

IL RUOLO DELL'ICT NELLA CRESCITA ECONOMICA IN ITALIA

La diffusione crescente dell'ICT sta portando ad una trasformazione profonda del sistema produttivo italiano. La sua pervasività incide, attraverso vari canali, su tempi, efficienza e capacità innovativa della produzione. Nell'articolo viene valutato l'impatto sul sistema economico nazionale degli investimenti in ICT attraverso l'analisi dei moltiplicatori della produzione calcolati sulle matrici Input Output dell'Istat per il 2005. I risultati mostrano che l'ICT dà al sistema produttivo un elevato impulso moltiplicativo e si conferma un settore chiave per la crescita economica.

1. INTRODUZIONE

Le tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni costituiscono parte integrante del tessuto sociale delle economie sviluppate, tanto che sarebbe impensabile una società moderna senza l'uso delle tecnologie ICT. Esse provocano mutamenti profondi e veloci nelle economie avanzate: cambiano le tipologie di beni e servizi prodotti, le modalità e i sistemi produttivi, le sedi delle attività produttive, le infrastrutture e l'organizzazione aziendale. I beni e servizi ICT vengono sempre più utilizzati dai cittadini per le esigenze della vita quotidiana (lavoro, studio, comunicazione), dalle pubbliche amministrazioni (PP.AA.) per l'erogazione di servizi tempestivi ed economici (esempio, servizi sanitari, anagrafici ecc.), dalle imprese per le loro attività produttive.

L'ICT rende i processi produttivi più efficienti ed offre anche una vasta gamma di innovazioni di prodotto. Nuovi beni e servizi ICT creano nuova domanda, nuovi mercati e nuovi settori produttivi.

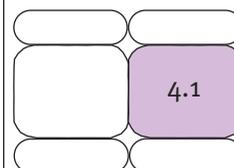
Le tecnologie ICT sono caratterizzate da un'elevata pervasività e consentono processi pro-

duuttivi veloci, efficienti e tempestivi: in tal modo costituiscono un motore propulsivo per incentivare lo sviluppo economico.

L'ICT e internet rappresentano un'infrastruttura economica fondamentale. *L'ICT, infatti, induce una forte innovazione di prodotto, provocando nei settori economici forti cambiamenti strutturali che consentono una crescita dell'efficienza nella produzione di un prodotto o di un servizio e il miglioramento delle prestazioni aziendali.* Gli investimenti in ICT aumentano la competitività e la produttività, a livello aziendale e aggregato, quando sono associati ad investimenti nella qualificazione dei lavoratori, nei cambiamenti organizzativi e nella ristrutturazione industriale, nell'innovazione e nella creazione di nuove realtà imprenditoriali. Infatti, alcune politiche di promozione di infrastrutture delle comunicazioni o di promozione della domanda ICT si propagano attraverso l'economia, stimolando crescita, occupazione, capitale e risorse imprenditoriali. Si pensi, per esempio, alle infrastrutture per la diffusione della banda larga che consistono in gran parte in attività edilizie e consentono quindi la crea-



Claudio Di Carlo
Elisabetta Santarelli



zione di nuovi posti di lavoro in questo settore. Nell'Agenda Digitale per l'Europa 2020, la Commissione Europea nel riconoscere alle tecnologie digitali un ruolo chiave per la crescita sostenibile, per l'innovazione e l'occupazione, ha indicato ai Paesi membri per il 2020 obiettivi di incremento degli investimenti in tecnologie della comunicazione e dell'informazione. L'obiettivo per l'Italia, sia nel breve e sia nel medio-lungo periodo, è quello di colmare il *gap* finora accumulato rispetto alle altre nazioni, sul versante del capitale fisico (infrastrutture di banda larga e digitalizzazione del Paese), del capitale umano (formazione e merito) e del capitale organizzativo (sia nella pubblica amministrazione che in alcuni settori imprenditoriali).

A tal fine è importante indirizzare gli investimenti in grado di produrre benefici per l'intero sistema economico: si pensi, per esempio alla diffusione delle connessioni a banda larga tra imprese e cittadini, alla telemedicina, al tele monitoraggio dei pazienti, alla digitalizzazione dei servizi della PP.AA.

A partire dagli anni '90 gli investimenti in ICT in Italia sono andati in questa direzione aumentando considerevolmente (mantenendosi sempre più alti di quelli non ICT) così da far accrescere la *new economy* nel quadro degli investimenti nazionali.

Secondo i più recenti dati Istat, la diffusione delle tecnologie informatiche di base nelle imprese dell'industria e dei servizi è ormai molto alta. Nel 2009 il 96,2% delle imprese con almeno 10 addetti ha usato il computer e il 93,9% aveva una connessione ad internet. Circa l'86,3% delle imprese usufruisce della rete per accedere a servizi bancari e finanziari *on line*, circa il 60% ha un proprio sito web [1]. In generale, tra il 2004 e il 2009 si è verificata una crescente diffusione delle principali tecnologie di base nelle imprese italiane.

Secondo i dati Eurostat, la percentuale di spesa in tecnologia dell'informazione (IT) sul PIL è stata 1,4% nel 2009 ed era 1,5% nel 2006. Il dato analogo per le telecomunicazioni (TLC) è stato 2,7% nel 2009 ed era 2,6% nel 2006 [2]. Nel corso di 4 anni la spesa complessiva per ICT è rimasta pressoché invariata. Secondo le ultime rilevazioni effettuate dall'ASSINFOM (Associazione Nazionale Produttori Tecnologie e Servizi per l'Informazione e la Comunicazione) [3], il mercato italiano ha registrato una contrazio-

ne nel primo semestre del 2010 rispetto allo stesso periodo del 2009 di -2,5% per l'IT e -2,3% per le TLC; questa riduzione sembra essere dovuta per lo più alla crisi economica. La contrazione tuttavia, è stata inferiore a quella del 2009 rispetto al 2008, ad indicare che molte imprese, nonostante la crisi, hanno avviato processi di rinnovamento delle tecnologie aziendali, di maggiore informatizzazione, di investimenti in infrastrutture innovative.

È proprio questa la via da seguire per raggiungere gli obiettivi per il 2020 e colmare il *gap* di informatizzazione e digitalizzazione dell'Italia rispetto all'Europa.

2. ANALISI DEGLI INVESTIMENTI IN ICT SULL'ECONOMIA ITALIANA

La pervasività del settore ICT è uno degli elementi attraverso cui la crescita della domanda di ICT stimola la crescita di tutti gli altri settori dell'economia. Infatti, poiché la produzione di beni e servizi ICT richiede *input* dai settori non ICT, l'aumento della domanda ICT innesca l'aumento di produzione di settori non ICT. Per esempio, la produzione di computer richiede sia elementi ICT (esempio, componenti elettronici) che elementi non ICT come plastica, metalli e vetro. Inoltre, le fabbriche che producono computer usano servizi finanziari e commerciali e hanno bisogno di nuovi uffici e, in generale, di nuove sedi. Allo stesso modo, la commercializzazione di computer richiede servizi dai settori del commercio e del trasporto.

Quindi, la domanda finale di computer stimola la produzione non solo del settore ICT ma anche di un'ampia gamma di settori più tradizionali non ICT, che così aumentano la propria produzione (*effetto diretto*).

A loro volta i settori non ICT per aumentare la produzione di plastica e metalli, aumentano la loro domanda al settore ICT, per esempio di macchine elettroniche per la lavorazione dei materiali. In questo modo si ha un incremento indiretto della domanda di ICT (*effetto indiretto*).

Si innesca in questo modo un circolo virtuoso, causato sia dagli effetti diretti che indiretti dell'aumento degli investimenti in ICT, che genera e alimenta la produzione e quindi la crescita e lo sviluppo economico. L'ICT dunque

ha un vero e proprio effetto *moltiplicativo* sulla crescita economica.

L'effetto moltiplicativo del settore ICT sul sistema economico italiano è stato calcolato dagli autori con riferimento all'anno 2005 utilizzando le matrici Input Output (I-O) di contabilità nazionale dell'Istat [4].

Ogni elemento della matrice I-O indica l'ammontare di beni e servizi forniti da un settore economico ad un altro che ne fa domanda per realizzare la propria produzione. Sulla matrice I-O del 2005 si sono calcolati gli indicatori che misurano sia l'effetto diretto e sia totale (diretto + indiretto) di un aumento degli investimenti in ICT (per un maggiore approfondimento sulla metodologia utilizzata e sulla teoria delle tavole Input Output si rimanda al riquadro a p. 7).

Per il calcolo dei suddetti indicatori ci si è ricondotti ad un'economia semplificata costituita da due soli settori: ICT e non ICT¹.

La tabella 1 è una matrice I-O semplificata che mostra il volume degli scambi fra i settori ICT e non ICT in Italia nel 2005 e la domanda finale di entrambi i settori.

Nel 2005 la produzione ICT è stata pari a 194.090 milioni di euro: 24.104 milioni di euro hanno soddisfatto la domanda interna del settore ICT (il 12,4% del totale), 87.392 milioni di euro hanno soddisfatto la domanda del settore non ICT e i rimanenti 82.594 milioni di euro (cioè il 42,5% del totale) sono stati destinati alla domanda finale delle PP.AA. e delle famiglie, agli investimenti e alle esportazioni.

La domanda del settore ICT è stata prevalentemente soddisfatta dal settore non ICT (62.203 milioni di euro), mentre 24.104 milioni di euro provengono dal settore ICT stesso. La tabella evidenzia, inoltre, che il settore ICT soddisfa il 6% della domanda totale, contro il 94% del settore non ICT [194.090/(194.090+2.954.264)].

A partire dalla tabella 1 sono stati inizialmente calcolati gli indicatori che esprimono l'effetto diretto, ottenendo i valori della tabella 2. L'aumento di 1.000 € della domanda di prodotti ICT aumenta l'offerta intrasettoriale (cioè del settore ICT verso se stesso) di 124 € (si veda la ri-

	ICT	non ICT	Domanda Finale	Domanda Totale
ICT	24.104	87.392	82.594	194.090
non ICT	62.203	1.292.064	1.599.997	2.954.264
Valore Aggiunto	107.783	1.574.808		
Offerta totale	194.090	2.954.264		

Fonte: nostra elaborazione su dati Istat 2005.

TABELLA 1

Tavola Input Output a due settori, Italia 2005 (milioni di euro)

	ICT	non ICT	Totale
ICT	0,124	0,029	0,153
non ICT	0,320	0,436	0,756
Totale	0,444	0,465	

Fonte: nostra elaborazione su dati Istat 2005.

TABELLA 2

Effetti diretti dell'aumento della domanda ICT

ga 1, colonna 1) e aumenta la domanda proveniente dal settore non ICT di 320 € (riga 2, colonna 1). L'aumento totale della domanda dovuto ad un aumento di 1.000 € della produzione di ICT ammonta a 444 € (cioè 124 € + 320 €). Inoltre, in corrispondenza dell'aumento di 1.000 € della domanda del settore non ICT, l'aumento totale della domanda dovuto all'effetto diretto è pari a 465 €, appena 21 € in più rispetto al settore ICT.

Quando la domanda del settore ICT aumenta, le aziende ICT aumentano la loro richiesta di beni e/o servizi verso le aziende del settore non ICT, attivando così una catena di impulsi diretti e indiretti che sono presentati nella tabella 3.

La tabella 3 mostra che le transazioni dirette + indirette interne al settore ICT raggiungono 1.164 €, cioè passano da 1.124 € a 1.164 €. Ciò accade perché quando la produzione ICT aumenta, il settore ICT acquista beni e servizi dal settore non ICT. Quando il settore non ICT aumenta la vendita di beni e servizi al settore ICT esso deve, nello stesso tempo, comprare beni e servizi dal settore ICT per incrementare la

¹ Il settore ICT è costituito da: editoria, stampa e riproduzione di supporti registrati; fabbricazione di macchine per ufficio, di elaboratori e sistemi informatici; fabbricazione di apparecchi radiotelevisivi e di apparecchiature per le comunicazioni; fabbricazione di apparecchi medicali, di apparecchi di precisione, di strumenti ottici e di orologi; poste e telecomunicazioni; informatica e attività connesse. Il settore non ICT è costituito dai restanti settori.

TABELLA 3
Effetti diretti
e indiretti
dell'aumento di
domanda ICT

	ICT	non ICT	Totale
ICT	1,164	0,061	1,225
non ICT	0,662	1,810	2,472
Totale	1,826	1,871	

Fonte: nostre elaborazioni su dati Istat 2005.

sua produzione. In generale, questo processo si innesca per tutti i settori ogni volta che aumenta la propria domanda di beni e/o servizi. La tabella 3, dunque, mostra la produzione totale direttamente e indirettamente richiesta dal settore presente nell'intestazione di colonna per 1.000 € di aumento della domanda finale da parte del settore nell'intestazione di riga. Ogni volta che aumenta di 1.000 € la vendita di beni e/o servizi ICT alle famiglie, alle PPA, o ad altri componenti della domanda finale, la produzione del settore non ICT aumenta di 662 €.

La tabella 3 mostra che gli effetti moltiplicativi sono più alti all'interno dello stesso settore, mentre quelli intersettoriali hanno valori più bassi. La somma degli indicatori della colonna ICT - 1,826 - esprime l'impatto complessivo sull'economia dell'aumento di domanda del settore ICT (effetto diretto + indiretto): questo valore è il moltiplicatore della produzione.

Nello specifico, 1,826 indica che per 1.000 € di aumento della domanda del settore ICT, la produzione complessiva dell'economia aumenta di 1.826 € (cioè 1.164 € + 662 €). Lo stesso valore per il settore non ICT è 1,871 €, ovvero di poco superiore all'incremento provocato dal solo ICT.

Questo risultato indica che l'aumento della domanda ICT ha un forte effetto sulla crescita economica, ovvero è un grado di incrementare notevolmente il sistema produttivo nazionale.

L'ICT pur soddisfacendo solo il 6% della domanda complessiva (Tabella 1), contribuisce quasi quanto tutti i restanti settori all'aumento alla produzione.

3. CONCLUSIONI

I risultati di questo studio mostrano che, in corrispondenza di un incremento di investimenti in ICT, si ha un notevole effetto moltiplicativo sulla produzione complessiva di tutta l'economia.

Infatti, il settore ICT che, in base alla classificazione utilizzata è costituito da solo 6 branche omogenee, dà un contributo pressoché pari al non ICT che è l'insieme di 53 settori molto eterogenei tra loro. Ciò indica che l'ICT trasmette un impulso propulsivo molto elevato alla produzione di beni e servizi e che gli investimenti nel settore ICT innescano una catena di azioni e reazioni tale da accrescere significativamente la produzione del sistema economico nazionale.

Questo virtuoso effetto moltiplicativo è principalmente legato all'elevata pervasività delle tecnologie ICT e alla loro capacità di diffondersi velocemente nel tessuto economico. Inoltre, l'ICT induce forti innovazioni di prodotto e di processo, accrescendo con la prima la varietà di beni e servizi e dando così vita a nuovi mercati, e favorendo con la seconda l'incremento dell'efficienza e la rapidità di produzione degli stessi. Un largo impiego dell'ICT in tutta l'economia permette ad aziende, istituzioni pubbliche e civili di aumentare l'efficienza e l'innovazione, di sviluppare nuovi prodotti e servizi e di incrementare la produttività. In sintesi, l'ICT rappresenta l'ecosistema in grado di rendere più produttivi tutti gli altri settori dell'economia italiana.

Le politiche di stimolo dell'economia riconoscono l'importanza delle tecnologie ICT e in particolare delle moderne infrastrutture di comunicazioni (banda larga) come necessarie per supportare prodotti e servizi innovativi, nonché la necessità di dedicare parte delle risorse pubbliche per migliorare o accelerarne la realizzazione. Infatti, molti dei piani di investimento in ICT si concentrano sulla necessità della copertura universale in banda larga e ultralarga a tutto il Paese.

Inoltre, gli incentivi all'infrastruttura e ai servizi ICT, per esempio, nel settore della sanità elettronica, delle reti di ricerca, della digitalizzazione della PPA, forniranno le basi per l'innovazione ICT e per le nuove infrastrutture e servizi in altri campi.

L'analisi descritta per il 2005 è stata effettuata anche per gli anni 1995 e 2000 e mostra che gli effetti diretti e indiretti degli investimenti in ICT sull'economia sono sostanzialmente stabili nel decennio 1995-2005.

Ipotizzando una struttura produttiva pressoché stabile, come mostrato dai dati presentati nell'introduzione, è ragionevole attendersi con riferimento al 2010 valori analoghi dei moltiplicatori e considerare ancora importante l'impulso dell'ICT sul sistema economico italiano. Tale ipotesi potrà esse-

re verificata quando saranno disponibili dati più recenti di contabilità nazionale.

I contenuti di questo lavoro riflettono esclusivamente le opinioni degli autori, senza impegnare la responsabilità dell'amministrazione di appartenenza.

Teoria delle matrici Input Output

Le tabelle Input Output (I-O) costituiscono lo strumento principale per analizzare le interdipendenze settoriali che si stabiliscono, nel complesso dell'economia, fra quantità domandate (e prezzi di domanda) e quantità offerte (e prezzi di offerta). Infatti, ogni elemento di una matrice I-O mostra i flussi di beni e servizi che affluiscono dalle branche di origine alle branche di impiego e che da queste ultime sono utilizzati come input dei rispettivi processi produttivi. Si tratta della *domanda intermedia* fra le branche dell'economia. I flussi di beni e servizi provenienti dalle branche di origine affluiscono anche agli utilizzatori finali per essere destinati al consumo, agli investimenti e alle esportazioni. Si tratta della *domanda finale*. Le matrici I-O costituiscono lo strumento principale per valutare le interdipendenze fra il settore ICT e le altre branche economiche e il legame fra ICT e crescita produttiva attraverso i descritti effetti diretti e indiretti degli investimenti.

Gli effetti diretti dell'incremento degli investimenti ICT sulla produzione complessiva si misurano attraverso degli indicatori calcolati con gli elementi delle matrici, i *coefficienti tecnici* (che sono gli elementi della Tabella 2).

Per la generica branca j , i coefficienti tecnici si calcolano dividendo gli elementi della colonna j -esima per la produzione della corrispondente branca economica $a_{ij} = x_{ij}/X_j$. Essi indicano gli acquisti diretti effettuati da una determinata branca produttiva presso tutte le altre branche ogni 1.000 € di produzione ed esprimono l'effetto diretto di un aumento dell'offerta di un certo settore sui settori di provenienza.

Gli effetti totali (diretti + indiretti) si possono ottenere calcolando i moltiplicatori della produzione ottenuti sommando per colonna i coefficienti della matrice *inversa di Leontief* $B = (I - A)^{-1}$ (si tratta degli elementi della Tabella 3 del testo).

I moltiplicatori della produzione sono stati calcolati sulle tavole I-O dell'Istat a 59 branche relative agli anni 1995, 2000 e 2005 a prezzi correnti [4].

In base alle definizioni adottate in questo lavoro, per crescita economica si intende l'aumento della produzione di beni e servizi interna alle branche di attività produttive senza tener conto del valore aggiunto (capitale e lavoro), della produttività totale dei fattori, delle importazioni ed esportazioni.

UNA TAVOLA INPUT OUTPUT STANDARD

	Settori economici - Input									Domanda finale (Consumi+Investimenti+ Esportazioni)	Domanda totale
		1	2	j	n		$\sum_{j=1}^n x_{ij} + Z_i$
Settori economici - Output	1	x_{11}	x_{12}			x_{1j}			x_{1n}	Z_1	X_1
	2	x_{21}	x_{22}			x_{2j}			x_{2n}	Z_2	X_2
							
						
	i	x_{i1}	x_{i2}			x_{ij}			x_{in}	Z_i	X_i
	n	x_{n1}	x_{n2}			x_{nj}		...	x_{nn}	Z_n	X_n
Valore aggiunto		Y_1	Y_2			Y_j			Y_n		
Offerta totale		X_1	X_2			X_j			X_n		

Bibliografia

- [1] Istat: *Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione nelle imprese*. Statistiche in breve, 2009.
http://www.istat.it/dati/dataset/20100713_00/
- [2] Eurostat: database consultabile on line al link:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/information_society/introduction, 2010.
- [3] ASSINFORM: *Rapporto ASSINFORM sull'informatica, le telecomunicazioni e i contenuti multimediali 2010*.
- [4] Di Carlo C., Santarelli E.: *Contributo dell'ICT alla crescita economica in Italia: un'analisi Input Output*.
http://www.comunicazioni.it/binary/min_comunicazioni/osservatorio_statistico_e_monografie/ICT%20input%20output%20italiano_def.pdf, 2010.
- [5] OCSE: *Information Economy product definitions based on the Central Product Classification (version 2)*.
OECD DSTI/ICCP/IIS(2008)1/-FINAL, 2009.

CLAUDIO DI CARLO, laureato in Scienze Statistiche ed Economiche e specializzato in Ricerca Operativa e Strategie Decisionali presso l'Università di Roma La Sapienza, attualmente è Funzionario Statistico presso il Dipartimento per le Comunicazioni del Ministero dello Sviluppo Economico, dove svolge attività di studio e ricerca in materia di Information and Communication Technology.
Email: claudio.dicarlo@sviluppoeconomico.gov.it

ELISABETTA SANTARELLI, laureata in Scienze Statistiche e Demografiche e dottore di ricerca in Demografia presso l'Università di Roma La Sapienza, attualmente è Funzionario Statistico presso il Dipartimento per le Comunicazioni del Ministero dello Sviluppo Economico, dove svolge attività di studio e ricerca in materia di Information and Communication Technology.
Email: elisabetta.santarelli@sviluppoeconomico.gov.it

GREEN SOFTWARE ANCHE LE APPLICAZIONI CONSUMANO ENERGIA

Ormai da qualche anno si parla diffusamente dell'efficienza energetica dell'IT, ma raramente si affronta il problema del ruolo rivestito dal software nel determinare il consumo energetico dell'IT. È infatti il software a "guidare" il funzionamento dell'hardware e quindi ad essere il primo responsabile del consumo. L'articolo presenta i risultati di alcune ricerche sperimentali che mostrano l'impatto del software sui consumi e propone una panoramica sulle linee di ricerca attualmente in corso per ottimizzarne l'efficienza.

1. INTRODUZIONE AL GREEN SOFTWARE

Il *Green IT*, che nella sua accezione più propria è la disciplina che studia l'efficienza energetica dell'IT, è ormai al centro dell'attenzione a livello sia accademico che industriale da alcuni anni. Nell'ambito del *Green IT* è possibile distinguere diversi campi di azione, tra i quali i più importanti sono:

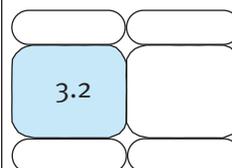
- Postazioni di lavoro;
- *Data center*;
- *Green hardware*;
- *Green software*;

Il consumo energetico dell'IT distribuito (principalmente PC, *monitor*, *laptop*, stampanti) raccoglie sempre più attenzione in quanto il suo campo di applicazione è molto vasto, poiché la maggior parte delle aziende è ormai informatizzata o comunque dispone di postazioni di lavoro informatizzate. Tuttavia, le leve principali di ottimizzazione dell'efficienza energetica dell'IT distribuito non sono informatiche, ma di tipo gestionale: politiche di acquisto, politiche comportamentali, politiche di gestione e assegnazione delle risorse

informatiche in base al reale fabbisogno. L'efficienza energetica dei *data center* è un tema di ricerca e innovazione su cui diverse aziende e centri di ricerca stanno ormai lavorando da anni, [5, 7, 8, 15]. Un *data center* di medie dimensioni può consumare anche 300 kW, l'equivalente di 100 appartamenti, mentre un *data center* di una grande banca o di un operatore Telecom può arrivare a consumare diversi MW. Le riduzioni di consumo e di costo ottenibili sono quindi rilevanti, anche se riguardano un numero relativamente ristretto di enti e aziende (in Italia si contano circa 3.000 *data center* con più di 5 *rack*). La maggior parte dell'energia assorbita da un *data center* viene dissipata dai componenti infrastrutturali [9, 2] come gli impianti di condizionamento, gli UPS (*Uninterruptible Power Supply*) e i sistemi di distribuzione dell'energia. Un indicatore comunemente utilizzato per misurare l'efficienza energetica di un *data center* è il PUE (*Power Usage Effectiveness*), calcolato come la potenza elettrica entrante nel *data center* divisa per la potenza elettrica che effettivamente arriva ai macchinari IT. Benché al-



Giovanni Agosta
Eugenio Capra



cuni *data center* di moderna concezione abbiano PUE molto bassi (per esempio, Google dichiara un PUE di 1,19), la maggior parte dei *data center* esistenti presenta PUE ben più elevati, anche superiori a 2,5. Questo dato fa capire come gli interventi più efficaci siano da effettuare a livello infrastrutturale, ad esempio ripensando il layout del *data center*, ottimizzando il condizionamento, implementando impianti di *free cooling* e sostituendo gli UPS. La seconda leva più efficace è la virtualizzazione, che permette di ridurre i consumi fissi dovuti all'infrastruttura hardware.

Il passo successivo per ridurre il consumo di energia dell'IT è quello di aumentare l'efficienza energetica dell'hardware, più specificatamente dei *server* e dei loro processori. Le grandi case produttrici di hardware svolgono da anni ricerche in questo senso e, in effetti, l'efficienza energetica dell'IT è molto aumentata, in parte spinta dalla diffusione dei dispositivi mobili e dalla necessità di aumentare l'autonomia delle batterie.

