

NEUROSCIENZE E ICT

UNA PANORAMICA

Negli ultimi decenni le neuroscienze si sono notevolmente sviluppate grazie ai nuovi e potenti mezzi di visualizzazione dell'attività cerebrale, come l'elettroencefalografia ad alta risoluzione spaziale, che hanno contribuito a formare un corpo di conoscenze sul funzionamento cerebrale, poi applicate a settori diversi della società civile e produttiva, in primis quello dell'informazione e tecnologie della comunicazione (ICT). Questo articolo offre una panoramica sulle applicazioni oggi possibili e indica le prossime evoluzioni, sulla base della ricerca finanziata dalla comunità europea.

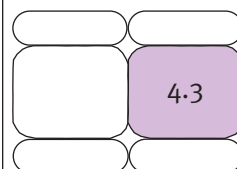
1. I NUOVI DISPOSITIVI DI IMAGING CEREBRALE CONSENTONO LO STUDIO DELL'ATTIVITÀ CEREBRALE IN VIVO NELL'UOMO

Speso nella storia della scienza lo sviluppo di nuovi strumenti di analisi ha consentito l'esplorazione di nuovi orizzonti scientifici e il superamento dei vecchi confini dell'organizzazione del sapere. Negli ultimi 20 anni la ricerca scientifica ha generato un insieme di potenti strumenti di misura e analisi dell'attività cerebrale dell'uomo totalmente "non invasivi", tali cioè da poter essere impiegati per la raccolta dei dati con il soggetto sveglio e senza lesioni alla cute dello stesso. Tali strumenti forniscono direttamente o indirettamente delle immagini dell'attività cerebrale del cervello del soggetto durante l'esecuzione di un compito sperimentale. Queste possono essere poi presentate mediante falsi colori su immagini reali della struttura cerebrale. In tal modo i neuroscienziati possono osservare, come sulla mappa di una località geografica, le aree del cervello più attive (più colorate)

durante un particolare compito sperimentale. L'elettroencefalografia ad alta risoluzione spaziale (*High Resolution Electroncephalography*; HREEG) è un dispositivo di *imaging* dell'attività cerebrale "in vivo" dell'uomo che misura l'intensità del potenziale elettrico sulla superficie della testa [1, 2]. La HREEG restituisce immagini dell'attività cerebrale con un'elevata risoluzione temporale (un millisecondo o meno), e una moderata risoluzione spaziale (dell'ordine della frazione di centimetro). Nella figura 1 vengono presentate alcune immagini dell'attività cerebrale alcuni millisecondi dopo la ricezione di uno stimolo sensoriale al polso della mano destra in un soggetto sano. Il modello di testa tridimensionale, visibile a sinistra nella figura, è impiegato per la stima dell'attività cerebrale. Sono rappresentate la corteccia cerebrale, la dura madre (membrana meningeale che avvolge il cervello), il cranio e la superficie del capo. I pallini sono gli elettrodi impiegati per la registrazione dell'EEG ad alta risoluzione spaziale. Sempre nella figura 1, a destra, nella prima fila dall'alto si osserva la successione delle distribuzioni



Gianluca Zaffiro
Fabio Babiloni



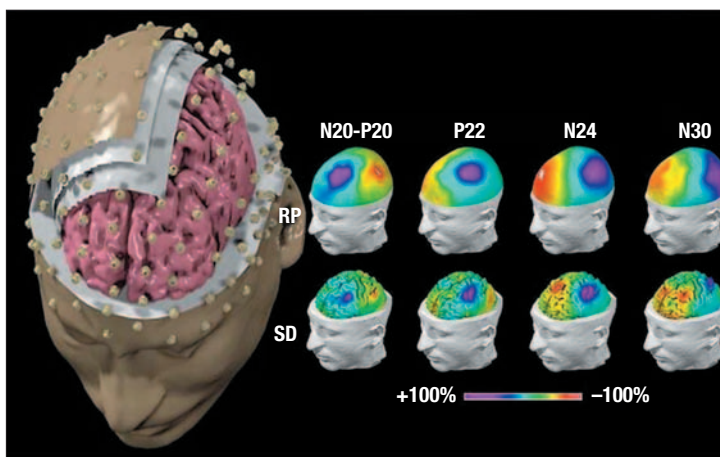


FIGURA 1

Immagini dell'attività cerebrale alcuni millisecondi dopo la ricezione di uno stimolo sensoriale

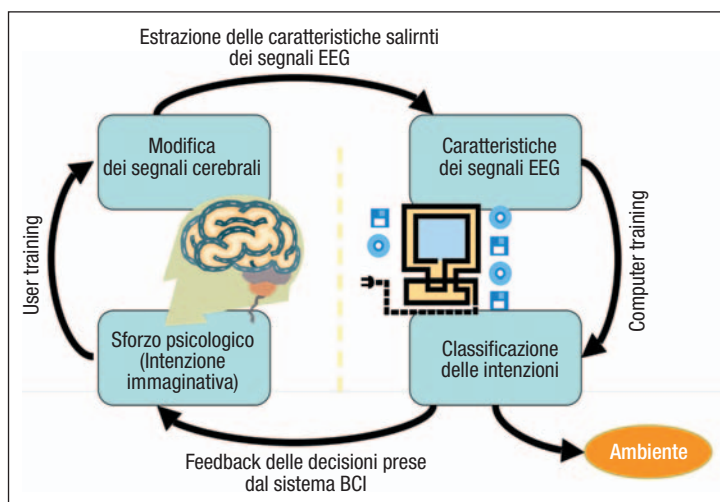


FIGURA 2

Schema logico di un sistema BCI

dell'attività elettrica cerebrale durante la ricezione sensoriale dello stimolo elettrico al polso, codificate mediante una scala di colori dal violetto al rosso. Nella seconda fila dall'alto si riporta la stima, relativa agli stessi istanti rappresentati nella fila precedente, dell'attività corticale, ovvero della parte superficiale del cervello (la corteccia) che gioca un ruolo centrale nei meccanismi mentali complessi come la memoria, la concentrazione, il pensiero e il linguaggio.

L'impiego dei moderni strumenti di *brain imaging* in questi ultimi decenni ha consentito di chiarire le principali strutture cerebrali coinvolte nei processi cognitivi e motori dell'uomo. Queste tecniche hanno evidenziato il ruolo

centrale di aree particolari del cervello, come quelle poste dietro alla fronte e vicine alle orbite oculari (aree prefrontali e orbito frontali) nella pianificazione e nella generazione di azioni finalizzate, così come nella memorizzazione a breve e medio termine di concetti e immagini [3]. Negli ultimi anni si sono potuti quindi misurare e riconoscere i "segni" dell'attività cerebrale relativa a variazioni di memorizzazione, attenzione ed emozione, in compiti sperimentali sempre più simili alle condizioni della vita reale di tutti i giorni.

2. INTERFACCE CERVELLO-COMPUTER: PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Negli ultimi anni si è osservato con tecniche HREEG come l'immaginazione di atti motori nell'uomo avvenga nelle stesse sedi cerebrali deputate al controllo del reale movimento degli arti. Questa importante evidenza sperimentale è alla base di una tecnologia, detta "*Brain Computer Interface*" (BCI), che aspira a controllare dispositivi elettronici e meccatronici con la modulazione della sola attività cerebrale. Nella figura 2 è presentato lo schema di un tipico sistema BCI: a sinistra è rappresentato l'utente che, con il suo sforzo psicologico, determina un cambiamento dell'attività elettrica cerebrale, il quale può essere rilevato da un apparato di registrazione e analisi del segnale EEG. Se tale attività viene generata in maniera ripetitiva, il sistema automatico di calcolo può riconoscere la generazione di tali stati tramite opportuni programmi di classificazione. Successivamente al riconoscimento di tali stati, il sistema può generare delle azioni nel mondo esterno e dare un *feedback* all'utente.

In particolare è possibile osservare come un soggetto sperimentale possa imparare a modificare la composizione in frequenza del proprio EEG in maniera autonoma, senza cioè dover ricorrere a qualche stimolo esterno. Sullo scalpo è possibile registrare un particolare ritmo EEG denominato *mu* con elettrodi di superficie posti in vicinanza della sommità del capo e in direzione posteriore (zone centro-parietali). È noto come tale ritmo subisca una forte diminuzione della sua ampiezza di oscillazione (circa $8 \div 12$ Hz) in occorrenza del movimento

degli arti. Tale fenomeno è noto in letteratura come desincronizzazione del ritmo *alfa*. Con l'addestramento, un soggetto può imparare a ottenere tale desincronizzazione del ritmo EEG anche in assenza di un movimento visibile, ma semplicemente immaginando di muovere l'arto stesso. In tal modo si ottiene il controllo volontario da parte dell'utente di una componente della propria attività cerebrale, che può essere rilevata mediante l'EEG in una particolare banda di frequenza (appunto, $8 \div 12$ Hz), preferenzialmente su elettrodi sovrastanti particolari aree corticali (senso-motorie). Come già detto, l'immaginazione di atti motori genera dei "pattern" di attività cerebrale che sono sostanzialmente stabili e ripetibili nel tempo ogni volta che la persona mette in atto tale tipo di immaginazione [4, 5]. Non è ovviamente scontato né semplice cercare di far riconoscere a sistemi automatici modificazioni volontarie del tracciato EEG con percentuali di errore contenute e tali da poter guidare in sicurezza dispositivi meccanici ed elettronici. Le principali difficoltà incontrate nel riconoscimento delle modificazioni indotte del potenziale sullo scalpo sono di varia natura. La prima è la richiesta di una tecnica di apprendimento appropriata perché il soggetto possa imparare come controllare specifici tratti del proprio EEG. Tale tecnica richiede al minimo l'adozione di strumentazione idonea, che analizzi in tempo reale l'EEG e invii un *feedback* al soggetto istantaneamente, la disponibilità di una metodologia appropriata, così che il soggetto non sia frustrato da fallimenti transitori usuali durante la procedura di addestramento, ed infine conoscenze appropriate dell'impiego del *software* di addestramento, così che l'operatore possa efficacemente correggere specifici parametri del BCI affinché diventi più facile il suo controllo per ciascun soggetto. La seconda difficoltà nel riconoscimento dell'attività mentale mediante analisi dell'EEG deriva dal basso rapporto segnale/rumore presente tipicamente sull'EEG stesso. Infatti, a riposo tale segnale è generalmente caratterizzato da un comportamento oscillatorio, che normalmente rende le variazioni di ampiezza del ritmo *mu* difficili da rivelare. Per indirizzare opportunamente tale problema, devono essere impiegate specifiche tecniche di elaborazione del segnale al fine di estrarre le caratteristiche rile-

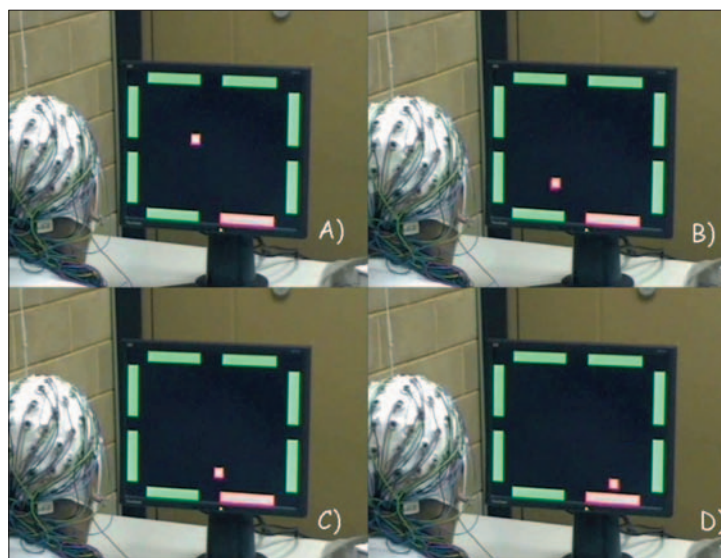


FIGURA 3

Il soggetto variando il proprio stato mentale provoca la generazione di un'attività corticale riconoscibile dal computer, che a sua volta riesce a muovere un cursore (il punto rosso in mezzo allo schermo) verso uno dei possibili obbiettivi (la barretta rossa al bordo dello schermo)

vanti dall'EEG di base mediante l'impiego di appositi programmi di classificazione automatica, detti "classificatori". Come le impronte digitali vengono confrontate nei *database* della polizia per riconoscere la persona a cui appartengono, così le caratteristiche estratte dal segnale EEG di base vengono confrontate con quelle ottenute durante le fasi di addestramento dell'utente. L'estrazione delle caratteristiche del segnale EEG spesso viene compiuta mediante una stima della densità di potenza spettrale del segnale stesso in una banda di frequenza fra 8 e 16 Hz. Successivamente, il riconoscimento di queste caratteristiche come appartenenti ad uno specifico stato mentale dell'utente generato durante il *training* viene eseguito da classificatori che implementano meccanismi basati su reti neurali artificiali. Una volta che tali classificatori generano la decisione relativa allo stato di immaginazione motoria riconosciuta nell'utente viene promossa un'azione di comando su un dispositivo elettronico o meccatronico nell'ambiente circostante. Tale azione fisica è quindi in risposta ad un evento puramente mentale generato dall'utente, acquisito dal dispositivo HEEG e successivamente classificato dal *software* BCI. Nella figura 3 è mostrato come un utente possa muovere un cursore in due dimensioni di-

rettamente tramite il riconoscimento di stati mentali. All'immaginazione del movimento della mano destra corrisponde il comando di spostamento del cursore verso destra, e viceversa per l'immaginazione della mano sinistra, mentre l'immaginazione del movimento del piede destro o sinistro sposta il cursore in alto



FIGURA 4

Due soggetti che giocano a ping-pong elettronico senza muovere i muscoli, mediante l'impiego dell'interfaccia cervello-computer installata presso la Fondazione Santa Lucia di Roma. Sequenza da A) a D)

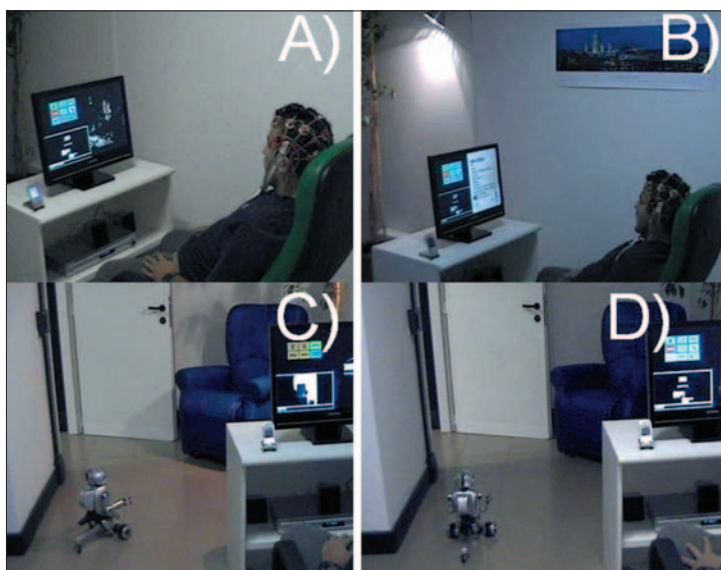


FIGURA 5

La figura presenta alcuni momenti del comando dei dispositivi elettronici attraverso la modulazione dell'attività cerebrale come rilevata e processata nella stanza domotica attrezzata per la riabilitazione motoria all'interno della Fondazione Santa Lucia di Roma

o in basso. Tutti gli esperimenti sono stati eseguiti presso l'IRCCS Fondazione Santa Lucia in collaborazione con il Dipartimento di Fisiologia umana e Farmacologia de "La Sapienza". Nella figura 4 viene presentata l'immagine di due soggetti che giocano a ping-pong mediante un'interfaccia BCI. In tal caso la modulazione dell'attività mentale viene traslata nel movimento di un cursore sullo schermo in alto e in basso per entrambi i soggetti.

3. ESEMPI DI APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA BCI NEL SETTORE ICT: DOMOTICA E CONTROLLO ROBOTICO

Nella figura 5 vengono illustrate alcune funzionalità esistenti per il comando di dispositivi elettronici in una stanza domotica mediante la modulazione dell'attività cerebrale. In alto a sinistra si nota l'accensione da parte dell'utente di una luce, selezionando con tale attività cerebrale la corrispondente icona sullo schermo (riquadri **A** e **B** della figura 5). Nei riquadri **C** e **D** si osserva come lo stesso utente possa controllare lo spostamento di un piccolo robot sempre con la propria attività mentale. In quest'ultimo caso la possibilità di manovrare l'automa, che ha una videocamera sul capo, consente all'utente di poter portare la sua presenza in altre parti della casa invece di impiegare telecamere in ogni stanza che sarebbero contrarie alla *privacy* degli eventuali "caregiver".

La figura 6 presenta una modalità di comando di un dispositivo robotico mediante l'attività cerebrale che potrebbe essere impiegato anche in altri contesti diversi da quelli della telepresenza o della domotica, per esempio nel settore dell'intrattenimento.

Nell'ambito dell'*assisted living* l'industria sta lavorando alla realizzazione di una sedia a rotelle controllata via BCI, per la quale esistono varie versioni prototipali, una delle quali, visibile nella figura 7, è stata recentemente dimostrata da Toyota [6].

4. PROSPETTIVE DI IMPIEGO DEI SISTEMI BCI NEL FUTURO

Attualmente i sistemi BCI sono studiati per il miglioramento della qualità della vita di pazienti affetti da gravi disabilità motorie, resti-

tuendo parzialmente una qualche autonomia e indipendenza di movimento. Il prossimo passo sarà quello di rendere disponibile tale modalità di interazione con i dispositivi elettronici e meccatronici anche alle persone normodotate. Le possibili applicazioni andranno dalla possibilità di impiegare tali comandi in videogame (si veda il paragrafo 5) oppure di mandare segnali "privati" presso altri utenti con cui saremo in costante collegamento telematico, al comando immediato delle apparecchiature intorno a noi, come per esempio delle protesi per mani o gambe. Pochi sensori verranno apposti sul cuoio capelluto mentre l'unità di calcolo non sarà più grande di un orologio e facilmente indossabile. Sebbene siano scenari da fantascienza, questi sono i risultati di uno studio sulla vita quotidiana nel 2030 che sono stati elaborati da un *team* di esperti mondiali nei settori dell'ICT, salute e ambiente della comunità europea e comunicati al pubblico nel 2009 a Bruges, in Belgio nel corso di un evento pubblico [7].

5. LE NEUROSCIENZE E LE BCI SONO GIÀ PRESENTI NEL MERCATO DELL'INTRATTENIMENTO E DEL TRAINING COGNITIVO

A dimostrazione del fatto che queste tecnologie non sono solo appannaggio dei laboratori di ricerca, si riportano in questo paragrafo vari esempi di soluzioni commerciali basate su BCI, vendute a prezzi compresi tra alcune decine e le migliaia di dollari in base alla tipologia. Si tratta di dispositivi per l'intrattenimento ludico, per la cura della salute e per il *training* sportivo o professionale. Alcune aziende puntano al mercato dei *controller* per i videogiochi per PC: per esempio le americane Emotiv e OCZ Technologies forniscono interfacce BCI che interpretano sia i movimenti muscolari che i segnali elettrici corticali attraverso fasce o caschetti da indossare sul capo e dotate di appositi elettrodi, che vendono a 100-300 \$. Emotiv, il cui dispositivo è visibile nella figura 8, fornisce con il *controller* un set di giochi classici da computer come Ping Pong e Tetris in versione "cerebrale".

Altre aziende propongono *controller* di gioco per *smartphone* o *tablet*, quali ad esempio

MindSet o Xwave. Mindset è un dispositivo BCI realizzato dall'americana Neurosky grazie al quale si può giocare con un Nokia N97 a BrainMaze, guidando col pensiero una pallina in un labirinto [8]. Xwave è un dispositivo



FIGURA 6

Sequenza ripresa del funzionamento di un dispositivo robotico comandato dall'EEG tramite un sistema di comando wireless. Sequenza da sinistra a destra, partenza dall'alto



FIGURA 7

Sedia a rotelle prototipale di Toyota controllata con BCI



FIGURA 8
Il controller di gioco
sviluppato dalla
californiana Emotiv

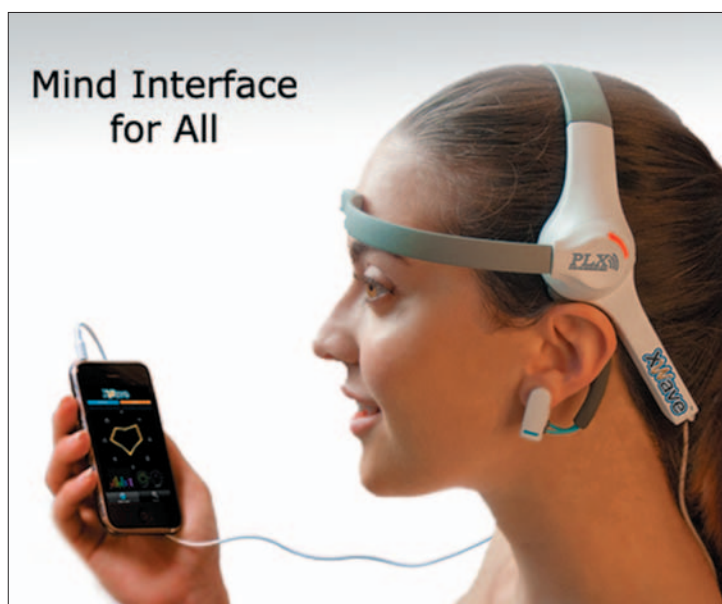


FIGURA 9
Dispositivo XWAVE per giocare usando le onde cerebrali su iPhone

collegabile ad iPhone o iPad proposto da PLX Devices (Figura 9), con il quale è possibile misurarsi in giochi di musica o di allenamento mentale [9].

Le BCI hanno fatto il loro ingresso anche nel mondo dei giocattoli: grandi aziende come

Mattel e Uncle Milton ne hanno prodotto due simili, rispettivamente il *Mind Flex* (Figura 10) e lo *Star Wars Science Force Trainer*. Sono giocattoli venduti a circa 100 \$ in cui si controlla con il pensiero il sollevamento di una pallina (reale), mossa da un getto d'aria, che deve seguire un percorso e raggiungere una certa posizione.

Nei soli Stati Uniti il mercato del “*cognitive training*” è passato dai 2 milioni di dollari del 2005 agli 80 milioni del 2009 [10], e molta attenzione è suscitata dal *neurofeedback*, tecnica volta ad allenare al controllo delle proprie onde cerebrali attraverso la visualizzazione grafica delle stesse. Questo procedimento è utilizzato sia in campo medico, come terapia per disturbi come l'ADD (*Attention Deficit Disorder*), che in campo professionale, per migliorare la capacità di concentrazione, attenzione e apprendimento dei soggetti nel lavoro, nello studio e nello sport. Quest'anno al CES 2011, la più importante fiera mondiale per l'elettronica di consumo, è stato proposto BrainPal, un sistema BCI prototipale di trattamento dell'ADD [11]. In Svezia Interactive Productline vende Mindball, giocattoli terapeutici con cui è possibile allenare il cervello a rilassarsi o concentrarsi. Alcune squadre di calcio, come il Milan e il Chelsea, svolgono allenamenti basati sul *neurofeedback*.

6. LE NEUROSCIENZE APPLICATE AL MARKETING SOSTENGONO IL MERCATO DEI PRODOTTI, DEI SERVIZI, DELLA PUBBLICITÀ

Le scienze economiche stanno guardando alle neuroscienze per riuscire a capire e prevedere il meccanismo umano alla base degli acquisti. Dal connubio di queste due scienze nasce l'applicazione al marketing, il neuromarketing, che si propone di studiare i motivi che portano un acquirente a scegliere un prodotto o servizio in vendita. Gran parte dell'attenzione è oggi orientata all'analisi della pubblicità, notoriamente uno degli stimoli all'acquisto più efficaci.

Il marketing tradizionale valuta le reazioni delle persone agli stimoli pubblicitari con tecniche indirette (osservazione, interviste, questionari). Il neuromarketing invece, indaga la

risposta fisiologica diretta causata dallo stimolo pubblicitario (risposta elettrica del cervello) e da questa inferisce le implicazioni cognitive (livelli di attenzione, memorizzazione e piacevolezza).

Il neuromarketing non valuta i comportamenti ma come gli stimoli pubblicitari “lasciano il segno” nel cervello delle persone.

Si individuano nel mercato due approcci basati su misure EEG corticali:

□ l'approccio scientifico, che parte dalle evidenze delle neuroscienze per inferire l'efficacia di uno stimolo pubblicitario misurando in tutte le aree cerebrali l'attività elettrica corticale con EEG ad alta densità (>60 elettrodi). Tale approccio è semplificabile limitando la misurazione dei segnali neurali alla zona dei lobi frontali, sui quali vanno applicati almeno 10 elettrodi, dai quali si acquisiscono indicatori sufficienti per i livelli di attenzione, memorizzazione ed emozionalità. Il vantaggio evidente è che con questo approccio i risultati possono essere riferiti direttamente alle evidenze scientifiche, tuttavia vi sono limiti alla praticità e scalabilità dei test, in quanto si richiedono spesso dispositivi di misura scomodi da indossare e tempi lunghi di preparazione dei soggetti;

□ l'approccio euristico, che ha il suo punto di forza nell'impiego di dispositivi EEG proprietari con un numero di elettrodi ridotto (anche solo un elettrodo posizionato centralmente sul capo o due sui lobi frontali) con i quali si misurano i parametri di interesse per il neuromarketing. I dispositivi semplificati favoriscono la portatilità diminuendo *discomfort* e tempi di preparazione, con l'obiettivo di rendere la fase di test il più possibile equivalente all'esperienza reale del soggetto. Tuttavia oggi non è possibile confrontare i risultati ottenuti con la letteratura scientifica.

Il neuromarketing risulta estremamente adatto a supportare la comunicazione pubblicitaria durante la creazione degli spot, permettendo di accrescere la capacità di stimolare attenzione, memorizzazione, posizionando lo spot in modo coerente al marchio. Nella fase post-creativa dello spot TV, è utile per misurare l'efficacia comparativa e selezionare e ottimizzare gli spot già esistenti, riducendone il formato temporale. Infine nella fase di programmazione degli spot consente di ottimiz-



FIGURA 10

Il giocattolo di Mattel basato su BCI

zare la frequenza in una data fascia di trasmissione, verificando in laboratorio l'esposizione necessaria dei soggetti affinché lo spot sia memorizzato.

Oggi la maggior parte delle aziende di neuromarketing sono localizzate negli Stati Uniti e sono state fondate negli ultimi cinque anni. Molte di queste impiegano dispositivi per le misure neurofisiologiche (EEG e sensori) sviluppate in proprio, mentre altre adottano soluzioni tecnologiche di terze parti (riquadro a p. 13).

7. COSA ATTUALMENTE SI FA NEL CAMPO DI RICERCA CON NEUROSCIENZE E ICT

La comunità europea (EU) nel corso del quadriennio 2007-2011 ha investito non meno di 30 milioni di euro per progetti legati all'impiego di sistemi BCI per il controllo di videogiochi, ambienti domotici, protesi meccaniche per gambe e braccia. Esistono inoltre linee di finanziamento EU per progetti che impiegano la valutazione istantanea dello stato emotivo e cognitivo del passeggero durante i voli transoceanici, per poter regolare in maniera ottimale l'erogazione dei servizi da parte del sistema di bordo. Un altro settore di interesse da parte della EU e di governi di diversi paesi extraeuropei riguarda la possibilità di monitorare gli stati di stanchezza psichica e mentale di guidatori di veicoli pub-



FIGURA 11

Installazione sperimentale di "telepatia sintetica" presso i laboratori della Fondazione Santa Lucia di Roma. I due soggetti sperimentali si scambiano semplici bit di informazione (pallina su o pallina giù) mediante la modulazione dell'attività mentale

blici, quali autobus, treni, aerei, mediante il prelievo dell'attività EEG. Ultimamente negli USA si sta sviluppando una linea di ricerca nel campo della cosiddetta "telepatia sintetica", in cui viene studiata la modalità di trasmissione di singoli bit di informazione fra due soggetti mediante la modulazione dell'attività cerebrale; una sorta cioè di BCI fra due persone.

Nella figura 11 è presentata un'installazione sperimentale di questa "telepatia sintetica" presso i laboratori della Fondazione Santa Lucia di Roma, in cui vengono mostrati due soggetti che si scambiano informazioni a distanza (relativamente alla posizione del cursore elettronico) con la modulazione della propria attività mentale. Sebbene in questo momento la velocità di trasmissione fra i due soggetti è limitata a pochi bit al minuto, la "proof-of-concept" di tali dispositivi è stata comunque dimostrata.

8. CONCLUSIONI

In questo breve articolo si sono delineate le principali direttrici di ricerca che coinvolgono le neuroscienze e l'ICT. Appare chiaro come il settore ICT guardi con interesse la possibilità di impiegare i risultati propri delle neuroscienze per generare applicazioni che possano essere sempre più interessanti e immediate per l'utente finale. Sebbene lo stato dell'arte sia ancora lontano dal realizzare soluzioni tecnologiche come quelle che possia-

mo vedere nei film di *science-fiction* odierni, è innegabile che esista un forte aumento delle ricerche applicative in questa area che preluderà alla nascita nei prossimi anni di molte applicazioni e prodotti ad oggi pensati come "molto futuribili". Come ha detto la neuroscienziata Martha Farah recentemente [12], la domanda che ci si deve porre non è "se" ma "quando" e "come" le neuroscienze inizieranno a disegnare il nostro futuro. Occorrerà allora farsi trovare pronti.

Bibliografia

- [1] Babiloni F., Babiloni C., Carducci F., Fattorini L., Onorati P., Urbano A.: Spline Laplacian estimate of EEG potentials over a realistic magnetic resonance-constructed, scalp surface model. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, Vol. 98, n. 4, 1996, p. 363-373.
- [2] Nunez P.: *Neocortical Dynamics and Human EEG Rhythms*. Oxford University Press, 1995.
- [3] Damasio A.R.: *L'errore di Cartesio. Emozione, ragione e cervello umano*. Adelphi, 1995.
- [4] Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarland D.J., Pfurtscheller G., Vaughan T.M.: Brain computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, Vol. 113, 2002, p. 767-791.
- [5] Babiloni F., Cincotti F., Marciani M., Salinari S., Astolfi L., Aloise F., De Vico Fallani F., Mattia D.: On the use of brain-computer interfaces outside scientific laboratories toward an application in domestic environments. *Int Rev Neurobiol.*, Vol. 86, 2009, p. 133-46.
- [6] www.toyota.co.jp/en/news/09/0629_1.html
- [7] www.cost.esf.org/events/fore-sight_2030_ccst-ict
- [8] www.engadget.com/2010/01/18/nokia-n97s-brain-maze-requires-steady-hand-typical-mind-control
- [9] www.plxwave.com
- [10] <http://esciencenews.com/articles/2009/02/09/study.questions.effectiveness.80.million.year.brain.exercise.products.industry>
- [11] http://techfest.i2r.a-star.edu.sg/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=56
- [12] Farah M.: Neuroethics: the practical and the philosophical. *Trends in Cogn. Sciences*, Vol. 9, 2005.
- [13] www.adweek.com/aw/content_display/news/media/e3i975331243e08d74c5b66f857ff12cfd5

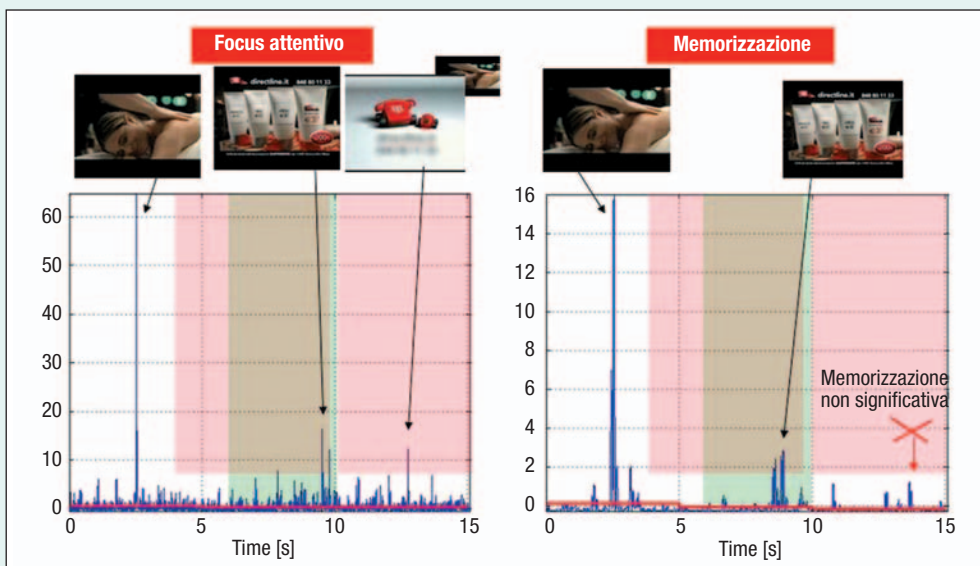
- [14] www.neurofocus.com/news/mediago-gle.html
- [15] www.boston.com/ae/tv/articles/2007/05/13/emote_control
- [16] Lee J.C., Desney T.S.: *Using a Low-Cost Electroencephalograph for Task Classification*. In: HCI Research, UIST, 2006
- [17] <http://wire.ggl.com/news/if-you-want-a-good-fps-use-close-combat>
- [18] www.prnewswire.com/news-releases/neurotips-for-each-candidate-in-the-final-48-hours-of-uk-prime-minister-campaign-be-aware-of-voters-subconscious-scores-for-strengthsweaknesses-be-wary-of-gender-splits-92777229.html

Approfondimento sul neuromarketing

In questo riquadro si riportano le aree di applicazione che le aziende di neuromarketing indirizzano oggi, associate ad alcuni esempi di studi richiesti da note aziende internazionali.

□ **Pubblicità:** il neuromarketing è ampiamente utilizzato per misurare l'efficacia di pubblicità stampata o video (spot) e per la sua ottimizzazione in funzione delle campagne di comunicazione. **Case study:** Analisi prodotta da BrainSigns, *spin-off* dell'Università di Roma Sapienza. Nella figura sono presentati due diagrammi ottenuti per una popolazione di persone poste di fronte ad uno spot pubblicitario. Lo spot presentava una scena ammiccante (un massaggio di una ragazza che veniva immediatamente interrotto) che "catalizzava" letteralmente l'attenzione e la memorizzazione degli spettatori a scapito dell'attenzione e della memorizzazione della marca reclamizzata e del relativo messaggio. Lo spot quindi piaceva, ma non convogliava il messaggio desiderato al pubblico. Coca-Cola ha incaricato EmSense [13] di eseguire una ricerca con tecniche di neuromarketing per scegliere, tra varie possibilità, lo spot pubblicitario più efficace da mandare in onda sul canale televisivo durante il Superbowl, seguitissimo campionato di *football* americano. NeuroFocus ha utilizzato tecniche di neuromarketing [14] per conto di Google con l'intento di valutare l'impatto sugli utenti dell'introduzione degli Invideo Ads su Youtube, banner pubblicitari semitrasparenti sovrapposti ai video di Youtube in *streaming* su Internet.

□ **Coinvolgimento nei contenuti multimediali:** con il neuromarketing è possibile valutare un *trailer* cinematografico, un intero lungometraggio o un programma televisivo con l'obiettivo di comprendere l'andamento nel tempo del livello di coinvolgimento dell'*audience* e individuare i punti di un filmato dove, per esempio, vi sono livelli elevati di *suspense* o sorpresa negli spettatori. **Case study:** 20-th Century Fox ha commissionato alcuni studi ad Innerscope [15] per valutare i *trailer* cinematografici per i film "28 Weeks Later" e "Live Free or Die Hard". NBC ha commissionato sempre ad Innerscope [15] uno studio sulla percezione dei messaggi pubblicitari degli spettatori durante l'avanzamento veloce di una registrazione di contenuti televisivi.



Variazioni medie di attenzione (sinistra) e di memorizzazione (destra) di una popolazione di persone durante la visione di uno spot pubblicitario. Più sono alti i segnali, più sono attivi i processi di attenzione e memorizzazione dello spot. (Per concessione BrainSigns srl)

segue

- ❑ **Ergonomia:** con le neuroscienze è possibile migliorare il processo di progettazione di dispositivi di interfaccia e migliorare la *user experience*, valutando il carico di lavoro cognitivo che è richiesto per imparare ad usare il dispositivo, e il coinvolgimento, la soddisfazione o lo stress generati dal suo utilizzo. **Case study:** Microsoft nel 2006 [16] ha utilizzato l'EEG a livello sperimentale per studiare la possibilità di riconoscere *task* svolti dall'utente utilizzando un elettroencefalografo a basso costo.
- ❑ **Confezioni:** il neuromarketing può essere impiegato per ottenere un *design* delle confezioni più accattivante, di modo che, per esempio un cliente possa riconoscere il prodotto più facilmente su uno scaffale di un supermercato, individuandolo tra altri simili.
- ❑ **Videogiochi:** attraverso il neuromarketing si può valutare il coinvolgimento dei giocatori, identificare le caratteristiche più interessanti e ottimizzare i dettagli dei giochi. È possibile calibrare adeguatamente la difficoltà in modo che un gioco sia stimolante, ma non eccessivamente difficile, durante tutte le fasi di gioco. **Case study:** EmSense ha condotto uno studio [17] sul genere dei videogiochi "sparatutto in soggettiva" valutando in funzione del tempo i livelli di emozioni positive, di impegno cognitivo e di attivazione dei giocatori durante la partita.
- ❑ **Posizionamento di prodotto:** studi di neuromarketing possono indicare il migliore posizionamento del prodotto sullo scaffale di un supermercato e la collocazione ottimale della pubblicità relativa ad un prodotto o ad un *brand* all'interno di una scena durante uno spettacolo televisivo.
- ❑ **Politica:** si possono applicare tecniche di neuromarketing per compiere studi in ambito politico, per esempio misurando le reazioni degli elettori ai candidati durante comizi e discorsi. **Case study:** NeuroFocus durante le elezioni del Primo ministro inglese nel 2010 [18], ha effettuato e pubblicato uno studio sulla percezione dei candidati condotto con EEG, mettendo in luce le diverse impressioni evocate dai candidati su un campione di soggetti.

