrario le reti neurali sfruttano pesantemente i dati sperimentali, senza i quali non potrebbero essere addestrate e quindi utilizzate, ma non consentono di utilizzare le conoscenze a priori rispetto al problema in esame.

Per costruire una rete bayesiana è necessario inserire le sole probabilità condizionate associate alle variabili legate tra loro da una freccia causale. Questo comporta un grosso vantaggio computazionale. Nel caso della rete *Asia* ad esempio è necessario inserire solo 28 valori di probabilità, contro le $2^8=256$ configurazioni di stati diversi descritti dalla rete. Nello specifico i 28 valori di probabilità per la rete *Asia* corrispondono a 2 probabilità per ciascuno dei 2 nodi genitori, $2 \times 2 \times 2$ valori di probabilità condizionata per il nodo 'difficoltà respiratorie' e 2×2 valori per gli altri 4 nodi della rete diversi da 'tubercolosi o cancro', che è un OR logico.

La costruzione di una rete bayesiana avviene a livello 'locale', individuando le relazioni tra i nodi e stimando le probabilità corrispondenti. Una volta strutturata la rete e inseriti i valori di probabilità, l'aggiornamento mediante software per-

mette un'aggiornamento globale delle probabilità, un'operazione che va al di là delle capacità della mente umana (già la semplice rete dell'appendice J di [7] mostra aspetti inizialmente controintuitivi). Questo rappresenta un grosso vantaggio, in quanto già in reti con 4 o 5 nodi si ha difficoltà a controllare le relazioni globali a livello puramente intuitivo, poiché la trasmissione delle evidenze nella rete avviene in maniera complessa.

Per poter trarre informazioni da una rete bayesiana non è indispensabile una perfetta conoscenza di tutte le probabilità legate alle diverse variabili, né occorre addestrare la rete con un enorme numero di casi, come è invece necessario nel caso delle reti neurali. Le reti bayesiane sono in grado di fornire la migliore sintesi della situazione di incertezza, sulla base delle informazioni e dei dati a disposizione.

Allo stesso tempo le probabilità inserite nella rete vengono aggiornate nel momento in cui si acquisisce nuova conoscenza sul sistema o sul processo che si sta rappresentando. Si pensi ad esempio alla rete *Asia*. La rete può essere costruita inizialmente sulla base di dati medici preesistenti; d'altra parte, man mano che si utilizza la rete su nuovi pazienti, le informazioni acquisite vengono utilizzate dalla rete per aggiornare le stime delle probabilità iniziali, così che esse siano sempre più rispondenti alla tipologia di pazienti in cura nella specifica clinica che utilizza il software.

Ingrediente indispensabile per la costruzione di una rete bayesiana è un'accurata conoscenza delle variabili rilevanti e delle loro relazioni. D'altra parte al contrario delle reti neurali, che si presentano come 'scatole nere' in cui non si ha alcun controllo del processo che porta dall'input all'output, una rete bayesiana è leggibile in ogni sua parte. Ogni nodo infatti rappresenta una variabile ben definita rispetto al problema in esame e il suo significato, nonché le sue tabelle di probabilità possono essere oggetto di discussione e di analisi anche fra non esperti informatici. In particolare è possibile:

- controllare sotto quali assunzioni valgono le conclusioni della rete;

² La probabilità soggettiva è basata sull'idea intuitiva che la probabilità quantifichi il grado di credenza che un evento accadrà. Una teoria della probabilità basata su questa idea rappresenta il contesto più generale per gestire l'incertezza. Per una breve introdu-

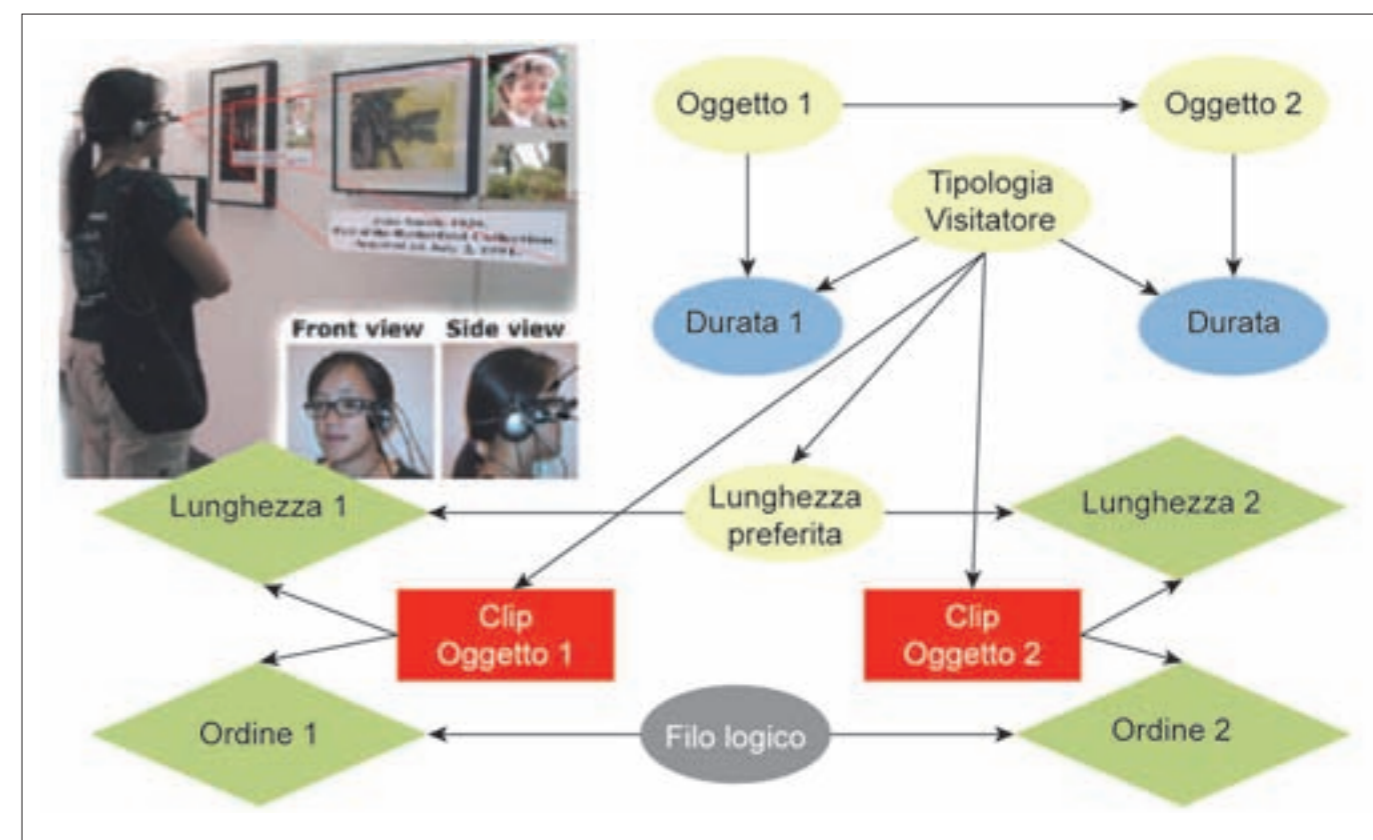


Figura 7 - Prototipo di rete bayesiana per il progetto *Museum Wearable* del MIT. I nodi in azzurro rappresentano le osservazioni, ovvero i tempi di sosta davanti agli oggetti 1 e 2. Le probabilità degli stati associati ai nodi in marrone sono ottenute attraverso il teorema di Bayes. La guida multimediale è montata su appositi occhiali e fornisce informazioni audiovisive come mostrato in foto.

- leggere l'incertezza delle conclusioni della rete e trovare le successive conclusioni più probabili; nel caso della rete *Asia* ad esempio sappiamo dire qual è la seconda diagnosi più probabile. Questo è utile in particolare nei casi in cui lo scarto tra le probabilità associate a due diverse conclusioni è piccolo;
- effettuare analisi di sensibilità, per capire quale accuratezza sulla stime di probabilità è necessaria per le conclusioni di nostro interesse, e per valutare l'opportunità di investire risorse, al fine di migliorare le stime delle probabilità a cui la rete è più sensibile.

Per lungo tempo il limite dell'applicazione dei metodi bayesiani è stato quello del carico computazionale, in gran parte legato ai problemi di integrazione numerica che intervengono nel momento in cui vengono trattate variabili continue. Oggi tale limite è in larga parte superato, sia per lo sviluppo di appositi software di calcolo (si vedano ad esempio [5] e [8]) che di effi-

cienti tecniche di stima Monte Carlo. Ci sembra infine opportuno sottolineare come l'approccio bayesiano rappresenti un metodo ormai riconosciuto e validato a livello internazionale. Non è un caso per esempio che la NASA nel 2009 abbia reputato utile pubblicare un manuale sull'inferenza bayesiana [9].

4 Applicazioni delle reti bayesiane

Le reti bayesiane rappresentano uno strumento efficace in tutti i campi in cui, dato un insieme di variabili legate da relazioni probabilistiche, si vogliono inferire informazioni su variabili di interesse a partire da dati o osservazioni, sfruttando tutta la conoscenza a disposizione. Si tratta di un problema comune a una grandissima varietà di ambiti e per questo motivo dare una lista completa delle applicazioni delle reti bayesiane è un obiettivo velleitario. Ci

limitiamo pertanto ad alcuni esempi. Oltre al campo medico, in campo scientifico l'approccio bayesiano è utilizzato in vari campi, dalla fisica alla biologia, dalla geologia alla genetica. Importanti sono inoltre le applicazioni nei settori applicativi. Nel *risk management* (in particolare *risk assessment*) in vari ambiti: riduzione del rischio associato alle catastrofi naturali, gestione delle missioni spaziali sono solo i principali. In campo informatico: gestione e controllo delle risorse in diversi tipi di processi, progetti di intelligenza artificiale e robotica. In campo ingegneristico: analisi dei guasti, *troubleshooting* in generale, affidabilità di sistemi e processi. In campo militare: integrazione di dispositivi per *combat identification* e pianificazione di operazioni a diversi livelli. In campo industriale: controllo della produzione, analisi di lancio di nuovi prodotti e analisi di *customer satisfaction*. In campo civile: analisi dei fattori di rischio per la sicurezza autostradale e controllo del crimine. In cam-

po economico: *risk assessment* e integrazione dell'incertezza nella teoria dei giochi. Le reti bayesiane possono essere estese affiancando ai nodi probabilistici fin qui introdotti, altre due tipologie di nodi: nodi di tipo decisionale, i cui stati rappresentano le varie azioni possibili rispetto ad una singola decisione; nodi di utilità, che contengono la funzione di utilità associata a ciascuna decisione e che possono dipendere dalle variabili probabilistiche in gioco. Reti bayesiane così estese prendono il nome di *diagrammi di influenza* [10] e rappresentano il framework ideale per gestire problemi di natura decisionale.

5 Applicazioni delle reti bayesiane nelle TLC

Anche nel campo delle telecomunicazioni l'approccio bayesiano si sta progressivamente affermando in vari ambiti:

- nello sviluppo di sistemi automatici di supporto all'analisi dei malfunzionamenti in reti particolarmente complesse, sia dal punto di vista tecnologico che architetture (ad es. nelle grandi reti telefoniche di operatori nazionali ed internazionali);
- come supporto decisionale nella scelta dei dati per le attività di prevenzione e controllo di situazioni di degrado della qualità dei servizi (ad es. nelle reti IP per la riduzione dei rischi di fenomeni di congestione del traffico);
- nella scelta dei criteri di ottimizzazione e tuning di infrastrutture tecnologiche caratterizzate da un numero elevato di elementi interdipendenti (ad es. nell'attività di pianificazione cellulare delle reti radiomobili);
- nella modellizzazione e nella valutazione di affidabilità di sistemi tecnologici complessi (ad es. per confrontare l'affidabilità di un insieme di elementi tecnologici integrati secondo diversi criteri);
- nello sviluppo di servizi avanzati basati su dati inferiti dal comportamento della clientela (ad es. nello sviluppo di servizi di infomobilità, che traggono informazioni dai dati di mobilità dei clienti delle reti cellulari);

- nei sistemi di elaborazione delle immagini (ad es. nella ricostruzione di immagini tridimensionali a partire da immagini 2D).

Conclusioni

Le reti bayesiane vantano un numero sempre maggiore di applicazioni in campo ingegneristico e manageriale, in quanto rappresentano uno strumento inferenziale e decisionale estremamente flessibile. Esse non solo rappresentano uno strumento valido nella gestione di problemi complessi, caratterizzati da un grande numero di variabili legate da relazioni sia logico/deterministiche che probabilistiche, ma forniscono anche un'efficace rappresentazione grafica del fenomeno in esame, facilitando la descrizione e la sintesi del problema, aumentandone il grado di comprensione e permettendo di individuare le variabili cruciali tra quelle in gioco. Esse inoltre consentono al committente del progetto, agli esperti dello specifico ambito di applicazione e allo strutturista della rete di lavorare sullo stesso livello, quello della struttura grafica della rete bayesiana, senza che occorra una competenza specifica di tipo matematico o probabilistico. D'altra parte una buona comprensione delle basi concettuali e delle potenzialità delle reti bayesiane è condizione necessaria sia per individuare gli ambiti di applicazione di questo strumento, che per poter strutturare la rete. Per questi motivi abbiamo ritenuto utile introdurre le reti bayesiane attraverso una scelta di case-study semplificati, con l'obiettivo di fornire al lettore informazioni dettagliate su questa metodologia, che riteniamo essere utile nella gestione di numerosi problemi anche nel campo delle telecomunicazioni. ■

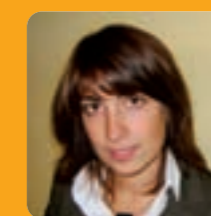
serena.cenatiempo@roma1.infn.it
giulio.dagostini@roma1.infn.it
aldo.vannelli@telecomitalia.it



Bibliografia

- [1] Risk, ambiguity and the Savage axioms. Ellsberg, D. 75, 1961, Quarterly Journal of Economics, p. 643-669. http://en.wikipedia.org/wiki/Ellsberg_paradox.
- [2] A three-door game show and some of its variants. Bapeswara Rao, V. V. e Rao, M. Bhaskara. 1992, The Mathematical Scientist, Vol. 17, p. 89-94. http://en.wikipedia.org/wiki/Monty_Hall_problem.
- [3] Si veda ad esempio:
 - Probabilistic reasoning in intelligent reasoning: network of plausible inference. Peral, J. Morgan Kaufman. 1988;
 - Probabilistic networks and expert systems. Cowell, R.G., Dawid, A.P., Lauritzen, S.L. and Spiegelhalter, D.J. Springer. 1999;
 - Artificial Intelligence: A Modern Approach. Russel, S. e Norvig, P. Prentice Hall. 2009 (La seconda edizione, del 2002, è anche tradotta in italiano, edita da Pearson Education Italia, 2005).
- [4] Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems (with discussion). Lauritzen, S.L. e Spiegelhalter, D.J. 50, 1988, Journal of the Royal Society, Vol. Series B, p. 157-224.
- [5] Hugin Expert. Advanced Decision Support using Bayesian Networks. <http://www.hugin.com/>.
- [6] The Museum wearable: real-time sensor-driven understanding of visitors' interests for personalized visually-augmented museum experiences. Sparacino, Flavia. 2002. MIT Media Lab. Disponibile su <http://alumni.media.mit.edu/~flavia/publications.html>, Museums and the Web.
- [7] A defense of Columbo (and of the use of Bayesian inference in forensics): A multilevel introduction to probabilistic reasoning. D'Agostini, Giulio. Disponibile su <http://arxiv.org/abs/1003.2086>.
- [8] Netica. Bayesian Network Software by Norsys. [Online] www.norsys.com.
- [9] Bayesian Inference for NASA Probabilistic Risk and Reliability Analysis. National Aeronautics and Space Administration. <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/SP2009569.pdf>, 2009.
- [10] Influence diagrams. Howard, R.A. e Matheson, J.E. 1981, Readings on the Principles and Applications of Decision Analysis.

- [11] Teaching statistics in the physics curriculum: unifying and clarifying the role of subjective probability. D'Agostini, Giulio. 1999, American Journal of Physics, Vol. 67, p. 1260-1268. Disponibile su [arxiv:physics/9908014v2](http://arxiv.org/abs/physics/9908014v2).



Serena Cenatiempo

Laureata in Fisica, è dottoranda di ricerca presso l'Università 'La Sapienza' di Roma dove svolge attività di ricerca sui fenomeni di materia condensata. Attualmente collabora con il Campus Biomedico di Roma, tenendo esercitazioni di Fisica Generale e applicando metodi probabilistici per l'interpretazione di dati medici e con Pangea Formazione sia come docente che come consulente per l'uso delle reti bayesiane in problemi decisionali nei contesti industriali e aziendali.



Giulio D'Agostini

Professore associato alla Sapienza, fisico sperimentale delle particelle elementari, ha collaborato ad esperimenti su acceleratori nei laboratori internazionali del CERN di Ginevra e di DESY ad Amburgo. I principali temi di fisica sui quali ha portato dei contributi sono: studio della forza fra quark e gluoni; frammentazione dei quark; decadimenti di quark pesanti; funzioni di struttura del protone e del fotone; ricerca di nuove particelle. Da anni si occupa di questioni probabilistiche e di sviluppo di metodi di analisi dei dati. Sostenitore del così detto approccio bayesiano, ha tenuto conferenze sul tema e ha pubblicato il libro "Bayesian reasoning in data analysis".



Aldo Vannelli

Laureato in Fisica e in Ingegneria dell'informazione, nel 2001 entra in TIM per occuparsi dello sviluppo e dell'innovazione di applicazioni e servizi multimediali su tecnologie 2.5G/3G. In questo ambito ha coordinato numerosi progetti nazionali e internazionali riguardanti l'integrazione multiservizio di voce/video/dati su mobile, la distribuzione di contenuti video su IP mediante Content Delivery Network e lo sviluppo di soluzioni per il Mobile Content Distribution. Da gennaio 2010 opera all'interno della funzione Broadband Content di Telecom Italia dove si occupa delle tecnologie per lo sviluppo delle offerte IPTV, Connected TV e CuboVision.

I TRIAL LTE TI: EVOLUZIONE DEL SISTEMA RADIOMOBILE VERSO IL 4G

Loris Bollea, Marco Caretti, Vincenzo Torrasi



La continua crescita del traffico dati nelle reti mobili richiede una disponibilità di banda maggiore sia sull'interfaccia radio, che sul backhauling del segmento di accesso. La nuova tecnologia LTE (Long Term Evolution) nasce come evoluzione degli attuali sistemi mobili di terza generazione per rispondere in maniera adeguata a questa esigenza. Al fine di analizzare le potenzialità della nuova tecnologia, Telecom Italia ha avviato un'attività di sperimentazione sin dal 2008 in collaborazione con diversi costruttori. L'articolo, dopo aver illustrato le caratteristiche salienti del nuovo sistema, descrive l'organizzazione della sperimentazione LTE in corso in Telecom Italia.

1 Il sistema LTE

Il processo di standardizzazione del sistema LTE (Long Term Evolution) nel 3GPP (Third Generation Partnership Project) è partito alla fine del 2004 e ha portato alla definizione, nelle specifiche di Release 8 [1], di una nuova tecnica di accesso radio ottimizzata per la trasmissione a pacchetto ed in grado di fornire più elevati valori di throughput con minore latenza rispetto a quanto offerto dai sistemi attualmente in esercizio [2], [3], [4]. I lavori del 3GPP non hanno riguardato solamente la definizione della parte di accesso radio, ma hanno portato alla definizione anche di una nuova core network, interamente basata su IP, denominata ePC (Evolved Packet Core), in grado di supportare reti di accesso radio con elevati throughput e ridotte latenze, ma anche i sistemi legacy quali il GPRS o l'UMTS [5], [6], [7], [8]. Tale sviluppo è stato dettato dalla necessità di far fronte a un volume del traffico dati in continua crescita, polarizzato dai modelli di servizio sviluppati nell'ambito di internet. Per questo

motivo il sistema è stato progettato con l'assunzione che tutti i servizi siano basati su commutazione di pacchetto PS (packet-switched) e non seguendo il modello a commutazione di circuito CS (circuit-switched) dei sistemi precedenti.

1.1 L'interfaccia radio

Una caratteristica importante del sistema LTE è la flessibilità nell'uso dello spettro: per questo il sistema è stato progettato per supportare sia il duplexing FDD (Frequency Division Duplexing, dove le porzioni di banda utilizzate per la tratta downlink¹, e quella utilizzata per la tratta uplink² sono differenti), sia quello TDD (Time Division Duplexing, dove si utilizza la stessa porzione di banda per la tratta downlink e uplink). Inoltre, sempre al fine di adattare il sistema anche a scenari caratterizzati da scarsità di spettro, il sistema supporta differenti canalizzazioni (1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz e 20 MHz). La tecnica di modulazione e

multiplazione utilizzata per la tratta downlink è la tecnica multi portante S-OFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access). La tecnica multi portante OFDM è ampiamente utilizzata in diversi sistemi di telecomunicazione, quali l'ADSL, le WLAN, il WiMAX. In un sistema OFDMA lo spettro disponibile è diviso in portanti multiple, chiamate sottoportanti e al fine di realizzare una trasmissione ad elevato bit rate, ogni sottoportante può essere modulata indipendentemente da un flusso dati a basso rate³. Nella parte a sinistra in Figura 1 sono mostrate le caratteristiche principali, in tempo e frequenza, di un segnale OFDMA. Un vantaggio della trasmissione di un segnale OFDM, rispetto ad un sistema singola portante, è la minore complessità richiesta per l'equalizzazione del canale.⁴ Questo risultato è ottenuto proprio grazie alla trasmissione multi portante in cui, se il sistema è correttamente dimensionato, il canale visto dalla singola sottoportante può essere considerato come non selettivo in frequenza e quindi di semplice equalizzazione. Di contro tale tecnica è particolarmente sensibile ad errori di frequenza e rumore di fase, che causano la perdita di ortogonalità tra le sottoportanti. Per le stesse ragioni, l'OFDM è anche sensibile all'effetto Doppler, che causa interferenza tra le sottoportanti ICI (Inter Carrier Interference). Nella terminologia LTE è introdotto il concetto di RE (Resource Element) che corrisponde ad una sottoportante OFDMA nell'intervallo di tempo di un simbolo OFDM. La larghezza di banda di una singola sottoportante nel sistema LTE è stata fissata a 15 kHz. La multiplazione di più connessioni è ottenibile associando differenti gruppi di

¹ Collegamento dalla stazione radio base (indicata nella terminologia LTE con eNodeB o eNB) al terminale.

² Collegamento dal terminale alla stazione radio base.

³ Il termine Scalable si riferisce alla possibilità

di variare la banda del canale modificando il numero di sottoportanti nel sistema, lasciando inalterata la larghezza di banda della singola sottoportante.

⁴ L'equalizzazione è l'operazione che si rende necessaria al ricevitore per eliminare la di-

storsione, presente soprattutto in segnali a larga banda, causata dalla propagazione su cammini multipli.

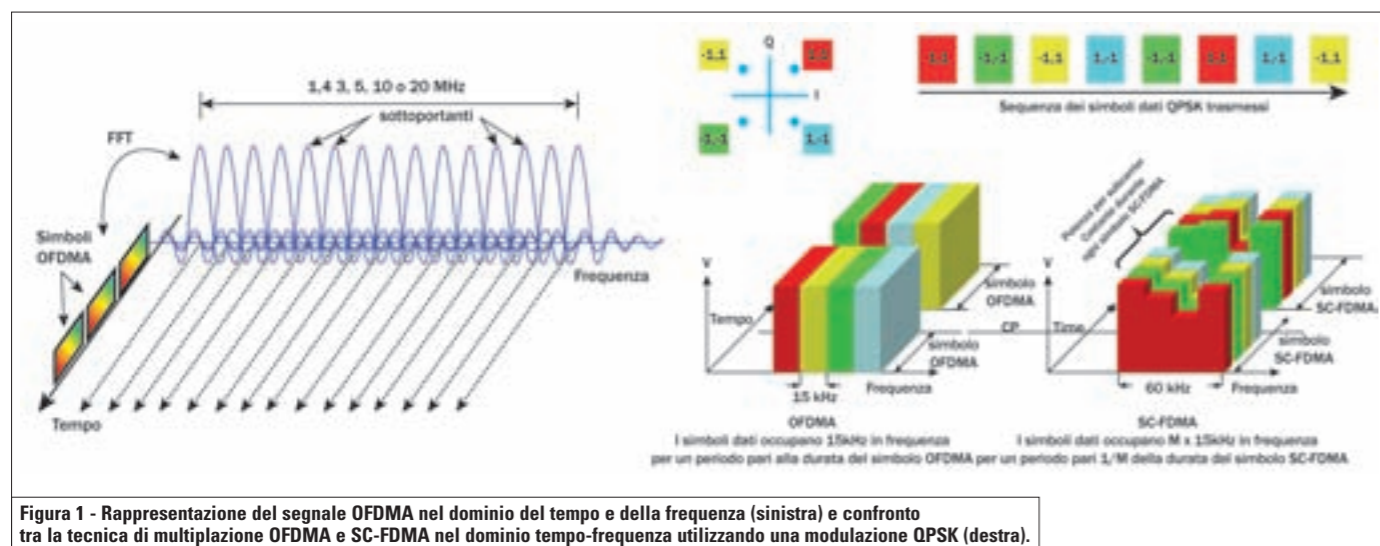


Figura 1 - Rappresentazione del segnale OFDMA nel dominio del tempo e della frequenza (sinistra) e confronto tra la tecnica di moltiplicazione OFDMA e SC-FDMA nel dominio tempo-frequenza utilizzando una modulazione QPSK (destra).

sottoportanti a diversi utenti. Ad ogni utente è possibile associare un formato di codifica e modulazione differente in funzione delle condizioni radio sperimentate. Anche se in teoria è possibile allocare ogni singola sottoportante ad un differente terminale ed applicare un formato di modulazione e codifica differente, al fine di limitare il carico di segnalazione sull'interfaccia radio in LTE è stato introdotto il concetto di PRB (*Physical Resource Blocks*). Un PRB rappresenta l'unità minima di allocazione del sistema ed è definito da un numero di simboli OFDM consecutivi nel dominio del tempo pari a 7, corrispondente ad una durata di 0,5 ms, indicato nella terminologia LTE come *slot*, e da un numero di sottoportanti consecutive nel dominio della frequenza pari a 12 (corrispondente ad un'occupazione di 180 kHz nel dominio della frequenza). Due slot consecutivi, corrispondenti a 14 simboli OFDM, formano il TTI (*Transmission Time Interval*). I dati trasmessi su una connessione sono passati dal livello MAC al livello fisico su base TTI e sono trasmessi occupando uno o più PRB, utilizzando la stessa modulazione e rate di codifica⁵. Lo scheduler⁶, che risiede nell'eNodeB, è responsabile della scelta dello schema di modulazione e codifica e delle risorse radio (i.e. PRB) assegnate, in ogni TTI, alle differenti connessioni in uplink e downlink. Il numero totale di PRB disponibili nel sistema varia secondo la canalizzazione considerata e va da

un minimo di 6, nel caso in cui il segnale occupi un canale di 1,4 MHz, per arrivare fino a 100 nel caso in cui si consideri una canalizzazione di 20 MHz. Lo standard LTE supporta differenti tecniche di trasmissione MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), sin dalla Release 8. La trasmissione MIMO, che sfrutta la molteplicità di antenne al trasmettitore e al ricevitore, consente di trasmettere più flussi informativi in parallelo, aumentando il throughput di picco del sistema; un vantaggio derivante dall'utilizzo della tecnica OFDM, rispetto a sistemi singola portante, è la possibilità di separare nel ricevitore l'operazione di equalizzazione del canale da quella di decodifica della trasmissione MIMO, semplificando il progetto del ricevitore. In particolare lo standard supporta anche configurazioni MIMO 4x4⁷, che permettono di raggiungere nel downlink throughput attorno ai 300 Mbps per settore. Lo standard prevede che il segnale MIMO trasmesso dalle diverse antenne sia soggetto all'operazione di precoding che applica opportuni sfasamenti ai differenti segnali. Tali sfasamenti sono applicati ai segnali secondo un pattern predefinito (tecniche MIMO di tipo *open loop*), oppure possono essere selezionati in base alle indicazioni fornite dal terminale (tecniche MIMO di tipo *closed loop*) tramite un feedback aggiuntivo, il PMI (*Precoding Matrix Indicator*). Maggiori dettagli sulle tecniche MIMO implemen-

tate in LTE sono riportati più avanti. Per la tratta in uplink il 3GPP ha selezionato una tecnica di accesso radio differente. In quanto la tecnica OFDM presenta lo svantaggio di un elevato PAPR (*Peak to Average Power Ratio*)⁸, dovuto proprio alla natura multi portante del segnale. In particolare, poiché un elevato PAPR pone vincoli più stringenti sulla linearità dell'amplificatore in trasmissione, al fine di ottimizzare l'utilizzo della potenza nei terminali e ridurne i costi, è stata selezionata la tecnica di accesso SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*). Tale tecnica, come nel caso dell'OFDM, divide il canale in più sottoportanti tra di loro ortogonali. Tuttavia al contrario del sistema OFDM, dove i simboli dati modulano in maniera indipendente ogni resource element, nel caso della SC-FDMA il segnale modulato nella singola sottoportante è una combinazione lineare di tutti i simboli trasmessi allo stesso istante di tempo. Questa caratteristica fornisce al segnale proprietà simili a quelle di un segnale singola portante, riducendone il PAPR significativamente. Nella parte a destra di Figura 1 è rappresentato un confronto grafico tra OFDMA e SC-FDMA. Nell'esempio illustrato per semplicità di rappresentazione si usano solo 4 sottoportanti su due periodi di simbolo con i dati del payload rappresentati tramite una modulazione QPSK. Come descritto in precedenza, in realtà i segnali LTE sono allocati in unità di 12

sottoportanti adiacenti. La differenza più ovvia tra i due schemi è che nel caso dell'OFDMA i quattro simboli dati QPSK sono trasmessi in parallelo, uno per sottoportante, mentre nel caso della SC-FDMA i quattro simboli dati sono trasmessi in serie ad una velocità quattro volte superiore, con ogni simbolo dati che occupa una banda larga 4 (numero di sottoportanti) x 15 kHz. Visivamente, il segnale OFDMA è chiaramente multiportante con un simbolo dati per sottoportante, mentre il segnale SC-FDMA appare essere più simile a un segnale a singola portante (da cui la sigla "SC" nel nome SC-FDMA) con ogni simbolo dati che è rappresentato da un segnale ampio.