Come si può osservare dai dati riportati nella figura 1, considerando tre diverse generazioni di processori, mentre la frequenza di *clock* è aumentata di un fattore 72 la potenza assorbita è aumentata solamente di un fattore 12, con un conseguente aumento dell'efficienza di un fattore 6. Anche i *benchmark* TPC-C confermano un andamento simile. Le architetture *multi-core* hanno sicuramente contribuito a

questo aumento dell'efficienza. L'efficienza energetica dei *mainframe*, espressa come Milioni di Istruzioni al Secondo per Watt (MIPS/W) negli ultimi 30 anni è cresciuta di un fattore 28 [1], molto più rispetto all'aumento di efficienza registrato da altri settori, come la produzione di automobili o dell'acciaio.

Benché i dispositivi hardware siano fisicamente responsabili del consumo di energia, che viene dissipata sotto forma di calore, il responsabile primo di tale consumo è il software, che "guida" l'hardware e determina quali e quante operazioni elementari devono essere eseguite. Il "green software" è la disciplina che studia le modalità secondo cui il software influisce sui consumi energetici dell'IT e come ottimizzarle.

Per comprendere meglio l'ambito di applicazione del *green software* può essere utile fare un paragone con il mondo automobilistico. Se si vuole consumare poca benzina per andare in auto da Milano a Torino la prima cosa da fare è quella di scegliere una macchina che percorra tanti km con un litro di benzina. Nel mondo informatico questo equivale ad utilizzare hardware efficiente, cioè in grado di effettuare tante transazioni elementari o operazioni *floating point* (flop) con 1 Wh di energia. Ci sono però tante altre soluzioni che si possono adottare per consumare meno benzina. Innanzi tutto si può cercare di viaggiare a pieno carico. Per esempio se si è in 9 persone si può utilizzare un pulmino an-

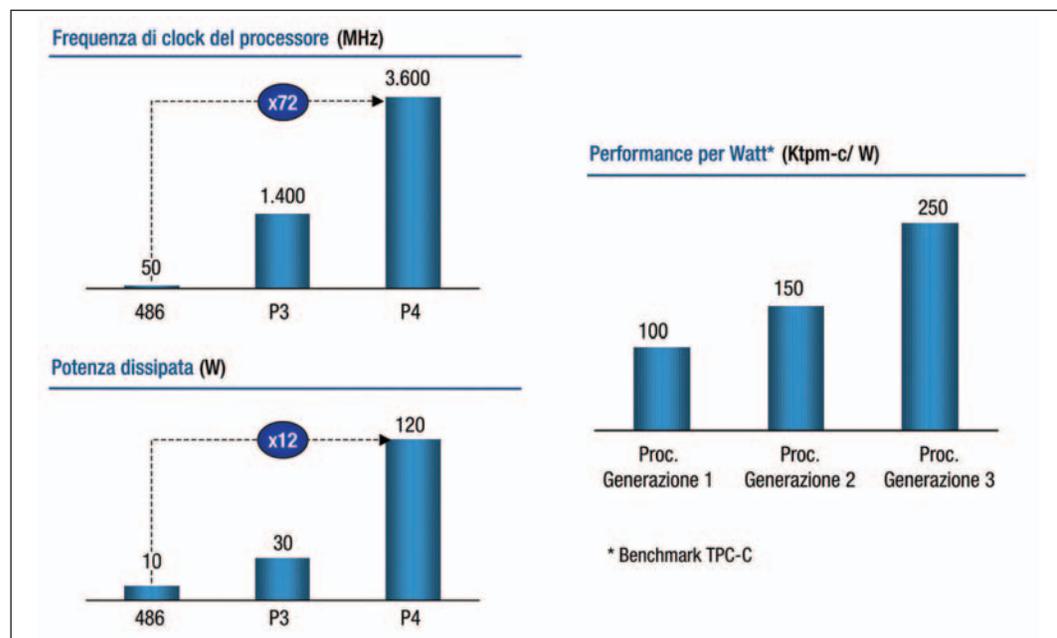


FIGURA 1
Dati sull'efficienza energetica dell'hardware negli ultimi anni (Fonte: Wikipedia, Intel 2002)

ziché 2 automobili. Questo equivale a bilanciare i carichi di lavoro e a virtualizzare i sistemi, pratiche che rientrano nell'ambito del *green data center*. Dopodiché si può viaggiare alla velocità che minimizza il consumo di carburante, che solitamente non coincide con la massima velocità raggiungibile dal veicolo. Infine, si può scegliere la strada che minimizza il numero di km percorsi. Queste due ultime tipologie di azioni corrispondono nel mondo informatico al *green software*. Un'applicazione può essere valutata in base alla sua efficienza energetica, oltre che in base agli altri classici parametri di merito, come il tempo di risposta. Inoltre, un'applicazione scritta "bene" permetterà di soddisfare i requisiti funzionali tramite il minor numero possibile di operazioni elementari e quindi di energia.

Mentre diverse ricerche sono state svolte sull'hardware, sui sistemi *embedded* [4] e sui *data center*, il tema dell'efficienza energetica del software applicativo è relativamente nuovo e inesplorato. Il ciclo di sviluppo del software e le relative metodologie non prendono praticamente mai in considerazione l'efficienza energetica come obiettivo. D'altro canto, è la stessa crescente disponibilità di hardware efficiente e a basso costo che induce i programmatori a non occuparsi dell'efficienza energetica del codice. La letteratura attuale sull'ingegneria del software non fornisce neppure metriche per misurare l'efficienza energetica del software. Neppure le 50 metriche di qualità del software definite dall'*International Standards Organization* (ISO/IEC TR 9126:2003 and TR 25000:2005) includono l'efficienza energetica.

La maggior parte degli IT manager sembra credere che il software di per sé abbia un impatto molto limitato sui consumi, specialmente nell'ambito dei sistemi transazionali classici, come i software bancari o gli *Enterprise Resource Planning* (ERP) [6]. È generalmente accettato che i sistemi operativi influenzino le prestazioni e i consumi di energia [10], ma non le applicazioni. Queste convinzioni raramente sono supportate da un approccio scientifico e da misure sperimentali.

In realtà il potenziale di risparmio ottenibile dal *green software* è elevato. Infatti, come accennato sopra, nella maggior parte dei *data center* la percentuale di energia entrante, effettivamente utilizzata per il calcolo, è molto bassa a causa delle inefficienze dei diversi livelli infra-

strutturali. Questi dati possono essere interpretati al contrario: per ogni Watt di energia utilizzato per il calcolo sono necessari almeno 5 o più Watt totali. Quindi i risparmi ottenuti a livello software vengono amplificati da tutti i livelli infrastrutturali soprastanti: se vengono eseguite meno operazioni elementari sarà prodotto meno calore, quindi sarà necessaria meno energia per il condizionamento, e così via.

Questo articolo si focalizzerà sul *green software*, dapprima discutendo alcuni risultati sperimentali che mostrano come il consumo energetico del software sia effettivamente significativo, e in seguito proponendo alcune linee di ricerche sul tema, attualmente in corso di esecuzione presso il Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano.

2. IL CONSUMO ENERGETICO DEL SOFTWARE È SIGNIFICATIVO

2.1. Il sistema per la misura sperimentale del consumo

Per poter affrontare in modo scientifico il problema del consumo energetico indotto dal software è opportuno innanzi tutto analizzare qualche dato sperimentale. La figura 2 illustra l'architettura del sistema adottato per misurare empiricamente il consumo di energia. Il sistema comprende un kit hardware per misurare l'energia assorbita dal server basato su pinze amperometriche e uno strumento software per generare carichi di lavoro di *benchmark* per diverse categorie di applicazioni. Per avere misure significative rispetto alle realtà aziendali, si è scelto di confrontare applicazioni di tipo *Management Information Systems* (MIS) con caratteristiche funzionali e parametri confrontabili anziché utilizzare *benchmark* più diffusi in letteratura come gli SPEC o i TPC.

In particolare sono stati confrontati:

- 2 sistemi *Enterprise Resource Planning* (ERP): Adempiere e Openbravo;
- 2 sistemi *Customer Relationship Management* (CRM): SugarCRM e vTiger;
- 4 *Database Management Systems* (DBMS): MySQL, PostgreSQL, Ingres e Oracle.

Tutte le misure sono state effettuate sulla stessa piattaforma hardware e le applicazioni sono state configurate in modo tale da essere il più possibili confrontabili. Per esempio, i DBMS sono stati configurati con la stessa dimensio-

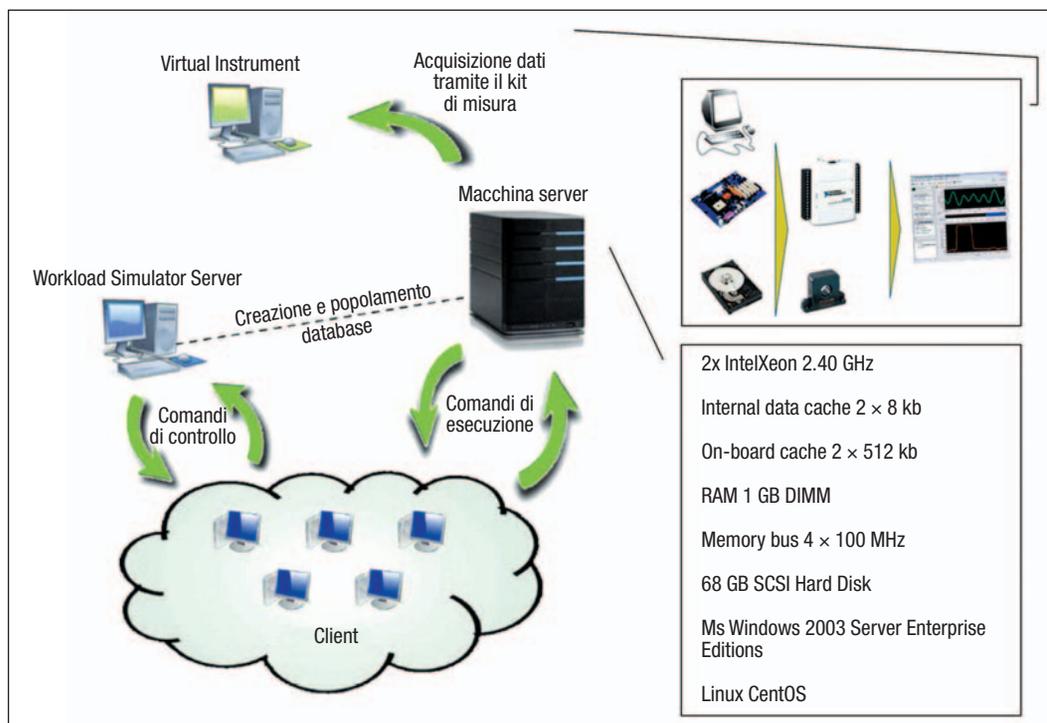


FIGURA 2
Architettura
sperimentale
per misurare
il consumo
energetico indotto
dal software

ne di pagina, blocco e *cache* e con gli stessi parametri relativi al *buffering*, alla memoria totale di sistema e al numero di connessioni (si veda [3] per ulteriori dettagli).

Le applicazioni vengono eseguite sul server, che è la macchina di cui si misura il consumo di energia. Per ogni applicazione sono stati realizzati diversi esperimenti con un numero di client variabile da 1 a 10. È stato sviluppato un *tool* Java, chiamato *Workload Simulator*, in grado di simulare per ciascuna applicazione un flusso di operazioni e di eseguirlo per un certo numero di volte simulando una certa quantità di utenti simultanei e generando in questo modo un carico di lavoro di *benchmark*. Per gli ERP i carichi di lavoro considerati sono stati l'inserimento di un nuovo *business partner*, di un nuovo prodotto e di un nuovo ordine. Per i CRM sono stati simulati la creazione di un nuovo *account* e di una nuova campagna. Infine, per i DBMS è stata implementata una versione *ad-hoc* del *benchmark* TPC-C, che è comunemente utilizzato per confrontare le *performance* di sistemi transazionali.

Il segnale analogico acquisito dalle pinze amperometriche viene processato da un *Data Acquisition Board* (DAQ) NI USB-6210, che è collegato via USB con un altro PC, la *Virtual Instrument machine*. L'analisi dei dati è effettua-

ta tramite un *tool software* sviluppato tramite LabVIEW (www.ni.com/labview/), che acquisisce e campiona i valori della potenza assorbita ogni 4 microsecondi (quindi con una frequenza di campionamento di 250 MHz) e infine calcola il valore totale dell'energia consumata interpolando i valori della potenza. Per non influenzare la misura sia il *Workload Simulator* che i software per l'acquisizione delle misure risiedevano su macchine diverse dal server.

2.2. Alcuni risultati sperimentali

Le figure 3, 4 e 5 mostrano il valore della potenza consumata rispetto al tempo per le tre categorie di applicazioni considerate eseguite su sistema Windows (grafici A) e Linux (grafici B). La linea dritta in ciascun grafico rappresenta il valore di potenza assorbito in *idle* dal sistema, mentre nel riquadro in alto a destra vengono indicati i valori dell'energia totale aggiuntiva rispetto all'*idle* assorbita da ciascuna applicazione per completare l'esecuzione del carico di lavoro. L'energia consumata è calcolata integrando i valori della potenza assorbita nel tempo impiegato.

Il primo importante risultato che emerge da questi grafici è che la potenza consumata dal server quando esegue l'applicazione è significativamente più alta rispetto a quella assorbi-

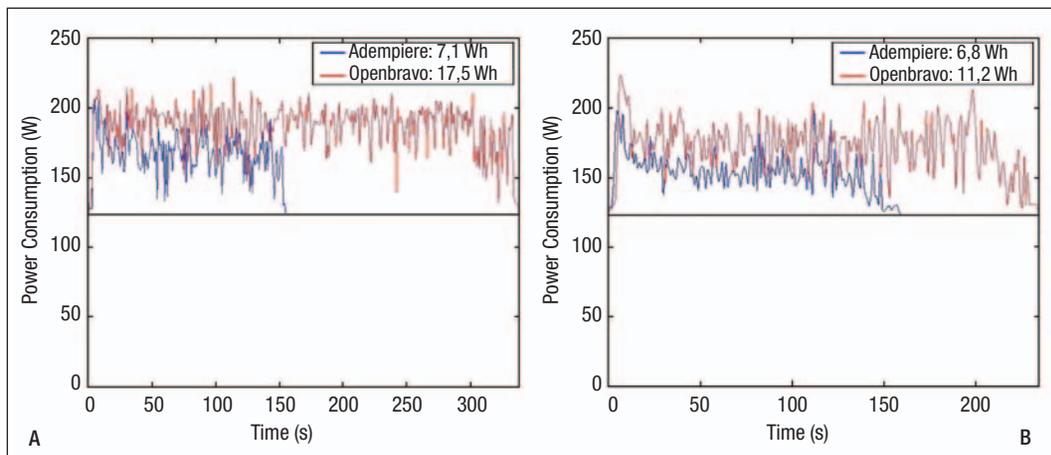


FIGURA 3
 Simulazione
 per sistemi ERP
 con 3 client:
 A - Windows
 B - Linux

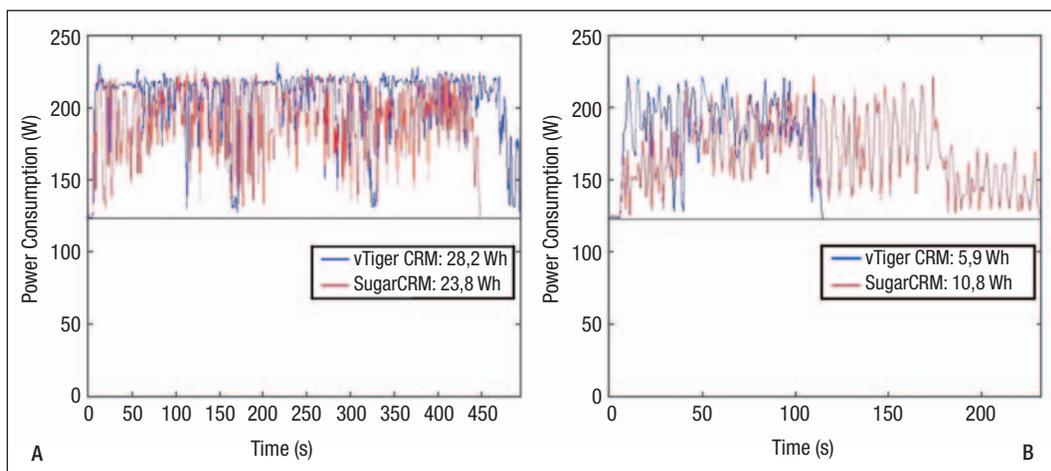


FIGURA 4
 Simulazione
 per sistemi CRM
 con 3 client:
 A - Windows
 B - Linux

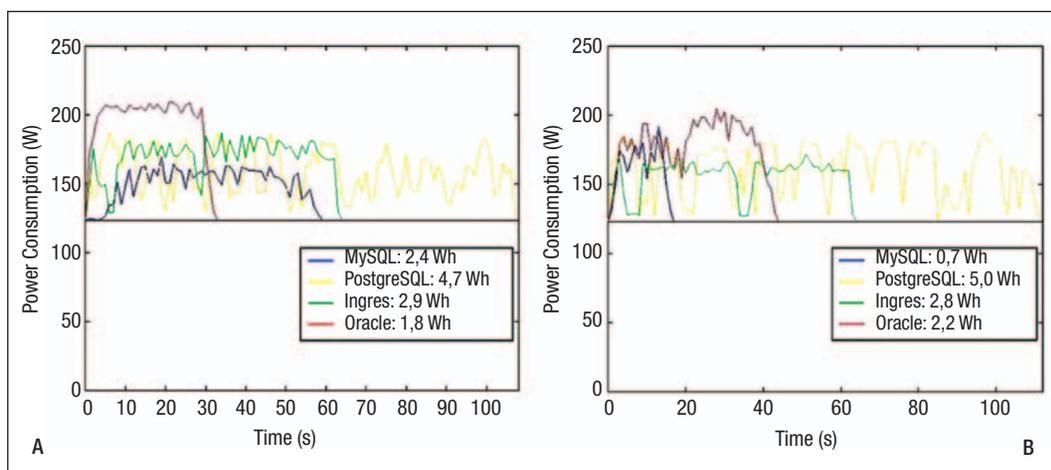


FIGURA 5
 Simulazione
 per sistemi DBMS
 con 10 client:
 A - Windows
 B - Linux

ta in *idle* (fino al 72% in più). Emerge inoltre un altro fatto importante: applicazioni diverse appartenenti alla stessa categoria richiedono al sistema di consumare quantità di energia molto diverse per soddisfare gli stessi requisiti funzionali. Per esempio, OpenBravo per eseguire un particolare carico di lavoro richiede

17,5 Wh, mentre Adempiere per eseguire lo stesso carico richiede solamente 7,1 Wh, con una differenza superiore al 100%. Questi risultati sono consistenti per tutte le categorie di applicazioni e per entrambi i sistemi operativi, con una differenza media del 79%. Generalmente, l'esecuzione delle applicazioni

in ambiente Linux risulta più efficiente rispetto all'ambiente Windows. Per esempio, come emerge dalla figura 3, il consumo di Adempiere e di Openbravo si riduce rispettivamente del 4% e del 36% quando sono eseguiti su Linux. In media, le applicazioni eseguite in ambiente Linux consumano il 50% in meno di energia.

È tuttavia interessante notare che l'effetto del sistema operativo sul consumo energetico non è del tutto prevedibile. Per esempio, come si può notare dalla figura 4, mentre su Windows, SugarCRM è più efficiente di vTiger, la situazione si inverte sotto Linux, anche se il consumo medio delle applicazioni in ambiente Linux è comunque inferiore rispetto a quello in ambiente Windows. L'impatto del sistema operativo sul consumo di energia delle applicazioni MIS è quindi molto forte, ma variabile e dipendente dall'applicazione stessa.

Un'osservazione critica dei dati proposti suggerisce inoltre il fatto che l'efficienza energetica debba essere considerata come un nuovo parametro di merito di un'applicazione software, in aggiunta alla *performance*. La relazione tra tempo di esecuzione ed energia consumata non è sempre lineare. Per esempio, Oracle è il DBMS più veloce e che consuma meno energia nel campione considerato. Ingres richiede un tempo doppio per eseguire lo stesso carico di lavoro, ma solo il 60% di energia in più. Analizzando le misure effettuate su tutto il campione, emerge che dimezzare il tempo di esecuzione in media riduce il consumo di energia solamente del 30%. La *performance* temporale non è quindi sufficiente a giustificare la diversità di efficienza energetica delle applicazioni software.

3. LA RICERCA IN AMBITO GREEN SOFTWARE

Le osservazioni sperimentali presentate nella sezione precedente dimostrano che il consumo energetico indotto dal software è significativo e lasciano intuire ampi margini di risparmio potenzialmente derivabile dall'ottimizzazione delle applicazioni.

Volendo proporre un programma di ricerca che affronti in modo scientifico questa tematica sono almeno tre i filoni da considerare.

Innanzitutto, occorre **misurare l'efficienza energetica del software** tramite opportune

metriche, esigenza che emerge anche solo per voler presentare in modo più rigoroso i dati proposti nella sezione precedente. Si noti che il concetto di efficienza è diverso da quello di consumo, in quanto rapporta l'energia consumata alla quantità di lavoro che ha permesso di svolgere. Un insieme di metriche per l'efficienza energetica del software può essere utile sia per selezionare il software che viene adottato, complimentando i parametri di merito attualmente utilizzati, sia per valutare il software prodotto *inhouse* e quindi il team di sviluppo. Esse costituiscono lo strumento essenziale per poter confrontare tra loro sistemi diversi e quindi fare *benchmarking*.

Ponendosi invece l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica, gli approcci perseguibili possono essere raggruppati in due grandi categorie. Un primo approccio è quello di **ottimizzare il codice**: scrivere meglio il codice può avere un effetto sulle *performance* energetiche dell'applicazione. Ovviamente, queste tecniche sono applicabili solamente al software sviluppato *inhouse* e possono tradursi sia in metodologie, linee guida e *tool* per lo sviluppo, che in linee guida a livello organizzativo e relative alle competenze e al percorso di formazione degli sviluppatori.

Migliorare l'efficienza energetica ottimizzando il codice potrebbe però non essere sempre fattibile oppure non essere conveniente. Se da una parte potrebbe essere sensato riscrivere e ottimizzare le *routine* più energivore o più comunemente eseguite in un sistema, dall'altra non sarebbe pensabile realizzare l'analisi e l'ottimizzazione di tutto il codice del sistema informativo di una banca e, in ogni caso, lo sforzo necessario per questa operazione difficilmente sarebbe ripagato dai risparmi ottenuti.

Per questo motivo è opportuno sviluppare anche strumenti di **ottimizzazione a livello di sistema**, applicabili cioè in modo trasversale e senza che sia richiesto operare a livello di codice. Molti sono gli strumenti e le azioni che possono essere sviluppati a questo livello e la ricerca è quanto mai aperta. Un esempio di azione, riprendendo le evidenze empiriche discusse nella sezione precedente, potrebbe essere una scelta oculata dello *stack*, considerando l'impatto che l'interazione fra sistema operativo e applicazione ha sul consumo complessivo. Nel seguito di questo articolo saranno pre-

sentati i primi risultati di due ricerche condotte dal Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano riguardanti rispettivamente la gestione green della memoria e del *garbage collector* e l'utilizzo della tabulazione dinamica per aumentare l'efficienza di applicazioni *computation intensive*.

Il paragrafo 4 sintetizza le linee di ricerca proposte individuando per ciascuna di esse i possibili ambiti di applicazione. Nelle sezioni seguenti sarà presentata una panoramica delle ricerche possibili e in corso nei vari filoni.

4. COSA VUOL DIRE EFFICIENZA ENERGETICA DEL SOFTWARE

Esistono già diverse metriche consolidate per misurare l'efficienza energetica dell'IT a vari livelli. Il *Power Usage Effectiveness* (PUE), calcolato come la potenza entrante in un *data center* divisa per la potenza effettivamente assorbita dal carico IT, è comunemente utilizzato per valutare l'efficienza dei livelli infrastrutturali, includendo quindi sistemi di condizionamento e UPS. Per valutare il bilanciamento dei carichi e il livello di virtualizzazione si possono adottare metriche come la percentuale media di utilizzo dei processori, sia fisici che virtuali. Vi sono poi diverse metriche utilizzabili a livello di *server* e di processore per valutare l'efficienza energetica dell'hardware, per esempio W/tpm (Watt per transazioni al minuto), FLOP/Wh (operazioni *floating point* per Wh) oppure MIPS/W (Milioni di istruzioni al secondo per Watt) per gli ambienti *mainframe*.

Tuttavia non vi sono ancora metriche consolidate e sufficientemente generali per misurare l'efficienza energetica del software.

È importante analizzare l'efficienza energetica di un sistema informativo a tutti i suoi livelli, in quanto gli attori coinvolti possono essere molto diversi. Se consideriamo un *data center* infatti, il PUE può essere influenzato da chi gestisce il *data center*, così come il livello medio di utilizzo dei processori. Le prestazioni a livello di hardware dipendono esclusivamente dai fornitori di tecnologia e quindi possono essere influenzate solo in fase di acquisto. Infine, l'efficienza energetica del software dipende dai "clienti" del *data center*, cioè da chi scrive o seleziona le applicazioni software da acquisire.

