

TECNICHE DI SIMULAZIONE IN CAMPO AUTOMOBILISTICO

La spinta verso la riduzione dei tempi e dei costi ha guidato la progettazione virtuale verso potenti e veloci metodi di calcolo: oltre al tradizionale FEM si sono sviluppati altri metodi di grande valore predittivo. Tale tendenza ha formato un ingegnere progettista orientato verso una conoscenza di metodi matematici e strumenti numerici; parallelamente si è sviluppata una forza verso potenze di calcolo crescenti e gestioni di grandi risorse computazionali; queste diverse spinte stanno formando una figura professionale nuova, ridisegnando il ruolo e le competenze dell'ingegnere progettista.

1. UNA VISIONE RISTRETTA?

Rischiando di esordire con una banalità, si deve premettere che un autoveicolo è un sistema complesso: a tal punto che per un ingegnere di oggi è difficile avere la stessa conoscenza estesa e approfondita dei vari sistemi che compongono un veicolo come quella che poteva avere un grande ingegnere di quarant'anni fa: ho in mente Dante Giacosa, *si parva licet*. Ciò per dire che oggi un autoveicolo è progettato integrando le più diverse competenze e abilità, e un ingegnere con esperienza nella progettazione strutturale di un autoveicolo ha comunque una visione settoriale. Non necessariamente una visione ristretta, anzi a volte anche molto ampia, a seconda della sua esperienza e della sua formazione, dei compiti svolti durante la progettazione e anche del percorso seguito in questi ultimi anni, che sarebbe riduttivo definire frenetici e tumultuosi.

Quella che segue è dunque un'analisi vista da una prospettiva particolare: quella di un progettista, formatosi in una scuola Politecnica la quale ricalca(va) l'impostazione ottocentesca

delle Scuole d'Ingegneria francesi, che ha avuto la fortuna di poter iniziare ad usare i primi sistemi di calcolo dedicati all'analisi strutturale e - naturale evoluzione - alla simulazione numerica in senso lato dei sistemi meccanici che compongono un veicolo.

2. I PROBLEMI MECCANICI E LA SIMULAZIONE

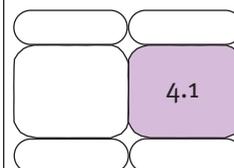
2.1. I problemi meccanici

Per poter parlare con chiarezza del presente e del futuro della simulazione in campo autoveicolistico, è necessario tenere conto anche del suo passato, che non sempre è un passato recente.

Ricordiamo che l'argomento della Meccanica (classica) è lo studio del moto dei corpi; del "come" e del "perché" del moto, ovvero del modo in cui un corpo si muove e delle cause che provocano e determinano il moto. È una definizione storica che, se può essere fatta risalire alla classicità greca, ha trovato la sua sistemazione compiuta nella metà del XIX secolo con Kirchhoff.



Roberto Vadori



Gli strumenti a disposizione degli ingegneri progettisti, sino a pochi decenni fa, erano sostanzialmente gli stessi a disposizione degli ingegneri delle scuole Politecniche dell'ottocento: una solida base costruita sul calcolo infinitesimale, sulla meccanica razionale, sulla meccanica del continuo. Diciamo che i metodi ed i risultati di Newton, Leibniz, Lagrange e Cauchy hanno costituito e tutt'ora costituiscono il nocciolo della formazione culturale e tecnica di un ingegnere meccanico: un arco di tempo pari a due secoli.

Agli occhi e alla mente di un ingegnere dunque la meccanica di un corpo è descrivibile mediante un insieme di equazioni differenziali, generalmente alle derivate parziali nelle coordinate spaziali e alle derivate totali nel tempo. La soluzione di questa serie di equazioni fornisce un legame diretto tra la posizione occupata da un corpo in un certo istante di tempo e la posizione occupata in ogni istante futuro. Il valore predittivo di una soluzione di questo tipo è decisivo: dato il "qui ed ora", il modello matematico della soluzione delle equazioni per-

mette di dire tutto sul passato e sul futuro del sistema meccanico (naturalmente fatte salve le ipotesi che hanno permesso di ottenere la soluzione).

La soluzione delle equazioni della meccanica è ottenibile "in forma chiusa", ovvero con legame diretto tra spazio occupato dal corpo e tempo, in pochi fortunati casi¹: non appena la complessità del modello meccanico cresce, anche di poco, la soluzione sfugge, diventa irraggiungibile (Figura 1): è necessario ricorrere ad altri mezzi per ottenere delle risposte.

Gli ingegneri meccanici progettisti di autoveicoli si confrontano ogni giorno con una forma particolare del problema posto dalla Meccanica: si chiedono: "come si dispone nel tempo un autoveicolo"? Mentre la risposta può, almeno all'apparenza, essere immediata in condizioni, diciamo così, "normali", diventa molto meno semplice se per esempio ci si chiede: "come si dispone nel tempo un autoveicolo che urta contro una parete fissa partendo da una velocità di 50 km/h? E come si muovono all'interno di esso dei simulacri di passeggeri? E come si muove, si deforma, si dispone uno spazio che li racchiude e che viene chiamato "spazio di sopravvivenza"?". La risposta a queste domande è tutt'altro che banale. Non solo, è tutt'altro che accademica, visto che decide, o aiuta a decidere, della vita degli occupanti di un veicolo coinvolto in un incidente stradale.

2.2. La simulazione

La soluzione delle equazioni differenziali, oltre che in forma chiusa, può essere ottenuta in forma numerica approssimata. Le tecniche algebriche coinvolte vanno sotto il generico nome di "tecniche di discretizzazione", dato che il loro obiettivo è operare su quantità continue (lo spazio e il tempo) ponendo in relazione tra loro una serie di quantità discrete (una rete di punti nello spazio e una serie di istanti temporali intervallati tra loro). A seconda della "granularità" della discretizzazione, della fittezza di suddivisione dello spazio e del tempo in istanti e punti, si hanno - rispettando alcune condizioni - delle soluzioni numeriche che si avvicinano



FIGURA 1

Michael Maier, Atalanta Fugiens (1618): una metafora dell'attività ingegneristica

¹ Fortunatamente i "pochi" casi sono tecnicamente essenziali: la teoria delle travi, dei gusci, dei solidi a simmetria cilindrica e a parete sottile forniscono al progettista una serie di strumenti fondamentali per la progettazione razionale delle strutture meccaniche.

con accuratezza via via crescente alla soluzione analitica che si otterrebbe risolvendo la serie di equazioni. Non solo, le tecniche di discretizzazione permettono di fare delle stime dell'errore che si commette, affermando che l'errore non può essere superiore a una certa quantità, e permettono di fare anche una stima del prezzo che si deve pagare per ottenere una soluzione più precisa, sia in termini di risorse computazionali che di tempo occorrente.

Tali tecniche affondano le loro radici in anni di molto posteriori a Lagrange e Cauchy: quasi un secolo e mezzo dopo. Le radici di questi nuovi metodi sono americane ma anche europee: a metà degli anni '50 Clough a Berkeley, in California, insieme a Turner della Boeing e Argyris a Stoccarda, in Germania, iniziano a sviluppare quello che oggi è diventato il metodo di soluzione principale per i problemi ingegneristici complessi: il Metodo degli Elementi Finiti (FEM, *Finite Element Method*). Il metodo nasce non senza difficoltà: per molti anni il *Journal of Applied Mathematics* rifiutò articoli sul metodo FEM perché considerato di nessun valore scientifico. Ma per i molti progettisti impegnati nella progettazione aeronautica e aerospaziale, il FEM venne subito considerato per quello che era: una promessa molto chiara. Finalmente ci si poteva cimentare nell'analisi e nel progetto delle strutture complesse del mondo reale².

Il risultato finale di queste tecniche è, in generale, un sistema lineare, o una successione di sistemi lineari, che deve essere risolto nelle sue incognite. Quante incognite? Alcune centinaia di migliaia, sino a giungere ad alcuni milioni. Il FEM procede di pari passo con l'evoluzione degli elaboratori: senza di essi non sarebbe un metodo proponibile. Il primo elaboratore che risolse un problema FEM fu, nel 1957, un IBM 701 dell'Università di Berkeley; l'elaboratore, dotato di unità a nastro e di una RAM di 4096 locazioni di memoria da 16 bit, poteva risolvere al massimo un sistema di circa 40 equazioni lineari simultanee.

Sarebbe certamente interessante seguire l'evoluzione del metodo FEM confrontandolo di

pari passo con l'evoluzione dei calcolatori, sino a delineare la situazione presente, dove una simulazione FEM è condotta su elaboratori con CPU a frequenza di clock dell'ordine dei 3 GHz, con RAM dell'ordine dei GBytes e spazio su disco misurato in TBytes, con una legge di crescita esponenziale delle prestazioni apparentemente inarrestabile. Oggi un'analisi strutturale FEM è in grado di gestire un *full crash* di un autoveicolo come un calcolo ormai considerato di routine. Ma la tendenza è davvero quella che sembra suggerirci una applicazione della legge di Moore o forse siamo vicini ad un cambiamento inatteso?

3. NUOVE TECNICHE DI SIMULAZIONE

È difficile fare previsioni sul futuro della progettazione numerica dell'autoveicolo; per esempio, stanno nascendo metodi numerici nuovi, non più vincolati ad una delle tradizionali strettoie, sia in termini di costo che di tempo, della costruzione di un modello numerico: la discretizzazione spaziale e la costruzione della *mesh*. Metodi *meshless*, come per esempio il relativamente meno recente metodo SPH, *Smoothed Particle Hydrodynamics*, iniziano già oggi ad essere implementati in codici commerciali, ma il campo dell'applicazione dei metodi SPH nella meccanica strutturale è ancora piuttosto inesplorato. Altri metodi che hanno invece iniziato a percorrere una strada già decisamente rivolta verso la maturità applicativa si basano su un approccio statistico del modello numerico.

Un primo esempio di applicazione di tecniche non tradizionali proviene da un studio completamente diverso dal FEM, nato cercando di risolvere un problema di interesse industriale: qual è l'effetto di una raffica di particelle sollevate dalle ruote in moto sul sottoscocca e sulle parti in vista di un veicolo? Il fenomeno, noto come "*stone chipping*", determina il rapido insorgere di nuclei di corrosione nelle zone interessate (Figura 2), se non adeguatamente protette, ma il *layout* dei sistemi di protezione, nel caso specifico strati di vernici protettive sul sottoscocca o pellicole trasparenti sulle parti in vista, è deciso in base all'esperienza e ad una certa qual dose di intuito.

² Ted Belytschko *et alii*, *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures*, p. 4.



FIGURA 2

“Stone Chipping” su parti in vista di un autoveicolo. L’urto delle particelle sollevate dalle ruote durante il moto del veicolo è causa di innesco di corrosione sulle parti in vista colpite

Il problema fu proposto dal gruppo FIAT Auto ad AMET ed Altair Engineering con l’obiettivo di sviluppare un metodo per la progettazione razionale della disposizione delle pellicole protettive e degli strati di vernice assorbenti. Una simulazione della reale cinematica delle particelle, delle loro mutue interazioni e della dinamica dell’urto con le parti colpite è impensabile: probabilmente è affrontabile da un punto di vista computazionale, ma è inutilmente accurata: per esempio, che utilità avrebbe il simulare il moto di due particelle che si urtano in volo, deviano dal loro percorso e non colpiscono il veicolo? Non solo, il numero di particelle sollevate durante una prova su pista è dell’ordine di grandezza di alcune centinaia di migliaia: la simulazione “puntuale” di un sistema di questo tipo rappresenta uno sforzo computazionale enorme e inutile, un vero spreco di risorse.

Si è allora affrontato il problema con metodi probabilistici: è stata definita una “particella” casuale, dotata di massa, posizione di partenza e velocità iniziale distribuite secondo opportune distribuzioni di probabilità. La particella, lanciata verso il veicolo, lo colpisce in un punto determinato (o non lo colpisce affatto) e con una certa angolazione rispetto alla normale locale del punto di impatto. L’angolo formato tra direzione di impatto e normale locale è una possibile misura della

quantità di energia cinetica che una particella è in grado di trasmettere alla parte colpita: in misura maggiore se l’urto è “frontale”, via via decrescente fino ad urti completamente “tangenziali”.

La generazione di decine o anche centinaia di migliaia di tali particelle casuali è estremamente veloce, l’unico peso computazionale è individuare dove una ben determinata particella colpisce il veicolo: per scoprire tale punto è stata utilizzata la tecnica del FEM ma solo nei suoi aspetti puramente geometrici: le parti in vista sono state modellate mediante elementi triangolari, che geometricamente individuano un piano nello spazio. Conoscendo poi la direzione di uscita della particella, è semplice determinare quale elemento di piano andrà a colpire e con quale angolo.

Generando centinaia di migliaia di particelle e risolvendo centinaia di migliaia di volte un problema geometricamente molto semplice si è stati in grado di mappare con notevole accuratezza le zone interessate dal fenomeno (Figura 3). Al termine del lavoro, agli sviluppatori apparve evidente l’analogia con il problema dell’ago di Buffon: ripetere un numero molto grande di volte delle operazioni estremamente semplici e veloci. Non solo, il metodo si è rivelato utile anche in direzioni inaspettate, permettendo per esempio di determinare le zone del frontale di un veicolo maggiormente interessate dal lancio di particelle sollevate dal veicolo che lo precede.