1.2 Architettura di sistema ePS

Il sistema ePS (*evolved Packet System*) è definito secondo un'architettura ottimizzata per la trasmissione dati a larga banda. In questa prospettiva le caratteristiche principali sono la definizione di un'architettura flat (in teoria nella sola rete di accesso, nelle implementazioni anche nella rete di commutazione Core), la separazione dei piani di controllo e trasporto ed, infine, l'adozione di soluzioni di trasporto del traffico e della segnalazione appartenenti alla famiglia di protocolli IETF. Il primo aspetto, l'architettura flat, è definito allo scopo di minimizzare il numero di nodi che il traffico dati deve attraversare, riducendo quindi la latenza di rete, che rappresenta un requisito essenziale per il corretto funzionamento dei protocolli in un contesto broadband. Come si può vedere in Figura 2 che descrive l'architettura di sistema, la rete di accesso prevede la definizione di una sola entità, l'eNodeB, che integra tutte le funzioni dell'accesso, dalla trasmissione dei dati sull'interfaccia radio, alla gestione delle risorse radio RRM (*Radio Resource Management*), al cipherring del traffico dati e della segnalazione. Prendendo come riferimento la rete di accesso UMTS, l'eNodeB integra le funzioni dell'RNC e dell'eNodeB. Diversamente, in rete Core sono definite due entità di commutazione: il S-GW (*Serving Ga-*

teway) e il P-GW (*PDN Gateway*).

Il primo nodo rappresenta l'ancora locale del traffico in rete di accesso e corrisponde, secondo lo stesso paragone con il sistema UMTS, alla matrice di commutazione dell'SGSN; il secondo nodo è il GW di interconnessione verso le reti esterne e l'ancora assoluta del traffico dati e corrisponde con gli opportuni cambiamenti, all'entità GGSN dell'UMTS. Nelle implementazioni le due entità di User Plane sono integrate a costituire un unico nodo di commutazione, realizzando un'architettura flat anche per l'area di commutazione. Il secondo punto, la separazione dei piani di controllo e di trasporto, aumenta l'efficienza di dispiegamento in considerazione del fatto che, in uno scenario broadband, il traffico di segnalazione è significativamente minore rispetto al traffico dati. La separazione dei due piani è realizzata attraverso la definizione del MME (*Mobility Management Entity*), che rappresenta il nodo di controllo locale degli UE e svolge funzioni di solo Control Plane. Il MME gestisce, a partire dal download del profilo d'utente dall'HSS (*Home Subscriber Server*), la mobilità di utente e l'attivazione dei bearer per il traffico e rappresenta il peer dello UE nella segnalazione di Non Access Stratum (e.g. Attach, Detach). Il MME corrisponde alla parte di Controllo di un SGSN. Gli eNodeB formano l'E-UTRAN (*evolved UTRAN*), l'MME, il S-GW, il P-GW l'ePC

(*evolved Packet Core*).

Infine, l'utilizzo di protocolli del framework IETF è orientato all'utilizzo di soluzioni ottimizzate per la trasmissione a pacchetto. Dunque la segnalazione in rete di accesso è trasportata con il protocollo SCTP (*Signalling Control Transport Protocol*), mentre il traffico dati viaggia su UDP e IP; la macromobilità è gestita, come in UMTS dal protocollo GTP (*GPRS Transport Protocol*). Il MME dialoga con l'HSS utilizzando il protocollo Diameter.

La definizione di un framework interamente IP impone che il terminale, per essere raggiungibile da altri terminali, riceva sin dall'Attach un indirizzo IP (IPv4 o IPv6). Contestualmente, sempre nella procedura di Attach, la rete attiva per lo UE un bearer di default, caratterizzato secondo il profilo di utente, che può fornire, ad esempio, una connettività IP di base per l'accesso ad Internet o il trasporto per la segnalazione IMS. Allo stesso modo, facendo riferimento alle architetture tipiche di rete fissa, livelli particolari di qualità del servizio vengono attivati in rete attraverso il PCRF (*Policy and Charging Rule Function*), che, agendo da QoS server in cooperazione con i livelli applicativi (ad esempio IMS), effettua l'enforcement di policy di controllo del traffico sul P-GW, che si propagano all'intera catena di rete attraverso l'instaurazione di bearer dedicati. Un'ulteriore caratteristica del sistema è la presenza di meccanismi di interlavoro

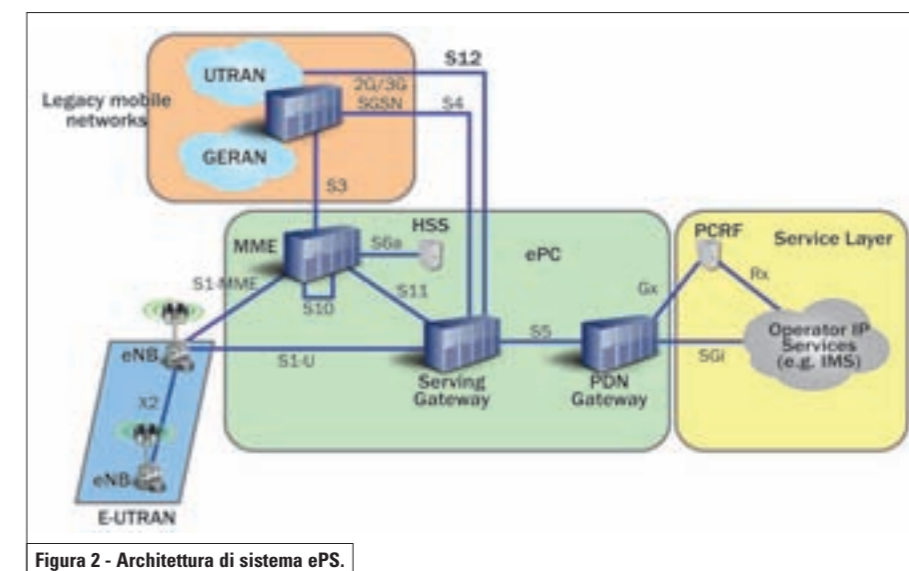


Figura 2 - Architettura di sistema ePS.

⁵ In LTE i possibili schemi di modulazione sono la QPSK, 16QAM e 64QAM.

⁶ L'allocazione dinamica delle risorse radio ai differenti utenti presenti nel sistema, effettuata dallo scheduler, tiene conto delle differenti condizioni radio sperimentate e dei requisiti

di qualità dei differenti servizi (generalmente espressi in termini di throughput e latenza). Tale algoritmo non è standardizzato ma lasciato all'implementazione dei singoli costruttori.

⁷ Numero di antenne in trasmissione x numero di antenne in ricezione.

⁸ Il PAPR rappresenta il rapporto tra il valore massimo della potenza del segnale e il suo valore medio.

tra ePS e reti GSM e UMTS, tali che un terminale multimodo è in grado di effettuare procedure di mobilità in IDLE e ACTIVE MODE tra i sistemi 3GPP.

Un insieme di funzionalità di particolare interesse, definito dal 3GPP inizialmente per LTE e successivamente esteso ai sistemi UMTS/GSM, è il frame work del SON (*Self Organising Networks*) che include diverse soluzioni standard per la gestione e l'ottimizzazione automatica dei sistemi mobili. Tali soluzioni includono, per quanto riguarda gli aspetti di configurazione, il set up automatico dei nodi di accesso attraverso una procedura di Plug&Play del nodo, il setup automatico delle interfacce sia di trasporto sia di livello applicativo (S1 Setup, X2 Setup), la popolazione automatica delle liste delle adiacenze ANR (*Automatic Neighbour Relation*, vedi box), l'aggiornamento verso i nodi adiacenti in caso di riconfigurazione dei parametri operativi del nodo (eNodeB Configuration Update, MME Configuration Update); per quanto riguarda gli aspetti di ottimizzazione, sono definite procedure per la distribuzione del carico di rete, sulla base dello scambio tra eNodeB di opportuni parametri di carico MLB (*Mobility Load Balancing*) e per la riconfigurazione dei parametri di handover per migliorare la robustezza delle procedure di mobilità MRO (*Mobility Robustness Optimisation*). Ulteriori meccanismi sono in definizione nelle release in corso di specifica presso il 3GPP.

1.3 Categorie dei terminali

Lo standard 3GPP Release 8 definisce, per il sistema LTE, 5 categorie di terminali con i quali è possibile sperimentare differenti data rate. In particolare la categoria 1 è quella che permette di raggiungere al più un bit rate di 10 Mbps in downlink e 5 Mbps in uplink, mentre la categoria 5 è quella che permette di percepire i bit rate più alti di 300 Mbps in downlink e 75 Mbps in uplink. Tutte le categorie devono supportare le differenti ampiezze di bande da 1,4 MHz a 20 MHz e la modulazione 64 QAM in downlink. Il supporto di tecniche MIMO non è richiesto a tutte

le categorie: mentre ai terminali di categoria 1 non è richiesto, le categorie 2, 3 e 4 devono supportare il MIMO in configurazione 2x2, mentre per i terminali di categoria 5, al fine di supportare i massimi data rate previsti dallo standard 3GPP, è richiesto il supporto di tecniche MIMO in configurazione 4x4. La massima modulazione supportata in uplink è la 16QAM per le categorie dalla 1 alla 4, mentre per i terminali di categoria 5 è richiesto il supporto anche della la 64QAM.

2 I trial LTE di Telecom Italia

La sperimentazione LTE in Telecom Italia è iniziata nel 2008 con il sistema prototipale Huawei, che, seppure con limitazioni sulle prestazioni, ha permesso di provare per la prima volta in laboratorio la tecnologia LTE, di configurare opportunamente la strumentazione e ottimizzare le prestazioni degli apparati di test per supportare bande di frequenza fino a 20 MHz attorno a 2,6 GHz e throughput generati e ricevuti di oltre 140 Mbps. Nel 2009 è iniziata una seconda fase di sperimentazione con Huawei che ha portato, con la copertura del centro della città di Torino con 14 celle (affidenti a 5 siti differenti), al primo trial LTE in campo in Italia e uno dei primi al mondo. Nel 2010 le attività LTE sono proseguite con il dispiegamento delle solu-

zioni NSN (*Nokia Siemens Networks*), ALU (*Alcatel Lucent*) ed Ericsson che hanno affiancato quella di Huawei. In particolare nella configurazione finale la sperimentazione prevede il dispiegamento di 20 siti nella città di Torino secondo la seguente suddivisione: 4 siti Huawei, 4 siti NSN, 6 siti ALU e 6 siti Ericsson. In Figura 3 sono mostrate le aree di copertura dei differenti costruttori nella città di Torino. Tutti i trial utilizzano due blocchi di frequenza da 20 MHz ciascuno in modalità FDD (20 MHz per il downlink e 20 MHz per l'uplink) sulla banda a 2,6 GHz.

In Figura 4 è riportata l'architettura generale considerata per ognuno dei costruttori. I differenti siti dispiegati in campo sono dotati di backhauling realizzato in fibra dedicata, oppure tramite ponte radio (nel caso di ALU) che attraverso uno o più switch raggiungono gli apparati di core network, situati nei laboratori Telecom Italia Lab della sede di largo Borgaro a Torino. Per ognuno dei costruttori sono presenti anche uno o più siti installati nelle sale nodi dei laboratori torinesi per l'esecuzione di parte dei test. Facendo riferimento a quanto illustrato in precedenza, nell'ambito delle sperimentazioni condotte in Telecom Italia sono stati impiegati terminali di categoria 3. I terminali in tale categoria permettono di raggiungere un data rate in downlink e uplink di 100 Mbps e 50 Mbps rispettivamente.

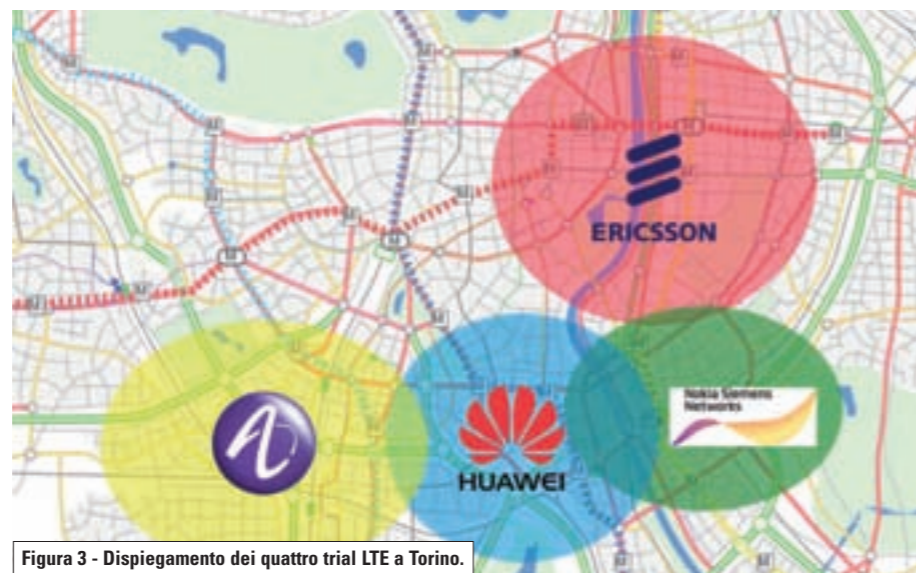


Figura 3 - Dispiegamento dei quattro trial LTE a Torino.

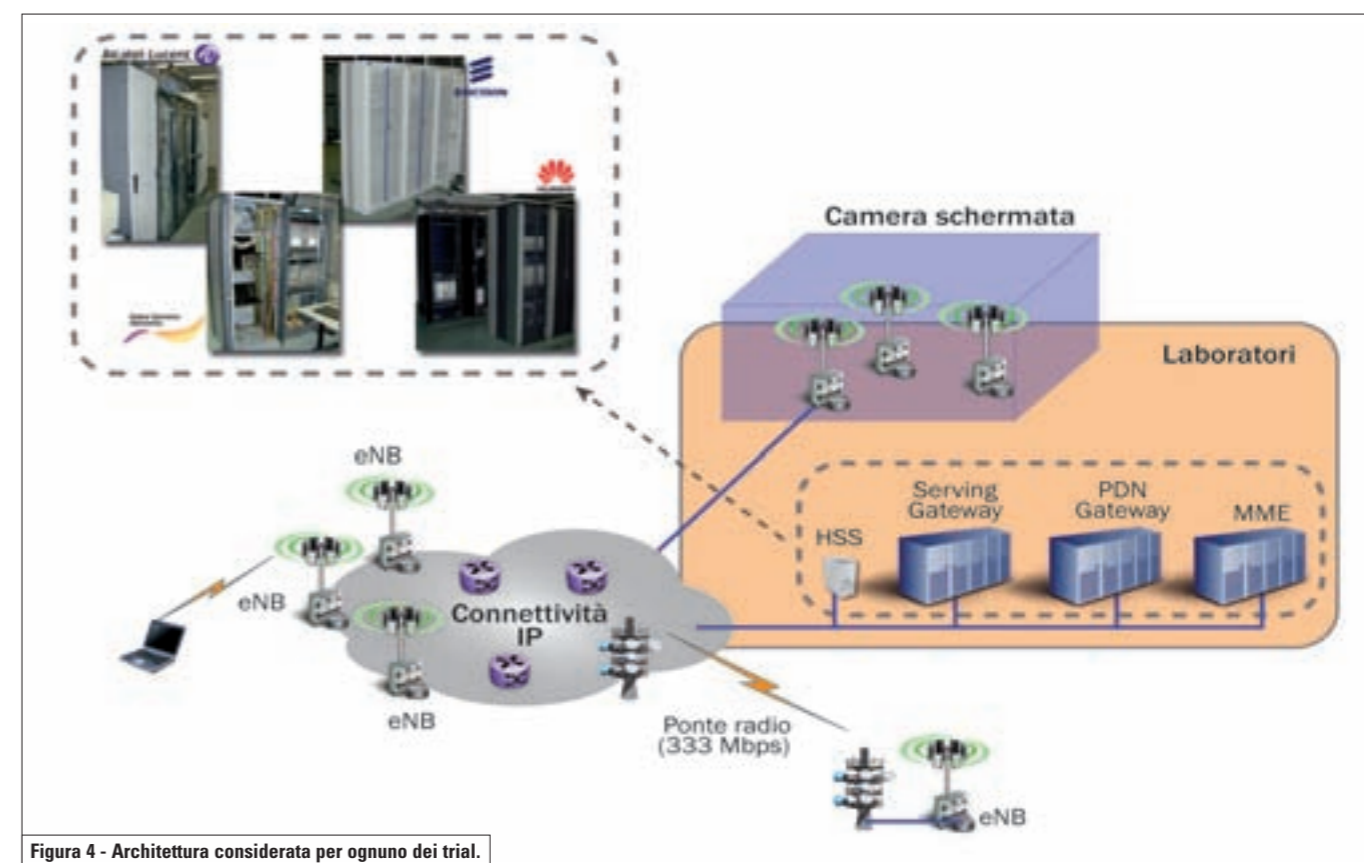


Figura 4 - Architettura considerata per ognuno dei trial.

2.1 Organizzazione dei test

L'obiettivo dei differenti trial condotti in Telecom Italia è quello di analizzare le potenzialità offerte dalla nuova tecnologia e verificare il grado di maturità delle soluzioni proposte dai diversi costruttori e nel contempo fornire feedback, in modo che le soluzioni rispondano al meglio ai requisiti di Telecom Italia. Tutti i trial sono articolati in due fasi: nella prima le prestazioni, le funzionalità e la stabilità del sistema sono testate in laboratorio, in modo da garantire la riproducibilità delle misure in ambiente controllato. Successivamente, le prestazioni e le funzionalità sono testate in campo in ambiente reale. Nel caso di comportamenti inattesi evidenziati in questa seconda fase, sono previste una o più sessioni di test in laboratorio con l'obiettivo di riprodurre il comportamento in ambiente controllato per identificare e risolvere eventuali problemi insieme con il costruttore.

I test in laboratorio sono stati eseguiti seguendo una lista di test comuni ai vari trial e concordati con i costruttori. Tali test hanno riguardato diversi aspetti della tecnologia LTE:

- **Latenza.** Uno dei principali obiettivi della standardizzazione del sistema LTE è stata la sensibile riduzione, rispetto a quanto offerto dai sistemi precedenti, della latenza offerta. Considerando il dispiegamento in laboratorio, tale test ha evidenziato il miglior round trip time ottenibile con il sistema in diverse condizioni di propagazione.
- **Prestazioni con utente singolo.** Un altro requisito fondamentale del sistema LTE è la possibilità di fornire elevati valori di throughput singolo utente. Lo scopo di questa famiglia di test è stata la valutazione delle prestazioni del sistema sia nella tratta di downlink sia nella tratta di uplink nei diversi modi di funzionamento del eNodeB. Per fare questo è stato impiegato anche un emulatore di canale, per riprodurre in laboratorio l'effetto della mobilità del

terminale sul segnale ricevuto. Si veda il paragrafo dedicato al trial con ALU per maggiori dettagli riguardo questa tipologia di test.

- **Prestazioni in presenza di più utenti.** In questa serie di test, la capacità di cella e l'allocatione dinamica delle risorse tra più utenti, operata dallo scheduler del eNodeB, sono state valutate emulando diverse condizioni di ricezione dei terminali, in termini di SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) collegati all'eNodeB.
- **Funzionalità di power control in uplink.** Al fine di ridurre il livello interferenziale in uplink e al contempo garantire le migliori prestazioni possibili per gli utenti collegati alla cella, il sistema prevede l'impiego di un algoritmo di power control che configura il livello di potenza per ciascun terminale. Tale test ha l'obiettivo di analizzare il funzionamento del power control in corrispondenza di differenti posizioni del terminale.
- **End user experience.** In questa catego-

ria di test rientrano le valutazioni delle prestazioni del sistema con diverse tipologie di traffico (ad esempio connessioni FTP, o sessioni di web browsing).

• **Analisi delle differenti procedure della rete mobile.** Allo scopo di valutare il grado di maturità delle differenti implementazioni dei costruttori sono state eseguite diverse procedure della rete (quali ad esempio l'Hand Over tra due celle) per verificare il grado di aderenza dei messaggi scambiati tra terminale e rete (o tra i differenti nodi sia della rete di accesso che della core network) con quanto previsto dallo standard 3GPP.

In alcuni casi sono state pianificate anche delle prove mirate a testare le prestazioni del sistema in presenza di deterioramenti introdotti in maniera controllata nel backhauling. Si noti che in questi scenari il MBH è stato realizzato seguendo un approccio di campo, attraverso un

opportuno dispiegamento di una soluzione di trasporto e aggregazione basata sulla rete Metro/Regional OPM (Optical Packet Metro) di TI e con l'attivazione, su tale segmento di rete, delle funzionalità di routing IP/MPLS preposte al soddisfacimento dei requisiti di trasporto delle reti e servizi LTE. I test in campo sono stati eseguiti seguendo anche le direttive del consorzio LSTI (*LTE/SAE Trial Initiative*) di cui Telecom Italia è membro. Il consorzio, nato nel Maggio del 2007 [9], è guidato da costruttori e operatori (per un totale, al momento, di 42 aziende) e ha come principali obiettivi indirizzare lo sviluppo della tecnologia 3GPP LTE/SAE e la dimostrazione delle prestazioni del sistema LTE/SAE rispetto ai requisiti definiti nel 3GPP e in NGMN (*Next Generation Mobile Network*) [10]. Le attività nell'ambito di LSTI sono organizzate in tre fasi: PoC (*Proof of Concept*),

IOT (*Interoperability Testing*) e FCT (*Friendly Customer Trials*).

In particolare il Friendly Customer Trial rappresenta il passo finale prima del lancio commerciale della tecnologia. In questa fase gli operatori effettuano delle attività di trial in campo, in cui è possibile testare terminali pre-commerciali con possibili applicazioni broadband in reti LTE costituite da un ridotto numero di siti. I differenti operatori possono condividere nell'ambito del consorzio i risultati ottenuti in tali sperimentazioni. Il gruppo di lavoro in LSTI, responsabile del FCT, ha lavorato alla definizione di configurazioni e metodi di test che permettono di caratterizzare le prestazioni della tecnologia in scenari di utilizzo di comune interesse per i diversi operatori appartenenti a LSTI. Telecom Italia, in quanto membro del consorzio LSTI, ha impostato parte delle attività di sperimentazione conformemente a quanto definito nel consorzio, al fine anche di condividere in LSTI parte dei risultati ottenuti.

In particolare tali test, mirati a verificare le prestazioni del sistema in una rete reale con diversi livelli di carico del sistema hanno riguardato differenti aspetti:

• **Test stazionari.**

- Latenza: lo scopo del test è quello di valutare il ritardo nei vari segmenti del sistema (RAN, core network, end-to-end) in un dispiegamento reale. Analogamente, sono stati valutati i tempi di reazione del sistema nel cambiamento di stato da idle a active e la durata della procedura di paging. Si veda il paragrafo dedicato al trial con Huawei per maggiori dettagli riguardo questa tipologia di test;

- Throughput: in questi test, secondo quanto richiesto da LSTI, sono stati valutati i livelli di throughput sperimentati in una cella LTE in differenti condizioni di carico e differenti livelli di interferenza intercella.

• **Test in mobilità.**

- Handover: le procedure di handover intra e inter eNodeB sono state valutate in termini di percentuale di successo e di intervallo di interruzione del servizio durante l'handover stesso;

- Throughput: in questi test sono state valutate le prestazioni del sistema in termini di throughput sperimentato da un terminale che si muove nell'area di copertura del sistema LTE. Si veda il paragrafo dedicato al trial con NSN per maggiori dettagli riguardo questa tipologia di test.

dove è stata testata anche l'interoperabilità con apparati di core network di differenti costruttori, e in campo. In parallelo alle attività di test, sin dal 2008 sono stati organizzati incontri di approfondimento riguardanti non solo il sistema LTE di release 8, ma anche possibili evoluzioni future di comune interesse. Facendo riferimento all'architettura di Figura 4, nel caso di Huawei sono stati considerati 4 siti in campo ed un sito in laboratorio, tutti dotati di backhauling realizzato in fibra dedicata. Gli switch utilizzati per la raccolta del traffico dai diversi eNodeB sono in parte situati in centrali Telecom Italia e in parte nei laboratori Telecom Italia Lab. Un sito aggiuntivo macro per copertura micro indoor (depotenziato) è stato installato nella sede di via Reiss Romoli, sempre a Torino, a supporto di eventuali dimostrazioni.

Una sessione di test in campo con Huawei è stata dedicata all'esecuzione di test per la valutazione della latenza, secondo quanto prescritto in LSTI [9]; questi test hanno avuto come scopo l'analisi del tempo di attraversamento dell'intera catena *end to end*, valutando il round trip time, e dei singoli segmenti della rete (Figura 5): la latenza tra eNodeB e application server (*core network latency*), la latenza tra terminale ed eNodeB (*RAN latency*)

e quella tra terminale e PDN gateway (*EPC latency*). I test sono stati eseguiti utilizzando differenti dimensioni (32, 1000, 1500 bytes) del pacchetto ICMP (*Internet Control Message Protocol*) in ottime condizioni radio, in entrambe le modalità *pre-scheduled* e *not scheduled*.