La difficoltà nella definizione delle metriche di

efficienza energetica del software risiede nella quantificazione del "lavoro" svolto da un'applicazione con una quantità unitaria di energia. Riprendendo il paragone presentato inizialmente relativo al mondo automobilistico, se l'efficienza di un'automobile può essere misurata in chilometri percorsi con un litro di benzina, nell'ambito del *green software* non è facile misurare i chilometri, mentre, come si è dimostrato nel paragrafo 2, è relativamente semplice misurare i litri di benzina consumata, ovvero l'energia.

Questo sposta il problema alla definizione di concetti di transazione o di carichi di lavoro standard, il più possibile generali, da far eseguire ad un'applicazione per effettuare le misure. Alcuni istituti come il TPC hanno definito dei carichi di lavoro standard che possono essere utilizzati a questo scopo, anche se molto spesso tali *benchmark* sono finalizzati più a testare un intero sistema che non l'applicazione finale. Per alcune applicazioni la definizione di transazione è abbastanza intuitiva (per esempio, per i DBMS), mentre per altre, come gli ERP, occorre considerare differenti tipologie di transazione e quindi diverse metriche di efficienza. Le diverse transazioni (per esempio, inserimento di un nuovo ordine oppure inserimento di una nuova anagrafica prodotto nei sistemi ERP) corrispondono a differenti moduli e porzioni di codice dell'applicazione, quindi è sensato adottare metriche diverse, anche se è auspicabile giungere ad una metrica unica per ciascuna applicazione, derivata da una media degli indicatori rispetto alla frequenza di utilizzo. Nella definizione di queste metriche occorre anche tenere presente i dati forniti come input e le dimensioni dei database sottostanti (per esempio, a livello di consumo di energia è la stessa cosa modificare la giacenza a magazzino di un prodotto quando ci sono 10 tipologie di prodotti presenti o quando ce ne sono 1.000?).

È evidente come la definizione e il calcolo di queste metriche sia più complicata che per gli altri livelli infrastrutturali.

Una soluzione alternativa potrebbe essere quella di identificare altre metriche basate sul codice, in qualche modo correlate all'efficienza energetica e utilizzarle come *proxy*. Tali metriche risulterebbero molto comode in quanto sarebbero misurabili tramite opportuni strumenti software semplicemente analizzando il

codice dell'applicazione, senza bisogno di eseguirla. Tuttavia le ricerche in questo senso non hanno fino ad ora portato a risultati apprezzabili. Il consumo di energia delle applicazioni analizzate e descritte nel paragrafo 2, e quindi l'efficienza energetica, sono risultate scorrelate da tutte le metriche tradizionali di qualità del *design* del codice (per esempio, coupling, ereditarietà, modularità ecc.).

5. SCRIVERE SOFTWARE PIÙ EFFICIENTE DAL PUNTO DI VISTA ENERGETICO

Come visto nel paragrafo 2, applicazioni che soddisfano gli stessi requisiti funzionali, ma strutturalmente diverse, possono indurre consumi significativamente differenti. Per capire più in dettaglio quali siano le cause di

questa diversità di comportamento e quindi identificare possibili strategie di ottimizzazione è necessario analizzare in modo approfondito le applicazioni considerate. Nel prossimo paragrafo sono riportati i risultati relativi ad un'analisi più dettagliata del comportamento dei due ERP Adempiere e OpenBravo.

5.1. L'effetto dei livelli di astrazione

Il confronto tra i due ERP è stato effettuato ovviamente sulla stessa infrastruttura hardware e utilizzando il medesimo DBMS, in particolare PostgreSQL. Le differenze più evidenti nella struttura dei due sistemi analizzati sono due: Adempiere accede alla base di dati tramite una classe che implementa le istruzioni SQL necessarie, mentre OpenBravo gestisce i dati tramite il *framework* HIBERNATE. Inoltre Adempiere, al contrario di OpenBravo utilizza *servlet* con tecnologia Ajax.

L'inserimento di un nuovo prodotto a livello di flusso di esecuzione comporta tre fasi principali: il richiamo della funzionalità, la generazione della pagina che permette all'utente di inserire i dati e infine il salvataggio degli stessi.

Come è già emerso dai risultati discussi in precedenza, Adempiere è generalmente più efficiente di OpenBravo. La figura 6 mostra in dettaglio l'assorbimento di potenza da parte delle due applicazioni durante l'esecuzione del carico di lavoro, e la tabella 1 riporta la differenza percentuale in termini di tempo di esecuzione e di energia consumata rispetto all'*idle*. I picchi di consumo riportati nella figura 6 corrispondono alle tre fasi descritte. Nella prima fase benché il tempo di esecuzione sia quasi lo stesso, il consumo di OpenBravo è decisamente maggiore in quanto vengono caricate le parti di HIBERNATE necessarie, operazione che richiede un alto utilizzo del processore e quindi un alto assorbimento di potenza. HIBERNATE consente una migliore *performance* temporale nella fase successiva (la generazione della pagina richiede di leggere alcune informazioni dalla memoria), tuttavia il consumo di energia rimane più alto rispetto all'esecuzione diretta delle *query* SQL a causa dell'*overhead* dovuto all'esecuzione del *framework*. Complessivamente Adempiere è più veloce del 12% rispetto ad OpenBravo, ma il consumo di energia è inferiore di ben il 43%. L'utilizzo di HIBERNATE fa sì che l'e-

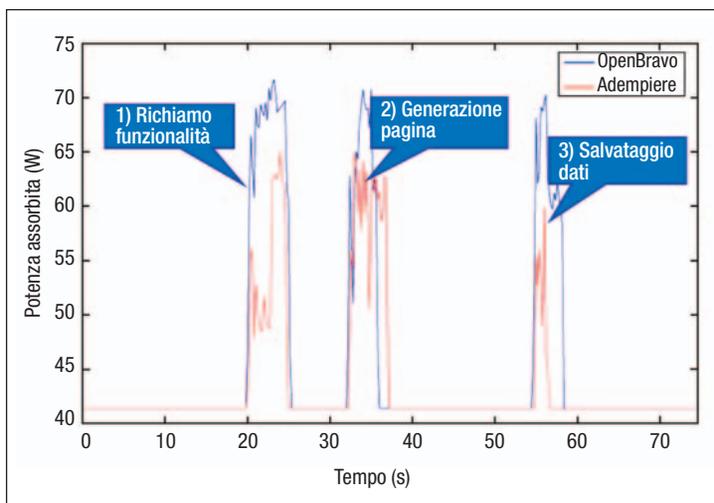


FIGURA 6
Potenza assorbita da Adempiere e OpenBravo per l'inserimento di un nuovo prodotto

Fase	Tempo impiegato da Adempiere rispetto a OpenBravo	Energia consumata da Adempiere rispetto a OpenBravo
1) Richiamo funzionalità	-5%	-50%
2) Generazione pagina	+28%	+4%
3) Salvataggio dati	-61%	-80%
Totale	-12%	-43%

TABELLA 1
Confronto dei tempi di esecuzione e dell'energia consumata da Adempiere e OpenBravo per l'inserimento di un nuovo prodotto

secuzione sia più CPU-intensive, con un impatto negativo sull'efficienza.

In generale l'utilizzo di livelli di astrazione e di *application development environment* è molto diffuso nei moderni approcci allo sviluppo del software in quanto semplifica la programmazione. Questi risultati empirici suggeriscono tuttavia che il loro utilizzo abbia un impatto non trascurabile sull'efficienza energetica del software.

5.2. Programmatori ninja o bravi operai?

L'utilizzo di livelli di astrazione permette di semplificare la scrittura e la manutenzione del codice, e quindi riduce il costo di sviluppo. È sicuramente più facile sviluppare o modificare un'applicazione che accede ai dati tramite un *framework* come HIBERNATE, che maschera la complessità della struttura dati e della gestione del *data base*, rispetto ad avere a che fare ad una classe Java che incorpora il codice SQL per le query necessarie. I livelli di astrazione, le librerie e i componenti standard e i *framework* di sviluppo permettono di impiegare per lo sviluppo delle applicazioni programmatori non specializzati, ossia "bravi operai" che possono essere formati per l'uso di quei particolari strumenti e componenti preconfezionati in poco tempo e con un investimento ridotto. Queste applicazioni soddisfano i requisiti funzionali, ma la generalità che deve caratterizzare gli strumenti utilizzati non può che inficiarne le prestazioni. Se le stesse applicazioni fossero sviluppate da programmatori "ninja", capaci di scrivere codice ottimizzato specifico per il contesto di utilizzo, l'efficienza risultante sarebbe probabilmente maggiore.

Un'ulteriore conferma del fatto che scrivere bene il codice influisce pesantemente sull'efficienza, emerge anche da un'analisi empirica effettuata su diverse implementazioni della funzione XIRR utilizzate da alcune banche italiane. La funzione XIRR calcola il tasso di rendimento di un investimento e richiede l'identificazione degli zeri di un polinomio. Questa operazione può essere svolta utilizzando diversi algoritmi, con un impatto devastante sul consumo di energia, come si evince dalla figura 7. Ottimizzare l'implementazione della funzione utilizzando l'algoritmo più efficiente riduce il consumo di energia di 3 ordini di grandezza, ma richiede programmatori con una

profonda esperienza del dominio e degli algoritmi di programmazione.

Ovviamente l'impiego di programmatori "ninja" fa aumentare considerevolmente i costi di sviluppo, e potrebbe alzare anche i costi di manutenzione in quanto il codice potrebbe essere più difficile da interpretare e modificare. Occorre quindi valutare il TCO esteso di un'applicazione e bilanciare i vari fattori per determinare la strategia di sviluppo ottima. Ad oggi la ricerca non ha ancora prodotto indicazioni chiare in questo senso, ma è molto probabile che un approccio 80-20 si possa rivelare vincente: ottimizzare tramite programmatori specializzati il 20% del codice responsabile dell'80% dei consumi, puntando invece sulla facilità di sviluppo della restante parte.

5.3. Ricerche future

L'aumento dell'efficienza energetica tramite l'ottimizzazione del codice rimane un campo aperto per la ricerca. Come discusso in precedenza è probabile che le *skill* e la formazione dei programmatori abbiano un impatto sull'efficienza del codice prodotto, anche se non è ancora chiaro in che misura questo avvenga e quali siano le *skill* con un impatto più diretto sull'efficienza energetica.

Occorre inoltre identificare i costrutti, i *design pattern* e le metodologie di programmazione che permettono di ridurre i consumi indotti dalle applicazioni. Il metodo più immediato per far progredire la ricerca in questo senso è la realizzazione di esperimenti di comparazione tra porzioni di codice che effettuano le stesse operazioni, utilizzando costrutti e strutture

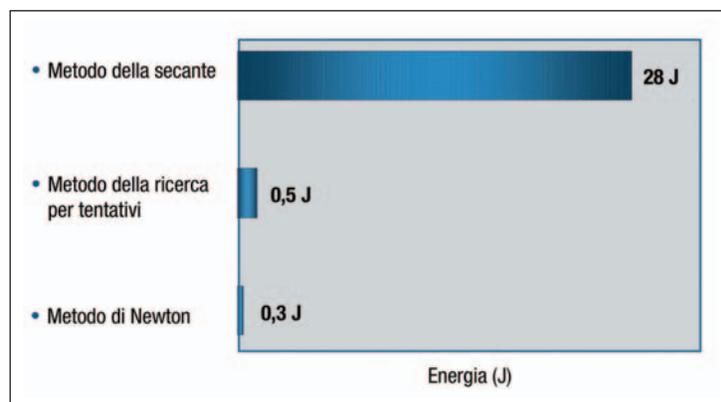


FIGURA 7

Consumo di energia della funzione XIRR implementata secondo diversi algoritmi

diverse. L'analisi dettagliata del flusso di esecuzione permette di identificare in che misura le diverse parti sono responsabili dei consumi e quindi di definire *best practice* di sviluppo. Tali *best practice* potrebbero confluire in strumenti di ausilio allo sviluppo, in grado di guidare il programmatore anche meno esperto ad una programmazione "*green oriented*".

Queste analisi possono essere complementate dallo studio dei profili e dei percorsi formativi degli sviluppatori, per poter arrivare alla definizione complessiva di strategie per lo sviluppo "*green*".

6. OTTIMIZZARE IL CONSUMO A LIVELLO DI SISTEMA

I risultati riportati nel paragrafo 5 evidenziano come, per ottenere una base di codice che garantisca l'efficienza energetica, si possa fare leva sul livello di astrazione adottato nella programmazione delle applicazioni – riducendo il peso dello stack applicativo si liberano risorse e si ottiene un controllo a granularità più fine di quelle effettivamente utilizzate. Questo tipo di azione richiede, rispetto a basi di codice esistente sviluppato senza tener conto dei problemi di consumo, sostanziali revisioni. Ciò implica un considerevole costo di sviluppo, dato che la revisione deve essere affidata a programmatori abili e dotati di esperienza specifica, ma anche un potenziale incremento nei costi di manutenzione, dato che la leva impiegata sposta inevitabilmente il rapporto fra software "*off the shelf*" e software sviluppato internamente o quantomeno *ad hoc* a vantaggio di quest'ultimo.

Di conseguenza, queste tecniche sono utilizzabili principalmente nella scrittura di nuovo codice e in particolare per applicazioni critiche, in cui il costo aggiuntivo di sviluppo e manutenzione sia più che bilanciato dai benefici ottenuti in termini di risparmio energetico, in

modo da garantire nel complesso una diminuzione del TCO.

Al contrario, per grandi basi di codice preesistenti, in cui il costo di manutenzione può risultare il fattore critico, è necessario trovare leve diverse. Sono desiderabili in questo caso metodologie di ottimizzazione almeno semiautomatica, applicabili a livello di sistema sull'intera base di codice da personale che abbia competenze di tipo sistemistico, e che non richiedano quindi modifiche manuali al codice, ma piuttosto la regolazione di parametri di ottimizzazione.

Le sezioni seguenti sono dedicate ad illustrare due tipi di intervento a livelli diversi: la regolazione della gestione della memoria e la memoizzazione semiautomatica al livello dell'applicazione.

6.1. L'impatto del *garbage collector* e della gestione della memoria

Uno dei contributi principali alla complessità di sviluppo dei sistemi software e nello stesso tempo alle prestazioni dei sistemi sviluppati è dato dalla gestione della memoria. Nella maggior parte degli ambienti di sviluppo e dei linguaggi di livello medio-alto (per esempio Java SE o Python), tale gestione è automatizzata attraverso un livello software intermedio che, a tempo di esecuzione, fornisce un'ulteriore astrazione sopra la memoria virtuale offerta dal sistema operativo. Al contrario, nello sviluppo a basso livello (per esempio nel linguaggio C o in certe specializzazioni di Java per sistemi real-time), la gestione della memoria è sovente demandata al programmatore¹.

Sono evidenti i vantaggi della gestione automatica in termini di facilità di sviluppo: la gestione automatica della memoria attraverso un *garbage collector* riduce i problemi dovuti ad oggetti non deallocati correttamente, in quanto il sistema si prende carico della deallocazione di oggetti non più raggiungibili².

¹ Non è sempre così, in quanto la gestione automatica della memoria può essere aggiunta a qualsiasi linguaggio di programmazione che non ne disponga in modo nativo attraverso librerie e una opportuna disciplina di programmazione. Nel caso del linguaggio C, la libreria di *garbage collection* più nota è il Boehm GC.

² Sebbene il *garbage collector* sia in grado di gestire gli errori più comuni dovuti a puntatori contenenti indirizzi di aree deallocate (*dangling pointer*) o aree allocate ma non più raggiungibili in quanto non vi sono più puntatori che ne mantengano gli indirizzi (*memory leak*), è comunque infondata l'idea che esso sia in grado di risolvere *tutti* gli errori relativi alla memoria. In realtà, oggetti non più utilizzati ma raggiungibili attraverso riferimenti da altri oggetti ancora utili possono portare a situazioni non dissimili dai più tradizionali *memory leak*, e persino più difficili da identificare, in quanto non immediatamente distinguibili dalla situazione corretta [11].

Tuttavia, le relazioni fra l'attività del *garbage collector*, le prestazioni e i consumi di energia legati alle applicazioni che ne fanno uso non sono immediatamente evidenti [14].

L'effetto del *garbage collector* sul profilo di consumo di memoria di un'applicazione, in linea di massima, ne altera limitatamente i picchi massimi – vi sarà infatti un costo, in genere contenuto, dovuto alle strutture dati mantenute per la gestione della memoria – ma impatta in modo più marcato sui valori medi, in quanto l'eliminazione dalla memoria delle strutture dati non più in uso non può essere troppo frequente.

In particolare, bisogna ricordare che la frequenza dell'operazione di "collection" degli oggetti non più raggiungibili (e quindi non più necessari) ha un effetto immediato sulle prestazioni e sul consumo di energia – si tratta infatti di una operazione onerosa, in quanto richiede che *tutte* le strutture dati vengano traversate, per confermare la loro raggiungibilità a partire dall'insieme delle variabili non allocate nello *heap* (il *root-set*). Quindi, in molti casi sarà preferibile mantenere in memoria strutture dati non più necessarie, ma in cambio ridurre la frequenza della *collection*.

Un'ulteriore complicazione è data dall'interferenza fra il *garbage collector* e il sottosistema di allocazione della memoria. Il *garbage collector*, infatti, si appoggia sulle normali primitive offerte dal sistema operativo per allocare la memoria (*malloc/realloc*), ma richiede in blocco aree piuttosto grandi di memoria, usandole poi internamente per l'allocazione di più oggetti richiesti dall'applicazione. L'operazione di allocazione interna al *garbage collector* può facilmente risultare più efficiente rispetto all'equivalente operazione offerta dal sistema operativo, e quindi il *garbage collector*, se si esclude il costo dell'operazione di *collection*, può risultare più efficiente dal punto di vista delle prestazioni rispetto all'allocatore di memoria offerto dal sistema operativo, in quanto riduce le operazioni svolte da quest'ultimo e introduce al loro posto operazioni meno onerose.

L'impiego del *garbage collector* - e anche il tipo di algoritmo di *garbage collection* utilizzato - ha un impatto notevole sulle prestazioni complessive del sistema. Nella figura 8 ripor-

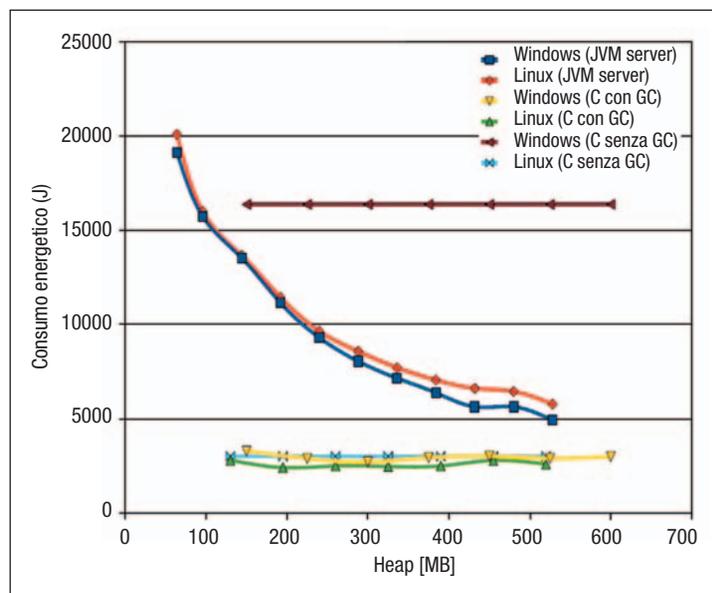


FIGURA 8

Consumi energetici al variare della dimensione massima dello heap

tiamo i risultati in termini di consumo energetico di un *benchmark* sintetico, basato sull'allocazione di liste di pari dimensioni, realizzato sia in Java che in C. I risultati sono riportati al variare della dimensione massima dello *heap*, per tenere conto dell'impatto diverso dell'operazione di *collection*. La versione Java evidenzia come l'astrazione introdotta abbia di fatto reso indipendente il consumo dal sistema operativo: la memoria viene infatti preallocata alla JVM, la cui gestione è responsabile del profilo di consumo. Si può anche notare che il consumo scende nettamente al crescere della disponibilità di memoria, in quanto il *garbage collector* esegue l'operazione di *collection* molto più raramente.

Il *garbage collector* impiegato nella versione C del *benchmark* (Boehm GC) non sfrutta invece questa opportunità e quindi la memoria massima disponibile non incide sui tempi di esecuzione né sui consumi.

Un aspetto importante è dato dal tenere in considerazione la natura degli oggetti allocati in memoria: la maggior parte delle applicazioni impiega una parte della propria memoria *heap* per oggetti quasi permanenti e la parte restante per oggetti a vita breve, che tipicamente vengono allocati e deallocati con elevata frequenza.

Il rapporto fra la memoria occupata da oggetti a vita breve e oggetti a vita lunga determina

l'efficacia degli algoritmi di *garbage collection* più semplici, come quello impiegato dal Boehm GC. Nella figura 9 riportiamo i risultati relativi ad una variante del *benchmark* sintetico impiegato in precedenza, in cui si fa variare la percentuale di oggetti a vita breve.

Si può notare che il *garbage collector* funziona bene quando più della metà degli oggetti hanno vita breve, ma è superato dall'allocatazione manuale nel caso contrario. Questo effetto non si verifica con algoritmi di *garbage collection* più avanzati, come quelli generazionali, che mantengono traccia degli oggetti allocati da più tempo (e quindi probabilmente di tipo quasi permanente), ed evitano di eseguire su di essi l'operazione di *collection*. È questo, per esempio, il caso dell'algoritmo di *garbage collection* impiegato nella macchina virtuale Java.

In prospettiva, è importante che l'allocatazione e la deallocatazione automatica della memoria sia controllata, sia in termini di algoritmi di *collection* sia in termini di determinazione della memoria preallocata (o dei blocchi di memoria che vengono allocati alla macchina virtuale quando la memoria preallocata è esaurita).

Questo tipo di ottimizzazione può essere automatizzata e integrata nella macchina virtuale, o anche svolta in modo manuale o semiautomatico dal gestore del sistema – in questo caso, con il vantaggio di poter ottimizzare in modo coordinato la disponibilità di memoria di più applicazioni.

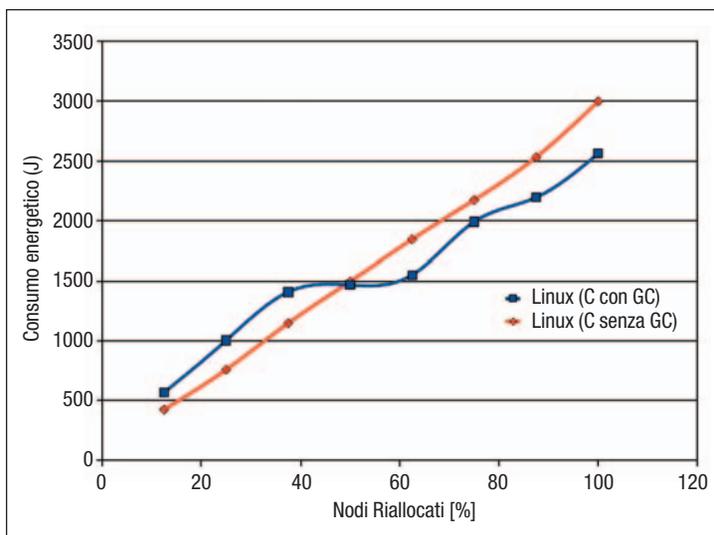


FIGURA 9
Impatto della frequenza di oggetti a vita breve nel Boehm GC

6.2. La memoizzazione per ottimizzare consumi e performance

Negli attuali elaboratori, le memorie hanno, in generale, consumi meno fortemente dipendenti dal carico di lavoro rispetto alle unità di elaborazione. Di conseguenza, ci si attende che, in quei casi in cui sia possibile un *trade-off* fra spazio e tempo di elaborazione, sia utile – anche dal punto di vista dei consumi energetici – impiegare quantità maggiori di memoria se questo porta a dei risparmi sui tempi di esecuzione. In sostanza, si tratta di memorizzare i risultati di computazioni frequenti e sostituire le successive istanze degli stessi calcoli con letture dei valori memorizzati.

Approcci simili, noti sotto il nome di *memoizzazione*, sono stati impiegati in passato, sia nell'ambito dei linguaggi funzionali – per esempio per applicazioni scientifiche per la costruzione di *parser* e per la programmazione dinamica [12, 13].

Questo tipo di approccio è applicabile quando il numero di valori assunti dai parametri delle funzioni non è troppo ampio. In questi casi, la tabulazione delle funzioni stesse è possibile nei limiti della memoria disponibile.