Un’altra applicazione recente di metodi stocastici, condotta in collaborazione tra Altair Engineering, AMET ed il Gruppo FIAT Auto, ha valutato l’influenza della catena di tolleranze sulle effettive dimensioni finali di un componente meccanico assemblato; mentre già esistono codici in grado di valutare la catena delle tolleranze di componenti massicci, gli stessi codici utilizzati su assemblati flessibili per stimare i valori dimensionali medi e i loro scostamenti forniscono risultati meno buoni: in tali casi il ridotto valore predittivo ne limita fortemente l’uso verso strutture come per esempio una scocca autoveicolistica.

Le tecnica di simulazione elaborata è stata una combinazione di metodi tradizionali inseriti in uno schema di calcolo originale: il nucleo centrale del calcolo è costituito dalla

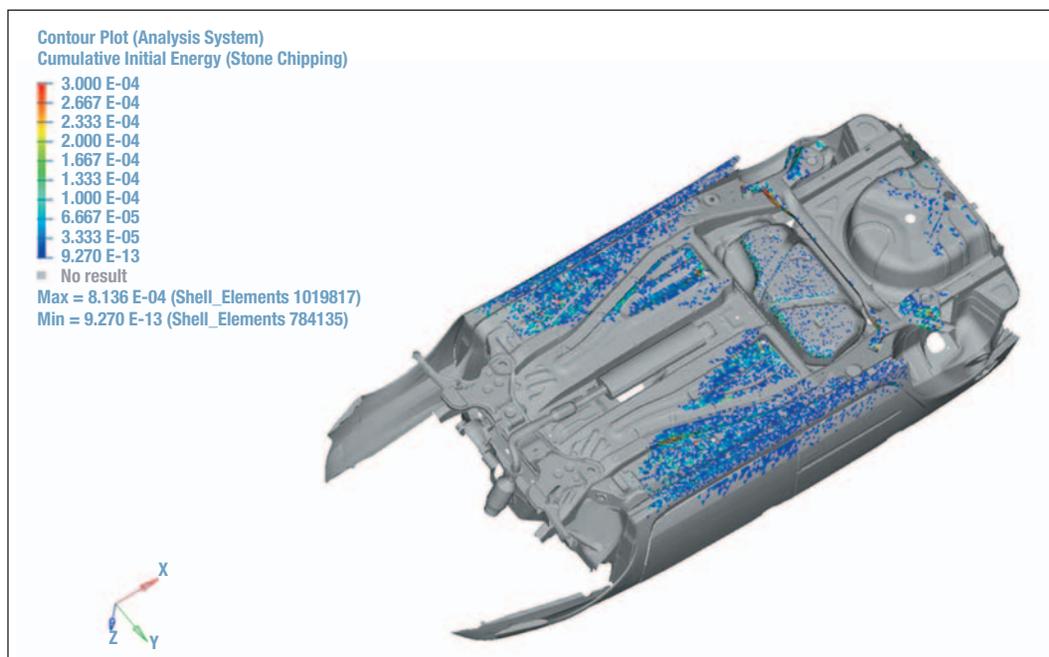


FIGURA 3

Cumulata dell'energia trasformata dalle parti colpite (scale arbitrarie). La mappa in colore rappresenta quanta energia cinetica è stata ceduta dalle particelle che impattano la parte colpita: le zone più severamente interessate appaiono colorate in rosso sulla parte posteriore del veicolo

simulazione del processo di lastratura, dalla calzatura dei componenti sugli attrezzaggi alla saldatura a punti sino allo scarico dei pezzi con il conseguente loro ritorno elastico. Se tale processo fosse simulato su componenti “nominali”, si dovrebbe ottenere una geometria finale del componente assemblato pari appunto al nominale. Ma i “reali” componenti di partenza hanno geometrie distribuite intorno alla configurazione nominale all’interno di tolleranze specificate: il primo problema, di natura specificatamente matematica, è come generare “mesh” casuali, che comunque rispettino le tolleranze assegnate, a partire da una discretizzazione nominale. Un secondo problema, rivolto principalmente verso la gestione dei sistemi di calcolo, consiste nell’automatizzare il processo di montaggio virtuale degli svariati componenti generati casualmente per simulare un numero adeguato di processi di lastratura su componenti non più nominali, e di raccogliere in forma compatta i risultati di ogni singola simulazione. Un terzo aspetto è invece focalizzato sull’analisi e interpretazione dei risultati, in definitiva una risposta alla domanda “l’assemblato finale è ancora di-

mensionalmente e geometricamente accettabile? Quanti scarti ci si può attendere pur partendo da singoli componenti tutti in tolleranza”? Ma soprattutto “quali sono i componenti critici che guidano e determinano la geometria finale”?

Si concentrerà l’attenzione solo sul primo dei problemi esposti, la generazione di una mesh casuale. Per poter generare una mesh “casuale” occorre necessariamente disporre di informazioni su un campione sufficientemente numeroso prelevato da una popolazione di componenti prodotti secondo un determinato processo tecnologico. La campagna di misurazioni sperimentali ha fornito, per ogni singolo componente misurato, una serie di coordinate di punti significativi: diciamo che abbiamo, come base di dati di partenza, una serie di coordinate di punti nodali “a CAD”, in posizione nominale e, per ognuno di essi, le coordinate “reali” misurate su un campione piuttosto numeroso di pezzi prelevati da un lotto di produzione. Per ogni punto, una terna di coordinate e un centinaio di “variazioni”, e questo per ogni punto prescelto, generalmente una qualche decina.

È chiaro che una semplice perturbazione delle

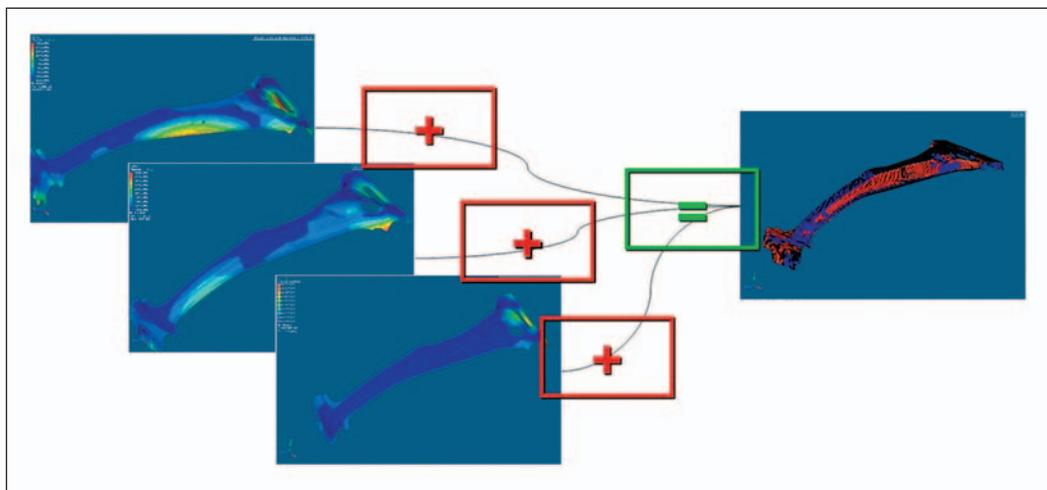


FIGURA 4

Le "funzioni caratteristiche" e il loro funzionamento: una geometria "reale" è ottenuta sommando diverse "funzioni caratteristiche" ma attribuendo diversi "pesi" ad ognuna di esse

coordinate nodali sarebbe errata; si avrebbe un effetto troppo localizzato, dando alla superficie un aspetto "spinoso" e irrealistico: non si terrebbe conto del fatto che lo scostamento dalla posizione nominale di un nodo è correlato allo scostamento dei nodi che lo circondano. D'altra parte ogni geometria "perturbata" potrebbe essere pensata come la combinazione lineare di una serie di funzioni ortogonali, ognuna di esse amplificata da un coefficiente numerico, e, visto che si ha a disposizione la *mesh*, una scelta comoda per questo insieme di funzioni ortogonali è data dagli autovettori della matrice di rigidità del componente, che così formano una base ortonormale di autofunzioni (Figura 4).

Questa scelta offre una serie di vantaggi: data una geometria "reale" i coefficienti numerici delle autofunzioni ortogonali sono facilmente calcolabili e, esaminando i singoli coefficienti relativi a una data funzione, a un dato autovettore, si può valutare di essi la relativa distribuzione statistica.

La generazione di geometrie casuali è allora a questo punto facile: un componente *random* è ottenuto come combinazione lineare delle autofunzioni modulate da coefficienti generati casualmente e appartenenti ognuno di essi alla relativa distribuzione di probabilità. I coefficienti, in un certo senso, costituiscono una "firma" tecnologica caratteristica, descrittiva del processo di realizzazione del componente (Figura 5).

È chiaro che per avere risultati significativi occorre generare decine di componenti casuali, effettuare una scelta dei componenti da assemblare simulando il processo di lastratura e poi, una volta ottenuti gli assemblati, valutare le variazioni di coordinate dei punti misurati nei pezzi assemblati e determinare a sua volta la loro distribuzione.

È una mole di lavoro computazionale non indifferente ma, e questo è cruciale, automatizzabile ed eseguibile con pochi interventi diretti dell'analista. Ma occorrono risorse di calcolo tutt'altro che trascurabili se si vuole approfittare del vantaggio decisivo che ogni simulazione condotta su componenti casualizzati fa storia a sé e non influenza le altre simulazioni: una procedura di calcolo altamente parallelizzabile.

4. NUOVE MACCHINE PER NUOVE TECNICHE

Come si è detto, l'evoluzione dei metodi di simulazione numerica segue una strada parallela all'evoluzione delle tecniche di calcolo e al crescere delle risorse computazionali disponibili. Un *full crash* è ormai proposto come calcolo *overnight*: nel novembre del 2009 RADIOSS di Altair fu il primo software industriale a scendere sotto la soglia dei 5 minuti per svolgere un'analisi *full crash* completa su un modello di oltre un milione di elementi. Il 19 aprile di quest'anno è stata svolta in Altair,

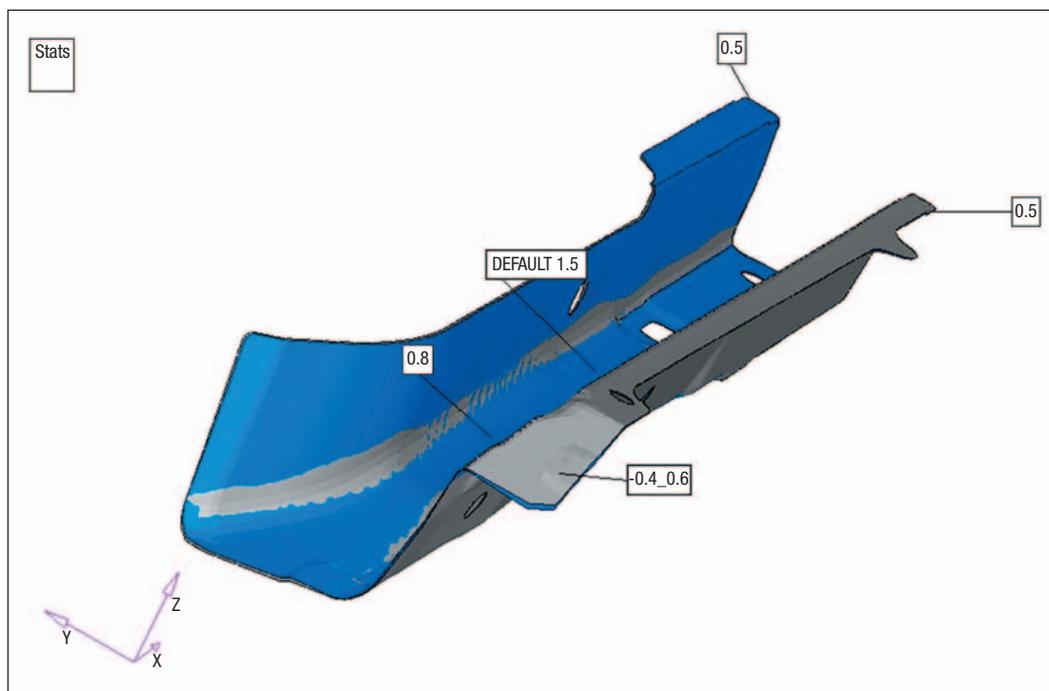


FIGURA 5

Geometria casuale: in blu come da CAD, in grigio perturbata. La geometria casuale (in grigio) è stata ottenuta combinando diverse funzioni caratteristiche, ognuna con un "peso" casuale. Il pezzo casuale ottenuto rispetta ancora tutte le tolleranze imposte dalle specifiche di progetto ma non è più descritto da una geometria "nominale" a CAD

a partire da CAD nativi forniti dalla Ford Motor Company, un'analisi completa in meno di 24 h: discretizzazione, generazione del modello e sua sottomissione al sistema di calcolo, gestione delle 64 CPU impiegate e delle risorse di memoria, analisi dei risultati: un ciclo svolto in modo automatizzato e con un ridotto intervento manuale.