FABIO BABILONI, laureato in Ingegneria Elettronica, ha ottenuto il dottorato in *Computational Engineering* alla università tecnologica di Helsinki. È professore di Fisiologia presso la Facoltà di Medicina dell'Università Sapienza di Roma, dove insegna neuroscienze e fisiologia. È autore di circa 400 articoli scientifici e 4 libri. È editore di 4 riviste scientifiche internazionali, presidente di 2 organizzazioni scientifiche internazionali e revisore di progetti per agenzie USA e per la EU. Si interessa alle applicazioni delle neuroscienze in diversi settori della ricerca sociale ed economica.

E-mail: fabio.babiloni@uniroma1.it

GIANLUCA ZAFFIRO, laureato in Ingegneria Elettronica al Politecnico di Torino, è entrato in Telecom Italia nel 1994. Ha partecipato a progetti internazionali di ricerca finanziati dalla Comunità Europea e dal MIUR, occupando varie posizioni di responsabilità. Ha partecipato in IEC ad attività di standard nelle telecomunicazioni. Attualmente fa parte della funzione Future Centre di Telecom Italia dove si occupa di analizzare l'innovazione tecnologica, definire gli scenari di evoluzione dell'ICT ed il loro impatto sui servizi di telecomunicazioni. È autore di numerosi articoli in conferenze e riviste.

E-mail: gianluca.zaffiro@telecomitalia.it

OLIMPIADI DI INFORMATICA

BILANCIO DI UN DECENNIO



Le Olimpiadi di Informatica sono una competizione destinata agli studenti delle scuole superiori di secondo grado, che vede la sua massima espressione nelle Olimpiadi Internazionali, organizzate ogni anno in uno dei circa 80 Paesi partecipanti. Dopo una presentazione delle Olimpiadi e del processo di selezione che si prefigge di individuare – fra i circa 10.000 partecipanti di ogni anno – i 4 da portare alle Olimpiadi Internazionali, ci soffermiamo sulle conoscenze richieste per affrontare tali selezioni e presentiamo alcuni dati relativi all'andamento delle Olimpiadi negli ultimi anni.

1. COSA SONO LE OLIMPIADI DI INFORMATICA

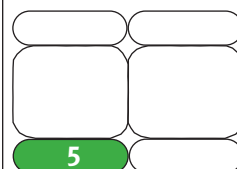
Come il nome – peraltro comune a quello utilizzato anche da altre discipline scolastiche – chiaramente suggerisce, le Olimpiadi di Informatica sono una competizione, destinata agli studenti iscritti alle scuole secondarie di secondo grado che si vogliano cimentare in prove di valutazione della loro abilità nel risolvere problemi mediante appunto l'informatica. Più precisamente, i problemi proposti agli studenti partecipanti (che per ovvia similitudine con le competizioni sportive chiameremo d'ora in avanti **atleti**) sono problemi di programmazione di livello anche molto avanzato, che richiedono da parte dell'atleta l'individuazione di un *algoritmo risolutore* – cioè di una sequenza di passi che consentano al calcolatore di risolvere in modo automatico ed efficiente il problema proposto – e la sua codifica in un *programma* mediante uno dei due linguaggi di programmazione procedurali fra i più noti e studiati: Pascal e C/C++.

Come ampiamente descritto in [1], le Olimpia-

di di Informatica sono nate come competizioni internazionali – le cosiddette **IOI: International Olympiad in Informatics** [2] – nel 1989 in Bulgaria, su iniziativa e con il patrocinio dell'UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) e da allora si sono svolte con cadenza annuale per 22 edizioni, che si tengono in diversi Paesi del mondo (riquadro 1 a p. 22) solitamente nel periodo estivo. Alle IOI partecipa una Squadra Olimpica che è composta al massimo da 4 atleti per ciascuno dei Paesi partecipanti (che nell'edizione del 2010 sono stati ben 84) e la metà degli atleti viene premiata suddividendo gli atleti stessi in fasce a seconda dei punteggi ottenuti nei due giorni di prove: un dodicesimo dei partecipanti ottiene la medaglia d'oro, un sesto la medaglia d'argento e un quarto la medaglia di bronzo.

La partecipazione dell'Italia alle IOI comincia nel 2000, a seguito di una proposta di cooperazione di AICA (l'Associazione Italiana per il Calcolo Automatico) al MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca). Allo

Nello Scarabottolo



scopo di definire la Squadra Olimpica, viene costituito un **Comitato Olimpico** che attribuisce a un gruppo di **Selezionatori Nazionali** il compito di individuare gli atleti più promettenti e di allenarli ai tipi di problemi che incontreranno durante le IOI.

Il momento culmine della partecipazione italiana sarà senz'altro l'edizione 2012, che vedrà il nostro Paese ospitare le IOI (riquadro 2 a p. 23).

Per consentire l'individuazione degli atleti più promettenti nell'ambito di una base quanto più ampia possibile, il Comitato Olimpico lancia nel 2002 le **OII: Olimpiadi Italiane d'Informatica** [3] che attraverso una serie di selezioni via via più difficili consentono ai Selezionatori Nazionali di avere una Squadra Olimpica quanto più possibile competitiva. I risultati di tale processo di selezione sono decisamente positivi: se nei primi tre anni di partecipazione italiana alle IOI la Squadra Olimpica era sempre riuscita a portare a casa una medaglia (di bronzo) a partire dal 2003 le medaglie in casa azzurra aumentano sensibilmente, con numerosi argenti e anche un oro nel 2004 (riquadro 3 a p. 23).

2. LA STRUTTURA DELLE SELEZIONI: DA QUALCHE MIGLIAIO A QUALCHE ATLETA ...

Come detto in precedenza, e come descritto approfonditamente in [1], le IOI sono una competizione che richiede conoscenza approfondita di un aspetto specifico dell'informatica: l'**algoritmica**, ovvero la capacità di scrivere programmi che risolvano in modo efficiente problemi di tipo molto complesso. A tal fine, l'atleta deve saper ricorrere a tecniche di programmazione anche molto sofisticate, e deve saperlo fare in tempi brevi dal momento che la gara richiede di risolvere tre problemi in poche ore.

Naturalmente, intuito e inventiva personale sono doti fondamentali per il medagliato, ma solo se precedute da un'intensa preparazione all'uso delle suddette tecniche e alla loro codifica in tempi rapidi nel linguaggio di programmazione scelto. Una preparazione di questo tipo non fa parte dei programmi curricolari delle scuole secondarie di secondo grado, neppure di quelle a indirizzo tecnico,

che hanno l'informatica tra le discipline curricolari: non è un caso che la formazione della Squadra Olimpica sia affidata a docenti universitari specificamente esperti di algoritmi e di programmazione (spesso coadiuvati da ex-olimpionici).

Per dare agli atleti più brillanti un tempo adeguato a svolgere la suddetta preparazione nel modo migliore possibile – nel rispetto dei tempi dettati dalle normali attività scolastiche, ovviamente prioritarie – da un paio di anni il Comitato Olimpico ha introdotto un **percorso biennale di selezione** in luogo del precedente percorso annuale. Vediamo come tale percorso si è svolto relativamente all'anno scolastico 2009-2010:

□ all'inizio dell'anno scolastico 2009-2010, le scuole di tutta Italia sono state invitate ad aderire al programma olimpico e iscrivere alle **selezioni scolastiche** gli studenti delle prime quattro classi interessati a partecipare. Si è trattato in totale di poco meno di 10.000 atleti che all'inizio di dicembre 2009 hanno svolto – presso gli istituti scolastici cui erano iscritti, e sotto la sorveglianza dei propri docenti (che hanno effettuato anche la correzione dei lavori svolti) – una prova su carta costituita da 20 domande di varia tipologia, come descritto nel sottoparagrafo 2.1;

□ circa un migliaio di atleti delle selezioni scolastiche (il 1° classificato di ogni scuola, il 2° classificato di ogni scuola se con un punteggio superiore alla media nazionale, fino a 10 per ogni scuola se con punteggi particolarmente brillanti) hanno proseguito alle **selezioni territoriali**, che si sono tenute nella primavera 2010 in alcuni istituti scolastici, scelti per la loro dotazione di personal computer e per la loro posizione geografica. Le selezioni territoriali prevedevano che ogni atleta risolvesse tre problemi di programmazione, del tipo discusso nel sottoparagrafo 2.2, codificando su personal computer il relativo programma e inviando via rete la soluzione proposta al Comitato Olimpico per la correzione automatica;

□ poco meno di 100 atleti – quelli che hanno riportato i migliori punteggi dopo la correzione – sono stati ammessi alle **Olimpiadi Nazionali** (ovvero le OII) che si sono svolte nell'autunno 2010 a Sirmione, sul lago di Garda, dove è stata allestita una sala di personal

computer rigorosamente identici, uno per atleta. La gara, della durata di cinque ore, richiede di risolvere tre problemi di programmazione, di difficoltà decisamente superiore a quelli incontrati alle selezioni territoriali, come discusso nel sottoparagrafo 2.2. A partire proprio dal 2010, si è deciso che, nei giorni immediatamente precedenti la gara, gli atleti seguissero dei seminari di formazione specifica, tenuti dagli allenatori;

□ tra i migliori classificati alle Olimpiadi Nazionali e i partecipanti dell'anno precedente si è identificata una quindicina di **probabili olimpici**, che sono convocati nei mesi successivi ad alcuni momenti residenziali di formazione (3 incontri di 3-4 giorni ciascuno) per identificare la Squadra Olimpica (4 titolari e 2 riserve) da portare alle Olimpiadi Internazionali (che si terranno nel luglio 2011 a Pattaya City, in Thailandia).

Risulta evidente che lo schema così predisposto prevede che un atleta che non ha mai partecipato alle Olimpiadi abbia bisogno di due anni per superare le varie selezioni e arrivare alle Olimpiadi Internazionali: ecco il motivo per cui alle selezioni scolastiche non vengono ammessi gli studenti dell'ultimo anno, che anche superando le selezioni scolastiche e territoriali non potrebbero poi partecipare alle Olimpiadi Nazionali e Internazionali in quanto già diplomati. Lo schema adottato non impedisce però a un atleta brillante di fare parte della Squadra olimpica per diversi anni consecutivi: chi infatti è arrivato alle Olimpiadi Internazionali viene convocato tra i probabili olimpici senza dover ripercorrere ogni anno tutte le selezioni.

2.1. Cosa serve conoscere per iniziare

Il primo approccio alle Olimpiadi, costituito dalle già citate selezioni scolastiche, si rivolge alla popolazione più ampia possibile di potenziali olimpionici e mira quindi a individuare non tanto la presenza negli atleti delle competenze informatiche avanzate, necessarie per competere a livello internazionale, quanto piuttosto le **potenzialità** degli atleti in termini di capacità logiche e di attitudine al *problem solving*, unite naturalmente a una conoscenza dei fondamenti della programmazione, indispensabili per poter affrontare una preparazione specifica in caso

di superamento di questo primo livello di selezioni.

Proprio per i motivi appena indicati, da un paio di anni le selezioni scolastiche si basano su un *mix* di tre tipologie di esercizi (riquadro 4 a p. 24):

1. esercizi a carattere **logico matematico**, mirati a valutare la capacità dell'atleta di effettuare in modo rapido connessioni logiche, di interpretare correttamente il linguaggio naturale, di utilizzare adeguatamente gli strumenti matematici di base;
2. esercizi a carattere **algoritmico**, pensati per valutare la capacità dell'atleta di individuare una sequenza di passi concettuali in grado di risolvere un problema;
3. esercizi di **programmazione**, tesi a valutare il grado di conoscenza dei fondamenti della programmazione dei calcolatori, in uno dei due linguaggi (Pascal e C/C++) utilizzabili nelle successive fasi olimpiche.

Il **syllabus** dettagliato – cioè l'elenco di conoscenze necessarie per affrontare le selezioni scolastiche – è riportato nel riquadro 5 a p. 25. Come si può vedere, le uniche conoscenze specificamente richieste sono quelle relative alla programmazione e ai relativi linguaggi di maggiore diffusione, anche se il livello di tali conoscenze non è determinante, dal momento che il peso degli esercizi di programmazione nella costruzione del punteggio totale riportato da ciascun atleta non supera il 40%, e gli esercizi stessi sono caratterizzati da diversi livelli di difficoltà (ovvero possono assegnare da 1 a 3 punti in caso di risposta esatta).

Sul portale olimpico [3] si trova adeguato materiale didattico per gli aspiranti olimpionici, costituito da esempi commentati di esercizi e indicazioni bibliografiche per la preparazione.

2.2. Cosa serve conoscere per avanzare nelle selezioni

Una volta superate le selezioni scolastiche, agli atleti viene richiesta una preparazione specifica alla programmazione, con la conoscenza di tecniche sempre più evolute e con la capacità di trovare non solo soluzioni al problema, ma soluzioni **efficienti**, in grado di risolvere il problema entro limiti temporali precisati, indipendentemente dalle dimensioni dello stesso.

I riquadri 6 a p. 26 e 7 a p. 27 mostrano due esempi di problemi sottoposti nel 2010 agli atleti, rispettivamente nel corso delle selezioni territoriali e nelle OI nazionali. I *syllabi* delle conoscenze necessarie per affrontare le gare sono riportati nei riquadri 8 a p. 27 e 9 a p. 29.

2.3. Il correttore online

Per aiutare sia gli atleti sia i loro docenti nell'approfondimento delle tecniche di programmazione richieste per avanzare verso le IOI, nel recente passato è stato realizzato il **correttore online**: si tratta di un supporto didattico accessibile – previa registrazione – dalla voce “Allenamenti” del portale olimpico [3], che propone all'utente un insieme di problemi (divisi per grado di complessità) e gli consente di sottoporre una propria soluzione nella forma di un

file di testo contenente la codifica del relativo programma in uno dei due linguaggi Pascal o C/C++. Il correttore compila la soluzione sottoposta (segnalando eventuali errori) e la esegue su una decina di casi di test, comunicando gli esiti all'utente, come mostrato nella figura 1.

3. COME SONO ANDATE LE SELEZIONI NEGLI ULTIMI ANNI

Per fare un bilancio dell'andamento delle selezioni per la partecipazione alle OI e alle IOI, prendiamo in esame i dati relativi alle ultime due **coorti** di partecipanti: gli atleti 2008-09 (che hanno iniziato le selezioni scolastiche a dicembre 2008 e hanno partecipato alle IOI 2010 in Canada) e gli atleti 2009-10 (che hanno iniziato le selezioni scolastiche a dicembre 2009, hanno partecipato alle OI a Sirmione nell'ottobre 2010 e affronteranno le IOI in Thailandia in luglio 2011). Si tratta delle prime due coorti per le quali si è applicato il processo biennale di selezione e di preparazione descritto in precedenza.

Una prima interessante valutazione riguarda le tipologie di scuole cui gli atleti sono iscritti. Come mostrano le figure 2 e 3, relative alle due coorti considerate, si assiste a una netta predominanza di atleti provenienti da Istituti Tecnici Industriali e da Licei (quasi esclusivamente scientifici): predominanza che aumenta man mano che si procede nelle selezioni. Un'altra valutazione significativa deriva dall'esame dell'area del Paese di provenienza degli atleti, che raggruppa le regioni italiane nel modo seguente:

□ **Nord** – Emilia Romagna, Friuli, Liguria, Lombardia, Piemonte, Trentino, Veneto;

Risultato correzione					
Compilazione corretta. Casi di test superati: 8/10					
Test	Risultato	file di ingresso	file di uscita	Output atteso	Tempo (msec.)
Test case 1: Output prodotto e corretto!	✓	⊗	⊗	⊗	12
Test case 2: Time out!	⊗	⊗	⊗	⊗	> 2000
Test case 3: Output prodotto e corretto!	✓	⊗	⊗	⊗	21
Test case 4: Output prodotto e corretto!	✓	⊗	⊗	⊗	86
Test case 5: Output prodotto e corretto!	✓	⊗	⊗	⊗	107
Test case 6: Output prodotto e corretto!	✓	⊗	⊗	⊗	146
Test case 7: Output prodotto ma errato!	⊗	⊗	⊗	⊗	443
Test case 8: Output prodotto e corretto!	✓	⊗	⊗	⊗	696
Test case 9: Output prodotto e corretto!	✓	⊗	⊗	⊗	118
Test case 10: Output prodotto e corretto!	✓	⊗	⊗	⊗	128

FIGURA 1

La schermata del correttore con l'esito della valutazione di un programma sottoposto via Web

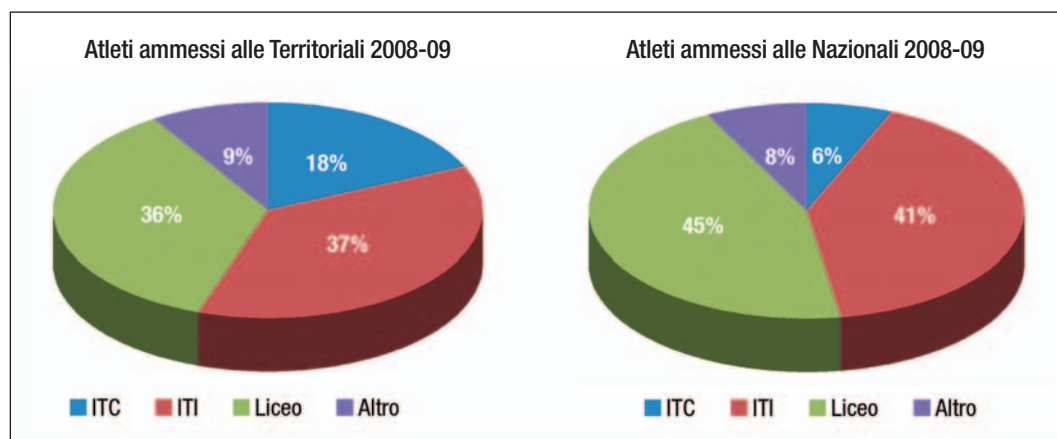


FIGURA 2

Distribuzione degli atleti ammessi alle selezioni 2008-09 per tipologia di scuola

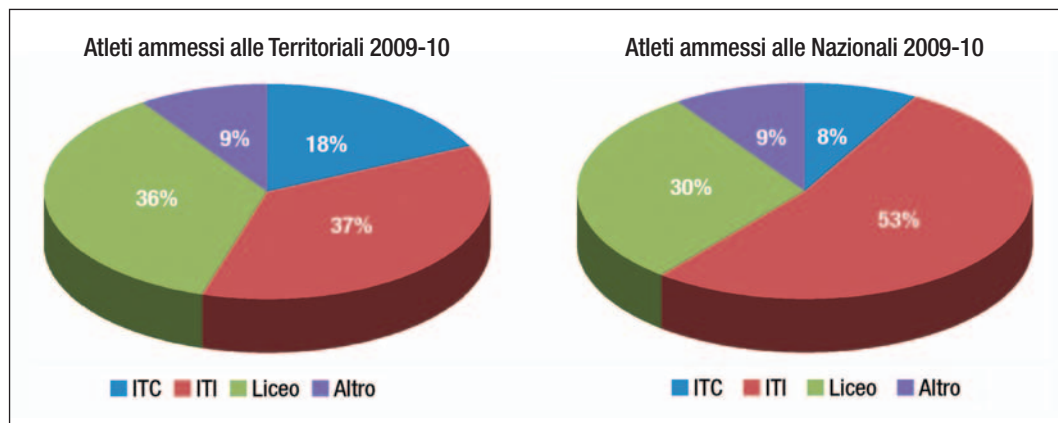


FIGURA 3
Distribuzione degli atleti ammessi alle selezioni 2009-10 per tipologia di scuola

□ **Centro** – Lazio, Marche, Toscana, Umbria;
 □ **Sud** – Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia, Sardegna, Sicilia.
 Se si confronta la figura 4 – che mostra la distribuzione degli studenti iscritti a scuole secondarie di 2° grado nelle tre suddette aree del Paese – con le figure 5 e 6, di nuovo relative alle due coorti di atleti considerate, si può notare che:

□ la percentuale di atleti del Centro che superano il primo livello di selezione e vengono ammessi alle territoriali è abbastanza in linea con le dimensioni della popolazione studentesca, mentre Nord e Sud mostrano percentuali di accesso alle territoriali rispettivamente superiori e inferiori alle dimensioni della popolazione studentesca;

□ il livello medio di preparazione degli studenti del Nord si rivela decisamente superiore nel passaggio alle selezioni nazionali, nelle quali il divario con le altre aree del Paese aumenta drasticamente.

Quanto alla componente di genere, si deve purtroppo rilevare che, a fronte di una percentuale di studentesse solo di poco inferiore a quella dei maschi, la progressione nelle selezioni è decisamente modesta: facendo riferimento alle due coorti considerate, alle territoriali la componente femminile supera a fatica il 10%, e precipita a zero al momento della competizione nazionale (alla quale da due anni non è presente alcuna ragazza).

Per poter capire ancora meglio il comportamento degli atleti nelle selezioni, il Comitato Olimpico ha deciso, a partire dalla coorte 2010-11, di chiedere ai referenti scolastici (cioè i docenti che organizzano le selezioni scolastiche nelle scuole partecipanti e che seguono

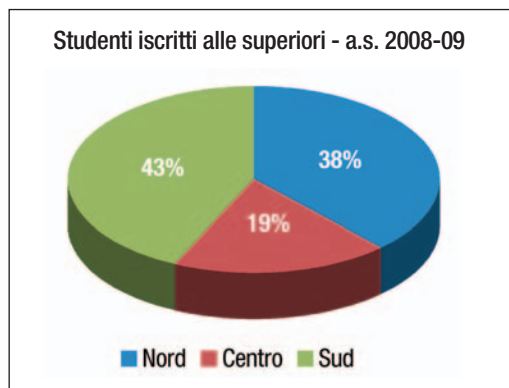


FIGURA 4
Distribuzione della popolazione studentesca 2008-09 per area geografica

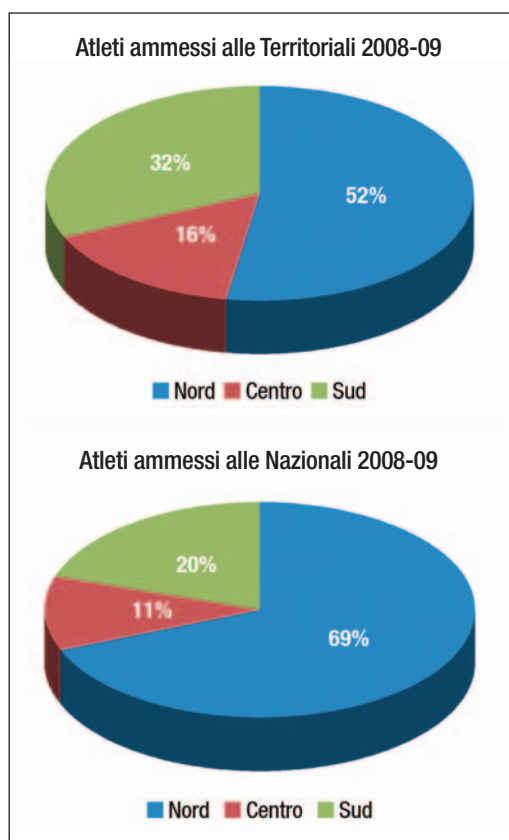


FIGURA 5
Distribuzione degli atleti ammessi alle selezioni 2008-09 per area geografica

poi gli atleti che proseguono nelle selezioni successive) maggiori dettagli relativamente a **tutti** i partecipanti, e non soltanto a coloro che in ciascuna scuola si erano posizionati nelle prime dieci posizioni (quindi potenziali ammessi alle selezioni territoriali). Per tale coorte disponiamo quindi dei dati relativi a tutti colo-

ro che hanno sostenuto le selezioni scolastiche all'inizio di dicembre 2010.

Fra le numerose informazioni ottenute, vale la pena evidenziare gli aspetti seguenti.

In primo luogo, la scuola di provenienza non è uniforme sul territorio nazionale: come mostra la figura 7, i Licei Scientifici sono particolarmente attivi in Centro Italia, mentre al Sud e soprattutto al Nord i numeri maggiori di atleti partecipanti alle selezioni scolastiche provengono da Istituti Tecnici Industriali.

Anche la componente femminile, evidenziata nella figura 8, non è uniforme: percentualmente, le ragazze del Sud che si cimentano nelle selezioni scolastiche sono quasi il doppio di quelle del Nord.

I tre tipi di esercizi proposti nelle selezioni scolastiche (logico-matematici, algoritmici, di programmazione – cfr. capitoli precedenti) rivelano come la preparazione iniziale degli atleti sia molto lontana da quanto richiesto. Nella figura 9 è evidente come gli esercizi logico-matematici (che richiedono prevalentemente capacità di ragionamento) siano superati da un'ampia percentuale di atleti (quasi tre quarti) mentre gli esercizi algoritmici e soprattutto quelli di programmazione vera e propria si dimostrano decisamente più ostici.

Quanto all'importanza – soprattutto nella prima fase di selezione – di una maggiore presenza di formazione informatica vera e propria nella scuola, la conferma viene dalla figura 10: gli atle-

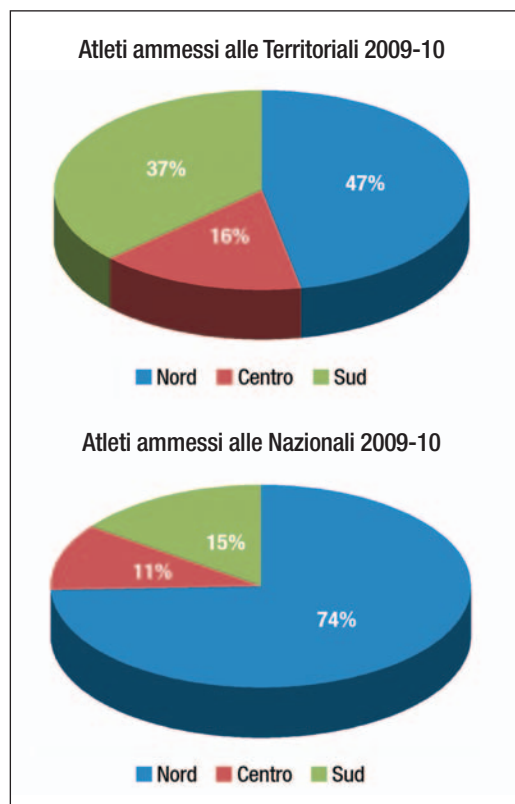


FIGURA 6
Distribuzione degli atleti ammessi alle selezioni 2009-10 per area geografica

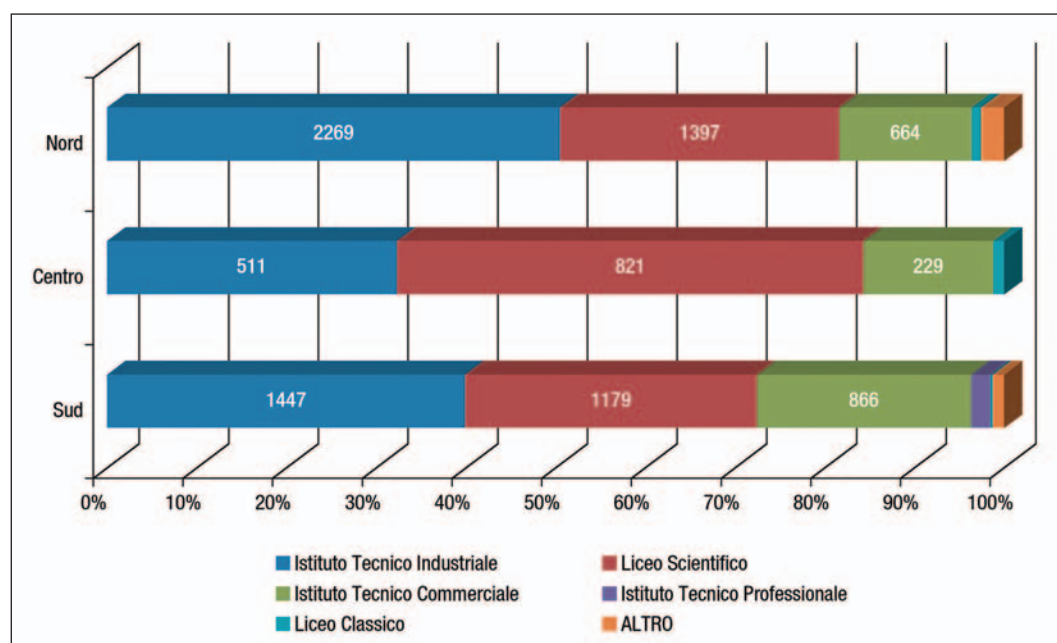


FIGURA 7
Distribuzione degli atleti delle selezioni scolastiche 2010-11 per area geografica e tipologia di scuola

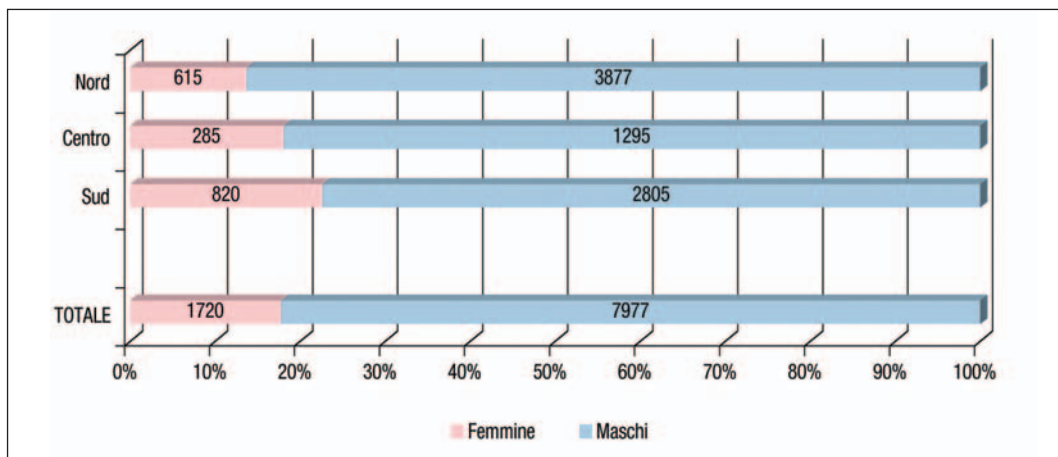


FIGURA 8

Distribuzione degli atleti delle selezioni scolastiche 2010-11 per area geografica e genere

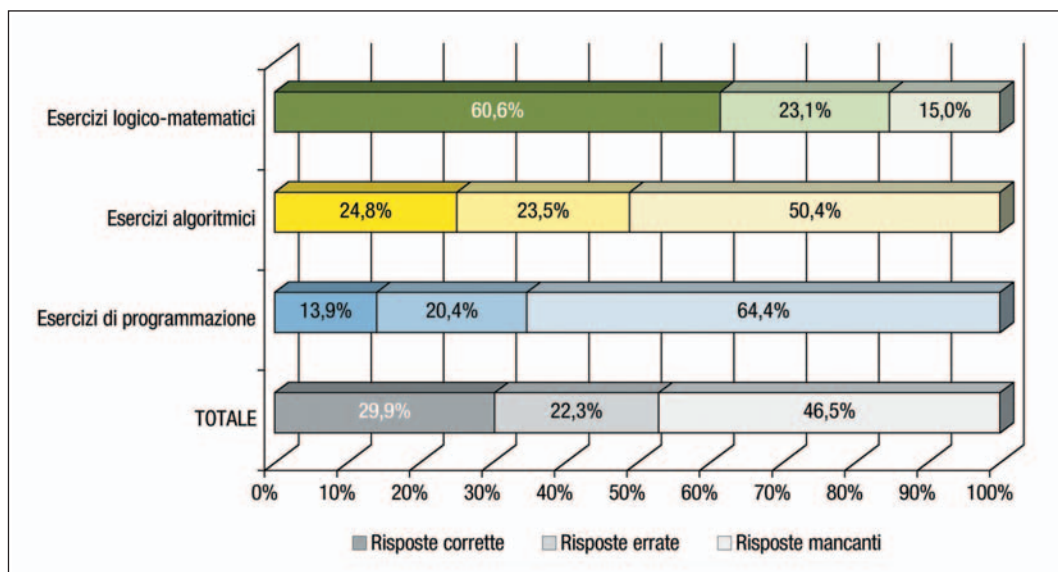


FIGURA 9

Distribuzione delle risposte degli atleti delle selezioni scolastiche 2010-11 ai tre tipi di esercizi

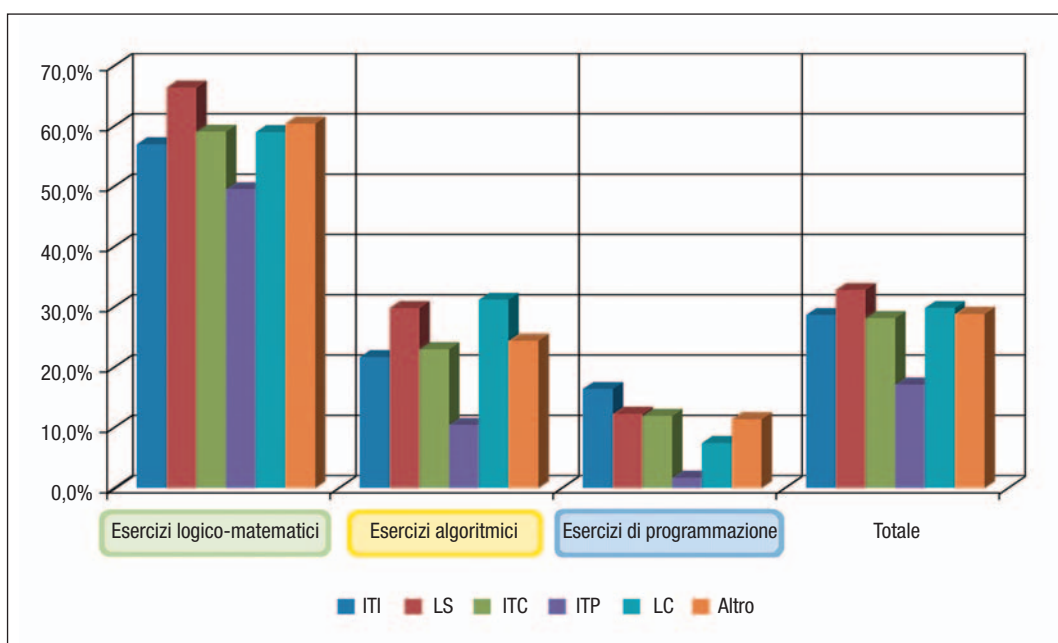


FIGURA 10

Distribuzione percentuale delle risposte degli atleti partecipanti ai tre tipi di esercizi per tipo di scuola

ti provenienti dai Licei Scientifici hanno tassi di risposte esatte migliori per quanto riguarda gli esercizi logico-matematici e algoritmici, mentre a livello di programmazione prevalgono gli atleti degli Istituti Tecnici Industriali, dove l'informatica a livello curricolare è molto più diffusa.

4. CONCLUSIONI

Le Olimpiadi di Informatica, giunte ormai quasi al quarto di secolo, si rivelano una palestra importante per sviluppare nei migliori studenti la capacità di affrontare problemi di complessità anche molto elevata facendo uso delle tecniche dell'informatica, e in particolare della capacità di progettare e codificare algoritmi che consentano al calcolatore di risolvere in modo automatico tali problemi.

I lusinghieri risultati degli atleti italiani alle Olimpiadi Internazionali mostrano come – nonostante un atteggiamento certamente rinunciatario del nostro Paese nei confronti dello sviluppo delle competenze informatiche – esista un'evidente attitudine dei nostri giovani verso questa disciplina, che consente loro di prevalere su coetanei provenienti da aree del pianeta dove l'informatica riceve senz'altro risorse e attenzioni molto maggiori.

Esistono tuttavia differenze nelle prestazioni dei nostri atleti che meritano attenzione in quanto si rivelano indici di problematiche più profonde.

Senz'altro, la scarsa propensione delle ragazze verso l'informatica costituisce un proble-

ma, non certo per burocratici motivi di parità di genere, quanto per la ben più grave mancanza dell'apporto della sensibilità femminile in un contesto – quello dell'applicazione delle tecnologie informatiche – che per la sua pervasività nella vita sociale ne avrebbe assoluto bisogno.

Poi una chiara differenza fra i livelli di preparazione degli studenti provenienti dalle varie aree del Paese, differenza che in prospettiva non può altro che portare a un ulteriore allargamento del *gap* fra Nord e Sud (con una sempre maggiore convinzione di trovarsi davanti a un Paese tecnologicamente adeguato da una parte e arretrato dall'altra).

Infine la constatazione che a livello internazionale prevalgono gli atleti provenienti dai Licei Scientifici, a dispetto della scarsa attenzione curricolare all'informatica, sintomo evidente di una preferenza dei migliori cervelli verso questo tipo di scuole, a scapito degli Istituti Tecnici, sempre più spesso e a torto considerati scuole per gli studenti meno motivati e/o meno predisposti agli studi.