In generale, le tecniche di memoizzazione sono applicabili solo su funzioni pure, che non abbiano cioè effetti collaterali, come modifiche a variabili non automatiche che non vengano deallocate prima del completamento della funzione, oppure interazioni con l'utente o dispositivi esterni. La ragione di questa limitazione risiede nel fatto che queste interazioni sarebbero perse se l'esecuzione della funzione fosse sostituita dalla semplice lettura del risultato da una tabella. Tuttavia, quando questi requisiti sono soddisfatti, la memoizzazione può dare ottimi risultati. Come esempio, prendiamo il caso della funzione di calcolo dello XIRR già vista nel sottoparagrafo 5.2. Questa funzione è piuttosto onerosa dal punto di vista dell'occupazione del processore, anche se abbiamo visto che un'attenta selezione dell'algoritmo impiegato permette di aumentare drasticamente le prestazioni. Si tratta di una funzione pura, dato che non modifica i parametri in ingresso, ed esegue solo il calcolo del valore XIRR cercato. Può essere quindi memoizzata: le prestazioni, in termini di TCO, dello XIRR con memoizzazione superano quelle dell'algoritmo migliore. In questo caso, infatti, il tempo di esecuzione dell'algoritmo miglio-

re per lo XIRR è superiore rispetto al tempo di accesso alla tabella in cui sono memoizzati i risultati dello XIRR. In termini generali, la convenienza della memoizzazione per una data funzione pura f dipende dalla *frequenza di successo* α , ovvero il rapporto fra il numero di invocazioni di f per cui è possibile trovare il risultato in memoria e il numero totale di invocazioni di f . In modo più preciso, il tempo di calcolo di f con memoizzazione è espresso, in funzione di α , del tempo di esecuzione dell'algorithmo originale T_{comp} , e dei tempi di accesso alla memoria in caso di successo (T_{hit}) e fallimento (T_{miss}):

$$T_{memo} = \alpha T_{hit} + (1 - \alpha)(T_{miss} + T_{comp})$$

Si raggiunge il punto di *break even* quando $T_{memo} = T_{comp}$.

Se la differenza nei tempi di accesso alla memoria in caso di successo e fallimento è circa uguale, ne risulta che, per ottenere un guadagno, deve essere vera la seguente relazione:

$$\alpha > T_{miss} / T_{comp}$$

La conclusione è che, da una parte, è necessario scegliere funzioni computazionalmente onerose e che, allo stesso tempo, vengano in-

vocate frequentemente con gli stessi parametri, e dall'altra implementare tabelle di memoizzazione con tempi di accesso rapidi.

Di conseguenza, l'impiego della tecnica di memoizzazione richiede l'impiego di programmatori e progettisti esperti – non solo perché sono necessarie la modifica del codice e l'implementazione di strutture di memoizzazione molto efficienti, ma soprattutto perché l'individuazione delle funzioni che devono essere memoizzate non è banale, ed è cruciale per ottenere un effetto significativo sui consumi e sulle prestazioni. Inoltre, modifiche al codice come quelle richieste per la memoizzazione richiedono l'accesso al codice sorgente, che, nel caso di codice sviluppato da terze parti, potrebbe non essere disponibile.

Per ovviare a questi problemi, si può cercare di automatizzare almeno in parte il processo di ottimizzazione del codice attraverso la memoizzazione. A questo scopo, è stato sviluppato presso il Politecnico di Milano un prototipo di strumento per la memoizzazione semiautomatica. Lo strumento opera su codice bytecode Java, quindi senza richiedere l'accesso al codice sorgente, ed è costituito dai componenti illustrati nella figura 10:

□ analisi statica del codice: permette di deter-

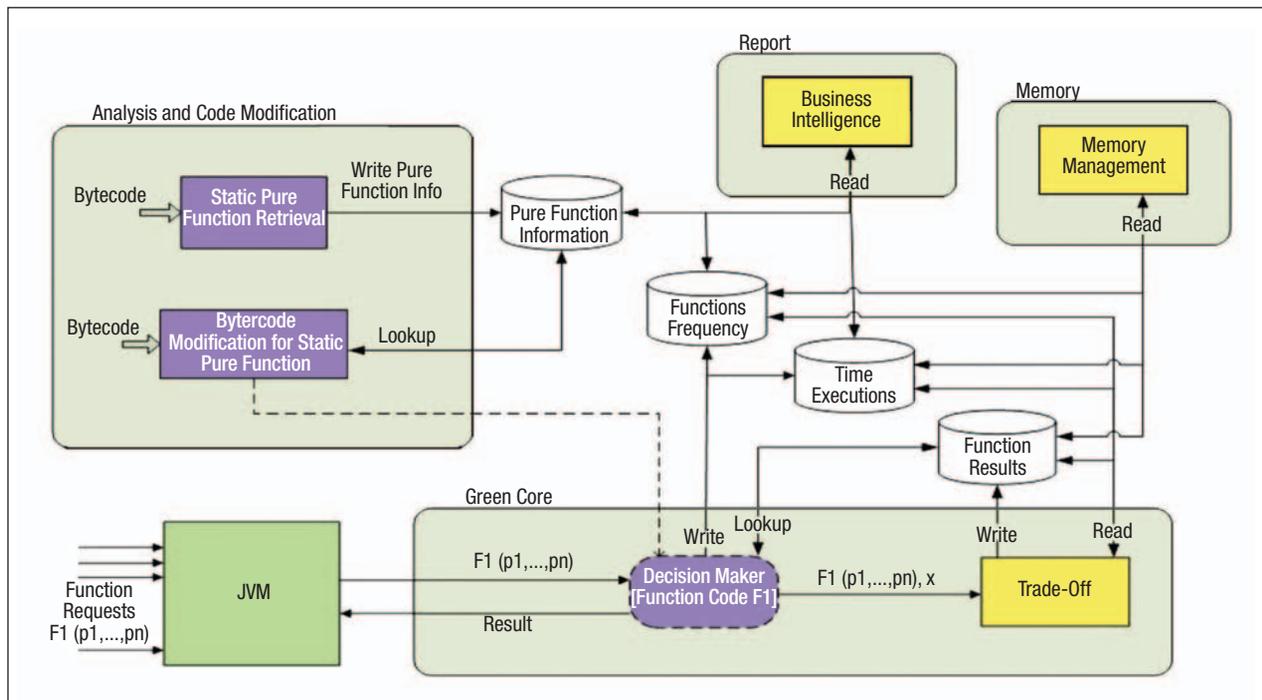


FIGURA 10
Schema dell'architettura per la memoizzazione

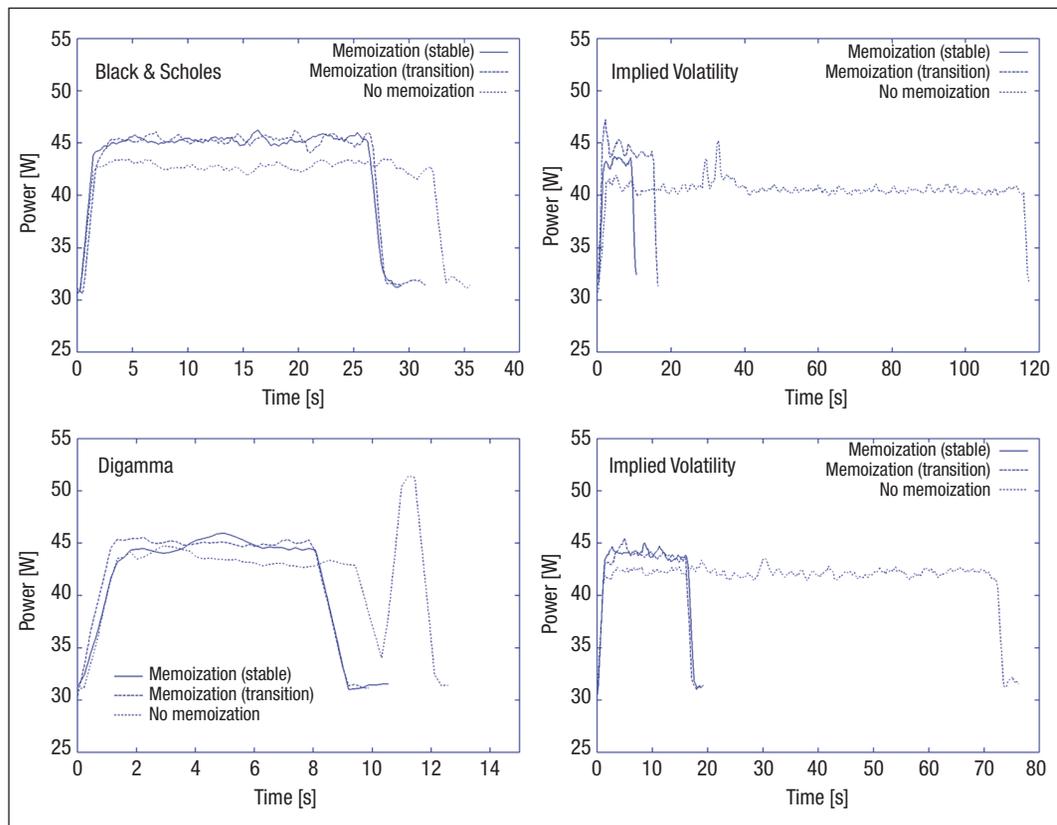


FIGURA 11

Confronto della potenza assorbita dalle funzioni analizzate con e senza l'approccio di memoizzazione

minare quali metodi Java possono essere considerati *funzioni pure* ai fini della memoizzazione;

□ selezione dei metodi da memoizzare: le funzioni pure che risultano troppo piccole per poter fornire un contributo significativo ($T_{miss} \approx T_{comp}$) sono automaticamente scartate, ma viene richiesto un intervento esplicito all'utente per selezionare fra i metodi restanti quelli ritenuti più importanti;

□ strumentazione del codice: inserisce all'interno del bytecode dei metodi selezionati il codice necessario per realizzare la memoizzazione;

□ moduli di runtime: durante l'esecuzione, le tabelle di memoizzazione vengono popolate, inserendo man mano i valori calcolati (se un valore richiesto non è presente in memoria, viene calcolato impiegando l'algoritmo originale e inserito nella tabella opportuna);

Il prototipo è stato testato su un insieme di funzioni finanziarie e matematiche per valutare l'impatto della memoizzazione sia sulle prestazioni che sui consumi. Riportiamo nella

figura 11 profili di consumo per quattro casi di studio:

□ *Implied Volatility*: calcolo della volatilità di una *stock option* dato il prezzo di mercato ed un modello di prezzo delle opzioni [8];

□ *Black & Scholes*: calcolo del prezzo delle opzioni *put* e *call* secondo il metodo *Black-Scholes-Merton* [3];

□ *Binomial*: calcolo dei coefficienti binomiali;

□ *Digamma*: calcolo della derivata seconda logaritmica della funzione gamma.

Per ciascuno dei metodi in esame, si riportano i profili relativi all'esecuzione del codice non modificato e all'esecuzione del codice modificato, partendo da tabelle di memoizzazione vuote, e infine all'esecuzione del codice modificato, partendo però da tabelle di memoizzazione già inizializzate. I parametri delle invocazioni sono generati casualmente, secondo un modello gaussiano.

Si nota che, una volta esaurito il transitorio necessario per il popolamento delle tabelle, il codice modificato automaticamente ottiene consumi complessivi migliori, grazie ad una

		Tg [s]	Risp. [%]	Δ Int [J]	Risp. [%]	Δ Media [W]	Risp. [%]
Implied Vol.	Orig.	117,50		824,46		7,01	
	Trans.	17,66	85%	182,05	78%	10,29	-47%
	Stabile	11,89	90%	81,92	90%	6,85	2%
Black Scholes	Orig.	35,74		284,08		7,94	
	Trans.	28,22	21%	267,78	6%	9,47	-19%
	Stabile	26,54	8%	266,53	2%	10,03	-30%
Binomial	Orig.	76,50		613,68		8,02	
	Trans.	18,31	76%	150,43	75%	8,19	-2%
	Stabile	18,86	75%	147,95	76%	7,82	2%
Digamma	Orig.	12,79		107,92		8,40	
	Trans.	10,01	22%	85,88	20%	8,52	-1%
	Stabile	10,23	19%	76,78	29%	7,42	12%

TABELLA 2

Sintesi dei risultati (Tg = tempo di esecuzione; Δ Int = differenza dei consumi, calcolati come integrale della potenza assorbita sul tempo di esecuzione; Δ Media = differenza della potenza media)

netta riduzione dei tempi di esecuzione. Nei casi in cui l'algoritmo originale è più complesso, come *Implied Volatility*, si ottiene anche una riduzione dei consumi istantanei medi.

La fase di transitorio, valutata con l'esecuzione del codice modificato nel caso con tabelle di memoizzazione inizialmente vuote, mostra invece un peggioramento dei consumi istantanei medi, dovuto alla maggiore attività, e di conseguenza anche una diminuzione dei benefici complessivi.

Nella tabella 2 riportiamo una sintesi dei risultati, sia in termini di tempi di esecuzione sia in termini di consumi energetici.

6.3. Ricerche future

La memoizzazione può essere molto efficace, come abbiamo visto, ma è necessario poterla applicare a funzioni critiche per i consumi. Spesso, l'analisi automatica del codice non è in grado di determinare se una funzione critica può essere memoizzata oppure no. In questo caso, è necessario riportare al programmatore o al gestore del sistema nel modo più chiaro le ragioni per cui il sistema non è in grado di prendere la decisione, in modo che il dubbio possa essere risolto nel tempo minimo. Inoltre, è necessario integrare i diversi ap-

procci al risparmio energetico, per garantire che non vi siano interferenze negative.

7. CONCLUSIONI

Il consumo energetico è uno dei fattori di costo primari per i sistemi informatici. Sebbene i processori non siano la principale fonte di consumi all'interno di un sistema, il software che viene eseguito su di essi determina l'attività dell'intero sistema.

Come in molti casi simili, anche nel consumo energetico dovuto all'esecuzione di applicazioni software vale la legge di Pareto, per cui la maggior parte degli effetti dipende da poche cause, che devono essere identificate per poter mettere in atto strategie di ottimizzazione efficaci.

Abbiamo presentato due diversi tipi di ottimizzazione, che operano a livelli diversi nello *stack* applicativo, ma è importante rimarcare che si tratta solo di alcuni esempi – vi sono molti altri aspetti della progettazione e della manutenzione del software che devono essere esplorati, e possono, nelle opportune condizioni operative, fornire significativi risparmi energetici.

In futuro, sarà determinante per minimizzare

i consumi la capacità di coordinare queste ottimizzazioni sull'intero *stack* applicativo.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano la Prof. Chiara Francalanci e l'Ing. Marco Bessi per il prezioso contributo. Si ringrazia inoltre Accenture Italia per aver supportato le fasi iniziali della ricerca.

Bibliografia

- [1] ACEEE: *A Smarter Shade of Green*. ACEEE Report for the Technology CEO Council, 2008.
- [2] Barroso L.A., Hölzle U.: *The Datacenter as a Computer: An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines*. Ed. Morgan & Claypool, Madison, 2009.
- [3] Capra E., Formenti G., Francalanci C., Gallazzi S.: *The impact of MIS software on IT energy consumption*. European Conference of Information Systems, 2010.
- [4] Fomaciarì W., Gubian P., Sciuto D., Silvano C.: Power estimation of embedded systems: A hardware/software codesign approach. *IEEE Trans. on VLSI Systems*, Vol.6, n. 2, 1998, p. 266-275.
- [5] Lee C., Brown E.G.: *Topic overview: Green it*. Technical report, Forrester Research, Novembre 2007.
- [6] Katz D.M.: *CIOs called clueless about extra costs*. CFO.com, 27 settembre 2010.
- [7] Kumar R.: *Important power, cooling and green it concerns*. Technical report, Gartner, Gennaio 2007.
- [8] Saxena A., Chung D.: *Optimizing the datacenter for cost and Efficiency*. IDC White Paper, 2009.
- [9] Stanford E.: *Environmental trends and opportunity for computer system power delivery*. 20-th Int'l Symposium on Power Semiconductor Devices and IC's, 2008.
- [10] Vahdat A., Lebeck A., Ellis C.S.: *Every joule is precious: the case for revisiting operating system design for energy efficiency*. ACM SIGOPS European Workshop, 2000, p. 31-36.
- [11] Xu G.Q., Rountev A.: *Precise memory leak detection for java software using container profiling*. ACM/IEEE 30-th International Conference on Software Engineering, 2008. ICSE '08, May 2008, p.151-160.
- [12] Acar Umut A., Blelloch Guy E., Harper R.: *Selective memoization*. In: Proceedings of the 30-th ACM SIGPLAN-SIGACT symposium on Principles of programming languages, POPL '03, New York, NY, USA, 2003. ACM, p. 14-25.
- [13] Norvig P.: Techniques for automatic memoization with applications to context-free parsing. *Comput. Linguist.*, Vol. 17, March 1991, p. 91-98.
- [14] Berger E.D., Hertz M.: *Quantifying the performance of garbage collection vs. explicit memory management*. 2005.
- [15] Sissa G.: *Green Software*. *Mondo Digitale*, settembre 2009.

GIOVANNI AGOSTA è ricercatore confermato di Sistemi di Elaborazione dell'Informazione presso il Politecnico di Milano, dove ha conseguito la laurea in Ingegneria Informatica nel 2000 e il Dottorato in Ingegneria dell'Informazione nel 2004 e dove è docente di Algoritmi e Principi dell'Informatica e Piattaforme Software per la Rete. La sua attività di ricerca verte principalmente sulle interazioni tra architetture di elaborazione e compilatori, spaziando dalla compilazione dinamica alle metodologie di progetto e implementazione di applicazioni per sistemi dedicati, ai modelli di programmazione per architetture parallele e alla sintesi logica. È autore di più di trenta articoli su riviste e conferenze internazionali.
E-mail: agosta@elet.polimi.it

EUGENIO CAPRA è professore a contratto di Sistemi Informativi al Politecnico di Milano, presso cui ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione, nel 2008, e la laurea in Ingegneria Elettronica nel 2003. È stato Visiting Researcher presso la Carnegie Mellon West University (NASA Ames Research Park, CA) da settembre 2006 a marzo 2007. Ha lavorato come business analyst per McKinsey & Co. dal 2004 fino al 2005, svolge attività di consulenza nell'ambito di gestione e innovazione dei processi IT. Le sue attività di ricerca principali riguardano il Green ICT, i modelli manageriali in ambiente open source e l'impatto dell'IT sui processi di business. Su questi temi ha scritto diversi articoli a livello sia nazionale che internazionale.
E-mail: eugenio.capra@polimi.it

SIMULAZIONI E MODELLI PER LA QUALITÀ DELL'ARIA

In Italia si rilevano spesso elevate concentrazioni di ozono e particolato, che superano i limiti fissati dalla legislazione vigente. Per affrontare questo problema è possibile utilizzare sistemi di modelli deterministici, in grado di simulare gli effetti di differenti politiche di riduzione delle emissioni antropiche sulle concentrazioni di inquinanti. Si presentano in questo lavoro i primi risultati delle simulazioni effettuate sul Nord Italia (relative all'anno 2004) nell'ambito del progetto HPC-EUROPA, per creare una banca dati meteorologica da utilizzare in applicazioni modellistiche per la qualità dell'aria.

1. INTRODUZIONE

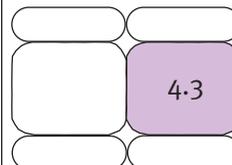
La normativa italiana sull'inquinamento atmosferico recepisce le direttive della Commissione Europea in materia, assegnando alle Regioni il ruolo di autorità preposte alla gestione e monitoraggio della qualità dell'aria. Al fine di raggiungere questi obiettivi, suggerisce un utilizzo integrato di differenti strumenti quali misure, inventari di emissioni, modelli di dispersione e di chimica e trasporto. Un corretto utilizzo dei modelli di chimica e trasporto è tanto cruciale quanto complesso, poiché è solitamente necessario che essi siano integrati in più ampi sistemi di modelli, che includano anche modelli delle emissioni, modelli per la creazione delle condizioni iniziali e al contorno e modelli meteorologici [1]. Questo studio è focalizzato sui modelli meteorologici che forniscono campi 3D da utilizzare come input alla simulazione della qualità dell'aria.

Attualmente ancora mancano delle linee guida generali e condivise sulle tecniche e gli approcci da utilizzare per valutare le prestazioni di modelli meteorologici; inoltre manca un ampio consenso sulle modalità da adotta-

re per analizzare differenti configurazioni dei modelli, legate ad esempio alla risoluzione orizzontale della griglia di simulazione, alla struttura verticale dei modelli ecc. [2]. Per quanto riguarda i modelli di chimica e trasporto, le linee guida europee forniscono direttive più precise. Per esempio ai fini della valutazione dell'effetto di riduzioni delle emissioni sulla qualità dell'aria, si richiede che le simulazioni abbiano una durata di almeno un anno; ciò comporta, dal punto di vista della meteorologia, l'esigenza di generare *dataset* meteorologici di dimensioni elevate e di disporre quindi di risorse di calcolo parallelo per far fronte alla pesantezza computazionale delle simulazioni. A titolo di esempio, su una macchina a singolo processore con caratteristiche standard e per un tipico dominio regionale, per ricostruire i campi meteo di un'ora di simulazione può essere necessario utilizzare circa 30 min di tempo di calcolo. Si capisce dunque come l'approccio "sequenziale" per questo tipo di simulazioni non sia proponibile. In quest'ottica si inserisce il lavoro presentato, che è stato svolto



Ekaterina Batchvarova
Giovanna Finzi
Enrico Pisoni



nell'ambito del progetto HPC-EUROPA (*Pan-European Research Infrastructure on High Performance Computing*) grazie alla possibilità di accedere a *cluster* di processori e ad un numero elevato di ore di calcolo. In particolare sono state realizzate simulazioni meteorologiche utilizzando il modello RAMS sul dominio della pianura padana. È stata effettuata una simulazione annuale considerando come riferimento il 2004. Oltre alla descrizione del modello e della sua configurazione operativa, nel seguito si presenta un primo confronto tra variabili meteorologiche misurate e simulate sull'area metropolitana milanese. È noto che la città di Milano è spesso interessata da fenomeni di inquinamento molto elevato [3] ed è dunque particolarmente importante descrivere in maniera accurata i campi meteorologici per questo sito.

2. IL MODELLO UTILIZZATO E LA SUA CONFIGURAZIONE

Il modello RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System* [4]), sviluppato dai ricercatori della *Colorado State University*, è un modello numerico per la simulazione e la previsione delle variabili meteorologiche e per la loro rappresentazione grafica. I principali moduli che compongono RAMS sono:

1. un modello atmosferico, che ricostruisce i campi meteorologici utilizzando complesse parametrizzazioni e sistemi di equazioni differenziali;
2. un preprocessore, che permette di formattare i dati iniziali a partire dalle misure o dalle simulazioni a grande scala, da utilizzare per fornire le condizioni iniziali e al contorno al modello;
3. un post processore, per la visualizzazione e l'analisi dei risultati.

Essendo RAMS un modello deterministico che risolve al suo interno sistemi di equazioni differenziali molto pesanti dal punto di vista computazionale, le simulazioni vengono frequentemente implementate su macchine per il calcolo parallelo. Al suo interno, infatti, il codice RAMS implementa un paradigma di decomposizione geografica del dominio di simulazione; in pratica il dominio viene suddiviso in sottodomini, ogni sottodominio viene assegnato ad un processore, ed una proce-

dura ad hoc si occupa di mettere in comunicazione i sottodomini tra loro, in modo che questi possano scambiarsi le informazioni "al contorno" delle simulazioni stesse. Al termine della simulazione i risultati dei sottodomini vengono di nuovo uniti in un unico campo, contenente i risultati della simulazione sul dominio globale. Il modello è principalmente pensato per essere utilizzato su sistemi Unix e Linux, ed è quasi interamente scritto nel linguaggio di programmazione Fortran 90.

RAMS può essere utilizzato per differenti scopi. In questo studio il modello viene utilizzato per fornire campi meteorologici ad un modello di chimica e trasporto. L'analisi si concentra sul Nord Italia, un'area caratterizzata da elevate concentrazioni di inquinanti secondari, che comportano una notevole complessità nell'analisi e implementazione di politiche di controllo efficienti delle emissioni inquinanti. Il dominio include la regione Lombardia, area ad elevata industrializzazione, nella quale vivono 10 milioni di abitanti. Inoltre, date le peculiari condizioni meteorologiche caratterizzate da basse velocità del vento e inversioni di temperatura, e data la morfologia complessa del dominio, risulta vitale una corretta ricostruzione delle variabili meteorologiche sul dominio al fine di effettuare una simulazione affidabile dei campi di concentrazione degli inquinanti con un modello di chimica e trasporto. La creazione di un *dataset* meteorologico potrà consentire in futuro di utilizzare sul dominio di studio il sistema di supporto alle decisioni GAMES [5], sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Brescia. Dal punto di vista della configurazione del modello, l'applicazione implementata in questo progetto utilizza tre griglie innestate (come mostrato nella Figura 1). Ciò significa che vengono lanciate contemporaneamente differenti simulazioni modellistiche - una su un dominio europeo, una su un dominio sub-europeo e una sulla pianura padana - e che queste simulazioni sono in comunicazione tra loro scambiandosi informazioni tra livelli superiori ed inferiori, e viceversa. In questo modo si è in grado di descrivere, tramite i diversi livelli di simulazione, sia la meteorologia di tipo sinottico (a grande scala), sia la meteorologia locale, condizionata dalla meteorologia del sito oggetto di studio.

La risoluzione spaziale delle tre griglie è rispettivamente 128, 32 e 8 km, mentre il numero di celle considerate per le simulazioni risulta rispettivamente 40×40 , 86×86 e 102×102 . Dal punto di vista della risoluzione verticale, il modello considera 33 livelli con spaziatura crescente all'aumentare dell'altezza, giungendo sino a circa 20 km di quota. La risoluzione temporale di simulazione è di un'ora.