Simili prestazioni rendono quindi percorribile l'approccio stocastico e l'analisi statistica delle prestazioni, anche se, va detto, l'esempio citato rappresenta un caso alla frontiera delle attuali metodologie di simulazione in ambito autovecolistico.

Su quali macchine e su quali architetture si può pensare che questi calcoli saranno fatti girare in futuro? Fino a pochi anni fa una misura comune (anche se fuorviante e poco rappresentativa) per valutare le prestazioni di un elaboratore era la frequenza della CPU, che dal 1993 al 1999 è aumentata di dieci volte per poi subire una stagnazione: dal 1999 ad oggi è a stento raddoppiata, mentre la barriera dei 4 GHz pare un ostacolo insormontabile, almeno finché si cerca di mantenere i dispositivi di dissipazione del calore entro dimensioni ra-

gionevoli. La sempre crescente potenza di calcolo si è quindi indirizzata verso soluzioni a più CPU operanti in parallelo, "cluster" di processori *multi-core* montati su singole schede madri, collegate tra loro mediante interfacce di rete ad alta velocità e governate da un "front end" che controlla e governa le risorse di calcolo.

I costi che comportano tali soluzioni non sempre sono affrontabili dai tradizionali attori che operano nel settore della meccanica computazionale e della simulazione: non tutte le società di ingegneria possono permettersi di sostenere i costi di gestione di infrastrutture complesse e anche i grossi centri di ricerca automobilistici devono comunque tenere in conto la rapida obsolescenza delle scelte tecniche effettuate.

Si è già profilata all'orizzonte una nuova soluzione: è di poche settimane fa una realizzazione sperimentale di una società di ingegneria di Torino che, utilizzando i servizi forniti da una grande società che opera nella rete, ha "costruito" una macchina virtuale remota che gestisce risorse hardware invisibili all'utilizzatore, distribuite e decentralizzate. È la

tecnologia del “*cloud computing*”, che dà la possibilità anche a piccole e medie aziende di poter affrontare simulazioni e calcoli un tempo riservati a strutture ben più grandi. Uno dei punti di forza di questa soluzione è che i costi sono limitati al tempo di effettivo utilizzato delle risorse remote, senza oneri di infrastrutture e costi di mancato utilizzo delle macchine.

5. UNA VISIONE MENO RISTRETTA?

Fare delle affermazioni sul futuro della simulazione in campo automobilistico (e in qualunque altro campo) è una cosa rischiosa: una tecnica molto usata è fare delle previsioni casuali sperando che cadano nel dimenticatoio in caso di insuccesso. Per poter fare delle previsioni sensate occorre genio e fortuna, quindi non ci azzardiamo a fare nulla del genere. Possiamo però proporre delle stime ragionevoli su un futuro prossimo in base a quello che stiamo vedendo oggi.

Uno dei due nodi cruciali, un polo attorno al quale ruotano le attività di simulazione, è la potenza di calcolo. Le soluzioni tradizionali stanno mostrando i loro limiti; è difficile attendersi aumenti prestazionali decisivi su una singola CPU, e questa tendenza emerge già a partire da metà degli anni '90. Fu allora che si iniziò a percorrere la strada che ancora oggi rappresenta la soluzione più diffusa per le realtà che hanno necessità di eseguire simulazioni numeriche impegnative in tempi brevi: il “*cluster*” di molte CPU veloci operanti su macchine che dialogano tra di loro per mezzo di reti dedicate, affrontando in parallelo compiti computazionali onerosi. Questa soluzione comporta però crescenti costi, che non si limitano all'hardware ma che si estendono a tutti i servizi che ruotano attorno al centro di calcolo, come le sale dedicate, condizionate e a prova d'incendio, i costi connessi al consumo energetico e anche, non ultimi, i costi legati all'uso delle licenze software.

Il secondo nodo cruciale è invece costituito dalle persone che fanno le simulazioni, i tecnici e gli ingegneri che si occupano dei calcoli. La spinta verso simulazioni sempre più complesse, che spaziano su diversi set-

tori dell'ingegneria - dalla termocinetica delle trasformazioni metallurgiche alla teoria della plasticità all'analisi statistica alla meccanica dei corpi continui - sta formando nuove figure di ingegneri, più spiccatamente rivolti verso la matematica applicata, la fisica, il calcolo numerico, gli aspetti computazionali e di gestione dei sistemi di calcolo, la programmazione e la padronanza dei sistemi operativi. Queste figure, attualmente, non si formano nelle Università quanto piuttosto “sul campo”, con la fortuna di poter operare in ambienti stimolanti che credono nella ricerca e nell'innovazione, ambienti dove possono far crescere le loro capacità e la loro esperienza.

Resta inteso che una solida preparazione di base è indispensabile, ma il profilo professionale dell'ingegnere calcolista si costruisce, a volte anche per vie impreviste e laterali, affrontando problemi nuovi con metodi e soluzioni nuove. Esistono in Europa, nel campo automotive, simili ambienti “fortunati”? A parere di chi scrive, al di là del fatto che esistano o meno, essi “devono” poter esistere, se si vuole che il mondo della progettazione automobilistica continui ad essere un'area di eccellenza nella progettazione meccanica. La pressione dei Paesi tecnologicamente emergenti può essere contrastata solo puntando sull'innovazione e sulla ricerca di soluzioni originali e creative; non è possibile reggere la concorrenza di Paesi con ottime risorse ingegneristiche che hanno costi incomparabilmente inferiori di quelli di un progettista europeo se non investendo sulla formazione di tecnici di punta.

Le figure professionali come quelle che sono state tratteggiate sono rare e non tutte le realtà industriali possono o vogliono affrontare gli investimenti necessari per poterle formare completamente: non è infrequente trovare ingegneri calcolisti di eccellenza che hanno seguito, nel loro percorso professionale, molte strade e che si sono confrontati con i più diversi ambiti industriali. Non è raro anche che decidano, ad un certo punto del loro percorso professionale, di diventare una sorta di “*free lance*” mettendo a disposizione la loro capacità e la loro esperienza alle realtà industriali che, di volta in volta, le richiedono. Si riproduce, in un certo senso, il percorso delle ri-



sorse di calcolo: tecnici specializzati, non in senso settoriale e chiuso, ma intesi come estreamente competenti e che sappiano dominare un ampio spettro di competenze. Una figura professionale nuova, dunque, ma tutto sommato simile agli ingegneri progettisti

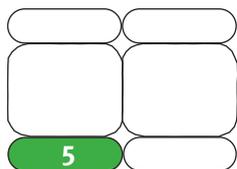
di alcuni anni fa, dei liberi professionisti, a volte consociati in piccole e medie - ma estremamente capaci - società di ingegneria, che sappiano mettere a frutto le loro esperienze e il loro talento costruito affrontando problemi di progettazione nuovi, complessi e affascinanti.

ROBERTO VADORI si è laureato nel 1989 in ingegneria meccanica nel Politecnico di Torino, dove ha conseguito il suo dottorato di ricerca nel 1995 discutendo una tesi sul danneggiamento dei materiali compositi sottoposti ad impatto, implementando il modello FEM all'interno del codice "public domain" DYNA3D. Entrato nel ruolo dei ricercatori universitari, ha svolto la sua attività di ricerca nel campo della meccanica computazionale prima nella Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino e poi nell'Università di Modena e Reggio Emilia. Nel 2003 è entrato in Altair Engineering dove ha continuato ad occuparsi di modellazione numerica e di progettazione dell'autoveicolo. Dal 2010 è consulente indipendente di Altair, di AMET e di Prompt Engineering, continuando ad occuparsi di progettazione numerica e di simulazione. È autore di oltre 60 pubblicazioni scientifiche su riviste nazionali ed internazionali. È docente della scuola estiva di dottorato di ricerca del gruppo dei costruttori di macchine italiani.
E-mail: roberto.vadori@gmail.com



VALIDAZIONE E PIANIFICAZIONE AUTOMATICA DI PERCORSI FORMATIVI

Matteo Baldoni
Elisa Marengo



Le grandi attese riposte nell'e-learning sin dalla sua origine sono state, per la maggior parte, disattese: la sua diffusione non è stata rapida come immaginato e molti sono ancora scettici sulle sue potenzialità. L'errore di fondo è considerare l'e-learning come alternativa all'insegnamento frontale anziché indirizzarlo a coloro che realmente ne avrebbero bisogno. L'introduzione di strumenti automatici che garantiscano la qualità di un percorso di e-learning può essere l'elemento trainante per una maggiore confidenza nell'apprendimento a distanza. L'articolo affronta queste problematiche, introduce un approccio alla realizzazione di curricula di studi personalizzati e illustra i vantaggi dell'utilizzo di tecniche automatiche di verifica.

1. TELEVISIONE, INTERNET E FORMAZIONE

La potenzialità di internet quale strumento per la diffusione della conoscenza è riconosciuta e ben consolidata. In tal senso, può essere considerato come erede della televisione degli anni cinquanta e sessanta quale piattaforma per la realizzazione di strumenti per l'apprendimento a distanza. Proprio dal 1960 al 1968 la RAI trasmise uno dei suoi programmi di maggior successo, "Non è mai troppo tardi" condotto dal maestro Alberto Manzi [21], che permise a milioni di italiani di acquisire la licenza elementare. Le classi del maestro Manzi erano composte da adulti analfabeti che per motivi di età o di lavoro erano impossibilitati ad accedere alle strutture scolastiche ordinarie. Il successo della trasmissione non fu soltanto quello di istruire gli italiani adulti ma anche di individuare in essi il target più adatto all'insegnamento attraverso il mezzo televisivo, affian-

cando la scuola nell'obiettivo di alfabetizzare e uniformare culturalmente l'Italia.

Negli anni novanta e duemila la curiosità verso Internet raggiunse livelli paragonabili a quelli ottenuti dalla televisione negli anni cinquanta e sessanta. Comuni ad entrambi furono l'entusiasmo e l'interesse con cui vennero accolti, quali sorgenti principali d'informazione. Internet condivide con la televisione la possibilità di portare l'informazione a tutti. È sufficiente, infatti, avere accesso ad un calcolatore e saper utilizzare un browser e un motore di ricerca. Ciascuno può farlo da casa propria, nei tempi e nelle modalità preferite. Come la trasmissione del maestro Manzi ebbe successo perché rispose alle esigenze di alfabetizzazione di un pubblico ampio di adulti, consentendo loro di imparare in tempi e modi compatibili con la loro vita, l'e-learning potrà avere successo solo se riuscirà a rivolgersi alla giusta tipologia di utenti. In particolare, se riuscirà a raggiungere allievi che la normale

scuola non ha la possibilità di raggiungere, vuoi per costi, strutture, tempi o finalità. In tal senso l'e-learning e gli strumenti per l'insegnamento a distanza possono essere considerati come il "Non è mai troppo tardi" dei nostri tempi. Per esempio, ne possono trarre beneficio chi lavora e per motivi di orario non può frequentare le lezioni in aula, i disabili, i residenti in zone geografiche difficilmente raggiungibili, i professionisti che necessitano di formazione continua e ricorrente¹ senza dover interrompere la loro normale attività. In generale si rivolge a quelle categorie che per i motivi più vari, sono impossibilitate a frequentare le strutture scolastiche. Per tutte queste categorie di persone la sinergia tra formazione ordinaria e formazione mediante tecniche di e-learning può rappresentare la carta vincente.

2. UN SERVIZIO PER TUTTI: POTENZIALITÀ DELL'E-LEARNING

La difficoltà e la lentezza con le quali l'e-learning si sta diffondendo sono dovute all'errato tentativo di utilizzare questo strumento in ogni contesto, spesso come alternativa dell'insegnamento classico docente-studente, creando in questo modo un sentimento di diffidenza che ne limita l'adozione. L'errore consiste nel considerare quale unica differenza tra l'e-learning e i metodi classici d'insegnamento il mezzo attraverso il quale l'insegnamento avviene. La differenza primaria fra insegnamento frontale ed e-learning risiede invece nello scopo e nelle tipologie di persone alle quali i due si rivolgono. La chiave dell'insegnamento frontale consiste principalmente nella trasmissione di un metodo di apprendimento, ma tale forma di insegnamento richiede la presenza in aula degli studenti nei previsti orari di lezione. La chiave dell'insegnamento attraverso la rete è la sua grande duttilità nei tempi e nelle modalità di erogazione e fruizione, ma tale forma di insegnamento richiede che gli studenti abbiano molta maturità, continuità e determinazione, in quanto devono studiare in autonomia, usando metodi di studio già appresi e senza l'au-

silio dato dall'interazione diretta con il docente e con la classe.