In particolare nella modalità di trasmissione *pre-scheduled* le risorse a livello radio necessarie per l'invio del payload dati sono allocate staticamente in fase di setup della connessione. Questa modalità è stata introdotta in LSTI per caratterizzare la latenza di una connessione dati già instaurata. Nella modalità di trasmissione *not scheduled* le risorse necessarie per la trasmissione non sono pre-allocate, ma vengono richieste al sistema contestualmente all'invio dei dati. Tale modalità è stata considerata in LSTI per poter caratterizzare la latenza di una connessione dati in fase di setup, oppure nel caso di connessione a burst in cui il tempo di inter-arrivo di due burst dati sia sufficientemente elevato da causare il rilascio delle risorse radio allocate dal sistema per la trasmissione (un esempio tipico è la navigazione su internet).

Con l'ausilio di un analizzatore di protocollo il flusso dati è stato catturato sull'interfaccia S1-U (in corrispondenza dell'eNodeB), in modo da poter decodificare

IL SUPPORTO DEI TESTING LABS TELECOM ITALIA AI TRIAL

Fin dall'inizio della sperimentazione LTE in Telecom Italia, l'area Testing Labs ha fornito il necessario supporto logistico ed infrastrutturale per la messa in operazione dei vari trial LTE, che si sono susseguiti nel tempo, con i diversi Fornitori. Presso il test plant della rete mobile di Telecom Italia, a Torino, sono stati installati tutti gli apparati (eNodeB ed ePC) necessari ad implementare la fase di verifica tecnologica in laboratorio ed è stata fornita la connettività necessaria a "raccolgere" i siti successivamente collocati in campo. L'approccio architetturale con cui sono stati implementati i singoli trial può così essere riassunto:

• La catena completa (eUTRAN + ePC) di ogni singolo costruttore, nella fase iniziale, è stata gestita in modalità isolata rispetto al resto del test plant, in modo da avere la massima flessibilità nella configurazione e per evitare il rischio di problematiche di IOT, su una tecnologia ancora in uno stadio di maturità non consolidato.

• Per ogni costruttore è stato predisposto un "stadio di aggregazione" (in fibra ottica,

di livello 2/3, in base alle singole implementazioni), per consentire la raccolta e il controllo sia degli eNodeB installati in laboratorio, sia di quello dispiegati in campo. I nodi dispiegati in campo, vengono aggregati presso un sito "hub" in campo (tipicamente un'area di centrale, differente per ogni costruttore) e da lì interconnessi con il test plant su portante in fibra ottica nuda.

• È stata predisposta una server farm dedicata con interfacce Gigabit, per la gestione dei contenuti necessari ad eseguire le prove prestazionali e funzionali. Come evoluzione architetturale dei vari trial, sono state realizzate attività di interconnessione per provare configurazioni di mobile backhauling realistiche (interconnessione fra il test plant di largo Borgaro e quello di via Reiss Romoli), interconnessioni anche geografiche con ePC/HSS di altri costruttori, apertura controllata delle singole catene verso internet per la gestione di contenuti in ottica demo. L'area Testing Labs ha inoltre fornito il necessario supporto a livello di strumentazione, materiali sale di prova e mezzi per l'esecuzione delle misure sia in laboratorio, sia in campo.

gianluca.foddis@telecomitalia.it

2.2 La sperimentazione con Huawei

Le sperimentazioni del sistema LTE Huawei sono iniziate con attività di test condotte in laboratorio con terminali prototipali forniti da Huawei, con limitazioni nelle funzionalità disponibili (ad esempio con una canalizzazione del sistema di 10 MHz e terminali in grado di gestire al massimo una banda inferiore ai 3 MHz, corrispondente a 16 PRB) [12]. Nel 2009 la sperimentazione è continuata con una versione di terminali e di rete aggiornate con cui è stata effettuata un'attività di test in laboratorio [13], anche presso il centro di ricerche Huawei [14], e in campo [15]. Nel 2010 la sperimentazione è continuata con terminali di categoria 3 costituiti da data card connesse a laptop tramite porta USB, e preveva anch'essa un'attività in laboratorio,

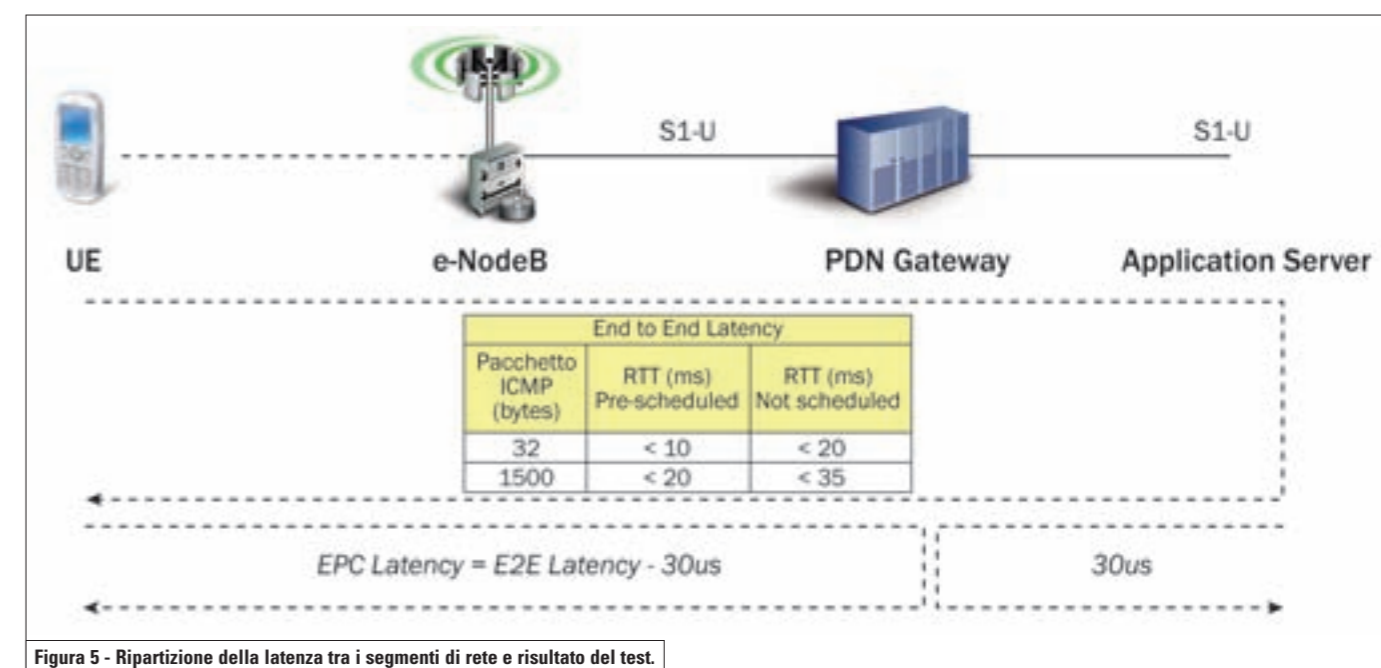


Figura 5 - Ripartizione della latenza tra i segmenti di rete e risultato del test.

e correlare la sequenza di ping request/response tra il terminale d'utente e il server. Questa procedura ha consentito di valutare il round trip time tra l'eNodeB e l'application server. La Figura 5, oltre a mostrare le interfacce coinvolte nel computo della latenza, riporta anche l'ordine di grandezza dei valori di latenza end to end misurati sia per la modalità *not scheduled*, sia per quella *pre-scheduled*. Tali valori soddisfano i requisiti definiti in ambito NGMN [11].

2.3 La sperimentazione con Nokia Siemens Networks

La sperimentazione LTE con NSN ha avuto inizio nel primo quarto del 2010 con la fase di laboratorio ed è proseguita fino a metà anno con la fase in campo. In parallelo al trial sono stati organizzati alcuni incontri di approfondimento su tematiche evolutive che hanno permesso di consolidare la conoscenza del sistema anche nell'ottica della sperimentazione in oggetto. Facendo riferimento all'architettura riportata in Figura 4, nel caso di NSN sono stati utilizzati 7 siti di cui 2 di laboratorio, installati nella sede dei laboratori di Telecom Italia Lab e 4 in campo a Torino. Anche per NSN, allo scopo di supportare eventuali dimostrazioni, è stato installato un ulteriore nodo macro per copertura micro indoor (depotenziato) nella sede di Via Reiss Romoli. Per fornire una soluzione end to end, è stata installata anche una packet core NSN (si veda la fotografia in alto a sinistra della Figura 4). Tutti i siti hanno un backhauling realizzato tramite fibra dedicata e gli switch responsabili dell'interconnessione dei vari eNodeB con la rete di core sono in parte situati in centrali Telecom Italia e in parte nei laboratori Telecom Italia Lab. Durante la sperimentazione differenti test sono stati dedicati alla caratterizzazione del throughput misurato dal singolo terminale sia in condizioni ideali (per verificare le massime prestazioni sperimentabili dal singolo utente), sia tramite emulatore di canale radiomobile e, infine, sia tramite verifiche in campo. L'analisi con emulatore di canale e, ancora di

più, in ambiente reale ha permesso di analizzare l'impatto che il canale radiomobile ha sulle prestazioni del singolo utente. Il degrado introdotto dal canale radio è stato analizzato quindi in termini di riduzione del throughput rispetto alla velocità di picco, ottenuta tramite misure in laboratorio.

Durante la sperimentazione NSN sono state utilizzati terminali di categoria 3 costituiti da data card connesse a laptop tramite porta USB, che hanno consentito di raggiungere in laboratorio, in condizioni ideali, data rate di picco per utente di 100 Mbps in downlink, e 40 Mbps in uplink.

Le misure effettuate in campo hanno considerato sia scenari con terminale collocato in una posizione fissa, caratterizzata da particolari condizioni di interferenza, sia scenari con il terminale in mobilità. L'analisi di scenari con livelli d'interferenza controllati e in presenza di mobilità ha permesso di analizzare l'impatto che il canale radiomobile ha sulle prestazioni del singolo utente.

Nel caso di misure statiche con terminale in buone condizioni radio, per connessioni FTP è stato sperimentato un valore medio del throughput in downlink vicino alla capacità massima del terminale, nel caso di rete scarica. Introducendo un livello controllato di interferenza⁹ le prestazioni si allontanano dal valore massimo sperimentabile. Questo effetto è stato riscontrato anche nel caso di terminale

in movimento nell'area di copertura della cella servente ed in assenza di altri interferenti. A titolo di esempio in Figura 6 è mostrato l'andamento del SINR misurato dal terminale in funzione del tempo per due percorsi effettuati attorno ad un sito: il grafico evidenzia le forti variazioni del SINR cui corrispondono variazioni nel throughput misurato.

2.4 La sperimentazione con Alcatel Lucent

L'attività di predisposizione e sperimentazione della soluzione ALU è in corso da fine 2009. In particolare, dopo la fase di test in laboratorio conclusasi a metà 2010, è stata effettuata un'estesa campagna di test in campo utilizzando 6 siti settoriali, con canalizzazione a 20 MHz, equipaggiati con antenne cross-polarizzate in modo da supportare la configurazione MIMO 2x2.

Facendo riferimento all'architettura in Figura 4, nel dispiegamento in campo di 6 siti, il backhauling è stato realizzato in fibra ottica dedicata per tre siti, mentre per gli altri tre siti la connessione è stata garantita radio tramite ponti Micro Wave operanti nella banda E (36 GHz) su 56 MHz con capacità di 333 Mbps ciascuno.

Inoltre, un'area di copertura indoor è stata realizzata mediante l'installazione di 2 Pico eNodeB prototipali (funzionanti attualmente su una banda di 10 MHz) col-

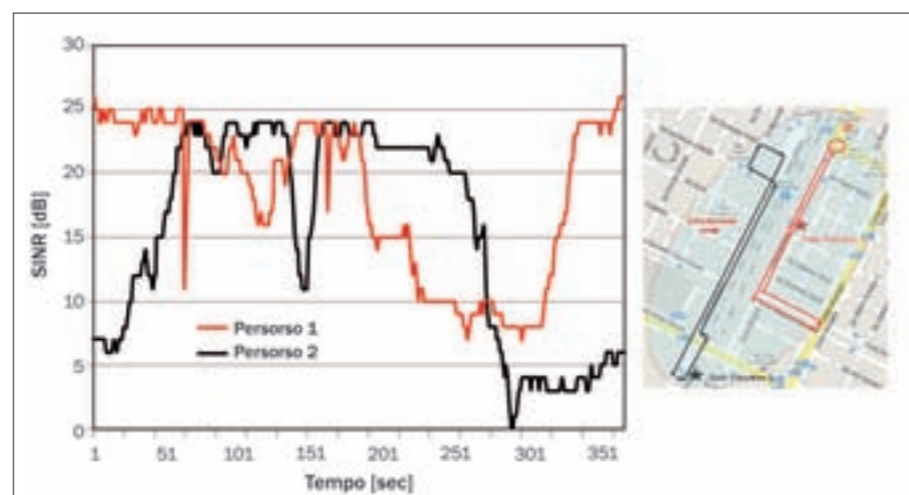


Figura 6 - andamento del SINR in funzione del tempo per due percorsi effettuati a Torino nella copertura NSN.

⁹ Il livello di interferenza in downlink è introdotto nelle celle adiacenti generando un segnale OFDM casuale su una percentuale di PRB ben definita.

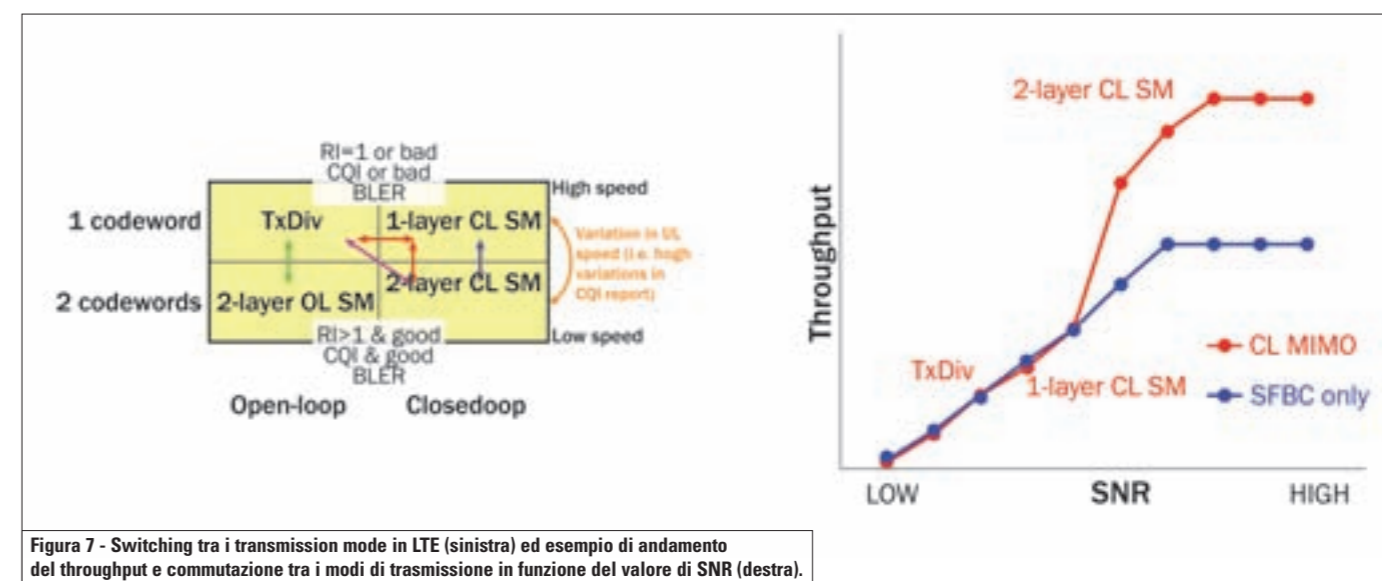


Figura 7 - Switching tra i transmission mode in LTE (sinistra) ed esempio di andamento del throughput e commutazione tra i modi di trasmissione in funzione del valore di SNR (destra).

legati alla core network (ePC) tramite fibra ottica dedicata. Un eNodeB è equipaggiato con antenne omnidirezionali, mentre l'altro ha un'antenna a patch. Anche in questo caso, per la raccolta del traffico dei diversi eNodeB sono stati utilizzati diversi switch, in parte situati in centrali Telecom Italia e in parte nei laboratori Telecom Italia Lab.

Nel caso di ALU la sperimentazione è stata effettuata utilizzando terminali di categoria 3 costituiti da data card connesse a laptop tramite porta USB.

In parallelo al filone del trial allo scopo di approfondire la soluzione di LTE ALU e le sue evoluzioni sono stati organizzati vari incontri di approfondimento su tematiche evolutive, quali ad esempio l'analisi di tecniche di trasmissione coordinata multi punto CoMP (*Coordinated Multi Point transmission*) e la gestione ottimizzata della QoS in sistemi LTE, che hanno visto anche il coinvolgimento dei Bell Labs.

Nel caso di sistema ALU i test sono stati eseguiti utilizzando le seguenti modalità di trasmissione (*transmission modes*), tutte nella configurazione di antenna 2x2:

- Transmit diversity (Transmission Mode 2, TM2);
- Open-loop spatial multiplexing (Transmission Mode 3, TM3);
- Closed-loop spatial multiplexing (Transmission Mode 4, TM4).

Nel TM2 lo schema di trasmissione utiliz-

zato è la tecnica SFBC, ovvero l'algoritmo proposto originariamente da Alamouti [17] applicato nel dominio della frequenza tra due sottoportanti adiacenti. Lo scopo di questa tecnica è di sfruttare la diversità che deriva dall'uso di antenne multiple al trasmettitore. Tale tecnica è normalmente utilizzata per gli utenti che sono al bordo della copertura della cella e che quindi sperimentano un basso valore di SINR. Con la tecnica di trasmissione SFBC il throughput di picco è identico a quello di un sistema con singola antenna in trasmissione, poiché le antenne aggiuntive sono utilizzate per proteggere l'informazione trasmessa, introducendo una sorta di ridondanza nel dominio spaziale e frequenziale.

Nel TM3 lo schema di trasmissione è lo Spatial Multiplexing: tale tecnica abilita la trasmissione di due flussi dati indipendenti (chiamati *codeword* nella terminologia LTE) dalle due antenne, permettendo di raddoppiare il throughput di picco rispetto ad un sistema a singola antenna. Al fine di ottenere tali prestazioni la tecnica richiede comunque alti valori di SINR e bassa correlazione tra le antenne. Se le condizioni del canale non permettono di utilizzare lo Spatial Multiplexing il TM3 prevede il passaggio allo schema SFBC.

Nel TM4 lo schema di trasmissione utilizzato è il Closed Loop MIMO, che utilizza informazioni aggiuntive provenienti dal

terminale (PMI) per sfasare opportunamente i segnali trasmessi dalle antenne al fine di ottimizzare le prestazioni del link radio. Nel caso di ottime condizioni di canale (alti valori di SINR e bassa correlazione tra le antenne) la tecnica permette di trasmettere due flussi dati indipendenti. Se le condizioni del canale non lo permettono, il sistema trasmette un solo layer, oppure può passare allo schema di trasmissione SFBC.

La Figura 7 illustra le possibili transizioni tra diversi modi di trasmissione nel caso di closed loop e open loop MIMO nell'implementazione di ALU. Nel caso particolare di closed loop, il CL MIMO 1 layer viene selezionato in presenza di alte variazioni di CQI e particolari livelli di interferenza (stimata dai feedback inviati dal terminale alla rete) in modo da ottimizzare le prestazioni in funzione delle condizioni del canale. Le soglie che definiscono il passaggio tra una modalità di trasmissione e l'altra sono configurabili dall'operatore. Inoltre in Figura 7 a destra è riportato, a titolo di esempio, l'andamento del throughput in funzione del rapporto SNR ottenuto in laboratorio nel caso di closed loop MIMO. Nella figura sono riportati i modi di trasmissione utilizzati dal sistema e le transizioni da 2-layer a 1-layer e TxDiv per valori di SNR man mano decrescenti. Nella stessa figura è riportato l'andamento del throughput per il caso SFBC.

IL TRIAL CON ERICSSON: AUTOCONFIGURAZIONE DELLE ADIACENZE

L'ANR (*Automatic Neighbour Relation*) è una funzionalità definita dal 3GPP, inizialmente per la sola tecnologia LTE, che consente ad un nodo della rete di accesso di configurare automaticamente le adiacenze di cella per la procedura di handover, a partire dalle misure normalmente riportate dai terminali. Questa funzione rientra nel contesto più ampio delle reti auto configuranti SON (*Self Organising Networks*) ed è stata ulteriormente definita per la mobilità da LTE ad UMTS/GSM; attualmente è in definizione per lo scenario UMTS.

Con riferimento allo scenario LTE, la funzionalità prevede che un eNodeB avvii una procedura di autoconfigurazione, quando riceve con una frequenza definita dei Measurement Report relativi ad un PCI (*Physi-*

cal Cell ID) non incluso tra quelli delle celle adiacenti; in questo caso l'eNodeB richiede al terminale, con una procedura definita appositamente per questa funzione, di fornire l'identificativo univoco di cella CGI (*Cell Global Identity*) associato al PCI, dal momento che il PCI è un identificativo fisico ed è compreso in un range di 504 valori che, essendo soggetto a riuso, non è in grado di identificare univocamente una cella. Ricevuto l'identificativo di cella, l'eNodeB ricava, attraverso una procedura di livello S1 che coinvolge l'MME e l'eNodeB adiacente, l'indirizzo IP dell'eNodeB adiacente, con il quale instaura l'interfaccia X2; attraverso questa interfaccia viene successivamente svolta la procedura di handover. Se l'interfaccia X2 tra i due nodi è già attiva, l'eNodeB si limita ad aggiornare il database delle adiacenze e ad effettuare l'handover. La Figura A indica la procedura così come descritta nella specifica 3GPP TS 36.300.

Allo scopo di fornire all'Operatore di rete un controllo sul processo di autoconfigurazione, la funzionalità è dotata di algoritmi opportuni sia a livello di eNodeB sia a livello di O&M (*Operations and Maintenance*); questi agiscono attraverso la configurazione di opportuni parametri di controllo e misura, che sono in parte specificati dallo standard, come le White List e Black List (adiacenze che non possono essere rimosse o aggiunte, rispettivamente), in parte sono vendor specific, come ad esempio le modalità di implementazione delle funzioni di rilevamento o rimozione di un'adiacenza (quest'ultimo, per esempio, per bassa frequenza di handover). Nell'ambito delle attività di trial sulla tecnologia LTE, da maggio 2010 è in corso un'attività di test sul sistema Ericsson, che prevede una fase in laboratorio, ormai conclusa, ed una fase in campo, grazie al dispiegamento di 6 siti trisetoriali. I siti sono connessi con fibra dedicata alla rete di test plant, dove è dispiegata la core network Ericsson ed il sistema di O&M. All'interno di questa attività è stata testata con successo una soluzione ANR che segue le fasi definite dallo standard di setup e controllo delle relazioni di adiacenza e dell'interfaccia X2, implementando con soluzioni al momento proprietarie le procedure di individuazione dell'eNodeB e dell'indirizzo IP associato. Nel corso dei test è stato possibile osservare il setup dell'interfaccia X2 e lo svolgimento dell'handover a partire dai Measurement Report inviati dal terminale.

giuseppe.catalano@telecomitalia.it

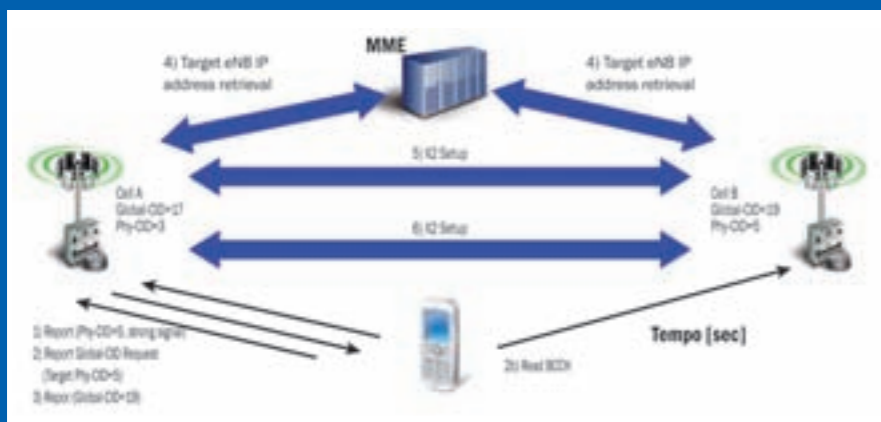


Figura A - Automatic Neighbour Relation - Measurement Report del terminale e procedura di individuazione del Global cell Id (3GPP TS 36.300).

Conclusioni

Il percorso evolutivo dei sistemi di accesso radio verso sistemi che puntano su un'efficiente gestione del traffico a pacchetto porta con sé un'inevitabile evoluzione delle architetture di rete. Il sistema LTE, caratterizzato da un'architettura di tipo "flat" basata sull'adozione del protocollo IP come standard di trasporto multi servizio, rappresenta una risposta alla richiesta sempre maggiore di banda da parte finale della clientela; tuttavia, proprio tenendo conto degli elevati valori di throughput

disponibili sull'interfaccia radio, il nuovo sistema pone maggiori requisiti in termini di capacità sul backhauling dei nodi di accesso. In tal senso la sperimentazione LTE condotta a Torino rappresenta un'importante banco di prova per la nuova tecnologia, al fine di verificarne le effettive potenzialità, valutarne gli impatti sulle infrastrutture di rete esistenti e poter adottare gli opportuni accorgimenti in vista di un suo dispiegamento in campo. ■

loris.bollea@telecomitalia.it
marco.caretti@telecomitalia.it
vincenzo.torrasi@telecomitalia.it



Bibliografia

- [1] www.3gpp.org/Release-8.
- [2] 3GPP TS 36.211, "E-UTRA, Physical Channels and Modulation (Release 8)".
- [3] 3GPP TS 36.212, "E-UTRA, Multiplexing and channel coding (Release 8)".
- [4] 3GPP TS 36.213, "E-UTRA, Physical layer procedures (Release 8)".
- [5] 3GPP TS 36.413, "E-UTRAN, S1 Application Protocol (S1AP)".
- [6] 3GPP TS 36.423, "E-UTRAN, X2 Application Protocol (X2AP)".
- [7] 3GPP TS 36.300, "E-UTRA and E-UTRAN; Overall description; Stage 2".
- [8] 3GPP TS 23.401, "General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access".
- [9] www.lstforum.org.
- [10] www.ngmn.org.
- [11] NGMN Field Trial Requirements.
- [12] "Trial TI-Huawei LTE", documento interno, TNTLAMWI0900018, 2009.
- [13] "LTE Trial TI-Huawei: Report of Lab measurement activities in Turin", documento interno, TNTLAMWI0900064, 2009.
- [14] "LTE Trial TI-Huawei: Report of Lab measurement activities in Shanghai", documento interno, TNTLAMWI0900034, 2009.
- [15] "LTE Trial TI-Huawei: Report of Field measurement activities in Turin", documento interno, TNTLAMWI0900077, 2009.
- [16] "Latency test sheet", LSTI, aprile 2009.
- [17] S.M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, ottobre 1998.