La simulazione è stata estesa a tutto l'anno 2004; dal punto di vista dell'implementazione effettiva della simulazione, sono state effettuate un totale di 72 simulazioni di 126 h ciascuna, considerando un tempo di *spin-up* (in pratica di "riscaldamento" del modello) di circa 6 h. Il modello è stato lanciato utilizzando 20 CPU per ogni simulazione, per un totale di circa 10000 h di calcolo. I *dataset* utilizzati per le simulazioni sono: USGS (*United States Geological Survey*) per l'orografia e l'uso del suolo (ad una risoluzione di $30''$) e la temperatura superficiale del mare (medie climatologiche ad una risoluzione di 1°). Le condizioni iniziali e al contorno sono fornite dai dati di rianalisi di NCAR (*National Centre for Environmental Research*) [6]. Questi *file* meteorologici sono ottenuti dai *run* di un modello a grande scala gestito dal *National Centre for Environmental Prediction* (NCEP) e hanno una risoluzione spaziale di 2.5° , temporale di 6 h.

3. L'APPLICAZIONE MODELLISTICA

Si presentano ora i risultati di una prima validazione effettuata sulle simulazioni realizzate nell'ambito del progetto. Le misure per validare le simulazioni modellistiche sono state scaricate dal sito NCEP *Global Surface Observations ADP* (*Automated Data Processing*), usando il database *ds464.o* (<http://dss.ucar.edu/datasets/ds464.o/>), che contiene numerose misure meteorologiche a livello globale. In particolare sono state estratte le serie temporali di temperatura, velocità e direzione del vento, per il periodo che va dal 15 gennaio al 15 febbraio 2004. Questa finestra temporale è stata scelta poiché nei mesi invernali la pianura padana è caratterizzata da episodi di inquinamento significativi e frequenti, e dunque è

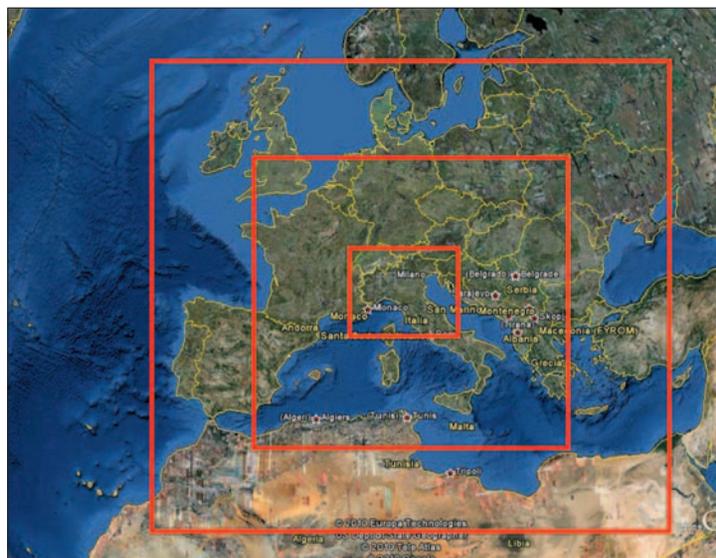


FIGURA 1

L'orografia dei tre domini considerati per la simulazione modellistica

importante la corretta ricostruzione della meteorologia in questo periodo dell'anno.

Nel dettaglio si è scelto di utilizzare, per una prima validazione delle simulazioni modellistiche, la stazione di misura dell'aeroporto di Milano Linate (molto vicino alla città di Milano, nella parte orientale della città stessa). È importante notare che la validazione viene fatta tra i dati della stazione di misura e il valore medio calcolato per la cella di simulazione (dimensione 8×8 km) più vicina alle coordinate della stazione stessa.

La figura 2 A mostra come esempio la mappa di temperatura alle ore 12:00 del 10 febbraio 2004. Si può osservare che le temperature vengono descritte correttamente sul dominio dal punto di vista spaziale, con valori più bassi sulle Alpi e valori relativamente omogenei sulla pianura padana.

La figura 2 B mostra invece il confronto tra la temperatura media giornaliera ricostruita da modello e quella misurata. Si nota una generale sottostima del modello con alcune eccezioni tra il 20 e il 30 gennaio, periodo in cui i valori sono meglio riprodotti (o leggermente sovrastimati) dal modello.

La figura 3 mostra un'analoga analisi per la velocità media oraria del vento, valutata a 10m di altezza. La figura 3 A mostra la velocità e la direzione del vento sul dominio di studio, per la stessa ora di simulazione considerata per il campo di temperatura. Il campo di ven-

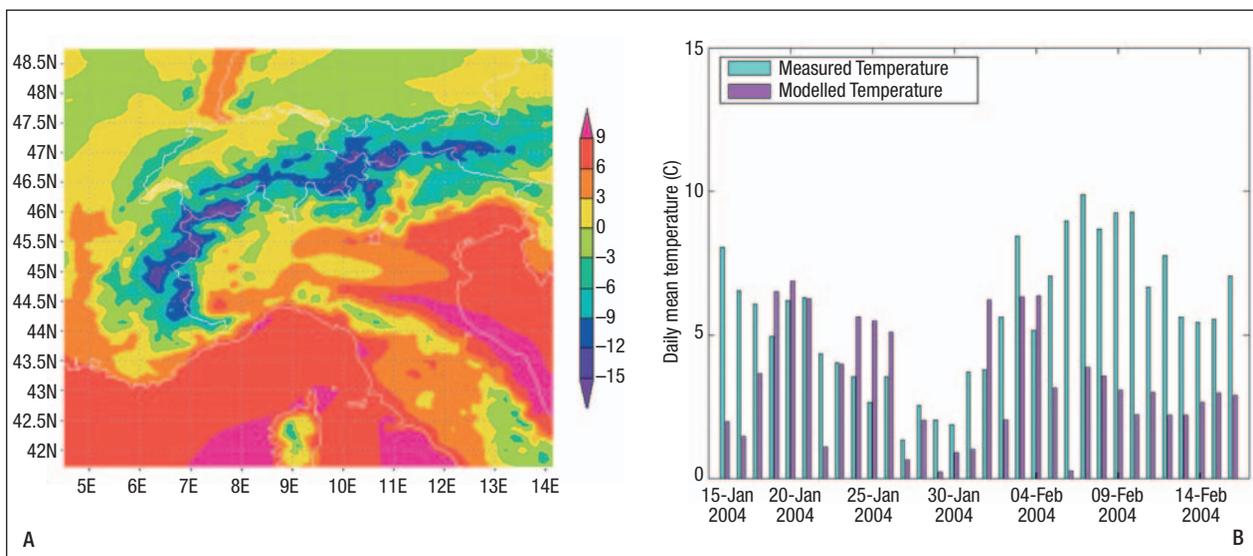


FIGURA 2

A - Campi di temperatura (gradi) a 2 m di altezza, come simulata dal modello, alle ore 12:00 del 10 febbraio 2004; B - confronto sulla media giornaliera di temperatura a 2 m, tra modello e misura, per il sito di Milano Linate, per il periodo tra il 15 gennaio e il 15 febbraio 2004

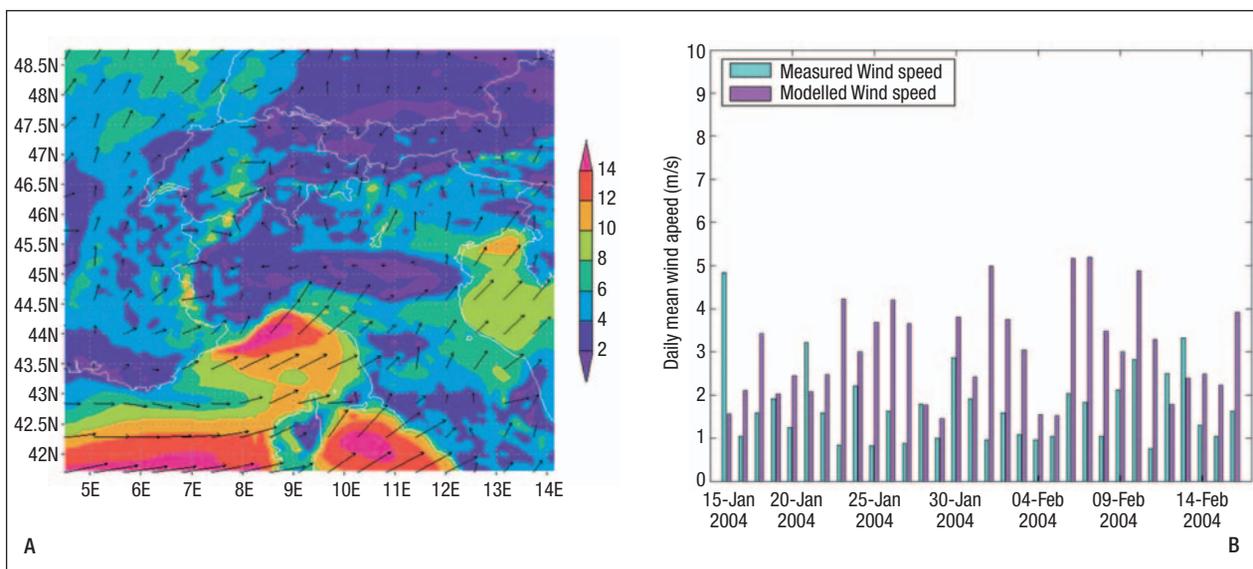


FIGURA 3

A - Campo di vento orario a 10 m di altezza, come simulato dal modello (i colori rappresentano la velocità del vento in m/s, mentre le frecce la direzione del vento), alle ore 12:00 del 10 febbraio 2004; B - confronto sulla velocità del vento media giornaliera (misura e modello) sul sito di Milano Linate, per il periodo dal 15 gennaio al 15 febbraio 2004

to, sull'asse centrale della pianura padana, evidenzia la tipica direzione prevalente est-ovest, associata a velocità del vento generalmente basse. Sul Mar Mediterraneo si notano invece velocità del vento più elevate associate a direzioni provenienti da ovest/sud-ovest. Queste caratteristiche sono probabilmente legate più alle dinamiche meteorologiche a scala sinottica che alle dinamiche locali (influen-

zate ad esempio dall'orografia). La figura 3 B mostra un confronto tra la velocità del vento media giornaliera simulata e misurata per il sito dell'aeroporto di Milano Linate. Si nota la forte difficoltà del modello a riprodurre le basse velocità del vento, con una costante sovrastima; questa caratteristica è comune a molte simulazioni meteorologiche presenti in letteratura implementate sul Nord Italia.

4. CONCLUSIONI

In questo lavoro sono stati mostrati i primi risultati della validazione delle simulazioni meteorologiche sul Nord Italia, effettuate utilizzando il modello RAMS nel quadro del progetto HPC-EUROPA. Per questo tipo di simulazioni di lungo periodo, con elevata risoluzione spaziale e tre griglie innestate è risultato fondamentale l'utilizzo di *cluster* di processori, che hanno consentito di ottenere risultati in tempi di calcolo accettabili. In particolare sono state realizzate simulazioni meteorologiche estese a tutto l'anno 2004 sul dominio della pianura padana, predisponendo così un *database* di campi meteorologici 3D utilizzabili per alimentare ulteriori applicazioni modellistiche per la valutazione della qualità dell'aria, sul dominio preso in considerazione.

Possibili sviluppi scientifici di questo tipo di applicazioni meteorologiche prevedono l'utilizzo di tecniche di *data assimilation* e di modelli *online*. Per *data assimilation* si intende quell'insieme di tecniche nate per migliorare l'affidabilità della stima dei campi meteorologici, integrando i risultati delle simulazioni modellistiche con le misure disponibili sul dominio. I modelli *online* invece permettono di risolvere, in maniera accoppiata, le equazioni differenziali sia dei modelli meteorologici che dei modelli di chimica e trasporto, utilizzando gli stessi *time-step* di integrazione e consentono di simulare le mutue relazioni di *feedback*.

EKATERINA BATCHVAROVA, PhD e DSc, è ricercatrice senior all'istituto nazionale di meteorologia e idrologia dell'Accademia delle Scienze di Sofia, Bulgaria. I suoi campi di ricerca sono principalmente relativi a: strato limite planetario su aree ad orografia complessa, su aree pianeggianti e su aree urbane; turbolenza atmosferica, modellistica e monitoraggio della qualità dell'aria. È autrice di circa 50 pubblicazioni in riviste internazionali e ha partecipato a numerose conferenze. Si occupa inoltre dell'organizzazione di conferenze internazionali sull'inquinamento atmosferico, è membro del comitato scientifico delle conferenze NATO/SPS ITM e HARMO, ed è vicepresidente di EUROSAP (EUROSAP, European Association for the Science of Air Pollution).
Ekaterina.Batchvarova@meteo.bg

GIOVANNA FINZI è professore ordinario di Automatica presso l'Università di Brescia, dove coordina il gruppo di modellistica ambientale (<http://automatica.ing.unibs.it/esma/esma.html>). L'attività scientifica, svolta in collaborazione con centri di ricerca nazionali e internazionali, riguarda essenzialmente la modellistica e la gestione dei sistemi ambientali, con particolare interesse per il controllo dell'inquinamento atmosferico. È rappresentante nazionale in Comitati di Gestione di Azioni Europee COST nel settore Earth System Science and Environmental Management e nella Task Force UNECE on Measurements and Modelling.
finzi@ing.unibs.it

ENRICO PISONI è ricercatore all'Università di Brescia. Si è laureato nel 2002 in Ingegneria Ambientale al Politecnico di Milano, e ha ottenuto il dottorato di ricerca in Ingegneria dell'Informazioni all'Università di Brescia nel 2007. Si occupa, come attività di ricerca, di modellistica e simulazione di sistemi non lineari, identificazione di modelli e tecniche di ottimizzazione. Il suo lavoro è principalmente legato ad applicazioni nel campo della qualità dell'aria.
enrico.pisoni@ing.unibs.it

Ringraziamenti

Si ringrazia HPC-EUROPA Transnational Access Programme, finanziato dalla Comunità Europea, nell'ambito del sesto programma quadro di ricerca FP6 "Support to Research Infrastructure action" e il CINECA di Bologna per il supporto scientifico, computazionale e organizzativo.

Bibliografia

- [1] Carnevale C., Pisoni E., Volta M.: Selecting effective ozone exposure control policies solving a two-objective problem. *Ecological Modelling*, Vol. 204, 2007, p. 93-103.
- [2] Batchvarova E., Cai X., Gryning S.E., Steyn D.: Modelling internal boundary layer development in a region with complex coastline. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 90, 1999, p. 1-20.
- [3] Vecchi R., Marazzan G., Valli G., Ceriani M., Antoniazzi C.: The role of atmospheric dispersion in the seasonal variation of PM1 and PM2.5. *Atmospheric Environment*, Vol. 38, 2004, p. 4437-4446.
- [4] Cotton W.R., Pielke Sr. R.A., Walko R.L., Liston G.E., Tremback C.J., Jiang H., McAnelly R.L., Harrington J.Y., Nicholls M.E., Carrio G.G., McFadden J.P.: RAMS 2001: Current status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 82, 2001, p. 5-29.
- [5] Volta M., Finzi G.: GAMES, a comprehensive Gas Aerosol Modelling Evaluation System. *Environ. Model. Software*, Vol. 21, 2006, p. 587-594.
- [6] Kalnay, et al.: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 77, 1996, p. 437-470.



PROFESSIONE ICT

Competenze e professionalità per l'innovazione digitale

Rubrica a cura di

Roberto Bellini, Federico Butera, Alfonso Fuggetta

Il tema dell'innovazione e della competitività del sistema Italia è all'ordine del giorno della discussione economica e di quella sulle politiche industriali; sono promosse iniziative istituzionali a supporto dell'innovazione e si auspica un maggiore contributo della ricerca a livello universitario e privato. Anche l'Unione Europea spinge sul tema dell'innovazione, in particolare sul ruolo che le tecnologie ICT possono svolgere sia nei sistemi industriali che nei sistemi di governo e sull'importanza che può avere la definizione di un *framework* comune delle competenze ICT, compatibile con quanto previsto dall'EQF - *European Qualification Framework* - recentemente approvato dall'Unione Europea (2006).

Mondo Digitale vuole sostenere la diffusione di una maggiore sensibilità sul contributo che le competenze e le professionalità relative alle tecnologie digitali possono fornire in termini di innovazione dei servizi e del business dell'Impresa e di servizi per la cittadinanza erogati dagli enti della Pubblica Amministrazione. Questa nuova rubrica è dedicata appunto all'approfondimento sistematico di tutti gli aspetti che riguardano i progetti di analisi e di miglioramento delle competenze per l'innovazione digitale, il monitoraggio dei bisogni di competenza richiesti dal mercato e la valutazione delle offerte di qualificazione e aggiornamento delle competenze proposte dalle istituzioni educative di base e dagli operatori della formazione professionale e permanente.

La rubrica analizzerà l'andamento del mercato del lavoro delle professionalità ICT, i casi di successo nella crescita di competenze del personale dei fornitori di tecnologie e servizi e degli specialisti ICT, sia delle imprese manifatturiere e di servizio che degli enti della Pubblica Amministrazione, nonché l'andamento delle retribuzioni a livello nazionale e internazionale, usando come riferimento i profili e le competenze dello Standard EUCIP che AICA promuove in Italia.

Quali sono le competenze di un innovatore digitale?

**Una conversazione con Agostino Cortesi, Giorgio De Michelis, Alfonso Fuggetta
a cura di Roberto Bellini, Franco Filippazzi e Pierfranco Ravotto**

1. INTRODUZIONE

La proposta di organizzare questa conversazione nasce dalla nuova linea di ricerca del Progetto *Smart Knowledge Management* centrata sul tema "Competenze del decisore e gestore dell'Innovazione"; la tematica è stata discussa coinvolgendo tre professori universitari e tre esperti di AICA che hanno lavorato come un CdR - Comitato di Redazione di Mondo Digitale di AICA, costituito ad hoc per questo contributo.

Gli interlocutori sono:

□ Agostino Cortesi (nel seguito AC), professore all'Università di Venezia Ca'Foscari e responsabile del progetto della Regione Veneto su "De-

clinazione, Verifica e Validazione delle Competenze nei Percorsi di Laurea Universitari di Primo Livello".

□ Giorgio De Michelis (nel seguito GDM), professore alla Università Bicocca di Milano e imprenditore della start up *Itsme*.

□ Alfonso Fuggetta (nel seguito AF), professore al Politecnico di Milano e AD del Cefriel, consorzio per l'innovazione del Politecnico.

□ CdR di Mondo Digitale, comprendente:

- Roberto Bellini, come cultore dell'innovazione e attualmente coordinatore del CTS e membro della Giuria del Premio Nazionale Innovazione nei Servizi,
- Franco Filippazzi, direttore di Mondo Digi-

Riquadro 1

Cosa intendiamo per Innovazione Digitale, in particolare nei servizi

- L'innovazione presuppone un risultato economico e non è quindi un risultato solo tecnico derivante da una ricerca di laboratorio (invenzione); l'innovazione interessa una qualunque organizzazione, profit o non-profit, ma con un bilancio in equilibrio economico e finanziario.
- Sono importanti sia i fattori di innovazione non-tecnologica, come ad esempio in un prodotto/servizio, le sue (eventuali) nuove funzioni d'uso primarie e secondarie che ne determinano il valore per il cliente, sia le innovazioni di processo lungo le varie fasi di lavoro del prodotto/servizio o la nuova combinazione di componenti tecnologici e di competenze che ne assicurano miglioramento di funzionalità, di prestazione e di costi, sia di tipo incrementale che dirompenti.
- Se ci limitiamo ad un'innovazione nel settore delle Tecnologie Digitali, la componente tecnologica prevalente è comunque quella digitale, anche se assume ruoli diversi nel processo di innovazione (nel prodotto/servizio, nel processo di produzione e di erogazione, nel processo di approvvigionamento dei componenti richiesti per l'assemblaggio finale).
- Riteniamo particolarmente importante tutto quanto attiene alla nuova *Scienza dei Servizi* - per esteso, *Scienza dei Servizi, della Gestione e della Ingegnerizzazione (SSME: Service Science, Management and Engineering)*; questo è un campo di studio e di sviluppo emergente. Essa include il curriculum, la formazione e i programmi di ricerca che sono stati progettati per ogni individuo per applicare le discipline scientifiche, di ingegnerizzazione, di gestione e di design che integrano elementi di Scienza dei calcolatori, ricerca operativa, ingegneria industriale, strategia di business, scienze della direzione, scienze legali e sociali e altre ancora comunque finalizzate a incoraggiare innovazione nel modo in cui l'organizzazione crea valore per i clienti e per i portatori di interessi che non possono essere ottenute attraverso queste discipline lavorando isolati.

tale e ricorrente membro di giuria di vari premi per l'innovazione,

- Pierfranco Ravotto, condirettore di Briks e da sempre innovatore nell'insegnamento.

Obiettivo della conversazione è stato quello di approfondire non il contesto dell'innovazione - quali sono le condizioni per cui si favorisce lo sviluppo dell'innovazione - ma cosa occorra sapere e saper fare per produrre innovazione; in altre parole: quali sono le competenze di un responsabile di un progetto innovativo che viene coinvolto in un'organizzazione o in un'impresa già stabilizzata, piuttosto che di un imprenditore di una *start-up*, cioè di una neo impresa che si auspica possa crescere e consolidarsi attraverso l'innovazione proposta al mercato.

Non si può parlare di innovazione al di fuori di un'organizzazione (riquadro 1) e, per definizione, l'innovazione riguarda - o dovrebbe riguardare - prevalentemente un nuovo prodotto/servizio da immettere sul mercato piuttosto che il processo con cui si produce. In questa discussione abbiamo voluto dare una maggiore rilevanza all'innovazione del prodotto/servizio, cioè a come progettare e realizzare funzioni d'uso aggiuntive di una seconda o terza *release* di un prodotto esistente che si evolve o funzioni d'uso completamente nuove di un prodotto che prima non esisteva, lasciando più indietro l'innovazione di processo delle fasi di produzione-erogazione, che pure possono portare al miglioramento della pro-

duktività con la riduzione del costo per unità di prodotto erogato.

La conversazione è stata attivata da una lista di domande riportate, sinteticamente, nel riquadro 2 a p. 74. I risultati della discussione sono articolati su quattro temi: innovare cosa, innovare dove, competenze per innovare, formare le competenze per innovare.

2. INNOVARE COSA

GDM inizia a raccontare la sua esperienza come progettista di un master in "*Business Design*" per conto della Domus Academy (www.domus-academy.it). Il punto di partenza del progetto stava nella constatazione che il design italiano, per tradizione, non si interessa solo del design del prodotto ma anche del design del prodotto nel mercato, del design dei servizi, del design del prodotto sostenibile, in altre parole del design strategico.

Il master è tutt'oggi in corso e ha seguito una strada in parte diversa dall'ipotesi originaria di un corso articolato in quattro elementi. I primi due elementi sono stati sostanzialmente trascurati: l'analisi del prodotto (come è fatto, quali sono i suoi *competitors*, quali gli elementi che ne caratterizzano il ciclo di business) e un'analoga analisi a livello di mercato (i prodotti che lo caratterizzano, i *competitors* e le dinamiche del mercato). La rilevanza stava nel fatto di non riferirsi ad una specifica disciplina, ma di mettere insie-

Riquadro 2

Domande iniziali poste ai partecipanti alla Tavola Rotonda

Le domande iniziali proposte vertono su 4 aree principali:

1. Competenze di analisi e valutazione del mercato in cui si colloca l'innovazione, a partire dalle caratteristiche dell'offerta e del mercato target, dai bisogni della clientela e del valore generato per i clienti del progetto innovativo, dalle modifiche nel posizionamento del business/azienda in funzione dell'innovazione proposta ecc..
2. Competenze di analisi e valutazione dell'innovazione nei processi di produzione/erogazione, a partire dal saper valutare le collaborazioni scientifiche e tecniche dei vari partner con cui si sviluppa l'innovazione, dal saper incoraggiare e predisporre le condizioni per un coinvolgimento del team di progetto nella partecipazione a reti/comunità di esperti, comunità di pratica fra addetti, dal saper valutare l'impatto dell'innovazione sul modello di business e sul sistema commerciale, modificando in meglio o ampliando le fonti di profitto per l'impresa, dal saper valutare l'utilizzo di specifici sistemi tecnologici per il supporto al sistema commerciale, di produzione, di fornitura ecc..
3. Competenze sulle metodologie di gestione di progetti complessi e con un buon livello di auto-committenza, a partire dal saper valutare l'investimento necessario e i suoi ritorni in termini di risorse tecnologiche, di competenza e finanziarie perché il progetto di innovazione abbia successo, dal saper valutare le opportunità offerte dall'adozione di una politica sia di tutela del progetto di innovazione che di "apertura" per quanto riguarda brevetti/copyright, secondo i modelli affermatasi in campo software e in via di trasferimento ad altri campi, dal saper valutare le eventuali criticità e condizioni per portare a termine il progetto di innovazione ecc..
4. In generale, quali sono le figure decisionali per l'area dell'innovazione nell'impresa, che posizioni occupano, quali percorsi formativi e di esperienza dovrebbero avere fatto, quali i gap rispetto all'offerta di formazione esistente presso le Università e presso l'offerta formativa sul mercato ecc..

me saperi diversi per acquisire un'idea di come erano fatti il prodotto e il mercato.

I secondi due elementi dovevano affrontare gli stessi "oggetti" - il prodotto e il mercato - in termini di progettazione: la progettazione di un prodotto innovativo e la progettazione di un mercato innovativo. Nel master è stato sviluppato soprattutto il progetto di un prodotto (o di una linea di prodotti o di un'impresa), ma nel frattempo GDM ha iniziato una sua esperienza di imprenditore - innovatore con *Itsme*.