Dunque questi due metodi d'insegnamento non devono essere posti in competizione tra loro perché adatti a situazioni ed esigenze diverse. Nel contesto della formazione del personale in azienda, per esempio, le esigenze sono mantenere i costi contenuti e i tempi brevi. In questo l'e-learning può essere d'aiuto in quanto permette di abbattere i tempi - l'impiegato non deve necessariamente abbandonare il proprio posto di lavoro - e azzerare i costi di trasferta. Nell'ambito scolastico, invece, l'e-learning può essere vantaggiosamente sfruttato per rispondere a interessi formativi "di nicchia" o altamente specializzati che la scuola tradizionale, per motivi di risorse e costi, non può soddisfare. Per fare un esempio, uno specifico corso di aramaico avrà prevedibilmente pochissimi iscritti, forse non abbastanza da giustificare la presenza di questo insegnamento. A livello nazionale, però, il numero delle persone interessate a studiare questa lingua sarà probabilmente più che sufficiente a motivare la realizzazione di un corso. La distribuzione sul territorio degli interessati rende più conveniente la realizzazione di un corso on-line. Tali necessità sono reali e sono testimoniate non solo dall'elevato numero di iscritti ai più disparati corsi universitari (l'ISTAT ha registrato 307 mila iscritti all'università per l'anno accademico 2007/08 [8]) ma anche dall'alta percentuale dei laureati che decidono di proseguire gli studi iscrivendosi al dottorato di ricerca oppure a master universitari specializzanti (secondo Almalaurea il 43% [1]). Punto di forza dell'e-learning in quest'ottica è la possibilità di riutilizzare il materiale didattico a disposizione, componendolo in modi diversi a seconda delle esigenze e superando i vincoli geografici.

Un'altra esigenza alla quale l'e-learning è in grado di rispondere è la necessità di raggiungere quegli studenti che non possono partecipare alle lezioni. Si pensi, per esempio, agli studenti lavoratori, agli studenti disabili e a tutti coloro che per i motivi più vari sono impossibilitati a seguire le lezioni in un certo periodo (per esempio per maternità, malattia, assistenza a familiari). In questo caso l'e-learning si dimostra un buon supporto ai corsi tra-

¹ Si veda il glossario e-learning di ASFOR [2].

lizzazione di tali strumenti automatici permetterà di soddisfare un più ampio numero di utenti, abbattendo i costi di realizzazione dell'e-learning.

3. FLESSIBILITÀ DELL'E-LEARNING

Una delle potenzialità dell'e-learning è la possibilità di comporre risorse in modo da ampliare l'offerta formativa. Tuttavia non vi è nulla di più demotivante per uno studente di seguire un percorso didattico senza avere la percezione di quale sia l'obiettivo finale e se tale obiettivo sia compatibile con le aspettative e le esigenze personali. Diventa, quindi, fondamentale che gli strumenti messi a disposizione dall'e-learning consentano di costruire percorsi di studio personalizzati, che tengano conto delle competenze già acquisite dal fruitore, delle sue caratteristiche individuali e dei suoi obiettivi formativi.

La qualità di un percorso didattico non dipende però esclusivamente dai contenuti che compone. Occorre considerare anche i vincoli pedagogici legati al modo in cui il percorso deve essere organizzato al fine di agevolare l'apprendimento. In altre parole è necessario tenere in considerazione il modello delle competenze. Un semplice esempio potrebbe essere, in un curriculum d'informatica, il vincolo che le nozioni matematiche vengano acquisite prima di quelle informatiche, anche se apparentemente le prime non sono strettamente legate alle seconde in termini di contenuti [4, 12]. La capacità di garantire percorsi didattici personalizzati completi, in termini di conoscenza acquisita rispetto agli obiettivi formativi, e corretti, rispetto ai vincoli pedagogici, costituisce la discriminante tra un servizio di qualità e un servizio non di qualità. Infatti, gli utenti si affidano a strumenti automatici con grande scetticismo. La possibilità di garantire la qualità di un percorso di e-learning è l'elemento trainante per guadagnare la fiducia dei fruitori.

Purtroppo in alcuni casi si osserva un divario tra gli interessi dello studente e l'offerta formativa: ciò che è pedagogicamente corretto non sempre soddisfa le aspettative dello studente. La verifica della bontà di un curriculum, attualmente a carico del corpo docente,

risulta spesso un compito difficile e costoso in termini di tempo, specie in quei contesti in cui gli studenti hanno la possibilità di proporre piani di studio personalizzati. L'automazione del processo di verifica diventa, quindi, uno strumento utilissimo per le scuole, avente il duplice vantaggio di alleggerire i docenti di un onere burocratico senza privare gli studenti della possibilità di formulare richieste e proporre percorsi personalizzati. Il supporto automatico di questi compiti diventa ancora più importante, e più difficile, quando si considerano scenari aperti, dove l'insieme delle risorse utilizzabili per l'apprendimento non è limitato e conosciuto in anticipo ed è, per sua natura, eterogeneo. Si pensi al "processo di Bologna", promosso dall'Unione Europea [5] il cui fine è quello di promuovere la mobilità degli studenti all'interno dell'Unione, con la possibilità di comporre curricula integrati, attraverso i quali gli studenti frequentano corsi offerti da diverse università europee, consentendo così la formazione di competenze date dalla somma di offerte complementari, non accessibili in toto a livello locale.

4. UN APPROCCIO ALLA REALIZZAZIONE SU MISURA E ALLA VERIFICA DI CURRICULA

In questo paragrafo descriviamo come è stato affrontato il problema della composizione e verifica di curricula di studi in modo da consentire a studenti ERASMUS di combinare, in un unico percorso, corsi dell'Università di Torino e dell'Università di Hannover (Germania). Lo scopo è mediare fra gli obiettivi formativi e il portafoglio di conoscenze già acquisite di uno studente e i modelli delle competenze degli istituti coinvolti. In altre parole, occorre verificare o costruire curricula di studi in modo che utilizzino le risorse formative dei due atenei nel rispetto dei vincoli pedagogici delle due istituzioni, che non contengano bisogni formativi insoddisfatti e che assecondino i desideri dell'utente.

Questo studio, discusso nel dettaglio in [4, 11, 12], è stato condotto nel contesto del progetto REVERSE [16], il cui obiettivo era l'analisi e lo sviluppo di tecniche del web semantico [20]. Nella realizzazione della proposta sono infatti stati utilizzati strumenti quali anno-

tazioni semantiche per le risorse formative, risolutori a regole per la definizione del curriculum e tecniche di *model checking* simbolico per la verifica della correttezza dei curricula (riquadro 2).

La caratteristica principale della proposta, che la distingue da altre soluzioni presenti in letteratura, risiede nella rappresentazione scelta per i vincoli e per le risorse. L'idea di base consiste nel descrivere le risorse in termini di conoscenze (necessarie per comprenderne i contenuti e acquisibili tramite esse) e nell'esprimere i vincoli pedagogici, o più in generale il modello delle competenze, in termini di rela-

zioni temporali tra le conoscenze stesse. In questo modo è possibile integrare i corsi provenienti dai due istituti tramite la semplice integrazione dei vocabolari usati per la descrizione delle conoscenze. Inoltre, tale rappresentazione permette di astrarre dalla fonte informativa e dalla tipologia del materiale didattico utilizzato (lezioni in aula, materiale audio-visivo, *podcast* ecc.).

In particolare, il processo di composizione e verifica di curricula di studi coinvolge sei elementi organizzati su tre livelli concentrici (Figura 1). Al centro della struttura troviamo il dizionario delle competenze, ossia il vocabolario utilizzato per esprimere le conoscenze. Il dizionario delle competenze è utilizzato dai quattro elementi del livello intermedio, che permettono di rappresentare gli obiettivi formativi e il portafoglio di conoscenze già acquisite di uno studente, il modello delle competenze degli istituti, le risorse formative (il materiale didattico utilizzato) e i curricula offerti o proposti. Questi quattro elementi sono poi utilizzati dal livello più esterno, ossia quello dei servizi che realizza la pianificazione e la verifica di curricula di studi. Ogni elemento è modulare rispetto agli altri e ogni livello è definito sulla base di quello sottostante. Tale modularità facilita qualsiasi tipo di modifica e aggiornamento. Per esempio, l'aggiunta o eliminazione di un corso non ha impatti sulle altre componenti individuate nell'architettura, oppure gli obiettivi formativi e le conoscenze iniziali dello studente sono indipendenti dalla definizione del materiale didattico, questo significa indipendenza anche rispetto all'istituzione che eroga i corsi.

RIQUADRO 2 - Model checking

Il *model checking* [14] ha l'obiettivo di verificare la correttezza di un modello rispetto ad una certa specifica. Generalmente il modello viene rappresentato da un insieme di stati e un insieme di transizioni tra essi, in modo da simulare il funzionamento di un sistema software o di una componente hardware. Le proprietà che possono essere verificate sono i comuni requisiti di correttezza dei sistemi (assenza di *deadlock*, *liveness*, *safety*) oppure una qualsiasi formula espressa in logica temporale. Gli strumenti che permettono di effettuare questo tipo di verifiche in modo automatico vengono definiti *model checker*. Tra i più conosciuti vi sono SPIN [7] e NuSMV [22], il primo consente la verifica di formule espresse in logica lineare temporale [3], mentre il secondo permette di verificare anche formule espresse in *computation tree logic* [13].

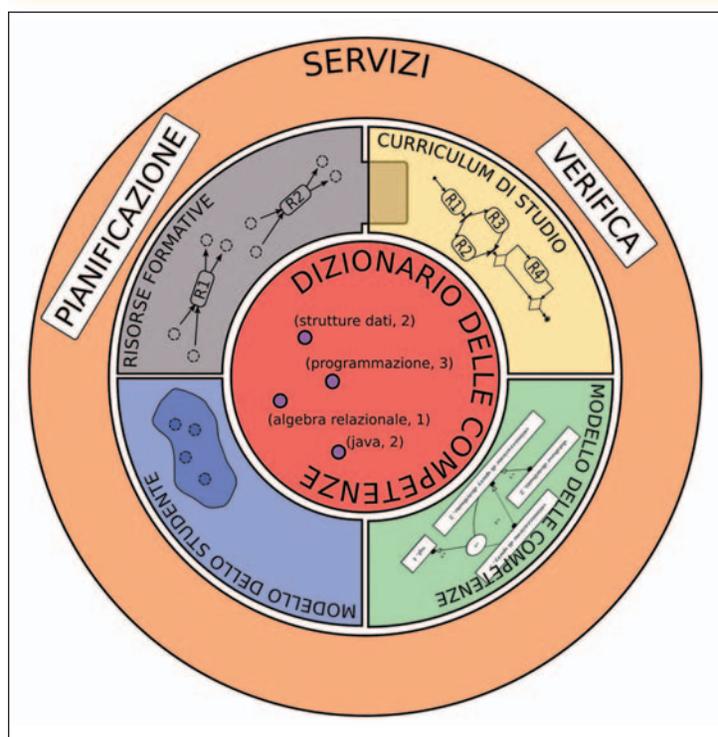


FIGURA 1

Rappresentazione degli elementi che intervengono nella progettazione e verifica di curricula di studi

4.1. Dizionario delle competenze

La componente centrale è il dizionario delle competenze. Esso racchiude l'insieme delle competenze intese come conoscenze, concetti, capacità che una persona deve possedere per svolgere con efficacia specifici compiti e funzioni. Nella nostra proposta le competenze sono rappresentate per mezzo di termini e costituiscono la più piccola unità d'informazione. Ogni competenza è rappresentata mediante due elementi: un identificatore e un livello di approfondimento alla quale è richiesta o fornita. Per esempio, (sql, 1) oppure (sql, base) indica che la competenza del linguaggio SQL è ri-

chiesta o fornita a livello introduttivo. Il dizionario delle competenze riveste il ruolo fondamentale di lingua franca quando è necessario comporre, in un unico processo formativo, corsi provenienti da istituzioni diverse. In questo caso, infatti, è necessario che le istituzioni adottino un dizionario condiviso.

4.2. Modello delle competenze

Questa componente contiene le caratteristiche dal punto di vista pedagogico che un curriculum di studi deve avere sotto forma di regole e vincoli. I vincoli sono espressi attraverso relazioni temporali che coinvolgono le co-

noscenze specificate nel dizionario delle competenze. Essi sono categorizzati in requisiti (cioè l'insieme delle conoscenze richiesto in ingresso affinché lo studente possa iniziare il percorso formativo), in obiettivi formativi, di cui l'istituzione vuole garantire il raggiungimento, e in vincoli pedagogici che impongono e regolamentano l'acquisizione delle competenze durante il percorso formativo. Al fine di rendere più semplice e intuitiva la descrizione dei vincoli che costituisce il modello delle competenze, abbiamo definito il linguaggio grafico DCML (*Declarative Curricula Model Language*, riquadro 3). La possibi-

RIQUADRO 3 - Declarative Curricula Model Language

DCML è un linguaggio grafico ideato per facilitare il compito ai responsabili didattici nel definire i vincoli pedagogici che i curricula di studio devono rispettare [4, 12]. Ciascun vincolo può essere automaticamente tradotto in formule della logica lineare temporale [3]. La logica lineare temporale include gli operatori temporali *eventually* ($\diamond \phi$, prima o poi ϕ sarà vero nel futuro), *always* ($\square \phi$, ϕ è sempre vero) e *until* ($\phi \cup \psi$, ϕ deve essere vero fino a che diventa vero ψ). L'adozione di un linguaggio grafico basato sulla logica temporale lineare permette di avvalersi di strumenti automatici per la verifica di curricula di studio quali SPIN [7]. Tuttavia, il vantaggio più grande che deriva dall'utilizzo di vincoli, è la loro natura dichiarativa, che consente di specificare solo le condizioni strettamente necessarie per caratterizzare un curriculum corretto, senza indicare una sequenza rigida. Questo offre maggiore flessibilità nella definizione del modello delle competenze. La tabella mostra le principali relazioni temporali tra conoscenze che possono essere utilizzate nella definizione di un modello delle competenze.