Bibliografia

- [1] Fadini B., & Grossi R.: Olimpiadi dell'Informatica: giovani talenti cercansi. *Mondo Digitale*, Vol. V, n. 1, (marzo 2006), p. 3-16.
- [2] <http://ioinformatics.org>. IOI: International Olympiad in Informatics. Sito ufficiale.
- [3] <http://www.olimpiadi-informatica.it>. OII: Olimpiadi Italiane d'Informatica. Sito ufficiale.

Riquadro 1 - Le sedi delle IOI

- | | |
|--|---|
| 1. 1989 – Pravetz, Bulgaria, 16-19 maggio | 13. 2001 – Tampere, Finlandia, 14-21 luglio |
| 2. 1990 – Minsk, Repubblica Bielorussa, Unione Sovietica, 15-21 luglio | 14. 2002 – Yong-In, Repubblica Coreana, 18-25 agosto |
| 3. 1991 – Atene, Grecia, 19-25 maggio | 15. 2003 – Kenosha, Wisconsin, USA, 16-23 agosto |
| 4. 1992 – Bonn, Germania, 11-21 luglio | 16. 2004 – Atene, Grecia, 11-18 settembre |
| 5. 1993 – Mendoza, Argentina, 16-25 ottobre | 17. 2005 – Nowy Sacz, Polonia, 18-25 agosto |
| 6. 1994 – Haninge, Svezia, 3-10 luglio | 18. 2006 – Mérida, Yucatán, Messico, 13-20 agosto |
| 7. 1995 – Eindhoven, Olanda, 26 giugno - 3 luglio | 19. 2007 – Zagabria, Croazia, 15-22 agosto |
| 8. 1996 – Veszprém, Ungheria, 25 luglio - 2 agosto | 20. 2008 – Il Cairo, Egitto, 16-23 agosto |
| 9. 1997 – Città del Capo, Sud Africa, 30 novembre - 7 dicembre | 21. 2009 – Plovdiv, Bulgaria, 8-15 agosto |
| 10. 1998 – Setúbal, Portogallo, 5-12 settembre | 22. 2010 – Waterloo, Ontario, Canada, 14-21 agosto |
| 11. 1999 – Antalya-Belek, Turchia, 9-16 ottobre | 23. 2011 – Pattaya City, Thailandia, 22-29 luglio |
| 12. 2000 – Pechino, Cina, 23-30 settembre | 24. 2012 – Sirmione e Montichiari, Italia, 22-29 settembre |

Riquadro 2 - Le IOI 2012 in Italia

La XXIV edizione di IOI (*International Olympiad in Informatics*) si terrà a Sirmione dal 22 al 29 settembre 2012 in Italia.

Ci aspettiamo atleti da più di 80 Paesi del mondo, con relative delegazioni: in totale almeno un migliaio di persone per un incontro di giovani appartenenti a culture, razze e continenti diversi, un contesto davvero eccezionale per la sua vastità.

L'ospitalità per atleti e delegazioni sarà organizzata nell'incantevole cornice di Sirmione sul Garda, mentre le gare vere e proprie usufruiranno dell'organizzazione e della tecnologia del Centro Fiera del Garda, a Montichiari.

Non mancheranno naturalmente le occasioni per far conoscere a tanti ospiti le bellezze, l'ospitalità e le usanze del nostro Paese.



Sirmione sul Garda

Riquadro 3 - Il medagliere italiano alle IOI

IOI 2000	bronzo:	Alessandro Arzilli, ITI Sarrocchi, Siena
IOI 2001	bronzo:	Alessandro Maconi, IISS Greppi di Monticello Brianza, LC
IOI 2002	bronzo:	Stefano Maggiolo, IT Severi, Padova
IOI 2003	argento:	Giuseppe Ottaviano, LS Fermi, Ragusa
	argento:	Gilberto Abram, LS Russell, Cles, TN
	bronzo:	Matteo Bruni, ITI Montani, Fermo
IOI 2004	ORO:	Luca Barbieri, LS Carducci, Milano
	bronzo:	Dario Cazzaro, ITIS Zuccante, Venezia
	bronzo:	Alessandro Piva, LS Majorana, Latina
	bronzo:	Giorgio Audrito, LS Curie, Pinerolo, TO
IOI 2005	argento:	Luca Barbieri, LS Carducci, Milano
	argento:	Alessio Guerrieri, LS da Vinci, Trento
	bronzo:	Giorgio Audrito, LS Curie, Pinerolo, TO
IOI 2006	bronzo:	Salvatore Ingala, LS Cascino, Piazza Armerina, EN
	bronzo:	Nicola Pierazzo, LS Galilei, Dolo, VE
IOI 2007	argento:	Matteo Boscariol, ITS Einaudi, Montebelluna, TV
	rgento:	Giovanni Mascellani, LS Dini, Pisa
	bronzo:	Paolo Comaschi, LS Cassini, Genova
	bronzo:	Massimo Cairo, LS Marconi, Milano
IOI 2008	argento:	Massimo Cairo, LS Marconi, Milano
	bronzo:	Giovanni Mascellani, LS Dini, Pisa
	bronzo:	Paolo Comaschi, LS Cassini, Genova
IOI 2009	argento:	Massimo Cairo, LS Marconi, Milano
	argento:	Paolo Comaschi, LS Cassini, Genova
	bronzo:	Maximilian Alber, ITI Max Valier, Bolzano
	bronzo:	Giovanni Paolini, LS Copernico, Brescia
IOI 2010	argento:	Giovanni Paolini, LS Copernico, Brescia
	argento:	Massimo Cairo, LS Marconi, Milano
	bronzo:	Alessandro Dovis, LS Galilei, Alessandria

Riquadro 4 - Esempi di esercizi proposti agli atleti nelle selezioni scolastiche

Esercizio a carattere logico matematico (punti 1)

Se si lanciano due dadi, qual è la probabilità di fare 6 (naturalmente sommando i valori dei due dadi)?

Risposte possibili

- a. $18/36$
- b. $12/36$
- c. $5/36$
- d. $7/36$

Esercizio a carattere logico matematico (punti 3)

Si consideri la seguente moltiplicazione:

$$\begin{array}{r} A \quad \quad \quad \leftarrow \quad \leftarrow \quad \leftarrow \quad \times \\ B \quad \quad \quad \leftarrow \quad \quad \quad = \\ \hline C \quad \leftarrow \quad \leftarrow \quad \leftarrow \quad \leftarrow \end{array}$$

dove ciascuna delle cifre dei tre numeri A, B e C (indicate dal simbolo $\leftarrow$) può valere solo 3, oppure 5, oppure 7. Quali sono i tre numeri A, B e C?

Esercizio a carattere algoritmico (punti 1)

Per rispettare i tempi delle prenotazioni quando si devono consegnare delle pizze alle abitazioni poste ai numeri *dispari* di una stessa via, le pizze devono essere consegnate seguendo le istruzioni scritte usando un codice che specifica come spostarsi avanti (per esempio A2, per muoversi in avanti di due abitazioni) e indietro (per esempio I5, per tornare indietro di 5 abitazioni) lungo la via a partire da un punto specificato.

Un esempio di consegna di 4 pizze: se a partire dall'abitazione situata al numero 1 le istruzioni fossero descritte dalla seguente lista [A2, A1, I2], le consegne seguirebbero l'ordine descritto dalla seguente lista [1, 5, 7, 3] che indica i numeri civici (*dispari*) delle abitazioni cui effettuare le consegne.

Si devono consegnare 7 pizze. La prima pizza va consegnata all'abitazione situata al numero 1, le rimanenti vanno consegnate eseguendo le seguenti istruzioni: [A3, A4, I5, A6, I3, I4]. Trovare la lista L che contiene i numeri civici delle abitazioni disposti secondo l'ordine di consegna delle pizze.

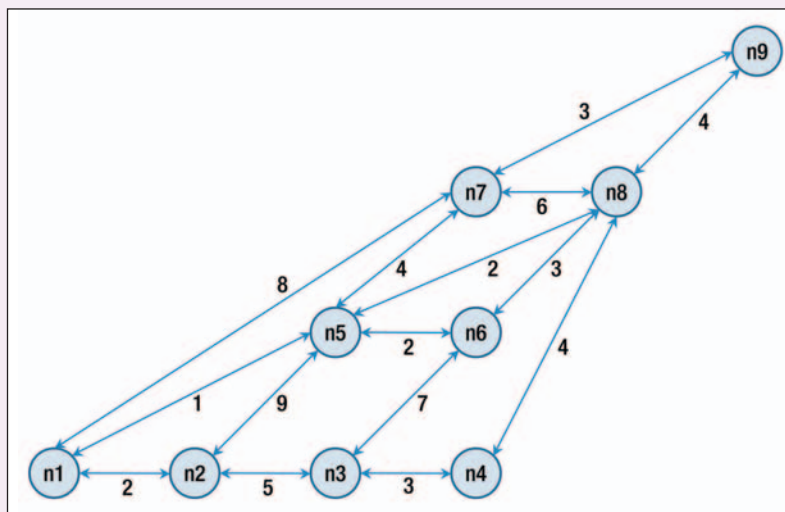
Esercizio a carattere algoritmico (punti 3)

Il termine $a(\langle \text{nodo1} \rangle, \langle \text{nodo2} \rangle, \langle \text{distanza} \rangle)$ descrive un tratto stradale che unisce nodo1 e nodo2, con la indicazione della relativa distanza (in chilometro).

Sia dato il grafo stradale composto dai seguenti tratti:

$a(n1, n2, 2)$ $a(n2, n3, 5)$ $a(n3, n4, 3)$ $a(n4, n8, 4)$ $a(n5, n6, 2)$ $a(n6, n8, 3)$
 $a(n1, n7, 8)$ $a(n8, n7, 6)$ $a(n5, n1, 1)$ $a(n2, n5, 9)$ $a(n3, n6, 7)$ $a(n5, n7, 4)$
 $a(n9, n7, 3)$ $a(n8, n9, 4)$ $a(n5, n8, 2)$

e rappresentato nella figura.



segue

Un **percorso** tra due nodi viene descritto con la lista dei nodi che lo compongono ordinati dal nodo di partenza al nodo di arrivo. Di ciascun percorso può naturalmente essere calcolata la **lunghezza** totale in chilometro.

Per esempio, il percorso: $L = [n_1, n_7, n_8, n_6]$ ha una lunghezza K di 17 km.

Trovare il numero N di percorsi diversi che partono dal nodo n_2 , terminano nel nodo n_9 e passano una sola volta per tutti i nodi del grafo; tra questi percorsi fornire la lista L_1 di quello più breve e la lista L_2 di quello più lungo.

Esercizio di programmazione (punti 1)

Si consideri il seguente frammento di programma:

```
int r,c,s;
printf("Inserisci un numero intero compreso fra -10000 e 10000: ");
scanf("%d",&r);
c=1;
c=r*c;
s=1;
if (c<=r) {
    s=s+c;
    c=c*2;
}
printf("La variabile s vale %d\n",s);
```

Quale delle seguenti affermazioni è vera?

- a. Viene visualizzata la somma di tutti i numeri da 1 fino a $r + 1$
- b. Viene visualizzato il valore $r + 1$
- c. Viene visualizzato il valore $r + 1$ solo se $r > = 1$
- d. Viene visualizzato il valore $2r + 1$

Esercizio di programmazione (punti 3)

Si consideri il seguente frammento di programma:

```
int succ(int i) {
    if (i<=2)
        return(1);
    else
        return(3*succ(i-1)+2*succ(i-2)-succ(i-3));
}
main() {
    printf("num=%d\n",succ(7));
}
```

Cosa viene visualizzato a video dall'esecuzione di main()?

Riquadro 5 - Syllabus delle conoscenze per affrontare le selezioni scolastiche

Nozioni di base di aritmetica, geometria e logica.

Sistemi di numerazione posizionali.

Funzioni matematiche elementari (*Funzioni algebriche, esponenziali e logaritmiche*).

Nozioni di base di algebra booleana.

Algoritmi (*Nozione di algoritmo, progettazione di semplici algoritmi, rappresentazione degli algoritmi mediante uno pseudo-linguaggio o mediante diagrammi*).

Memoria di un elaboratore digitale (*Rappresentazione di dati numerici, booleani, alfanumerici*).

Architettura di un elaboratore digitale (*Unità centrale, unità di input e di output, memorie di lavoro e di massa, archivi (file), reti di elaboratori*).

Linguaggi e programmi (*Linguaggio macchina e linguaggi simbolici, linguaggi ad alto livello, programmi e compilatori, software di sistema e software applicativo, sistemi operativi*).

Comprensione di programmi (*Comprensione di programmi o di porzioni di programmi scritti in un lin-*

segue

guaggio ad alto livello, in particolare Pascal o C) che includano almeno i seguenti aspetti:

- Dati: tipi, valori, operazioni, costanti ed espressioni.
- Rappresentazione degli interi in complemento a 2.
- Variabili ed assegnamento.
- Array (matrici) mono e multidimensionali.
- Vita e visibilità di un identificatore.
- Procedure e funzioni.
- Passaggio di parametri per indirizzo e per valore.
- Istruzioni semplici e composte.
- Comandi di input/output elementari.
- Tecniche per la composizione di algoritmi (sequenza, strutture condizionali, strutture iterative, ricorsione semplice e mutua).

Riquadro 6 - Un problema proposto agli atleti nelle selezioni territoriali 2010

Sequenza per tamburello

Descrizione del problema

Marco ha trovato alcune antiche sequenze in un manoscritto. Ogni sequenza è composta da N pallini pieni o vuoti e rappresenta un brano da suonare al tamburello in N istanti consecutivi di tempo: all' i -esimo istante, il tamburello viene percosso se l' i -esimo pallino è pieno e, invece, non viene percosso se tale pallino è vuoto ($1 \leq i \leq N$).

Marco vuole capire se una data sequenza è periodica: in tal caso, vuole estrarne il **periodo**, ossia il più piccolo segmento iniziale che si ripete nel resto della sequenza. In altre parole, se P è la sequenza di pallini pieni e vuoti che rappresenta il periodo, allora la sequenza in input è periodica se può essere ottenuta concatenando P per due o più volte e tale P deve essere di lunghezza minima.

Per esempio, rappresentando con 1 ogni pallino pieno e con 0 ogni pallino vuoto, la sequenza periodica 101010101010 ha 10 come periodo e la sequenza 1010010100010100101000 ha 10100101000 come periodo. Invece, la sequenza 11011011 non è periodica. Aiutate Marco in questo compito, in modo che possa imparare a suonare velocemente tali brani per tamburello.

Dati di input

Il file input.txt è composto da due righe. La prima riga contiene un intero positivo N , che indica il numero di pallini nella sequenza. La seconda riga contiene una sequenza di interi 0 e 1, separati da uno spazio, dove 1 rappresenta un pallino pieno e 0 un pallino vuoto.

Dati di output

Il file output.txt è composto da una sola riga contenente l'intero 2 se la sequenza in input non è periodica. Altrimenti, se è periodica, la riga contiene la sequenza di 0 e 1, separati da uno spazio, che rappresenta il periodo P della sequenza fornita in input.

Assunzioni

- $2 \leq N \leq 100000$

Esempi di input/output

File input.txt	File output.txt
12 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0	1 0
File input.txt	File output.txt
22 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0	1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0
File input.txt	File output.txt
8 1 1 0 1 1 0 1 1	2

Note: Un programma che restituisce sempre lo stesso valore, indipendentemente dai dati in input.txt, non totalizza alcun punteggio.

Riquadro 7 - Un problema proposto agli atleti nelle Olimpiadi Nazionali (OII) 2010

Salti spettacolari (tempo limite 1 secondo)

Descrizione del problema

Quando il Dr. Bruce Banner si trasforma nell'incredibile Hulk, acquista sempre più forza con l'andare del tempo. Al tempo $t = 0$ riesce a saltare un solo metro, al tempo $t = 1$ ne salta due, al tempo $t = 2$ ne salta quattro e così via: in generale, al tempo $t \geq 0$, riesce a saltare 2^t m. Tuttavia l'incredibile Hulk può saltare sempre e solo nella stessa direzione: dunque ad ogni istante t può decidere se saltare in avanti alla distanza permessagli in quel momento oppure stare fermo.

Hulk deve percorrere una certa distanza $D > 0$, espressa in metri, e vuole effettuare il minor numero di salti. Per esempio, per $D = 9$, Hulk salta due volte (effettua un salto da 1 e uno da 8); per $D = 7$, Hulk salta tre volte (un salto da 1, uno da 2 e uno da 4); per $D = 16$, Hulk effettua il solo salto da 16.

Aiuta Hulk a calcolare quale è il minimo numero di salti che deve effettuare per coprire la distanza D .

Dati di input

Il file input.txt è composto da una sola riga contenente un intero positivo D , che rappresenta la distanza da percorrere.

Dati di output

Il file output.txt è composto da una sola riga che contiene il numero di salti che Hulk deve effettuare per coprire la distanza D .

Assunzioni

- $1 \leq D \leq 2^{30}$

Esempi di input/output

File input.txt	File output.txt
9	2
File input.txt	File output.txt
7	3
File input.txt	File output.txt
16	1

Note: Per ogni input, esiste una sola risposta da fornire in output.

Riquadro 8 - Syllabus delle conoscenze per affrontare le selezioni territoriali

Strutture di dati	Liste, code, pile (stack), matrici (array), tabelle, alberi (binari, binari di ricerca, alberi generali), grafi
Strutture di memoria	Record, puntatori, strutture ad indice (array), strutture concatenate (a puntatori), gestione della memoria a heap
File di testo	Operazioni sui file di testo, lettura e scrittura di numeri e stringhe
Implementazione di programmi	Progettazione di algoritmi e redazione di programmi mediante l'uso di un linguaggio simbolico ad alto livello (Pascal, C, C++)
Algoritmi di ordinamento	Conoscenza di almeno uno tra i più veloci
Algoritmi di ricerca su array e tabelle	Ricerca sequenziale, ricerca binaria
Algoritmi "divide et impera"	
Algoritmi di enumerazione (disposizioni, permutazioni)	
Algoritmi su grafi e alberi	Visita di alberi

Riquadro 9 - Syllabus delle conoscenze per affrontare le Olimpiadi Nazionali e Internazionali

Problemi computazionali e complessità

Tecniche di verifica dei programmi

Programmazione dinamica e tecnica greedy

Liste con applicazioni

Alberi con applicazioni

Strutture di dati per la ricerca (dizionari)

Grafi, loro rappresentazione e uso

Pile, code e visite in profondità/ampiezza di grafi

NELLO SCARABOTTOLO Professore ordinario di Informatica presso il Dipartimento di Tecnologie dell'Informazione dell'Università di Milano, collabora da tempo con la Fondazione CRUI e con AICA su progetti di definizione, diffusione e monitoraggio delle certificazioni ICT nelle università italiane. Fa parte del Comitato Olimpico per l'organizzazione delle Olimpiadi Italiane di Informatica. È Presidente del CEPIS (il Council of European Professional Informatics Societies) l'ente che riunisce le Associazioni europee di informatica, di cui AICA è la rappresentante per l'Italia.

e-mail: nello.scarabottolo@unimi.it

MODEL CHECKING

COS'È E COME SI APPLICA



Il model checking ha dimostrato di essere una tecnologia di successo per verificare la correttezza dei requisiti nella progettazione di un consistente numero di sistemi *real-time*, *embedded* e *safety-critical*. Lo scopo di questo breve articolo è di spiegare come funziona.

Alessandro Fantechi
Stefania Gnesi

1. INTRODUZIONE

Lo sviluppo di metodologie formali per la progettazione, l'analisi e la verifica dei moderni sistemi software, spesso realizzati mediante l'assemblaggio di componenti pre-esistenti, assume un'importanza cruciale nel fornire un valido sostegno alla loro validazione fin dalle prime fasi del loro sviluppo. Al fine di evitare l'introduzione di difetti di progettazione o l'insorgere di problemi di integrazione, o d'interoperabilità nell'interconnessione dinamica dei componenti software è importante affiancare alla specifica del sistema in progettazione opportune metodologie di verifica.

È prassi comune scrivere i requisiti di un sistema in lingua naturale corredando le descrizioni testuali con diagrammi, *screenshot* e notazioni UML, come per esempio i casi d'uso e diagrammi di sequenza, di classe e di stato.

L'attività di verifica dei requisiti consiste fondamentalmente nel cercare le risposte a una serie di domande quali per esempio:

□ I requisiti soddisfano le esigenze degli utenti? Tutto ciò che è stato descritto corrisponde a ciò che essi vogliono e tutto ciò che gli utenti hanno chiesto è incluso?

□ I requisiti sono scritti chiaramente e non contengono ambiguità? Sono comprensibili?

□ I requisiti sono opportunamente strutturati per facilitare la progettazione e lo sviluppo?

□ I requisiti possono essere utilizzati per definire facilmente i casi di test di accettazione per verificare la conformità del prodotto rispetto ai requisiti stessi?

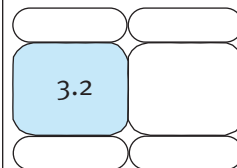
□ I requisiti sono scritti in modo sufficientemente astratto e ad alto livello in modo da dare sufficiente libertà al progettista e agli sviluppatori di implementare in modo efficiente?

Trovare le risposte a queste domande è un lavoro difficile e non c'è un modo semplice per farlo. Nonostante qualche aiuto possa venire dall'uso di strumenti di modellazione come per esempio UML, il problema di garantire la qualità dei requisiti rimane. E talvolta si introducono ulteriori problemi:

□ Quale notazione usare per quali requisiti?

□ Come garantire che le descrizioni in diverse notazioni siano coerenti tra loro?

Prima ancora di iniziare a scrivere il codice che realizzerà un sistema software, il progettista dovrà esser sicuro che i requisiti che descrivono le funzionalità del sistema stesso non con-





tengano errori. È infatti importante trovare il maggior numero di possibili difetti prima che la fase di codifica venga effettuata perché altrimenti l'eliminazione degli errori quando il prodotto è già stato consegnato potrebbe diventare molto costosa.

Un modo per migliorare la qualità dei requisiti e del progetto è quello di utilizzare strumenti automatici per verificarne la qualità relativamente ad un insieme di caratteristiche considerate importanti al fine di garantire il buon funzionamento del sistema.

Quali strumenti sono più idonei per questo compito?

Un modo potrebbe essere quello di costruire strumenti automatici per verificare i requisiti scritti in linguaggio naturale. Qualcosa in questa direzione è stato fatto, ma sicuramente non è possibile, data la natura intrinseca del linguaggio naturale, realizzare delle analisi esaustive dei requisiti così espressi.

L'introduzione di linguaggi e notazioni formali diventa un passo necessario al fine di poter descrivere i requisiti di un sistema in modo chiaro e non ambiguo e quindi con una semantica ben definita. Partendo da qui sarà possibile sviluppare strumenti automatici per analizzare in modo esaustivo i requisiti stessi.

La progettazione di sistemi software complessi sarà quindi molto facilitata dall'applicazione di metodologie che facciano riferimento in modo diretto o indiretto a descrizioni formali delle applicazioni stesse. Ciò è particolarmente importante per quei sistemi dedicati al controllo di applicazioni critiche, di cui quelle nei settori *automotive*, ferroviario, avionico e spaziale, sono gli esempi più immediati, per i quali le descrizioni formali possono fornire una guida utile per garantire le proprietà necessarie di correttezza, sicurezza, interoperabilità, affidabilità ed efficienza.

La domanda che ora ci dobbiamo porre è quale sia il linguaggio formale più idoneo per definire i nostri sistemi. Non esiste una risposta unica, poiché i fabbisogni per i sistemi in diversi domini applicativi variano notevolmente. Per esempio, i requisiti di un sistema bancario o quelli di un sistema aerospaziale si differenziano molto sia per struttura, complessità, natura dei dati, sia per le operazioni

eseguite. Inoltre, nella maggior parte dei sistemi *real-time embedded* o *safety-critical* è necessario avere a disposizione dei linguaggi formali idonei a descrivere aspetti orientati al loro controllo, piuttosto che al trattamento dei dati.

Per quest'ultima classe di sistemi, vari "dialetti" di automi a stati finiti, come macchine a stati finiti (FSM), sistemi di transizione etichettati (LTS), o diagrammi a stati UML, sono ampiamente accettati come una notazione formale chiara, semplice e sufficientemente astratta per esprimere i requisiti.

Negli ultimi venti anni, la ricerca in informatica ha fatto enormi progressi nello sviluppo di strumenti automatici a supporto della verifica dei requisiti di sistemi complessi. Uno degli approcci di maggior successo è quello conosciuto come *model checking*, che permette di automatizzare il processo di verifica di sistemi descritti mediante l'uso di linguaggi formali.

In questo articolo, si darà un'introduzione al *model checking* e si mostrerà come funziona.

2. MODEL CHECKING

La tecnica del *model checking*, introdotta da Clarke, Emerson e contemporaneamente da Quielle e Sifakis agli inizi degli anni '80, è basata su idee estremamente semplici ed è probabilmente uno dei più significativi avanzamenti della ricerca in Informatica di base di questi ultimi decenni.

Nella verifica tramite *model checking* il sistema sotto analisi viene descritto con un linguaggio formale e successivamente modellato mediante qualche dialetto di automi a stati finiti (nel seguito faremo riferimento alla notazione di base degli automi a stati finiti, che assumeremo come nota). Le proprietà da verificare su tale modello sono rappresentate tramite un linguaggio preciso e non ambiguo, tipicamente in logica temporale, e la loro soddisfacibilità sull'automa a stati finiti che modella il sistema viene verificata in modo efficiente ed automatico. Se le proprietà non sono soddisfatte, una traccia di esecuzione (controesempio) è mostrata al fine di evidenziare perché si ha il fallimento nella verifica.

In sintesi la verifica tramite *model checking*

consiste, dato un automa M modello di un sistema e una formula di logica temporale ϕ , che rappresenta una proprietà che si desidera che M abbia, nel verificare se M soddisfa ϕ .

Come possiamo specificare queste proprietà delle esecuzioni?

Sono state sviluppate diverse logiche temporali a questo scopo. Una logica temporale è un'estensione della logica proposizionale la cui struttura di interpretazione è una successione di istanti di tempo distinti.

Tra le logiche temporali esistenti consideriamo qui la logica LTL (*Linear time Temporal Logic*), una logica temporale che fa riferimento ad una struttura temporale lineare di stati e transizioni, che rappresenta una possibile esecuzione di un sistema modellato mediante un automa. La sintassi della logica LTL è definita a partire dagli operatori della logica booleana proposizionale (che comprende i connettivi logici come AND, OR, NOT, implica ecc.), dove sono stati aggiunti connettivi temporali. Alcuni connettivi temporali tipici di LTL sono rappresentati nella tabella 1, insieme al loro significato informale.

La figura 1 rappresenta graficamente il significato degli operatori temporali descritti nella tabella 1, dando per ogni formula una se-

quenza di stati e transizioni tra stati che rappresenta un'esecuzione del modello su cui la formula è verificata. Gli stati colorati rappresentano stati in cui le sottoformule della formula considerata sono verificate; la prima sequenza indica che, se non vi sono connettivi temporali, la formula si intende verificata sullo stato iniziale.

3. UN SEMPLICE ESEMPIO

Per mostrare il funzionamento dell'algoritmo di model checking, consideriamo un classico

$X \phi$ (<i>next</i>)	Vera nello stato corrente se la formula ϕ è vera nello stato successivo.
$G \phi$ (<i>always</i>)	Vera nello stato corrente se ϕ è vera in tutti gli stati successivi.
$F \phi$ (<i>eventually</i>)	Vera nello stato corrente se ϕ è vera in almeno uno degli stati successivi.
$\phi_1 U \phi_2$ (<i>until</i>)	Vera nello stato corrente se ϕ_2 è vera in uno stato futuro e ϕ_1 è vera in tutti gli stati precedenti.
$\phi_1 P \phi_2$ (<i>precedes</i>)	Vera nello stato corrente se ϕ_2 non è vera in uno stato precedente a quello in cui ϕ_1 è vera.

TABELLA 1

Alcuni degli operatori temporali di LTL

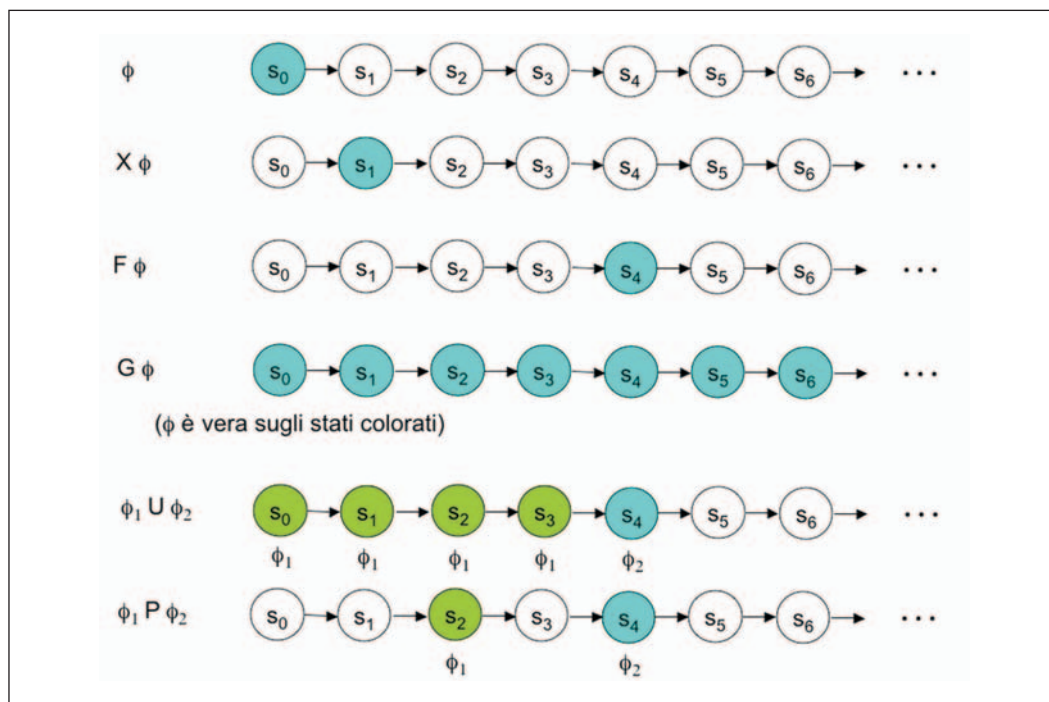
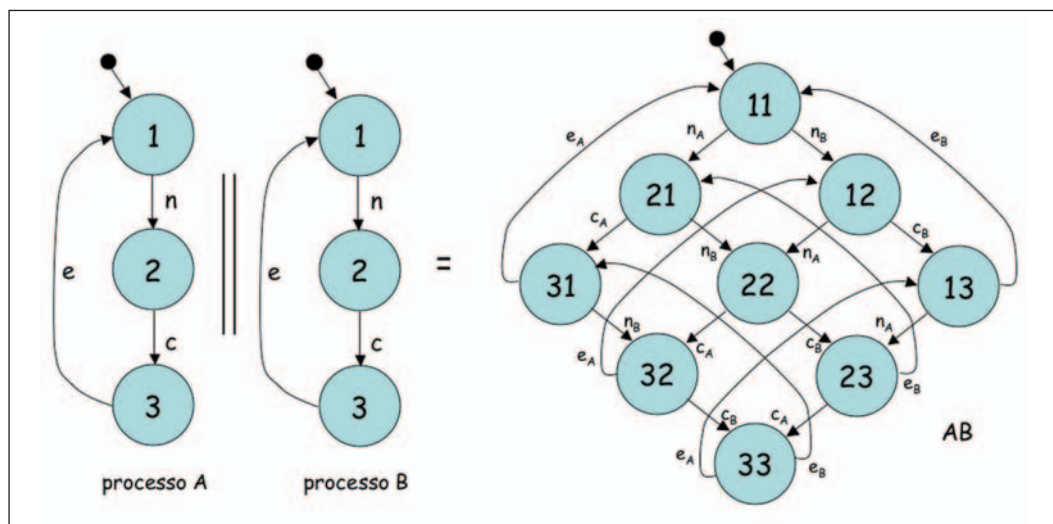


FIGURA 1

Interpretazione degli operatori temporali di LTL

FIGURA 2

Composizione di due processi che accedono ad una risorsa condivisa



$$\phi = \sim((c_A P c_B) \& (c_B P e_A))$$

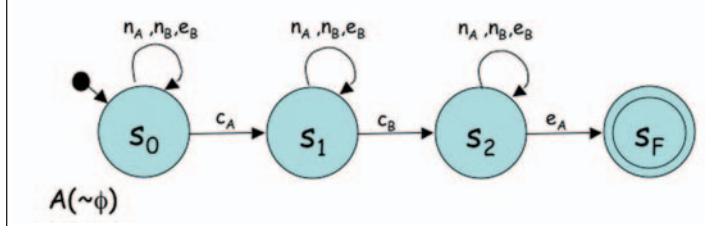


FIGURA 3

Automa della formula da verificare

esempio di sistema concorrente, in cui due processi accedono ad una risorsa condivisa. Per semplificare l'esposizione, consideriamo un semplice modello del funzionamento di ognuno dei due processi, di cui si osservano solamente le principali transizioni di stato:

- una transizione, n , che modella la computazione che viene svolta senza accedere alla risorsa;
- una transizione, c , che modella l'ingresso nella "regione critica", in cui si accede alla risorsa condivisa,
- una transizione, e , che modella il rilascio della risorsa condivisa (si vedano i due automi a sinistra nella Figura 2).

Se eseguiamo in parallelo i due processi A e B, assumendo le transizioni come atomiche, l'automa a stati finiti che rappresenta il comportamento complessivo del sistema dei due processi è l'automa AB, a destra nella figura 2 (c_A e c_B rappresentano la transizione c eseguita dal processo A e B rispet-

tivamente, ed analogamente per le transizioni n ed e).

Supponiamo che ci interessi provare la proprietà di *mutua esclusione*, ovvero che non vi è interferenza sull'accesso alla risorsa condivisa. Possiamo esprimere questa proprietà dicendo che se il processo A accede per primo alla risorsa, il processo B non deve accedere prima che A abbia rilasciato la risorsa. Ovvero, non devono esistere sequenze di transizioni in cui c_A precede c_B e c_B precede e_A .

In logica temporale LTL questo si esprime come:

$$\phi = \sim(c_A P c_B \& c_B P e_A)$$

Per specificare completamente la mutua esclusione dovremmo poi esprimere anche la formula simmetrica, con A e B scambiati, ma ci limitiamo a questa parte della proprietà.

Per verificare questa proprietà si procede definendo un automa $A(\sim\phi)$ che generi tutte le sequenze di transizione non ammesse dalla suddetta formula (Figura 3). L'intersezione dell'automa AB con l'automa $A(\sim\phi)$ ci fornisce un automa che genera le sequenze che sono riconosciute da entrambi gli automi. Se la proprietà fosse verificata, questa intersezione ci dovrebbe quindi dare il linguaggio vuoto. Questo non è vero in questo caso, in quanto la sequenza $n_A n_B c_A c_B e_A$ appartiene all'intersezione. Questa sequenza (Figura 4) viene detta "controesempio", in

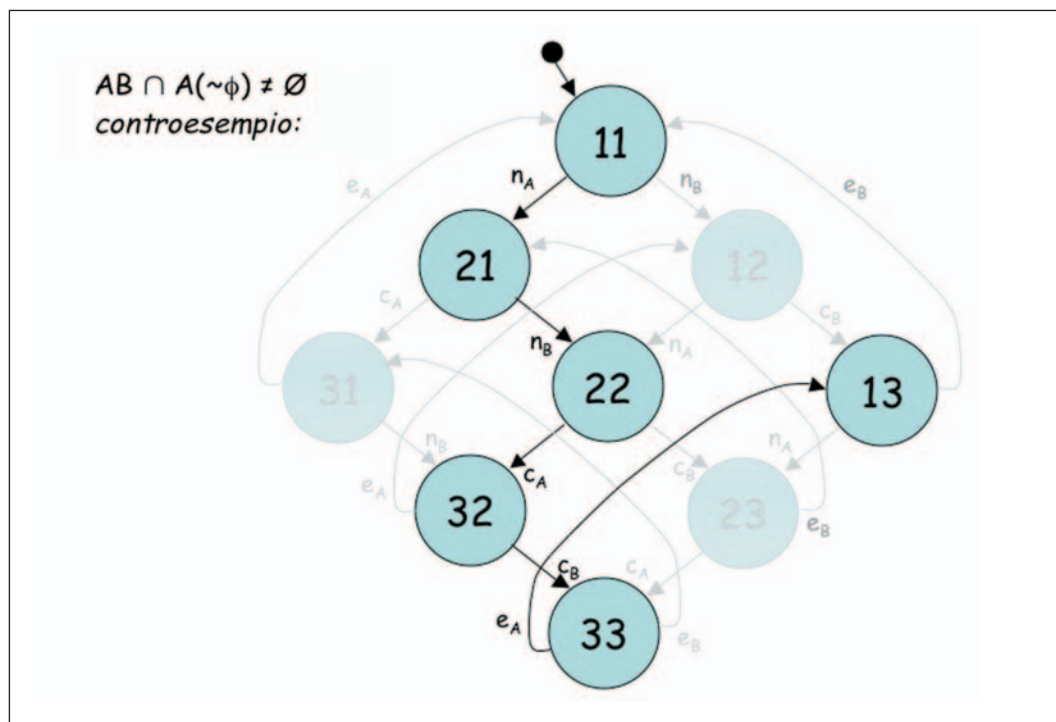


FIGURA 4
Cammino
di controesempio
sull'automa AB

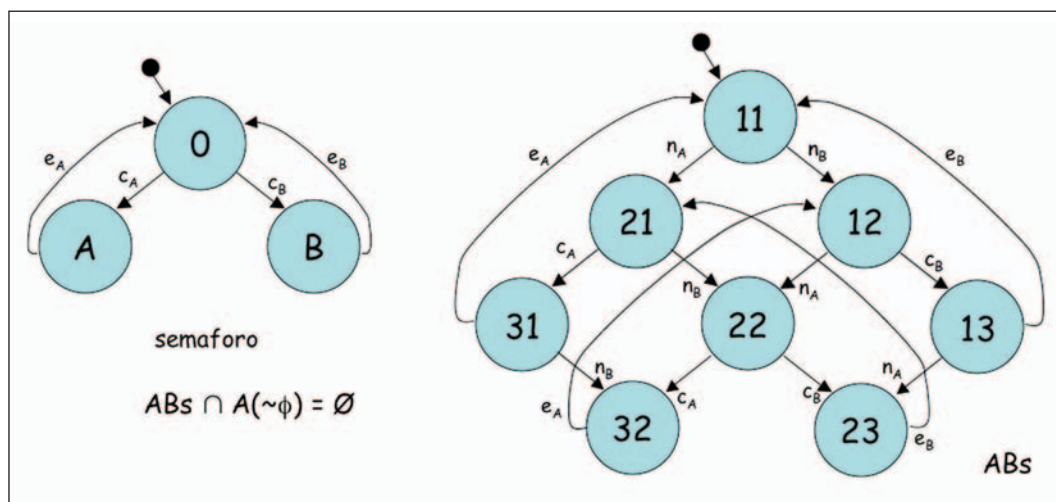


FIGURA 5
Comportamento
del sistema che usa
un semaforo

quanto dimostra la non veridicità della formula per il sistema AB (in questo caso non è l'unico controesempio ricavabile). Il controesempio può servire a diagnosticare il motivo per cui il sistema non soddisfa la proprietà richiesta: in questo caso ci si è chiaramente dimenticati di impedire l'accesso del processo B alla risorsa quando il processo A l'ha già acquisita.