GDM ricorda che negli anni ottanta si confrontavano due modelli di sviluppo software: uno tutto focalizzato sui tempi (chi sviluppava un sistema aveva tempi stretti e rigidi da rispettare e poteva organizzarsi come voleva purché rispettasse le scadenze) l'altro tutto orientato alla qualità e alla modernità delle soluzioni (in questo caso si era forzati a reimpostare il progetto in corso d'opera per adeguarlo alle nuove tecnologie emergenti - da microprocessori più potenti ad *assembler* evoluti ecc., rischiando così di dar vita ad un processo a cascata che non aveva fondo). Il problema tra i due modelli è che il primo è troppo rigido, mentre il secondo rischia di non arrivare mai ad una conclusione perché, visto che l'innovazione è continua, c'è sempre qualche buona ragione per lavorarci ancora. Ebbene: l'innovatore di oggi deve essere qualitativo e rapido insieme!

GDM insiste sull'idea di progettazione del mercato; considera questa la vera forza della Apple

rispetto ai suoi *competitor*: sa cosa sta facendo. Chi faceva i *tablet* prima di iPad non sapeva cosa stava facendo, se un computer piccolo o un telefonino grande. Steve Jobs ha invece valutato che, a fronte di un mercato dei telefonini e di un mercato dei PC, c'era un buco in mezzo che ha identificato come un nuovo mercato per un nuovo prodotto come l'iPad.

CdR sottolinea dunque che il "cosa innovare" riguarda prima di tutto il prodotto. GDM alza il tiro precisando che è ancora meglio se oltre al prodotto si progetta anche un nuovo mercato. La caratteristica del prodotto è quella di essere nuovo rispetto a quanto il mercato è abituato a richiedere: piuttosto che lanciare un prodotto obsoleto, cioè con funzioni d'uso e prestazioni inferiori a quelle di un prodotto competitivo, è meglio non farlo uscire. Se si progetta un nuovo prodotto e un nuovo mercato si acquisisce un vantaggio di posizione in termini temporali che si può sfruttare con le nuove versioni del prodotto da rilasciare al momento opportuno, anche quando la concorrenza ha cominciato a muoversi. È evidente che, a fronte di nuove funzioni d'uso, possono anche esserci processi produttivi non completamente ottimizzati per cui la produttività è relativamente più bassa di quella che si otterrebbe spendendo più tempo. A questo proposito GDM osserva che bisogna considerare anche un "per quando": se esiste una finestra di opportunità temporale questa va a sua volta sfruttata, per evitare di mettere a rischio il successo del nuovo prodotto.

3. INNOVARE DOVE

AF propone di ragionare oltre che sul “cosa si innova” anche sul “dove si innova”, per cercare di mettere a fuoco le caratteristiche della struttura in cui l’innovazione si sviluppa: questo è l’altro fattore chiave da tenere presente oltre alle caratteristiche delle persone che innovano. Mentre sulle persone vale sicuramente quanto già detto, AF ricorda quanto indicato dal responsabile di IBM Europe, in particolare riguardo all’innovazione di Sistemi di Servizio complessi, che richiedono l’adozione di una disciplina emergente come quella dei SSME - *Service Science*,

Management and Education: si riconosce che sono necessarie competenze *T-shaped* (riquadro 3), cioè in aggiunta alle competenze proprie e molto approfondite in un settore disciplinare - quelle di un ingegnere del software, di un progettista analogico, di un designer, di un esperto di mercato o di business plan - che servono quando si forma il team, sono essenziali anche le competenze trasversali (la barra orizzontale della T); non è sufficiente essere un bravo progettista analogico, ma bisogna saper parlare con gli altri e capire i colleghi che si occupano di software, è necessario avere almeno l’idea che dietro a un progetto c’è un costo, c’è una manutenzione, c’è

Riquadro 3

Cosa si intende per T-shaped professional

Le indicazioni riportate di seguito sono relative ai Sistemi di Servizio, definiti come: “configurazioni dinamiche di persone, tecnologie, organizzazioni e informazioni condivise che creano ed erogano valore a clienti, fornitori e altri portatori di interesse (stakeholders)”: (Fonte: “Succeeding through service innovation - A service perspective for education, research, business and government”, White Paper edited by University of Cambridge and IBM, 2007).

La crescente importanza dei servizi e il loro accelerato tasso di cambiamento implica che l’innovazione nei servizi sia ormai una sfida fondamentale per chi lavora sia nelle imprese e nelle istituzioni di governo che per gli accademici che lavorano nell’educazione di base e nella ricerca.

In risposta a questa esigenza, la Scienza dei Servizi (o in modo più esteso, le SSME - *Service Science, Management and Engineering*) sta emergendo come un campo di ricerca con proprie specifiche caratteristiche: l’obiettivo della Scienza dei Servizi è quello di scoprire le logiche sottostanti di sistemi di servizio ad alto livello di complessità e di mettere a fuoco un linguaggio comune e un *frame work* concettuale condiviso per l’innovazione dei servizi. A questo scopo è necessario adottare un approccio interdisciplinare per la ricerca e l’educazione sui sistemi di servizio.

In particolare, riportiamo in estrema sintesi, per quanto riguarda i *T-shaped professional*, alcune ulteriori definizioni e indicazioni:

Professional con competenze a T (*T-shaped professional*): professionisti che sono in grado di fornire soluzioni in profondità in base alle loro capacità di esperti nella loro disciplina *central*, ma che posseggono inoltre capacità di comunicazione complessa per interagire con specialisti di un’ampia gamma di altre aree disciplinari e funzionali (si veda anche *Adaptive Innovator*).

Innovatori adattivi (*Adaptive Innovator*): persone con spirito imprenditivo e capaci di un pensiero sistemico nei molti ruoli di progetto che possono ricoprire durante la loro vita professionale. In contrasto con gli specialisti di soluzioni di problemi del secolo 20°, spesso indicati con il nome di “*I-shaped*” *professional* per la profondità delle loro conoscenze, gli innovatori adattivi del 21° secolo hanno ancora un radicamento disciplinare molto robusto ma posseggono anche forti capacità di comunicazione trasversali alle aree del business, della tecnologia e delle scienze sociali, chiamati anche *Professional* dotati di competenze a T.

Come sviluppare i T-shaped professional

Le moderne università continuano a svolgere un ruolo vitale nell’educazione disciplinare di base, ma per chiudere il *gap* di competenze rispetto alle esigenze dei Servizi, così come vengono definiti nelle SSME - *Service Science, Management and Engineering*, le università dovrebbero anche offrire agli studenti l’opportunità di conseguire qualificazioni nell’ambito dei *requirement* interdisciplinari degli SSME. Tali qualificazioni dovrebbero equipaggiare i laureandi con concetti e un vocabolario che li mettano in grado di discutere la progettazione e i miglioramenti dei sistemi di servizio con loro pari in altre discipline. L’industria si riferisce a queste persone indicandole come *professional* con competenze a T (*T-shaped professional*), che sono profondi solutori di problemi nella loro disciplina fondamentale ma d’altra parte capaci di interagire e comprendersi con specialisti di un’ampia gamma di aree disciplinari e funzionali.

Programmi di SSME riconosciuti su ampia scala potrebbero aiutare ad assicurare la disponibilità di una vasta popolazione di professionisti dotati di competenze a T (che traggono la loro origine da una molteplicità di discipline fondamentali) con la capacità di collaborare per creare innovazioni nei servizi. Qualificazioni SSME indicherebbero che questi laureati sarebbero in grado di comunicare con scienziati, ingegneri, managers, designers e molti altri coinvolti nei sistemi di servizio. Diplomi con qualificazioni SSME dovrebbero essere preparati ad entrare subito in gioco, diventando immediatamente produttivi e capaci di dare contributi significativi quando entrano a far parte di un progetto di innovazione di servizio.

Le principali discipline delle *Service Science* includono: economia dei servizi, marketing dei servizi, esercizio dei servizi, gestione dei servizi, qualità dei servizi (in particolare per quanto riguarda la soddisfazione del cliente), strategia dei servizi, ingegneria dei servizi, servizi di gestione delle risorse umane (in particolare nelle imprese di servizi professionali), tecnologie di digitalizzazione dei servizi, la catena di fornitura dei servizi (in particolare per servizi terziarizzati su rete), design dei servizi, produttività dei servizi e misure dei servizi.

una vita di progetto. In altre parole è indispensabile possedere quelle sensibilità che aiutano anche nel fare la progettazione. Servono persone con competenze forti ma che sanno aprire lo sguardo, parlare con gli altri, interagire.

Le caratteristiche della struttura organizzativa sono importanti. Proseguendo sul filo di quanto proposto da GDM, non è la persona che deve essere multidisciplinare, mentre invece è la struttura che deve esserlo. In un team di innovazione ci devono essere persone con professionalità diverse: è il loro incontro che crea ricchezza. Questa ricchezza di competenze funziona bene quando si innesca un nuovo *skill* strutturale, come la capacità di fare *planning* e *ri-planning* dinamico sulla base dei vincoli di *budget* e di costo, piuttosto che la capacità di riadattare le specifiche di progetto in funzione di nuovi requisiti espressi dal cliente. I progetti di innovazione sono in continua ripianificazione. Serve una capacità di adattamento continuo, che significa modificare e adattare dinamicamente i piani di progetto, gli obiettivi, la struttura dei team avendo chiari sia gli obiettivi del cliente che i vincoli e la cultura di impresa.

La ricchezza c'è quando la struttura organizzativa valorizza l'incontro delle persone e riesce a coniugare il caos di un progetto innovativo con il bisogno di convergere. Non è solo caratteristica della persona o delle singole persone: deve essere anche dentro le procedure interne di gestione, dei meccanismi di allocazione delle risorse, dei meccanismi di valutazione e premio, dei modi in cui il management prende le decisioni.

L'incontro di competenze diverse non è facile. L'ambiente deve favorire l'unione di competenze diverse. GDM sottolinea che in un'intervista pubblicata da HSM, Robert Brunner di Apple afferma "in compagnie come la Apple, l'idea del prodotto - che cos'è e a che cosa si riferisce - è una conversazione costante". Quando Apple ha presentato l'iPad sapeva cos'era. Lo sapeva anche se l'iPad non era ancora quello, gli mancavano molte cose. Il problema stava nell'aprire la conversazione su cos'era, per avere anche la conferma dal pubblico, e capire se tutte le cose che mancavano servivano davvero, se tutte o alcune.

Il progetto deve essere continuamente ri-pianificato, non solo perché ha dei ritardi, ma perché fa parte del suo DNA. Diventa *normale* non innamorarsi di quello che è stato fatto e si sta facendo; è intrinseco nella *natura* di un progetto di in-

novazione che i membri del team sappiano riconoscere che quanto fatto debba essere rifatto, recuperando ovviamente quanto ancora di utilizzabile può essere salvato.

Arricchisce la conversazione ancora GDM spiegando che alla Fondazione Irso si sta realizzando una ricerca sull'*Italian way of Doing Industry*, in cui tra l'altro si cerca di capire cosa spinge un imprenditore di nuova generazione che inizia come molti operando a livello locale, a fare un salto di qualità, puntando con decisione all'eccellenza nel mercato globale. Per quanto abbiamo visto, gli serve aver sviluppato la competenza e la genialità che lo portano a sapere come fare prodotti innovativi e competitivi, ma gli serve anche avere attorno a sé una rete di persone con competenze diverse, che insieme possano dargli la capacità di progettare un business e la fiducia di poterlo realizzare.

CdR sottolinea che il luogo dove innovare è l'impresa, o come *start up* o come struttura organizzativa consolidata; la struttura costituisce il luogo in cui le varie competenze necessarie all'innovazione si incontrano e convergono verso un nuovo prodotto o un nuovo processo realizzativo che possono influire sul riposizionamento competitivo del prodotto rispetto ai concorrenti. Le condizioni che favoriscono nella struttura la convergenza multidisciplinare sono la fiducia nel team e la flessibilità ad adattarsi alle sempre nuove condizioni di lavoro in cui il gruppo si trova ad operare in funzione della messa a fuoco dei nuovi bisogni latenti del cliente e della competitività di altri prodotti che nel frattempo escono sul mercato. La struttura deve essere attrezzata anche dal punto di vista del controllo di gestione per poter monitorare l'evoluzione dei costi e dei tempi di realizzazione che rischiano di dilatarsi in funzione di continue ri-pianificazioni del progetto.

4. COMPETENZE PER INNOVARE

Sempre secondo GDM, l'innovatore deve avere un proprio specialismo - essere un progettista, un designer, uno che ha fatto corsi per l'amministrazione dell'impresa - perché questo specialismo gli fornisce un ancoraggio. Ma deve anche essere capace di mettere a fattor comune i contributi di saperi diversi.

Alcune delle caratteristiche che un tempo venivano considerate *skills* aggiuntive per il manager - la *leadership*, la capacità di ascoltare, di

collaborare con altri ecc. - diventano competenze essenziali.

Il manager deve saper mettere insieme, far parlare fra loro, competenze – o meglio “culture” - diverse come, per esempio, ingegneri e architetti, e deve saper ascoltare e individuare il mercato.

Saper ascoltare non significa “fare ciò che la gente chiede”: non sarebbe innovazione. Bisogna sapere se quello che fai funziona per quelli per cui lo fai.

Il primo problema è quindi individuare gli *stakeholder*. Ovviamente è una questione di strategie di marketing. Se l'azienda si chiama McDonald's o Coca Cola e si rivolge ad un pubblico indifferenziato, al massimo ha un problema di fasce d'età, ma non ha bisogno di parlare al cliente finale, perché la fascia d'età cui l'azienda si rivolge costruisce la sua identità al di fuori. L'azienda non contribuisce alla loro identità.

Se invece, come accade prevalentemente per le imprese del Made in Italy, si ha un target di clienti potenziali con un profilo di identità ben definito, con questi ultimi bisogna dialogare per contribuire a creare la loro identità distintiva, ed è tale identità distintiva che permette di far evolvere il proprio prodotto. L'ascolto con gli *stakeholder* non è del tipo “dimmi di cosa hai bisogno” ma è un dialogo in cui ininterrottamente si propongono prodotti e servizi e si vedono le reazioni.

Anche queste una volta erano ritenute *skill*, un tratto della genialità dell'innovatore. Ma avere tremila imprese che lavorano in questo modo - e nel mondo ce ne sono sicuramente di più - significa che non è solo una questione di genialità: le persone devono essere formate e devono sempre più dialogare insieme ad interlocutori con *skill* tecniche, economiche, perché non possono limitarsi a dialogare con le signore per cui progettano i vestiti, ma devono conoscere le regole del proprio mercato e di quello e degli altri Paesi, i sistemi di pagamento, tutta la dimensione del *business*.

La caratteristica dell'innovatore è la capacità di mettere il proprio sapere disciplinare a fattor comune con altri saperi. Anche perché, prima di diventare quello che comanda tutto il ciclo, si troverà ad essere un contribuente del ciclo. Il buon informatico è colui che è capace di lavorare insieme al designer, e lo stesso vale per il designer che deve saper lavorare e inventare insieme al tecnologo.

AF aggiunge ancora una considerazione sul che

cosa significa ascoltare i clienti: quando si fa innovazione più che dare retta al cliente, è importante cogliere i suoi bisogni latenti e non espressi.

Prendiamo ancora l'iPhone come esempio. Non era una richiesta dei clienti, ma Steve Jobs ha detto una cosa straordinaria: “Qual'è il vostro miglior stilo? Il dito”. È vero. AF ricorda, era il 2003 con aveva un dispositivo che non era pensato per essere usato con il dito, ma certe volte, invece di utilizzare lo stilo, ci provava con l'unghia. Ovviamente, non lo faceva solo lui. Jobs è un genio, perché ha visto che la gente faceva così in un modo scomodo, perché l'interfaccia era fatta per lo stilo; forse nessun cliente gli è andato a dire “lo voglio fare col dito”, ma lui ha colto un bisogno latente. Lo straordinario è quando rendi esplicito il latente e fai dire all'utente: “Oh ecco!”.

Analogamente con l'iPad. Molte persone si sono ritrovate ad usare l'iPod per navigare, per guardare la posta, per inviare mail, in treno, magari a letto... ma il monitor risultava troppo piccolo. E allora Steve Jobs ha allargato lo schermo ed ecco l'iPad. Non da usare in alternativa al computer, ma appunto da usare in treno, a letto, durante una riunione, dove non ti metti a scrivere un documento. L'innovazione dov'è? Dove vai a cogliere il bisogno latente e con la tua innovazione lo fai esplodere.

CdR sottolinea che la competenza per innovare si articola su più fronti: da una parte la profonda competenza specialistica, per esempio di tipo tecnologico, ma dall'altra la capacità di interagire con altre culture specialistiche come quella del designer e del *marketer* con cui convergere verso il nuovo prodotto/servizio che sta prendendo forma attraverso il contributo, fondamentale, del cliente finale. Alla capacità di ascolto delle indicazioni del cliente va aggiunta quella interpretativa che permette di trasformare indicazioni latenti in dettagli utili per la definizione di nuove funzioni d'uso ottenute attraverso adeguate soluzioni tecnico - operative.

Siamo arrivati alla fine a individuare un profilo dell'innovatore che vorremmo proporre come segue. L'innovatore è il responsabile di un progetto complesso, che può condurre sia nell'ambito di un'impresa già consolidata che come neoimprenditore di una *start-up*. Il risultato finale del progetto è scarsamente o per nulla definito, dato che si deve confrontare con nuovi bisogni fino ad oggi non emersi o al massimo latenti.

Sicuramente deve avere rilevanti conoscenze di business, saper prendere decisioni che correlano aspetti di tipo tecnico e aspetti di mercato e di costo e deve saper gestire una molteplicità di *stakeholders*, ciascuno dei quali può avere una diversa definizione di “successo del progetto” e differenti percezioni del valore ottenuto come risultato del progetto stesso, con la complicazione che il vero valore del progetto sarà noto solo dopo che il progetto sarà completato.

Il progettista di innovazione deve inoltre operare tenendo presenti altri due fattori specifici dell'innovazione:

1. lavorare in un contesto in cui i vari fattori ambientali si modificano continuamente e rispetto a questi le risorse assegnate al progetto potrebbero avere valori personali disallineati con quelli che gradualmente prendono forma con il risultato atteso a completamento del progetto;
2. adottare più che indicatori di misura del risultato del progetto, criteri e metodologie di misura della gestione e del risultato del progetto.

5. FORMARE LE COMPETENZE PER INNOVARE

AC introduce tre questioni, connesse ma distinte. La prima è come costruire le competenze. Assumendo e condividendo l'immagine *T-shape*, quanto tempo di formazione serve ancora, dopo che con il 3 + 2 sono stati già impegnati almeno otto anni per fare il tratto verticale della T, per il tratto orizzontale?

Sempre in riferimento alla formazione, è necessario che quest'ultima sia aperta ma anche globale: il rischio è quello di vedere i processi di innovazione legati solo al mondo europeo o statunitense, mentre occorre capire che ci sono altri modi di pensare, che c'è un'America del sud che anche dal punto di vista culturale non conosciamo, per non parlare del mondo indiano e cinese. Dunque occorre formare competenza per navigare nella complessità non solo dal punto di vista tecnico ma anche di culture diverse, di modalità diverse di porsi di fronte ai problemi.

La seconda questione è quella del profilo dell'ambiente innovativo. Nel Veneto il tessuto imprenditoriale è di aziende messe in piedi dal secondogenito che, non ereditando la stalla, ha dovuto aprire la mente per trovare qualcos'altro di cui vivere. Si è attivata una tipologia di realtà innovativa legata all'intuizione del singolo con il

rischio di non creare un ambiente in grado di andare oltre la piccolissima azienda.

Dunque: quali sono i modelli di azienda che consolidano il processo di innovazione? Abbiamo due scenari, quello del Parco scientifico tecnologico, una sorta di condominio che si è rivelato non vincente e il modello CEFRIEL, che punta ad essere attore di soluzioni innovative, che al momento attuale sembra essere più efficace.

La terza questione è quella dell'organizzazione, dal punto di vista sociale, di processi formativi che portino a far crescere figure del tipo voluto. Interessante l'esperienza dei Politecnici francesi relativa alle scuole di alta formazione per la pubblica amministrazione.

Sicuramente in Italia, sottolinea invece AF, manca una committenza specifica, come ha dimostrato il tentativo del Politecnico di lanciare una laurea specialistica per la PA: tentativo fallito per mancanza di interesse, non degli studenti, ma della PA stessa.

GDM propone qualche altra considerazione su questo tema, complesso e che comunque non riguarda solo i giovani. In primo luogo, l'innovazione, in genere, è su scala planetaria. Quindi, il primo problema per l'innovatore è avere una rete praticamente illimitata di competenze e risorse entro cui l'idea possa diventare idea di business. Se si vuole gestire da qui (dall'Italia), stando fermi, l'innovazione è già morta in partenza. Un problema che hanno persino gli incubatori dell'Università, dove funzionano, è che spingendo anticipatamente sul mercato *start-up* innovative, le inducono a trasformarsi in società di servizi, rinunciando all'innovazione.

Il secondo punto è il problema della fiducia. Chi entra in una *start-up* deve assumere il rischio. Incontrati facilmente gente che pensa di capire cosa è innovativo e cosa no, mentre il problema è incontrare qualcuno che dica: “Sono con te su questa sfida e la giochiamo insieme”.

Il terzo tema è quello delle risorse e riguarda il pubblico più del privato. C'è un'assicurazione per le esportazioni, che libera le imprese dal rischio che esse comportano, ma non c'è per l'innovazione, che pure può essere molto più rischiosa. In Italia, per i finanziamenti vengono richieste fidejussioni o garanzie simili, e questo significa che il capitale di rischio lo deve mettere l'innovatore. Così le cose non possono funzionare. Due studenti di Milano (uno informatico di Bicocca e un Bocconiano) hanno avuto un'idea in-

novativa. Grazie ad una borsa di studio sono andati negli States a presentare la loro idea. È piaciuta ad un gruppo di imprenditori. Tempo dieci giorni e hanno ricevuto 50.000 dollari accompagnati dalla frase “siamo soci: cominciate ad aprire un ufficio, cercare i collaboratori e lavorare, poi entreremo nei particolari”. Da noi, in Italia i tempi sono lunghi, lunghissimi: non solo, i processi di decisione di investimento sono complessi e macchinosi e in più ci sono numerosi “facilitatori” dell’innovazione che fanno perdere un sacco di tempo senza far fare un passo avanti reale all’idea.

Comunque, secondo GDM, un Corso sull’Innovazione non è da inserire prima dell’ingresso sul mercato del lavoro, ma dopo 1-2 anni di esperienza e con una durata lunga in cui sia possibile far maturare il potenziale innovatore; è poi fondamentale lo studio di casi, raccontati come storie, estraendone le competenze che si sono rivelate necessarie per l’impresa.

CdR ha evidenziato come la discussione si sia progressivamente spostata dal tema delle com-

petenze dell’innovatore a quello del contesto. Spostamento comprensibile, visto che il contesto politico e industriale italiano non favorisce i progetti innovativi, anzi, rappresenta un freno. Non a caso, la fuga di cervelli, come i due studenti citati da De Michelis.

Ci si può ragionevolmente chiedere: perché preoccuparsi delle competenze degli innovatori, se poi il contesto non permette di giocare? O di giocare in Italia?

Ma - cercando di operare anche sul contesto, a partire dalla denuncia degli ostacoli esistenti - vogliamo continuare ad occuparci di come formare, al meglio, le competenze necessarie allo sviluppo del nostro Paese: da quelle di cui AICA si occupa da tempo, degli utilizzatori dell’informatica e dei professionisti informatici, a quelle degli innovatori digitali e dei “gestori” dell’innovazione.

Questo tema sarà centrale nell’attività di SKM - *Smart Knowledge Management*, che continua e riprende con nuova lena il Progetto PKM360 - e ci torneremo sopra anche in questa rubrica.

AGOSTINO CORTESI è professore ordinario di Informatica all’Università Ca’ Foscari, dove attualmente ricopre il ruolo di Pro-Rettore alla Valutazione. La sua attività di ricerca si incentra sullo sviluppo di tecniche formali di analisi e verifica del software. È presidente del Comitato Scientifico di Nesting, società di ingegneria dell’innovazione con sede a Venezia.

E-mail: cortesi@dsi.unive.it

GIORGIO DE MICHELIS insegna Informatica per l’Organizzazione e Interaction Design all’Università di Milano - Bicocca. Nelle sue ricerche si occupa di Reti di Petri, Computer Supported Cooperative Work, Community Systems, Knowledge Management, Interaction Design.

Nel 2008 ha creato uno spin off della sua Università, itsme, che ha l’obiettivo di creare un nuovo sistema operativo per workstation nella prospettiva del *situated computing*.

E-mail: gdemich@disco.unimib.it

ALFONSO FUGGETTA è Professore Ordinario di Ingegneria del Software presso il Politecnico di Milano e Faculty Associate presso l’*Institute for Software Research* (ISR) della University of California, Irvine (UCI, USA). Nel 2003, in qualità di Direttore Scientifico, subentra a Maurizio Decina alla guida di CEFRIEL, per poi esserne nominato Amministratore Delegato nel 2005 quando il centro da consorzio viene trasformato in società consortile.