COSTRUTTI DI DCML, RAPPRESENTAZIONE GRAFICA E SIGNIFICATO IN LOGICA TEMPORALE LINEARE		
Nome	Rappresentazione	Significato in formule LTL
Precede		$\neg(k', l') \cup (k, l)$ La conoscenza (k', l') non può essere acquisita prima della conoscenza (k, l) .
Se...allora		$\diamond(k, l) \rightarrow \diamond(k', l')$ Se la conoscenza (k, l) è acquisita allora prima o poi dovrà esserlo anche la conoscenza (k', l') .
Sequenza		$\diamond(k, l) \rightarrow (\diamond(k', l') \text{ e } (k, l) \text{ precede } (k', l'))$ Se la conoscenza (k, l) è acquisita allora solo dopo potrà esserlo anche la conoscenza (k', l') .
Non precede		$\neg(k, l) \cup ((k', l') \text{ e } (k, l))$ La conoscenza (k, l) non può essere acquisita prima della conoscenza (k', l') .
Se...allora non		$\diamond(k, l) \rightarrow \square \neg(k', l')$ Se la conoscenza (k, l) è acquisita allora la conoscenza (k', l') non potrà mai esserlo.
Non segue		$\diamond(k, l) \rightarrow (\square \neg(k', l') \text{ o } (k, l) \text{ non precede } (k', l'))$ Se la conoscenza (k, l) è acquisita allora la conoscenza (k', l') non potrà essere acquisita dopo.

lità di tradurre i costrutti di DCML in un linguaggio logico formale (in particolare, la logica temporale lineare [3]) garantisce ad ogni vincolo un significato non ambiguo. Inoltre, tale traduzione permette di sfruttare strumenti automatici per la verifica, come i *model checker* (riquadro 2).

Nella figura 2 è riportato un estratto di un modello delle competenze riferito ad un curriculum triennale in informatica. Tra i vincoli specificati vi è, per esempio, la richiesta che lo studente acquisisca la competenza “protocolli di rete” a livello intermedio prima della conoscenza a livello intermedio di “metodi crittografici”, oppure che la competenza a livello introduttivo del linguaggio SQL (Sql, 1) per l’interrogazione di database non sia preceduta da argomenti a livello intermedio e avanzato inerenti l’ottimizzazione delle query (“Ottimizza-

zione di query, 3” e “Ottimizzazione di query distribuite, 2”).

4.3. Modello dello studente

Il modello dello studente tiene traccia delle competenze di uno studente e dei suoi obiettivi formativi. Inizialmente, prima che il processo di formazione abbia inizio, esso comprende il portafoglio delle conoscenze derivanti da studi precedenti. Durante i processi di pianificazione e verifica, il modello dello studente è utilizzato per simulare il processo di acquisizione rappresentando l’evoluzione delle conoscenze possedute. In altre parole rappresenta la metafora del bagaglio culturale dello studente.

4.4. Risorse formative

La componente “risorse formative” contiene l’insieme dei corsi che vengono erogati da una certa istituzione. Ogni corso (e in generale ogni tipo di materiale didattico) è descritto in termini di conoscenze attese in ingresso, necessarie per comprenderne i contenuti, e conoscenze fornite in uscita, che rappresentano le conoscenze apprese dallo studente. Le competenze attese in ingresso vengono verificate sul modello dello studente, mentre le conoscenze fornite in uscita contribuiscono ad incrementare il suo portafoglio delle conoscenze. Nella figura 3 è riportato l’esempio di un corso di *Database*. Le frecce in ingresso rappresentano le conoscenze richieste, mentre le frecce in uscita riportano le conoscenze fornite. Tutte le risorse formative di un’istituzione vengono definite in questo modo.

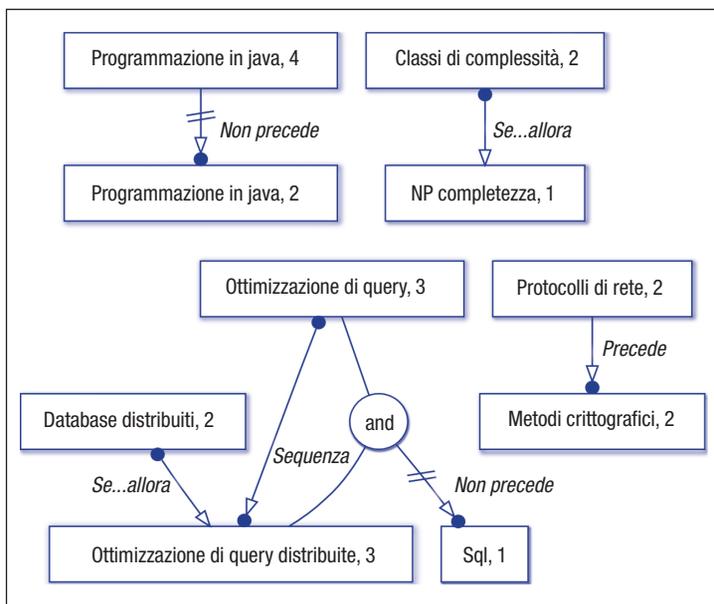
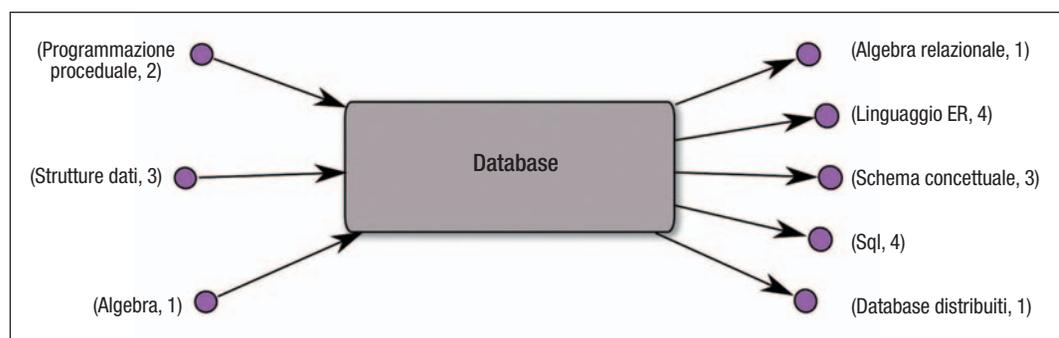


FIGURA 2
Esempio di modello delle competenze espresso attraverso il linguaggio grafico DCML (Declarative Curricula Modeling Language)

4.5. Curriculum di studi

La rappresentazione dei curricula di studio avviene per mezzo dei diagrammi di attività [15].

FIGURA 3
Rappresentazione di un corso in termini di conoscenze attese in ingresso e fornite in uscita



Nel caso più semplice, un curriculum è una sequenza di corsi. Più in generale, contiene uno o più percorsi (o indirizzi) che possono essere obbligatori oppure in alternativa tra loro. Nella descrizione di un curriculum di studi sono rilevanti due aspetti [10]:

- i. la durata dei corsi e la loro collocazione temporale nei vari periodi didattici di insegnamento;
- ii. la distinzione tra corsi obbligatori e corsi a scelta.

Nei diagrammi di attività, il primo aspetto è rappresentato per mezzo di *milestone* (linee verticali che partizionano il curriculum), mentre il secondo aspetto è risolto impiegando nel diagramma le *swimlane* (partizioni orizzontali) che distinguono i percorsi obbligatori dai percorsi in alternativa tra loro. Nella figura 4 si riporta un estratto di curricula per il secondo anno di un corso di laurea triennale in informatica. In questo esempio, l'anno accademico è organizzato in tre periodi (*milestone*) e l'offerta formativa consente allo studente di completare i corsi obbligatori (rappresentati nella prima *swimlane*) scegliendo una tra le tre alternative (le sottostanti *swimlane*), che specializ-

zano il percorso obbligatorio in diversi ambiti dell'informatica.

4.6. Servizi

L'elemento che occupa il livello più esterno e che si basa sulle astrazioni definite dalle altre componenti, è quello dei servizi di supporto alla didattica. In particolare, nel nostro lavoro sono stati presi in considerazione i servizi di verifica di un curriculum di studi proposto da uno studente (Figura 5) e di pianificazione di un percorso di studi per il conseguimento di un determinato obiettivo formativo (Figura 6).

Per quanto riguarda il primo servizio, occorre distinguere tra verifica intra-concettuale, avente lo scopo di accertarsi che ogni concetto sia insegnato nel modo più consono, e verifica inter-concettuale, che regola, per mezzo di regole pedagogiche, l'evoluzione del processo formativo. Il problema di verifica affrontato rientra in quest'ultimo caso, in particolare:

- a. si verifica che il curriculum di studi soddisfi gli obiettivi formativi espressi dall'utente;
- b. si verifica che in ogni istante non ci siano bisogni formativi insoddisfatti;

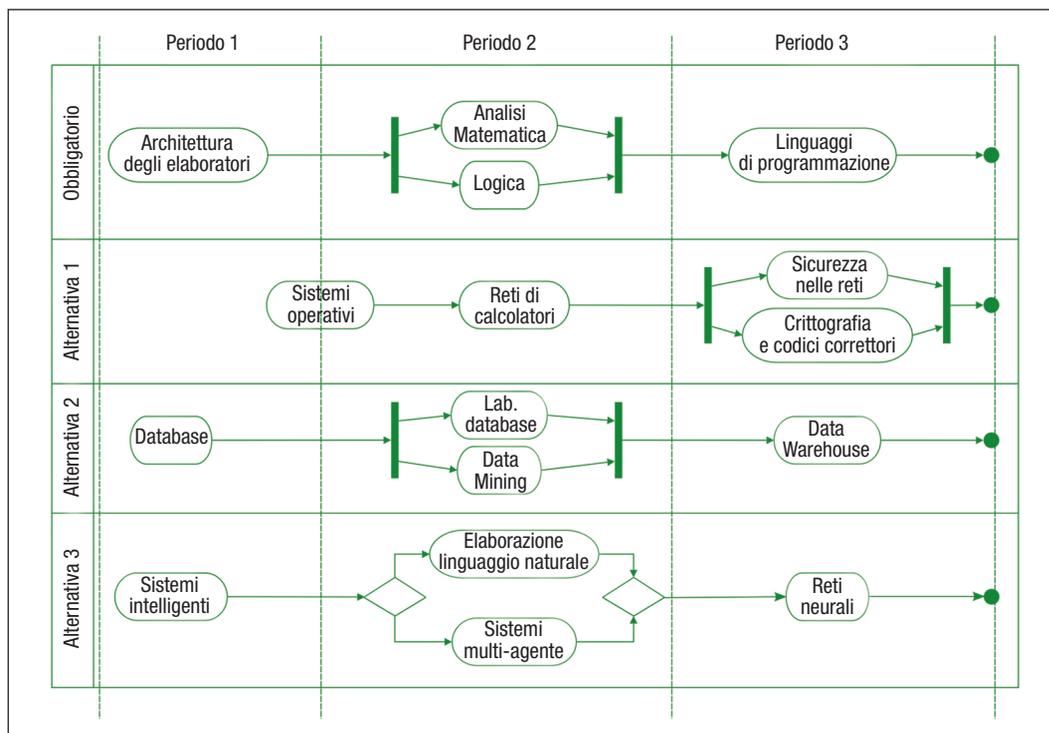


FIGURA 4
Un esempio di curriculum rappresentato mediante un activity diagram

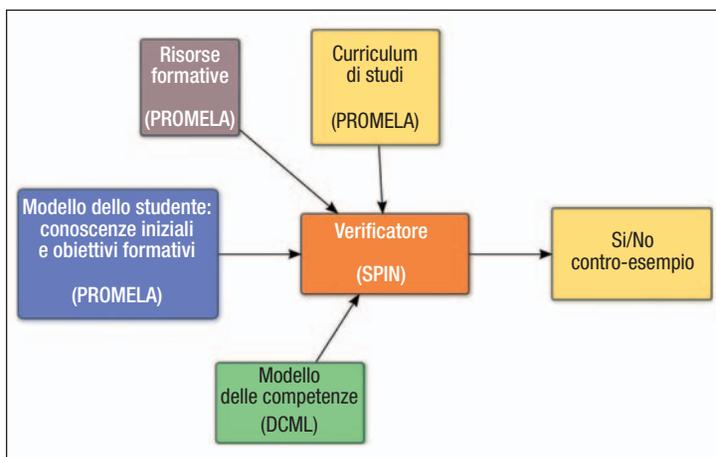


FIGURA 5
Verifica di curricula

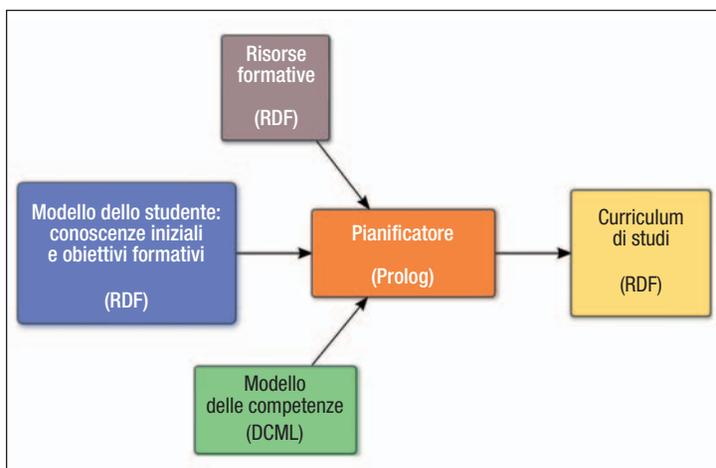


FIGURA 6
Pianificazione automatica di curriculum

c. si verifica che il curriculum rispetti gli obiettivi didattici e i vincoli pedagogici espressi nel modello delle competenze. Tutti i compiti di verifica elencati sono effettuati applicando tecniche di *model checking* [14]. Il curriculum di studi, le risorse formative e il modello dell'utente sono trasformati in un modello di esecuzione rappresentato in linguaggio Promela [7], in grado di simulare tutti i possibili percorsi di apprendimento dello studente. I vincoli espressi dal modello delle competenze, gli obiettivi didattici e i bisogni formativi da soddisfare, sono espressi mediante formule logiche temporali verificate nella simulazione attraverso il software SPIN [7]. Il vantaggio di utilizzare il *model checking* deriva dal fatto che quest'ultimo fornisca contro-esempi qualora la verifica fallisca, di-

ventando, di fatto, un valido strumento per la correzione del curriculum.