A questa dimenticanza si può ovviare con il classico meccanismo del semaforo, che presenta il comportamento descritto dall'automa a sinistra nella figura 5. Sincronizzando i

processi A e B con il semaforo, otteniamo l'automa ABs, rappresentato a destra nella figura 5. Ripetendo il procedimento di model checking si vede che questa volta l'intersezione tra $A(\sim\phi)$ e ABs è nulla, e quindi la formula è soddisfatta.

Si noti che i passaggi che sono stati effettuati in questo esempio sono tutti formalizzabili come operazioni su automi e sono implementabili con opportuni algoritmi. Questo significa che il procedimento esemplificato può essere codificato in un algoritmo che dimostra formalmente che la proprietà vale o,

in caso contrario, fornisce un controesempio. Questo algoritmo, modificato per lavorare su *automi di Büchi*, ovvero automi che riconoscono sequenze infinite, è sostanzialmente quello utilizzato nel Model Checker SPIN. L'algoritmo di model checking di Clarke ed Emerson agisce invece visitando gli stati dell'automa ed etichettandoli progressivamente con le sottoformule della formula da verificare, formule espresse nella logica temporale CTL.

Entrambi questi algoritmi presentano una complessità computazionale lineare con la dimensione dello spazio degli stati del modello.

4. LIMITI DEL MODEL CHECKING

L'esempio della mutua esclusione mostra come l'algoritmo di model checking si applichi ad un modello a stati ottenuto tramite la composizione dei modelli di più processi. Come l'esempio mostra, in genere il numero degli stati del sistema complessivo cresce, quando il sistema è composto di più processi, in modo esponenziale con il numero dei processi coinvolti, perché lo spazio degli stati può essere il prodotto degli spazi degli stati di ogni processo. Questo fenomeno, chiamato "esplosione dello spazio degli stati", limita fortemente la capacità degli algoritmi di model checking citati a lavorare su esempi di sistemi "reali", fermandosi intorno al milione di stati, principalmente a causa della dimensione dello spazio di memoria necessario per rappresentare lo spazio degli stati.

Le limitazioni degli algoritmi di model checking dovute all'esplosione dello spazio degli stati sono state affrontate con la tecnica introdotta da McMillan che permette la rappresentazione simbolica degli stati per mezzo degli *Ordered Binary Decision Diagrams* (OBDD). In questa tecnica lo spazio degli stati non viene rappresentato esplicitamente memorizzando tutti gli stati e le transizioni, ma implicitamente (o simbolicamente) mediante un insieme di funzioni binarie, a loro volta memorizzate in modo compatto tramite OBDD, arrivando a poter trattare sistemi da 10^{23} a 10^{120} stati.

Questa tecnica ha quindi posto le basi per una vasta diffusione del model checking, soprattutto nell'ambito della verifica del-

l'hardware, tanto da valere ai pionieri Clarke, Emerson e Sifakis il prestigioso ACM Turing Award del 2007.

La ricerca sul model checking si è da allora sviluppata enormemente e varie tecniche sono state studiate per migliorarne ancora le prestazioni e tentare di ridurre il fenomeno dell'esplosione degli stati. Una possibilità è quella di generare e memorizzare solo lo spazio degli stati necessario per verificare la proprietà in questione.

In particolare, nel *local model checking* (anche noto come *on-the-fly model checking*) si generano, sulla base della struttura della formula, solo gli stati che effettivamente servono a verificare la formula (in alcuni casi però potrebbe essere necessario generare l'intero spazio degli stati).

Nel *Bounded Model Checking* (BMC) invece lo spazio degli stati viene generato fino ad una profondità fissata: il risultato del BMC sarà quindi ternario: la formula è verificata, la formula non è verificata, la profondità non è sufficiente per verificare. Nel terzo caso, si può decidere di aumentare la profondità. Il BMC sta vivendo un momento di popolarità da quando si è dimostrato che il problema del model checking LTL su uno spazio degli stati di profondità limitata si può esprimere efficientemente come un problema di soddisfacibilità (SAT), problema che, pur essendo in generale NP-completo, viene affrontato con successo da algoritmi molto efficienti recentemente sviluppati.

5. MODEL CHECKING IN PRATICA

La disponibilità di strumenti di model checking efficienti e capaci di lavorare su spazi degli stati di grandi dimensioni ne ha favorito, a partire dalla metà degli anni novanta, la diffusione anche in ambito industriale.

I due model checker di origine accademica più famosi sono SMV, sviluppato presso la Carnegie Mellon University, come model checker basato su rappresentazione BDD per la logica CTL e di cui ne esiste una versione reingegnerizzata, NuSMV, sviluppata dalla Fondazione Bruno Kessler di Trento, e SPIN, sviluppato come model checker per la logica temporale lineare (LTL), presso i Bell

Labs sotto la direzione di Gerard Holzmann. Dopo il famoso caso in cui Intel dovette nel 1994 ritirare dal mercato i nuovi chip Pentium, affetti da un guasto di progetto dell'algoritmo di divisione in virgola mobile, rilevato anche tramite model checking, nel settore della produzione di chip questa tecnica si è ormai affermata come metodologia insostituibile di prova della corretta progettazione utilizzando vari model checker proprietari, costruiti spesso in casa dalle ditte produttrici.

Diversa e più variegata è la situazione dell'utilizzo del model checking per la verifica della correttezza del software. In effetti, la produzione dell'hardware digitale ha sempre fatto riferimento a macchine a stati finiti per rappresentare convenientemente il comportamento richiesto da un dispositivo. L'applicazione del model checking, una volta superate le limitazioni di dimensione, ha quindi trovato facile presa tra gli addetti. Nel caso della produzione del software, nonostante l'esecuzione di un programma possa essere sempre in teoria modellata come una macchina a stati, la corrispondenza tra codice e modello non è immediata. Inoltre, in molti casi il software ha, almeno da un punto di vista teorico, un numero di stati infinito o, al meglio, enormemente grande. Se in generale il problema del model checking è indecidibile su programmi a stati infiniti, basta un semplice programma in cui due variabili intere a 32 bit, possono assumere valori indipendenti tra loro e non limitabili a priori, a produrre uno spazio di 2^{64} stati.

Il model checking ha quindi stentato a farsi strada nella produzione del software, dove il testing viene ancora visto come la principale attività di verifica della correttezza del codice, pur non possedendo le doti di esauritività che costituiscono il principale vantaggio del model checking. Se quindi, per il software di utilizzo comune questa tecnica non si è affermata, è stata invece presa in seria considerazione, anche se con un certo ritardo rispetto all'hardware, nel settore della produzione del software di sistemi critici, dove è necessario garantire la massima affidabilità raggiungibile mantenendo i costi delle attività di verifica al di sotto di una soglia accettabile.

6. MODEL BASED DEVELOPMENT

Nell'applicazione del model checking alla produzione del software di sistemi critici, si possono individuare due tendenze principali: la prima, che possiamo considerare più matura e diffusa, si situa all'interno dei metodi di sviluppo basati sulla modellazione formale dei requisiti (*model based*).

In questo approccio lo sviluppo del software avviene a partire da modelli del sistema, attraverso passi di raffinamento e traduzione, anche supportati da appositi strumenti (simulatori, generatori di codice ecc.). La definizione di modelli accurati del funzionamento del sistema, prima dello sviluppo del codice, ha effetti positivi sulla possibilità di rilevare errori di progettazione, quando la loro correzione ha un costo molto minore. La rilevazione di errori può avvenire tramite simulazione del modello, o tramite, appunto, la sua verifica formale. Il modello può poi direttamente servire per generare automaticamente il codice tramite appositi strumenti: questa possibilità è interessante per la realizzazione di prototipi - consentendo di concentrare gli sforzi di progettazione e verifica nella specifica dei modelli - ma viene sempre più diffusamente usata anche per la produzione finale del codice.

Diversi strumenti commerciali di ausilio alla progettazione *model based*, come Simulink/Stateflow di Matlab, o SCADE, contengono moduli che implementano varie versioni di algoritmi di model checking. In altri strumenti di supporto a questo paradigma di sviluppo (come IAR Visualstate), il motore di model checking è nascosto allo sviluppatore, permettendogli di provare proprietà pre-cablate sui modelli sviluppati.

Secondo questa tendenza, l'applicazione del model checking avviene per verificare i modelli, lasciando al generatore di codice il compito di derivarne un codice corretto.

Una delle esperienze più interessanti in questo ambito è quella della Rockwell Collins, operante nel settore avionico, dove sono stati usati come ambienti di progetto *model based* sia Simulink/Stateflow che SCADE, e sono stati sviluppati traduttori per poter applicare ai modelli prodotti diversi model checkers, tra cui SMV e NuSMV. Uno dei risul-

tati più interessanti di questa esperienza è la conferma che il model checking è più efficace del *testing* nel trovare errori: in un esperimento di verifica fatto con due team indipendenti sullo stesso sottosistema, quello che usava model checking ha trovato 12 errori, mentre il team di *testing*, nonostante abbia utilizzato più della metà del tempo speso nell'attività di model checking dall'altro team, non ha potuto rilevare alcun errore.

7. SOFTWARE MODEL CHECKING

La seconda tendenza, che possiamo considerare ancora in via di sviluppo, è quella dell'applicazione diretta delle tecniche di verifica al codice prodotto, e va sotto il nome di "Software Model Checking".

In questo caso, l'approccio è opposto a quello visto in precedenza: si parte dal codice, in qualunque modo sviluppato, e se ne ricava lo spazio degli stati. Essenziale è in questo approccio l'adozione di potenti tecniche di astrazione, che siano in grado di ridurre sostanzialmente la dimensione dello spazio degli stati, senza incidere sulla soddisfacibilità o meno delle proprietà da provare.

Il lavoro pionieristico all'applicazione diretta del model checking al codice è stato fatto alla NASA dalla fine degli anni '90 adottando due diverse strategie: la prima, traducendo il codice nel linguaggio di input di un model checker esistente, per esempio traducendo in PROMELA, linguaggio di input per SPIN. In secondo luogo, attraverso lo sviluppo di model checker *ad hoc* che prendano direttamente i programmi come input. In entrambi i casi, vi è la necessità di estrarre dal codice un modello a stati finiti, anche quando esso abbia teoricamente un numero infinito di stati, e comunque con l'obiettivo di diminuire lo spazio degli stati ad una dimensione gestibile. L'astrazione è quindi la chiave per il model checking del software ed ha lo scopo di eliminare i dettagli irrilevanti al fine della verifica delle proprietà.

In questi ultimi anni sono stati sviluppati un certo numero di software model checker che prendono come input il codice. Alcune caratteristiche comuni di questi sono l'uso nella maggior parte dei casi di una rappre-

sentazione esplicita spazio degli stati, comunque generata *on-the-fly*, e l'adozione di un motore di astrazione che si basa su CEGAR (*Counterexample Guided Abstraction Refinement*), un procedimento iterativo che permette di raffinare l'astrazione del modello fino a trovare quella che permette di verificare (o falsificare) effettivamente la formula, eliminando i falsi positivi o falsi negativi che possono risultare dalla verifica fatta sul sistema astratto.

Il più noto tra i software model checker è JavaPathFinder, realizzato in un progetto sviluppato dalla Nasa per verificare i programmi Java. JavaPathFinder comprende il traduttore Bandera da Java Bytecode ad un certo numero di noti model checker.

Infatti, lo strumento fornisce una Java Virtual Machine che non esegue normalmente il bytecode, ma controlla direttamente su queste le proprietà da verificare. JavaPathFinder è stato usato per verificare software installati su sonde spaziali, in particolare si riporta l'individuazione e la correzione durante il volo di un errore nel software a bordo della sonda Deep Space DS-1.

Ci riferiamo alla tabella 2 per un elenco di alcuni software model checker di libera distribuzione. In particolare tra questi vogliamo citare SLAM, sviluppato da Microsoft e utilizzato per verificare che i *driver* di Windows rispettino le convenzioni API.

In entrambe le tendenze (*Model Based Verification* e *Software Model Checking*) una difficoltà intrinseca, che talvolta frena l'adozione del model checking nella produzione del software, è quella relativa all'espressione delle proprietà desiderate in logica temporale. A questa difficoltà alcuni strumenti di model checking ovviano fornendo all'utente linguaggi più amichevoli ma meno espressivi che propongono proprietà di default "built-in" nel sistema oppure suggeriscono tramite dei template come le proprietà possono essere scritte.

7. CONCLUSIONI

In questo articolo ci siamo limitati a descrivere sommariamente la tecnica del model checking e le sue applicazioni alla verifica del software, che si stanno via via consolidando

Strumenti di model checking	Linguaggio di descrizione dei modelli	Linguaggio di specifica delle proprietà
SMV- NuSMV http://www.cs.cmu.edu/~modelcheck/smv.html http://www.kenmcmil.com/smv.html http://nusmv.fbk.eu/	Reti di macchine a stati che comunicano attraverso variabili condivise	CTL
SPIN http://spinroot.com/spin/whatispin.html	PROMELA	PLTL
Model checker per sistemi temporizzati		
KRONOS http://www-verimag.imag.fr/~tripakis/openkronos.html	Automi temporizzati	Timed CTL
UPAALL http://www.uppaal.com/	Automi temporizzati	Timed CTL
Model checker probabilistici		
PRISM http://www.prismmodelchecker.org/	Catene di Markov a tempo discreto e continuo, processi di decisione markoviani	PCTL, CSL, LTL, PCTL*,
MRMC http://www.mrmc-tool.org/trac/	Modelli di Markov con ricompensa, a tempo discreto e a tempo continuo	PCTL, CSL, PRCTL, CSRL
Software model checkers		
BLAST http://mtc.epfl.ch/software-tools/blast/index-epfl.php CPAChecker http://cpachecker.sosy-lab.org/ SLAM http://research.microsoft.com/en-us/projects/slam/	Programmi C	Annotazioni C
CBMC http://www.cprover.org/cbmc/	Programmi ANSI-C e C++	Asserzioni C
JAVAPATHFINDER http://javapathfinder.sourceforge.net/	Java™ bytecode	Annotazioni JPF, API di verifica

TABELLA 2*Alcuni dei model checker di pubblico dominio*

specialmente in determinati settori della produzione del software.

L'attività di ricerca su questa tecnica è ancora molto attiva e promette un suo più vasto utilizzo in vari ambiti dello sviluppo di sistemi informatici. Tra le direzioni di ricerca più seguite negli ultimi anni possiamo citare quella sui sistemi temporizzati, quali i sistemi *real-time*, in cui le pro-

prietà di interesse quantificano con esattezza gli intervalli di tempo in cui azioni e reazioni del sistema debbano avvenire, e quella del model checking probabilistico, dove si vuole valutare quale sia la probabilità che un modello goda di una certa proprietà, aprendo la strada all'utilizzo del model checking nella valutazione quantitativa delle caratteristiche di un sistema.

Bibliografia

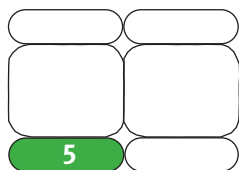
- [1] Clarke Edmund M., Emerson E. Allen: *Design and synthesis of synchronization skeletons using branching time temporal logic*. Proc. of Workshop in Logics of Programs. 1981.
- [2] Quielle Jean-Pierre, Sifakis Joseph: *Specification and verification of concurrent systems in CESAR*. In: Proc. of Symposium on Programming 1982, p. 337-351.
- [3] Clarke Edmund M., Emerson E. Allen, Sistla A. Prasad: Automatic verification of finite-state concurrent systems using temporal logic specifications. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, Vol. 8, n. 2, 1986, p. 244-263.
- [4] Clarke Edmund M., Grumberg Orna, Peled Doron: *A Model Checking*. Cambridge, MA: MIT Press, 1999.
- [5] Baier Christel, Katoen Joost-Pieter: Principles of model checking. MIT Press, Vol. I-XVII, 2008, p. 1-975.
- [6] Holzmann Gerard J.: *The SPIN Model Checker*. Addison-Wesley Professional, 2003.
- [7] Miller Steven P., Whalen Michael W., Cofer Darren D.: Software model checking takes off. *Communication of ACM*, Vol. 53, n. 2, 2010, p. 58-64.

STEFANIA GNESI è dirigente di ricerca presso il CNR-ISTI ed è responsabile del gruppo di Metodi Formali e Tool dell'ISTI. È stata coordinatrice del gruppo di lavoro dell'ERCIM su Formal Methods for Industrial Critical Systems. È attualmente vicepresidente dell'associazione Formal Methods Europe. Ha coordinato vari progetti nazionali su metodi e strumenti formali per l'analisi e verifica di sistemi software e ha partecipato a diversi progetti Europei. Svolge attività didattica nel Corso di Laurea Magistrale in Informatica dell'Università di Firenze tenendo lezioni su "Metodi e Strumenti per l'Analisi e la Verifica".
E-mail: stefania.gnesi@isti.cnr.it

ALESSANDRO FANTECHI è Professore Ordinario presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze, dove insegna Informatica Industriale per il Corso di Laurea in Ingegneria Informatica, e Elementi di Software Dependability per il Corso di Laurea Magistrale. I principali interessi di ricerca vertono su applicazioni di metodi formali di specifica e verifica, temi sui quali ha intessuto numerose collaborazioni con aziende produttrici di sistemi safety-critical. Dal Novembre 2008, è coordinatore dello Working Group "Formal Methods for Industrial Critical Systems" del consorzio Europeo ERCIM.
E-mail: fantechi@dsi.unifi.it



**Silvia Bencivelli
Pierpaolo Degano**



I DOTTORATI IN INFORMATICA IN ITALIA UNA FOTOGRAFIA DI GRUPPO

Negli oltre venticinque anni di attività, i dottorati di ricerca in informatica hanno formato migliaia di professionisti votati all'innovazione e alla ricerca, necessari all'università come al tessuto economico e produttivo. In questo articolo descriviamo lo stato dei nostri dottorati, riportando i risultati di un'indagine condotta attraverso un questionario on-line. Nonostante emergano numerosi aspetti positivi, i recenti tagli dei finanziamenti a ricerca e didattica causano seria preoccupazione e compromettono il futuro del Paese.

1. INTRODUZIONE

Nell'ottobre del 2009 abbiamo festeggiato i venticinque anni del dottorato di ricerca in informatica dell'Università di Pisa, il primo in Italia. Venticinque anni di eccellenza, di ricerca pubblica a servizio della collettività: una festa per noi e per Pisa, ma anche per tutta l'informatica italiana, è stato detto senza retorica. Celebravamo venticinque anni di storie di costruzione di settori di ricerca unici nel nostro Paese e nel mondo: venticinque anni che hanno visto l'alta formazione universitaria acquistare importanza in tutti i settori della scienza. Ma si è trattato di un compleanno amaro. Perché proprio in quei momenti stavamo assistendo alle conseguenze dei primi pesanti tagli dei finanziamenti alla ricerca e alla didattica, che mettevano e mettono tuttora in pericolo la possibilità di continuare a formare professionalità eccellenti votate all'innovazione. Così ci siamo chiesti se fosse un disagio soltanto nostro o se stesse colpendo tutta l'Italia.

Abbiamo perciò pensato di coinvolgere gli altri dottorati in informatica e di confrontarci

con loro, per provare a capire se e come questo momento di crisi stia davvero affliggendo l'alta formazione e per provare a immaginare un futuro che non danneggi l'università, gli studenti e soprattutto il Paese, che della professionalità dei nostri dottori di ricerca avrebbe un grande bisogno per rilanciare l'economia. Perché l'alta formazione, a nostro parere, è un motore fondamentale dello sviluppo di una nazione, come dimostra la stretta correlazione tra numero di persone con titolo di dottorato e gli indici di crescita economica degli altri Paesi europei. Un dottore di ricerca è preparato ad affrontare problemi complessi e a trovare soluzioni innovative e può rivestire un ruolo chiave nell'iniziativa privata. Per non parlare dell'università e degli enti di ricerca sia pubblici che privati, che hanno nel dottorato il loro comparto staminale e che a lungo termine si potrebbero trovare a corto di ricercatori e docenti. Di tutta la faccenda, questo è l'aspetto che troviamo più preoccupante: non tanto che la crisi danneggi l'alta formazione di per sé, quanto l'effetto che questi tagli avranno a lungo termine sul protrarsi della crisi eco-

nomica del Paese e più in generale sul suo sviluppo futuro.

Abbiamo chiesto ai colleghi dei dottorati italiani in informatica di rispondere a un breve questionario on line: quanti sono i posti nel loro dottorato oggi, quanti sono stati in passato, da dove arrivano i soldi per le borse di studio, se ci sono e quanti sono gli studenti stranieri, che cosa prevede la partecipazione al dottorato. Obiettivo dell'indagine era quello di scattare una fotografia di gruppo dei dottorati in informatica nel nostro Paese oggi e avere un'immagine d'insieme di quello che sta succedendo. I risultati del questionario hanno confermato i nostri timori: le scuole di informatica in Italia non se la passano affatto bene: rispetto a qualche anno fa si stanno ritirando, hanno sempre meno studenti, sempre meno borse di studio. Con questo articolo vogliamo raccontare questi risultati e lanciare un grido d'allarme a tutto il Paese: se si continua di questo passo, avremo sempre meno professionalità capaci di portare nuova linfa all'impresa italiana e sempre meno speranze di costruire un Paese capace di innovare e di stare al passo coi tempi, quando i tempi richiederanno, ancor più di adesso, che a trainare il progresso siano le scienze e tra queste l'informatica.

2. I DOTTORATI

Il dottorato, come il suo equivalente anglosassone, il Ph.D. (acronimo di *Philosophiae Doctor*), è uno dei tre percorsi di formazione post laurea proposti dall'università, insieme alle scuole di specializzazione e ai corsi di perfezionamento. Nato in Italia all'inizio degli anni ottanta con la legge 382/1980 per adeguarsi ai modelli già presenti in altri paesi europei, in Nord America e in molti altri paesi del mondo, fu istituito soprattutto come percorso di formazione di ricercatori e professori universitari e successivamente anche di esperti che stimolassero e gestissero l'innovazione industriale. Infatti, il vero obiettivo dei dottorati non è tanto quello di preparare professionalità aderenti alle tradizioni accademiche di provenienza, quanto quello di stimolare lo sviluppo di una personalità scientifica indipendente e innovativa [1].

In genere i corsi di dottorato durano tre anni: vi si accede con una laurea magistrale (o specialistica, o con una laurea del vecchio ordina-

mento) attraverso un concorso di selezione e si conclude con la presentazione di un lavoro di tesi, che deve essere originale e rilevante all'interno della comunità scientifica di riferimento. Lo studente di dottorato (o dottorando) ha perciò un'età compresa generalmente tra i 25 e i 35 anni, a seconda della complessità del suo percorso scolastico.

Nelle facoltà scientifiche e tecnologiche, il lavoro di un dottorando è a tempo pieno, di conseguenza la disponibilità di borse di studio è indispensabile per la sua sopravvivenza e quindi della sua attività di ricerca, e in ultima analisi anche per quelle dei dottorati stessi. In media, queste borse di studio garantiscono mille euro al mese.

Nel corso dei tre anni di dottorato, gli studenti seguono corsi e seminari, che in certe sedi sono tenuti anche da docenti di altre università o di altri Paesi. Svolgono attività di ricerca, non solo finalizzata alla realizzazione del lavoro di tesi, presentano i risultati ottenuti in congressi e pubblicano articoli sulle riviste scientifiche. A volte sono invitati a tenere essi stessi lezioni ed esercitazioni agli studenti dei corsi di laurea. Spesso passano un certo periodo all'estero, in una sede universitaria straniera, dove possono scambiare esperienze e idee con altri ricercatori.

Nell'anno 2009/2010 (l'ultimo per il quale siano disponibili questi dati) le scuole di dottorato in Italia erano 1886, molte meno di quelle dell'anno precedente (2145) con una tendenza calante avviata a partire dal 2005/2006, quando erano 2249. Questa contrazione potrebbe non essere necessariamente negativa, almeno nella parte dovuta a un riordino nell'offerta formativa che negli ultimi dieci anni si era frammentata in maniera eccessiva.

Come evidenzieremo meglio in seguito, va detto che nel 2009 si è anche cominciata a rilevare una pesante riduzione del numero delle borse di studio a livello nazionale e per tutte le aree disciplinari, conseguente alla riduzione dei finanziamenti pubblici, e quindi degli iscritti ai dottorati. Il maggior numero di dottorati si trova oggi negli atenei del centro Italia (558 per 3787 posti, cioè 6,8 posti per corso), seguiti da quelli del nord-ovest (391 per 3239), dove peraltro il numero di posti destinati a ogni corso è di 8,3, dato massimo in Italia (i dottorati, cioè, sono più grandi). In totale, gli



iscritti al primo anno dei dottorati italiani sono stati 12006, a fronte dei 12949 dell'anno prima e dei 13147 del 2006 / 2007, che è stato l'anno di picco. Tra i nuovi iscritti, 3665 sono stati quelli ai corsi di scienze della vita, 2011 alle scienze di base, 2353 a ingegneria; gli altri si dividono tra i corsi in scienze umane e quelli di area giuridico-economico-sociale.

Ma chi paga per i dottorati? In prima istanza il MIUR, il Ministero dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica, che nel 2009 (ultimo anno per cui sono disponibili i dati del CN-SVU, Comitato nazionale per la valutazione del sistema universitario, organo istituzionale del Ministero dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica) ha garantito il 45,7% della copertura finanziaria totale [2]. Gli altri grandi finanziatori dei dottorati sono gli atenei, che coi propri fondi hanno coperto il 31,4% delle necessità. Complessivamente i fondi esterni ammontavano al 19,6%, suddivisi tra enti pubblici (il 5,6% del totale), enti di ricerca (4,2%) e privati (9,8%). È interessante notare che, nella distribuzione dei fondi per provenienza, si rilevano differenze sensibili tra nord e sud del Paese, perché a nord, e soprattutto nel nord ovest, le quote fornite dai privati sono più alte e, di converso, sono leggermente inferiori i finanziamenti ministeriali.

In totale, nel 2009 i dottorati hanno ricevuto circa 300 milioni di euro, così ripartiti: i fondi MIUR per i dottorati sono stati 135756,8 K€, con altri 3712,3 K€ a carico di progetti di ricerca MIUR. I fondi di ateneo sono stati 88611,7 K€ e quelli da atenei consorziati 4727 K€. I fondi esterni sono stati 58255 K€ ripartiti tra enti di ricerca (12520,9), enti pubblici (16586,3) ed enti privati (29147,8).

3. IL CALO DEI FINANZIAMENTI

Ed ecco la più grave criticità: i finanziamenti. Come è stato evidenziato dai rapporti del CNVSU, il calo dei finanziamenti e degli iscritti ai dottorati è cominciato nel 2009: rispetto al 2008, infatti, le borse di studio sono state il 9,3% di meno e gli iscritti il 7,3% di meno. Questo calo, tra l'altro, segnerebbe un drastico cambio di passo rispetto a quello che si è sempre osservato, perché gli iscritti ai corsi di dottorato sono sempre andati ad aumentare negli anni. Il dato attuale riporterebbe

così il nostro Paese a una situazione analoga a quella del 2003, quando i nuovi iscritti erano stati 12.079.

Non solo: l'ADI (Associazione dottorandi e dottori di ricerca italiani) all'inizio dell'anno accademico 2010/2011 ha presentato in una conferenza stampa i risultati di una rilevazione specifica sui dottorati italiani [3] con cui ha denunciato l'ulteriore peggioramento della situazione numerica dei posti con borsa di studio: "il numero totale di borse in tre anni (*in un campione di atenei preso in considerazione, ndr*) passa da 5194 a 3623 (stiamo quindi parlando di circa 1500 borse in meno solo negli atenei da noi considerati), con una riduzione del 30,24%". I dati ADI hanno anche rilevato come i tagli siano stati distribuiti in modo non uniforme sul territorio nazionale: alla Sapienza di Roma, per esempio, nei tre anni in esame si è passati da 585 borse di studio a 554 (cioè il 5,3% in meno), mentre a Catania si è passati da 251 a 64, con una riduzione del 74,5%. Nel mezzo, atenei più fortunati (come Trento e Padova) e meno fortunati (Firenze, Bari, Ancona e Pisa).

Peggio, denuncia l'ADI. Il ddl Gelmini, principale imputato della situazione, non abolisce la figura del *dottorando senza borsa* come era stato richiesto dai dottorandi stessi, ma apre alla possibilità di istituire dottorati del tutto privi di borse di studio, cosa che lascia supporre che l'andamento tendenziale dei finanziamenti ai dottorati nei prossimi anni potrebbe diventare addirittura peggiore dell'attuale. Già oggi, due studenti di dottorato su cinque non ricevono alcun sostegno economico e negli atenei del centro Italia gli studenti senza borsa sono in media uno su due. Un dato in costante peggioramento: nel 2009 gli studenti senza borsa erano il 39,3% mentre l'anno precedente erano il 34,4%. E se non si può prevedere un miglioramento della situazione sul fronte delle risorse pubbliche non si può nemmeno pensare che arrivino grandi contributi da parte dei privati, che in Italia sono soprattutto aziende di dimensione medio-piccola e oggi sono più colpite dalla generale crisi economica in corso.

Il quadro italiano dei dottorati è in sintonia con quanto raccontato nel rapporto *Education at a Glance 2010* dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (Oecd) [4], che racconta, sebbene con dati riferibili al massimo al 2008, come l'Italia stia investendo

meno degli altri Paesi europei in educazione, università e ricerca. La spesa per studente universitario, nel nostro Paese, ammonta a 5447 dollari all'anno, mentre la media nei Paesi dell'Unione Europea a 19 è di 8013: la spesa per l'università rispetto al Pil qui è pari allo 0,9%, ben lontano dai dati statunitensi (3,1%), giapponesi (1,5%) e europei medi (1,3%). Di conseguenza, in Italia abbiamo solo il 14% di laureati nella popolazione tra i 25 e i 64 anni, mentre la media europea è del 27%, e anche nelle fasce di età più giovanili (tra i 25 e i 34 anni), che hanno beneficiato della riforma universitaria, questa percentuale è del 20% contro il 34% del resto d'Europa [5].

Non ci ha perciò stupito il primo risultato della nostra indagine: anche i dottorati in informatica hanno subito in questi ultimi due anni una drastica riduzione dei finanziamenti, in maniera coerente con i dati globali sulle scuole in Italia e con quelli riferiti più in generale all'università.

4. I NOSTRI RISULTATI: I POSTI NEI DOTTORATI DI INFORMATICA

Abbiamo inviato il questionario ai dottorati in informatica del nostro Paese, organizzati sia da docenti afferenti alle facoltà di scienze, sia da docenti di ingegneria, che per brevità chiameremo a volte impropriamente dottorati di Scienze e di Ingegneria. I due gruppi hanno impronta e obiettivi leggermente diversi nella formazione dei dottori di ricerca. Pur con gli ovvi errori dovuti alla necessaria superficialità della presentazione, sono più politecnici e attenti alla produzione i secondi, più concentrati sulla disciplina e sulle sue basi i primi; queste differenze sono comunque molto labili tanto che si vanno realizzando dottorati a comune, con un positivo arricchimento reciproco.

Al momento, in Italia ci sono circa 20 dottorati in Informatica di Scienze, 20 di Ingegneria Informatica e due dottorati misti. Abbiamo ottenuto 32 risposte, rappresentative dell'intera realtà, e su quelle abbiamo estrapolato alcuni dati chiari¹.

I primi dottorati in informatica italiani sono nati agli inizi anni ottanta e sono sorti a Pisa (riquadro 1), Bologna, Politecnico di Milano (riquadro 2 a p. 60), Napoli, Roma La Sapienza. Un secondo gruppo è nato a metà degli anni novanta, o poco dopo, e l'ultimo, l'IMT (Istituto statale di istruzione universitaria di alta formazione dottorale con ordinamento speciale inserito nel sistema universitario italiano), è nato nel 2006 a Lucca. Negli ultimi anni poi si è andata affermando un'organizzazione in "Scuole di dottorato", che raggruppano alcuni dottorati che hanno temi contigui. Così alcuni dottorati di Scienze si collocano in scuole assieme a quelli di Matematica o Fisica, mentre quelli di Ingegneria si sono associati a quelli in Telecomunicazioni o Elettronica.

L'età media degli studenti al primo anno di dottorato è abbastanza omogenea, tra i 25 e i 26 anni, con l'eccezione di quello barese della facoltà di scienze che segnala un'età media di 30 anni. I corsi di laurea di provenienza sono

RIQUADRO 1 - Pisa

La storia dell'informatica italiana è strettamente legata a quella di Pisa. Qui fu costruita la *Calcolatrice Elettronica Pisana* (CEP), il primo calcolatore italiano. Qui è nato il primo corso di laurea in Informatica presso la Facoltà di Scienze M.F.N., chiamato Scienze dell'Informazione. Qui, nel 1983, fu istituito il primo corso di dottorato di ricerca in informatica (inizialmente consorzio con Genova e Udine), confluito nel 2001 nella Scuola di dottorato nelle Scienze di base Galileo Galilei, considerata di eccellenza dal ministero e perciò dotata fino al 2006 di un finanziamento aggiuntivo.

L'organizzazione del dottorato prevede un immediato inserimento degli studenti nell'ambiente scientifico internazionale, favorendo la loro crescita scientifica e professionale. I supervisor, oltre che dal dipartimento di Informatica, provengono anche dagli altri istituti di ricerca pisani. Le tesi sono valutate da esperti internazionali e la loro qualità scientifica è testimoniata da alcuni premi vinti.

A partire dall'istituzione del dottorato, il titolo è stato rilasciato a più di 180 persone, di cui il 20% donne e l'8% stranieri, con una decina di abbandoni. La carriera di questi dottori di ricerca è stata seguita con attenzione negli anni. Salvo quattro, tutti lavorano del settore ICT, di cui oltre l'80% nell'università e in enti di ricerca pubblici, e il resto in industrie e ditte medio-piccole, e il 20% del totale lavora all'estero. Può valere la pena rilevare che il 20% dei dottori di ricerca occupa posizioni dirigenziali.

Salvo situazioni isolate, tutti lavorano dopo pochissime settimane, anche se la percentuale degli impieghi precari è lievitata negli ultimi anni fino al 15%. Inoltre, negli ultimi anni il rapporto degli impieghi accademia/industria è sceso al 60/40, cioè più dottori in informatica hanno trovato un posto di lavoro presso aziende e industrie e di pari passo hanno visto premiato economicamente il proprio titolo.

¹ Alcuni risultati del questionario sono discussi in forma qualitativa perché la realtà delle scuole di dottorato in informatica del nostro Paese è molto eterogenea e presenta differenze organizzative tali che un confronto sui dati numerici non offre un quadro significativo.

RIQUADRO 2 - Il dottorato nell'Area Informatica al Politecnico di Milano

Il primo Centro di calcoli numerici in Italia fu istituito al Politecnico di Milano nel 1954. Il centro era dotato di un CRC 102A, il primo calcolatore elettronico a programma registrato che abbia mai operato in Italia. A partire da quella data le ricerche nell'area informatica si sono sviluppate nell'ambito hardware, software e delle applicazioni, portando alla creazione di programmi di laurea in Ingegneria Informatica di primo e secondo livello e, dal 1984, del corso di dottorato in Ingegneria Informatica e Automatica.

Dal 2001 è stata costituita al Politecnico di Milano la Scuola di Dottorato di Ricerca del Politecnico, all'interno della quale il dottorato in Ingegneria dell'Informazione comprende l'Area Informatica, alla quale attualmente partecipano circa 25 dottorandi in ingresso all'anno.

Dall'inizio del dottorato si sono addottorati circa 250 studenti.