E-mail: alfonso.fuggetta@cefriel.it

ICT E DIRITTO

Rubrica a cura di

Antonio Piva, David D'Agostini

Scopo di questa rubrica è di illustrare al lettore, in brevi articoli, le tematiche giuridiche più significative del settore ICT: dalla tutela del *domain name* al *copyright* nella rete, dalle licenze software alla *privacy* nell'era digitale. Ogni numero tratterà un argomento, inquadrandolo nel contesto normativo e focalizzandone gli aspetti di informatica giuridica.



La tecnologia Wi-Fi e l'accesso alle reti

David D'Agostini, Antonio Piva

1. PREMESSA

Con la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale del cd. Decreto Milleproroghe, i media hanno dato ampio risalto alla notizia che dal 1° gennaio 2011 sono venute meno le disposizioni del decreto Pisanu relative al Wi-Fi: ne sono seguiti commenti entusiasti (soprattutto sul web) e molti hanno festeggiato il Wi-Fi finalmente libero. Ma cosa si intende con tale sigla e, soprattutto, cosa cambia oggi alla luce delle nuove disposizioni di legge? In questo articolo cercheremo di dare risposta a tale domanda non prima di aver debitamente introdotto l'argomento da un punto di vista tecnico e illustrato il quadro normativo di riferimento.

2. ASPETTI TECNICI

Nelle telecomunicazioni, il termine "Wi-Fi" indica l'insieme delle tecnologie dedicate alla connettività che permettono a diversi tipi di dispositivi di collegarsi tra loro attraverso una rete locale senza fili, detta anche WLAN (*Wireless Local Area Network*).

Una rete Wi-Fi è, dunque, una rete di telecomunicazioni, paragonabile a una rete a copertura cellulare di piccola scala (locale), che fa uso di dispositivi di ricetrasmisione radio chiamati *access point*; per *access point*, quindi, si intende

qualsiasi dispositivo che permette all'utente di collegarsi a una rete *wireless*¹.

L'*access point* può essere collegato fisicamente a una rete cablata oppure via onde radio ad altri *access point*, i quali ricevono e inviano segnali radio ai dispositivi collegati, mediante antenne e apparati di ricetrasmisione, permettendo così la connessione sotto forma di radiocomunicazione. La parte di rete che interfaccia gli *access point* ai terminali di utenza costituisce la rete di accesso, mentre la rete LAN (*Local Area Network*) cablata, cui gli *access point* sono collegati, rappresenta la rete di trasporto.

Quando un *access point* è collegato a una rete cablata, esso funge da interfaccia tra la rete di accesso *wireless* e la parte cablata di trasporto, implementando un cambio di protocollo per il trasferimento dell'informazione tra le due parti di rete. Ciascun *access point* determina una cella di copertura di circa 200 m di diametro, in quanto la potenza di trasmissione è limitata da normative specifiche di sicurezza legate al rischio elettromagnetico (100 mW). È possibile collegare più *access point* alla medesima rete cablata oppure tra di loro in modalità *wireless* per creare in tal modo una rete più grande.

Un *access point* può anche fungere da bridge (ponte) se trasmette informazioni tramite collegamento *wireless* agli altri *access point*, ciascuno dei quali è collegato ad un segmento della re-

¹ Il decreto del Ministro delle Comunicazioni del 28 maggio 2003 all'art. 1 definisce l'*access point* quale "strumento di accesso per un numero variabile di utenti tra la rete Radio-LAN e la struttura di rete di telecomunicazioni".

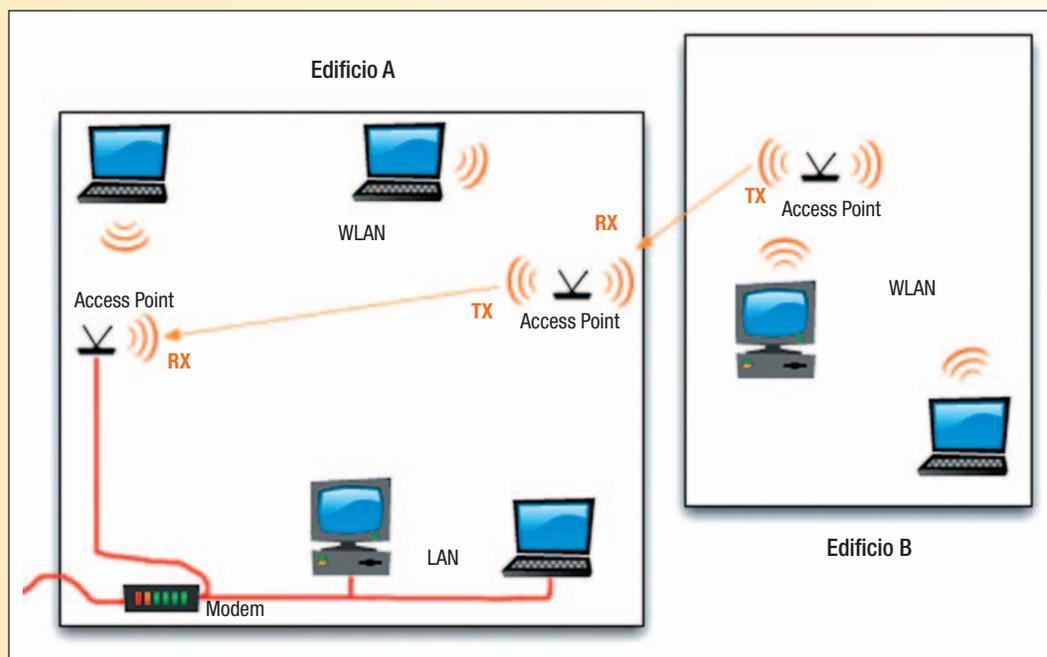


FIGURA 1

Esempio di rete costituita da una LAN cablata e una WLAN realizzata mediante alcuni access point che forniscono la connettività anche all'esterno dell'edificio principale (edificio A). Le frecce fra gli access point rappresentano un esempio di comunicazione dove "TX" indica la trasmissione e "RX" la ricezione. Si tenga presente che la comunicazione fra access point è bidirezionale

te cablata. In tal modo i diversi segmenti di rete cablata vengono interconnessi.

I singoli *access point* hanno il compito di inviare in *broadcast*² ai dispositivi ricetrasmittenti *wireless*, presenti nel loro raggio di copertura, il *Service Set Identifier* (SSID) che identifica la rete o le reti che stanno servendo. L'insieme delle stazioni servite dagli *access point* è detto BSS (*Basic Service Set*). La rete globale ottenuta dalla rete WLAN realizzata tramite gli *access point* e la rete LAN cablata può essere collegata alla rete Internet tramite un *router* e usufruire di tutti i servizi di connettività offerti da un *Internet Service Provider* (ISP). Nella figura 1 è illustrato un esempio di rete in cui una parte è cablata e costituisce la rete LAN all'interno dell'edificio A e una parte è servita da alcuni *access point* che forniscono la connettività alle postazioni di lavoro, realizzando una WLAN che si estende anche all'edificio limitrofo (edificio B).

A seconda delle antenne montate sugli *access point*, si possono realizzare due diversi tipi di copertura: le antenne omnidirezionali vengono so-

litamente utilizzate per fornire la connettività all'interno di uffici, o comunque in zone private relativamente piccole; invece, con raggi d'azione più grandi, si possono coprire aree pubbliche o aperte al pubblico (come aeroporti, centri commerciali ecc.).

Con un *access point* omnidirezionale è possibile coprire con banda larga fino a una distanza di 100 m teorici (uso domestico) se non vi è alcuna barriera in linea d'aria; per contro le antenne direttive hanno una portata di chilometri anche in presenza di barriere in linea d'aria, e sono proprio questi collegamenti a consentire il raggiungimento della banda larga nei territori scoperti dalla rete cablata.

A parte l'utilizzo domestico delle reti *wireless*, gli accessi Wi-Fi (chiamati anche *hot spot*) sono ormai disponibili anche in aeroporti, stazioni ferroviarie, internet caffè, esercizi commerciali ecc. e anche gli enti pubblici, soprattutto i Comuni, molto spesso installano reti *wireless* in aree pubbliche a disposizione della cittadinanza. La fonte di connettività a banda larga cui l'*hot spot* si ap-

² Il termine *broadcast* indica la radiodiffusione circolare in cui un sistema trasmittente invia delle informazioni ad un insieme di sistemi riceventi non definito a priori.

poggia può essere un collegamento via cavo (ADSL o HDSL) oppure via satellite.

Con riferimento agli standard di comunicazione, quello internazionale per le reti *wireless* è l'IEEE 802.11, che specifica sia l'interfaccia tra il dispositivo *client* e l'*access point* sia tra dispositivi *client wireless*. La famiglia 802.11 comprende tre protocolli dedicati alla trasmissione delle informazioni (a, b, g), il protocollo 802.11i dedicato alla sicurezza, e altri standard (c, d, e, f, h, ecc.) che riguardano estensioni dei servizi base e miglioramenti di servizi già disponibili. Di questi, i più diffusi sono i protocolli b, g ed n. L'802.11b e 802.11g utilizzano lo spettro di frequenze nell'intorno dei 2,4 GHz e hanno capacità di trasmissione di 11 Mbit/s e 24,7 Mbit/s rispettivamente. L'802.11n è il più recente dei tre, con una capacità di trasmissione di 100 Mbit/s e la possibilità di trasmettere sia a 2,4 GHz che a 5,4 GHz.

Esiste anche un'altra famiglia di standard, la IEEE 802.16 su cui si basa la tecnologia WiMAX, che consente l'accesso a reti di telecomunicazioni a banda larga e senza fili. WiMAX rispetto a Wi-Fi risulta superiore sotto due aspetti: la velocità di trasmissione e l'ampiezza della copertura delle celle. Infatti, a differenza del Wi-Fi pensato per reti casalinghe o comunque interne, il WiMAX nasce per reti esterne, con distanze raggiungibili anche di svariati chilometri. Non vi è però conflitto fra le due tecnologie: siccome le reti IEEE 802.16 utilizzano lo stesso protocollo interno (LLC), standardizzato come IEEE 802.2, queste possono essere collegate a WLAN IEEE 802.11 e servire per incanalamenti comuni.

Dato che l'IEEE fornisce solo un insieme di specifiche, ma non prevede alcun test o certificazione che garantisca che un prodotto rispetti tali specifiche, è nata, nel 1999, l'associazione *Wi-Fi Alliance*, costituita da un gruppo di industrie produttrici di componenti per schede Wi-Fi, al fine di certificare l'interoperabilità dei prodotti e per diffondere le reti Wi-Fi. Attualmente l'Alliance si occupa solo degli standard a, b e g, oltre che degli standard di sicurezza come il WEP, il WPA e il nuovo 802.11i, conosciuto anche come WPA2.

Le versioni originali dei protocolli 802.11 utilizzavano la crittografia WEP (*Wired Equivalent Protocol*) che si basa sull'algoritmo di cifratura RC4. L'implementazione adottata per lo standard 802.11 era però molto debole e facilmente forzabile. In risposta alle numerose falle scoperte nel sistema WEP, nel 2003 la Wi-Fi Alliance annunciò

la nascita del nuovo protocollo WPA (*Wi-Fi Protected Access*) come un'evoluzione del WEP che ne rimuove alcuni problemi di sicurezza rendendo le reti *wireless* discretamente sicure. Nel 2004 vennero rilasciate, infine, le specifiche dell'IEEE 802.11i che rende le reti wireless molto sicure e che fu immediatamente adottato dalla Wi-Fi Alliance sotto il nome di WPA2, che utilizza come algoritmo di codifica l'AES (*Advanced Encryption Standard*). Grazie alla diffusione dei collegamenti ADSL via cavo si è registrata una notevole proliferazione di piccole reti *wireless* private, realizzate dagli utenti per condividere il collegamento a Internet. In queste situazioni capita spesso che non si utilizzi alcuna crittografia, o al massimo si usi il WEP. Questo rende le reti insicure e vulnerabili dal punto di vista della sicurezza, in quanto possono essere forzate con semplicità, permettendo a chi accede abusivamente alla rete di usufruire indebitamente della connessione e di intercettare il traffico *wireless*³.

3. QUADRO NORMATIVO

Dopo aver tratteggiato i profili tecnici delle comunicazioni elettroniche senza fili, passiamo ora a illustrare le principali norme di diritto.

Fino al 2001 il riferimento legislativo per l'utilizzo di apparecchiature operanti nelle bande di frequenza [2,4 - 2,4835] GHz (comunemente detta banda a 2.4 GHz), [5,15 - 5,350] GHz e [5,47 - 5,725] GHz (comunemente dette bande a 5 GHz), utilizzate per la trasmissione *wireless* LAN, era dato dal Decreto del Presidente della Repubblica n. 447 del 5 Ottobre 2001.

Il decreto stabiliva che tali frequenze potessero essere impiegate solo nell'ambito di LAN a uso privato, mentre per connettere una WLAN alla rete pubblica occorreva un'autorizzazione generale del Ministero nonché il pagamento di un canone. A partire dal gennaio 2002, il regolamento di attuazione dello stesso DPR 447/01 consente l'utilizzo di dispositivi di WLAN che operano sulle bande di frequenza appositamente assegnate, senza più la necessità di richiedere alcuna concessione.

Il quadro regolamentare definitivo per l'utilizzo della tecnologia Wi-Fi in ambito pubblico viene

³ Si veda anche "L'accesso abusivo ai sistemi informatici e telematici: Aspetti giuridici e informatici di un attacco hacker" nella rivista Mondo Digitale n. 2 giugno 2004.

dato dal cosiddetto *decreto Gaspari* del 28 maggio 2003, che regola le condizioni per il rilascio delle autorizzazioni generali per la fornitura al pubblico dell'accesso Radio-LAN alle reti e ai servizi di telecomunicazioni: la delibera dell'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni 102/03/CONS precisa che non è necessario disporre di licenza o autorizzazione per l'erogazione di servizi di connettività di rete nel caso l'attività commerciale non abbia come oggetto principale l'attività di telecomunicazioni (si pensi al caso di bar, alberghi, centri commerciali ecc.).

L'intera materia delle telecomunicazioni (compresi argomenti quali gli standard di comunicazione sopra citati, le frequenze e così via) trova, in seguito, compiuta disciplina nel d.lgs. 1 agosto 2003 n. 259, meglio noto come "*Codice delle comunicazioni elettroniche*".

Riquadro 1

Direttive europee sulle comunicazioni elettroniche

2002/19/CE direttiva relativa all'accesso alle reti di comunicazione elettronica e alle risorse correlate e all'interconnessione delle medesime (direttiva accesso);

2002/20/CE direttiva relativa alle autorizzazioni per le reti e i servizi di comunicazione elettronica (direttiva autorizzazioni);

2002/21/CE direttiva che istituisce un quadro normativo comune per le reti e i servizi di comunicazione elettronica (direttiva quadro);

2002/22/CE direttiva relativa al servizio universale e ai diritti degli utenti in materia di reti e di servizi di comunicazione elettronica (direttiva servizio universale);

2002/77/CE direttiva relativa alla concorrenza nei mercati delle reti e dei servizi di comunicazione elettronica.

Riquadro 2

Il Registro degli Operatori di Comunicazione (ROC)

Elenco istituito dalla Legge 31 luglio 1997 n. 249 al quale debbono obbligatoriamente iscriversi:

1. i soggetti destinatari di concessioni o autorizzazione in materia di comunicazione;
2. le imprese concessionarie di pubblicità da trasmettere mediante impianti radiofonici o televisivi o da diffondere su giornali quotidiani o periodici;
3. le imprese di produzione e distribuzione dei programmi radiofonici e televisivi;
4. le imprese editrici di giornali quotidiani, di periodici o riviste e le agenzie di stampa di carattere nazionale;
5. le imprese fornitrici di servizi telematici e di telecomunicazioni ivi compresa l'editoria elettronica e digitale.

La tenuta e la regolamentazione del ROC sono affidate all'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni (AGCOM).

Tale testo ha unificato e regolamentato l'intera normativa delle comunicazioni elettroniche, prendendo le mosse da alcune fondamentali direttive dell'Unione Europea del 2002 (riquadro 1).

Nel Codice si trovano le disposizioni inerenti le autorizzazioni per i servizi di comunicazione elettronica, i diritti di uso delle frequenze radio, nonché gli adempimenti amministrativi che il fornitore di connettività in modalità *wireless* deve affrontare per esercitare l'attività.

In particolare, secondo il combinato disposto dell'art. 25 del Codice e del menzionato DM 28 maggio 2003, la fornitura del servizio Wi-Fi in locali aperti al pubblico o in aree confinate a frequentazione pubblica quali aeroporti, stazioni ferroviarie e marittime e centri commerciali risulta subordinata a un'autorizzazione generale.

Il soggetto interessato deve presentare al Ministero delle Comunicazioni⁴ una dichiarazione contenente l'intenzione di iniziare la fornitura di reti o servizi di comunicazione elettronica; tale dichiarazione costituisce denuncia di inizio attività (cosiddetta D.I.A.). L'abilitazione a iniziare l'attività decorre dall'avvenuta presentazione della dichiarazione e nel rispetto delle disposizioni sui diritti di uso delle frequenze radio. Il Ministero, entro 60 giorni dalla presentazione della dichiarazione, è tenuto a verificare la sussistenza dei presupposti richiesti e può disporre il divieto di prosecuzione dell'attività, con provvedimento motivato da notificare agli interessati entro il medesimo termine.

I titolari di tale autorizzazione (rilasciata per un periodo massimo di venti anni, rinnovabile) per poter esercitare la suddetta attività sono tenuti all'iscrizione nel registro degli operatori di comunicazione, noto con l'acronimo ROC (riquadro 2).

Per quanto concerne gli impianti Wi-Fi, il Codice detta in maniera puntuale anche i procedimenti relativi alle infrastrutture, prevedendo che "*l'installazione di torri, di tralicci, di impianti radio-trasmittenti, di ripetitori di servizi di telecomunicazione, di stazioni radio base per reti radio a larga banda punto-multipunto*" sia realizzabile, ordinariamente, con l'autorizzazione dell'Ente locale competente, vale a dire del Comune. Invece nel caso di installazione di impianti con potenza

⁴ Il Ministero delle Comunicazioni tiene un elenco aggiornato dei fornitori di reti e di servizi di comunicazione elettronica, consultabile anche sul proprio sito Internet <http://www.comunicazioni.it>

in singola antenna uguale o inferiore ai 20 W, risulta sufficiente presentare la menzionata denuncia di inizio attività, con conseguente applicazione del principio del silenzio-assenso dopo 90 giorni: in pratica, decorso il termine di 90 giorni dalla denuncia di inizio attività senza alcun riscontro negativo da parte della Pubblica Amministrazione, sarà possibile procedere all'installazione di dispositivi Wi-Fi a uso pubblico di potenza uguale o inferiore ai 20 W.

Per ulteriori aspetti e per i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici, il Codice rinvia espressamente alle vigenti norme in materia di elettrosmog⁵.

Gli operatori di reti Wi-Fi sono, infine, tenuti a inviare la descrizione di ciascun impianto installato ai Comuni e ai competenti ispettorati territoriali del Ministero delle Comunicazioni.

Per completezza si deve menzionare anche un altro decreto del Ministero delle Comunicazioni (il cosiddetto Decreto Landolfi) che il 4 ottobre 2005, modificando il precedente decreto Gasparri del 28 maggio 2003, ha liberalizzato l'erogazione di servizi Wi-Fi. In particolare:

- l'art. 1 liberalizza il servizio su tutto il territorio nazionale;
- l'art. 2 obbliga i soggetti autorizzati a consentire l'accesso indipendentemente dalla tecnologia utilizzata, favorendo gli accordi di *roaming* tra operatori diversi; inoltre questa norma introduce il cosiddetto "*Diritto d'antenna*" (l'installazione di apparati e antenne deve essere garantita a condizioni "*eque, trasparenti e non discriminatorie*" e non ci possono essere quindi installazioni di apparati in esclusiva per alcuni operatori);
- l'art. 4 mantiene il regime di autorizzazione generale per i soggetti che vogliono fornire servizi Wi-Fi.

4. IL DECRETO PISANU

Se le norme sopra elencate, *in primis* il Codice delle comunicazioni elettroniche, rivestono un'importanza fondamentale per gli operatori del settore Wi-Fi, contenendo l'insieme delle disposizioni alle quali i medesimi si devono attenere nell'esercizio della propria attività, per tut-

ti gli utenti finali ben più rilevante è stato l'impatto con il cosiddetto Decreto Pisanu.

Per spiegare tale normativa è necessario ricordarne i presupposti. Come noto, nel luglio 2005 lo scenario internazionale registrò una recrudescenza del terrorismo di matrice islamica: il 7 luglio a Londra vennero compiuti quattro attentati che causarono 52 morti e circa 700 feriti; il 23 luglio a Sharm el-Sheikh esplosero tre bombe uccidendo una sessantina di persone e ferendone oltre 150.

In tale clima di rinnovata tensione il Governo italiano il 27 luglio 2005 approvò un decreto legge (il n.144, denominato Pisanu dal nome del Ministro dell'interno proponente il testo) contenente "*misure urgenti per il contrasto del terrorismo internazionale*"⁶. Tra le diverse misure introdotte, figurava anche un'integrazione della disciplina amministrativa degli esercizi pubblici di telefonia e internet (art. 7) in cui venivano previsti una serie di obblighi e restrizioni.

In buona sostanza, secondo quanto previsto dalla predetta norma e dal Decreto del Ministero dell'Interno del 16 agosto 2005, l'esercizio pubblico di qualsiasi tipo (bar, ristorante, albergo, rivendita tabacchi ecc.) che offriva al pubblico un servizio di accesso a Internet, anche tramite Wi-Fi, veniva assoggettato ai seguenti obblighi:

- a. inviare al Ministero delle Telecomunicazioni la comunicazione prevista dall'art. 25 del Codice delle Telecomunicazioni (quella sopra citata per i fornitori del servizio);
- b. richiedere la licenza al questore;
- c. identificare il cliente prima di consentirgli l'accesso alla rete; il gestore, inoltre, era tenuto ad adottare le misure fisiche o tecnologiche necessarie per impedire l'accesso (anche tramite Wi-Fi) agli apparecchi terminali da parte di persone che non erano state preventivamente identificate;
- d. monitorare le attività svolte dal cliente memorizzando e mantenendo i dati relativi al giorno e all'ora della comunicazione e alla tipologia del servizio utilizzato, abbinabili univocamente al terminale utilizzato (esclusi, comunque, i contenuti delle comunicazioni).

Il gestore doveva, quindi, adottare misure necessarie affinché i dati registrati fossero mantenuti con modalità tali da garantirne l'inalterabilità e la

⁵ Sull'argomento si può consultare la legge 22 febbraio 2001 n. 36 - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

⁶ Il decreto legge 27 luglio 2005 n.144 venne convertito dal Parlamento in appena quattro giorni con la legge 31 luglio 2005 n.155.

non accessibilità da parte di persone non autorizzate; la raccolta e il trattamento di tali dati con modalità informatiche rendeva necessaria la redazione del documento programmatico sulla sicurezza, previsto dal d.lgs 196/2003. Sia i dati raccolti relativi all'identificazione dell'utente che al monitoraggio, dovevano essere resi disponibili agli organi di polizia o alla magistratura, se richiesti.

Il Decreto Pisanu, quindi, invalida la delibera dell'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni 102/03/CONS, prevedendo (per ragioni di sicurezza legate al terrorismo) la previa autorizzazione al questore per chiunque metta a disposizione terminali telematici ai propri clienti.

Tali disposizioni sarebbero dovute restare in vigore, secondo quanto previsto inizialmente dal decreto Pisanu, fino al 31 dicembre 2007, ma la loro efficacia è stata prorogata anno dopo anno⁷ fino al 31 dicembre 2010.

L'ultimo dei cosiddetti Decreti Milleproroghe (il D.L. 29 dicembre 2010 n.225) dispone che l'obbligo della licenza del questore non sia più a carico di chiunque, ma solo per i soggetti che mettono a disposizione del pubblico apparecchi terminali utilizzabili per le comunicazioni (si ribadisce: anche in modalità Wi-Fi) quale attività principale (vale a dire i soli gestori di *internet point* continuano a necessitare di una speciale licenza): ciò esclude da tale obbligo i gestori di alberghi, ristoranti, caffè e locali pubblici.

⁷ Le proroghe sono state stabilite con i seguenti decreti legge: D.L. 28 dicembre 2007 n.248, D.L. 30 dicembre 2008 n.207, D.L. 30 dicembre 2009 n.194.

Inoltre, per costoro viene eliminato il monitoraggio delle operazioni degli utenti, la loro identificazione e l'archiviazione dei relativi dati di navigazione.

Decade pertanto un gravoso onere che aveva finora impedito lo sviluppo del Wi-Fi pubblico in Italia, limitando fortemente anche importanti opportunità commerciali e, comunque, comprimendo la libertà dei cittadini.

5. CONCLUSIONE

Si tratta, come detto in premessa, di Wi-Fi finalmente libero anche in Italia? In realtà pare che il Governo intenda applicare un sistema per identificare i dispositivi attraverso i quali le persone si conletteranno attraverso gli *hotspot* pubblici.

La soluzione più probabile potrebbe essere l'identificazione via sms, come già avviene per alcuni *hotspot*: l'utente si collega alla rete, inserisce il proprio numero di cellulare sul quale viene inviato un SMS contenente la password necessaria a proseguire la navigazione.