Il servizio di pianificazione di un percorso di studi consiste nel comporre in modo automatico le risorse formative. Indispensabile è garantire che ogni risorsa formativa sia temporalmente preceduta da risorse che forniscono le competenze necessarie alla sua comprensione, che gli obiettivi formativi dello studente siano assecondati e che i vincoli pedagogici siano rispettati. L'idea alla base del servizio di pianificazione è interpretare ogni corso o materiale didattico come un'azione: le competenze richieste in ingresso corrispondono alle precondizioni di eseguibilità e le conoscenze fornite corrispondono agli effetti dell'esecuzione dell'azione. Sfruttando tale metafora è possibile utilizzare diversi algoritmi presenti nella letteratura di intelligenza artificiale [17]. La nostra scelta, descritta in [11], è stata quella di utilizzare una ricerca in profondità implementata attraverso il linguaggio di programmazione Prolog [9]. Ogni risorsa formativa è descritta utilizzando il linguaggio del web semantico RDF [19], e la sua descrizione è stata estratta in maniera automatica dalle pagine dei corsi tenute dai docenti.

5. CONCLUSIONI

L'e-learning rappresenta una grande opportunità per la formazione e per le scuole stesse, a patto di riuscire a individuare il giusto target di utenza e di fornire servizi che consentano di comporre le risorse didattiche in percorsi personalizzati, rispetto alle necessità del singolo, garantendo al contempo il rispetto di vincoli pedagogici definiti da esperti. Questi obiettivi possono essere raggiunti utilizzando gli strumenti sviluppati nel progetto REVERSE descritto nel paragrafo 4. Al di là dell'ambito prettamente scolastico, le tecniche prima descritte possono essere usate anche in altri contesti, per esempio per la formazione in azienda [6]. In analogia con la rappresentazione scelta per le risorse formative, è possibile rappresentare le attività (o *task*) che definiscono un processo aziendale in termini di precondizioni - che è necessario soddisfare per la sua esecuzione ottimale - e in termini degli effetti ottenuti. Inol-

tre, in analogia con la rappresentazione scelta per il modello dello studente, è possibile rappresentare gli obiettivi professionali e le conoscenze (o capacità) di ogni dipendente dell'azienda. In questo modo è possibile realizzare un servizio di verifica che controlli se un dipendente sia in grado di portare a termine una certa attività, allo stesso modo in cui è possibile capire se uno studente sia in grado di affrontare un certo corso. Oppure, si può immaginare un servizio di pianificazione che individui il dipendente o il gruppo di lavoro le cui competenze siano più vicine a quelle richieste per lo svolgimento di un insieme di attività, in modo da risparmiare sui costi di formazione del personale.

Ma si può andare anche oltre. Una delle attività principali di un'impresa è la definizione degli obiettivi e del modello di business attraverso il quale l'impresa acquisisce vantaggio competitivo.

Per esempio, essi definiscono quali sono le competenze che l'azienda deve acquisire e come sia opportuno procedere verso il raggiungimento di tali obiettivi. Il modello di business definisce le linee guida che per l'impresa rappresentano il modo migliore di operare. Un business plan rappresenta la sequenza di operazioni attraverso le quali l'impresa realizza gli obiettivi prefissati nel rispetto del modello di business. Anche questa attività ha un'analogia con quanto visto precedentemente: ad un business plan è possibile associare un curriculum, agli obiettivi d'impresa gli obiettivi formativi di uno studente e al modello di business il modello delle competenze.

È quindi possibile immaginare dei servizi di pianificazione per trovare in modo automatico dei business plan che soddisfino i vincoli richiesti o dei servizi di verifica per controllare che un business plan proposto sia conforme a quanto stabilito dal modello di business. Si noti anche qui l'importanza di disporre di un linguaggio a vincoli per esprimere il modello di business, infatti, le linee guida dettate da un manager esprimono solitamente un ordine relativo tra i passi che devono essere compiuti, senza specificare una sequenza rigida di attività che spesso sarebbero troppo dettagliate o a lui sconosciute (riquadro 3).

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare i revisori per le osservazioni e i suggerimenti e la prof.ssa Cristina Baroglio per i preziosi consigli in fase di stesura dell'articolo. Lo sviluppo del linguaggio DCML non sarebbe stato possibile senza la collaborazione della prof.ssa Cristina Baroglio (Università degli Studi di Torino), del prof. Giuseppe Berio (Université de Bretagne-Sud, Francia) e della dott.ssa Viviana Patti (Università degli Studi di Torino).

Bibliografia

- [1] *A dieci anni dal processo di Bologna. I figli della riforma: analisi sui laureati triennali e specialistici. Una mappa a pelle di leopardo.* AlmaLaurea, 2008.
<http://www.almalaurea.it/universita/profilo/profilo2008/premessa/index.shtml>
- [2] *Il Glossario e-Learning di ASFOR*, (ASFOR - Associazione Italiana per la Formazione Manageriale), 2006.
- [3] Emerson E.A.: *Temporal and Modal Logic*. In Handbook of Theoretical Computer Science, Elsevier. 1990, p 995-1072.
- [4] Marengo E.: *Curricula di Studi: Modelli e Verifica di Competenze*. Tesi di Laurea, Corso di Studi in Informatica, Università degli Studi di Torino, 2008.
- [5] *European Commission, Education and Training. The Bologna Process, 1999*, http://en.wikipedia.org/wiki/Bologna_Process
- [6] Berio G., Harzallah M.: *Towards an integrating architecture for competence management*. *Computers in Industry*, Vol. 58, n. 2, Elsevier, 2007.
- [7] Holzmann G.J.: *The SPIN Model Checker, Primer and Reference Manual*. Addison-Wesley, 2003.
- [8] ISTAT, http://www.istat.it/lavoro/sistema_istruzione/Tavuniv1.xls.
- [9] Console L., Lamma E., Mello E.: *Programmazione Logica e Prolog*. UTET.
- [10] Baldoni M., Baroglio C., Berio G., Marengo E.: *Declarative representation of curricula models: an LTL- and UML-based approach*. Proc. of WOA 2007: Dagli oggetti agli agenti, Agenti e Industrie: Applicazioni tecnologiche degli agenti software, Seneca Edizioni, 2007, p. 34-41.
- [11] Baldoni M., Baroglio C., Brunkhorst I., Henze N., Marengo E., Patti V.: *A Personalization Service for Curriculum Planning*. A cura di Herder E., Heckmann D., Proc. of the 14th Workshop on Adaptivity and User Modeling in Interactive Systems, ABIS 2006, Hildesheim, Germany, October 2006, p. 17-20.

E-HEALTH 2.0

TECNOLOGIE PER IL *PATIENT EMPOWERMENT*

L'articolo presenta le due aree di applicazioni tecnologiche che oggi più si legano al conseguimento degli obiettivi di *patient empowerment*, ossia l'evoluzione delle soluzioni tecnologiche per la gestione e la condivisione del dato clinico del paziente e la più generale adozione di tecnologie web per l'erogazione di servizi innovativi a valore aggiunto per il cittadino. Con riferimento al fronte web, l'articolo presenta tra l'altro i risultati di un indicatore denominato PWEI volto a misurare il grado di *patient empowerment* dei siti web delle aziende del Servizio Sanitario Nazionale italiano.

1. INTRODUZIONE

L'evoluzione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) in ambito sanitario ha disegnato un modello innovativo di sanità "elettronica", la cosiddetta *E-health*, fondata sull'uso delle informazioni e delle ICT sia a supporto dei processi sanitari e amministrativi delle aziende sanitarie, sia nella gestione delle relazioni tra strutture e pazienti, sia, infine, nel governo dei sistemi sanitari regionali e nazionali.

L'*E-Health* rappresenta un vero paradigma di innovazione, al cui servizio sono chiamate diverse discipline, tra cui l'informatica clinica, la medicina e anche l'economia aziendale. In particolare, l'approccio economico-aziendale alla sanità elettronica sottolinea la necessità di coniugare tra loro in modo coerente i seguenti oggetti:

- le nuove tecnologie;
- i processi clinici e quelli amministrativi delle aziende sanitarie;
- le capacità e la cultura delle persone che operano nel sistema.

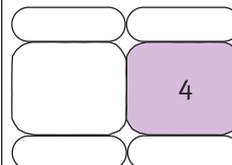
La vera sfida che accompagna la rivoluzione

della sanità elettronica è innanzitutto quella culturale: i professionisti della salute, per trarre profitto dalle ICT, devono abbracciare una filosofia nuova, fondata sulla centralità del paziente e improntata alla condivisione dell'informazione clinica e alla sua gestione trasparente [1], nella consapevolezza che il fattore critico di successo nella diffusione delle ICT in sanità sia rappresentato dalla capacità di mantenere un equilibrio tra una prospettiva di tipo *high tech* e una di tipo *high touch*, basata cioè anche sull'attenzione agli aspetti di contatto umano, nel rispetto delle molteplici sensibilità che la diagnosi e la cura devono prendere in considerazione per poter essere coronate da successo. Proprio questa visione rappresenta peraltro il presupposto della certificazione *ECDL Health*, introdotta dalla Fondazione ECDL e promossa da AICA nel contesto italiano con l'obiettivo di dare un contributo allo sviluppo di questa fondamentale dimensione di ordine culturale [2, 3].

Le dimensioni-chiave per l'analisi del progresso tecnologico in sanità sono numerose. Ricordiamo, in primo luogo, l'evoluzione delle



Luca Buccoliero



tecnologie digitali di tipo diagnostico e biomedico, il cui sviluppo rapido e costante ha impatti significativi sulla qualità e sull'*outcome* clinico delle prestazioni sanitarie disponibili ed è alla base - insieme ai brillanti risultati della ricerca farmaceutica - di alcuni andamenti apprezzabili nelle società economicamente sviluppate quali l'allungamento della vita media della popolazione e la cronicizzazione di patologie un tempo considerate inguaribili. Peraltro, proprio questi andamenti, di per se apprezzabili e naturalmente positivi per l'individuo, contribuiscono a determinare una situazione di tensione finanziaria e di squilibrio per tutti i sistemi sanitari, situazione legata tanto ai costi delle stesse tecnologie quanto agli effetti determinati.

Una seconda rilevante area di trasformazione legata all'avvento delle ICT in sanità è quella della crescita delle capacità di integrazione e consolidamento delle informazioni cliniche e amministrative in formato digitale. Queste innovazioni disegnano il nuovo volto di ospedali e sistemi sanitari che rapidamente si avviano a diventare *paperless e filmless*, anche attraverso la progettazione di veri e propri "sistemi informativi integrati" in luogo delle tradizionali "isole" di innovazione tecnologica. Sempre in tale dimensione occorre ricordare il significativo sviluppo - anche attraverso l'adozione di nuove tecnologie nell'area direzionale dei sistemi informativi - dei sistemi per il controllo operativo, manageriale e strategico delle aziende sanitarie e ospedaliere e dei sistemi sanitari.

Un'ulteriore area di impatto, divenuta solo recentemente oggetto di studio e attenzione tanto nel dibattito scientifico quanto in sedi politiche e istituzionali, è quella relativa alle trasformazioni delle relazioni tra erogatori di prestazioni sanitarie (medici, aziende e sistemi sanitari) e pazienti. Una particolare enfasi inizia oggi ad essere riposta proprio sul concetto di *empowerment* del paziente e sul ruolo che le ICT rivestono nel garantirne una concreta espressione. Il fatto che tale area sia oggetto di un'attenzione "tardiva" rispetto alle precedenti, testimonia senza dubbio il percorso evolutivo piuttosto anomalo e comunque singolare che le ICT hanno registrato in ambito sanitario, percorso che ha preso il via da esigenze di innovazione del sistema perseguendo es-

senzialmente obiettivi di "efficienza" e solo successivamente è approdato al presidio della relazione con il "cittadino-paziente".