Nel corso del dottorato viene svolta attività di ricerca a livello internazionale, collaborando con i gruppi di ricerca dell'Ateneo. Vi è anche un'attività di studio in corsi di livello dottorale nella fase iniziale del programma della scuola. Secondo una recente analisi, nell'85% dei casi i dottori in Ingegneria dell'Informazione hanno trovato lavoro entro due mesi dal conseguimento del titolo. Gli impieghi sono in ambito universitario in Italia o all'estero nel 55% dei casi, mentre altri sbocchi lavorativi sono nelle aziende private o in istituzioni di ricerca pubbliche o private.

RIQUADRO 3 - Il caso Trento

A Trento i membri del dipartimento di Ingegneria e Scienza dell'Informazione, che ospita il dottorato, afferiscono alle Facoltà di Scienze M.F.N. e di Ingegneria. Il dottorato è stato istituito nell'anno accademico 2001-2002 (XVII ciclo) e fin dall'inizio è stato caratterizzato da grande attenzione alle applicazioni e da una forte vocazione internazionale, sia per quanto riguarda i docenti sia per gli studenti, che provengono da vari Paesi stranieri. La realtà trentina è particolarmente felice per quanto riguarda la situazione delle risorse di cui dispongono sia l'ateneo sia i vari centri di ricerca, ottenute grazie a una stretta collaborazione con l'impresa e alla capacità di attrarre finanziamenti e all'efficace supporto della Provincia Autonoma.

Ciò permette al dottorato di bandire un congruo numero di borse, cui si aggiungono quelle coperte da progetti di ricerca, prevalentemente finanziati dall'Unione Europea, ma anche da varie fondazioni locali, come la Fondazione Bruno Kessler, o da centri di ricerca di aziende (Cogito, Microsoft Research-UniTn Centre for Computational and Systems Biology, GPI, Telecom, e altre). Approssimativamente, il 25% delle borse sono istituzionali (Miur e Ateneo), il 25% proviene da progetti svolti in Ateneo, mentre il rimanente è finanziato da centri di ricerca e aziende.

Dalla sua istituzione si sono addottorati circa 200 studenti, che per circa l'85% ha trovato lavoro in centri di ricerca italiani o esteri, mentre circa il 10% in aziende e industrie del settore.

	Numero al momento di picco	Numero attuale	Differenza
Borse di studio	193	128	-35%
Posti	326	217	-34%

TABELLA 1

I risultati della nostra indagine mostrano che il calo delle borse di studio e, conseguentemente, dei posti di dottorato in informatica è stato superiore a un terzo. Abbiamo considerato il momento del picco di ogni dottorato, che è stato per tutte circa due o tre anni fa: non abbiamo però considerato le eccezioni della scuola di Lucca (che è nuova) e di quella di Trento (che è in continua crescita)

perlopiù informatica e ingegneria, ma non mancano studenti con lauree diverse: matematica, biotecnologie, economia e commercio, giurisprudenza, lettere.

Il dato più interessante, però, riguarda il numero degli studenti iscritti e la sua variazione rispetto a pochi anni fa, quasi sempre in negativo.

In generale, si osserva che il numero degli studenti è molto variabile da dottorato a dottorato. Ci sono dottorati piccoli (al primo anno il Politecnico delle Marche ha un solo posto, l'Aquila, nella facoltà di scienze, ne ha tre) e altri grandi, tipicamente al nord e negli atenei con una lunga tradizione informatica (a Trento gli studenti al primo anno sono 63, a Verona facoltà di scienze sono 9 su 32, mentre al Politecnico di Milano, facoltà di ingegneria, sono 22 su 88). Ma la maggior parte ha una dimensione intermedia.

I compilatori del questionario segnalano una contrazione chiara nel numero degli iscritti. Qualche anno fa, infatti, i dottorati più grandi avevano un'ottantina di studenti iscritti ai tre anni ed erano Pisa, Padova e Milano Politecnico. Ad eccezione di Trento (riquadro 3), che è oggi al picco del numero degli studenti (nata nel 2001 con 22 studenti, oggi, a dieci anni di distanza, ne conta 63), nella maggior parte dei casi si è rilevata una drastica riduzione del numero dei posti. In molti casi si tratta di una diminuzione di circa il 50% e anche di più (con il caso particolare dell'Aquila che è passata da 9 studenti a 1, forse anche a causa del sisma del 2009). Emblematico il caso di Siena, che passa da sei dottorandi con borsa a zero dottorandi, o di Genova, che ha avuto dieci studenti al primo anno nel periodo di maggior ricchezza e che adesso ne ha quattro. Bisogna precisare che al momento in cui svolgevamo la nostra indagine, alcuni atenei non avevano ancora bandito i posti di dottorato a causa dei tagli, per cui questi numeri potrebbero essere cambiati nei mesi ed essere ancora peggiori (Tabella 1).

Tutto questo è di nuovo coerente con il rapporto CNVSU sui dottorati italiani in tutti i settori disciplinari, che mostra come, mentre il numero dei partecipanti al concorso di ammissione al primo anno di dottorato è sempre molto superiore al numero dei posti banditi (passando da un rapporto partecipanti/posti banditi del

193% dei medi atenei del sud Italia al 558% dei piccoli atenei del centro), si ha sempre un numero di iscritti inferiore al numero dei posti che sarebbero stati disponibili. Il rapporto iscritti/posti banditi medio è del 90,4%, come dire che ogni dieci posti banditi uno rimane libero. E questo, si ipotizza nel rapporto, per la scarsità di sostegni finanziari per il triennio, cioè per la scarsità di borse di studio. Va detto che questo dato non è omogeneo e negli atenei di media dimensione del nord-est del Paese la situazione è molto migliore, con un rapporto di quasi il 98%.

5. I NOSTRI RISULTATI: LE BORSE DI STUDIO

Ovviamente, il numero dei posti in un dottorato, e quindi il numero di studenti, è vincolato al numero di borse di studio. Va precisato a questo punto che a ogni borsa di studio (MIUR, d'ateneo o di enti pubblici e privati) generalmente corrispondono due posti di dottorato: per legge, infatti, si può bandire un numero di posti senza borsa al massimo pari a quello dei posti con borsa e quasi sempre si sceglie di seguire questa strada. Dopodiché, per gli studenti che entrano al dottorato ma non hanno la borsa di studio, si trovano quasi sempre fondi di varia provenienza che arrivano in un secondo momento, a concorso chiuso. Questo però significa che a un taglio delle borse ministeriali corrisponde sempre una grave perdita di studenti, a meno che l'Ateneo non supplisca aumentando il proprio finanziamento, cosa assai difficile vista la riduzione dei trasferimenti dal MIUR alle Università di cui parlavamo sopra.

I nostri dati mostrano che, nel campione dei dottorati in informatica che ha risposto al nostro questionario, tutti gli studenti hanno sempre ricevuto una qualche forma di sostegno economico, cioè praticamente non esiste la figura del dottorando senza borsa (ci sono rarissime eccezioni per insegnanti di scuola media superiore iscritti al dottorato o per situazioni analoghe). Per quanto riguarda la provenienza di questi fondi, le risposte al questionario mostrano che la situazione è assai complessa: accanto alle borse del MIUR, dell'ateneo o di altri enti come il CNR, ci sono spesso finanziamenti da parte di enti privati, fondazioni e aziende. Del

resto, il dottorato garantisce le competenze tecnico-specialistiche più mirate alla ricerca, che possono instradare a posti altamente qualificati nell'industria, e non stupisce che l'industria possa decidere di investire.

Ma anche qui si segnala una forte contrazione del numero delle borse, omogenea con quella descritta su base nazionale. Ad eccezione di Trento e delle scuole speciali, IMT e SSSUP "S. Anna" di Pisa (Scuola Superiore di Studi Universitari e di Perfezionamento), in tutte le sedi il numero di borse di studio di qualsiasi natura si è ridotto dal 2009 a oggi. Di contro, si segnala che gli abbandoni nel corso del dottorato sono in genere molto rari: in quelli più grandi, le rinunce al posto possono essere una all'anno o una ogni due anni. In totale, si contano sulla punta delle dita. E, come segnalato in molte risposte al nostro questionario, riguardano quasi sempre studenti che non hanno avuto la borsa di studio. Questo a sottolineare nuovamente quanto sia importante per gli studenti di dottorato ricevere un sostegno finanziario.

6. CHE COSA FANNO I NOSTRI STUDENTI

Gli studenti di dottorato seguono corsi avanzati, disegnati specificatamente per il loro percorso formativo e tenuti da professori italiani ma anche stranieri, e seminari sui temi più attuali della ricerca informatica. Seguono inoltre le scuole nazionali e internazionali dedicate ai dottorandi (vedi riquadro). Alla fine del suo percorso, il dottorando discute pubblicamente la propria tesi e ne difende i risultati di fronte a una commissione di esperti.

Il nostro questionario ha mostrato che in tutti i casi, anche se con frequenza diversa da sede a sede, gli studenti sono invitati a seguire corsi tenuti da docenti stranieri. Alcune sedi (entrambi i dottorati pisani, La Sapienza di Roma) riescono a farlo più di altre (Torino, Bari, Catania, Camerino), ma tutte dichiarano di avere almeno un corso all'anno tenuto da un *visiting professor* straniero. In alcuni casi, inoltre, i corsi vengono tenuti obbligatoriamente in lingua inglese e anche quando quest'obbligo non c'è molte lezioni sono comunque tenute in questa lingua, vista la provenienza di studenti e docenti. Non solo: tutti i dottorati spingono gli studenti a svolgere un periodo all'estero, di

durata variabile, generalmente intorno ai sei mesi. C'è chi passa un anno e mezzo in un ateneo straniero e chi vi si ferma solo un mese o due (riquadro 4).

Il respiro internazionale dei dottorati in informatica emerge anche dalle commissioni chiamate a valutare il lavoro di tesi degli studenti, che nella maggior parte dei casi sono formate da membri esterni e quasi sempre comprendono almeno un membro straniero; a volte le commissioni si avvalgono di ulteriori esperti, che esprimono un giudizio puntuale sulla dissertazione, sui risultati presentati e sull'attività scientifica complessiva del candidato.

Nel corso dei tre anni di studi, gli studenti pubblicano su riviste scientifiche nazionali e soprattutto internazionali, partecipano a congressi e a convegni importanti: hanno modo così di sottoporre i loro lavori al vaglio della comunità scientifica mondiale e di confrontarsi con gli altri studiosi del settore. Il numero di pubblica-

zioni o di partecipazioni ai congressi internazionali per studenti è variabile, dalle due ai sette od otto, a seconda della sede, del tipo di rivista considerata e soprattutto dell'ambito di ricerca. Comunque tutti i dottorati pongono molta attenzione a questo aspetto e segnalano con precisione questo come un punto qualificante della formazione offerta. A volte gli studenti brevettano i loro progetti: si tratta di situazioni abbastanza straordinarie, ma sono in crescita negli ultimi anni. Si segnala il caso dell'Aquila, dove due team composti da dottorandi hanno vinto nel 2011 un premio per i migliori progetti di *spin-off*.

L'89% degli studenti fa didattica. Spesso si tratta di esercitazioni rivolte agli studenti del corso di laurea, di attività di supporto nei laboratori, di seminari, di tutoraggi per gli studenti più giovani o di assistenza per il lavoro delle tesi di laurea. In genere si tratta di impegni inferiori alle trenta ore all'anno.

In tutti i dottorati che hanno risposto al nostro questionario, gli studenti partecipano a progetti di ricerca sia industriali sia (soprattutto) accademici, a volte nazionali e a volte internazionali, a seconda delle specifiche convenzioni.

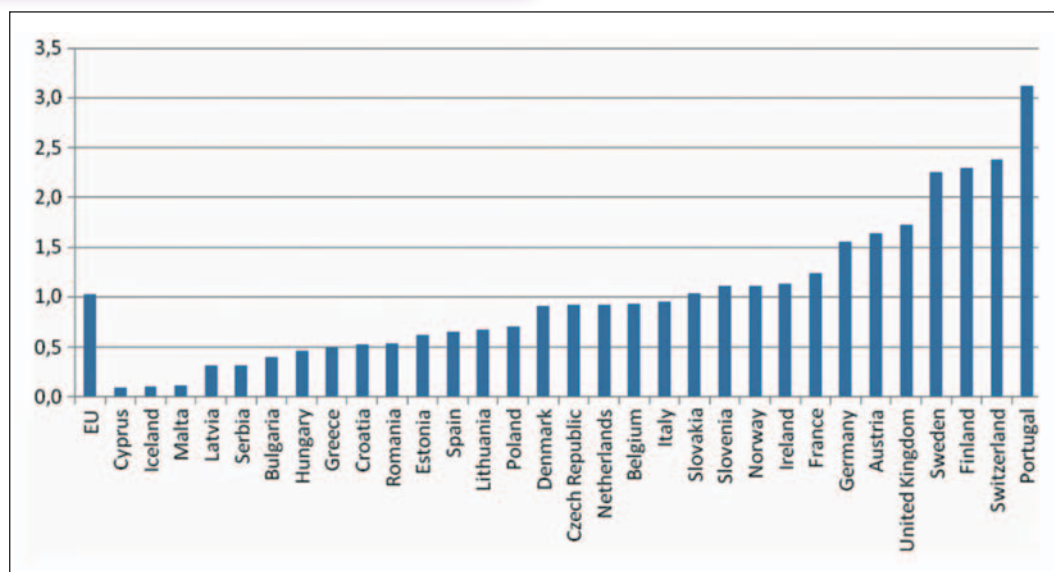
RIQUADRO 4 - Le scuole nazionali di dottorato

Le comunità dei professori di informatica di Scienze (GRIN, *Gruppo di informatica*) e di Ingegneria (GII, *Gruppo di Ingegneria Informatica*) organizzano annualmente due scuole nazionali di dottorato, cui partecipano studenti da tutta Italia e dall'estero. Si tratta della scuola BISS (*Bertinoro International Spring School for Graduate Studies in Computer Science*, <http://www.bici.eu/biss2011/>) attiva dal 1995, e della PhD school GII (<http://gii.consortio-cini.it/?q=node/103>). Il loro scopo è duplice: presentare agli studenti le aree di ricerca più importanti e quelle emergenti, e favorire la conoscenza e la collaborazione tra giovani ricercatori europei. I docenti di queste scuole provengono da università e centri di ricerca di tutto il mondo, e ciò non sarebbe possibile senza il generoso aiuto del CINI (*Consortio Interuniversitario Nazionale Per l'Informatica*, <http://www.consortio-cini.it/>).

7. CHE COSA SUCCEDDE NEGLI ALTRI PAESI EUROPEI

Il titolo di studio in dottore di ricerca, negli altri Paesi, esiste da più tempo rispetto al nostro. E dove la tradizione è più solida, anche i numeri sono più alti (Figura 1). Per esempio, in Germa-

FIGURA 1
Numero di dottorati di ricerca ogni 1.000 25-34enni in Europa. Dati Eurostat (2007)



nia e in Francia, senza parlare della Gran Bretagna o dei Paesi Bassi. Facciamo solo qualche esempio.

A Saarbrücken, tra università e Max Planck Institute, ci sono più di trecento dottorandi e a Monaco, nella sola Technische Universität, il numero è ancora maggiore. Nell'area del Plateau de Saclay, la cosiddetta Silicon Valley europea, a sud di Parigi, dove si trovano numerose università e centri di ricerca (tra cui École Polytechnique, École Normale Supérieure a Cachan, Université de Paris Sud Orsay, nei cui laboratori lavorano anche ricercatori del CNRS, il Centre national de la recherche scientifique, e dell'INRIA, l'*Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique*) i dottorandi in informatica sono più di duecento.

Inoltre, nei Paesi del resto del mondo l'investimento nei dottorati è sempre maggiore rispetto a quello che si è avuto in Italia negli ultimi anni.

Un esempio chiarissimo è dato dalla Svezia. Un confronto tra il dottorato italiano e quello svedese, elaborato all'Ufficio Scientifico dell'Ambasciata d'Italia in Svezia in un recente rapporto [6], è eloquente, quasi impietoso, per citare le parole del rapporto stesso. In generale, si evidenzia un grande divario in investimenti e capacità di formazione. In Svezia, l'investimento in ricerca e sviluppo corrisponde al 4% del Pil, il più alto dei Paesi Ocse, ed è in costante aumento. Parallelamente, in Svezia i dottori di ricerca per abitante sono 2,3 ogni 1000 persone tra i 25 e i 34 anni e questo è uno dei dati più alti in Europa. In Italia, invece, in ricerca e sviluppo si investe poco più dell'1% del Pil e questo dato cresce molto lentamente: i dottori di ricerca sono uno ogni mille abitanti nella fascia di età 25-34.

Ci sono poi differenze importanti anche nell'organizzazione. In Svezia i corsi durano almeno quattro anni (in Italia tre) e le Università possono ammettere soltanto studenti con una copertura economica, come dire che non esistono i famigerati dottorandi senza borsa. Inoltre l'entità della borsa è significativamente diversa: 2500 € al mese in media per i dottorandi svedesi (con la possibilità di scatti di anzianità e con una remunerazione a parte per la partecipazione alle attività del dipartimento) contro i 1000 al mese di media di un italiano

senza supplementi o premi di produzione. Si può dire che il dottorando in Svezia è considerato un dipendente dall'università, con un vero e proprio posto di lavoro, mentre in Italia è uno studente anziano, al terzo livello della formazione, ma sempre uno studente, con poca autonomia e pochi soldi in tasca.

Conseguenza di tutto questo è anche la scarsa richiesta da parte degli studenti stranieri di entrare nei nostri dottorati. Il nostro Paese, infatti, attrae pochi studenti stranieri, nei corsi di laurea così come nei dottorati. Su 12006 iscritti ai nuovi cicli nell'anno accademico 2009/2010, infatti, solo 963 avevano conseguito la laurea in un Paese diverso dall'Italia. Del resto, il nostro Paese si caratterizza anche per una scarsa mobilità tra atenei [7]: solo il 37,3% degli iscritti alle prove di ammissione al dottorato di un ateneo si è laureato in un'Università diversa. E questi hanno minore probabilità di vincere il posto di dottorato. Il maggior grado di apertura si trova negli atenei di grandi dimensioni del nord-est e in quelli piccoli del centro, dove questa percentuale sale al 50%. Gli studenti provenienti da altri atenei, inoltre, hanno minori probabilità di vincere uno dei posti con borsa di studio: la differenza, a livello nazionale, tra gli studenti interni con borsa di studio e studenti esterni con borsa di studio è del 5,3%, con punte del 10%.

Ma se il nostro Paese si caratterizza per il provincialismo dell'università e per la scarsa mobilità, il nostro questionario ha mostrato che le scuole di dottorato in informatica, in questo, sono diverse. Come i loro studenti passano un periodo all'estero, così studenti stranieri arrivano. E arrivano anche al primo anno, attratti dalla buona qualità della didattica e della ricerca delle università italiane. Quasi tutti i dottorati (27 su 32) indicano la presenza di studenti stranieri, provenienti da tutto il mondo. Anche per loro esistono borse di studio di varia provenienza, spesso su specifici progetti finanziati da enti pubblici italiani o dei paesi d'origine.

Tuttavia si può notare dai dati riportati nella tabella 2 che i dottorandi stranieri provengono soprattutto da paesi emergenti, anche perché è difficile competere con le grandi università nord-americane, inglesi, tedesche o francesi, favorite anche dall'uso predominante della lingua inglese nella nostra disciplina. Va anche

detto che quasi sempre la preparazione dei dottorandi con laurea italiana è molto superiore a quella dei migliori dottorandi stranieri che selezioniamo, come è stato riferito da alcune sedi con più esperienza.

8. L'OUTPUT DEI DOTTORATI

L'inserimento professionale di tutti i dottori di ricerca italiani è stato valutato per la prima volta tra dicembre 2009 e febbraio 2010 dall'Istat (Figura 2). La rilevazione ha riguardato chi aveva conseguito il titolo nel 2004 e chi lo aveva conseguito nel 2006, quindi a tre e a cinque anni, e ha coinvolto tutti gli interessati, cioè 18568 persone. A tre anni dal conseguimento del titolo, il 92,8% dei dottori di ricerca lavora,

il 5,4% è in cerca di occupazione; a cinque anni la situazione appare ancora migliore, con, rispettivamente, il 94,2% e il 4,4%. Sia nella coorte a tre anni sia in quella a cinque anni dal titolo, il 29,7% e il 24,6% dichiara di aver cominciato a lavorare ancora prima della fine del ciclo di studi. I numeri sono complessivamente incoraggianti, dunque, e dimostrano come il titolo di dottore di ricerca garantisca quasi sempre un ingresso felice nel mondo del lavoro. Bisogna però rilevare che ci sono importanti differenze a seconda degli ambiti disciplinari e che, per ingegneri e informatici, la situazione è ancora migliore: quasi tutti i dottorati a tre anni dal titolo lavorano (più del 97%), a differenza di quel che succede tra gli storici, i filosofi, gli scienziati politici e sociali. Bisogna anche notare che in molti casi si tratta di posizioni a termine (nel 48% dei casi tra chi ha conseguito il titolo cinque anni prima, nel 62% per chi lo ha conseguito tre anni prima), di posti con assegno di ricerca o di lavoratori a Partita IVA. Non solo: chi ha conseguito un titolo di ricerca si dichiara molto o abbastanza soddisfatto del proprio lavoro, soprattutto per le mansioni svolte, il grado di autonomia e la possibilità di arricchimento professionale e culturale.

Analogamente, l'iniziativa interuniversitaria Stella 2010² (Statistiche sul tema laureati & lavoro in archivio on-line) che aveva svolto un'indagine sui dottori di ricerca delle coorti 2007 – 2008 a un anno dal conseguimento del titolo

Area geografica di provenienza	Numero di dottorati che lo segnalano
EU	20 (6 Paesi)
Europa non-EU	14 (14 Paesi)
Nord America	1 (solo USA)
Centro-Sud America	7 (7 Paesi)
Asia	32 (13 Paesi)
Africa	11 (6 Paesi)

TABELLA 2
Le aree geografiche (e il numero dei Paesi) di provenienza degli studenti stranieri che frequentano i dottorati in informatica nel nostro Paese

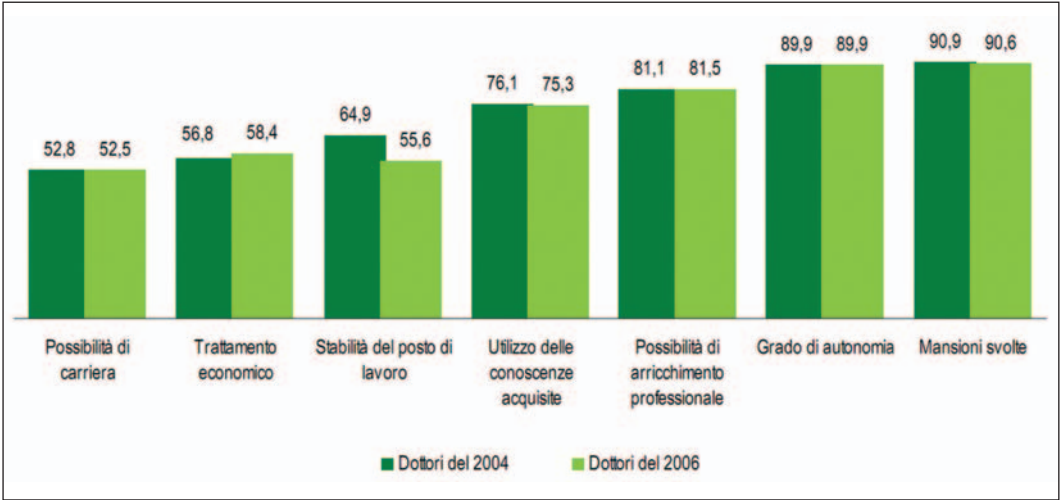


FIGURA 2
I dati Istat sul grado di soddisfazione dei dottorandi [8]

² Laureati STELLA Dottori di ricerca 2007-2008 a un anno dal conseguimento del titolo, referenti di progetto Nello Scarabottolo e Maria Francesca Romano.

in sette atenei italiani, aveva rilevato un alto grado di soddisfazione per il percorso formativo scelto e soprattutto per la classe di scienze, di cui informatica fa parte.

Dai dati Istat emerge però che i dottorati sono meno soddisfatti del trattamento economico che ricevono e delle possibilità di carriera che hanno. Del resto, lo stipendio medio di chi ha conseguito un dottorato di ricerca non è così alto, sebbene appaia in linea con quelli degli altri professionisti coetanei dei soggetti intervistati. A tre anni dal titolo, i dottori di ricerca che lavorano a tempo pieno guadagnano in media 1.687 € netti al mese, a cinque anni 1.759 €. Dettaglio non irrilevante: il titolo di dottore di ricerca in informatica appare, in questa indagine Istat, come l'unico per cui non si rilevano differenze di genere nella retribuzione. Maschi e femmine, cioè, guadagnano lo stesso, ed è l'unico titolo di studio per cui è così.

L'insoddisfazione per le prospettive economiche e di carriera è forse una delle principali ragioni della cosiddetta fuga dei cervelli, che tra i dottori di ricerca è particolarmente preoccupante. Se nel complesso, esaminando tutte le aree disciplinari, sembra interessare una quota non particolarmente pesante della popolazione (il 7%), va detto che nelle aree scientifiche si tratta di un fenomeno rilevante, anche perché alla fuga dei cervelli italiani non corrisponde un analogo flusso di cervelli stranieri in entrata nel nostro Paese. Questa situazione è andata aggravandosi negli ultimi anni, perché l'esodo comincia subito dopo la laurea magistrale, soprattutto tra gli informatici. Anche se il campione di riferimento è limitato, si scopre che alcuni di questi vengono assunti da imprese americane che li iscrivono poi a corsi di dottorato in quel Paese, a riprova di quanto detto sopra sulla qualità dei laureati italiani.

Se consideriamo che la formazione di un dottore di ricerca, dal primo giorno di prima elementare al conseguimento del titolo universitario più alto, costa alla collettività circa mezzo milione di euro, è facile capire quanto sia dannosa, anche economicamente, l'emigrazione di persone con un così alto livello di preparazione e professionalità che qui non trovano spazio per il proprio lavoro e quanto invece sarebbe conveniente attirarne di nuovi, provenienti da altri Paesi.

Va detto anche che il respiro internazionale dei dottorati di area scientifica incoraggia lo scam-

bio con l'estero, tanto che un dottorato su tre in area informatica ha passato almeno tre mesi in un Paese straniero dopo il conseguimento del titolo. In particolare, i dottori in informatica prediligono la Francia e, in seconda battuta, Stati Uniti, Germania e Regno Unito. Inoltre, il 20% dei dottori di ricerca in informatica hanno dichiarato di avere intenzione di lasciare l'Italia nel corso dei dodici mesi successivi all'intervista, e questo dato è il più alto tra tutte le classi disciplinari. Se si tratta di una buona notizia, che descrive il successo di un'educazione improntata all'internazionalismo, può essere anche letta come un dato preoccupante: i nostri dottori di ricerca, che abbiamo formato con scrupolo e soprattutto per cui abbiamo investito un bel po' di risorse, potrebbero lasciarsi per andare a produrre altrove.

I nostri risultati purtroppo confermano questa situazione. La maggior parte dei dottori di ricerca resta in Italia, ma la percentuale di chi emigra all'estero è più alta di quella che si osserva in generale per i dottori di tutte le classi. Ad eccezione ancora di Trento e della scuola Sant'Anna di Pisa, che hanno molti studenti stranieri (i quali, verosimilmente, tornano nei paesi di origine oppure continuano a viaggiare per studio e per lavoro), il nostro dato parla di un buon 10% di cervelli in fuga. Anche qui c'è una certa variabilità tra dottorato e dottorato.

I nostri dottori di ricerca lavorano per di più in università o enti di ricerca. Ma bisogna operare una distinzione. Chi ha seguito un dottorato afferente alla facoltà di scienze rimane più spesso a lavorare in ambito accademico (con più dell'80% di casi sul totale a Pisa e a Torino). I dottori di ricerca usciti da un dottorato della facoltà di ingegneria, invece, hanno molte possibilità di trovare impiego nel privato: in questo caso, il record spetta alla scuola di Napoli, facoltà di ingegneria appunto, con il 70% dei dottori impiegati nell'industria. Altri (sempre con una sensibile preponderanza degli ingegneri informatici rispetto agli informatici di scienza) aprono *spin-off* o si mettono in proprio: questa tendenza è abbastanza nuova e riguarda gli ultimi anni ed è particolarmente evidente in alcuni dottorati, come in quello di ingegneria dell'Università della Calabria (dove i dottori impegnati in *spin-off* sono il 30% del totale).

In questo, i nostri risultati mostrano che il dottorato di ricerca in informatica, a differenza de-

gli altri dottorati, ha saputo indirizzarsi anche al privato. È stato notato che il nostro tessuto industriale è costituito soprattutto da imprese medio-piccole, strutturalmente meno capaci di investire in ricerca, e che in Italia abbiamo ancora l'abitudine di formare le professionalità all'interno delle aziende, piuttosto che puntare su quelle uscite dall'università. Ma per il settore informatico la diffidenza da parte dei privati sembra essere in fase calante, tanto che, appunto, ci sono dottorati che formano soprattutto professionisti che vengono presto assorbiti dall'industria.

9. CONCLUSIONI

Le scuole di dottorato sono necessarie non solo per rinnovare l'accademia e per formare persone votate alla ricerca pubblica, ma anche per pensare a un'innovazione e a uno sviluppo di tutta l'economia. Il confronto con quello che accade negli altri paesi europei è illuminante: laddove il Paese è in crescita, il numero dei dottori di ricerca è alto, confermando che questi sono uno dei motori trainanti del progresso di una nazione. In Italia sembra però che a questo motore stiamo rinunciando. E, in particolare, sebbene improntata da sempre all'eccellenza, la situazione dei dottorati in informatica non è confortante.

In generale si assiste a una contrazione importante dei finanziamenti e conseguentemente delle borse di studio, dunque anche degli studenti iscritti. Invece di continuare a crescere, come ha fatto fino al 2009, le iscrizioni alle scuole di dottorato in informatica sono oggi in forte calo. Con l'eccezione fortunata di Trento, che vive in una situazione di benessere unica favorita dalla presenza della Provincia Autonoma e delle scuole speciali IMT e Sant'Anna che godono di finanziamenti ad hoc, tutti i dottorati italiani stanno soffrendo del periodo di crisi e della recessione economica che investe il Paese. Ma per l'informatica, settore chiave oggi per lo sviluppo economico di qualsiasi Paese moderno, il grido d'allarme è particolarmente forte: pensando di risparmiare, stiamo segando il ramo su cui siamo seduti. E questa situazione non sarà sostenibile tanto a lungo, a meno che non decidiamo consapevolmente che il futuro della nostra società non prevedrà la ricerca pubblica né l'innovazione e lo sviluppo di un mer-

cato tecnologico e scientifico simile a quello degli altri paesi occidentali. L'impressione, però, è che non ci sia nessun pensiero strategico dietro a queste scelte economiche, ma soltanto una mancata riflessione sull'importanza dell'alta formazione scientifica e un'inerzia sostanziale di fronte all'attuale crisi economica.

Eppure basta fare due calcoli per capire quanto sia sensato un investimento nei dottori di ricerca: uno studio dello US Government Accounting Office ha per esempio valutato, per il settore ricerca e sviluppo, un indice di redditività del capitale investito intorno al 20-30% all'anno, naturalmente non nel giro di pochi mesi. Oltretutto, bisogna considerare che, rispetto al costo dell'intera formazione di un dottore di ricerca (quel famoso mezzo milione di euro dall'ingresso alla scuola elementare alla discussione della tesi di dottorato), il costo di uno studente di dottorato non è molto elevato: sono circa 50000 € di borse di studio, oneri sociali compresi, più i costi dei corsi, dei laboratori, dei periodi all'estero per un totale di poco più di 70000 € per l'intero triennio. Soprattutto non lo è se si pensa al lavoro che lo studente svolge gomito a gomito con i ricercatori universitari e a quello che svolgerà quando si renderà indipendente.

Come è stato notato da diversi osservatori, gli investimenti nella ricerca fruttano di più se sono indirizzati e gestiti con lungimiranza. Per questo ci vuole un impegno indirizzato all'innovazione e al rafforzamento di tutte le fasi che la compongono, dottorati compresi. In quest'ottica, ignari dei tagli che si sarebbero abbattuti sulle università, in questi anni si stava sviluppando un ripensamento sul dottorato di ricerca in informatica, che sarebbe stato foriero di una rinnovata collaborazione tra università e mercato. Questo ripensamento rischia oggi di essere vanificato dal prosciugamento delle risorse economiche destinate alla formazione.

Non è facile riassumere le varie proposte che furono fatte, né ha forse molto senso in un momento in cui l'intera università è sotto la pressione di cambiamenti non sempre condivisi o ben compresi. Vogliamo però ribadire la necessità di investire nell'alta formazione. Bisogna certo razionalizzare l'uso delle risorse, ma è assolutamente evidente che il finanziamento del MIUR ai dottorati è del tutto insufficiente, come il confronto con l'estero ci dice impietosa-

mente: nella sola Monaco di Baviera ci sono molti più dottorandi in informatica di quanti non vi siano in tutta Italia. Né gli enti di ricerca pubblici possono supplire, e nemmeno l'Unione Europea, che pure ha recentemente lanciato programmi per sostenere i dottorati. È necessario favorire, anche semplificando norme e procedure, un diretto impegno delle aziende del settore nel dottorato, per aiutarle a innovare e per facilitare il trasferimento tecnologico. Sostenere finanziariamente e organizzativamente i dottorati tuttavia non basta, se non si offrono sbocchi adeguati ai dottori di ricerca, sia nella ricerca pubblica che nei comparti di ricerca e sviluppo privati. L'esempio degli Stati Uniti in questo è eclatante: i migliori studenti vengono accolti a braccia aperte e dopo il dottorato hanno occasioni di lavoro straordinariamente soddisfacenti, sia dal punto di vista professionale che remunerativo. Bisogna quindi offrire prospettive di lavoro adeguate al livello che i dottori di ricerca hanno raggiunto, alleviare la piaga del precariato, incentivare la loro assunzione nelle aziende, magari attraverso esenzioni fiscali o facilitazioni di altro genere, favorire ulteriormente la creazione *spin-off*, semplificando e aiutandole negli adempimenti burocratici e sostenendole anche finanziariamente al momento della loro formazione. A venticinque anni da quel primo sguardo lungimirante rivolto verso paesi che allora erano più avanzati del nostro, pur essendo riusciti a far sentire l'importanza dei dottorati di ricerca sul tessuto economico del Paese, ci troviamo dunque a dover spiegare di nuovo alla politica quanto sono necessari i nostri studenti, preparati ed entusiasti, che studiano e imparano a fare ricerca viaggiando per il mondo. E che con il loro lavoro sono la garanzia del futuro nostro, dell'università e di tutto il Paese.

Ringraziamenti

Vogliamo ringraziare innanzitutto il comitato editoriale di Mondo Digitale per averci incaricato di svolgere quest'indagine e il generoso supporto di AICA che ha coperto parte delle spese per effettuarla. Un calorosissimo grazie a tutti i direttori dei dottorati e/o delle scuole di dottorato che hanno dedicato parte del loro tempo prezioso a rispondere pazientemente alle nostre domande, e tra loro in particolare a Barbara Pernici, Paolo Ancilotti e Simone Martini.

Silvia Bencivelli e Pierpaolo Degano
Con la collaborazione di Francesca Zelli

Bibliografia

- [1] Processo di Bologna: http://www.processo-dibologna.it/index.php?id_cnt
- [2] CNVSU (Comitato nazionale per la valutazione del sistema universitario, organo istituzionale del Ministero dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica). Rapporto 2010 sullo Stato delle Università, pagina 125: <http://www.vsu.it/publi-doc/datistat/default.asp>
- [3] Conferenza stampa ADI: Università, dottorato e riforma: http://www.dottorato.it/index.php?option=com_content&task=view&id=340&Itemid=1
- [4] Rapporto: *Education at a Glance 2010- Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico* (OECD): <http://europa.eu/rapid/pressReleases-Action.do?reference=IP/10/1093&format=HTML&aged=o&language=EN&guiLanguage=en>
- [5] <http://www.scienzainrete.it/contenuto/articolo/universita-e-societa-qualche-cifra>
- [6] Embassy of Italy in Sweden: http://science.italian-embassy.se/scienza_in_svezia.html
- [7] CNVSU (Comitato nazionale per la valutazione del sistema universitario, organo istituzionale del Ministero dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica), Rapporto 2010 sullo Stato delle Università, pagina 125 - 128: <http://www.vsu.it/publi-doc/datistat/default.asp>
- [8] Le figure 1 e 2 provengono dal rapporto Istat: http://www.istat.it/salastampa/comunicati/non_calendario/20101214_00/testointegrale20101214.pdf

SILVIA BENCIVELLI è medico ma fa la giornalista scientifica. Dal 2005 lavora nella redazione di Radio3 Scienza, il quotidiano scientifico di Radio3 Rai, ed è inviata di Cosmo, programma di scienza in onda la domenica sera su Rai Tre. Scrive per diversi quotidiani e riviste tra cui *Le Scienze* e il manifesto, e collabora con scuole, agenzie di comunicazione e case editrici. Ha pubblicato due libri: *Perché ci piace la musica* (Sironi, 2007) e *Il sesso a test* (Alpha Test, 2008), entrambi tradotti in francese (Belin, 2009). E-mail: sbencivu@gmail.com

PIERPAOLO DEGANO è professore di Informatica all'Università di Pisa, e dirige il programma di dottorato in Informatica. Ha presieduto il GRIN (*Associazione Nazionale dei Professori di Informatica*) e coordina i presidenti dei Dottorati in Informatica italiani. Fa parte dei comitati guida di alcune associazioni scientifiche internazionali, è membro del comitato di redazione di riviste scientifiche internazionali e del consiglio scientifico del MSR-UniTn CoSBI. È stato professore visitatore all'École Polytechnique, École Normale Supérieure, CWI, Université Rennes. I suoi interessi di ricerca includono la semantica dei linguaggi, in particolare per sistemi concorrenti, distribuiti e mobili, metodi e strumenti per la verifica di programmi, sicurezza, bioinformatica. Su questi argomenti ha pubblicato circa 200 articoli su riviste internazionali e atti di congressi. E-mail: degano@di.unipi.it

IGNORANZA INFORMATICA NELLA PA QUANTO PESA QUELLA DEGLI SPECIALISTI



Pier Franco Camussone

Nell'indagare sul costo dell'ignoranza informatica degli utenti nella Pubblica Amministrazione locale i ricercatori di AICA e SDA Bocconi hanno rilevato che anche gli specialisti ICT presentano lacune nella loro preparazione tecnologica e questo aspetto, spesso, genera problemi al buon funzionamento dell'infrastruttura informatica, le cui performance degradano incidendo sulla produttività degli utenti. Quindi gli specialisti ICT possono essere anch'essi responsabili dell'inefficienza produttiva della PA locale.