Loris Bollea

Ingegnere elettronico, è entrato in Azienda nel 1995 occupandosi in più fasi dello sviluppo hardware e software di prototipi di terminali mobili UMTS e di test radio su apparati commerciali GSM, UMTS, DECT. In ambito internazionale è stato coinvolto nel gruppo di standardizzazione del testing per i terminali 3G e nel progetto europeo PASTORAL, dedicato alla tecnologia di Software Defined Radio. Dal 2006 opera nell'area di Wireless Access Innovation, dove segue lo studio delle prestazioni dei sistemi OFDMA. In tale ambito ha seguito per Telecom Italia il gruppo di lavoro TWG del WiMAX Forum e le sperimentazioni di sistemi WiMAX fisso e mobile. Attualmente lavora all'analisi di prestazioni del sistema LTE/LTE Advanced tramite simulazione e sperimentazione in campo. È autore di diversi brevetti di signal processing e di articoli pubblicati in conferenze e libri.



Marco Caretti

Ingegnere elettronico, entra nel 2000 in Azienda per occuparsi di analisi delle prestazioni dei sistemi EGPRS/UMTS tramite simulazione e di tematiche di dimensionamento e pianificazione di sistemi radiomobili. Dal 2006 lavora nell'area Wireless Access Innovation, dove segue lo studio delle prestazioni dei sistemi OFDMA. In tale ambito ha seguito per Telecom Italia il gruppo di lavoro TWG del WiMAX Forum e le sperimentazioni di sistemi WiMAX fisso e mobile. Attualmente lavora all'analisi di prestazioni del sistema LTE/LTE Advanced tramite simulazione e sperimentazione e segue i lavori del gruppo TSG RAN WG1 del 3GPP, che è responsabile della standardizzazione dell'interfaccia radio dei sistemi 3G/4G.



Vincenzo Torrasi

Ingegnere elettronico, entra in Azienda nel 2000, dove si è occupato dello studio per l'evoluzione dei sistemi di commutazione verso le reti Next Generation. Dal 2002 al 2005 ha dato supporto al deployment in campo delle principali nuove tecnologie radio e dei risultati prodotti dalle attività nell'ambito della definizione delle metodologie di pianificazione radio della rete. Dal 2006 opera nell'area di Wireless Access Innovation di Telecom Italia Lab presidia le tematiche inerenti le sperimentazioni delle reti di nuova generazione, curando gli aspetti di analisi dell'interfaccia radio.

LA PAROLA A ERICSSON: SPERIMENTAZIONE LTE A STOCCOLMA

Ezio Zerbini



Questo articolo è focalizzato sulle prestazioni della tecnologia LTE e ne descrive alcune misure in campo effettuate in diversi ambienti di propagazione radio per dimostrarne la maturità, al fine di un'effettiva implementazione di rete. Le misure di campo e prestazionali sono state effettuate in mobilità, su canalizzazioni con ampiezze di banda di 10 e 20 MHz a 2,6 GHz, raggiungendo velocità di 120 km/h su distanze fino a 4 km dai nodi LTE ed utilizzando diverse configurazioni d'antenna, incluso la 4x4 MIMO. L'articolo presenta anche i risultati delle misure di throughput reale a livello fisico, su sessioni di tipo UDP e TCP.

1 Descrizione dell'ambiente della sperimentazione

Le prove sul campo, svolte sia in Germania che in Svezia, sono state eseguite in due settori che rappresentano diversi scenari reali. Il primo settore presentava costruzioni sparse con edifici bassi (condizioni di line-of-sight (LOS)).

Il secondo settore presentava invece una densità abitativa maggiore (condizioni di LOS erano quindi abbastanza rare).

La maggior parte delle prove sul campo sono state eseguite entro un raggio di 1 km dal sito di test. Durante la maggior parte dei test sul campo, la velocità del terminale mobile è stata tra i 5 e i 40 km/h. Alcune delle prove sono state effettuate invece su un'autostrada a Stoccolma alla velocità di più di 100 km/h.

2 Risultati delle misure

Come primo passo, in condizioni di buona propagazione radio, il sistema ha rag-

giunto, come previsto, il massimo throughput teorico in downlink di un sistema 2x2 con link adaptation su una banda di 20 MHz, e cioè 170 Mbps.

Utilizzando quattro flussi paralleli (il massimo numero supportato dallo standard LTE), su quattro antenne riceventi (MIMO 4x4) e una banda di 10 MHz, il picco misurato è stato di più di 130 Mbps. Questo si tradurrebbe in circa 260 Mbps, considerando invece la larghezza massima di banda di 20 MHz. Tale picco è più di tre volte il throughput che può essere raggiunto da una configurazione di base 1x2, che dovrebbe essere quella più utilizzata a livello commerciale per utenti base.

La Figura 1 mostra la funzione di distribuzione cumulativa CDF (Cumulative Distribution Function) per diverse configurazioni

giunto, come previsto, il massimo throughput teorico in downlink di un sistema

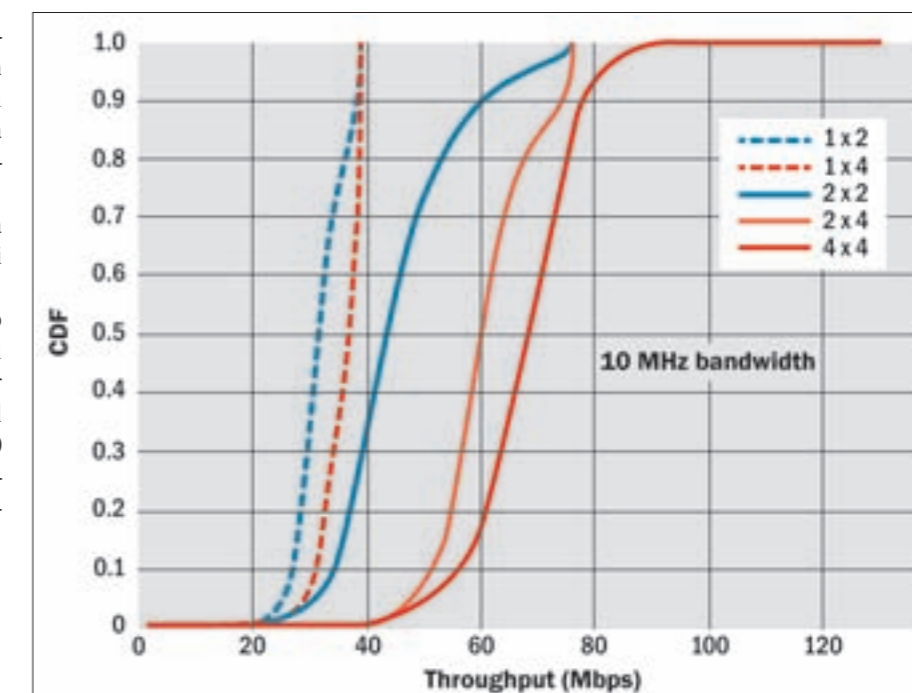


Figura 1 - Funzione di distribuzione cumulativa (CDF) per diverse configurazioni d'antenna su una banda di 10 MHz e antenna polarizzata.

	10 th percentile	Mean	90 th percentile
1 x 4	+15%	+12%	+1%
2 x 2	+27%	+42%	+55%
2 x 4	+86%	+87%	+91%
4 x 4	+104%	+108%	+100%

Tabella 1 - Throughput gain level relative 1 X 2 setup.

delle antenne La CDF è definita come la probabilità (in ordinata) di ottenere throughput uguali o inferiori al dato in ascissa.

Le misurazioni, che sono state effettuate lungo un percorso in cui la velocità del veicolo è stata tra i 5 e i 40 km/h, mostrano chiaramente che l'aggiunta di antenne in trasmissione e ricezione permette di migliorare le prestazioni.

La Tabella 1 confronta i guadagni, in differenziale, ottenuti relativamente a una configurazione di base 1x2, lungo un determinato percorso. I guadagni relativi alle configurazioni MIMO sono fortemente dipendenti dalle condizioni del canale radio (fading e riflessioni degli ostacoli) e pertanto possono essere unicamente considerati come esempi di ciò che può essere raggiunto.

Le misure, incluse quelle che derivano dai diversi percorsi, mostrano che l'aggiunta di un secondo path trasmissivo sulla stazione base (2x2), può aumentare il throughput medio di una percentuale compresa tra il 15 e il 40%, raddoppiando all'incirca il throughput di picco. L'aggiunta di due antenne in ricezione, mantenendo una singola antenna in trasmissione sulla stazione base, migliora il throughput medio di una percentuale compresa tra il 10 e il 20 sempre raffrontato alla configurazione base 1x2.

La qualità e le dimensioni delle antenne sui terminali non permettono guadagni eclatanti. Infatti, combinando un secondo path trasmissivo alla stazione base con quattro antenne riceventi (2x4), aumenta significativamente il throughput medio (dal 50 al 70%) in confronto alla configurazione base 1x2.

L'aggiunta di più percorsi trasmissivi, (fino a quattro) incrementa il throughput di picco approssimativamente del 60%, mentre il throughput medio aumenta di

percentuali comprese tra l'8 e il 25%, rispetto ad una configurazione 2x4.

Le misure in laboratorio hanno inoltre verificato le bit rate nette ottenibili al livello fisico e TCP su una banda di 20 MHz con una configurazione d'antenna 2x2. La differenza in bit rate tra i due livelli è unicamente attribuibile all'overhead di protocollo tra la banda disponibile al livello fisico (senza overhead di protocollo) e quella netta, disponibile per applicazioni di livello superiore.

La bit rate a livello TCP si è attestata su più di 40 Mbps per almeno il 50% del tempo e più di 100 Mbps per almeno il 10% del tempo.

L'impatto della velocità del mezzo sulle prestazioni è stato valutato su di un'autostrada a Stoccolma date buone condizio-

ni di propagazione radio, una bit rate di più di 100 Mbps è stata ottenuta viaggiando a più di 100 km/h su una banda di 20 MHz con una configurazione d'antenna 2x2. Nelle stesse condizioni, ma ad una distanza di più di 4 km dalla base station, il throughput è stato di più di 40 Mbps. Il throughput UDP, sempre sul downlink, si è attestato sui 23 Mbps. All'allontanarsi del terminale dal sito della stazione base, la massima bit rate a livello fisico è rimasta stabile a 25 Mbps, mentre il throughput UDP si è stabilizzato appena sotto i 20 Mbps. Portando il terminale ad una velocità di circa 30 km/h, il throughput a livello fisico sul downlink era di circa 22 Mbps, mentre la banda disponibile a livello UDP era di circa 18 Mbps.

3 Applicazioni di rete

A seconda delle bande di frequenza disponibili si fanno strada varie opzioni di messa in rete della tecnologia LTE che comunque si appoggia su una rete di raccolta e "backhauling" in fibra.

Quindi, a prescindere dalla rete di tra-

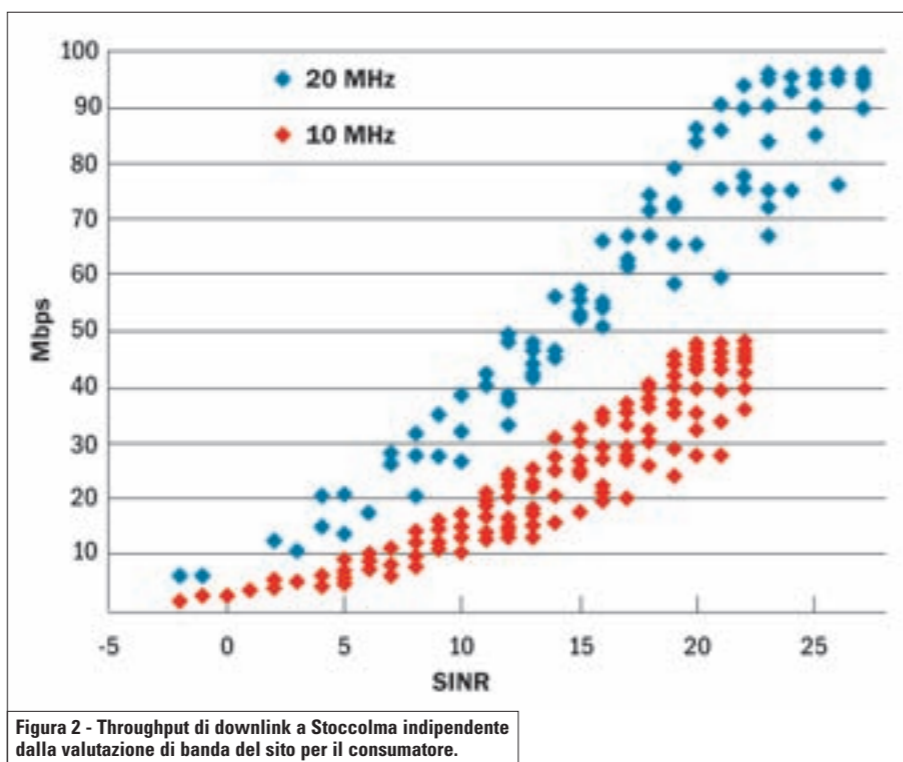


Figura 2 - Throughput di downlink a Stoccolma indipendente dalla valutazione di banda del sito per il consumatore.

sporto in fibra, se le frequenze sono al di sotto del GHz si può pensare di usare la tecnologia LTE su celle estese in ambito rurale e suburbano per risolvere problematiche di Digital Divide a costi molto competitivi in rapporto al servizio offerto all'utenza finale.

Reti ibride di questo tipo possono presentare limitazioni di capacità nelle aree urbane a causa delle dimensioni delle celle oppure per gli effetti interferenziali: l'impiego di altre bande a frequenza più alta permette di risolvere anche questo aspetto capacitivo. L'impiego delle sole bande ad alta frequenza vede invece l'LTE come tecnologia complementare alle reti dati 3G attuali al fine di fornire capacità elevate in ambito urbano.

4 Trial e Reti commerciali LTE

Nel 2010 l'operatore nordico TeliaSonera ha avviato la realizzazione della prima rete commerciale al mondo basata su tecnologia LTE, capace di offrire throughput fino a 100 Mbps/s.

TeliaSonera si è aggiudicata le licenze per l'LTE in Svezia, Norvegia e Finlandia ed è partita con il lancio di servizi commerciali LTE a Oslo e Stoccolma. Il modem Samsung GT-B3710, basato sul chipset Kalmia fornito dallo stesso costruttore, è stato il primo terminale commerciale ad operare su questa rete.

Anche AT&T in America ha programmato il lancio commerciale dei servizi basati su tecnologia LTE per l'inizio del 2011. Trial su due città sono già previsti per la fine di quest'anno.

Altre reti commerciali basate su apparati Ericsson sono già in esercizio o lo saranno tra breve da parte di Verizon Wireless, Metro PCS e Vodafone Germany, questo tanto per citarne alcuni in quanto la lista cambia e si allunga ogni settimana.

In Italia, almeno entro fine 2010, il lancio commerciale del servizio LTE non è possibile in quanto non sono ancora state licenziate a nessun operatore le frequenze sulle bande candidate a questo scopo in Europa: 2,6 GHz, 1,8 GHz, 0,8 GHz.

Conclusioni

Le misure effettuate in laboratorio e le estensive prove in campo hanno dimostrato che la tecnologia LTE ha buone prestazioni sia a livello fisico che a livello applicativo anche in condizioni propagative sfidanti per le tecnologie ora in campo. Le configurazioni Multistream MIMO comportano buoni guadagni in ambienti realistici, migliorando le bit rate medie e di picco. In particolare:

- è stato verificato che la trasmissione multi-stream, oltre ad incrementare la banda di picco, migliora le bande medie;
- la configurazione 4x4 ha avuto migliori prestazioni rispetto alla 2x2, eccetto in condizioni di line-of-sight, dove le prestazioni sono state ovviamente molto simili.

ezio.zerbini@ericsson.com



Ezio Zerbini

Classe 1959, ingegnere elettronico, entra a far parte di Marconi nel 1984. Tra le sue esperienze segnaliamo:

- sviluppo di apparati di trasporto e di accesso su rame, fibra, radio e cavo;
- marketing e strategia di prodotto per Trasporto e Accesso a Banda Larga, Fisso e Mobile;
- strategia tecnica a livello globale e supporto per i principali operatori di telecomunicazione.

Attualmente in Ericsson - Regione Mediterranea - ricopre il ruolo di CTO all'interno della Global Customer Unit Telecom Italia. È anche senior Member dello IEEE.

LTE SINGLE RAN: LA PAROLA A HUAWEI

Eric Xu



Negli ultimi vent'anni le reti mobili hanno reso possibile la nascita della società della comunicazione, diffusasi ormai ovunque. Guardando al futuro, lo sviluppo di Internet e della banda larga mobile porterà le persone a far parte di questa comunità dell'informazione in qualsiasi luogo si trovino. Un tale cambiamento implica enormi opportunità di business e sfide mai affrontate prima. Si prevede che la capacità delle reti mobili aumenterà di oltre 500 volte nei prossimi dieci anni, mentre le tecnologie GSM, UMTS e LTE dovranno coesistere ancora per lungo tempo. Queste nuove tecnologie e la loro coesistenza, indotta dalla legge di Moore, dovrebbero portare a costi di immobilizzazione inferiori; nonostante questo processo, il tradizionale modello di costruzione/gestione di reti separate (che implica "una tecnologia, una rete e un team operativo") finirà sfortunatamente con il cannibalizzare le riserve finanziarie degli operatori. In questa ottica, secondo la nostra esperienza di collaborazione e innovazione congiunta con gli operatori globali, riteniamo che la tecnologia SingleRAN basata su All-IP e SDR sia l'unico modo per sviluppare in futuro le reti - e ciò significa ottenere una struttura di rete capace di supportare più tecnologie. La tecnologia SingleRAN infatti è in grado di risolvere alla base il problema della cannibalizzazione finanziaria che nasce dallo scontro tra evoluzione tecnologica e complessità di manutenzione di reti separate.

1 SingleRAN - Un passo avanti essenziale per l'evoluzione delle reti

Con l'abbreviarsi dei cicli di evoluzione tecnologica e l'emergere di nuove opportunità per attirare e mantenere clienti finali, le sfide per gli operatori aumentano in maniera esponenziale. Anche se l'attenzione sarà sempre più focalizzata sulle tecnologie LTE, saranno tuttavia GSM e UMTS/HSPA a mantenersi come principali fonti di profitto per gli operatori di rete. Quindi, per competere efficace-

mente su più fronti e rispondere a richieste di mercato diversificate, gli operatori dovranno rapidamente attivare servizi su più piattaforme tecnologiche nel medesimo momento.

La tecnologia SingleRAN è stata da noi studiata appositamente per supportare più sistemi wireless attraverso un'unica rete uniforme di accesso. Caratterizzata da forti risparmi e da una notevole protezione dell'investimento, SingleRAN integra supporti radio per la voce, per i dati narrowband, per la banda larga mo-

bile e altro ancora in un unico elemento di rete NE (Network Element), consentendo agli operatori di evolvere verso LTE mantenendo la coesistenza con GSM e UMTS.

1.1 Il valore della soluzione SingleRAN

La soluzione SingleRAN introduce importanti vantaggi, essenziali per il successo degli operatori chiamati a competere nel settore della banda larga mobile, come per esempio una migliore copertura e qualità del servizio, costi più bassi, flussi di redditività aggiuntivi e notevole facilità di passaggio verso HSPA+ e LTE.

Questa soluzione permette agli operatori di ottenere la completa convergenza delle reti wireless multi-mode, comprendendo base station e relativi controller, siti, gestione e manutenzione. Più in dettaglio consente:

- One Network: protezione dell'investimento ed evoluzione GUL a lungo termine;
- One Site: rapidità di deployment, forti risparmi nei siti in termini di consumi energetici e risorse umane;
- One Operation: minori costi di gestione e manutenzione per un migliore risparmio in termini di costi operativi.

2 Soluzione Refarming / SingleRAN basata su SDR (Software Defined Radio)

Questa soluzione ottimizza i filtri radio frequenza delle base station mediante un algoritmo avanzato per fornire solu-

zioni al refarming delle frequenze in vari scenari caratterizzati da spazi di frequenza ristretti: minimizzando l'impatto UMTS900 sulle reti GSM esistenti e sfruttando in pieno le poche frequenze disponibili sui 900 MHz.

Inoltre adotta la tecnologia SDR e MSR per far condividere amplificatori di potenza e antenne a GSM e UMTS, riducendo così i costi di costruzione delle reti. Il Refarming SingleRAN basata su SDR integra poi le reti GSM e UMTS sulla stessa piattaforma hardware. Co-RRM (*co-gestione delle risorse radio*), Co-O&M (*co-gestione e manutenzione*), Co-RNP/RNO (*Co-pianificazione e ottimizzazione delle reti radio*) e condivisione di alimentazione e spettro sono implementate tramite un software, che consolida due reti separate in modo da permettere agli utenti di sfruttare servizi 2G e 3G high-end senza alcun impedimento.

Altri vantaggi sono:

- l'allocazione flessibile delle risorse

radio GSM/UMTS in Co-RRM, con allocazione dei canali, controllo di potenza e policy di handover ottimizzati secondo i requisiti di servizio e capacità dei vari standard in modo da massimizzare l'uso delle risorse radio disponibili;

- la gestione Co-O&M di GSM e UMTS, dove interfaccia di gestione e manutenzione unificata, comandi per il controllo di configurazione, misurazioni normalizzate e report statistici si combinano per ridurre la complessità e i costi della manutenzione. Con gli strumenti di Co-RNP (*Radio Network Planning*) e RNO (*Radio Network Optimization*) GSM/UMTS, la pianificazione e l'ottimizzazione delle reti GSM e UMTS possono così essere effettuate in maniera unificata, migliorando la precisione della progettazione di rete e favorendo la costruzione di reti di alta qualità, riducendo nel contempo i costi di manutenzione.

3 Supporto dell'evoluzione verso LTE

In risposta alle richieste dell'utenza finale (che si attende servizi estesi, esperienze multimediali più ricche, accesso più facile e maggiore personalizzazione), le principali applicazioni destinate alla prossima generazione di utenti mobili comprendono comunicazione person-to-person, distribuzione di contenuti, social networking, servizi business e mobile commerce. Per fornire queste applicazioni a costi ragionevoli e con la qualità che i clienti esigono, le reti mobili devono raggiungere livelli prestazionali superiori. I prerequisiti sono alta velocità e accesso broadband-like attraverso dispositivi mobili ovunque. LTE supporta questa prima fase di evoluzione delle reti mobili in banda larga.

In Huawei siamo convinti che la piattaforma SingleRAN sia in grado di far evolvere la tecnologia attuale verso LTE e

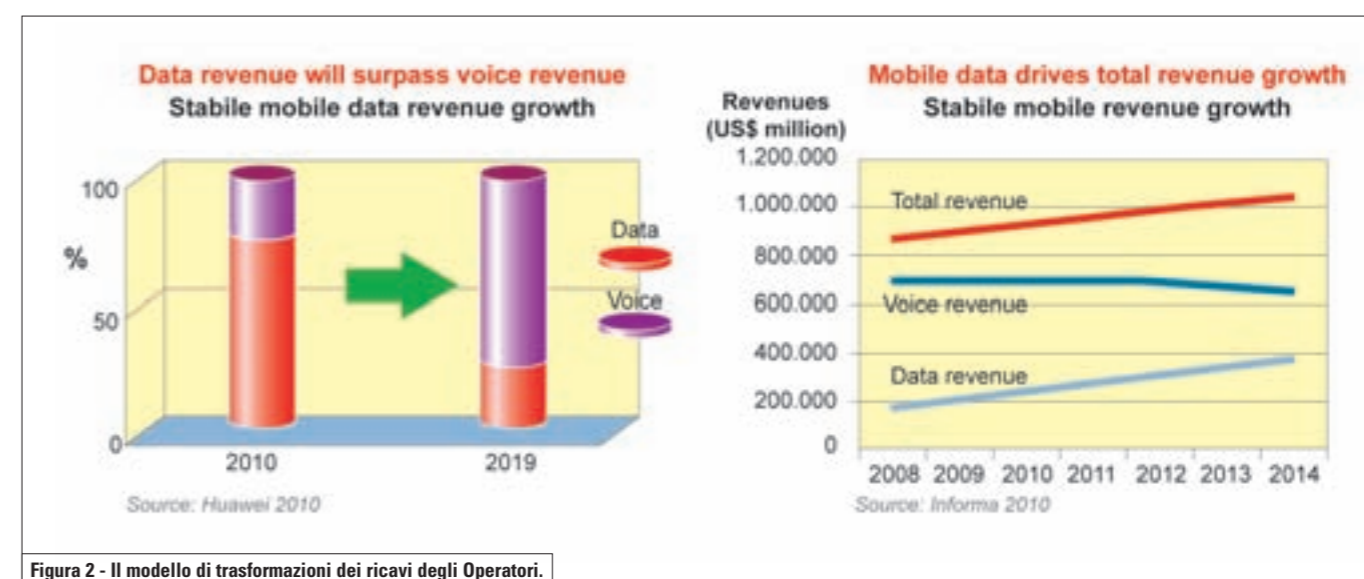


Figura 2 - Il modello di trasformazioni dei ricavi degli Operatori.

LTE Advanced, consentendo di introdurre agevolmente LTE non solo attraverso il refarming SDR (*Software Defined Radio*) dello spettro attualmente usato, ma anche nelle nuove bande di frequenza come quelle dei 2600 e 800 MHz, altrimenti detto Digital Dividend.

In altre parole, gli operatori che installano una rete SingleRAN sono già pronti a implementare completamente quello che persino la Commissione Europea ha recentemente presentato come strategico per il settore delle telecomunicazioni da qui al 2020: ossia l'estensione dell'accesso ai servizi broadband e l'armonizzazione delle frequenze.

4 SingleRAN@Broad

Replicando il ruolo pionieristico già svolto in ambito SingleRAN nel 2009, affrontando la convergenza di rete nella sua interezza, Huawei ha compiuto un ulteriore passo avanti introducendo il concetto di SingleRAN@Broad: una suite ampliata che riunisce importanti novità appositamente progettate per arricchire i servizi MBB (*Mobile Broadband*) mediante innovazioni che toccano vari settori tra loro correlati.

SingleRAN@Broad infatti è stata sviluppata per abbattere le barriere che dividono standard e tecnologie differenti,

aprendo la strada a un futuro vantaggioso per gli operatori della banda larga, favorendo un ampliamento esponenziale della capacità di rete e riducendo sensibilmente il costo per bit della diffusione di servizi attraverso la banda larga mobile. Inoltre SingleRAN@Broad costituisce la risposta a quanto sta accadendo nel mercato delle telecomunicazioni wireless: la banda larga mobile è il segmento più in espansione del 2010 e lo sarà anche in futuro, perché il numero di utenti di questo tipo continua a crescere.

Secondo le stime, infatti, nei prossimi dieci anni il traffico globale di dati sulla banda larga mobile è destinato a crescere di oltre 500 volte. In questo settore gli abbonati cercheranno sempre più frequentemente terminali economici o gratuiti con tariffe a basso costo, minuti illimitati e grandi quantità di servizi ad alta velocità. Per riuscire a capitalizzare sul mondo emergente della MBB, gli operatori avranno bisogno di funzionalità di rete tali da poter competere per conquistare nuovi e più sostanziosi flussi di redditività.

Per raggiungere questi obiettivi i costi di immobilizzazione devono essere in grado di dotare gli operatori di sufficiente banda, che sia affidabile a lungo termine, mentre i costi di esercizio devono essere ridotti fino al punto in cui il costo di una qualunque rete a banda larga mobile permetterà di far crescere il

business grazie ad una gestione competitiva e redditizia. Prendendo in considerazione tutti questi requisiti, l'introduzione di SingleRAN@Broad nel 2010 risponde alle esigenze dell'intera catena del valore della banda larga mobile rendendo possibile e redditizia un'enorme crescita del traffico.