Questo articolo intende proporre al lettore una disamina di alcune tematiche ICT direttamente legate proprio alla dimensione dell'*empowerment* del cittadino e del paziente, analizzando alcuni andamenti dello sviluppo tecnologico in sanità alla luce di una "domanda" di *empowerment* del paziente con caratteristiche diverse dal passato e che ormai assume (o dovrebbe assumere) la dimensione di "driver fondamentale" dell'innovazione stessa.

2. L'EVOLUZIONE DELLA DOMANDA DI SALUTE E IL CONCETTO DI "PATIENT EMPOWERMENT"

L'analisi delle caratteristiche fondamentali della domanda di prestazioni sanitarie espressa dai cittadini consente di comprendere che la stessa ormai si caratterizza per alcuni elementi nuovi e distintivi, quali:

- la domanda di nuove opzioni di accesso diretto a informazioni sanitarie autorevoli, personalizzate e immediatamente utilizzabili [4];
 - il desiderio di acquisire maggior capacità di controllo sulle proprie condizioni di salute anche attraverso una diretta gestione dei propri dati e delle varie opzioni diagnostiche e terapeutiche disponibili [5, 6, 7];
 - l'aspirazione a poter usufruire di nuove opportunità di relazione (più immediate e dirette, nonché informali) con le strutture sanitarie e con i professionisti [8, 9];
 - la volontà di rivestire un ruolo più attivo nei network di assistenza anche attraverso il confronto delle proprie esperienze con quelle altrui [10, 11, 12] in una logica di "web 2.0" [13].
- La sintesi di questi elementi consente di descrivere il concetto di *patient empowerment*, oggetto del presente contributo, che può essere definito come: "un processo di sviluppo personale per cui il paziente/individuo viene dotato di conoscenza, capacità e consapevolezza che gli consentano (in tutto o in parte) di autodeterminarsi in relazione alla propria salute, nell'ambito di un nuovo processo in cui il professionista sanitario può divenire, a discrezione del paziente, un facilitatore che opera all'interno di una relazione di partnership, non più di autorità" [14].

Le due aree di applicazioni tecnologiche che più si legano al conseguimento degli obiettivi di *patient empowerment* (determinandone peraltro lo sviluppo e la concreta fattibilità) fanno riferimento:

- all'evoluzione delle soluzioni tecnologiche per la gestione e la condivisione del dato clinico del paziente;
- alla più generale adozione di tecnologie web (classiche e "web 2.0") per l'erogazione di servizi innovativi a valore aggiunto per il cittadino.

3. LA GESTIONE ELETTRONICA DEL DATO CLINICO DEL PAZIENTE: VERSO I "PERSONAL HEALTH RECORD"

Il tema dell'*empowerment* del paziente si è legato in modo importante alla rapida evoluzione "culturale" (oltre che tecnologica) che ha caratterizzato le cartelle cliniche elettroniche nell'ultimo decennio e che ha spostato l'attenzione:

- dalla progettazione di cartelle "aziendali" di episodio (EMR, *Electronic Medical Record*);
- alla realizzazione di cartelle "di sistema" (locale, regionale, nazionale), in grado di offrire una vista longitudinale della salute dell'individuo lungo la sua vita (EHR, *Electronic Health Record*);
- alla più recente offerta di sistemi "personali", sotto il diretto controllo del paziente (PHR, *Personal Health Record*), accessibili attraverso il web.

La differenza principale tra EMR e EHR è l'interoperabilità: il primo livello è relativo ad una sola organizzazione sanitaria, mentre il secondo può ricevere dati da diverse entità e si avvale di standard di interoperabilità che consentono di realizzare un *record* longitudinale centrato sul paziente in grado di integrare informazioni provenienti da diverse organizzazioni [6].

3.1. *Personal Health Record*: un approccio definitorio

Il PHR può invece essere definito come "un record elettronico di informazioni di salute dell'individuo, conforme a standard di interoperabilità riconosciuti a livello almeno nazionale, che può essere alimentato da varie fonti, rimanendo però sotto il controllo dell'individuo, il quale può eventualmente dividerlo".

L'iniziativa "*Connecting for Health*" della Markle Foundation ha prodotto nel 2008 un documento (*Common Framework For Networked Personal Health Information*) che richiama i seguenti principi fondamentali alla base del trattamento delle informazioni sanitarie nei PHR:

- apertura e trasparenza;
- chiarezza sugli obiettivi e gli scopi;
- limitazioni alla raccolta e all'uso dei dati;
- partecipazione e controllo individuali;
- qualità ed integrità dei dati;
- salvaguardie e controlli di sicurezza;
- responsabilità e supervisione;
- rimedi per violazioni di privacy e sicurezza.

Le tipologie fondamentali di PHR che possono essere identificate sono le seguenti:

- la prima e più semplice è quella che fornisce agli individui la possibilità di accedere all'EHR di un *provider* attraverso un portale web (portali mantenuti da terze parti che permettono ai pazienti di consultare le proprie informazioni cliniche con diritti di lettura);
- il secondo approccio è quello che prevede un'applicazione, online o offline, in cui il paziente personalmente registra i propri dati sanitari;
- il terzo tipo di PHR è invece quello che consente ai pazienti di catturare informazioni da varie fonti sanitarie, di inserire dati manualmente e di controllare completamente l'uso di tali informazioni (si tratta siti web che permettono ai pazienti di visionare informazioni da altre applicazioni, come gli EMR/EHR istituzionali o i database delle assicurazioni sanitarie). Per quanto riguarda il contenuto dei PHR, la tabella 1 fornisce un riassunto chiaro delle fonti e delle tipologie di dati che vi possono essere raccolti. I dati possono essere di tipo soggettivo o oggettivo e provenire genericamente dall'individuo stesso, da strumenti remoti di *monitoring*, da strutture sanitarie e da database amministrativi.

I dati soggettivi possono essere punteggi o descrizioni qualitative dei sintomi e dei problemi di salute e risposte a questionari, generalmente forniti dal paziente stesso tramite il PHR o nel contesto di una consultazione. Quelli oggettivi possono essere misurati e inseriti manualmente dall'individuo, trasmessi direttamente da dispositivi di *home care* domestico oppure misurati nell'ambulatorio del medico e aggiunti al *medical record*. Una

		Tipo di dati	
		Soggettivi	Oggettivi
Fonte del dato	Paziente	Input manuale o risultati di raccolta dati on-line (punteggi sui sintomi, descrizioni qualitative, percezioni soggettive di benessere)	Input manuale (pressione sanguigna, peso ecc.)
	Dispositivi di <i>home-care</i>	/	Interfacce automatiche (esempio, pressione sanguigna tramite monitor domestico interfacciato col PC ecc.)
	Strutture sanitarie	Interfaccia del <i>medical record</i>	Interfaccia del <i>medical record</i>
	Database amministrativi	/	Interfacce automatiche

TABELLA 1
PHR, *Personal Health Record*

volta che i dati sono entrati nel PHR sono sotto il controllo dell'individuo, che può decidere quanti dati includere, come ordinarli e soprattutto chi vi potrà accedere.

3.2. Benefici e limiti dei PHR

I PHR possiedono il potenziale per creare valore per il cittadino-paziente, dal momento che consentono l'accesso a un'ampia gamma di informazioni e dati sanitari, in maniera personalizzabile. I pazienti afflitti da malattie croniche (diabete, patologie reumatiche croniche ecc.), in particolare, possono contribuire al monitoraggio remoto della propria situazione, rendendo possibile un intervento tempestivo nel caso di problemi, e usufruire di funzioni di supporto alle decisioni che li assistano nella gestione della malattia. I medici possono avere a disposizione dati più completi grazie ai PHR e ciò può supportare migliori decisioni in relazione alla diagnosi e alla terapia, che può essere modificata in tempi rapidi a seconda dei cambiamenti delle condizioni del paziente. Inoltre, la comunicazione con i pazienti, parzialmente veicolata attraverso il PHR, può divenire più efficiente. L'utilizzo dei PHR, infine, potrebbe portare a significative riduzioni dei costi, specialmente nella gestione delle malattie croniche, anche se mancano evidenze concrete di tale impatto economico, alla luce dell'ambito ancora piuttosto limitato di sperimentazione sin qui realizzato.

I PHR possono dunque generare *patient em-*

powerment (attraverso un migliore accesso a dati personali, informazioni sanitarie e strumenti di comunicazione), aumentare la sicurezza dei pazienti e ridurre le barriere geografiche alla cura.

Esistono però diversi elementi di delicatezza nella loro implementazione, che possono essere così sintetizzati:

- per quanto riguarda l'accesso, deve essere utilizzato un sistema di autenticazione "forte" a garanzia della privacy degli individui, attraverso l'accurata verifica dell'identità del titolare del PHR;
- per quanto concerne i contenuti informativi, diviene molto probabile che vi si accumuli una mole di dati e di informazioni clinicamente irrilevanti che devono essere filtrate per garantire un uso efficace attraverso la disponibilità di indicatori di sintesi (occorre quindi definire un profilo sintetico, denominato "*patient summary*", utile soprattutto agli accessi in emergenza);
- infine, le implicazioni legali dei PHR non sono ancora del tutto chiare: le aree più delicate sono quelle relative alla privacy e alla responsabilità dei medici in caso di diagnosi errate basate su dati non accurati forniti dai pazienti e comunque non "certificati".

Una barriera naturale alla diffusione dei PHR è ovviamente correlata all'atteggiamento di pazienti e medici: il paziente potrebbe non comprendere appieno l'utilità dello strumento e non controllare e aggiornare adeguatamente

il PHR. Il medico potrebbe, di conseguenza, diffidare delle informazioni provenienti dal paziente stesso in modo non “certificato”.

Sotto il profilo culturale, il medico potrebbe sentire la propria autorità minacciata dall'introduzione del PHR. Infatti, viene meno il modello tradizionale secondo il quale il medico, ad intervalli di tempo regolari, visita il paziente e decide l'eventuale revisione della terapia. Nel caso dei PHR le informazioni sono inviate istantaneamente e senza la presenza fisica del paziente, per cui il professionista potrebbe essere chiamato in qualsiasi momento al riesame della diagnosi e della terapia.

Infine, sotto il profilo tecnologico, la progettazione di PHR presuppone lo sviluppo di soluzioni tecnologiche evolute in diversi ambiti di innovazione, tra i quali:

- standard di integrazione di dispositivi e software di utilizzo clinico (per esempio: DICOM per le immagini, HL7 per i dati clinici): in quest'ambito maturano le principali opportunità di sviluppo dei sistemi informativi clinici;
- tecnologie per la sicurezza e l'autenticazione “forte” del paziente e del professionista: a partire dalla diffusione di *smartcard* fino a sistemi basati sull'utilizzo di SIM del telefono mobile o su dispositivi biometrici;
- banda larga fissa e mobile: l'accesso remoto a dati, immagini e filmati presuppone una disponibilità di banda e una qualità della trasmissione non sempre effettivamente riscontrabili, soprattutto in considerazione dell'obsolescenza e della congestione delle reti mobili in molti Paesi (tra cui spicca purtroppo il ritardo infrastrutturale italiano);
- tecnologie per la realizzazione di sistemi domotici o di telemedicina che consentano al paziente e ai suoi familiari un semplice e sicuro *upload* di parametri clinici nel PHR;
- piattaforme web adatte all'utilizzo in mobilità e strutturate sulla base di principi di sicurezza (integrità logica e fisica dei dati), con adeguata attenzione alle implicazioni di *disaster recovery*;
- l'ergonomia dei dispositivi e dei software.

3.3. I PHR nei diversi sistemi sanitari

La concezione stessa di PHR varia da una nazione all'altra. Nel Regno Unito, i progetti del sistema sanitario nazionale (NHS) suggeriscono una visione di PHR come “finestra” sui dati

sanitari di una persona. I dati con cui popolare il record non saranno scelti, gestiti e posseduti direttamente dall'individuo ma la componente fondamentale del sistema informativo sanitario sarà un EHR gestito dal sistema, che integrerà i dati provenienti dalle diverse fonti (per la maggior parte già oggi disponibili).

Negli Stati Uniti, invece, il PHR è interpretato come una sorta di vera e propria alternativa all'EHR. Vista la frammentazione del sistema e la conseguente difficoltà nella creazione di un EHR su scala nazionale, la soluzione più pragmatica è quella del diretto utilizzo del PHR come luogo di aggregazione dei dati sanitari di una persona. L'individuo autorizzerà le varie entità depositarie dei suoi dati a popolare il PHR e i vari provider sanitari con cui interagisce ad accedere ad essi. I tentativi più ambiziosi di sviluppare piattaforme PHR in grado di ricevere informazioni da un'ampia gamma di provider sono stati intrapresi da organizzazioni private (Google, Microsoft e il consorzio di datori di lavoro Dossia).