Si tratta di un metodo sicuramente più semplice rispetto alla raccolta dei documenti cartacei ed eliminerà molta della burocrazia necessaria per l'apertura di *hotspot* pubblici. Tale soluzione appare però ancora molto distante dalle realtà presenti nella maggior parte dei paesi occidentali, dove il Wi-Fi è realmente libero per tutti. Non resta che attendere e vedere come verrà affrontato il problema, auspicando che la soluzione non sia peggiore del vecchio decreto Pisanu.

DAVID D'AGOSTINI avvocato, master in informatica giuridica e diritto delle nuove tecnologie, collabora all'attività di ricerca scientifica dell'Università degli studi di Udine e ha fondato l'associazione "Centro Innovazione & Diritto". È componente della Commissione Informatica dei Consigli dell'Ordine del Triveneto, responsabile dell'area "Diritto & informatica" della rivista "Il foro friulano", membro dell'organo di Audit Interno di Autovie Venete SpA.

E-mail: studio@avvocatodagostini.it

ANTONIO PIVA, laureato in Scienze dell'Informazione, Vice Presidente dell'ALSI (Associazione Nazionale Laureati in Scienze dell'Informazione ed Informatica) e Presidente della commissione di informatica giuridica. Docente a contratto di *diritto dell'ICT e qualità* all'Università di Udine. Consulente sistemi informatici e Governo Elettronico nella PA locale, valutatore di sistemi di qualità ISO9000 ed ispettore AICA.

E-mail: antonio@piva.mobi

ICT E INNOVAZIONE D'IMPRESA

Casi di successo

Rubrica a cura di

Roberto Bellini, Chiara Francalanci

La rubrica *ICT e Innovazione d'Impresa* vuole promuovere la diffusione di una maggiore sensibilità sul contributo che le tecnologie ICT possono fornire a livello di innovazione di prodotto, di innovazione di processo e di innovazione di management. La rubrica è dedicata all'analisi e all'approfondimento sistematico di singoli casi in cui l'innovazione ICT ha avuto un ruolo critico rispetto al successo nel business, se si tratta di un'impresa, o al miglioramento radicale del livello di servizio e di diffusione di servizi, se si tratta di una organizzazione pubblica.



Quando gli sport di squadra e i *social network* si fondono: il caso Fubles

Donato Barbagallo

1. INTRODUZIONE

Gli ultimi anni hanno visto l'affermarsi dei servizi Web 2.0 come parte integrante della vita quotidiana degli utenti, in un modo tale che il mondo virtuale e quello reale siano continuamente intersecati. Si pensi ad esempio a servizi quali Foursquare o Facebook Places (e i servizi da questo derivanti come Deals) dove l'interazione dell'utente tra il *social network* e luoghi fisici del mondo reale permette l'evoluzione del profilo di un utente all'interno della rete. Similmente, nonostante la presenza di importanti *player*, come Facebook e Twitter, che si orientano a comunità generaliste di utenti, si sono affermati dei servizi verticali orientati a comunità più specifiche come per esempio LinkedIn per le reti professionali, aNobii per gli appassionati di lettura o TripAdvisor per i viaggiatori. Il caso descritto in questo articolo si inserisce proprio nel contesto dei *social network* verticali e racconta una storia di imprenditoria e di tecnologia tutta italiana che vede nascere il proprio business grazie al paradigma dei *social network* nel contesto dell'organizzazione di eventi sportivi.

2. IL SOCIAL NETWORK COME MODELLO DI BUSINESS

Gli ultimi anni hanno visto l'affermarsi di applicazioni di *social networking online*, da molti considerate le nuove *killer application* di Internet [8]. L'introduzione delle tecnologie Web 2.0 e il conseguente continuo miglioramento dei paradigmi di interazione tra l'utente e le applicazioni Web hanno supportato lo sviluppo tumultuoso di applicazioni che fanno dei contenuti generati dagli utenti il loro punto di forza [7]. La possibilità di interagire con i contenuti creati dagli altri o direttamente con gli utenti generando un contesto in cui vita reale e virtuale si fondono, ha reso questo tipo di applicazioni molto versatili e non limitate al semplice utilizzo puntuale di una classica applicazione, ma ne ha determinato un uso più pervasivo. Si pensi che già nel 2009 la quota di tempo di navigazione sui servizi di *social networking* aveva superato il 10% del tempo di navigazione totale degli utenti su Internet [6].

Le applicazioni sociali non sono nuovissime, il primo servizio che ha avuto successo, SixDegrees.com, è nato nel 1997 e ha chiuso nel 2001 dopo aver raggiunto milioni di utenti a causa di

problemi tecnici di scalabilità, un fattore fondamentale per la qualità del servizio percepita [3]. Successivamente, tra il 2003 e il 2004 sono nati molti dei *social network* più affermati e attivi oggi: MySpace, Hi5, Xing e Facebook hanno mirato a raccogliere utenze generaliste, dove il tipo di connessione può essere basata sull'amicizia presente o passata. Nel frattempo si sono affermati anche servizi dall'*audience* più restrittiva o dalle caratteristiche più personalizzate come LinkedIn, sito per le reti professionali, ASmallWorld, sito accessibile solo su invito da parte di altri utenti, Twitter, sito per mandare messaggi *broadcast* limitati alla lunghezza di 140 caratteri, ma anche YouTube, per la condivisione di video e Flickr, per la condivisione di foto. Infine, negli ultimi anni, la diffusione degli *smartphone* e delle connessioni mobili ha spinto la diffusione di servizi basati sul contesto di geolocalizzazione come Foursquare, Gowalla e Facebook Places che sfruttano la combinazione di dati provenienti dal profilo utente con quelli dei suoi spostamenti o dei suoi acquisti.

Due temi fondamentali per questo tipo di applicazioni, che hanno notevoli riflessi nella vita reale, sono la *privacy* e la fiducia negli altri utenti. Entrambi sono profondamente impattati da quella che è la *value proposition* del servizio. Esempi emblematici sono il sorpasso di Facebook su MySpace e l'affermarsi di siti più di nicchia come LinkedIn o addirittura ad accesso ristretto come ASmallWorld [4]. Nel primo caso, l'impostazione di base di Facebook, utilizzato da molti utenti come un modo per ritrovare vecchi compagni di scuola, ha rappresentato per gli utenti un incentivo notevole all'apertura dei propri dati personali, primi fra tutti: nome, cognome e proprie immagini personali. MySpace, invece, percepito come una piattaforma di *entertainment*, non è riuscito a reggere il confronto con Facebook.

Nell'altro caso, le esternalità negative di rete possono diventare dei fattori critici anche per i servizi dominanti e permettere la nascita e l'evoluzione di servizi di nicchia. Studi e casi di cronaca hanno dimostrato come in un sito con tantissimi utenti e di impostazione generalista (esempio, Facebook), si possano avere dei comportamenti opportunistici e come sia difficile mantenere la fiducia e il controllo dei dati nella propria rete [1]. Come si vede da questa breve panoramica delle applicazioni esistenti, il

fenomeno della *long tail* descritto da Anderson [2] giustifica la nascita e il successo di applicazioni che vanno a colmare il vuoto in settori specifici.

I modelli di business maggiormente seguiti dai siti di *social networking* sono principalmente cinque [5]:

- modello *freemium*: il servizio base è fornito gratuitamente, mentre le funzionalità avanzate sono disponibili a pagamento;
- modello ad affiliazione: il servizio è affiliato ad un'altra azienda che fornisce prodotti complementari e ricava dalla percentuale delle vendite dell'azienda affiliata;
- modello ad iscrizione: il servizio è sempre fornito a pagamento e la tariffa dipende dal livello di servizio richiesto, dalla quantità e dalla durata del contratto di iscrizione;
- modello di vendita di beni virtuali: il servizio è completamente gratuito, l'utente non paga per avere funzionalità aggiuntive o per aumentare il livello di servizio, ma per comprare dei beni virtuali come, per esempio, dei regali o dei giochi *on-line*;
- modello basato sulla pubblicità: il sito guadagna sulla sua capacità di ottenere visualizzazioni e *click* su banner pubblicitari e sulla sua capacità di profilare gli utenti.

3. FUBLES

Il calcio è certamente lo sport più seguito in Italia, inoltre, a livello amatoriale sono moltissime le partite di calcetto organizzate quotidianamente, semplicemente per passione. A queste si possono aggiungere i numerosi tornei per non professionisti su tutto il territorio nazionale. I problemi che il sito Fubles propone di risolvere sono quelli più frequentemente incontrati dagli organizzatori o dagli amatori di questo sport:

- un eventuale cambio di orario o di luogo di una partita già organizzata comporta la comunicazione tempestiva tra tutti i componenti delle squadre, nonché eventuali problemi di calendario tra i partecipanti stessi;
- la necessità di sostituire uno dei partecipanti o comunque la mancanza di un giocatore per completare la squadra;
- la possibilità di creare partite anche tra persone che non si conoscono cercando di equilibrare il livello di gioco.

Per questo motivo, il sito fornisce non solo la possibilità di organizzare partite tra gli utenti iscritti selezionando le strutture sportive, ma anche funzionalità aggiuntive che permettono di risolvere le problematiche precedentemente elencate. Nella figura 1 è mostrata l'home page di Fubles. Il sito garantisce le comunicazioni tempestive e permette di conoscere le partite organizzate sulla base della vicinanza geografica. Inoltre, Fubles permette di evitare problemi relativi alla *privacy* e alla fiducia, da un lato tramite la creazione di eventi privati visibili solo ai partecipanti, dall'altro spingendo l'inserimento di dati personali veritieri da parte degli iscritti tramite meccanismi di conferma delle iscrizioni via SMS e tramite meccanismi di accettazione da parte degli altri utenti. Un meccanismo di espulsione dal sito garantisce la riduzione al minimo delle rinunce improvvise e non giustificate, i cosiddetti "bidoni". Infine, l'assegnazione di un voto a tutti i partecipanti a fine partita, oltre a costituire un elemento di divertimento tra gli utenti, permette di migliorare l'organizza-

zione delle partite successive perché tiene traccia del livello di gioco degli utenti, come è mostrato nella figura 2.

L'azienda è stata fondata nel 2009 da Fabio Cancarè, Giuseppe De Giorgi, Stefano Rodriguez, Mirko e Nito Trasciatti e Vito Zongoli, all'epoca tutti d'età inferiore ai 30 anni e con competenze eterogenee che spaziano dall'informatica alla gestione d'impresa. Fubles ha un'origine che può essere raccontata come un classico caso di studio di una *startup* creata nella Silicon Valley, da sempre terreno fertile per la crescita e lo sviluppo di nuove idee imprenditoriali, ma si tratta in realtà di una storia tutta italiana, ambientata a Milano.

Nato per l'esigenza personale di uno dei suoi fondatori, Vito Zongoli, nell'Aprile 2006, assiduo organizzatore di partite di calcetto tra gli amici, il sito Fubles riesce ad incontrare l'esigenza di molti altri organizzatori di partite di calcetto in tutta Italia, e proprio nella penisola si diffonde inizialmente con il passaparola e l'esperienza d'uso dei primi utenti che ne pubbli-

FUBLES
Go for the Game

Already have an account?
Standard Login | Login

Want to play more sports?
Fubles finds you:
Matches, Players, and Pitches
Go for the game with a click

Login with Facebook | Sign up for free

Players 23.936 | Matches played 6.733 | Fixtures 200 | Sports Centres 1.480 | Teams 1.266 | Ratings 642.480

Playing a match
Choose when and where to play. Go to the game with a click.

Manage a match
No need to call your friends. They will be the ones to join your match.

Results and scorecards
Give feedback (ratings) to teammates and opponents after the match

Searching for pitches
Fubles helps you find sport centres and pitches in your area.

Establish a team
Have a group of friends you play sports with? Establish a team and challenge others

Latest news
Follow all the latest news and initiatives of Fubles

Italian English | Copyright © 2006–2011 Fubles | Latest matches | Standings | Pitches List | Blog | News | FAQ | About Us | Contact | History | Terms | Privacy
Even the partial reproduction of the contents of this site is prohibited. Fubles srl P.I. 06769730968
FUBLES BY PHONE
0240709215

FIGURA 1
Homepage
di Fubles.com



FIGURA 2
 Pagina personale di un utente

cizzano l'esistenza tra i loro amici. Arrivato a quota 1000 utenti iscritti nel 2007 e incontrati i primi problemi di scalabilità, i fondatori capiscono che Fubles poteva non essere più solo un gioco e fondano la società Fubles Srl nel Settembre 2009 pur continuando ciascuno la propria professione. Oggi molti di loro lavorano a tempo pieno nell'azienda e la comunità conta quasi 25000 utenti iscritti, di cui oltre 20000 utenti attivi e circa 20 partite giocate ogni giorno in tutta Italia.

Il modello di business è basato sulla capacità di innovare della società. Infatti, il servizio fornito da Fubles è completamente centrato sull'utente privato, per il quale l'utilizzo del servizio è gratuito. Inoltre, con lo scopo di garantire l'usabilità e la navigabilità all'interno del sito è presente un solo banner pubblicitario. Infine, il servizio è fornito a pagamento, eventualmente con componenti di personalizzazione, per le manifestazioni sportive organizzate, come, per esempio, gli eventi RedBull e BetFair. Anche i centri sportivi contribuiscono alle entrate del sito con la sottoscrizione di accordi che prevedono il pagamento di una quota per ogni partita organizzata tramite il sistema. Il prossimo passo della società è quello di fornire agli stessi centri sportivi un software gestionale fornito come SaaS (*Software as a Service*), costantemente connesso con il *social network*, che permette agli utenti di conoscere in tempo reale lo

stato della struttura e delle sue prenotazioni e quindi ottimizzare la distribuzione delle partite. Attualmente gli utenti hanno già a disposizione le liste di strutture convenzionate che vengono adeguatamente descritte per illustrare la tipologia di impianti che sono a disposizione, la loro localizzazione geografica, le modalità di contatto e le partite già giocate e quelle già prenotate, come illustrato nella figura 3.

Dalla figura 4 è possibile vedere l'andamento temporale degli iscritti, degli utenti attivi, cioè di quelli che hanno giocato almeno una partita e del numero di partite che sono state giocate con tutti i giocatori. Oltre il costante aumento della dimensione della comunità, superiore al 300% annuo, è significativo notare come il sito sia effettivamente in grado di rivolgersi a persone realmente interessate al servizio. Infatti, a quattro anni dalla sua nascita, quasi il 90% degli utenti iscritti è ancora attivo. Uno degli aumenti più significativi è anche dovuto alla fusione con Bizoona.org, il secondo social network sportivo per importanza in Italia, avvenuta nel novembre 2010, che ha permesso di creare la più grossa *community* europea nel contesto degli sport di squadra. Il numero di partite riportate nella figura 4 è relativo solo a quelle che sono state organizzate tramite il sito e che è stato possibile giocare riuscendo a completare l'intera lista di partecipanti. A queste vanno sicuramente aggiunte quelle che vengono comunque

DLF BOLOGNA 5.1 su 4186 voti Inserito da **Motem**

Via Sebastiano Serlio, 25/2 - Bologna (N.D.) Zona Stalingrado
Tel. 051 4193253

Utenti in zona: 1750
Partite in programma: 23
Partite giocate: 756

Orari: DALLE 10.00 ALLE 24.00
Modalità di accesso: PARCHEGGIO CICLI E MOTOVICOLI E AMPIO PARCHEGGIO AUTO IN PIAZZALE ANTISTANTE INGRESSO
Come prenotare: AL TELEFONO CON...LUCA, PEPPE, SIMONA E MARCO!
Convenzioni: CI STIAMO LAVORANDO
Note: Due campi sono sempre al coperto, altri due vengono scoperti in primavera/estate
Internet:
Prenotazioni Online:
Parccheggio: SI
Armadietti: SI
Spiogliati: SI
Bar: SI
Ristorante: NO
Negozi: NO

Amministrazione Settimanale

merge con struttura... Elimina e merge con la struttura appena selezionata

Strutture nelle vicinanze:
DLF
campo alma mater
Montagnola
Sferisterio
Baumann
Impianti universitari

Like Be the first of your friends to like this.

Campo 3
erba sintetica, coperto
note: SEMPRE COPERTO
Calcio a 5 costo: 60 Euro partite giocate: 238

Campo 4
erba sintetica, coperto
note: SEMPRE COPERTO
Calcio a 5 costo: 60 Euro partite giocate: 146

LOG CENTRO SPORTIVO

02 mar 16.30	Rose complete. Partita chiusa
02 mar 15.36	Rose complete. Partita chiusa
02 mar 14.24	Rose complete. Partita chiusa
02 mar 14.08	Partita riaperta
02 mar 13.50	Rose complete. Partita chiusa
02 mar 10.44	Rose complete. Partita chiusa
02 mar 08.54	Partita riaperta
02 mar 02.29	Il Profeta Max: partita ha disdetto una
02 mar 02.26	Il Profeta Max: partita ha creato una

FIGURA 3
Descrizione di un centro sportivo

disputate in mancanza di qualche elemento. La comunità e le sue caratteristiche costituiscono spesso il vero valore per questo tipo di servizi e, in questo senso, gli utenti di Fubles sembrano molto legati al sito. A conferma di ciò, nella tabella 1 sono riportati alcuni indicatori relativi all'utilizzo del sito da parte dei visitatori relativamente al solo mese di febbraio 2011. Il numero di visite totali al sito supera le 100.000 unità, equivalente a circa la metà del traffico generato, per esempio da siti come Wired.it. Il *bounce rate*, che identifica il numero di visite che terminano dopo l'apertura di una sola pagina e il tempo medio speso sul sito rappresentano valori due volte migliori rispetto a Wired.it. Questi dati denotano come la comunità non sia attiva soltanto in termini di partite giocate, ma che lo stesso sito sia in grado di generare interesse verso gli utenti. Basti pensare che Fubles, nonostante una *community* di soli 20.000 utenti, supera ogni mese le 650.000 pagine viste. La percentuale di nuove visite denota il fatto che il sito sia in rapido sviluppo e diffusione. Per raggiungere questi risultati i fondatori hanno adottato diverse strategie di marketing:

- il supporto all'organizzazione di tornei pubblicitari di marchi come BetFair e RedBull che ha garantito l'iscrizione dei partecipanti e la pubbli-

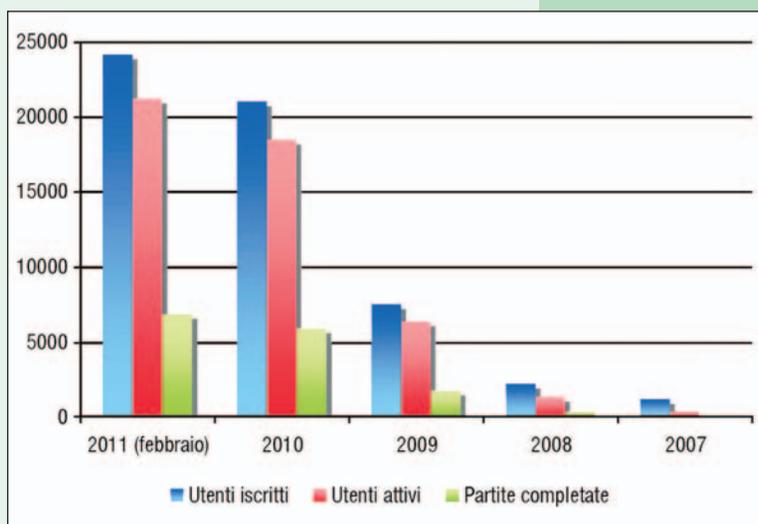


FIGURA 4
Andamento temporale del numero di utenti iscritti al sito, del numero di utenti attivi e delle partite completate con tutti i giocatori

cizzazione del brand insieme a quello del marchio organizzatore;

- strategie di *search engine optimization* tramite le parole chiave sui più diffusi motori di ricerca e pubblicità sulle piattaforme più diffuse di *pay per click*;
- l'introduzione di un blog visibile anche agli utenti non registrati che discute delle evoluzio-

Indicatore	Valore Fubles
Visite	113896
Visualizzazioni di pagina	661942
Pagine per visita	5,81
Bounce rate	27,8%
Tempo medio sul sito	6,2 min
% Nuove visite	32,1%

TABELLA 1

Indicatori dell'uso del sito Fubles.com nel mese di Febbraio 2011

Zona	Percentuale utenti
Nord	53%
Centro	34%
Sud	13%

TABELLA 2

Percentuale di utenti divisi per zone nel territorio italiano

ni del sito, racconta le storie più divertenti degli utenti e racconta i tornei più importanti;

□ completa integrazione con Facebook tramite la creazione dell'applicazione di Fubles che pubblica le partite e i risultati e la possibilità di connettersi al servizio tramite il proprio account Facebook con un solo *click*;

□ partecipazione ai *social network* più diffusi in qualità di utenti per gestire la fase di *customer care*.

Attualmente gli utenti Fubles non sono uniformemente diffusi su tutto il territorio italiano: come si vede dalla tabella 2, oltre la metà degli utenti sono localizzati nelle regioni del Nord Italia. Similmente, per quanto significativi, gli utenti stranieri sono soltanto 500. Questi dati portano numerosi spunti per le strategie future del sito, infatti, come i migliori servizi di *social network* presenti in rete, Fubles è in continua evoluzione e pianifica importanti innovazioni per il suo immediato futuro, tutte volte all'allargamento e all'internazionalizzazione della comunità. La traduzione del sito in lingua spagnola, che si aggiunge all'italiano e all'inglese, costituisce il primo passo verso l'avanzamento in quei Paesi dove il calcio è amato tanto quanto l'Italia. Sono anche in cantiere due importanti evoluzioni della piattafor-

ma: la prima è costituita dalla versione per apparecchiature mobili in modo da permettere all'utente di controllare lo stato di una partita in qualunque momento, la seconda prevede l'allargamento a molti altri giochi di squadra che possono essere organizzati in centri sportivi attrezzati, quali tennis, basket e rugby; quest'ultimo passo permette l'ingresso in Paesi come quelli nordamericani, dove la scena sportiva è dominata da altri sport di squadra.

Fubles non è stato il primo servizio in rete nel suo settore, ma probabilmente è stato più capace di altri nel riuscire ad interpretare i bisogni degli utenti e ad aggiungere caratteristiche non strettamente funzionali che ne hanno determinato il successo. A conferma di ciò, la società è stata premiata con la partecipazione al "Mind the Bridge - Gymnasium" edizione 2010 ed è stata l'unica società europea invitata al Summit Web 2.0 2010 a San Francisco.

3. CONCLUSIONI

Molto spesso storie come quelle di Fubles sembrano impossibili da realizzare in Italia. Due sono le componenti fondamentali del successo del servizio: le persone e Internet. I fondatori sono i primi utenti del sito e grazie all'eterogeneità della loro formazione e alle loro esperienze lavorative si sono dimostrati in grado di far evolvere il progetto e portarlo al successo con un *budget* iniziale praticamente nullo, migliorando le caratteristiche basilari e aggiungendo i prodotti complementari. Internet si è dimostrata ancora una volta un importante *driver* di successo perché riesce ad abbattere qualsiasi barriera geografica per il raggiungimento delle nicchie di mercato.

Con un *budget* relativamente basso i fondatori di Fubles sono stati in grado di diffondere il loro servizio utilizzando metodologie di *web marketing* a bassissimo costo e creare una *value proposition* che abilita la fidelizzazione degli utenti, li incentiva ad essere parte attiva nella diffusione del servizio e riesce a fornire un livello di *customer care* molto elevato. Inoltre, il sito di fatto costituisce una fonte di pubblicità gratuita per le strutture sportive e i nuovi servizi a queste dedicate non possono che aumentare la fidelizzazione degli utenti anche verso la struttura e massimizzare i livelli di utilizzo delle loro risorse.

Bibliografia

- [1] Acquisti A., Gross R.: *Imagined communities: Awareness, information sharing, and privacy on the Facebook*. In Golle P., Danezis G. (Eds.), *Proceedings of 6-th Workshop on Privacy Enhancing Technologies*, 2006, p. 36-58.
- [2] Anderson C.: *The Long Tail*. In: *Wired Magazine*, Vol. 12, n. 10, 2004, p. 170-177.
- [3] Boyd D., Ellison N. B.: *Social network sites: Definition, history, and scholarship*. In: *Journal of Computer-Mediated Communication*, Vol. 13, n. 1, 2007.
- [4] Carnevale Maffè C.A.: *Social network e modelli di business*. In: V. Di Bari (ed.), *Web 2.0*, Edizioni *Il Sole 24 ore*, 2008.
- [5] Loayza J.: *5 Business Models for Social Media Startups*. *Mashable*. Disponibile online su <http://mashable.com/2009/07/14/social-media-business-models/> (ultimo accesso 07/03/2011)
- [6] Nielsen Report: *Global Faces and Networked Places*. Marzo 2009.
- [7] O'Reilly T.: *What Is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software*. In: *Communication & Strategies*, Vol. 65, n. 1, 2007, p. 17-37.
- [8] Pallis G., Zeinalipour-Yazti D., Dikaiakos M.: *Online Social Networks: Status and Trends*. In Vakali A. e Jain L. (ed.), *New Directions in Web Data Management 1*, 2011, p. 213-234, Springer Berlin / Heidelberg.

DONATO BARBAGALLO consegue nel 2005 la laurea in Ingegneria Informatica presso l'Università di Catania. Nel 2007 ottiene la laurea specialistica in Ingegneria Informatica presso il Politecnico di Milano e nel 2008 riceve il diploma dell'Alta Scuola Politecnica. Attualmente è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano, dove ha conseguito il dottorato di ricerca in Ingegneria dell'Informazione nel 2011.

E-mail: barbagallo@elet.polimi.it