Conclusioni

Il business del Mobile Broadband è già a regime oggi e via via offrirà sempre maggiori opportunità di ricavi per gli operatori. Allo stesso tempo, con l'esplosione del traffico dati, esso presenta anche delle oggettive difficoltà che vanno gestite, per mantenere la profittabilità del business: la trasformazione dei business model, delle strutture dei ricavi (sempre più dominate dai servizi voce, a quelli dati), gli investimenti necessari per far fronte alla maggior richiesta di capacità, di performance, di user experience e qualità di servizio (Figura 2).

La visione di Huawei nel proporre la soluzione SingleRAN@Broad è quella di avere una rete pronta da subito a far fronte a queste difficoltà, per garantire la profittabilità del business basato sul Mobile Broadband.

Frutto della nostra visione e conoscenza sulle difficoltà di dover bilanciare i re-

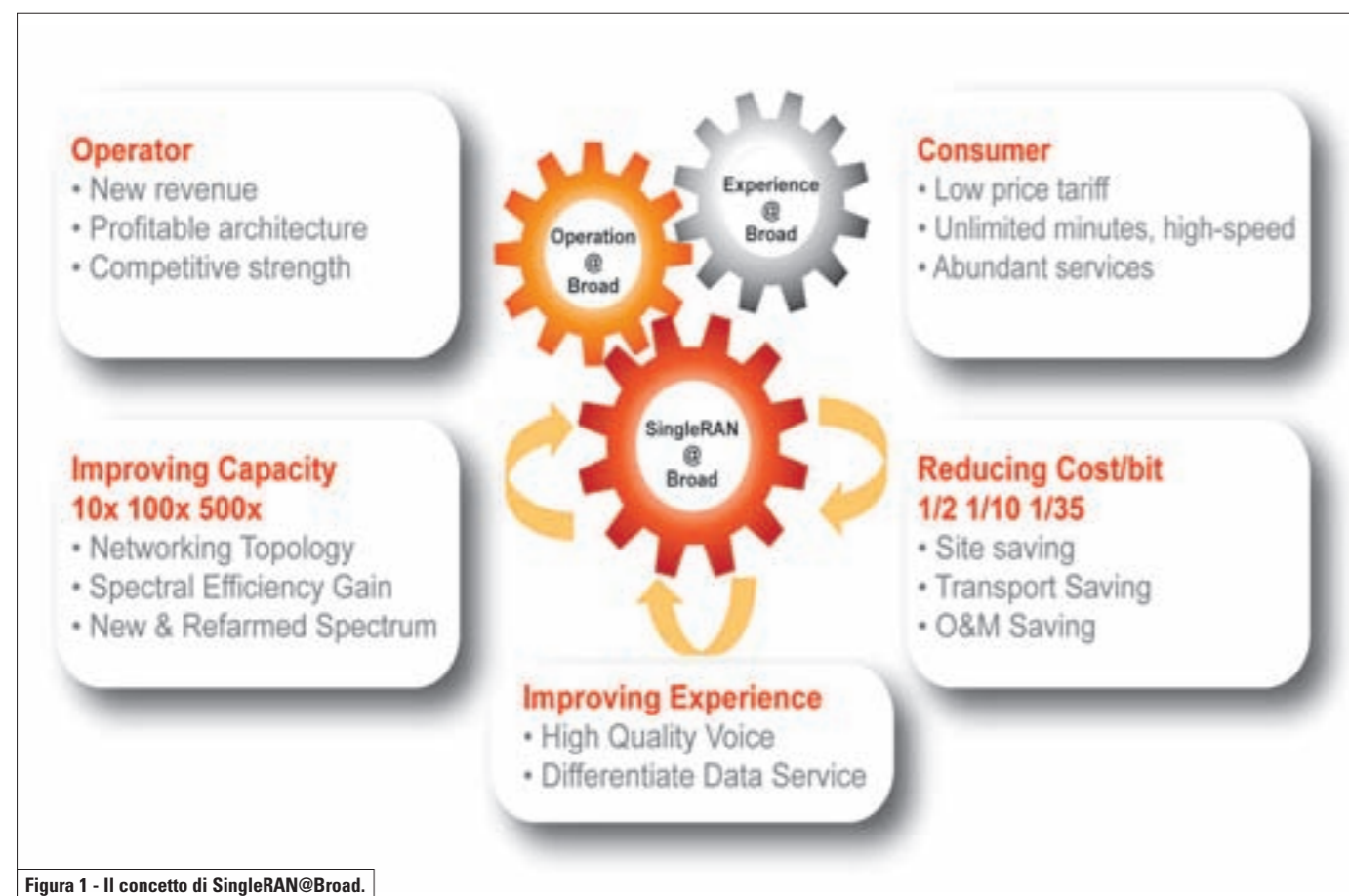


Figura 1 - Il concetto di SingleRAN@Broad.

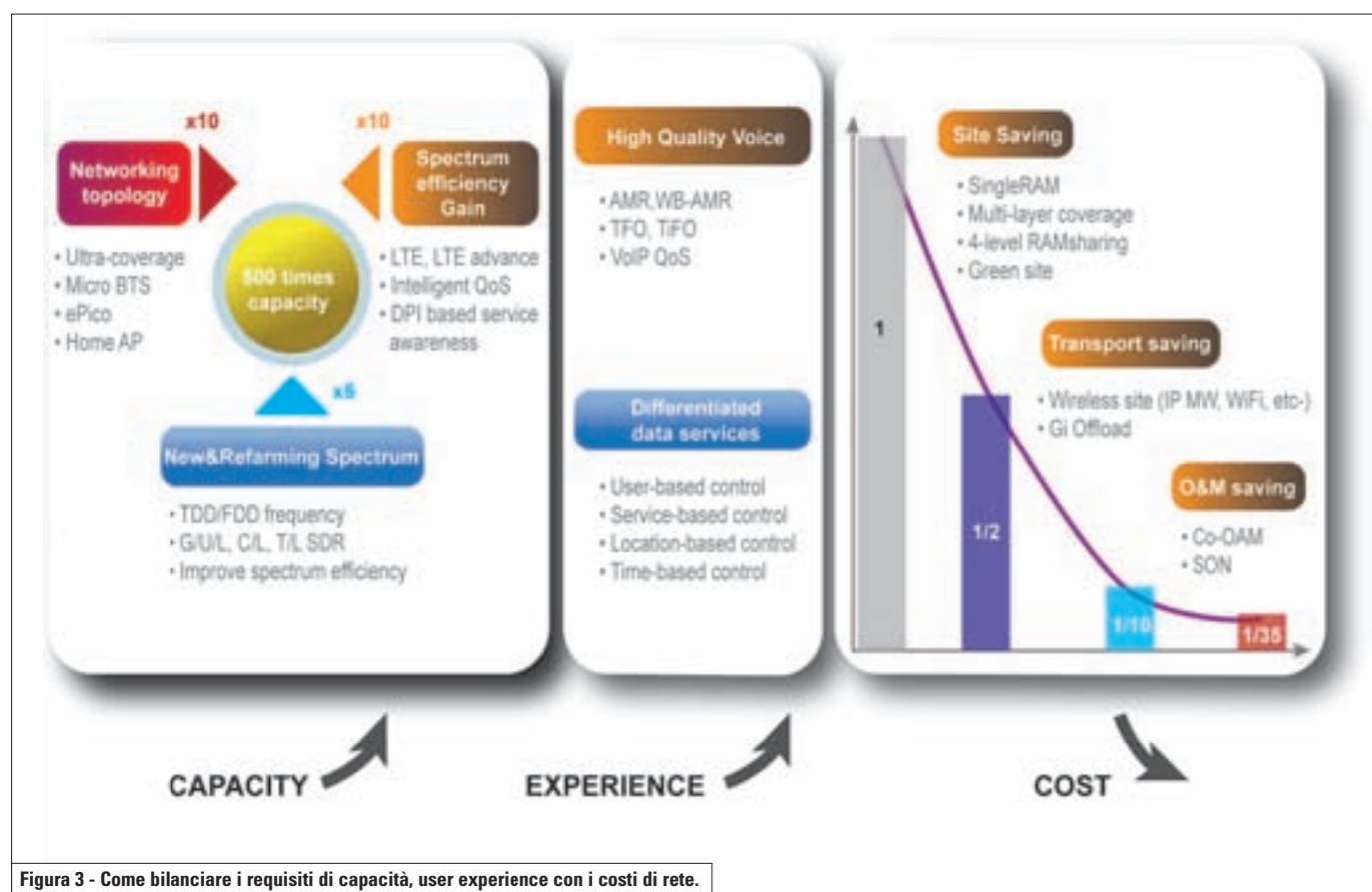


Figura 3 - Come bilanciare i requisiti di capacità, user experience con i costi di rete.

requisiti di performance/user experience, di capacità, ed efficienze di costi, il nostro concetto di SigleRan@Broad offre una soluzione efficace per garantire una facile evoluzione tecnologica, che ottimizzi al massimo le risorse della rete unificata, addirittura utilizzando le informa-

zioni sui comportamenti/requisiti dei singoli utenti.

Grazie a tutto ciò, la nostra soluzione consente agli operatori, gradualmente e passo dopo passo, di trasformare ed evolvere le attuali reti a strutture convergenti pronte ad affrontare le sfide future, per garanti-

re la massima efficienza ad ogni livello e per garantire che il business del Mobile Broadband rimanga sempre e altamente remunerativo (Figura 3). ■

eric.xu@huawei.com



Eric Xu

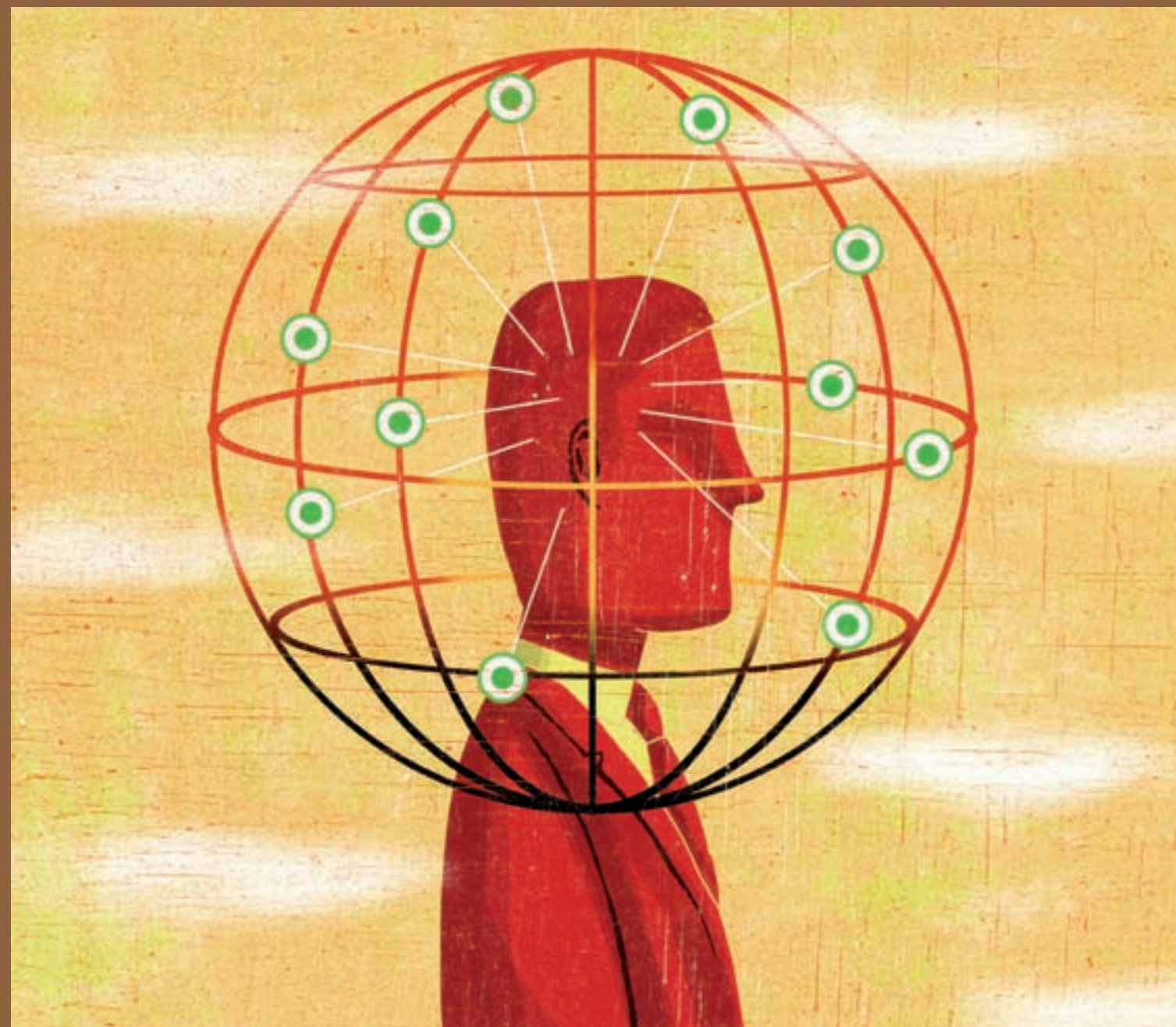
È entrato a far parte di Huawei nel 1993 ed ha ricoperto ruoli di crescente responsabilità nell'area vendite per il mercato cinese ed internazionale ed in molti altri dipartimenti tra i quali Wireless Product line, Strategy e Marketing, Product e Solution.

Grazie alla sua vasta esperienza ha contribuito alla crescita di Huawei nel settore delle telecomunicazioni e a rafforzare la posizione a livello globale.

Attualmente Eric Xu è Executive Vice President e Chairman dell'Investment Review Board di Huawei.

NETWORK EMBEDDED SECURITY: NUOVI SCENARI

Stefano Brusotti, Marco Gazza, Dario Lombardo



Levoluzione degli apparati di rete sta trasformando radicalmente le potenzialità di router e switch che da dispositivi chiusi e fortemente specializzati, si stanno progressivamente trasformando in oggetti informatici aperti e programmabili per le più diverse esigenze applicative e di servizio. L'architettura software e hardware, pur mantenendo peculiarità tipiche del contesto rete, è sempre più simile a quelle dei sistemi IT ad alte prestazioni. Il risultato è interessante: potenza, specializzazione, flessibilità e programmabilità in un unico oggetto network. L'uso di queste tecnologie, declinate per le esigenze di sicurezza e protezione di infrastrutture ed informazioni, permette di realizzare scenari innovativi, dando un significato nuovo al concetto di network embedded security. L'articolo sviluppa questi concetti e descrive una specifica iniziativa di Telecom Italia, jshape, per la protezione delle piattaforme DNS.

1 L'evoluzione degli apparati di rete

Quando si parla di innovazione delle tecnologie e dei servizi è sempre difficile stabilire quanto siano le prime ad indirizzare lo sviluppo dei secondi, piuttosto che questi ultimi a spingere i produttori a realizzare apparati e dispositivi sempre più pronti ad adattarsi alle esigenze delle nuove applicazioni.

È indubbio che nel campo delle reti e dei servizi di telecomunicazione e in modo particolare di tutto quello che è collegato all'uso del protocollo IP, cioè ad Internet, questa sfida, sia quanto mai attuale e che dallo stimolo reciproco tra produttori di tecnologia e fornitori di servizi si creino le condizioni migliori per la crescita del settore.

La nuova generazione di Internet impone l'incremento delle caratteristiche di con-

trollo, gestibilità, affidabilità, performance e sicurezza degli elementi di rete. Le architetture tradizionali di router e switch, così come i tradizionali modelli di rete, non sono più in grado di rispondere a queste esigenze.

Il percorso di evoluzione è stato intrapreso alcuni anni orsono, quando, nel 2001 in ambito IETF, è stato costituito un apposito working group, denominato ForCES, con l'obiettivo di standardizzare architetture nuove e aperte per la realizzazione dei futuri network element.

Le caratteristiche principali di queste nuove architetture di router dovevano essere: la riconfigurabilità, per fornire nuove funzionalità applicative e, attraverso l'utilizzo di appositi moduli hardware facilmente aggiornabili, la scalabilità, ovvero la possibilità di aumentarne la potenza elaborativa e quindi le prestazioni complessive. In pratica si era

imposta una separazione fisica tra le funzionalità di forwarding e quelle di controllo per avere maggior flessibilità e scalabilità. Parallelamente l'evoluzione dei network processor, cioè dei microprocessori che servono per realizzare gli apparati di rete, ha permesso di avere sistemi più facilmente programmabili, in grado di erogare prestazioni wire-speed, integrare funzionalità di protocol forwarding, quality of services e security su interfacce ad alta capacità, oltre i 10 Gbit/s. Se l'apertura delle architetture e la separazione delle funzionalità sono il fattore chiave del percorso evolutivo dei router, non meno rilevante è l'evoluzione dei modelli di sviluppo del loro software. Qui l'obiettivo è abilitare un approccio modulare che consenta di realizzare software specializzati per funzione e permetta il calcolo distribuito del routing per sfruttare architetture fisiche che rendono disponibili più unità elaborative distinte. La possibilità di implementare attraverso processi e sistemi dedicati sia il supporto dei diversi protocolli di routing, sia le funzionalità di gestione del routing concorre al raggiungimento degli obiettivi di scalabilità e apertura di questi dispositivi.

Tutta questa flessibilità e scalabilità serve a portare in rete, cioè dentro gli elementi che al livello operativo più basso ne permettono e ne garantiscono il corretto funzionamento, funzionalità avanzate anche di tipo applicativo. È il concetto della rete che acquisisce maggior intelligenza, e che diventa in grado di operare oltre i livelli 3/4 della pila ISO/OSI, fornendo non solo un incremento di prestazioni, ma anche una diversa e più efficace esperienza di fruizione e condivisione

dei contenuti. Basti pensare alle CDN (*Content Delivery Network*), sempre più specializzate e ai modelli emergenti di reti a supporto del P2P (*Peer to Peer*) come quelle che ad esempio stanno nascendo dai lavori di consorzi tipo il P4P (*Proactive network Provider Participation for P2P*) oppure ALTO (*Application-Layer Traffic Optimization*) nato con l'obiettivo di avvicinare le esigenze degli operatori TLC a quelle degli utilizzatori finali dei servizi P2P. Reti che permettono di scambiare in maniera molto più rapida i dati e le informazioni, incrementando la velocità di download e assicurando, al contempo, una riduzione sensibile dei problemi di congestione.

Sfruttare gli apparati di rete per svolgere funzioni evolute che entrano nel merito dei contenuti trasportati consente di ottimizzare la catena di elaborazione, portando appunto le logiche di analisi e i meccanismi di processamento a stretto contatto con i componenti che si occupano del trasporto. Se, come si diceva in apertura, i router, pur mantenendo le peculiarità tipiche degli apparati di networking quali continuano ad essere, uniscono la flessibilità dei sistemi IT ecco che diventa possibile combinare l'altissima specializzazione raggiunta nella gestione e nell'instradamento dei pacchetti alla più diverse esigenze elaborative. Tra queste molto importanti sono quelle per le operazioni di sicurezza e quale posto migliore del router per analizzare e gestire a fini di sicurezza i diversi flussi rete e i relativi protocolli applicativi?

Le caratteristiche che sono state descritte non sarebbero però sufficienti, da sole a giustificare il grande interesse anche da parte di chi si occupa di security se non fossero accompagnate da un altro fattore importante: l'apertura e la fornitura ai clienti interessati delle piattaforme di sviluppo del software dei router. I cosiddetti router SDK.

2 Router SDK

L'apertura delle piattaforme di sviluppo ai clienti da parte dei costruttori di router offre grandi possibilità di personalizzazione

di questi apparati. Si va ad assottigliare quella divisione, prima netta, tra prodotto commerciale standardizzato e prodotto customizzato, trovando un forte connubio tra esigenze del cliente e stabilità della soluzione.

È, infatti, particolarmente forte il vincolo che si va a creare tra il prodotto sviluppato e il normale funzionamento del router. Il costruttore desidera che i clienti sviluppino le proprie applicazioni, ma vuole mantenere stabile i propri sistemi, in modo che il loro corretto funzionamento non venga disturbato. Per questo motivo le applicazioni sviluppate in questo tipo di ambiente non sono completamente "libere", ma devono sottostare a delle regole che ne permettono un organico inserimento all'interno del sistema ospite. Questo tipo di regole possono essere anche molto stringenti, per esempio quando si tratta di integrarsi all'interno della CLI (*Command Line Interface*) del router, o possono essere più lasche, se non solo indicative, quando si tratta, per esempio, di rispettare un certo stile nello sviluppo del codice.

Lo sviluppo di applicazioni SDK sui router ha indubbiamente dei vantaggi. La riduzione del numero di apparati presente in rete ne è un importante esempio, specialmente per un operatore che si trova a gestire reti di grandi dimensioni e che in questo modo può ridurre i point-of-failure, il numero di sistemi su cui gestire le utenze, il numero di apparati che consumano energia, lo spazio nei PoP e nei Data Center. Un altro vantaggio è quello di poter realizzare delle applicazioni il cui naturale posizionamento sia dentro alla rete e non ai suoi bordi.

Alcuni esempi possono essere applicazioni di QoS, applicazioni modello CDN, o applicazioni di security sul modello firewall. Inserire in rete questo tipo di applicazioni senza toccare i nodi di rete comporterebbe una complessità tale nella struttura della rete da scoraggiarne l'utilizzo diffuso. Un altro aspetto vantaggioso, in particolare per un ISP, è il fatto che, a differenza dei content provider, gli ISP possiedono la rete. La rete è enormemente importante e fornisce a chi la possiede la possibilità di realizzare servizi che gli altri non possono fare. Un content

provider come Google offre un'incredibile quantità di servizi al pubblico, ma ci sono una serie di cose che non potrà mai offrire, perché queste richiederebbero di agire sulla rete. Lo sviluppo delle applicazioni SDK permette di rendere più flessibile le possibilità di sviluppo della rete e permette di valorizzarla ulteriormente. Naturalmente sviluppare queste applicazioni non ha solo aspetti positivi. Un aspetto impegnativo riguarda la complessità dello sviluppo. Sebbene i principali costruttori di router forniscano una piattaforma basata sul linguaggio di programmazione C, sviluppare un'applicazione per router è molto diverso da sviluppare una generica applicazione. Uno degli elementi, che normalmente è importante ma che per un router è fondamentale, è la performance. Non è pensabile che un router, apparato principe nello smistamento dei pacchetti, faccia girare un'applicazione che processi i pacchetti molto più lentamente di lui. L'applicazione deve cercare di essere estremamente veloce in modo da poter paragonare il router con il nuovo equipaggiamento al router senza di esso. Un altro aspetto impegnativo riguarda invece la novità della tecnologia. Quando manca una storia, una tecnologia è sempre più difficile da utilizzare. La mancanza di reali esempi di codice e la mancanza di documentazione adatta ai nuovi programmatori creano un po' di freno, soprattutto nelle prime fasi dello sviluppo.

3 I costruttori

I tre principali costruttori di router, Cisco, Juniper e Huawei, oggi permettono di avere funzionalità custom sui propri apparati, anche se a livelli diversi.

Cisco fornisce un SDK completo (chiamato CISCOS AXP), basato su Linux, che permette di sviluppare applicazioni complete. Richiede l'inserimento di una scheda aggiuntiva, ma ha come limite quello di essere disponibile solo su router di fascia bassa (fino alla serie 3000). È inoltre disponibile anche un programma chiamato CDN (*Cisco Developer Network*) destinato

alle aziende che vogliono sviluppare su quella piattaforma.

Anche Juniper fornisce un SDK completo [2], basato su FreeBSD (come il JunOS), che permette una completa flessibilità di sviluppo. Anche questo richiede l'installazione di una scheda di espansione (Multi-Service-PIC [1], in Figura 1) ed è dotato di potenti librerie per il processamento dei pacchetti. La caratteristica della soluzione Juniper è che la scheda è disponibile (in diversi modelli, ma tutti compatibili) su tutte le piattaforme della serie M (come il router M7i, in Figura 2) e T.

La soluzione Juniper è stata quella selezionata per avviare, in Telecom Italia, la sperimentazione dello sviluppo di funzionalità aggiuntive sui router. La scelta è stata determinata da diversi fattori. Il primo è stato quello che esiste un solo software per tutti i modelli di router e questo vale

anche per le applicazioni SDK, quindi per un ISP questo riduce il lavoro necessario per testare versioni diverse. Un altro fatto è dato dalla maturità del progetto SDK: Juniper aveva definito la formazione, un modello di sviluppo, un supporto, un modello di partnership per sostenere le aziende che sviluppassero le applicazioni.

3.1 L'opportunità Juniper

Juniper ha avviato il PSDP (*Partner Solution Development Platform*) nel dicembre 2007, e lo ha rinominato recentemente JunOS SDK. Questo programma di sviluppo applicazioni comprende partner di diversa tipologia come operatori di rete, fornitori di contenuti, clienti, system integrator, enti di ricerca e sviluppo. Com-

pletivamente, ad ottobre 2009, Juniper aveva 35 partner coinvolti nel JunOS SDK program, tra cui Telecom Italia (presente dal giugno 2008).

Le possibilità di fruizione del JunOS SDK sono molteplici, infatti come partner l'interesse potrebbe essere quello di sviluppare funzionalità critiche ad uso e consumo esclusivo, per esempio un ente governativo potrebbe sviluppare estensioni proprietarie dei protocolli di rete per renderne più forte la sicurezza. Oppure l'applicazione sviluppata potrebbe essere ceduta a Juniper, che ne diventa dunque owner e manutentore, oppure ancora si può trovare un accordo di revenue sharing, per cui il partner rimane owner e manutentore e Juniper certifica il software sull'apparato.

3.2 Aspetti di sicurezza del DNS

L'ambito di rete scelto da Security Innovation di Telecom Italia per l'applicazione della tecnologia Juniper è stato il DNS. La scelta di questo dominio ha differenti motivazioni. In primo luogo il DNS è un'infrastruttura critica per il funzionamento della rete: tutta la navigazione Internet ha come presupposto il suo buon funzionamento e un disservizio al DNS è immediatamente percepito come degrado totale della qualità del servizio. In secondo luogo il DNS è "vittima" di attacchi di sicurezza che possono comprometterne il funzionamento e quindi causarne un disservizio più o meno importante. Una terza motivazione riguarda il volume del traffico in gioco: l'ammontare del traffico DNS, infatti, non è molto elevato rispetto ad altri servizi; ciò rende possibile utilizzare sia in fase di sviluppo che di esercizio apparati di costo contenuto con interfacce Gigabit, su cui si monta la Multiservice PIC 100 (entry level).

Le principali tipologie di attacco, che coinvolgono il DNS, studiate e documentate in letteratura [3] sono:

- DNS DoS e DDoS;
- DNS Cache Poisoning;
- DNS Covert Channel;
- Buffer Overflow;

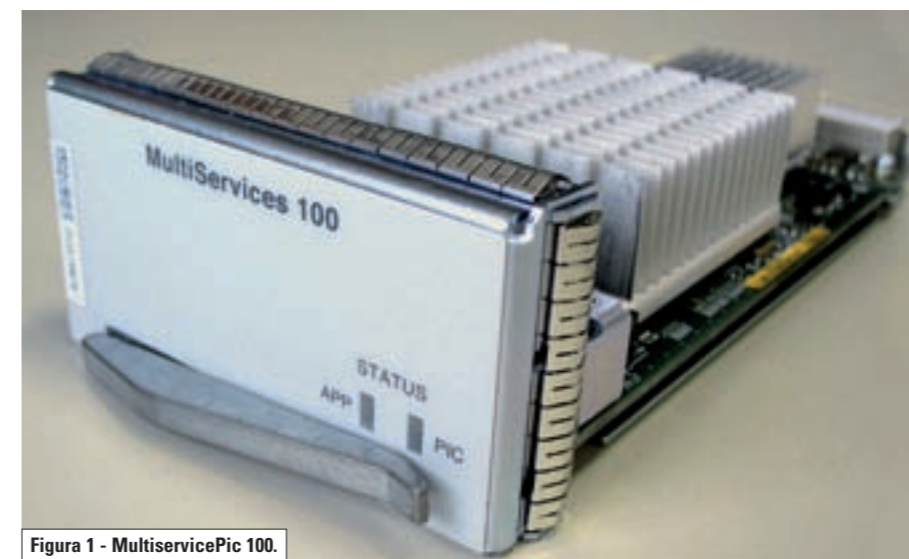


Figura 1 - MultiservicePic 100.