1. PREMESSA

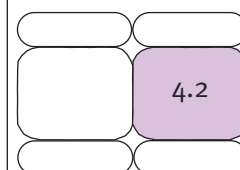
La Scuola di Direzione Aziendale dell'Università Bocconi, assieme ad AICA, sta svolgendo un programma di ricerca pluriennale sul costo dell'ignoranza informatica nei vari settori economici del nostro Paese. Sono stati già indagati il settore industriale nel suo complesso [1], il comparto della sanità [2], quello bancario [3] ed infine il settore della Pubblica Amministrazione (PA) centrale [4]. I risultati di queste indagini sono stati sintetizzati anche in articoli già comparsi in Mondo Digitale (giugno e settembre 2003, settembre 2004, dicembre 2006, dicembre 2008). L'ultima campagna di ricerca ha riguardato il settore della PA locale e ha affrontato un nuovo aspetto prima trascurato. Anche in questo caso è emerso che una non perfetta preparazione del personale nell'utilizzo degli strumenti informatici riduce la produttività delle persone, mentre al contrario un'elevata conoscenza di questi strumenti produce un aumento sensibile di produttività. Questa volta i ricercatori hanno cercato di analizzare meglio quella parte delle cause di interruzione del lavoro che di solito gli utenti

indicano come disfunzioni derivanti da malfunzionamento del computer, o della rete, che impediscono loro di svolgere il lavoro. Come risulta dalla figura 1, si tratta di circa il 65% delle cause di improduttività con il computer. L'utente si arresta non per ignoranza propria, ma perché - a suo dire - qualcosa non funziona nell'infrastruttura informatica, senza alcuna responsabilità da parte sua.

2. IMPRODUTTIVITÀ DEGLI UTENTI E RESPONSABILITÀ DEGLI SPECIALISTI INFORMATICI

Per verificare se questa posizione sia sostenibile o meno, si è cercato di trovare riscontro nelle chiamate che gli utenti rivolgono al proprio *help-desk*. I ricercatori hanno acquisito i *tickets*, corrispondenti alle chiamate registrate per due mesi consecutivi in tre grandi Enti locali¹. Elaborando alcune migliaia di ri-

¹ Si tratta della Regione Lombardia, della Regione Valle d'Aosta e della Provincia Autonoma di Trento.



chieste di assistenza, si è ottenuto il grafico di figura 2.

Per comprendere quanto è riportato nella figura 2, si devono fare alcune precisazioni. An-

zitutto i tipi di chiamata sono stati ricondotti a 7 diverse tipologie:

1. lacune di conoscenze che dovrebbero essere possedute dall'utente;
2. malfunzionamenti derivanti dalla progettazione, o gestione dell'infrastruttura e delle applicazioni (cattiva configurazione, *tuning* non svolto, tempi di risposta inaccettabili ecc.);
3. problemi attinenti le procedure di sicurezza (perdita di password, precauzioni non rispettate per cui si è stati colpiti da virus, perdita di dati - da ripristinare - perché non si è provveduto ad effettuare il *back-up* ecc.);
4. malfunzionamenti dell'hardware o del software di base del PC;
5. malfunzionamenti della rete;
6. necessità di interventi di adeguamento dell'applicazione (manutenzione su chiamata);
7. altre cause.

In secondo luogo si è cercato di attribuire ciascuna di queste tipologie a tre diverse possibili cause:

- ☐ ignoranza degli utenti;
- ☐ incompetenza degli specialisti;

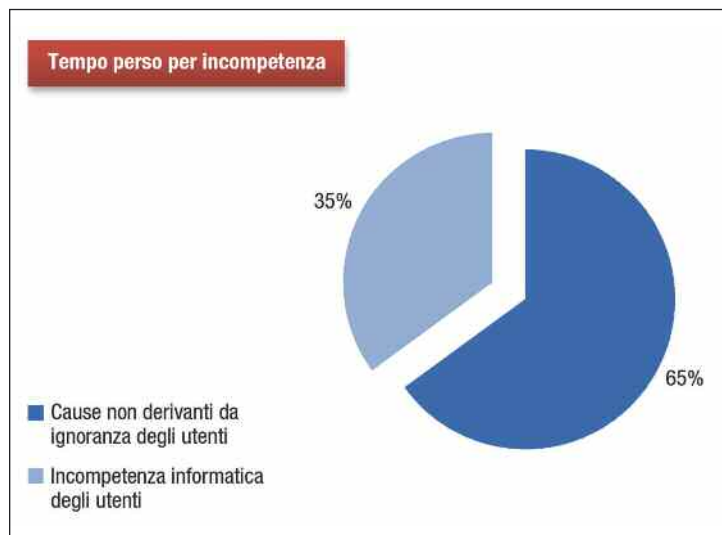


FIGURA 1

Le cause che determinano il tempo di lavoro perso al computer (valore corretto in base ai dati di help-desk)

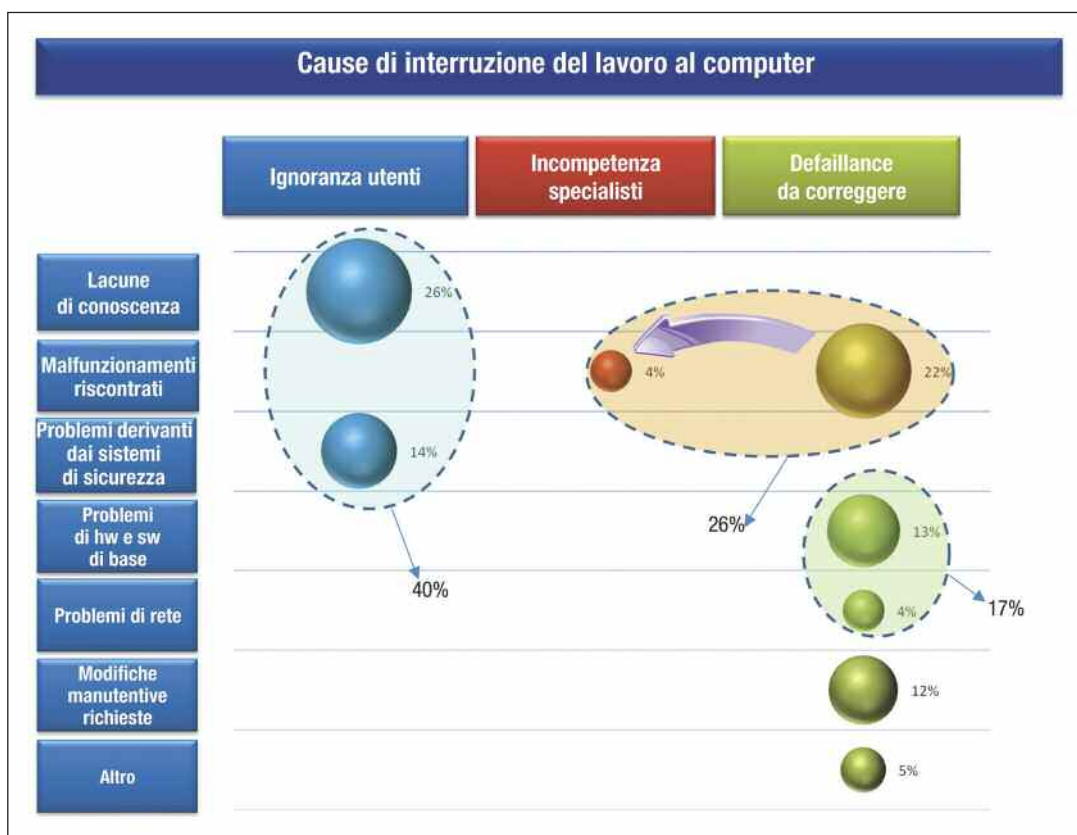


FIGURA 2

Analisi delle cause di interruzione del lavoro secondo le chiamate all'help-desk

❑ *defaillance* che una volta scoperte richiedono un intervento correttivo, di solito da parte degli specialisti.

I malfunzionamenti di tipo 1 e 3 sono ragionevolmente attribuibili a scarse competenze degli utenti: se fossero più preparati, o più attenti a seguire le procedure consigliate, potrebbero non cadere in questi inconvenienti.

I malfunzionamenti di tipo 2 sono in parte attribuibili a incompetenza degli specialisti: ciò si evince leggendo le diagnosi che accompagnano le richieste di aiuto (*tickets*) e soprattutto i commenti che vengono registrati a chiusura dell'intervento. Ma vi sono anche dei malfunzionamenti che non sono esplicitamente imputabili a un errore di chi gestisce l'infrastruttura, si tratta comunque di anomalie o disfunzioni che richiedono l'intervento di specialisti, che non hanno anticipato i problemi che potevano sorgere in fase operativa. Questa categoria di cause d'interruzione del lavoro degli utenti è stata classificata come "*defaillance* da correggere". Secondo quanto ammesso da chi interviene poi su richiesta degli operatori di help-desk, anche questi problemi si sarebbero potuti evitare se gli specialisti "ci avessero pensato prima".

Sempre nella categoria delle *defaillance* da correggere rientrano i guasti degli strumenti di elaborazione e della rete di comunicazione. Fanno parte di questa classe anche le richieste che comportano adeguamenti del software applicativo, o l'aggiornamento di dati cui tale software fa riferimento. Per esempio se si apre un nuovo asilo, la procedura d'iscrizione richiede che l'anagrafica del nuovo asilo sia presente. Se ce ne siamo dimenticati, si deve provvedere al più presto, per non bloccare il lavoro di chi raccoglie le iscrizioni. Infine, per completare la classificazione, l'ultima tipologia residuale (altri problemi non facilmente classificabili) è stata anch'essa associata alla categoria delle *defaillance* da correggere.

Dall'esame del grafico di figura 2, appare evidente che i veri e propri guasti di rete, o di hardware elaborativo, rappresentano solo il 17% delle chiamate degli utenti. Il 26% delle chiamate deriva da lacune nelle conoscenze degli utenti, cui si dovrebbe sommare anche un 14% di chiamate che derivano dalla non osservanza delle procedure di sicurezza. Nell'insieme, se gli utenti fossero ben preparati all'u-

so degli strumenti, cioè fossero stati adeguatamente istruiti, si potrebbe ridurre quel 40% di chiamate, che attualmente derivano dalla loro insufficiente preparazione.

Anche gli specialisti hanno delle responsabilità nell'interruzione del lavoro degli utenti. Secondo quanto riportato dai centri di *help-desk* qualche loro errore è all'origine di un 4% delle chiamate degli utenti, ma analizzando meglio l'insieme delle chiamate emerge un altro 22%, che è riconducibile a leggerezze degli specialisti nel dimensionamento delle infrastrutture (*performance* inaccettabili), o nel *tuning* delle stesse (classico è l'esempio del *tuning* poco accurato di una rete o dello studio delle *performance* di un data base). Nel complesso gli specialisti sono responsabili di circa il 26% delle chiamate degli utenti (Figura 3). Infine, gli interventi per manutenzione delle applicazioni sono all'origine di un 12% delle richieste pervenute all'*help-desk*.

Se possiamo ridurre le conseguenze della ignoranza degli utenti con interventi di formazione, è lecito domandarsi se gli specialisti siano preparati per i loro compiti e se siano sufficientemente istruiti, o non sia auspicabile predisporre anche per loro qualche intervento di tipo formativo.

A tal fine, vista la rilevanza del fenomeno segnalato dall'*help-desk*, si è pensato di sotto-

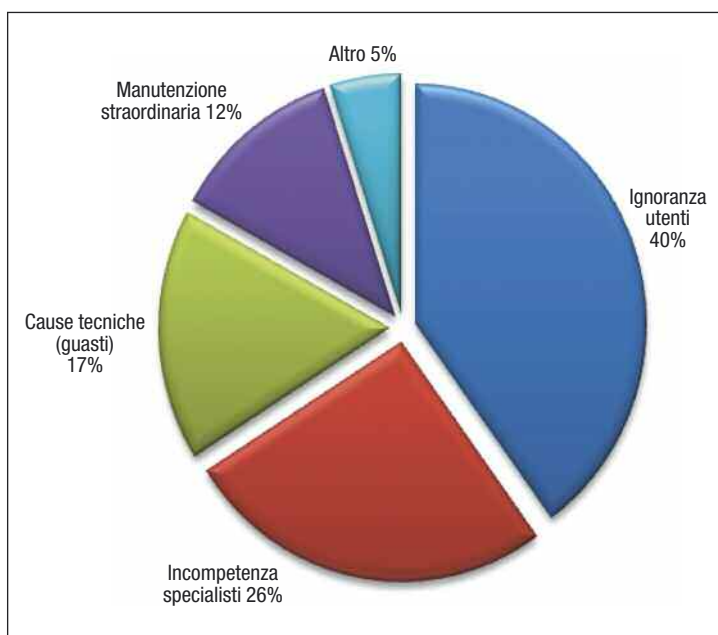


FIGURA 3

Le cause di interruzione del lavoro secondo le chiamate all'*help-desk*

porre un questionario agli specialisti per appurare il livello della loro preparazione. Tale questionario è stato suddiviso logicamente in tre parti: inizialmente si acquisiscono informazioni sulla tipologia dei rispondenti (per esempio che ruolo svolgono in azienda, se sono manager, sviluppatori di applicazioni o sistemisti di infrastrutture). In una seconda sezione si delinea il profilo tecnologico dell'ente in cui il rispondente lavora, infine nell'ultima parte si chiede di dichiarare il livello delle proprie competenze tecniche (*auto-assessment*).

Purtroppo a questa rilevazione hanno risposto con informazioni significative un po' meno di 80 soggetti. Pochi, forse, ma si deve osservare che moltissimi Enti pubblici locali sono dotati di una propria società di servizi informatici (società *in house*, secondo la dizione in vigore a seguito del decreto Bersani²). All'interno di ciascun Ente è rimasto solo un ridotto nucleo di specialisti, che dovrebbe fornire guida e in-

dirizzo alla società in house e svolgere controlli sul suo livello di efficienza. Pertanto dovrebbe trattarsi di un nucleo formato da un'élite di professionisti ben preparati.

3. IL PROFILO DEGLI SPECIALISTI INFORMATICI DEGLI ENTI DELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE LOCALE

Un primo dato interessante che emerge dall'indagine è che solo un 17% del campione possiede una specifica preparazione di livello universitario in campo informatico. È pur vero che oltre la metà dei rispondenti possiede un titolo di studio universitario, ma prevalgono le lauree non di tipo informatico (Figura 4). Si deve quindi segnalare che la formazione teorica della maggior parte degli specialisti non avviene nelle aule universitarie.

Interessante è anche l'area in cui lavorano gli specialisti informatici. Secondo le risposte al questionario prevalgono coloro che svolgono compiti di pianificazione dei sistemi informativi, o che svolgono funzioni manageriali (Figura 5). Sembrerebbe un mix di competenze piuttosto sbilanciato, ma che si giustifica ricordando che molti Enti pubblici locali sono dotati di una società informatica *in house*, per cui gli specialisti rimasti all'interno svolgono prevalentemente funzioni manageriali e di pianificazione dei sistemi informativi. Anche lo sviluppo è in larga misura demandato all'esterno (*outsourcing*) per cui rimane un presidio ridotto, che si occupa solo di definire le specifiche delle nuove applicazioni. Il profilo del nucleo di specialisti ICT interni è quindi focalizzato sui ruoli più manageriali, o professionali di alto livello.

Coloro che si occupano dell'ICT negli Enti pubblici locali non sono particolarmente interessati alla certificazione delle proprie competenze. Marginale è la presenza nelle loro file di persone che hanno conseguito qualche certificazione sugli strumenti informatici, o sulle reti di telecomunicazione (Figura 6). Evidentemente si ritiene che le certificazioni, che – ricordiamo – stabiliscono in modo oggettivo un livello di competenze raggiunto, non siano indispensabili per lo svolgimento della propria mansione.

Discreta invece è la partecipazione a corsi di formazione nel corso dell'anno. Secondo quanto dichiarato, ogni soggetto dedica me-

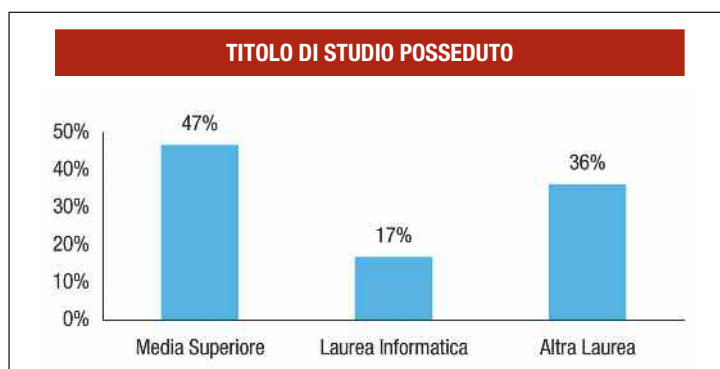


FIGURA 4

La formazione scolastica degli specialisti ICT

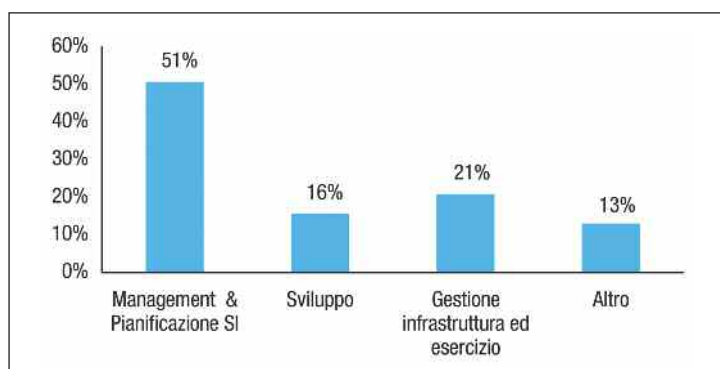


FIGURA 5

L'area di appartenenza degli specialisti ICT

² D.L. 4 luglio 2006 n. 223 (noto come "Decreto Bersani").

diamente ben 13 giorni lavorativi ogni anno per seguire corsi di aggiornamento e circa la metà di questo tempo è riservato alla formazione in campo informatico.

4. LA SITUAZIONE TECNOLOGICA DEGLI ENTI DELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE LOCALE

La maggior parte degli Enti locali (soprattutto quelli di maggiori dimensioni) ha dato vita a una propria azienda di servizi informatici (società *in house* secondo il già citato Decreto Bersani). Questa struttura che consente di superare alcuni vincoli derivanti all'Ente dalla sua natura pubblica, ha però portato all'esterno molte delle attività di gestione dei sistemi informativi. Una riprova di questa situazione si presenta nell'esame dell'origine del portafoglio applicativo dell'Ente. Come risulta dalla figura 7, le applicazioni sono ormai sviluppate quasi completamente all'esterno dell'Ente: in parte commissionate a terzi e in parte affidate alla propria società *in house*.

Anche per quanto riguarda l'esercizio del sistema informativo, la Pubblica Amministrazione locale si affida molto a terzi, o alla propria società *in house*. In questa situazione dovrebbe essere importante fissare dei livelli di servizio che i fornitori dovrebbero assicurare. Si tratta di definire contrattualmente degli SLA (*Service Level Agreement*) e di controllare che siano rispettati.

Ma la definizione degli SLA non è molto diffusa nella Pubblica Amministrazione locale (Figura 8): nella metà, o quasi, degli Enti non è stata presa neppure in considerazione, mentre solo nel 16% dei casi gli SLA sono stati introdotti e concordati con gli utenti. Siamo lontani dalla concezione del sistema informativo come servizio da erogare all'utenza finale (meglio sarebbe dire ai clienti finali). Una piccola consolazione deriva dal fatto che quasi un quarto degli intervistati (23%) ha comunque dichiarato che gli SLA sono stati introdotti nel proprio Ente, ma solo per finalità conoscitive da parte della funzione Sistemi Informativi.

Anche le misurazioni delle prestazioni dei sistemi elaborativi e delle reti sono poco diffuse nella Pubblica Amministrazione locale. Come risulta dalle figure 9 e 10, si tratta di iniziative saltuarie, piuttosto che sistematiche. Nella

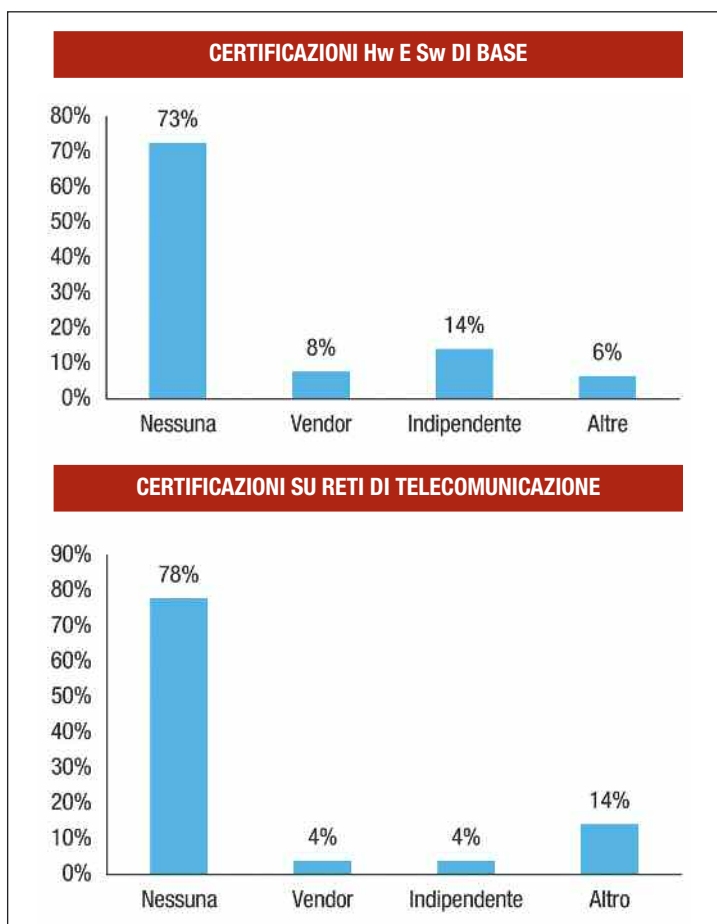


FIGURA 6

La formazione post scolastica degli specialisti ICT

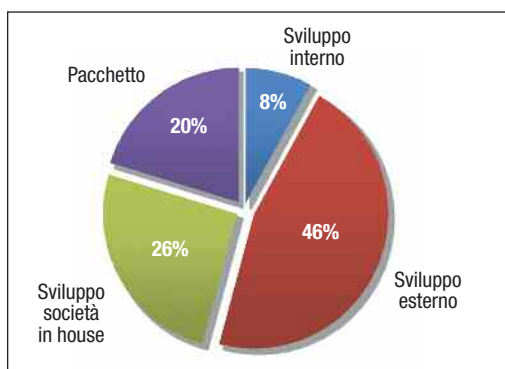


FIGURA 7

Lo sviluppo del portafoglio applicativo

maggior parte dei casi non si sente la necessità di disporre di metodi che tengano sotto controllo con continuità e coerenza le prestazioni delle infrastrutture informatiche. Si tratta comunque di attività che vengono giudicate di interesse solo degli specialisti, raramente gli utenti sono messi al corrente dei problemi di carico della infrastruttura.

Decisamente migliore è la situazione della

FIGURA 8
La diffusione degli SLA nella PA locale

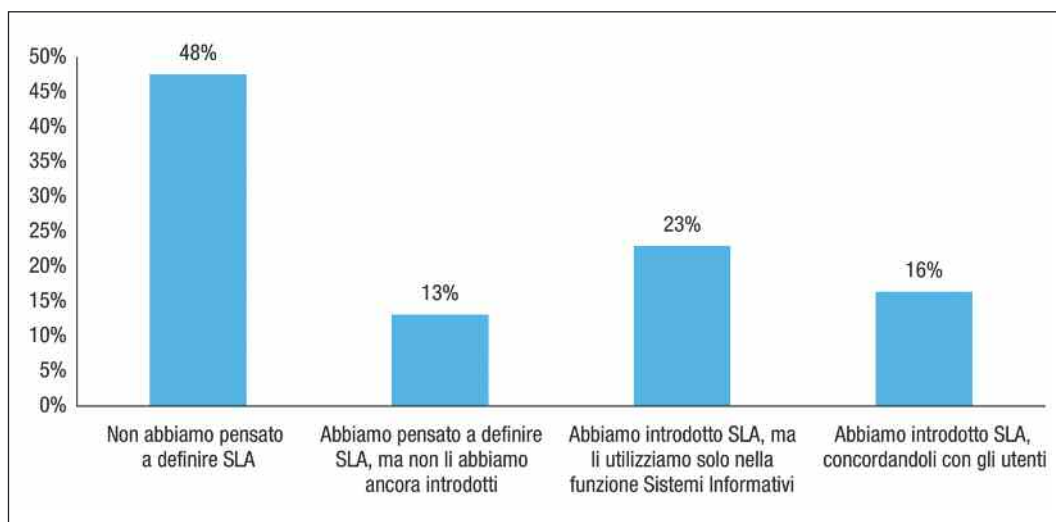


FIGURA 9
La misurazione del carico dei sistemi elaborativi nella PA locale

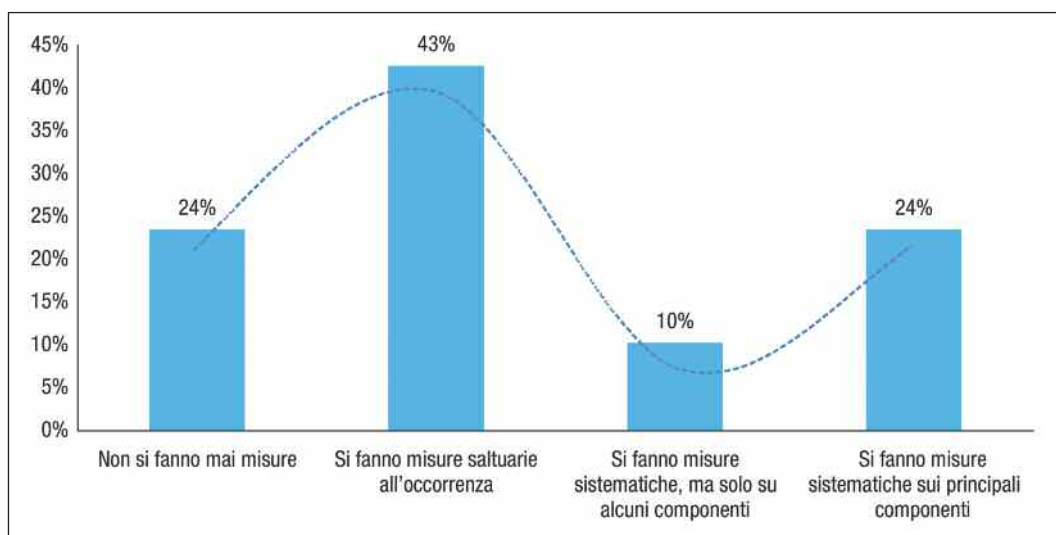
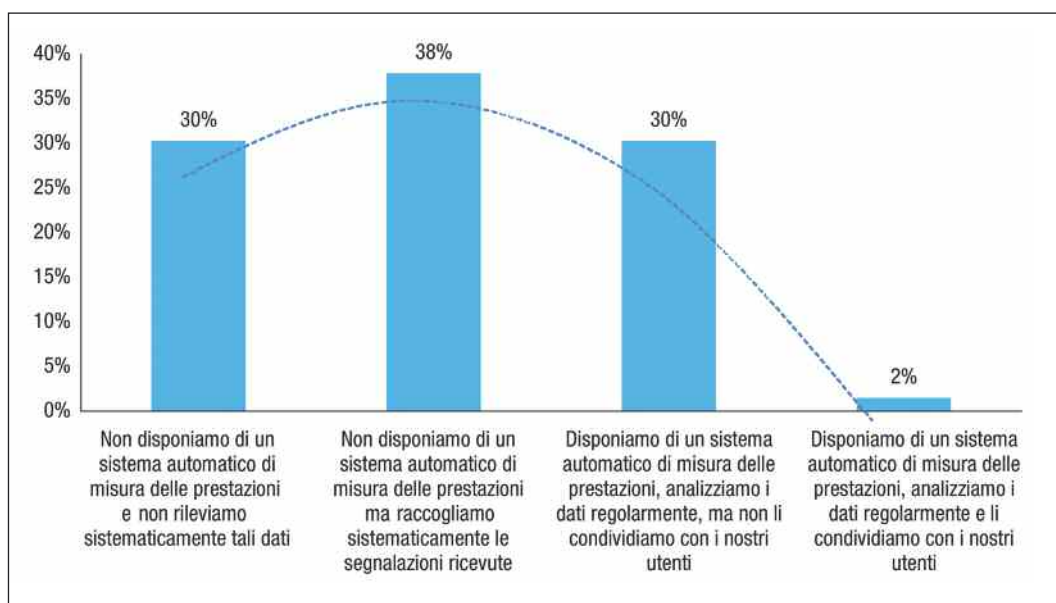


FIGURA 10
La misurazione delle prestazioni della rete nella PA locale



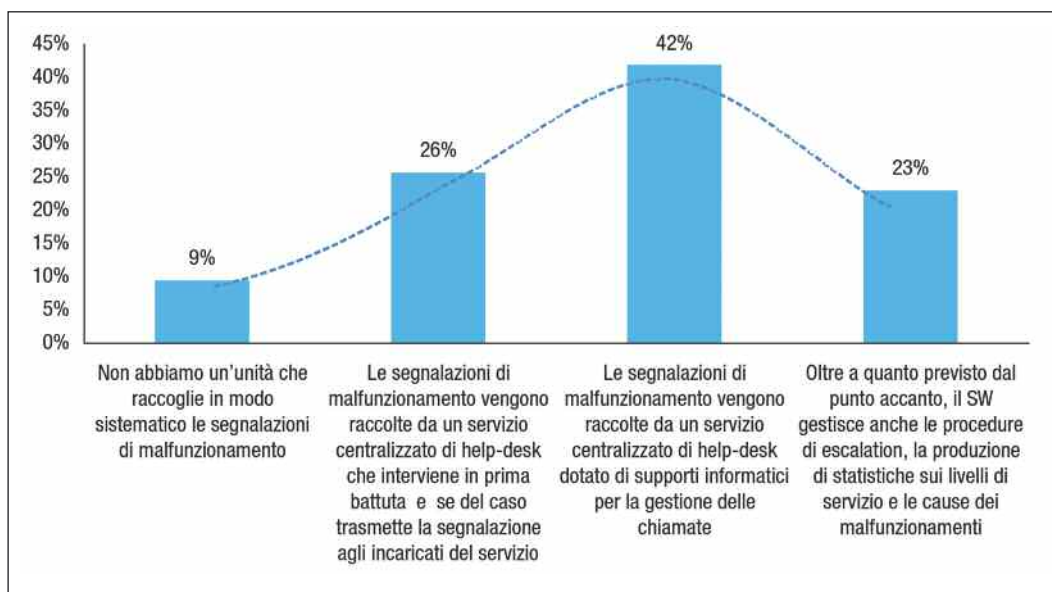


FIGURA 11

La gestione delle segnalazioni di malfunzionamento nella PA locale

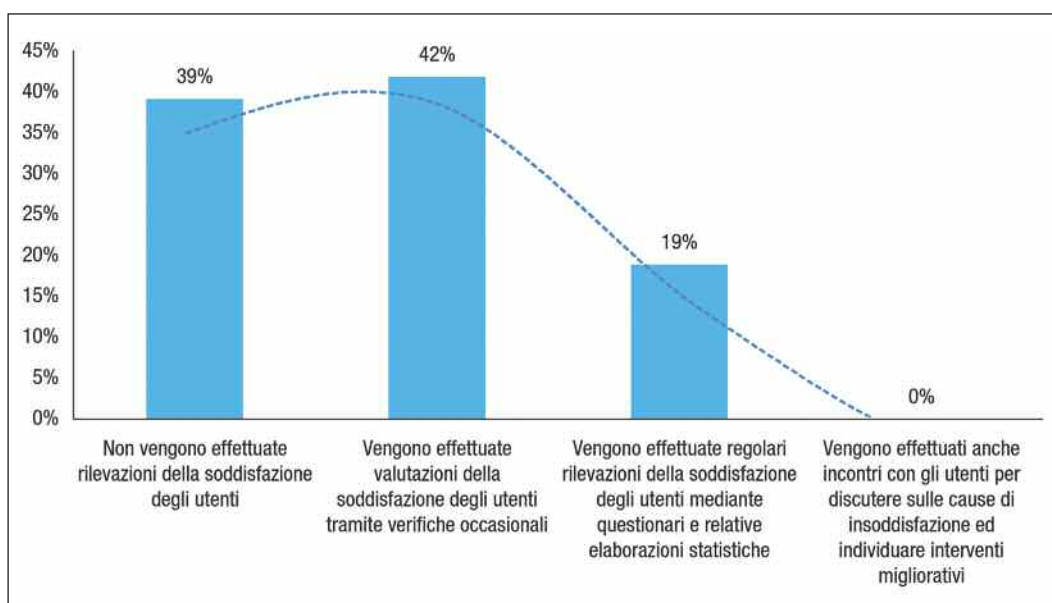


FIGURA 12

La gestione della customer satisfaction nella PA locale

Pubblica Amministrazione locale per quanto riguarda la gestione di malfunzionamenti. Come si può vedere dalla figura 11, la curva gaussiana che risulta dalla nostra indagine è più spostata a destra, cioè verso soluzioni tecnico-organizzative più avanzate.

Meno soddisfacente è invece la situazione che si riscontra nella gestione della *customer satisfaction* (Figura 12). Si tratta di un'attività del tutto assente in quasi il 40% dei soggetti indagati nella nostra ricerca, oppure svolta solo occasionalmente in un altro 42% dei casi. Solo il 19% degli intervistati ha dichiarato di rilevare in modo regolare la *customer satisfaction* dei

propri utenti, ma in pratica quasi nessuno si preoccupa di interagire con i propri utenti per discutere del loro livello di gradimento.

5. LE COMPETENZE DEGLI SPECIALISTI ICT NELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE LOCALE

Una parte specifica del questionario ha riguardato il livello delle competenze possedute dagli specialisti informatici della Pubblica Amministrazione locale. Si è chiesto inizialmente quali conoscenze fossero possedute nei riguardi dell'hardware, dei server e del loro am-

biente di installazione. Ne è scaturita una situazione rappresentata dalle figure 13 e 14 da cui si evince una discreta conoscenza dei componenti hardware di un server, mentre meno tranquillizzante è risultato il possesso delle conoscenze necessarie per la predisposizione dell'ambiente fisico, che ospita i server (*rack*, alimentazione, condizionamento ecc.).

Alla domanda se si è in grado di configurare il sistema operativo di un server, oltre la metà degli intervistati ha dichiarato di non avere alcuna esperienza al riguardo. Il grafico delle risposte ottenute ha mostrato una modesta pa-

dronanza del problema limitata a circa un quarto degli intervistati (Figura 15).