Figura 2 - Router Juniper M7i.

- Zone Transfer Hijacking;
- Dynamic Update Corruption;
- Unauthorized Registry Changes.

In particolare: Buffer Overflow [9], Dynamic Update Corruption [4, 10, 11] e Unauthorized Registry Changes [12] sono attacchi puntuali portati contro specifici DNS server vulnerabili e richiedono all'attaccante l'utilizzo di una quantità di traffico molto limitata.

Per quanto riguarda le Zone Transfer, tali operazioni sono considerate comunque pericolose per il dominio coinvolto (information leakage) e sono solitamente limitate tramite white-list e/o black-list. Inoltre tali operazioni sono effettuate utilizzando come protocollo di trasporto TCP, diversamente dalle normali richieste DNS che utilizzano solitamente UDP. Le richieste di Zone Transfer possono essere utilizzate da un eventuale attaccante per tentare un DoS sul server vittima, visto che il loro servizio richiede solitamente un notevole carico computazionale. Queste situazioni rientrano comunque nella casistica più generale degli attacchi DoS.

L'attacco di tipo DoS o DDoS [6, 14, 16] si ha quando uno o più attaccanti che controllano uno o più dispositivi (comunemente tramite botnet) lanciano massicce quantità di messaggi ad uno o più server DNS. Se le sorgenti dei messaggi sono distribuite (ad esempio con una botnet) l'attacco è difficile da controllare e tracciare. Inoltre, i pacchetti di risposta DNS sono più grandi delle query e questa caratteristica può essere utilizzata per amplificare il traffico generato nell'attacco utilizzando indirizzi IP sorgenti falsificati (spoofati) [17]. In questo caso l'indirizzo IP sorgente spoofato è il target dell'attacco e l'attaccante invia richieste DNS forgiate ad un server DNS, che risponderà quindi all'indirizzo IP spoofato. Un attacco DDoS quindi può essere rivolto ai server DNS direttamente, oppure sfruttare i server DNS per colpire un altro indirizzo IP (spoofato). Peraltro un attacco diretto ai server DNS può sfruttare protocolli diversi dal DNS stesso, come nel caso dell'attacco ICMP echo replay ai tredici root server di In-

ternet del 2002 [13] e del successivo attacco del 2007 [18]. DNS cache poisoning [4, 15, 19] è un attacco che mira a modificare la cache dei name server in modo da modificare l'associazione indirizzo IP con il nome del server. Ciò consente di reindirizzare un nome di dominio web (del tipo www.enterprise.com) verso un indirizzo IP diverso da quello originale. In questo modo si può dirottare tutto il traffico diretto verso il dominio web richiesto senza che l'utente si accorga di nulla. La tecnica consiste nell'ingannare un server DNS che è abilitato a fare recursion, facendogli credere di ricevere delle informazioni autentiche, quando, in realtà sono informazioni create ad arte per modificarne il comportamento. Le informazioni ricevute vengono inoltre conservate nella cache per un certo periodo di tempo e diffondono l'effetto dell'attacco agli utenti del server. Famoso su scala planetaria l'attacco noto come "The Kaminsky bug" scoperto da Dan Kaminsky e presentato al BlackHat nel 2008 [23]. La dinamica dell'attacco è la seguente: l'attaccante manda una query al server locale che dà inizio a una ricerca ricorsiva (recursive search) da parte dello stesso. Contemporaneamente l'attaccante manda risposte fasulle (con indirizzo sorgente spoofato) che arrivano al server attaccato prima delle risposte del server autoritativo. Una variante dell'attacco consiste nel mandare le risposte direttamente al resolver del client. Il server DNS locale restituisce le risposte false al client e memorizza i corrispondenti record nella sua cache. Le risposte fasulle devono risultare corrette al server, quindi i numeri di sequenza devono essere nella finestra accettabile dallo stesso (birthday attack). [15]

Un altro tipo di attacco si può effettuare utilizzando un Covert Channel [7, 8], o tunnel [21, 22], per cui il protocollo DNS viene sfruttato per trasmettere informazioni di natura differente da quella per cui è stato progettato (ad esempio l'I/O di una shell remota). Questo attacco è solitamente utilizzato al fine di aggirare le protezioni perimetrali o come mezzo per rendere più complicata la ricostruzione

del proprio operato.

Un server DNS può veicolare questo attacco anche senza che sia mossa alcuna azione specifica verso lo stesso, e quindi anche senza dover sfruttare sue eventuali vulnerabilità. Il mezzo con cui solitamente si ottiene tale risultato sono le query ricorsive effettuate verso un dominio sotto il controllo dell'attaccante.

Per sfruttare al massimo la banda messa a disposizione dal server DNS utilizzato, Tunnel e Covert Channel utilizzano solitamente dei pacchetti di dimensioni elevate, modificando la dimensione media delle query e delle answer verso il server. Tali modifiche possono essere individuate sia con l'analisi diretta delle statistiche sulla dimensione dei pacchetti, sia con l'analisi degli istogrammi della distribuzione di tale misura e della relativa entropia [3, 5, 14, 20]. Sempre al fine di massimizzare la banda a disposizione, Covert Channel e Tunnel producono solitamente un incremento del numero di richieste e risposte verso il server; anche in questo caso la anomalia è individuabile con l'analisi delle statistiche delle grandezze coinvolte.

Va notato come in generale sia comunque possibile per un attaccante realizzare un Covert Channel che non modifichi in misura significativa nessuna delle grandezze suddette, a prezzo della banda a disposizione. In tale scenario però l'impatto sulla funzionalità del server utilizzato è definitivamente nullo.

4 Il progetto jdshape

Il progetto jdshape di Telecom Italia nasce per rispondere all'esigenza, oggi sentita più che mai, di rendere il sistema DNS più sicuro. Sono molteplici le iniziative che agiscono in questo senso in molti ambiti (DNSSEC è uno di questi), ma per proteggere l'attuale infrastruttura DNS è necessario operare tramite delle azioni dirette e a breve termine, interponendo, per esempio, un sistema tra i server DNS e gli ipotetici attaccanti che possa discriminare il traffico di attacco e filtrarlo. L'utilizzo di tecnologie proprietarie era un'opzione

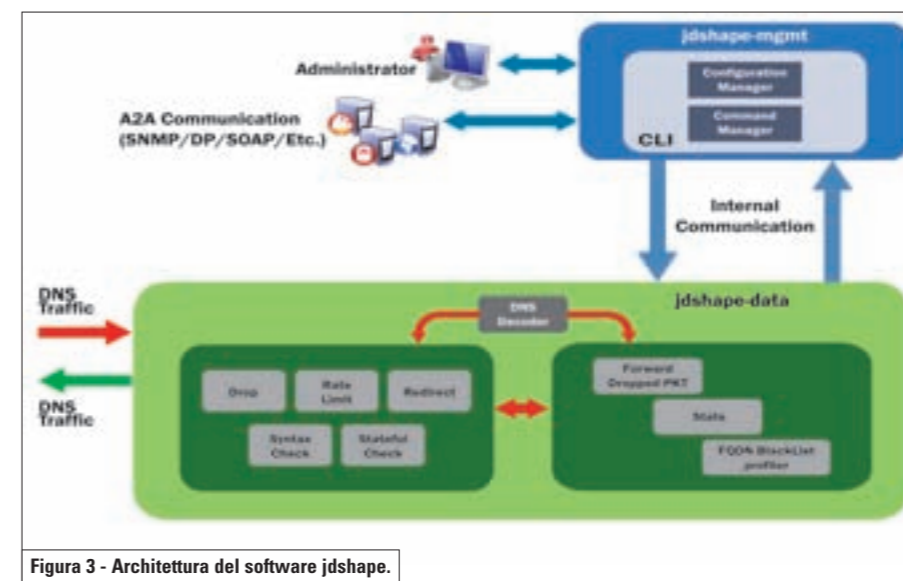


Figura 3 - Architettura del software jdshape.

possibile, ma la nostra scelta è ricaduta sull'SDK Juniper, perché questa via consente di avere una serie di benefici. Le funzionalità desiderate, un costo vivo basso (la soluzione viene sviluppata internamente), un'aderenza totale alle esigenze dell'Azienda (possedere il codice sorgente rende totalmente flessibile l'inserimento di nuove funzionalità), la riduzione del numero di vendor e del numero di apparati che sono presenti in rete, sono solo alcuni degli aspetti più evidenti.

4.1 L'architettura del software

Il software sviluppato all'interno del progetto si chiama jdshape (acronimo che significa Juniper DNS traffic shaper). Lo scopo principale di questo software è quello di dotare il router di capacità di filtraggio con logiche che appartengono al mondo del DNS. Il software è composto da due componenti principali (come si vede in Figura 3) che sono jdshape-mgmt e jdshape-data. Il componente jdshape-mgmt fornisce nuove configurazioni e nuovi comandi operativi alla CLI di un router standard Juniper. Ha cioè il compito di memorizzare le configurazioni di jdshape e di trasmetterle al componente software della MS-PIC (il jdshape-data). Ha anche la possibilità di eseguire comandi che forniscono informazioni sul software stesso e sui dati che transitano at-

traverso il router. Inoltre riceve statistiche periodiche dalla PIC. Il componente jdshape-data è il software vero e proprio, il cuore del sistema. È composto da una serie di moduli che possono essere classificati come "enforcer" o "tool". Gli enforcer sono quei moduli che possono bloccare un pacchetto e che quindi forniscono funzionalità di sicurezza vere e proprie. I tool sono moduli di servizio, che collezionano statistiche o raccolgono altri dati, ma che non modificano il flusso normale dei pacchetti.

I moduli che compongono jdshape sono:

DROP (enforcer)

È un firewall DNS, cioè può bloccare pacchetti tramite la definizione di regole. I campi utilizzabili sono i seguenti: sorgente (ip / netmask), destinazione (ip / netmask), QR (si veda [25]) QTYPE (si veda [25]), dominio (stringa che rappresenta un sito/dominio, eventualmente con *). Un esempio di una regola specificata per questo modulo è la seguente:

```
rule 1 from 1.2.3.4 to
2.3.4.5/24 qr Q qtype MX
domain *.mydomain.com
```

RATELIMIT (enforcer)

Ha la stessa sintassi del drop, ma invece di bloccare tutto il traffico, limita il numero di pacchetti al secondo. Ha un'opzione in più che è il numero di pacchetti al secondo permessi.

```
rule 1 from 1.2.3.4 to
2.3.4.5/24 qr Q qtype MX
domain *.mydomain.com rate 40
```

STATEFUL CHECK (enforcer)

È uno scudo di protezione per gli attacchi di spoofing. Concede cioè il passaggio solo delle response per cui ha potuto precedentemente osservare la query relativa. Tutti i reflection attack vengono quindi bloccati da questo modulo.

SYNTAX CHECK (enforcer)

Verifica la correttezza sintattica dei pacchetti, impedendo il passaggio di quei pacchetti che nel funzionamento normale del DNS non ci dovrebbero essere e che quindi sono stati presumibilmente creati a mano da un'attaccante. È composto da una serie di sotto-moduli, attivabili singolarmente, che bloccano i pacchetti:

- Non decodificati;
- DNS su ip multicast;
- Oltre una certa dimensione;
- Con qtype non supportato;
- Con un trailer dopo il protocollo DNS;
- Frammentati;
- Con stesso ip sorgente e destinazione;
- IP marziani;
- Checksum errata.

REDIRECT (enforcer)

Modulo utilizzato per bloccare l'accesso a certe risoluzioni DNS "vietate". Questo modulo viene utilizzato quando si vuole impedire l'accesso a certi siti (come ad esempio scommesse on line non legali): in questo caso si viene rediretti verso un captive-portal che avvisa del blocco. È possibile attivare il sistema tramite regole che determinato gli indirizzi IP bloccati.

```
rule 1 from 1.2.3.4/16 domain
*.forbidden.domain.it
redirect-to captive-portal.
mydomain.com
```

È inoltre dotato di un sistema per la redirectione delle risposte NXDOMAIN (non-existent domain), per esempio quando la persona digita un indirizzo errato nel browser (rediretto verso portali promozionali).

```

nxdomain redirect-to
advertisement.mydomain.com

```

REGEX (enforcer)

Applica una regular-expression ai pacchetti in transito e blocca i pacchetti per cui c'è un match. È un sistema adatto a bloccare tutti gli attacchi non "tradizionali", che non ricadono cioè nelle casistiche generali dei precedenti enforcer.

Il caso di applicazione principale è il blocco di quei pacchetti che veicolano uno shellcode (il modulo funziona sul modello di un antivirus).

STAT (tool)

Permette di collezionare statistiche sul flusso generale dei pacchetti che attraversano il router. Fornisce inoltre la possibilità di specificare delle regole (flussi) per cui collezionare statistiche precise.

```

rule 1 from 1.2.3.4/24
domain *.google.com

```

FORWARD DROPPED (tool)

Tramite questo modulo è possibile evitare che i pacchetti, che il router decide di bloccare, vengano eliminati. Essi vengono invece inviati a un sistema esterno al router con finalità di troubleshooting, usando un imbustamento IPIP (si veda [24]). In questo modo l'operatore può sa-

pere in qualunque momento cosa il router stia bloccando ed individuare eventuali imprecisioni decisionali.

SNMP (tool)

Il router estende la MIB enterprise per consentire la consultazione di una serie di informazioni che il router possiede. In particolare è possibile leggere le regole statistiche attualmente configurate, i contatori statistici ad esse legate e i contatori statistici globali (provenienti dal modulo STAT).

4.2 Inserimento in rete

Le modalità di inserimento in rete di jdshape sono sostanzialmente due, a seconda che si possa progettare un'architettura ex-novo, oppure si intervenga su di un'infrastruttura esistente.

L'inserimento del router che ospita a bordo la PIC deve essere "in-line", ovvero il traffico deve attraversare il router, in modo che l'enforcement del traffico sia effettivo. Questa precisazione è d'obbligo poiché non è sufficiente fornire a jdshape la replica del traffico DNS tramite, ad esempio, l'attivazione di una span port, come avviene per i sistemi di intrusion detection. Jdshape è montato a bordo di un router, e quindi è l'architettura di livello

3 che deve essere progettata/modificata in modo opportuno.

In Figura 4 si può vedere l'architettura ex-novo pensata per ospitare jdshape. I router "jdshape 1" e "jdshape 2" hanno a bordo la MS-PIC, ed espletano sia le funzioni standard di routing che quelle specializzate fornite da jdshape. Si suppone che i due apparati siano configurati in alta affidabilità mediante protocollo VRRP, in modalità hot/standby e dunque il flusso di traffico attraversa in effetti un solo jdshape. Questo punto è molto importante, in quanto i due jdshape non dispongono di un protocollo di alta affidabilità, e dunque le relative configurazioni devono essere fatte su ciascun router separatamente.

In Figura 5 si descrive l'inserimento in una preesistente infrastruttura di rete, che comprende apparati di rete L2/L3 sia per il front-end (L3 Switch FE) che per il Back-End (L3 Switch BE). In questo scenario il piano di routing deve essere modificato in modo da rendere prioritarie le rotte che passano per "jdshape 1" e "jdshape 2".

La tolleranza ai guasti in questo caso è ottenuta tramite il protocollo di routing stesso, tipicamente con OSPF. La premessa anche in questo caso è che i router di front-end implementino VRRP/HSRP in modalità hot/standby, cosicché un solo jdshape venga attraversato dal flusso di traffico DNS. Come per lo scenario precedente, ad oggi le configurazioni dei due jdshape devono essere mantenute allineate manualmente.

5 Risultati sperimentali

Il software jdshape è stato sottoposto a test presso il Security Lab Be-Secure® di Telecom Italia per comprovare la sua non intrusività, le sue funzionalità e misurarne le sue performance. Per sottoporre il sistema ai suddetti test è stato realizzato un test-bed che ha previsto la presenza contemporanea di sistemi standard (client DNS e server Bind) e di sistemi specifici per test (Spirent Test Center) in grado di generare sia traffico strutturato DNS, sia traffico non strutturato. Questo approccio, standard per i test di confor-

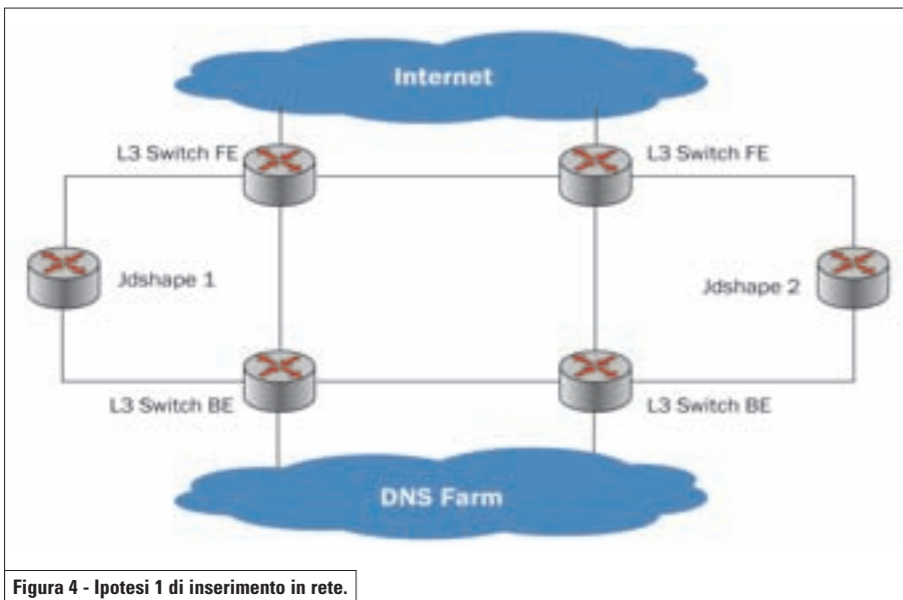


Figura 4 - Ipotesi 1 di inserimento in rete.

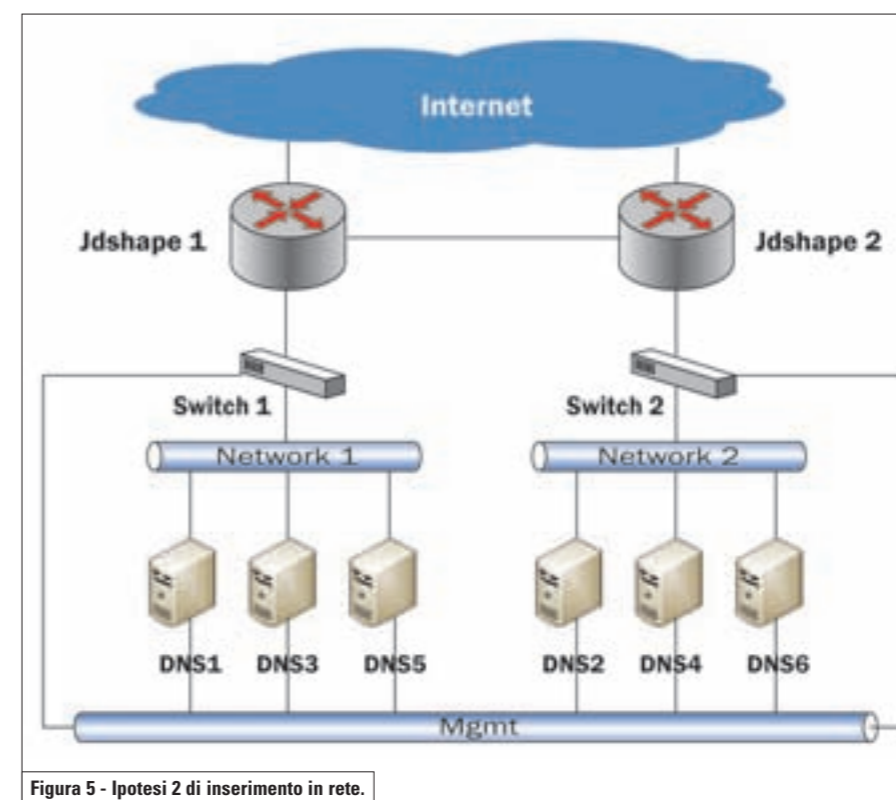


Figura 5 - Ipotesi 2 di inserimento in rete.

mance per la security in Telecom Italia, ha permesso di approfondire tutti gli aspetti del software e di risolvere i bug del software stesso. In particolare l'approccio usato nei test è stato quello di separare il team di sviluppatori dal team dei tester. Questo ha permesso di avere un approccio misto black-box (per fare emergere i bug) e white-box (per risolverli). Il primo blocco di test era mirato a verificare la non intrusività del software. Questo passaggio era assolutamente chiave, perché chi installa in rete un sistema esige che il funzionamento normale della propria rete non venga intaccato. Il sistema Juniper garantisce questo comportamento in maniera piuttosto semplice, perché una volta installata la scheda e il software, il traffico viene inoltrato solo se si effettua intenzionalmente la redirectione (steering) dei pacchetti. I test hanno quindi garantito che sia senza redirectione che con la redirectione il router continui a funzionare normalmente. Naturalmente lo steering e successivamente l'abilitazione delle funzionalità di jdshape non hanno costo nullo in termini prestazionali. Il router di sviluppo (un modello M7i) è in

grado di processare circa 1.200.000 pacchetti al secondo senza la presenza della MS-PIC. Abilitando lo steering, questo rate si abbassa a 800.000 p/s. La presenza del decoder DNS di jdshape non abbassa invece ulteriormente questo rate, quindi il software è in grado di reggere 800.000 p/s quando è attivo, ma senza alcuna configurazione (enforcer o tool) abilitata. Una funzionalità particolarmente utile del sistema Juniper è il comando di "deactivate" dello steering: lanciando questo comando dalla CLI del router si può ristabilire in maniera rapida (una manciata di secondi) il flusso normale del traffico, bypassando la MS-PIC. Questo fornisce una grossa garanzia per l'operatore del router che, in ogni momento, può disabilitare il software SDK senza che questo comporti alcun disservizio. Per un ISP, per cui un down al DNS comporta un notevole impatto, questa funzionalità è eccezionalmente utile. Il secondo blocco di test era mirato a verificare le funzionalità del sistema. Gli enforcer sono stati sottoposti tutti a test unitari, abilitando per ognuno le configurazioni distinte. Per ognuno di questi si

sono verificate tutte le caratteristiche in base alle funzionalità, verificando quando il risultato atteso si discostava da quello osservato e creando dei test-case quando ciò non avveniva. Questo sistema ha permesso di risolvere i bug incontrati in maniera estremamente rapida. Successivamente i moduli sono stati sottoposti a test di compresenza, attivando sempre più moduli fino ad averli tutti attivi contemporaneamente. Il funzionamento di tutti i moduli è stato correttamente verificato e confermato.

L'ultimo blocco di test ha riguardato le performance del sistema. Ogni modulo ha un suo costo in termini di throughput e più moduli si attivano più le performance si abbassano. Per effettuare delle misure significative si è provveduto a misurare il rate sostenuto dai singoli moduli con diverse configurazioni di più moduli fino ad averli tutti attivi contemporaneamente. È da notare che l'uso di tutti i moduli contemporaneamente è una situazione improbabile visto che i moduli sono tipicamente usati per fronteggiare specifiche situazioni. Nulla però vieta, se non l'impatto sulle prestazioni complessive, di usarli stabilmente, né di usarli tutti insieme, quindi questa configurazione è stata tenuta in considerazione.

Conclusioni

Il progetto jdshape è ormai entrato nella fase finale per ciò che concerne le attività di sviluppo tecnologico. I prossimi passi prevedono la realizzazione delle sperimentazioni in campo e poi la realizzazione, a cura della funzione Security Engineering di Telecom Italia, dei progetti di delivery sui domini DNS di interesse. Parallelamente, con Juniper, si stanno approfondendo aspetti commerciali e di collaborazione per la valorizzazione, sul mercato internazionale, di questa tecnologia Telecom Italia. Per completezza si ricorda che jdshape è la componente di un progetto più articolato per la protezione del DNS che prevede un'architettura in cui in rete siano presenti sistemi di monitoraggio, operatori

che analizzino i dati per verificare il corretto funzionamento dei sistemi, motori di analisi che rilevino eventuali disturbi nel funzionamento del servizio DNS e, naturalmente, apparati di enforcement.

In questo scenario, un complemento alla tecnologia jdshape, è dato dal sistema proprietario Ludmilla, sviluppato sempre nel gruppo Security Innovation, in grado di fornire uno strumento di monitoraggio e analisi, in ottica sicurezza, del traffico DNS. Questo sistema, a fronte del rilevamento, grazie all'utilizzo del paradigma dell'anomaly detection, di una sospetta anomalia, potrà segnalare agli operatori gli eventi rilevati, offrendo contestualmente indicazioni sulle possibili configurazioni da attivare sugli apparati di enforcement, nello specifico i router Juniper dotati della tecnologia jdshape. Questa configurazione potrà essere accettata dall'operatore ed applicata, in modo da avere un anello di retroazione completo sul servizio.

Tra le future funzionalità di jdshape e Ludmilla ci potranno anche essere dei moduli per l'analisi e la protezione dai fenomeni che veicolano o vengono veicolati dal DNS come le Botnet, fenomeno in continua crescita e dal notevole impatto su infrastrutture e utenti della rete. Questi fenomeni, infatti, non sono veri e propri attacchi al DNS, ma sviluppando delle protezioni opportune a tale livello, è possibile arginarli in modo efficace. ■

stefano.brusotti@telecomitalia.it

marco.gazza@telecomitalia.it

dario.lombardo@telecomitalia.it

Acronimi

CDN: Content Delivery Network
CLI: Command Line Interface
DNS: Domain Name System
DOS: Denial of Services
DDOS: Distributed Denial of Services
ISP: Internet Service Provider
P4P: Proactive network Provider Participation for P2P
P2P: Peer to Peer
QoS: Quality of Service
SDK: Software Development Kit

Bibliografia

- [1] www.juniper.net/us/en/local/pdf/datasheets/1000199-en.pdf
- [2] www.juniper.net/us/en/products-services/nos/junos/junos-sdk/
- [3] Anestis Karasaridiris: Detection of DNS Traffic Anomalies, <http://ewh.ieee.org/r1/njcoast/DNSTraffic.ppt>
- [4] Why is securing DNS zone transfer necessary?, www.sans.org/reading_room/whitepapers/dns/868.php
- [5] Extrusion Detection Illustrated, http://searchsecuritychannel.techtarget.com/searchSecurityChannel/downloads/Bejtlich_Ch3.pdf
- [6] Domain Name System Denial of Service Attacks, www.ciac.org/ciac/bulletins/j-063.shtml
- [7] Dan Kaminsky, Attacking Distributed Systems: The DNS Case Study, www.doxpara.com/slides/BH_EU_05-Kaminsky.pdf
- [8] Covert Channel Invisibility Theorem, www.springerlink.com/content/p5003w3w12264884/fulltext.pdf
- [9] DNS Service Buffer Overflow Vulnerability, <http://secunia.com/advisories/24871>
- [10] DNSAPI Error and corrupt DNS records, www.itnewsgroups.net/group/microsoft.public.windows.server.networking/topic22566.aspx
- [11] <http://compsec101.antibozo.net/papers/dnssec/dnssec.html>
- [12] DNS resolution path corruption: Guard your registry, <http://it.toolbox.com/blogs/adventuresinsecurity/dns-resolution-path-corruption-guard-your-registry-22422>
- [13] Ryan Naraine, Massive DDoS Attack Hit DNS Root Servers, www.cs.cornell.edu/People/egs/beehive/rootattack.html
- [14] Yasuo Musashi, Ryuichi Matsuba, and Kenichi Sugitani, Detection and Prevention of DNS Query PTR record-based Distributed Denial-of-Service Attack
- [15] J. Stewart: "DNS Cache poisoning - The Next Generation", 2003
- [16] US-CERT: "The Continuing Denial of Service Threat Posed by DNS Recursion", 2006
- [17] R. Vaughn, G. Evron: "DNS Amplification Attacks", marzo 2006
- [18] ICANN: "Root server attack on 6 February 2007", ICANN (The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) Factsheet, 2007
- [19] D. Sax: "DNS Spoofing (Malicious Cache Poisoning)", SANS Institute 2002
- [20] H-J Shin (KORNET): "A DNS Anomaly Detection and Analysis System", NANOG 40, 2007
- [21] M. Van Horenbeeck: "DNS tunneling", 2007, www.daemon.be/maarten/dnstunnel.html
- [22] J. Plenz: "DNStunnel.de", 2006, <http://dnstunnel.de/>
- [23] Multiple DNS implementations vulnerable to cache poisoning, www.kb.cert.org/vuls/id/800113
- [24] C. Perkins "IP Encapsulation within IP", RFC 2003
- [25] P. Mockapetris, "Domain Names - Implementation and Specification", RFC 1035



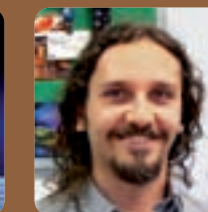
Stefano Brusotti

Laureato in Scienze dell'Informazione è entrato nel Gruppo Telecom Italia nel 1996, occupandosi di sistemi di pagamento e moneta elettronica; nel 1997 ha conseguito il Master COREP in Telecomunicazioni cominciando poi a sviluppare iniziative di ricerca e in seguito di innovazione per la sicurezza delle reti, dei sistemi e dei servizi ICT su cui ha ormai maturato oltre quindici anni di esperienza. Attualmente è responsabile dell'area Security Innovation di Telecom Italia.



Marco Gazza

Laureato in Scienze dell'Informazione e specializzato con Master Corep in Telecomunicazioni è dal 1996 nel Gruppo Telecom Italia, prima per occuparsi di Intelligenza Artificiale e sistemi di Billing poi per sviluppare prototipi software in tema di Network Simulation ed Anomaly Detection, con particolare enfasi sul protocollo DNS. Attualmente è senior Security Expert.

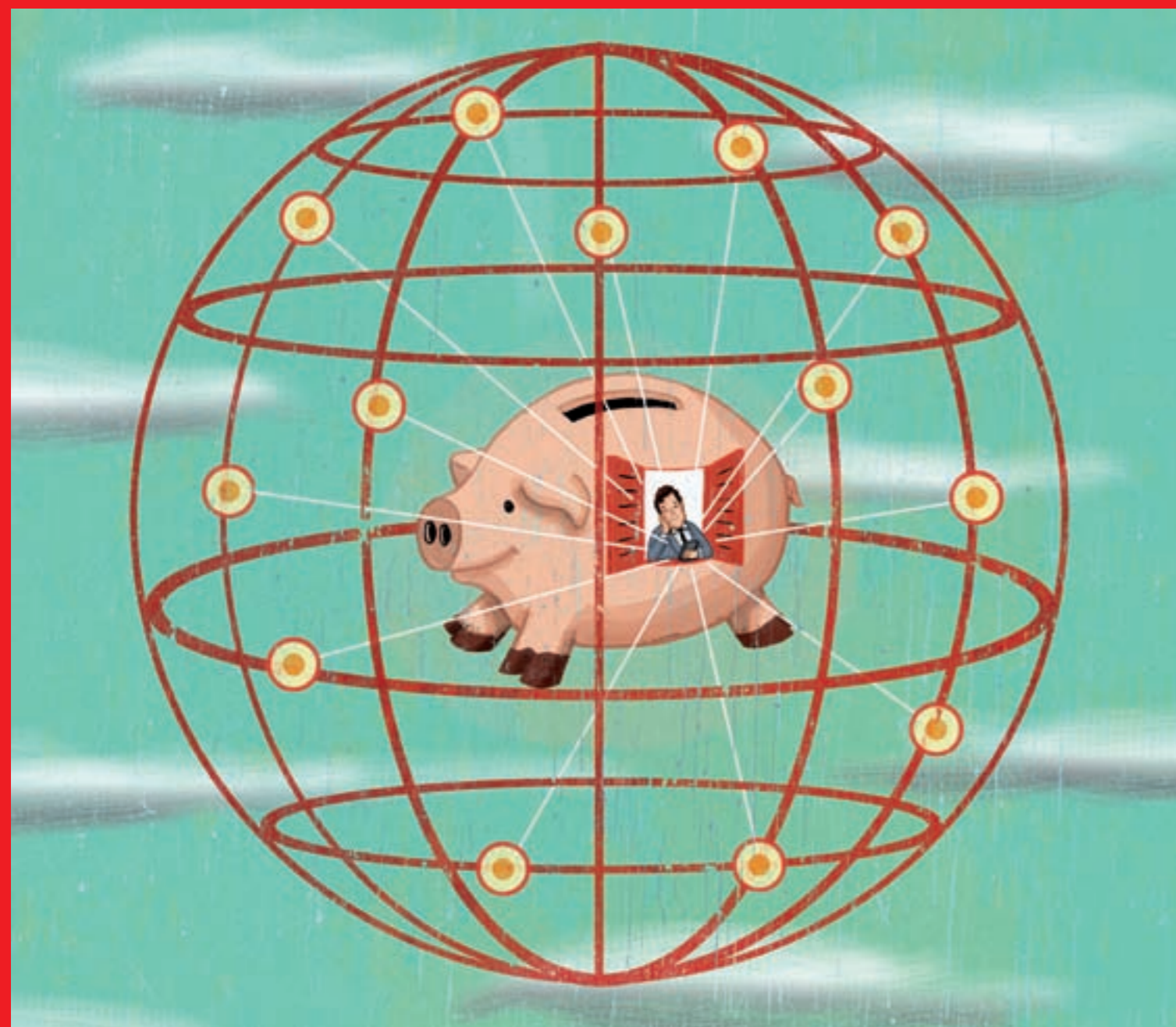


Dario Lombardo

Senior Security Expert Ingegnere informatico con master in Telecomunicazioni è entrato in Azienda nel 2001. Le prime esperienze sono state di vulnerability assessment, per poi proseguire con lo sviluppo di sistemi innovativi in ambito Security con particolare attenzione verso i protocolli di routing, il VoIP e il DNS. Oggi è senior Security Expert e responsabile del progetto jdshape.

CONNECTED HOME: OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA E AMBIENTALE

Luca Giacomello, Patrizia Vaccarone



L'attenzione alla riduzione degli impatti energetici e ambientali sta acquistando sempre maggiore importanza e un operatore di telecomunicazioni ha l'opportunità di contribuire agli obiettivi generali di eco-efficienza, agendo su una delle aree di miglioramento più significative: la Connected Home. In quest'area, che rappresenta il luogo di fruizione dei servizi broadband, i miglioramenti possono essere significativi con interventi diretti che riguardano l'impatto ambientale di prodotti e tecnologie, la riduzione dell'energia elettrica utilizzata, il monitoraggio e la corretta gestione dei consumi. Elemento chiave della Connected Home è l'Access Gateway, che mette in comunicazione la rete domestica con la rete internet broadband e che è un apparato "sempre acceso", con consumo continuo nelle 24 ore, e installato in grandi volumi.

1 Il "ciclo di vita" e i vantaggi per l'Azienda

Il miglioramento ambientale riguarda tutto il ciclo di vita di un prodotto e non solo la fase di utilizzo, con i relativi consumi energetici ad esso imputabili. Per questo è opportuno approcciare la tematica dell'ottimizzazione ambientale di Access Gateway e terminali considerando la provenienza ed il tipo di materia prima, i processi di trasformazione che consentono di ottenere il prodotto finito, l'uso consapevole del prodotto stesso e la corretta gestione del fine vita: riciclo e riuso o smaltimento. Si tratta cioè del cosiddetto approccio "dalla culla alla tomba" ("from cradle to grave").

Telecom Italia ha intrapreso un percorso di ottimizzazione dei prodotti a partire dalla fase di specifica che rientra nell'attuazione della Policy di Green Procurement che l'Azienda ha definito nel corso del 2009 e che si è impegnata ad applica-

re, perseguendo gli obiettivi generali di miglioramento degli aspetti ambientali che Telecom Italia si è data e sui quali ogni anno rende conto agli stakeholder attraverso il Bilancio di Sostenibilità. Telecom Italia Lab ha contribuito attivamente alla definizione della Policy, agendo da co-editor insieme alla funzione Group Sustainability.

In generale per l'analisi del ciclo di vita viene adottata la metodologia classica, indicata anche a livello di normative ISO, per la valutazione degli impatti ambientali di un prodotto o servizio, e che corrisponde all'approccio LCT (*Life Cycle Thinking*). Principio fondamentale delle Politiche Integrate di Prodotto sancite dalla Commissione Europea, il Life Cycle Thinking prevede di considerare tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto/servizio e di identificare le aree critiche dal punto di vista ambientale e le opportunità di miglioramento, nonché gli attori coinvolti. Non tutte le fasi del ciclo vita

del prodotto sono sotto il controllo di un'unica entità: ad esempio, nel caso tipico dell'apparato di telecomunicazioni, la produzione e la distribuzione dei prodotti sono a carico del costruttore, mentre la fase di uso è sotto diretto controllo dell'operatore. La fase di progettazione è condotta dal costruttore, ma sulla base di requisiti e linee guida fornite dall'operatore, mentre la gestione del "fine vita" può vedere coinvolti entrambi gli attori, ma anche enti esterni quali aziende private, enti locali o organismi governativi (in caso di campagne a livello nazionale). Il tutto rende quindi complesso il quadro che porta all'identificazione dei miglioramenti. Nella Figura 1 sono schematizzate le fasi di ciclo di vita del prodotto, ciascuna delle quali richiede l'utilizzo di risorse e di fasi di trasporto e produce rifiuti, ma anche possibilità di riciclo o riuso.

L'applicabilità dell'approccio LCT al mondo Access Gateway è più che adatta per l'identificazione dei miglioramenti. Data la definizione delle fasi del ciclo di vita, tuttavia, si è scelto di partire dall'analisi dell'esistente, per identificare azioni correttive che si possano ribaltare sulla progettazione delle future generazioni di prodotto. Non si è quindi partiti dalla progettazione ex novo (mestiere tipico del costruttore e non dell'operatore), ma dall'analisi delle caratteristiche degli AG attuali per quanto attiene alla fase di uso (leggasi: consumi energetici) e fine vita (rigenerazione del prodotto o dismissione al termine del ciclo di vita), per poi derivare requisiti di Ecodesign che siano applicabili per la fase di progettazione.

Migliorare la prestazione ambientale di Access Gateway e apparati della Connected Home significa peraltro pensare ad

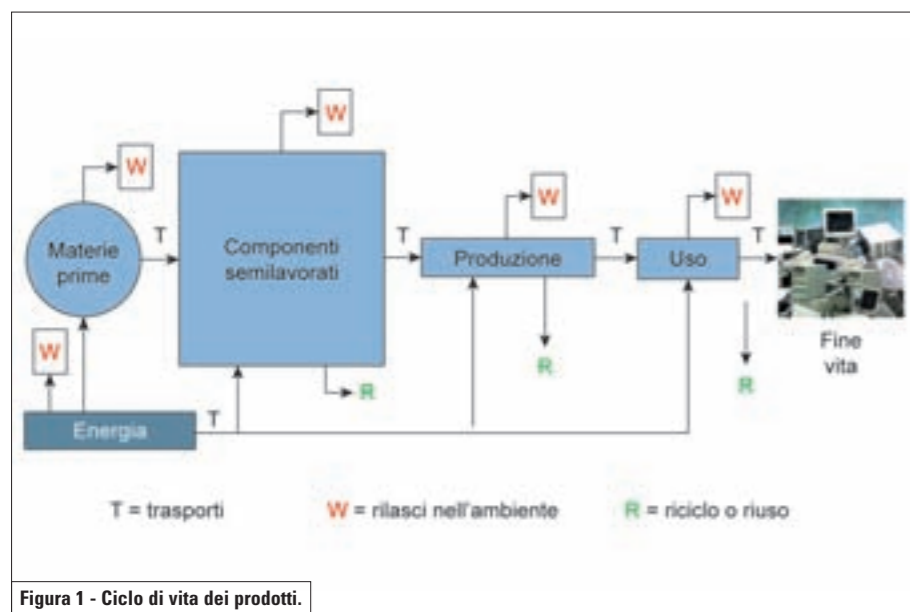


Figura 1 - Ciclo di vita dei prodotti.

azioni migliorative la cui sostenibilità economica sia verificata. In questo senso l'accezione del prefisso "eco" nella parola ecoefficienza è riferibile sia all'aspetto ecologico, sia a quello economico.

L'approccio alla problematica dei terminali in un'ottica di Life Cycle Thinking non risponde solo a logiche di miglioramento continuo dei processi interni e di minimizzazione degli impatti verso l'esterno, ma ha anche delle implicazioni di carattere finanziario. Da qualche anno sono stati creati dei particolari indici per quelle società che si distinguono non solo per i loro fatturati, ma anche per l'attenzione a sviluppare attività sostenibili per l'ambiente e per la società. I due indici più importanti a livello mondiale sono lo statunitense DJSI (*Dow Jones Sustainability Index*), e il londinese FTSE4good, nel quale rientra anche Telecom Italia. I miglioramenti realizzati sui prodotti della Connected Home possono quindi tradursi direttamente nell'aumento di valore del titolo.

L'implementazione di miglioramenti espressamente relativi alla tematica dell'efficienza energetica abilita inoltre all'accesso a strumenti di incentivazione di carattere economico, come i Titoli di Efficienza Energetica o Certificati Bianchi. Tali titoli sono negoziabili e soggetti quindi a un mercato a sé stante, e rappresentano un controvalore economico proporzionale all'entità dei risparmi energe-

tici dimostrati dalla singola azienda. Le iniziative di riduzione degli impatti ambientali, per essere credibili, devono poi essere corredate da una dichiarazione o un sistema di marcatura che ne dimostri l'effettivo vantaggio in termini di ecocompatibilità. Questo tipo di dimostrazione pubblica dei vantaggi ambientali raggiunti è importante sia per la correttezza della comunicazione verso il cliente finale, sia per migliorare l'immagine aziendale. Le dichiarazioni ambientali di prodotto standardizzate dalle Norme ISO 14025 [6] e ISO 14021 [4] sono lo

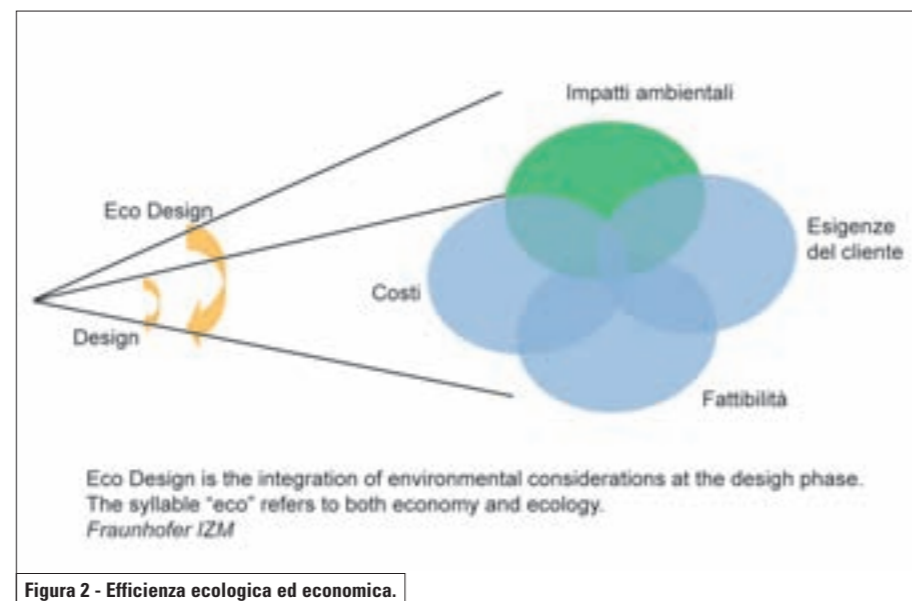


Figura 2 - Efficienza ecologica ed economica.

strumento principale da considerare, quando non esista un programma di marcatura ecologica della categoria di prodotto (Ecolabel, normato da ISO 14024 [5]), certificato da terza parte.

Telecom Italia sta lavorando per creare una gamma di prodotti che saranno corredate da dichiarazione ambientale che ne certifica il miglioramento rispetto agli stessi prodotti di generazione precedente. L'approccio scelto attualmente è quello dell'Autodichiarazione di Tipo II definito da ISO 14021. L'evoluzione naturale sarà in futuro rappresentata, per specifici prodotti, dall'elaborazione di una Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD) come da linee guida ISO 14025.

2 Il "Green Gateway"

L'home gateway è un elemento chiave per i possibili miglioramenti dell'impatto ambientale associato ai servizi della Casa Digitale. Infatti, esso è un apparato always on (quindi, consuma ininterrottamente energia) ed è associato a ogni accesso broadband gestito dall'operatore di telecomunicazioni. I volumi in gioco sono nell'ordine dei milioni di pezzi e il miglioramento ambientale del singolo apparato si ripercuote su volumi così ampi da rendere significative anche piccole ri-

duzioni dei consumi, o modifiche delle modalità costruttive. Su questo tipo di prodotto quindi Telecom Italia ha scelto di adottare l'approccio di ottimizzazione secondo il Life Cycle Thinking.

Le aree di miglioramento per gli home gateway sono principalmente due: il Design For Environment e l'ottimizzazione dei consumi energetici. Più in dettaglio, per quanto riguarda l'ecodesign, è possibile pensare alla riduzione del carico ambientale dei gateway agendo su:

- modalità di assemblaggio, riducendo il numero di accoppiamenti, minimizzando il numero di viti e favorendo aggranci a incastro;
- scelta dei materiali dell'involucro esterno, cercando il miglior compromesso tra resa estetica e funzionale e utilizzo di materiali riciclati, o riciclabili, e comunque evitando "blend" di materiali che complicano le operazioni di riciclo per definizione;
- scelta dei materiali per i cavi (connessioni di rete, alimentatore) evitando l'uso di materiali di difficile processabilità post consumo e potenziale pericolosità e favorendo materiali riciclabili o riciclati non contenenti composti del cloro;

- scelta del substrato per la scheda elettronica, che deve contenere il minor quantitativo possibile di composti brominati (contenuti tipicamente nei ritardanti di fiamma), i quali complicano le operazioni di fine vita, in quanto, se sottoposti a procedimenti di incenerimento, producono sostanze nocive.

Per quanto riguarda i consumi energetici, se da un lato il prodotto è particolarmente critico, in quanto fonte di consumo energetico continuo e quindi di impatti inevitabili, dall'altra può consentire una gestione oculata dell'energia utilizzata, in quanto, per la maggior parte delle ore di funzionamento, solo un sottoinsieme delle sue funzionalità deve rimanere attivo, in funzione del numero e della tipologia di servizi supportati. Un esempio tipico è rappresentato dal funzionamento notturno dell'home gateway che supporta anche servizi voce su IP: in assenza di qualsiasi altro servizio internet, non è comunque possibile procedere allo spegnimento completo dell'apparato vista la necessità di ricevere chiamate in ingresso o di effettuare chiamate (anche di emergenza) in uscita. Tuttavia, molte delle funzioni dell'apparato po-

trebbero essere disattivate (ad esempio, tutte le interfacce non utilizzate dal servizio VoIP, incluse quelle wireless).

Risulta quindi fondamentale, per ottimizzare gli aspetti progettuali:

- 1) effettuare un'analisi approfondita dei consumi per singola funzionalità;
- 2) identificare scenari intermedi tra lo spegnimento e la piena funzionalità, delineando stati di cosiddetto "low power";
- 3) progettare meccanismi software per favorire la transizione verso stati di consumo sempre più basso nel momento in cui si siano le condizioni, ma al tempo stesso garantendo tempi di transizione tra stati che siano accettabili dal punto di vista della usabilità.

Nel corso del 2009 sono stati effettuate in Telecom Italia Lab alcune sessioni di test di consumo energetico su modem e home gateway commerciali, dopo che nel 2008 si era effettuata una prima caratterizzazione dei prodotti Telecom Italia attualmente in campo. L'attività è stata sviluppata in collaborazione con Testing Lab - Laboratorio di Protezione e Sicurezza ed Efficienza Energetica.

La Figura 3 illustra come sia possibile associare a specifiche funzionalità dell'ap-

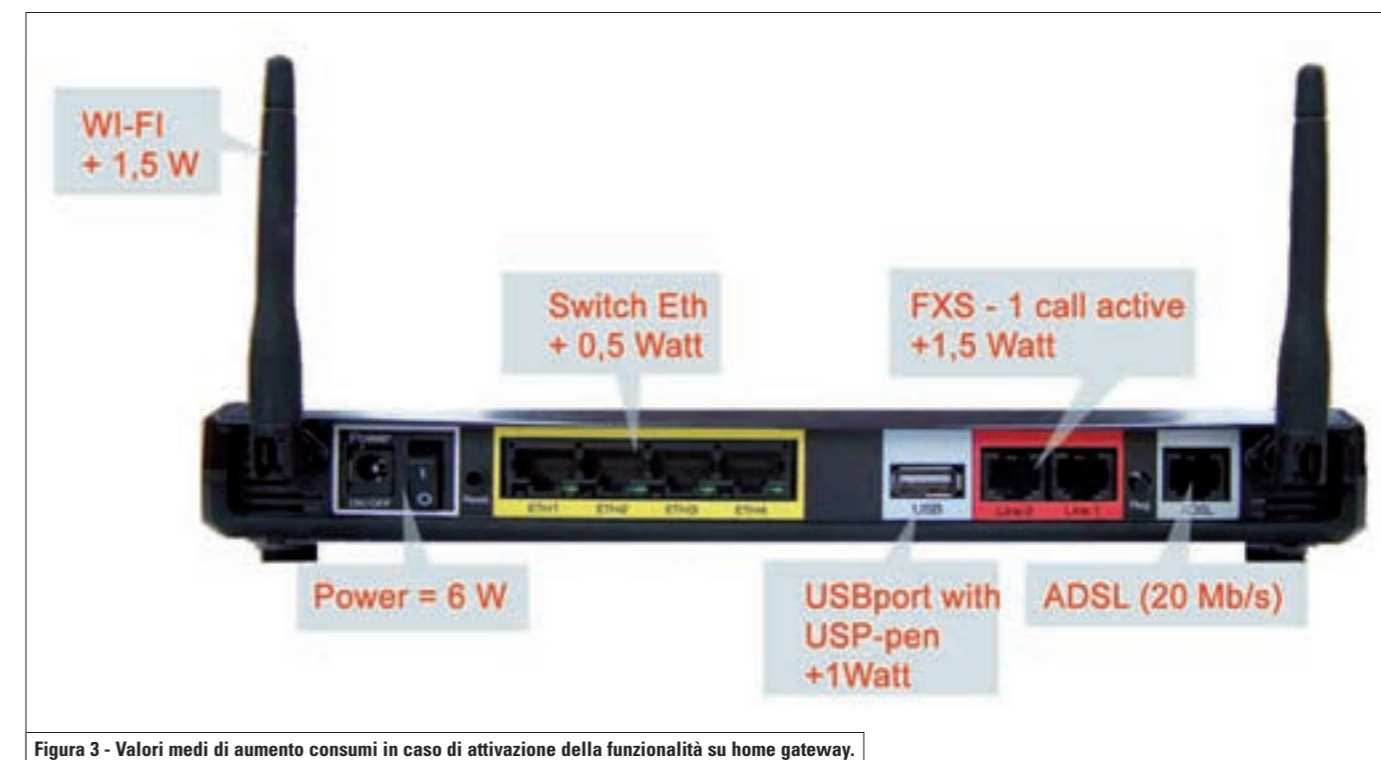


Figura 3 - Valori medi di aumento consumi in caso di attivazione della funzionalità su home gateway.

parato un valore di assorbimento di riferimento, utile sia per classificare il singolo prodotto, che per prevedere il consumo di prodotti simili che possano essere inseriti nell'ambito delle offerte in essere.

In seguito a questa prima attività di analisi è nata l'idea, in collaborazione con Swisscom, di lanciare un contest a livello internazionale per stimolare i vendor (in prima battuta i chip maker) alla produzione di soluzioni ad alta efficienza energetica. Questa iniziativa si è poi consolidata nel lancio del benchmark "GREEN" (*Green Router for Energy Efficient Home Networking*) nell'ambito dell'Energy Task Force di ETNO (*European Telecommunication Network Operators*) e col supporto tecnico di HGI (*Home Gateway Initiative*).

Telecom Italia ha assunto il ruolo di laboratorio di riferimento per l'effettuazione dei test e ha contribuito alla stesura dei requisiti per gli home gateway che avrebbero dovuto partecipare al benchmark ed ha assunto il ruolo di laboratorio di riferimento per i test eseguiti sugli apparati che hanno partecipato al benchmark. Per capire quale miglioramento in termini di efficienza energetica sia possibile raggiungere, sono state analizzate le soluzioni attualmente utilizzate da molti operatori europei, che hanno messo a disposizione i loro apparati e le soluzioni innovative dei chipset maker.

I risultati hanno dimostrato che mentre da un lato diversi vendor sono vicini al raggiungimento di buoni obiettivi di efficienza, dall'altra esiste ancora una notevole disparità tra soluzioni basate su chip e reference board diverse, da cui traspare come l'importanza di tenere conto dell'ottimizzazione energetica sia fondamentale nella fase di progettazione preliminare del prodotto.

Sulla base delle misure effettuate è stato possibile valutare una caratterizzazione di consumo "per servizio" e allo stesso tempo, definendo alcuni stati di consumo intermedio che l'operatore può essere interessato a richiedere al produttore, corredare la richiesta di requisiti relativi ai tempi di transizione tra stati.

Ai valori di consumo energetico misurati sia per funzionalità, sia per scenario di servizio, è poi possibile associare una mi-

sura di impatto ambientale secondo unità di misura specifiche. Infatti, al consumo del singolo kWh è possibile associare un'analisi di impatto ambientale tipo Life Cycle Assessment: a partire dall'inventario di risorse utilizzate e dei rifiuti ed emissioni prodotte per rendere quella quantità di energia disponibile al cliente finale, si deriva poi un'analisi degli impatti, associando alle singole sostanze agli effetti ambientali tipici (riscaldamento globale, acidificazione, eutrofizzazione delle acque, ...). Un approccio semplificato consente di associare al singolo kWh il cosiddetto CO₂ footprint: riconoscendo che le emissioni di anidride carbonica sono l'elemento che maggiormente influenza il riscaldamento globale, dare una stima delle emissioni di CO₂ prodotte in tutti i processi di trasformazione da materie prime a energia disponibile per il cliente consente di avere una fotografia sintetica ma attendibile dell'impatto associato all'unità di energia.

In conclusione, associare all'home gateway valori target di consumo significa identificare degli obiettivi di emissioni, che paragonate alle generazioni precedenti di prodotto producono un contributo al raggiungimento degli obiettivi globali di riduzione del riscaldamento globale.