Migliore è apparsa invece la situazione delle competenze dichiarate nei riguardi della sicurezza informatica. Ad una prima domanda di carattere generale, tendente a misurare le conoscenze riguardanti la sicurezza informatica, gli intervistati hanno risposto come illustrato nella figura 16. Anche se oltre il 70% dei soggetti ha dichiarato di non aver frequentato corsi specifici al riguardo, il 38% di essi si è detto informato e documentato in merito, mentre un 26% ha dichiarato di aver

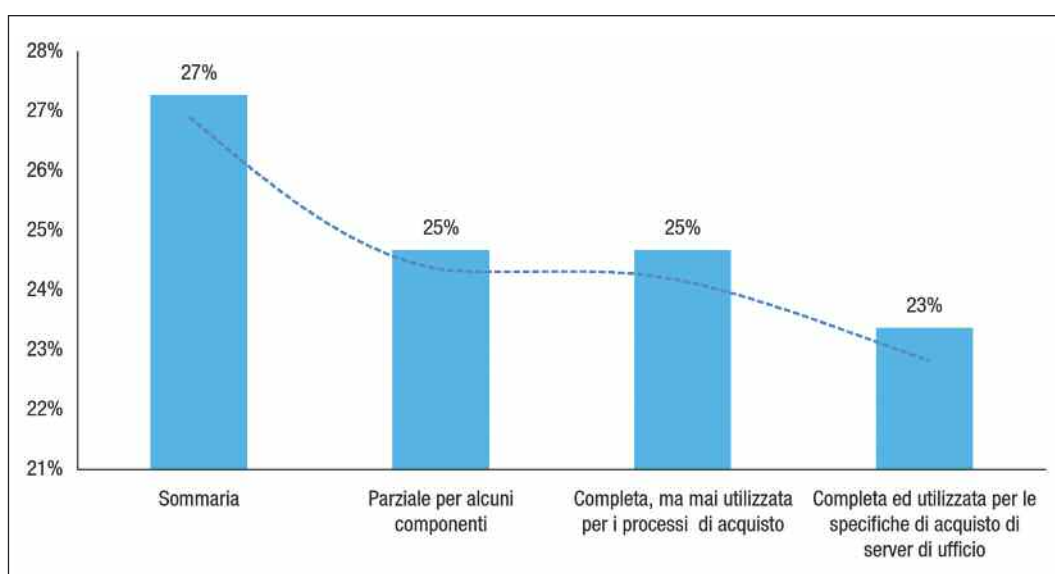


FIGURA 13

Conoscenza degli elementi hardware di un server e delle loro prestazioni

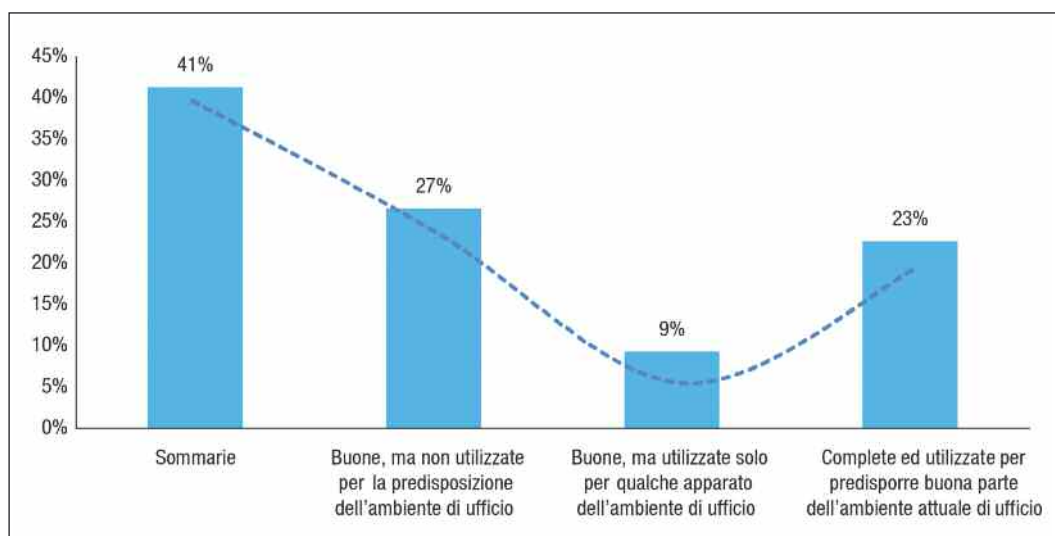


FIGURA 14

Competenze per la predisposizione dell'ambiente fisico che ospita i server (rack, alimentazione, condizionamento ecc.)

frequentato uno o più corsi su questo argomento.

Analogamente si è rivelato il profilo delle conoscenze concernenti le tecniche per il miglioramento della sicurezza (Figura 17). Circa un terzo degli intervistati ha dichiarato di conoscere le tecniche in questione, mentre altrettanti hanno dichiarato di aver utilizzato una o più volte tali strumenti.

Infine, ad una precisa domanda riguardante la conoscenza, o meno, della vulnerabilità dei sistemi di ufficio, usati da oltre i tre quarti dei dipendenti della Pubblica Amministrazione locale, gli intervistati hanno mostrato una limitata conoscenza della problematica (Figura 18). Solo un 18% ha detto di aver cercato di individua-

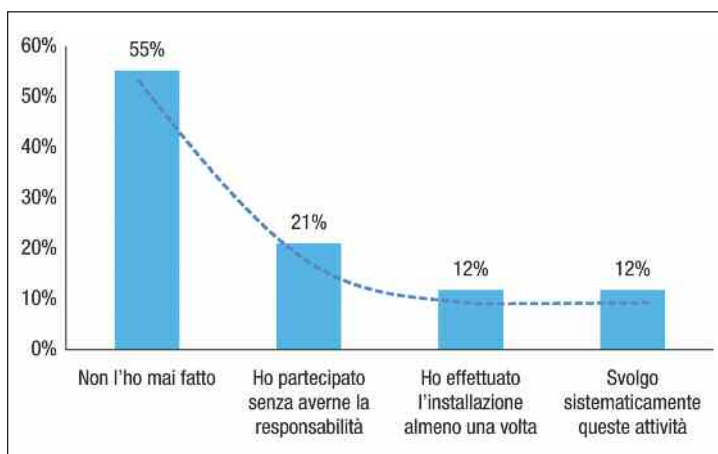


FIGURA 15

Competenze di installazione e configurazione del sistema operativo di un server

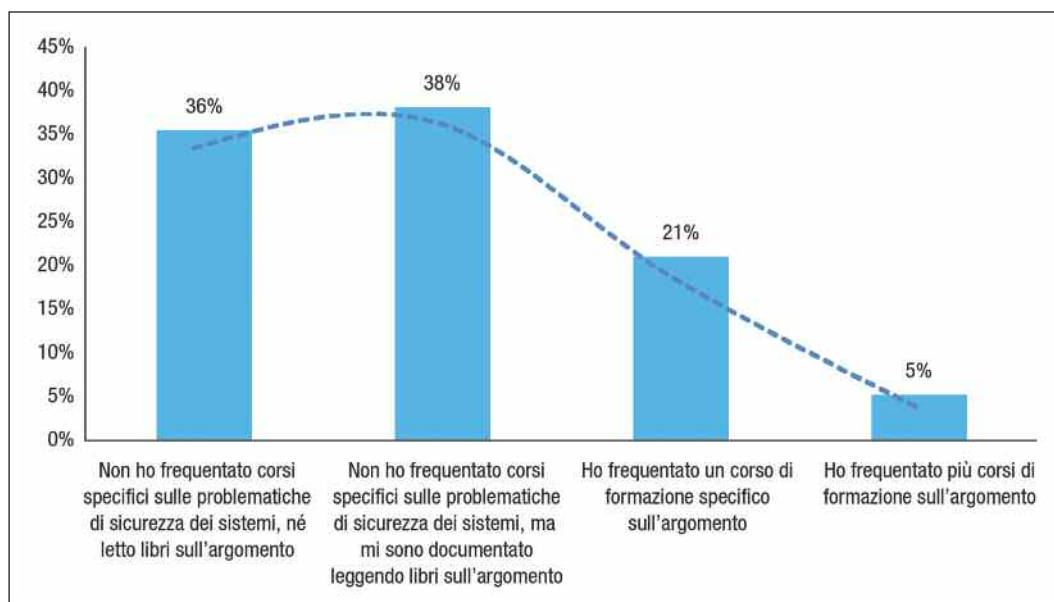


FIGURA 16

Competenze di tipo generale riguardanti la sicurezza informatica

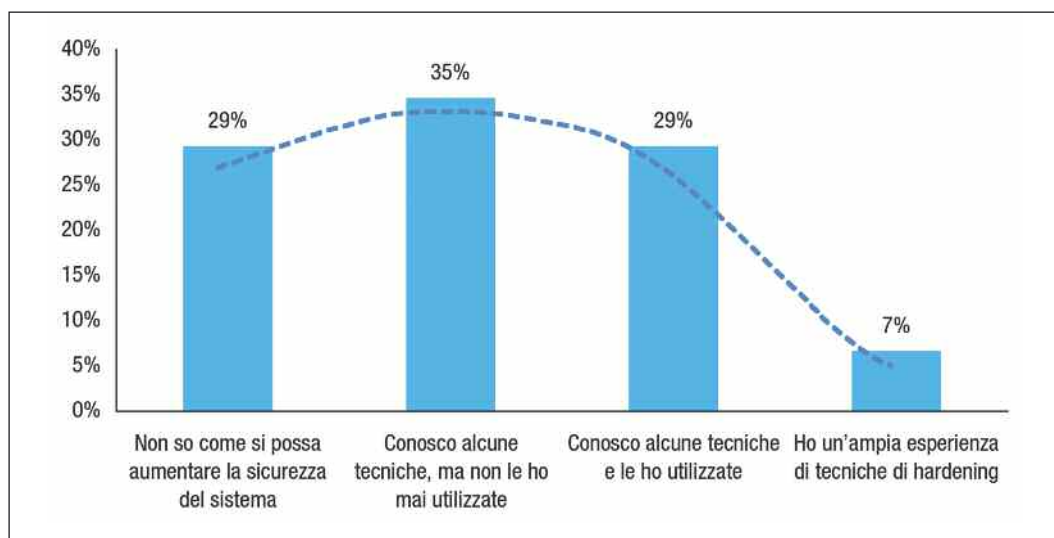


FIGURA 17

Competenze sulle tecniche per la sicurezza dei sistemi

FIGURA 18
Conoscenza delle vulnerabilità dei sistemi di ufficio

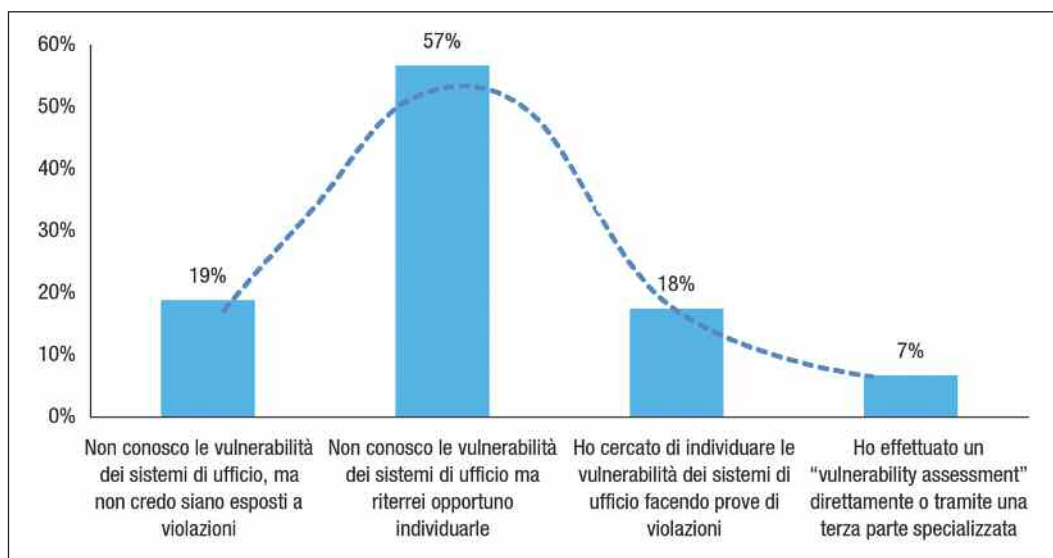
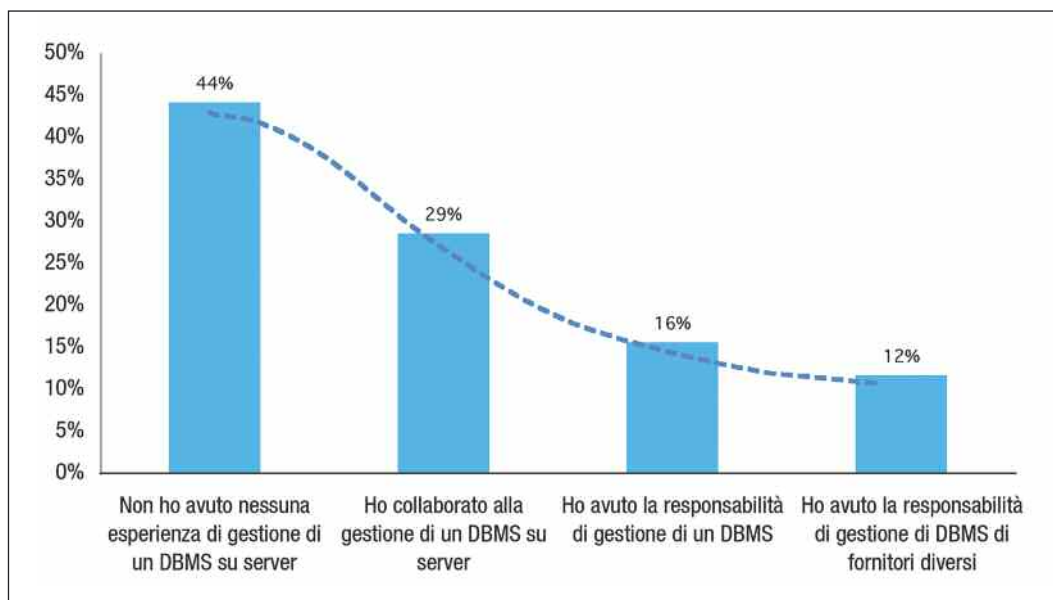


FIGURA 19
Competenze di gestione di un DBMS su un server



re tali vulnerabilità ed un 7% ha effettuato (direttamente o con una terza parte) un *vulnerability assessment*.

Una sorpresa per i ricercatori è stata la limitata competenza dichiarata nei riguardi della gestione dei Data Base (Figura 19). In particolare si è notato, con meraviglia, che la funzione Sistemi Informativi nel suo complesso è impreparata a fronte di un problema, che ha un grande effetto sulle performance delle applicazioni per gli utenti. Pochissimi hanno dichiarato di aver partecipato ad una attività di *tuning* di un data base, o di avere esperienza al riguardo (Figura 20). Per esperienza di "*tuning*" di un Data Base si intende aver

svolto un insieme di attività quali - per esempio - la riorganizzazione degli indici, il dimensionamento delle aree interne in funzione del carico transazionale, e così via. Se non si è in grado di effettuare questo lavoro è difficile mantenere un portafoglio applicativo basato largamente su Data Base, evitando che - con il tempo - si allunghi la durata di esecuzione delle transazioni online, che fanno riferimento a questa organizzazione dei dati. Per quanto riguarda la conoscenza delle reti di trasmissione dei dati, gli intervistati hanno dichiarato una buona padronanza concettuale, come indicato dalle figure 21 e 22.

Le conoscenze sui protocolli di rete (udp, tcp/ip,

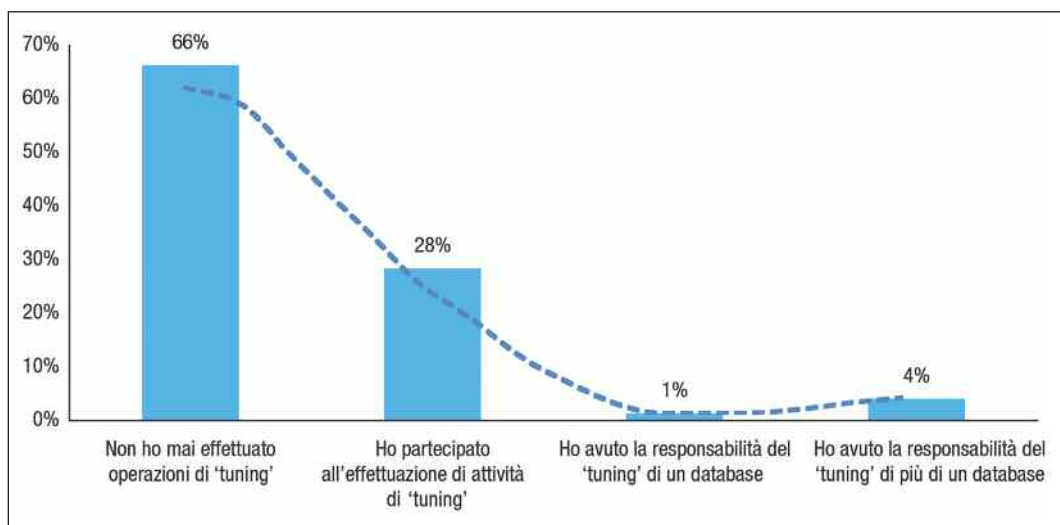


FIGURA 20

Competenze di tuning di un DBMS su un server

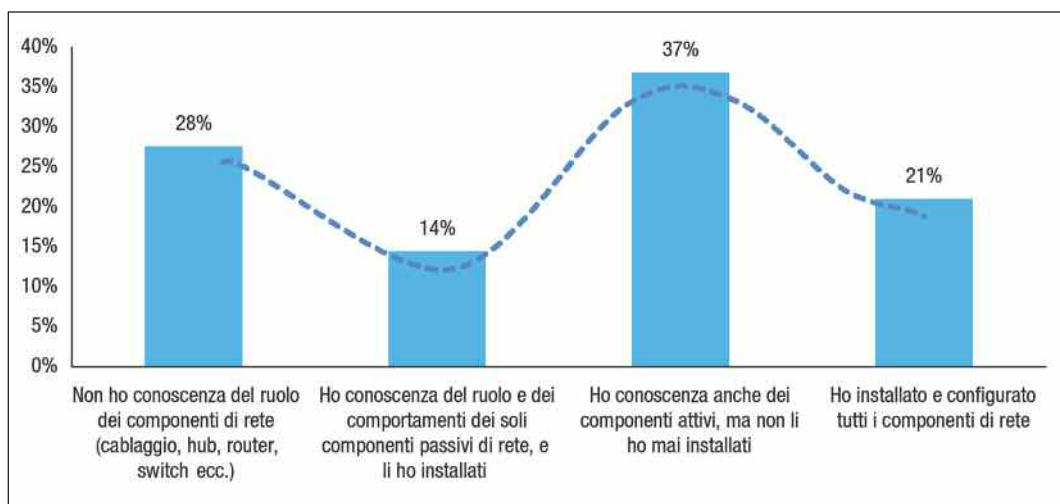


FIGURA 21

La conoscenza degli elementi di una rete di trasmissione dati

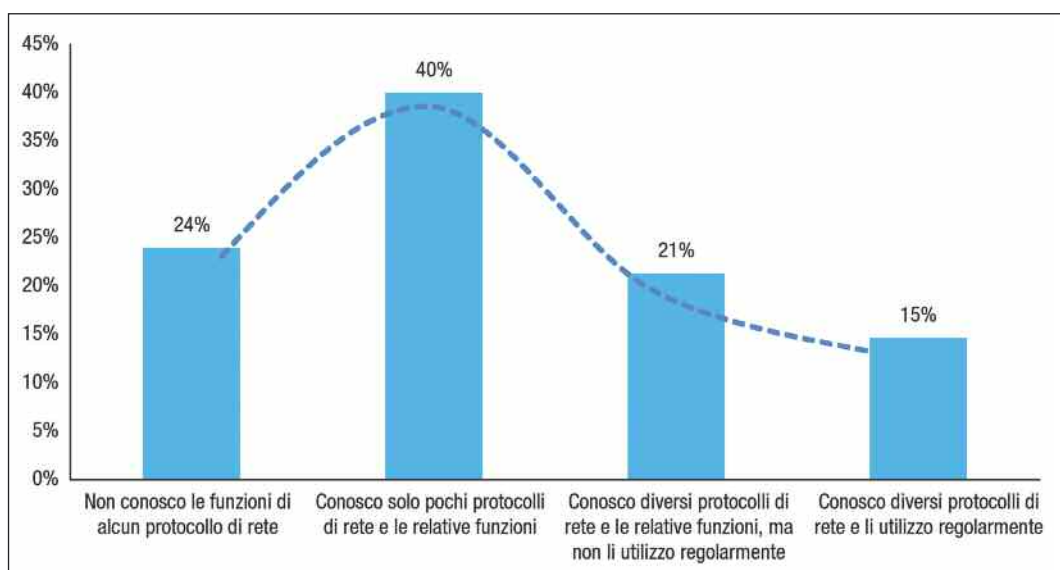


FIGURA 22

Le conoscenze sui protocolli di rete

http, https, ppp, slip, telnet, ftp ecc.) sono un po' meno diffuse rispetto alla padronanza del ruolo e delle funzioni dei componenti di rete, ma nel complesso - come si può vedere dall'andamento delle curve gaussiane - si è riscontrata una situazione discreta.

Si torna invece ad una situazione di scarsa conoscenza quando si chiede se si dispone di esperienza nella configurazione di una rete di trasmissione dati. Come si nota dalla figura 23 si tratta di competenze poco diffuse: ben oltre la metà degli intervistati non ha mai avuto a che fare con questo problema.

Per quanto riguarda gli strumenti di protezione di rete (*firewall*, analizzatori ecc.), l'indagine ha messo in evidenza che oltre il 50% degli intervistati li conoscono, ma solo il 25% ha partecipato alla loro configurazione, co-

me si può vedere dalla curva gaussiana di figura 24.

Una sorpresa è rappresentata dalle risposte al questionario sulla capacità degli specialisti informatici della Pubblica Amministrazione locale di attivare siti Web (per esempio portali), o server di posta elettronica. Come si può vedere dalle figure 25 e 26, si tratta di attività che sono probabilmente demandate all'esterno (*outsourcing*), vista la relativa scarsa esperienza dei soggetti che hanno partecipato all'indagine.

Una competenza che è risultata poco diffusa tra i partecipanti all'indagine è stata quella relativa all'impiego di sistemi di Network & System Management (quali HP OpenView, IBM Tivoli, CA Unicenter e simili) come si può desumere dalla figura 27.

FIGURA 23

Le competenze di configurazione dei servizi di rete sui server

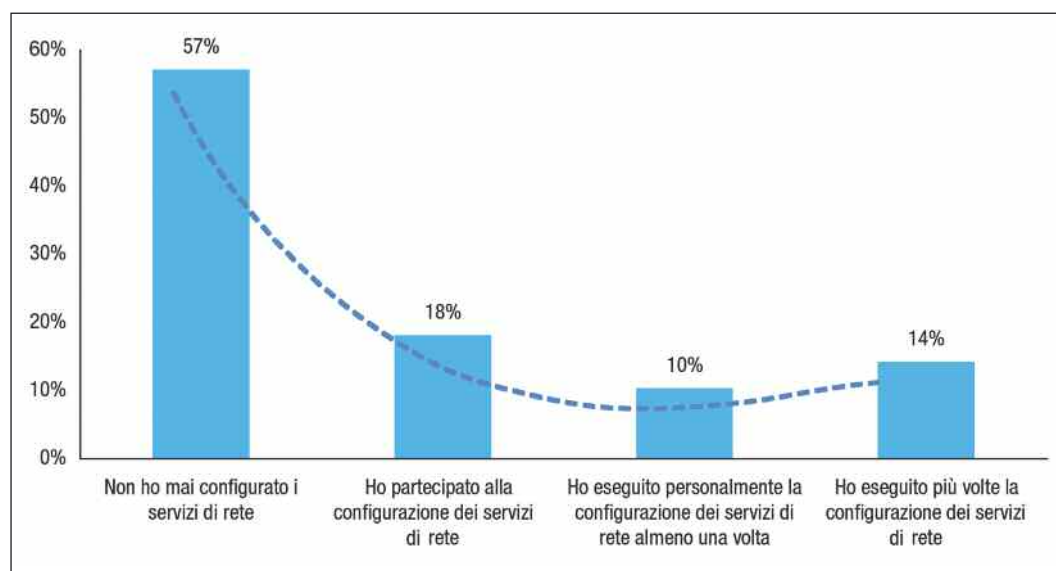
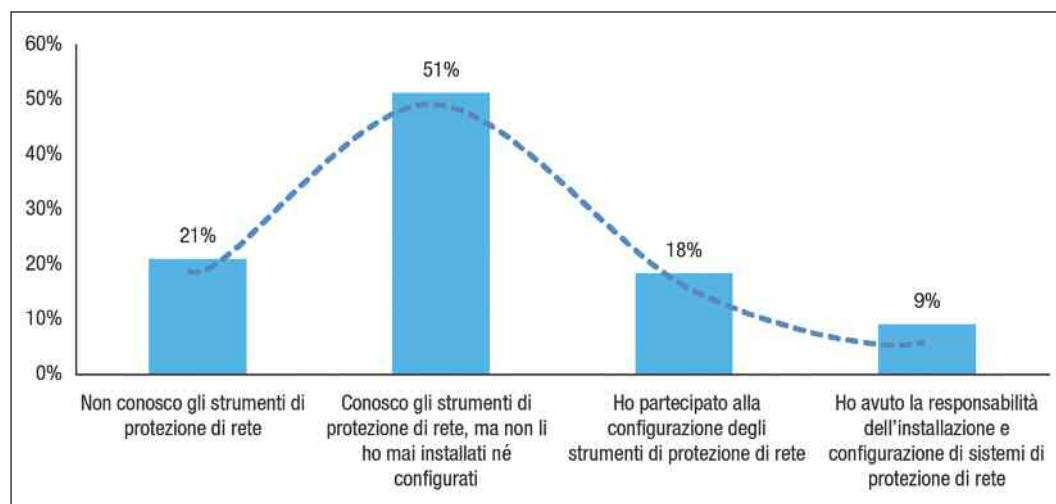


FIGURA 24

Competenze nell'attivazione di strumenti di protezione delle reti



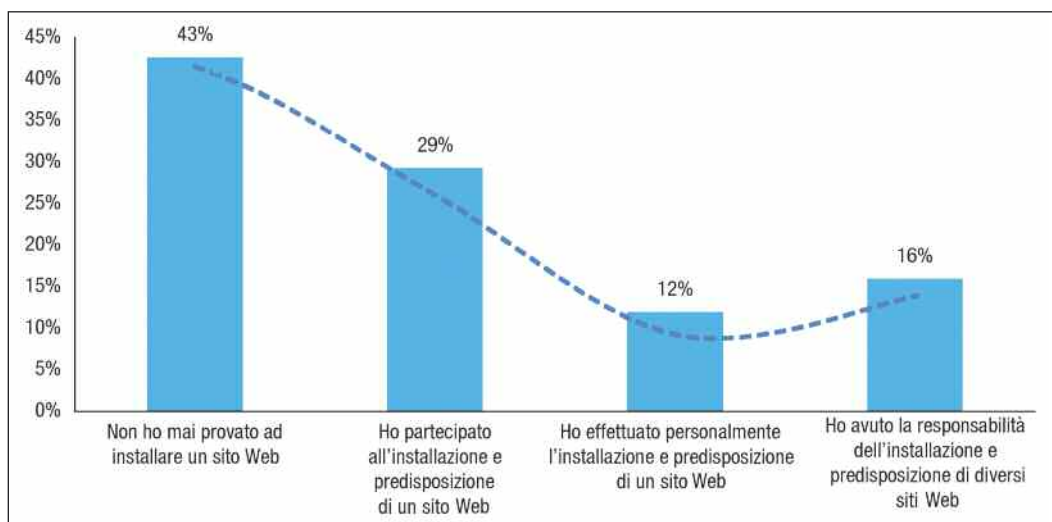


FIGURA 25

Competenze nell'attivazione di siti Web

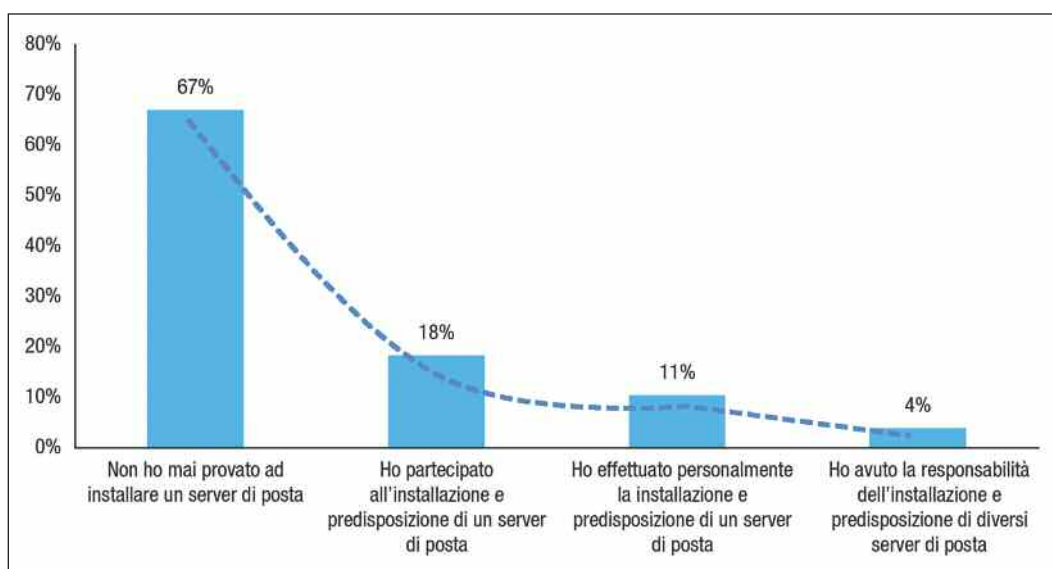


FIGURA 26

Competenze nell'attivazione di server di posta elettronica

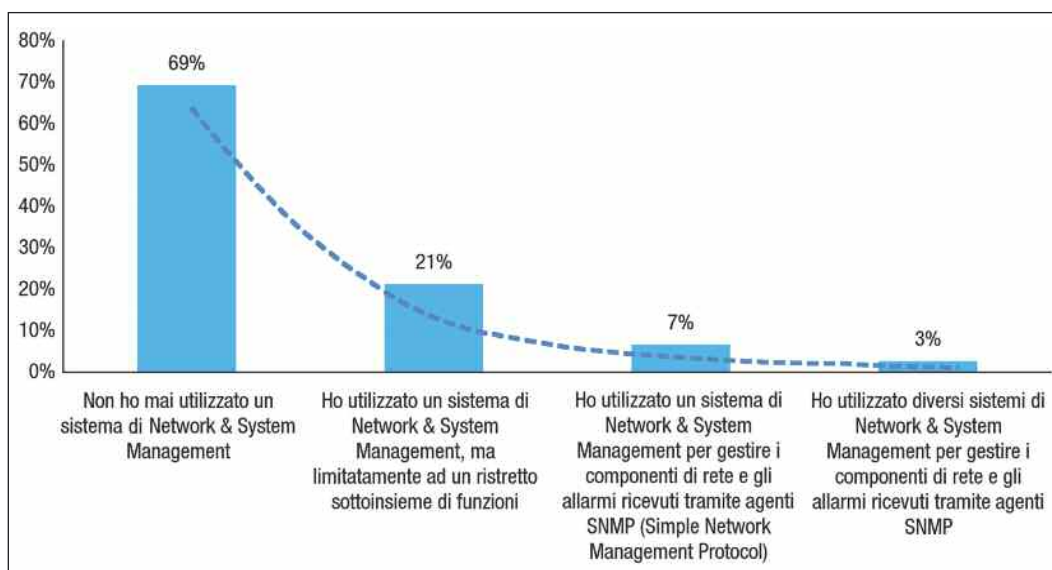


FIGURA 27

Competenze di sistemi di Network & System Management

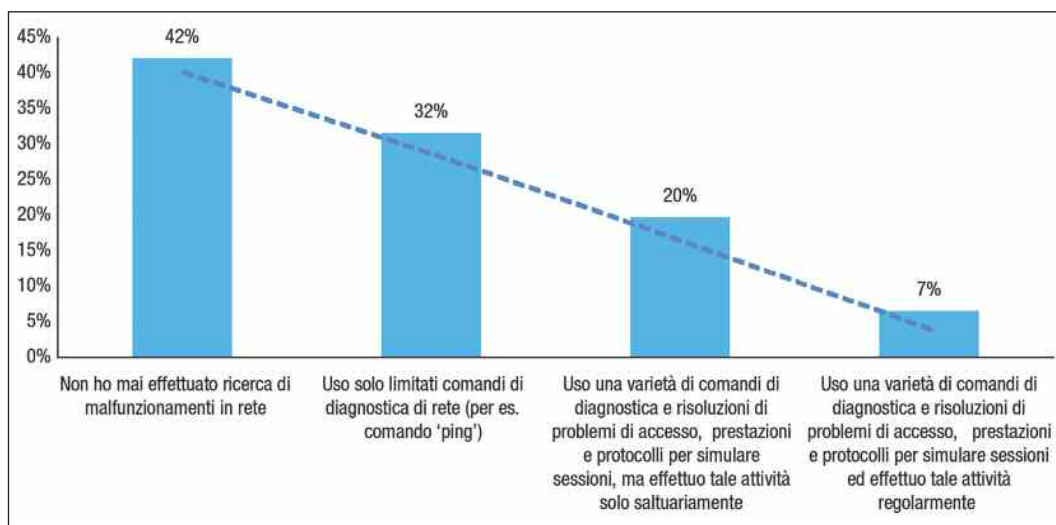


FIGURA 28

Competenze di gestione dei malfunzionamenti di rete

Una situazione solo di poco migliore si presenta con riferimento alle competenze per il *troubleshooting* (individuazione e correzione dei malfunzionamenti sulla rete). Come si può constatare dall'esame della figura 28, quasi il 60% dei soggetti sa usare qualche strumento, ma solo il 27% sa adoperare strumenti più sofisticati.

stato medio delle loro conoscenze tecniche. Per quanto riguarda la scala, si avverte che essa è costituita da quattro valori:

- 0 = nessuna conoscenza,
- 1 = conoscenza bassa,
- 7 = conoscenza media,
- 8 = conoscenza alta.

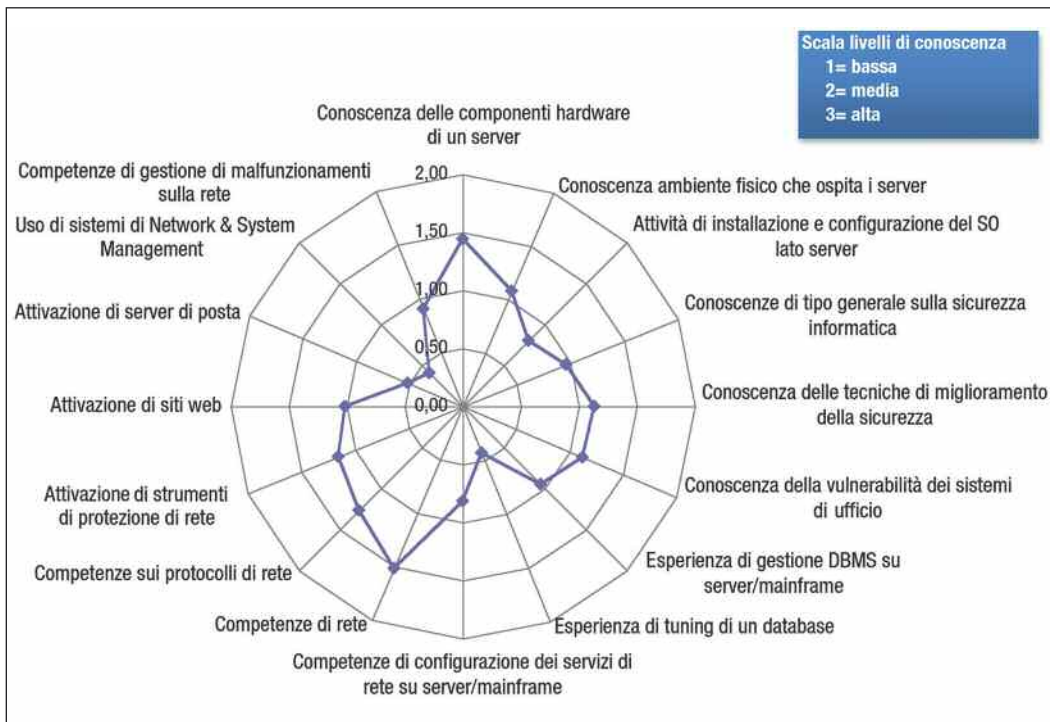
6. SINTESI E CONCLUSIONI

L'analisi delle chiamate all'*help desk* ha evidenziato come il 26% delle richieste d'intervento da parte degli utenti finali sia imputabile a incompetenza degli specialisti. Approfondendo quest'aspetto, è risultato, dai dati ottenuti dai questionari compilati dagli specialisti, che negli Enti pubblici locali esiste una bassa applicazione delle *best practices*: solo nel 39% dei casi sono stati definiti SLA, solo nel 34% dei casi si fanno misure di carico sui sistemi, solo nel 32% si tengono sotto attento controllo i tempi di risposta della rete, e solo il 19% degli Enti si preoccupa di rilevare la soddisfazione degli utenti finali. È risultato anche, dalle risposte fornite dagli specialisti informatici, che il livello delle loro competenze non è elevato. Per riassumere la situazione delle conoscenze degli appartenenti alla funzione interna Sistemi Informativi, si è rappresentato lo stato della loro preparazione mediante un grafico di tipo radiale (Figura 29) riportante lo

Sulla base di quanto riportato nella figura 29, si nota che le conoscenze tecnologiche generali sono di solito di tipo basso, con dei minimi nel tuning dei data base e nella padronanza di sistemi di *Network & System Management*. Le conoscenze tecniche più sviluppate sono quelle concernenti l'hardware dei sistemi elaborativi e i componenti di rete. Al secondo posto nel *ranking* delle conoscenze possedute sono risultate quelle relative alla sicurezza informatica. Infine i servizi disponibili in rete e i sistemi di gestione delle reti sono apparsi come gli argomenti conosciuti in modo più sommario.

In realtà però l'insieme dei dipendenti ICT degli Enti della Pubblica Amministrazione locale non è omogeneo al suo interno, ma è costituito da tre categorie di persone:

- coloro che svolgono attività di guida e di pianificazione (management);
- le persone che si occupano dello sviluppo di nuove applicazioni (sviluppo);
- gli specialisti delle infrastrutture tecnologiche (sistemisti dell'infrastruttura).