Il benchmark GREEN ha dimostrato che l'utilizzo e la diffusione di soluzioni più efficienti su apparati ADSL e VDSL, nonché la gestione intelligente delle funzionalità utilizzate in dipendenza dalla tipologia dei servizi supportati, permette di raggiungere una riduzione degli attuali consumi energetici fino al 60%.

Considerando la differenza di consumo tra l'apparato più energivoro e la soluzione migliore testata in GREEN, l'ipotetica sostituzione del parco apparati installato con i nuovi prodotti corrisponderebbe ad una riduzione del "carbon footprint" in fase di uso pari a circa 56.8000 tonnellate di CO₂ all'anno. Il miglioramento in termini di emissioni è paragonabile all'impatto ambientale evitato se si tenessero ferme ogni anno oltre 310.000 auto utilitarie!

In Figura 4 è rappresentato il risparmio energetico che si avrebbe in un anno su un parco installato di 5 milioni di apparati; questo per evidenziare che anche se l'im-

patto del singolo apparato può sembrare minimo, in realtà l'impatto globale dell'intero parco installato non è trascurabile.

Altro elemento chiave per l'efficienza energetica è l'alimentatore dell'Access Gateway. Il tema è stato affrontato considerando anche gli altri dispositivi domestici che possono fare uso della stessa tipologia di "power supply", anche se al momento la situazione di mercato vede una frammentazione notevole di tipologie tra loro diverse ma del tutto assimilabili.

Anche per gli alimentatori le azioni migliorative sono determinate dagli aspetti energetici e dalle caratteristiche di ecodesign e riutilizzabilità: il volume di prodotti in circolazione, ma soprattutto le svariate tipologie di alimentatori utilizzati per prodotti diversi ma con esigenze di tensione e corrente simili, consentono di prevedere vantaggi ambientali notevoli nel caso di standardizzazione di una soluzione unificata o comunque di una serie di categorie standard di alimentatori che possano essere più facilmente riutilizzati. L'iniziativa di standardizzazione del Power Supply nasce prima in contesto mobile (OMTP/GSMA) poi nel corso del 2009 Telecom Italia e altri operatori hanno deciso di lanciare l'iniziativa anche per apparati di rete domestica, con particolare focus sull'home gateway. Per questo Telecom Italia Lab si è fatta portatrice di una proposta, poi accettata, di definizione requisiti per un CPS (*Common Power Supply*) per home gateway e altri apparati di rete domestica quali hub, switch, access point wireless, fino ad arrivare a set top box, NAS e dispositivi multimediali.

L'attività tecnica HGI si è chiusa a inizio 2010: nel frattempo, sotto la spinta degli operatori e l'azione di coordinamento del GESI-EEIOCG (*Inter Operators Coordination Group on Energy Efficiency*), alcuni work item sul tema sono stati aperti in ETSI - ATTN con la dichiarata intenzione di partire dalla bozza HGI per consolidare uno standard de iure. Attualmente, sono state approvate la Norma che definisce i requisiti generali (ES 202 874-1) e sono in fase di pubblicazione le specifiche implementative delle sottocategorie di Common Power Supply ivi definite (in totale 4 per coprire tutti gli apparati di rete domesti-

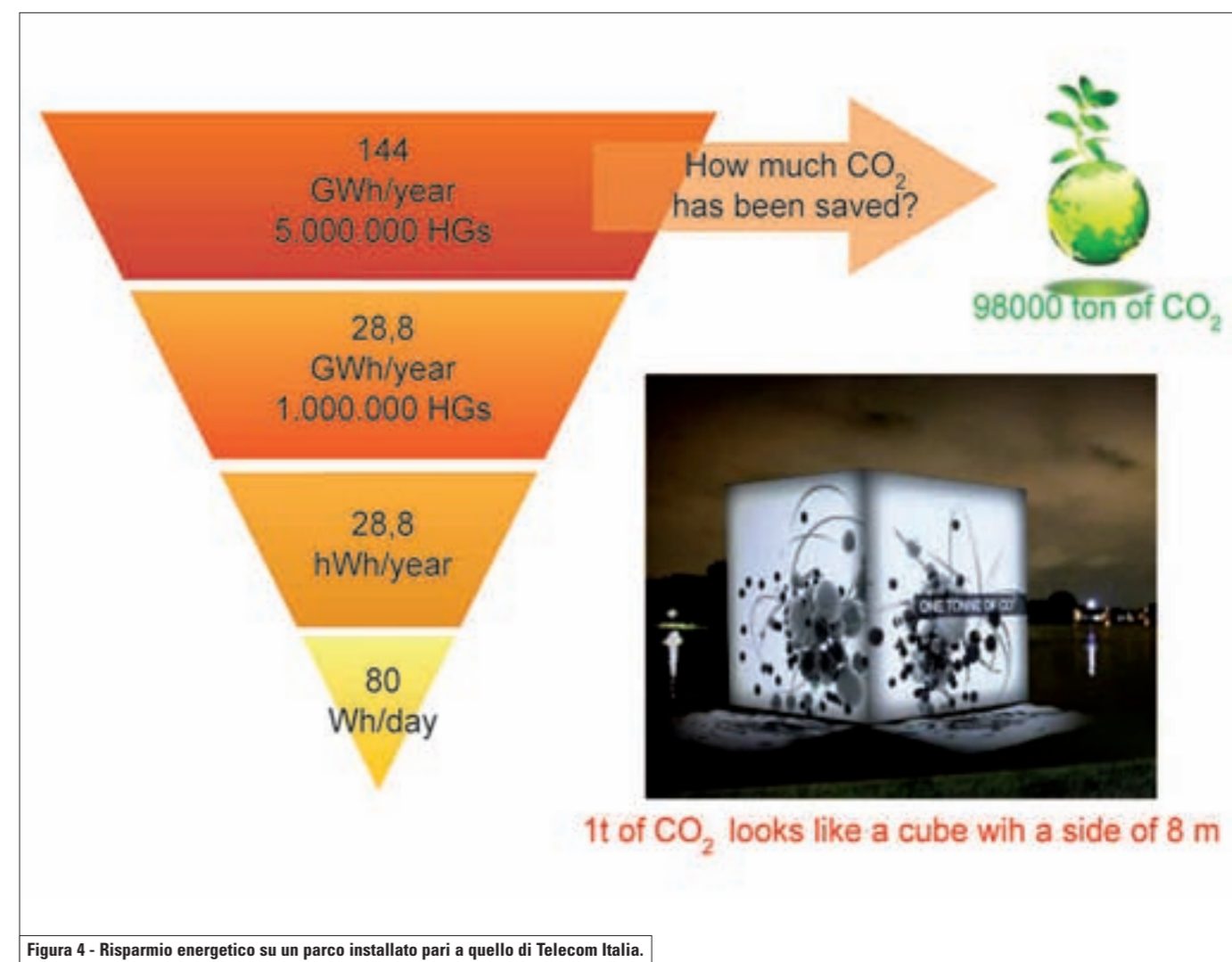


Figura 4 - Risparmio energetico su un parco installato pari a quello di Telecom Italia.

ca); Telecom Italia Lab è editor delle varie specifiche ETSI sul tema CPS.

Anche ITU-T, che già ha dichiarato l'endorsement ufficiale della specifica per il charger universale di terminali mobili di origine OMTP, ed ha dichiarato analoghi aspettative per modem e terminali fissi di rete domestica e indica HGI e ETSI come possibili fonti.

3 Il "ciclo di vita" e i vantaggi per l'Azienda

Come citato in precedenza, per lunghi periodi della giornata gli apparati della Connected Home sono in uno stato operativo di stand-by, ed il periodo di pieno funzionamento per la maggior parte di essi può

essere stimato in media in circa 4 ore giornaliere massime, non necessariamente continuative. In queste condizioni se gli apparati domestici sono dotati di uno standby "passivo", a cui cioè corrisponda un consumo prossimo a quello di apparato spento, si realizzerebbe un notevole risparmio di energia elettrica consumata, con ripercussioni positive anche sulla bolletta energetica del cliente finale.

Nell'ambito di un tirocinio relativo al Master Innovazione ICT, svolto presso Telecom Italia Lab e dedicato all'ottimizzazione energetica della Digital Home, si è condotta un'analisi energetica comparativa di uno scenario di casa connessa, utilizzando in un caso apparati di consumer electronic largamente diffusi, ma senza alcuna attenzione alle problematiche di

consumo energetico (chiamato RETE1), e nell'altro apparati disponibili sul mercato con impatto ambientale ridotto sia dal punto di vista dei consumi, che dal punto di vista del supporto di meccanismi di power saving (chiamato RETE2). Lo scenario domestico della Connected Home si è evoluto notevolmente negli ultimi anni con l'ingresso nelle case della condivisione dei media (foto, video), della IPTV e dei servizi broadcast per la larga banda. Nello scenario analizzato si considerano come elementi chiave l'home gateway elemento di connessione tra il mondo internet ed il mondo domestico, il set top box che permette di fruire dei servizi di IPTV, telefoni cordless in tecnologia DECT, smartphone e Connected TV che si collegano direttamente all'home ga-

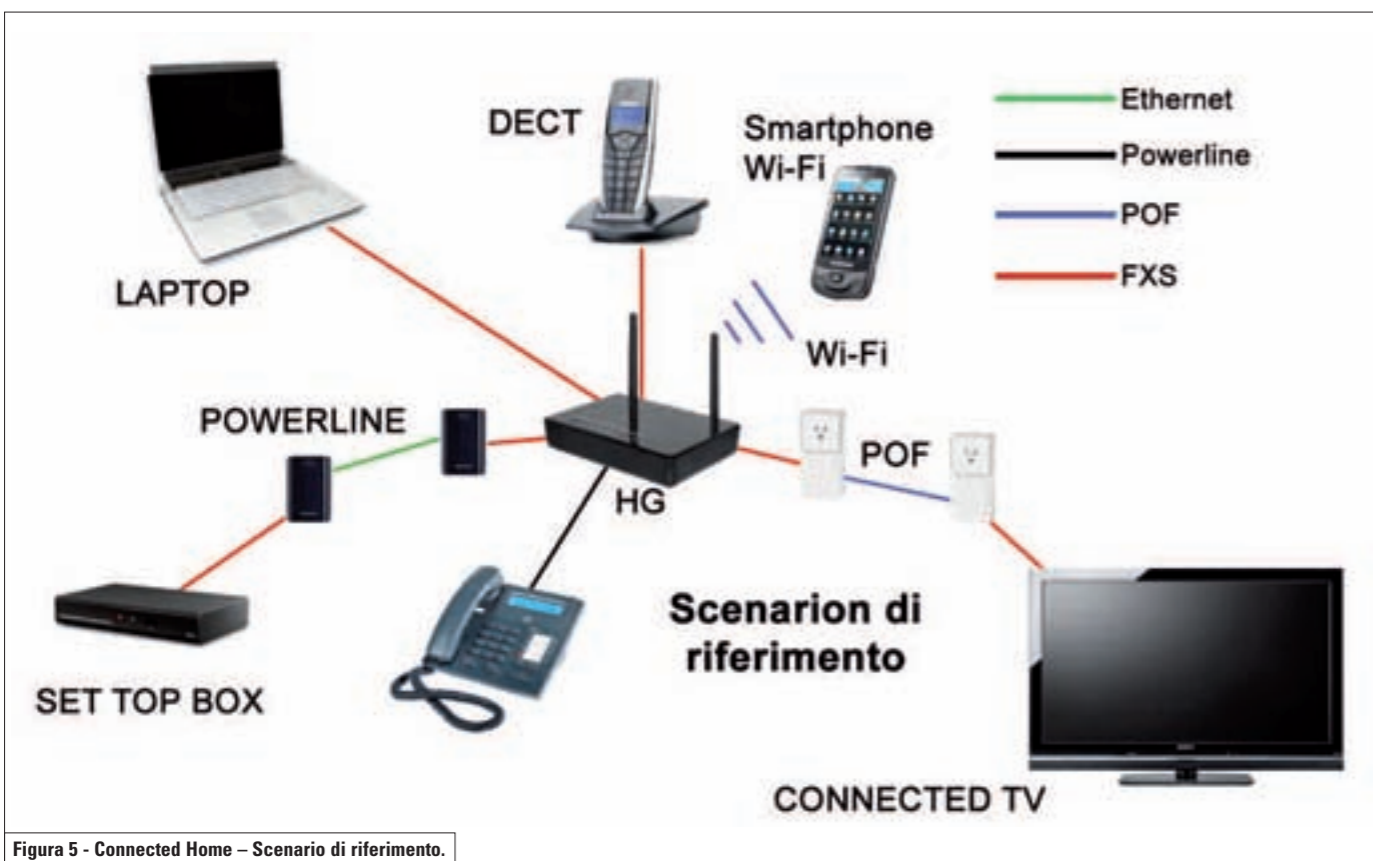


Figura 5 - Connected Home - Scenario di riferimento.

taway per la fruizione dei servizi broadband. Inoltre la connettività domestica è assicurata introducendo apparati Wi-Fi o power line che permettono di trasmettere i dati sulla rete elettrica di appartamento; tutti questi device cosiddetti "infrastrutturali" introducono un consumo energetico a volte molto significativo. Nel seguito è descritta la tipologia di apparati utilizzati, mentre lo scenario globale considerato è rappresentato in Figura 5.

- un **HG (Home Gateway)** dotato di switch Fast Ethernet a 4 porte, 2 porte FXS, una porta USB, Wi-Fi IEEE 802.11b/g;
- un **PC laptop** collegato all'HG mediante una delle interfacce ethernet;
- un **cordless DECT** collegato all'HG mediante cavo di rete ethernet;
- un **STB (Set Top Box)** per la ricezione di streaming audio/video collegato all'HG mediante l'utilizzo di **bridge ethernet - powerline (PLT)**;
- una **Connected TV** collegata via ethernet all'HG, attraverso due **optical media converter (POF)**;
- uno **smartphone** in collegamento con

l'HG tramite l'interfaccia radio Wi-Fi; un **telefono** collegato all'HG mediante porta FXS.

Gli stati di funzionamento degli apparati sono stati ipotizzati come definiti dal Code of Conduct for Broadband Equipment [4], a cui Telecom Italia ha aderito nel 2009. L'analisi è stata svolta considerando due diversi stati di funzionamento messi a confronto per i due scenari ipotizzati, in particolare i consumi misurati sono quelli dell'home gateway, del set top box e dei dispositivi per fornire connettività alla casa (prodotti a catalogo Telecom Italia) escludendo i consumi di Televisori e PC in quanto non sotto il diretto controllo dell'operatore.

- Uno stato di funzionamento chiamato **low power**, in cui si ipotizza che tutti i device siano connessi alla rete domestica, in uno stato di standby (se supportato) e senza alcun servizio attivo.
- Uno stato di funzionamento chiamato **full power**, in cui si considera che tutte le interfacce dell'HG siano attive per fornire servizi alla casa.

Lo stato di full power prevede: una sessione dati attiva sul PC (navigazione internet), la fruizione di contenuti audiovisivi attraverso il STB, collegato all'home gateway con bridge powerline, un traffico dati sulla connessione verso la connected TV (internet TV), connessa all'home gateway tramite dispositivi in fibra ottica (optical media converter), due chiamate voce una con il telefono collegato alla porta FXS, ed una con il cordless DECT oltre che una sessione dati dello smartphone collegato tramite WiFi. I consumi dell'home gateway sono quelli più pesanti rispetto a quelli degli altri apparati della Connected Home presi in considerazione.

In Figura 6 sono riportati i valori di consumo energetico assoluti e ripartiti per apparato per i due casi oggetto del confronto (RETE 1 e RETE 2) considerati. Si nota come sia possibile migliorare le prestazioni energetiche della home network, utilizzando dispositivi in grado di passare ad uno stato di low power, in cui la potenza utilizzata viene diminuita sensibilmente. Per lo scenario di RETE2 si sono usati di-

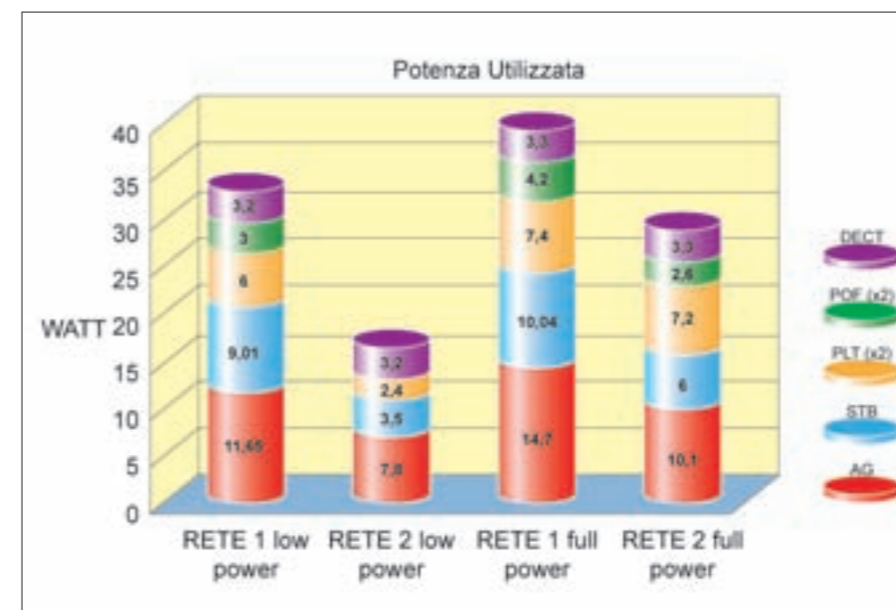


Figura 6 - Potenza assorbita dai dispositivi della Connected Home per i due scenari.

positivi dotati di meccanismi di power management oltre che con consumi ridotti, in particolare un Access Gateway (AVM Fritz Box), che implementa meccanismi di power save e spegne le interfacce non utilizzate, apparati di power line (Pirelli) e POF (Coppergate) che implementano lo stato di standby riducendo i consumi in assenza di traffico dati.

Per il singolo scenario ottimizzato (RETE2) nel passaggio dallo stato full power a quello low power, si ottiene un risparmio energetico superiore al 42%, contro una riduzione del 19% per il singolo scenario non ottimizzato (RETE1).

Dall'analisi dei consumi si evince che i dispositivi per lo scenario ottimizzato sono maggiormente performanti, da un punto di vista energetico, non solo nello stato di low power, ma altrettanto, in quello di full power. Si parte, infatti, da valori di potenza utilizzata in full power di quasi 40 Watt, per passare, nella seconda realizzazione, ad un computo totale di energia utilizzata di poco superiore a 29 Watt.

La riduzione di potenza, necessaria al funzionamento della home network, nel confronto tra le due implementazioni "Rete 1" e "Rete 2" diventa così pari al 47,3% nello stato di low power e al 26,3% nello stato di full power. In Figura 7 si vede come il peso dei diversi dispositivi che compongono la home network sia differente al variare

3.1 Carbon footprint

In prima analisi è possibile affermare che, per una data home network, i due stati di funzionamento persistano, mediamente, nell'arco di una giornata (24 ore), per un totale di 4 ore, per quanto riguarda lo stato full power e di 20 ore per lo stato low power. A partire da questa considerazione si può calcolare un Duty Cycle annuo, in kWh, il quale a sua volta può essere comparato ad una misura di CO₂ equivalente immessa nell'atmosfera, mediante la seguente:

$$1\text{kWh} = 0,68\text{kg CO}_2\text{eq}^1$$

Questa conversione porta a determinare il risparmio, in termini di CO₂ immessa in atmosfera, su un periodo di osservazione di un anno, grazie all'utilizzo di dispositivi energeticamente evoluti. Per i due scenari della home network si ottiene un consumo di duty cycle annuo pari a:

$$DCA_{\text{rete1}} = (20 \times 32,06 + 4 \times 39,64) \times 365 \approx 292\text{kWh}$$

$$DCA_{\text{rete2}} = (20 \times 16,9 + 4 \times 29,2) \times 365 \approx 166\text{kWh}$$

La maggiore efficienza energetica dei dispositivi utilizzati nella RETE 2 porta, perciò, ad una riduzione del consumo

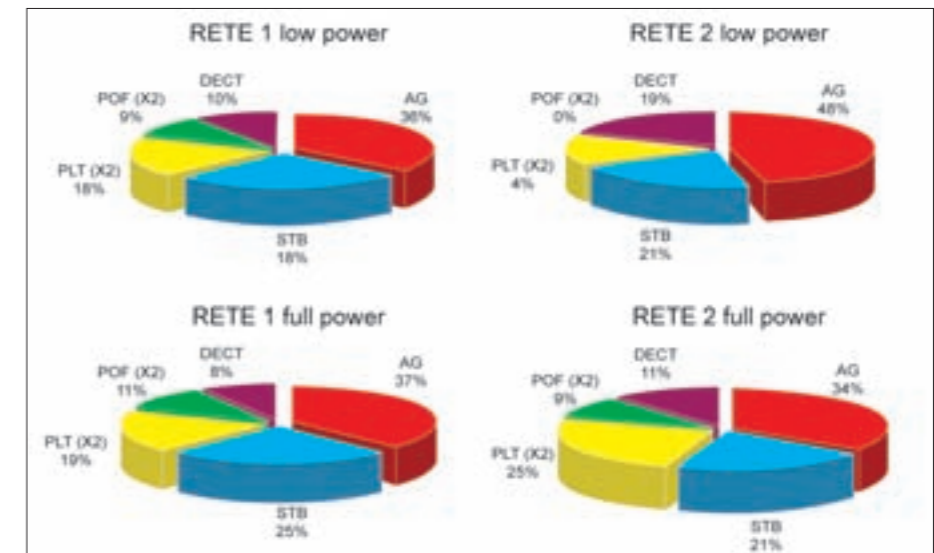


Figura 7 - Percentuali di potenza utilizzata dai diversi dispositivi nei quattro casi.

¹ Dati Telecom Italia su base Database Ecoinvent/ETH Zurich

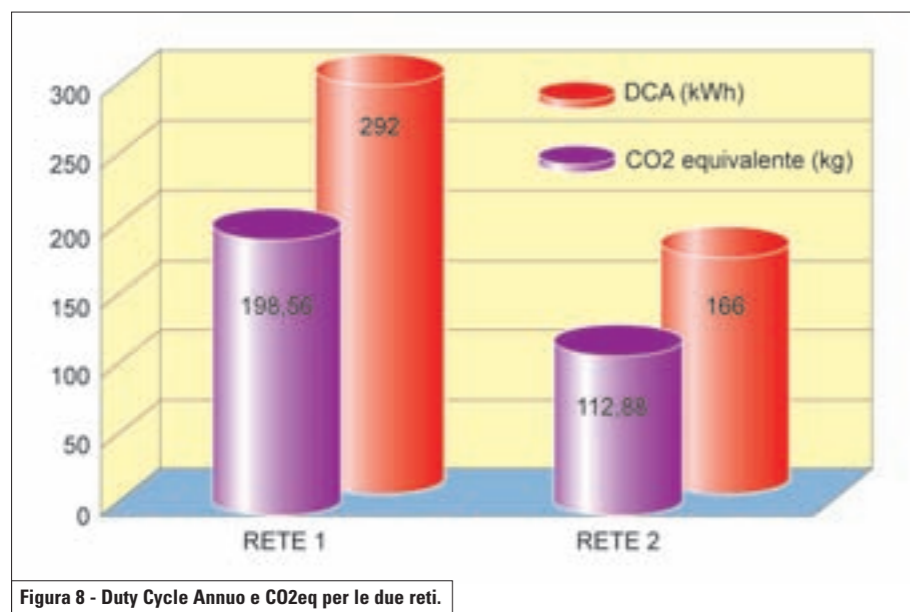


Figura 8 - Duty Cycle Annuo e CO2eq per le due reti.

per il duty cycle annuo per la RETE 2 pari al 46% di quello della RETE 1.

La Figura 8 mette in evidenza il delta di valori tra le due reti, evidenziando come, la quantità di CO_{2eq} che viene prodotta per il funzionamento della RETE 1 sia superiore a 198 kg, mentre, quella prodotta per alimentare la RETE 2 sia di poco inferiore a 113 kg. Questo vuol dire che, in media, la realizzazione di reti domestiche medianti dei dispositivi avanzati, dal punto di vista energetico, porta ad una riduzione annuale di CO₂ immessa superiore ad 85 kg, per ogni home network. Su scala globale quindi, per ogni milione di clienti dotati di questo scenario si ha una riduzione media di emissioni di circa 85.000 tonnellate.

nomico sia per quanto riguarda i costi diretti, sia per l'accesso a meccanismi di incentivazione, sia ancora per l'aumento del valore del titolo in ottica globale di sostenibilità. In generale, l'operatore di telecomunicazioni può quindi vedere il miglioramento sul fronte energetico e ambientale come elemento differenziante rispetto ai competitori e quindi può cogliere nuove opportunità di mercato, contribuendo nello stesso tempo al raggiungimento di obiettivi globali. Per raggiungere gli obiettivi, rivestono fondamentale importanza le partnership con i fornitori e la cooperazione a livello internazionale coi vari stakeholder.

luca.giacomello@telecomitalia.it
patrizia.vaccarone@telecomitalia.it

Conclusioni

Gli scenari di servizio di rete domestica Telecom Italia presentano possibilità di miglioramento ambientale significativo, grazie ai volumi in gioco (milioni di clienti e corrispondente alto numero di terminali impiegati) e alle possibilità di razionalizzazione dell'uso di energia. Le possibilità di ottimizzazioni dirette sui prodotti sono legate all'applicazione dell'approccio Life Cycle Thinking e sono collegabili a vantaggi di ordine eco-

Acronimi

DFE: Design For Environment
LCA: Life Cycle Assessment
LCT: Life Cycle Thinking
IPCC: International Panel on Climate Change
ISO: International Standards Organization
ETNO: European Telecommunications Network Operators
OMTP: Open Mobile Terminal Platform
HGI: Home Gateway Initiative
CoC: Code of Conduct



Bibliografia

- [1] Integrated Product Policy – <http://ec.europa.eu/environment/ipp/>
- [2] Telecom Italia – Bilancio 2009 – Sezione Sostenibilità - <http://2009sustainabilityreport.telecomitalia.it/it>
- [3] ISO 14021:1999 Environmental labels and declarations – Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)
- [4] European Commission – Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment Version 3 – November 2008
- [5] ISO 14024:1999 Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures
- [6] ISO 14025:2006 – Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures
- [7] DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment



Luca Giacomello

Ingegnere elettronico, dal 1994 in Telecom Italia dove si è occupato di progetti di ricerca relativi a qualità entrante, sistemi di gestione ambientale, valutazione della prestazione ambientale dei prodotti, sistemi di monitoraggio ambientale, specifica e qualificazione di Access Gateway, gestione di trial in ambito Home Network, ecoefficienza della Digital Home. Membro del Board of Directors di Home Gateway Initiative, è autore di articoli e pubblicazioni sui temi qualità, ambiente e reti domestiche e docente alla S.S. Reiss Romoli e al Politecnico di Torino.



Patrizia Vaccarone

Fisica, in Azienda dal 1998 si è dapprima occupata di verifica della qualità per i prodotti Telecom Italia poi delle problematiche architetture della rete di accesso e del deployment della tecnologia ADSL. Dal 2006 opera nell'ambito della divisione Homenetwork & Handset Innovation dove si occupa dell'investigazione di nuove funzionalità per l'Access Gateway e dell'evoluzione della rete domestica, con particolare focus sugli aspetti di eco compatibilità legati al ciclo di vita dei prodotti della Connected Home e ai consumi energetici degli apparati. In ambito internazionale ha coordinato il progetto GREEN lanciato dall'ETNO-Energy Task Force.