**FIGURA 29**

Le conoscenze tecnologiche possedute mediamente dalla funzione Sistemi Informativi

	Livello medio delle conoscenze informatiche (scala 0-3)
Manager	1
Sistemisti	1,3
Sviluppatori	0,9

TABELLA 1

Livello medio delle conoscenze informatiche per le categorie di appartenenti alla funzione SI nella PA locale

Il rispettivo livello medio delle conoscenze informatiche è riportato nella tabella 1. Separando queste categorie si ottiene una situazione meno preoccupante. In effetti, si nota che i sistemisti hanno un livello di conoscenza della tecnologia superiore rispetto alla media generale, in particolare la loro conoscenza delle reti, della sicurezza, delle metodologie di configurazione e di installazione sono di tipo medio (o medio basso). Forse ci si sarebbe aspettato un livello di conoscenza tecnica maggiore per questa famiglia professionale: purtroppo però, anche nel loro caso, non compaiono indicazioni di padronanza completa di nessuna tematica. Anzi il loro livello di cono-

scenze tecniche non è molto lontano da quello dei manager, che costituiscono – pertanto - la sorpresa positiva nell'indagine.

Infine, chi si occupa di sviluppo rappresenta l'elemento meno preparato sul piano delle conoscenze infrastrutturali. Anche questa situazione non è soddisfacente, perché chi conosce poco le potenzialità della tecnologia finisce poi per non utilizzarle appieno nelle nuove realizzazioni.

Nel riflettere sul grado di preparazione generale del personale appartenente alla funzione Sistemi Informativi non può sfuggire che un livello di conoscenze, che nel caso dei sistemisti non supera mai il valore di 2 (su una scala da 0 a 3), risulta un po' troppo basso (si veda in proposito la figura 30). Questa situazione potrebbe spiegare l'elevata incidenza delle chiamate all'*help desk* per mancanze imputabili agli specialisti e dovrebbe richiedere un'attenzione maggiore sul livello di formazione dei sistemisti. Questi risultati sono preoccupanti non solo laddove l'attività sistemistica è svolta dal personale interno, ma anche laddove è affidata in *outsourcing*, poiché le competenze tecniche sono indispensabili per elaborare capitolati di servizio in

CONFRONTO DELLE COMPETENZE DELLE FAMIGLIE PROFESSIONALI

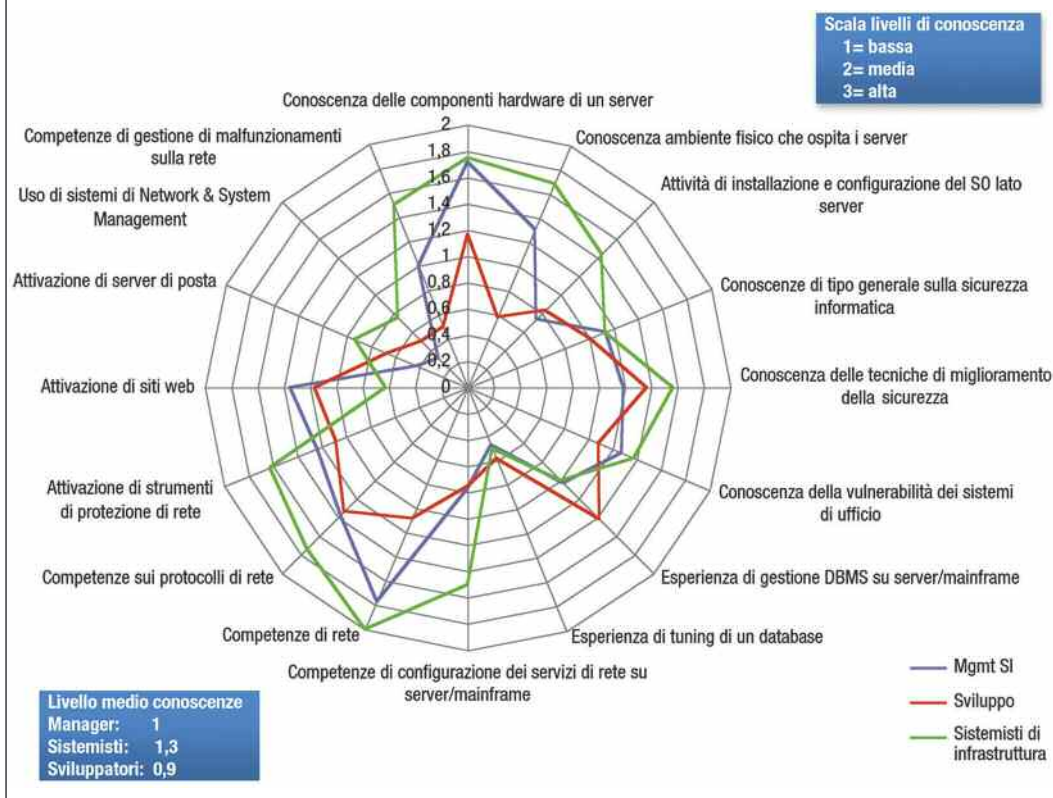


FIGURA 30

Le conoscenze tecnologiche possedute dalle famiglie professionali della funzione Sistemi Informativi

grado di tutelare appropriatamente l'Amministrazione.

Possiamo chiudere con un interrogativo: se l'operatività dei sistemi informatici degli enti pubblici locali è demandata a società esterne, secondo la prassi ormai diffusa dell'*outsourcing*, coloro che sono rimasti nell'ente hanno le competenze giuste per governare e controllare la relazione? Se vi sono lacune tecniche, queste probabilmente dovrebbero essere colmate, al fine di permettere a chi affida l'erogazione del servizio ad un fornitore esterno, di essere capace di controllare adeguatamente il suo operato.

La riduzione di quella parte significativa di costi dell'ignoranza dovuta ai tecnici, può essere ottenuta con un piano di formazione finalizzato ad allineare le loro competenze al modello

EUCIP³, che fa riferimento alle *best practices*, e con il pretendere che il personale dei *provider* esterni sia a sua volta allineato a tale standard, documentabile attraverso una specifica certificazione.

Ciò non riguarda peraltro solo il personale operativo preposto all'esercizio del servizio, corrispondente in particolare ai profili di Systems Engineer, Network Manager, Database Manager, Help Desk Supervisor, Data Center & Configuration Manager e, per le realtà minori, IT Administrator. Riguarda anche coloro che devono provvedere ad una progettazione, o scelta delle applicazioni, attenta non solo alle esigenze funzionali, ma anche alle prestazioni e alle esigenze dell'esercizio del servizio. Si tratta di quelle persone che rispondono ai profili di Business Analyst, Information Systems

³ EUCIP (*European Certification of Informatics Professionals*) è il sistema europeo di riferimento per le competenze ed i profili professionali informatici.

Analyst, Enterprise Solutions Consultant, IT Systems Architect. Infatti, l'attenzione alle diverse tipologie di esigenze è importante condizione per semplificare l'operatività degli utenti finali e ridurre gli inconvenienti di esercizio, nonché i relativi tempi di ripristino delle condizioni operative.

Ringraziamenti

Per l'elaborazione dei dati illustrati in questo capitolo, si ringrazia il dott. Marco Sampetro, docente della Scuola di Direzione Aziendale.

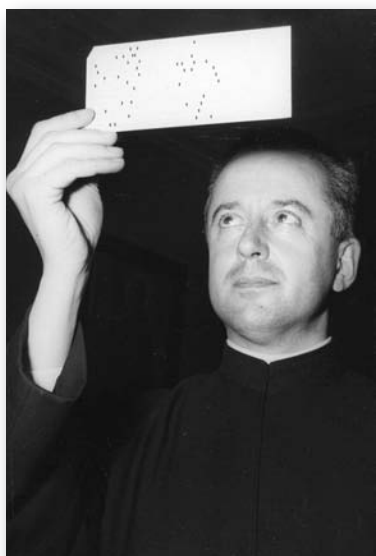
Bibliografia

- [1] Camussone P.F., Occhini G.: Il costo dell'ignoranza nella società dell'informazione. *ETAS*, 2003.
- [2] Borgonovi E., Camussone P.F., Occhini G.: Il costo dell'ignoranza nella sanità. *ETAS*, 2004.
- [3] Camussone P.F., Occhini G., Santececca D.: Competenze digitali e produttività nel settore bancario. *McGraw-Hill*, 2006.
- [4] Bielli P., Camussone P.F., Sala F.: L'ignoranza informatica: Il costo nella pubblica amministrazione centrale. *EGEA*, 2008.
- [5] AICA: *Il modello EUCIP, Un approccio standard alla definizione alla misurazione delle competenze ICT*. 2008.
- [6] Bigini G., Brambilla M., Cappiello C., Plebani P., Rizzo F.: EUCIP - Core Level. Guida alla certificazione per il professionista IT. *Tecniche Nuove*, 2007.
- [7] Bielli P., Camussone P.F., Sala F.: L'ignoranza informatica: Il costo nella pubblica amministrazione locale. *EGEA* 2010, 2011.
- [8] Broggi D.: *Consip: una novità nella pubblica amministrazione*. Franco Angeli, 2006.
- [9] Cantoni F., Mangia G.: *Lo sviluppo dei sistemi informativi nelle organizzazioni. Teoria e casi*. Franco Angeli, 2005.
- [10] Schgor P., Franza G.: *Professione informatica*. Franco Angeli, 2007.
- [11] Teti A., Cipriano E.: *Eucip. Il manuale per l'informatico professionista*. Certificazione Core Level, Hoepli Editore, 2005.
- [12] Teti A.: *Eucip Network Manager*. Hoepli Editore, 2007.
- [13] Teti A.: *Management dei servizi IT. Il manuale per la gestione e la qualità dei servizi informativi*. Dal modello ITIL all'ISO/IEC 20000; Il sole 24 ore Pirola, 2007.
- [14] www.eucip.org

PIER FRANCO CAMUSSONE è Professore Ordinario di Organizzazione e Sistemi Informativi presso la Facoltà di Economia dell'Università degli Studi di Trento. Già direttore dell'Area Sistemi Informativi della Scuola di Direzione Aziendale (SDA) della Bocconi. Autore di numerosi libri e articoli sul ruolo strategico e organizzativo dell'ICT.

E-mail: pierfranco.camussone@unibocconi.it

RICORDANDO ROBERTO BUSA CON PAROLE SUE



Roberto Busa mentre "ostende" una scheda perforata. (Circa 1960).

Padre Roberto Busa, *Societatis Iesu*, si è spento il 9 agosto 2011 nell'Aloisianum di Gallarate.

Nel 2005, al Quirinale, il presidente Carlo Azeglio Ciampi lo aveva insignito del Cavaliato di gran croce, massima onorificenza dell'Ordine al merito della Repubblica Italiana.

Prima di affidare un ricordo alle sue stesse parole, non posso trattenermi dal riandare all'ultimo incontro che ho avuto con questo eminente e atipico personaggio. Si era nella primavera del 2008, a conclusione di un convegno presso i suoi confratelli di Cividale del Friuli. Mentre lo accompagnavo con la mia utilitaria all'aeroporto (a 95 anni viaggiava ancora da solo, e con quale disinvoltura!), ho sentito l'impulso di confidargli, dopo tanti anni di cordiali rapporti, i miei personali motivi di distanza dalle religioni, non solo da quella da lui professata. Ascoltò assorto e non fece alcun commento. Al momento del commiato mi disse solo "diamoci del tu, puoi chiamarmi padre Roberto".

Corrado Bonfanti

SACERDOTE E INFORMATICO¹

Mi rendo conto come la presenza d'un sacerdote negli ambulatori della tecnologia possa suonare esotica: mi sento guardato come un dromedario che si fosse intrufolato nella borsa-valori.

Vi dirò, primo, che non fu una scelta mia, ma obbedienza a un incarico o missione: e ciò dà grande pace e grande forza.

Secondo, anche e precisamente perché sacerdote, mi ci trovo bene: e non solo per sintonia e ammirazione per gli informatici; l'informatica infatti è disciplina interiore e spirituale.

"NON FU UNA SCELTA MIA"²

Sono entrato nell'ordine dei Gesuiti nel 1933. Avevo vent'anni. Tempo appresso il mio superiore mi chiese: "Ti piacerebbe diventare un professore?" "No, per niente!" Il mio desiderio era di fare il missionario per prendermi cura dei poveri. "Benissimo. In ogni modo è proprio quello che farai."

Nel 1941, [...] mi è stata assegnata una tesi di dottorato in filosofia tomistica presso la Pontificia Università Gregoriana di Roma. La ricerca era intesa ad esplorare il concetto di "presenza" secondo Tom-

¹ Tratto da: Busa R: Cinquant'anni a bitizzar parole. In: *Convegno internazionale di storia e preistoria del calcolo automatico e dell'informatica*. Siena, 10-11-12 settembre 1991; AICA, Milano, 1991, p. 81.

² Brani tratti da: Busa R: *The Annals of Humanities Computing: The Index Thomisticus*. In: *Computers and the Humanities*, Vol. 14, n. 2, October 1980, p. 83-90. Traduzione dell'autore.

maso d'Aquino. [...] Nel corso di questa ricerca, sono emerse con evidenza due considerazioni basilari. In primo luogo ho capito che un'interpretazione dottrinale dell'opera di un autore deve essere preceduta e preparata dall'analisi filologica e lessicografica del suo sistema verbale. [...].

A seguito di queste conclusioni preliminari, nel 1946 ho cominciato a pensare a un "Index Thomisticus", vale a dire a una concordanza di tutte le parole nelle opere di Tommaso d'Aquino, comprese congiunzioni, preposizioni e pronomi, [secondo metodi di analisi] da utilizzarsi da altri studiosi in ricerche analoghe. [...] D'altra parte mi era chiaro che per elaborare dei testi che contengono oltre dieci milioni di parole, dovevo darmi da fare per cercare qualche ausilio macchinistico. Nel 1949 [...] ho visitato circa 25 università americane, da costa a costa, chiedendo notizie su qualsiasi congegno che potesse risultare utile nel produrre quel tipo di concordanza che avevo in mente. [...] Jerome Wiesner del M.I.T. mi ha indirizzato all'IBM, New York, dove qualcuno fu incaricato di esaminare il mio progetto. Il giorno in cui dovevo incontrare Thomas J. Watson, Sr. [il padre-padrone della strapotente IBM dell'epoca] ero al corrente che sulla sua scrivania c'era un rapporto in cui si affermava che le macchine IBM [i sistemi meccanografici a schede perforate] non avrebbero mai potuto fare ciò che io desideravo. Nella sala d'attesa, avevo adocchiato un piccolo poster che riportava le parole: "Il difficile lo facciamo subito; per l'impossibile dateci un po' più di tempo" (IBM ha sempre amato gli slogan). L'ho portato con me nell'ufficio di Mr. Watson. Sedendo in faccia a lui e avvertendo il potere ultimativo che avrebbe avuto la sua opinione, ho avuto l'ispirazione di dire: "non è giusto dire no prima di averci provato." Ho tirato fuori il poster mostrandogli il suo proprio slogan. Egli espresse il consenso a che IBM cooperasse al mio progetto fino alla conclusione "a patto che lei non trasformi IBM in International Busa Machines." [...] Lo avevo già informato che, dal momento che i miei superiori mi avevano provveduto di tempo, di incoraggiamenti, delle loro benedizioni e di abbondante acqua santa, ma sfortunatamente non di denaro, io avrei potuto ricompensare IBM in qualsiasi maniera tranne che finanziariamente. Fu opera della provvidenza! [...].

Sebbene qualcuno affermi che io sono il pioniere del computer nelle Humanities, questo titolo necessita di parecchie precisazioni. A questo proposito, Mr. Lee Loevinger nella Minnesota Law Review (Aprile 1949) in un articolo sulla giurimetria scrisse: "Oggi ci sono macchine che imitano i processi del pensiero al punto di poter risolvere equazioni differenziali. Perché mai non potremmo costruire macchine capaci di risolvere controversie giudiziarie?" E negli scaffali della biblioteca IBM di New York ho dato una scorsa a un libro (di cui non ricordo il titolo) pubblicato tra il 1920 e il 1940: in esso si affermava che sarebbe possibile compilare elenchi [ordinati] di nominativi mediante schede perforate. Può darsi che altri possano rivendicare di aver lavorato prima di me su tali argomenti. [...] Essere il primo ad avere un'idea è questione di fortuna. Se qualche merito può esserci, esso consiste nel perseverare in quell'idea. [...].

Oltre alle 10.600.000 parole dell'Index Thomisticus, ho elaborato altri cinque milioni di parole, in italiano, inglese, tedesco, russo, greco antico ed ebraico, aramaico e natabeano [...]. Gli argomenti spaziavano dagli abstract di fisica nucleare e di matematica ai Rotoli di Qumran e alle opere di Dante, Kant e Goethe. Nella primavera del 1958 l'analisi dei Rotoli del Mar Morto è stata pubblicizzata in tutto il mondo sulle prime pagine dei giornali³ [...].

Ho potuto completare il mio Index Thomisticus 33 anni dopo il concepimento del progetto e 30 anni dopo il mio primo incontro con IBM. A quel momento si trattava della prima impresa nel campo della linguistica computazionale.

I NUMERI DI PADRE ROBERTO⁴

Oltre che in 245 congressi, tenni o corsi o lezioni o conferenze in 60 città italiane più 40 europee, più 17 in Nordamerica, più 9 in Asia e Africa, più 3 in Sudamerica.

Alla data odierna [marzo 2008] le mie pubblicazioni sono 440, di cui 116 volumi per circa 80.000 pa-

³ Si tratta dei manoscritti di epoca paleocristiana rinvenuti nel 1947 a Qumran, nei pressi del Mar Morto.

⁴ Tratto da un "Rapporto ai Superiori", stilato da R. Busa in data 7.3.2008 e trasmesso confidenzialmente all'autore.

gine e 305 articoli per oltre 5.000 pagine: di cui oltre alle italiane e alle latine, 86 scritte o tradotte in albanese, ebraico, francese, georgiano, inglese, portoghese, russo, spagnolo, tedesco.

Roberto Busa è stato relatore invitato in almeno due manifestazioni AICA: il Congresso Annuale tenutosi a Trieste nel 1989 e il Convegno internazionale di storia e preistoria del calcolo automatico e dell'informatica – Siena, 10-11-12 settembre 1991. In occasione del *World Computer Congress* dell'IFIP (Milano, 2008), AICA ha voluto ricordare i personaggi italiani che hanno maggiormente contribuito al progresso dell'informatica e delle sue applicazioni; Roberto Busa è tra di essi.

MOMENTI DI UNA VITA⁵

Roberto Busa è nato nel 1913 in contrada Busa di Lusiana, provincia di Vicenza. Nel Seminario Vescovile di Belluno ha frequentato dal 1928 il liceo e il primo biennio di teologia con Albino Luciani, poi papa Giovanni Paolo I. Entrato nella Compagnia di Gesù l'11 novembre 1933, vi ha conseguito la licenza in filosofia nel 1937 e in teologia nel 1941 e venne ordinato sacerdote il 30 maggio 1940. Negli anni 1940-43 fu cappellano militare ausiliario dell'esercito e in seguito delle forze partigiane. Nel 1946 ha conseguito la docenza in filosofia presso la Pontificia Università Gregoriana in Roma, con il lavoro "La terminologia tomistica dell'interiorità", pubblicata nel 1949. È stato ordinario di ontologia, teodicea e metodologia scientifica, e per alcuni anni anche bibliotecario, nella facoltà di filosofia "Aloisianum" di Gallarate.

Del 1946 è la progettazione dell'*Index Thomisticus*. Nel 1949 iniziò le prove di automazione linguistica presso la IBM di New York e di Milano e la stessa IBM gli assicurò assistenza. Per la gestione delle elaborazioni si costituì il Centro Automazione Analisi Linguistica (CAAL). Le operazioni ebbero sede a Gallarate e a Milano sino al 1967; quindi per due anni a Pisa e per altri due anni a Boulder nel Colorado; infine per nove anni a Venezia, ove nel 1974 iniziò e nel 1980 fu conclusa la fotocomposizione computerizzata delle 70.000 pagine nei 56 volumi formato enciclopedia dell'*Index Thomisticus* [oggi disponibile su CD]. Le tappe della promozione internazionale dei metodi di ricerca e di analisi linguistica sono segnate dai 143 congressi cui padre Busa prese parte attiva nel corso del quarantennio in tre continenti. Con il 1983 al CAAL è succeduta una nuova associazione per la Computerizzazione delle Analisi Ermeneutiche e Lessicografiche, CAEL, che ha sede all'*Aloisianum*, in Gallarate.

Padre Busa all'Università del Sacro Cuore di Milano ha fondato il Gruppo Interdisciplinare per le Ricerche della Computerizzazione dei Segni dell'Espressione (GIRCSE), ha tenuto seminari di lessicografia e lessicologia tomistica e tiene corsi di informatica linguistica. Presso la Pontificia Università Gregoriana di Roma tiene pure corsi di analisi informatica dei testi e di ermeneutica tomistica.

In queste parole, scritte nel 1991, padre Busa non fa cenno a un altro suo grande progetto: quello delle *Lingue Disciplinate*, finalizzato alla traduzione automatica, uno dei temi ricorrenti delle ricerche in intelligenza artificiale. Vi si dedicò negli ultimi anni di feconda attività – durante i quali tenne anche lezioni di filosofia e psicologia per l'IA e la robotica al Politecnico di Milano – ma le sue prime idee in materia risalgono verosimilmente alle frequentazioni con i cibernetici Eduardo Caianiello e Norbert Wiener.

⁵ Tratto dal "Profilo dell'autore", premesso a "Cinquant'anni a *bitizzar* parole", cit., p. 72, con qualche rimangiamento dell'autore.

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.



Privacy sul posto di lavoro

David D'Agostini, Antonio Piva, Luca Zenarolla

1. INTRODUZIONE

Sempre più numerosi sono i casi di controversie che vengono devolute all'attenzione del Garante Privacy o del Giudice del Lavoro e che sono conseguenti a provvedimenti disciplinari irrogati dal datore di lavoro ai dipendenti e relativi all'uso, da parte degli stessi, di Internet e della posta elettronica. È lo stesso Garante, nelle premesse del suo provvedimento generale dell'1 marzo 2007 ad affermare: *“Dall'esame di diversi reclami, segnalazioni e quesiti è emersa l'esigenza di prescrivere ai datori di lavoro alcune misure, necessarie o opportune, per conformare alle disposizioni vigenti il trattamento di dati personali effettuato per verificare il corretto utilizzo nel rapporto di lavoro della posta elettronica e della rete Internet”*¹.

Siamo in presenza di un ambito molto delicato perché si tratta di bilanciare due esigenze certamente meritevoli di tutela: da una parte l'interesse del datore di lavoro a controllare che il dipendente non utilizzi le risorse aziendali per finalità personali e in contrasto con l'attività lavorativa, dall'altra quello del lavoratore a che tali controlli non siano invasivi della propria sfera di riservatezza nelle relazioni personali e professionali.

Di seguito due esempi di controversie ispirate a casi reali giunti all'attenzione del Garante Privacy e dell'Autorità Giudiziaria:

1. Tizio, addetto all'accettazione di una casa di cura, è destinatario di un provvedimento disciplinare per accessi a Internet non autorizzati effettuati sul posto di lavoro. In particolare il datore di lavoro, controllando la cronologia del browser, ha rilevato che il dipendente ha navigato continuamente in orario di lavoro in siti a carattere politico e pornografico. Tizio ricorre al Garante Privacy contestando che questi controlli costituiscano violazione della propria riservatezza, chiedendo il divieto per il datore di trattare ulteriormente le informazioni assunte illecitamente. Il Garante, pur riconoscendo la ragione sostanziale del datore di lavoro, accoglie il ricorso².

2. L'azienda Alfa per verificare il rispetto delle policy aziendali in tema di corretto utilizzo degli strumenti elettronici dati in uso al personale, installa su tutti i terminali un programma in grado di registrare in maniera sistematica l'attività svolta dal singolo lavoratore. In questa maniera scopre che alcuni dipendenti navigano su siti Internet per ragioni non attinenti all'attività lavorativa e li licenzia. La Cassazione, investita in

¹ “Lavoro: le linee guida del Garante per posta elettronica e Internet” (Gazzetta Ufficiale n. 58 del 10 marzo 2007) <http://www.garanteprivacy.it/garante/doc.jsp?ID=1387522>

² Decisione su ricorso, “Internet: proporzionalità nei controlli effettuati dal datore di lavoro” - 2 febbraio 2006 <http://www.garanteprivacy.it/garante/doc.jsp?ID=1229854>

ultimo grado della controversia, censura il comportamento del datore di lavoro³.

2. LA PRIVACY SUL LUOGO DI LAVORO

Gli scenari sopra riportati, relativi a vicende realmente accadute, sono solamente alcune delle possibili controversie che riguardano la delicata materia della tutela della privacy del dipendente sul luogo di lavoro. Internet e, più in generale, gli strumenti informatici sono entrati prepotentemente nella nostra vita quotidiana e nella nostra attività lavorativa. Oggigiorno è impensabile riuscire a svolgere la nostra attività rinunciando, ad esempio, alla posta elettronica, al VOIP ecc..

A fronte degli innegabili vantaggi connessi all'uso di questi servizi, però, è necessario rendersi conto di alcuni aspetti di non secondaria importanza: a differenza di altri strumenti tradizionali, essi si prestano ad utilizzi ulteriori e non manifesti. Anche se l'utente non se ne accorge, tutto (o quasi) quello che viene fatto on-line lascia una traccia che può essere utilizzata o controllata più o meno legittimamente.

3. I CONTROLLI

Implementare un sistema informatico in azienda comporta una serie di attività e di costi che non si riducono semplicemente a quelli iniziali per la sua realizzazione e prima configurazione. Di più, non sono nemmeno sufficienti le attività periodiche di manutenzione del sistema.

Nel momento in cui un'azienda decide di utilizzare quelli che il Legislatore definisce genericamente come "strumenti elettronici" sorge in capo ad essa un nuovo obbligo, che è quello di garantire che le operazioni di trattamento delle informazioni effettuate con essi avvenga nel rispetto di precise garanzie anche tecniche. E ciò deve essere inteso in senso ampio. Se esiste una norma che impone di dotarsi di *antivirus* e *firewall*, è evidente che la ratio della stessa vuole che il funzionamento di questi strumenti sia monitorato per prevenire possibili lesioni ai dati e ai sistemi, e che questi controlli devono riguardare non solo i rischi provenienti dall'esterno, ma anche quelli provenienti dall'interno dell'azienda

stessa. Il punto di partenza di questa vicenda è, quindi, che il datore di lavoro non solo può ma addirittura DEVE effettuare controlli sul sistema informatico aziendale.

4. IL QUADRO NORMATIVO

Acclarata, quindi, la necessità di effettuare controlli, è necessario stabilire una sorta di linea guida affinché tale attività rimanga nell'alveo della legittimità. Dal punto di vista tecnico, infatti, esistono diversi strumenti, anche *open source*, che consentono di monitorare in maniera pressoché totale l'attività del lavoratore. Il nocciolo della questione, invece, è stabilire quali di questi strumenti siano utilizzabili senza incorrere in violazioni di legge che rischiano non solo di rendere inutilizzabili le informazioni così acquisite, ma anche di ricevere una sanzione.

Le normative che bisogna tenere in considerazione sono essenzialmente due:

- lo Statuto dei Lavoratori (Legge 300/1970);
- il Codice in materia di protezione dei dati personali (D.Lgs. 196/2003).

5. I CONTROLLI A DISTANZA

Recita l'articolo 4 dello SdL: "*È vietato l'uso di impianti audiovisivi e di altre apparecchiature per finalità di controllo a distanza dell'attività dei lavoratori*". Questa prescrizione, nata in un preciso momento storico e con una ben specifica motivazione, trova ai giorni nostri nuovi ambiti di applicazione. Per pacifica interpretazione giurisprudenziale, infatti, rientrano nel divieto tutti quegli strumenti che consentono di controllare "a distanza" le attività compiute dal lavoratore sul proprio computer.

L'art. 4 in questione disciplina in modo diverso due ipotesi:

- apparecchiature finalizzate specificatamente al controllo a distanza dell'attività dei lavoratori, che sono assolutamente proibite;
- apparecchiature installate per esigenze organizzative e produttive ovvero della sicurezza del lavoro, ma tali comunque da poter essere utilizzate anche per il controllo a distanza del dipendente, consentite soltanto a condizione del previo accordo sindacale ovvero, in assenza di questo, del provvedimento autorizzativo della direzione provinciale del lavoro territorialmente competente.

³ Corte di Cassazione, Sezione Lavoro, Sentenza n. 4375/2010.

Resta da dire dei c.d. **controlli difensivi**, categoria di controlli che non si trova nel dettato normativo ma di genesi giurisprudenziale. La Cassazione, con la sentenza n. 4746 del 3 aprile 2002, infatti, ha affermato il seguente principio *“Ai fini dell’operatività del divieto di utilizzo di apparecchiature per il controllo a distanza dell’attività dei lavoratori previsto dall’articolo 4 della legge n. 300 del 1970, è necessario che il controllo riguardi (direttamente o indirettamente) l’attività lavorativa, mentre devono ritenersi certamente fuori dell’ambito di applicazione della norma i controlli diretti ad accertare condotte illecite del lavoratore (c.d. controlli difensivi), quali, per esempio, i sistemi di controllo dell’accesso ad aree riservate, od, appunto, gli apparecchi di rilevazione di telefonate ingiustificate”*.

Alla luce di questa sentenza, quindi, si devono escludere dall’ambito di applicazione dell’art. 4 dello Statuto dei Lavoratori quei controlli diretti ad accertare condotte illecite del lavoratore (cosiddetti controlli difensivi) che, quindi, sono ammessi senza dover sottostare ai limiti e alle regole sopraindicate.

È necessaria, però un’ultima precisazione: una recente sentenza della Cassazione⁴, nel censurare l’operato di un datore di lavoro che utilizzava un software (Super Scout) per monitorare in maniera continuativa e senza avvertire i lavoratori la navigazione in internet dei dipendenti, ha di fatto ristretto il concetto di controllo difensivo. Per poter rientrare in questa categoria, detti controlli devono essere occasionali e non continuativi oltre che indispensabili ai fini della tutela del patrimonio aziendale o per l’accertamento di aspetti della prestazione lavorativa che potrebbero essere altrimenti conoscibili solo attraverso un controllo palese ma continuativo e, quindi, oppressivo e invasivo, oltre che oneroso.

6. LE LINEE GUIDA DEL GARANTE PRIVACY

Il primo marzo 2007 il Garante Privacy ha emanato delle importanti linee guida per posta elettronica e internet sul posto di lavoro. È un testo fondamentale per riuscire a capire, in pratica, in che

modo porre in essere i controlli sull’utilizzo da parte dei lavoratori di questi strumenti. Si tratta, ad ogni buon conto, di un insieme di regole che integra il disposto dello Statuto dei Lavoratori ma che, ovviamente, non si sostituisce ad esso. Punto di partenza è la considerazione che una qualsiasi attività di controllo costituisce, ai sensi del D.Lgs. 196/03, un’attività di trattamento di dati personali: di conseguenza ai controlli devono essere applicati tutti i principi e le regole contenute nel Codice Privacy.

In primo luogo il controllo deve essere ispirato al principio di necessità, in base a cui i sistemi informativi e i programmi informatici devono essere configurati, già in origine, in modo da ridurre al minimo l’utilizzo di dati personali, e a quello di proporzionalità rispetto alle finalità perseguite.

In secondo luogo è necessario che queste particolari ipotesi di trattamenti di dati personali siano ispirate ad un canone di trasparenza, per cui è da escludere la possibilità di un controllo informatico “all’insaputa dei lavoratori”. Il datore di lavoro ha quindi il dovere di indicare preventivamente e in modo particolareggiato (anche integrando le esistenti informative ex articolo 13 D.Lgs. 196/03), quali siano le modalità di utilizzo degli strumenti messi a disposizione ritenute corrette e se, in che misura e con quali modalità vengano effettuati controlli.

In questo quadro è indispensabile adottare un **disciplinare interno** da pubblicizzare adeguatamente (verso i singoli lavoratori, nella rete interna, mediante affissioni sui luoghi di lavoro con modalità analoghe a quelle previste dall’art. 7 dello Statuto dei lavoratori) e che contenga disposizioni chiare in merito a ciò che è consentito o è vietato fare con gli strumenti e i servizi aziendali indicando:

- se determinati comportamenti sono tollerati rispetto alla “navigazione” in Internet (per esempio, il *download* di software o di file musicali), oppure alla tenuta di file nella rete interna;
- quali informazioni sono memorizzate temporaneamente (per esempio, le componenti di file di *log* eventualmente registrati) e chi (anche all’esterno) vi può accedere legittimamente;
- se e quali informazioni sono eventualmente conservate per un periodo più lungo, in forma centralizzata o meno (anche per effetto di copie di *back up*, della gestione tecnica della rete o di file di *log*);

⁴ Corte di Cassazione, Sezione Lavoro, Sentenza n. 4375/2010.

□ se, e in quale misura, il datore di lavoro si riserva di effettuare controlli in conformità alla legge, anche saltuari o occasionali, indicando le ragioni legittime - specifiche e non generiche - per cui verrebbero effettuati (anche per verifiche sulla funzionalità e sicurezza del sistema) e le relative modalità (precisando se, in caso di abusi singoli o reiterati, vengano inoltrati preventivi avvisi collettivi o individuali ed effettuati controlli nominativi o su singoli dispositivi e postazioni);

□ quali conseguenze, anche di tipo disciplinare, il datore di lavoro si riserva di trarre qualora constatati che la posta elettronica e la rete Internet sono utilizzate indebitamente;

□ le prescrizioni interne sulla sicurezza dei dati e dei sistemi (art. 34 del Codice, nonché Allegato B), in particolare regole 4, 9, 10.

7. APPARECCHIATURE PREORDINATE AL CONTROLLO A DISTANZA

Il provvedimento ribadisce, poi, che a prescindere dal fatto che il lavoratore ne sia informato non può ritenersi consentito il trattamento effettuato mediante sistemi hardware e software preordinati al controllo a distanza, grazie ai quali sia possibile ricostruire - a volte anche minuziosamente - l'attività dei lavoratori. È il caso, per esempio:

□ della lettura e della registrazione sistematica dei messaggi di posta elettronica ovvero dei relativi dati esteriori, al di là di quanto tecnicamente necessario per svolgere il servizio e-mail;

□ della riproduzione ed eventuale memorizzazione sistematica delle pagine web visualizzate dal lavoratore;

□ della lettura e della registrazione dei caratteri inseriti tramite la tastiera o analogo dispositivo (*keylogger*);

□ dell'analisi occulta di computer portatili affidati in uso.

8. SISTEMI CHE CONSENTONO CONTROLLI "INDIRETTI"

Il datore di lavoro, utilizzando sistemi informativi per esigenze produttive o di sicurezza (per esempio, per rilevare anomalie, per manutenzioni o per verificare il regolare funzionamento degli strumenti) può avvalersi legittimamente di sistemi che consentono indirettamente un

controllo a distanza (c.d. controllo preterintenzionale). In questo caso, però, il datore di lavoro è chiamato a promuovere ogni opportuna misura, organizzativa e tecnologica volta a prevenire il rischio di utilizzi impropri (da preferire rispetto all'adozione di misure "repressive") e, comunque, a "minimizzare" l'uso di dati riferibili ai lavoratori.

Per esempio, per quanto attiene alla navigazione su Internet è fondamentale che in azienda la navigazione non sia "libera" ma che, attraverso *proxy* o altri sistemi:

□ siano individuate categorie di siti considerati correlati o meno con la prestazione lavorativa o, comunque, sia impedita la navigazione su siti che sicuramente non concernono l'attività lavorativa;

□ siano configurati sistemi o filtri che prevengano determinate operazioni - reputate interferenti con l'attività lavorativa - quali l'*upload* e/o il *download* di file o software aventi particolari caratteristiche (dimensionali o di tipologia di dato). In tema di posta elettronica, invece è opportuno che:

□ il datore di lavoro renda disponibili indirizzi di posta elettronica condivisi tra più lavoratori (per esempio, *info@alfa.it*, *ufficiovendite@alfa.it*, ecc.);

□ il datore di lavoro metta a disposizione di ciascun lavoratore apposite funzionalità di sistema, di agevole utilizzo, che consentano di inviare automaticamente, in caso di assenze (per esempio, per ferie o attività di lavoro fuori sede), messaggi di risposta contenenti le "coordinate" (anche elettroniche o telefoniche) di un altro soggetto o altre utili modalità di contatto della struttura;

□ i messaggi di posta elettronica contengano un avvertimento ai destinatari nel quale sia dichiarata l'eventuale natura non personale dei messaggi stessi, precisando se le risposte potranno essere conosciute nell'organizzazione di appartenenza del mittente.

9. CONCLUSIONI: L'IMPORTANZA DI UN SISTEMA INFORMATICO BEN CONFIGURATO

Il Garante Privacy, in conclusione, sottolinea l'importanza di queste attività preventive: con un sistema informatico configurato correttamente, infatti, vengono a mancare i presupposti affinché possano nascere controversie tra datori e lavoratori.

Tornando, infatti ai due esempi visti prima, se fossero state impostate le restrizioni sulla navigazione internet non ci sarebbe stata la neces-

sità di procedere disciplinarmente nei confronti del lavoratore e, conseguentemente, si sarebbe evitato il contenzioso.

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

LUCA ZENAROLLA, avvocato, esperto di informatica giuridica e diritto delle nuove tecnologie. Autore di articoli per riviste e portali di settore, relatore in numerosi convegni e seminari su diritto e informatica. Presidente dell'associazione culturale CINDI, Centro Innovazione & Diritto. www.cindi.it

E-mail: info@cindi.it