In Italia, i recenti richiami del Ministero dell'Innovazione e della P.A. alle linee di innovazione del sistema sanitario contengono numerosi spunti progettuali, che si richiamano alle migliori “*best practice*” realizzate negli ultimi anni ed esprimono la precisa volontà di fare finalmente “sistema”: questo è un fatto positivo. Tuttavia, pur delineandosi come un modello più simile a quello dell'NHS piuttosto che a quello dell'attuale sistema USA, il reale contenuto di *empowerment* del paziente nei nuovi “fascicoli sanitari” non è ancora del tutto chiaro. Restano inoltre ancora da chiarire tutte le azioni necessarie per una piena condivisione (soprattutto culturale) del modello di innovazione da parte dei professionisti della sanità e degli stessi pazienti. Una migliore comprensione delle potenzialità dei PHR in Italia rappresenta una delle priorità per l'indirizzo delle future evoluzioni strategiche del sistema.

Non mancano poi iniziative volte alla realizzazione di PHR su scala più limitata, anche con riferimento all'accesso alla documentazione clinica ospedaliera. Ad esempio, in Giappone il Kameda Medical Center e Siemens hanno dato vita ad una società mista per lo sviluppo del sistema informativo clinico e il Kameda rappresenta un ambiente in cui carta e lastre non vengono più utilizzate in nessun processo am-

ministrativo o clinico (non risulta che alcun ospedale in Italia o in Europa abbia raggiunto analoghi risultati in termini di completezza e affidabilità della strategia *paperless*).

L'implementazione dell'EMR al Kameda ha seguito una filosofia che si può articolare nei tre seguenti principi:

□ l'obiettivo dell'informatizzazione dell'ospedale non è rappresentato dal mero incremento di efficienza e produttività ma, piuttosto, dalla creazione di valore per il paziente;

□ il paziente è il vero destinatario dei progetti di innovazione del sistema informativo, in quanto attraverso questi progetti aumenta la trasparenza del patrimonio informativo al quale il paziente (vero e proprio utente finale del sistema) può e deve accedere durante la sua degenza e i suoi accessi;

□ i benefici che l'ospedale registra a seguito del progetto di informatizzazione sono essenzialmente riferibili al suo posizionamento strategico e sono legati al valore che il paziente percepisce nella proposizione complessiva dell'ospedale e all'apprezzabile riduzione del rischio clinico.

Il paziente del Kameda è, infatti, l'utente finale del sistema informativo. Ogni letto di degenza è corredato da un *touchscreen* (Figura 1) che consente in qualsiasi momento al paziente di accedere in autonomia al proprio EMR in tempo reale, consultando i propri referti e la propria cartella per poterne discutere, successiva-

mente o durante la consultazione, con i propri medici. Sulla medesima postazione, i pazienti possono visualizzare i CV dei propri medici e dei propri infermieri, esprimere le proprie percezioni soggettive di benessere, ordinare i pasti (oltre a navigare in internet e ad accedere a programmi di *entertainment*). Qualora il paziente lo ritenga opportuno, può delegare questi accessi ad un accompagnatore opportunamente autorizzato. Inoltre, successivamente, i dati saranno sempre accessibili via web (con accesso sicuro mediante *smartcard* oppure sul telefono cellulare) e liberamente utilizzabili per richieste di *second opinion* o *follow up* ambulatoriali o riabilitativi anche in contesti ospedalieri diversi dal Kameda, grazie ad uno standard nazionale appositamente definito.

In sintesi, il sistema Kameda realizza il massimo grado oggi concepibile di "empowerment del paziente" e dei suoi familiari, che si spinge fino alla disponibilità di webcam nelle *nursery* o nelle culle termiche (per consentire il monitoraggio dei neonati da parte dei genitori) e di postazioni attraverso le quali i parenti o gli accompagnatori autorizzati possono assistere a interventi chirurgici in costante collegamento audio video con le sale operatorie e i chirurghi.

La gestione dell'*Electronic Medical Record* del Kameda è quindi il cardine di questa innovativa visione di "marketing" (termine che significa "creazione di valore per il paziente-cliente") concepita dalla proprietà e dal management.

4. L'EVOLUZIONE DEL WEB E IL PATIENT WEB EMPOWERMENT: L'OSSERVATORIO PWEI DELL'UNIVERSITÀ BOCCONI

Milioni di cittadini utilizzano il web per gestire problematiche relative alla propria salute o a quella dei propri familiari e milioni di pagine web attinenti alla sfera della salute e del benessere sono consultate quotidianamente: circa il 20% delle ricerche complessivamente effettuate sul web negli ultimi anni nel nostro Paese hanno attinenza con problematiche afferenti alla salute¹. Al di là delle variazioni "stagionali" di questo dato (epidemie influenzali,



FIGURA 1

Letto di degenza al Kameda Medical Center e schermo touch per l'accesso al Personal Electronic Medical Record

¹ Fonte: elaborazione personale su statistiche di ricerca Google.

allarmi specifici ecc.), l'analisi storica dei dati disponibili conferma la crescente rilevanza della categoria "salute" nelle motivazioni che inducono un individuo ad effettuare una ricerca sul web [15].

Sebbene il comportamento che guida il cittadino in queste ricerche non sia ancora stato compiutamente analizzato in tutte le sue determinanti [16], si può ritenere che alcune caratteristiche intrinseche dello strumento web ne facciano un "touch point" ideale per le relazioni tra sistema sanitario e cittadino-paziente. Infatti, il web garantisce, almeno in apparenza, anonimato e virtualità della relazione (entrambe caratteristiche apprezzate, soprattutto per specifiche problematiche particolarmente sensibili), immediatezza dell'accesso all'informazione (nel momento e nella circostanza in cui lo stesso è necessario), carattere "ufficiale" dell'informazione recuperata (in forma "scritta" e quindi permanente nel tempo), costi ridottissimi o inesistenti per l'utilizzo del servizio. Ma, soprattutto, il web, nelle sue più recenti declinazioni di tipo "2.0", offre un ineguagliabile potenziale di "empowerment" al "navigatore" che sempre più spesso diviene parte attiva nella generazione di contenuti e nello scambio di esperienze, ad esempio attraverso forum e *social network*. Tale attitudine, fisiologica a naturale nella generazione dei cosiddetti "nativi digitali", inizia ormai ad essere ben presente anche nelle generazioni più adulte e, nel caso dei cittadini senior, può essere sviluppata senza troppi ostacoli di tipo culturale anche grazie alla mediazione di familiari e parenti più giovani (figli e nipoti).

Con l'obiettivo di comprendere in che misura le strategie di innovazione delle aziende sanitarie italiane includano esplicitamente una *web strategy* finalizzata all'incremento del *patient empowerment* e quali siano le evoluzioni nel tempo di questo orientamento, un team di ricercatori del Dipartimento di Marketing dell'Università Bocconi ha strutturato una metodologia per la valutazione annuale della presenza web dell'intero universo di strutture sanitarie pubbliche e delle più importanti strutture private accreditate del Servizio Sanitario Nazionale (Aziende Sanitarie Locali - ASL, Aziende Ospedaliere - AO, Aziende Ospedaliere Universitarie - AOU, policlinici privati e Istituti di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico - IRCCS - pubblici e privati²), attraverso l'applicazione di un indice sintetico progettato dallo stesso team e denominato *Patient Web Empowerment Index (PWEI)*, la cui struttura è descritta nel riquadro a p. 15 [17].

L'analisi dei siti aziendali (effettuata per la prima volta nel 2009 e nuovamente nel 2010) secondo la metodologia sopra descritta ha consentito di evidenziare per ogni ambito indagato alcuni interessanti risultati e, ove possibile, alcune *best practice*. Di seguito, per ogni sezione del PWEI, verranno descritte alcune delle principali conclusioni.

Nel corso dell'indagine 2010 sulle caratteristiche del **PWEI Site** si è notato che alcuni aspetti relativi all'accessibilità dei siti sono stati migliorati, in particolare nel caso delle ASL. Tra le esperienze più interessanti si annoverano alcune ASL presenti in Veneto che hanno strutturato contenuti multilingua per cittadini stranieri. In Lombardia alcune AO e IRCCS presentano una versione dei contenuti, seppure parziale, anche in lingua inglese. L'ASL Roma E, attraverso una sintesi vocale integrata nella navigazione, permette l'accesso ai contenuti *web* anche agli utenti che non sono in grado di ricevere una presentazione testuale e grafica delle informazioni. Rispetto, invece, alla logica di strutturazione dei contenuti e dei servizi all'interno del sito si riscontra che solo una minima parte delle aziende ha attivato un sistema di fruizione delle informazioni sul sito basato sui *life event*. Due *best practice* in questo senso sono i siti dell'ASL 1 Imperiese e dell'ASL 2 Savonese in Liguria: all'interno di tali siti, nello spazio "guida ai servizi", si trova una specifica sezione "eventi della vita" in cui si offre la possibilità di cercare tutte le informazioni e i servizi di cui si necessita secondo una logica *life event* (avere un figlio, crescere in salute, curarsi, invecchiare bene, lavorare, liberarsi dalle dipendenze, ottenere assistenza ecc.).

Qualche esperienza in più si ha nel caso dell'organizzazione dei contenuti per *cluster* di utenti, soprattutto in Emilia Romagna, Lombardia e Toscana. Al di fuori di queste regioni, tuttavia, questa struttura del sito è adottata da

² Sono stati analizzati e valutati 157 siti web di ASL e 146 di AO, AOU, policlinici privati e IRCCS pubblici e privati.

poche aziende. In ogni caso, il sito dell'ASL di Foligno è particolarmente ben strutturato da questo punto di vista: nell'apposito spazio "servizi al cittadino", infatti, i visitatori vengono suddivisi per tipologia (adolescenti, anziani, bambini, disabili, stranieri, donne). Questa azienda spicca per il suo punteggio particolarmente elevato con riferimento a questo sotto-indicatore anche perché presenta sistemi che consentono la visualizzazione agevolata dei contenuti del sito web; inoltre la struttura organizzativa aziendale viene presentata in modo chiaro. I menu fondati sulla struttura organizzativa aziendale (ospedali, reparti, distretti, dipartimenti ecc.) sono molto più frequenti.

L'analisi degli elementi del **PWEI Clinic** non ha evidenziato significativi miglioramenti rispetto ai sistemi più sofisticati di *empowerment* informativo del paziente: continuano, infatti, ad essere pressoché inesistenti le forme di supporto guidato per autodiagnosi o per l'autovalutazione del proprio rischio clinico. Le uniche eccezioni sono relative alla determinazione del proprio livello di dipendenza da fumo e alla valutazione del rischio cardiovascolare e dei melanomi. Anche schede informative per la comprensione degli esami di laboratorio risultano essere poco frequenti. Un esempio lo si può trovare nell'ASL di Trento in cui uno spazio apposito è stato dedicato alla "guida agli esami di laboratorio" predisposta per aiutare sia il paziente che il familiare addetto all'assistenza.

Generalmente più presenti sono gli opuscoli informativi per la prevenzione, in particolare per gli *screening* dei tumori e per la promozione di stili di vita sani: la modalità più usata è il *download* di schede testuali riguardanti singole patologie, che vengono prodotte dal personale della stessa struttura sanitaria. In qualche caso i siti permettono di accedere a materiale multimediale (per esempio video) e/o derivante da fonti esterne al sito aziendale. Tra le esperienze più interessanti troviamo l'ASL Roma A, che mette a disposizione alcuni video relativi principalmente alla campagna per la prevenzione dei tumori femminili. Il sito dell'ULSS 20 di Verona, invece, presenta un'iniziativa (Una TV per la vostra salute), che permette la visione *on-line* di un insieme di video, suddivisi per canali tematici, riguardanti gli stili di vita, l'alimentazione, lo svolgimento dell'attività

sportiva, l'uso dei farmaci, e anche argomenti clinici specifici per gli anziani o i giovani. Anche l'IRCCS De Bellis di Castellana Grotte propone video su tematiche cliniche (TG sanità).

Tra le strutture private si vuole ricordare l'IRCCS Medea dell'Associazione Nostra Famiglia che propone sul proprio sito "l'angolo dei bambini", ossia una sezione dove questi ultimi possono trovare una descrizione con parole semplici ma precise di alcuni termini medici (per esempio, la spiegazione e la descrizione di esami come EEG e ECG oppure di alcuni trattamenti come il sondino naso gastrico ecc.).

Infine, permane abbastanza diffuso l'utilizzo di newsletter e di riviste aziendali a contenuto interamente - o in larga parte - sanitario.

In relazione alle *community* (**PWEI Community**) si registra una presenza diffusa di *bookmark* o elenchi di associazioni di riferimento, sistematicamente presenti in molte regioni, mentre si nota una presenza assai limitata di gruppi di supporto istituzionalizzati anche perché nella maggior parte dei casi sono associazioni di volontariato specializzate in specifiche patologie. Particolarmente interessante il caso dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Meyer di Firenze: la fondazione onlus dell'ospedale ha creato uno spazio del sito dedicato ai bambini ricoverati - ma, in alcuni casi, rilevante anche per i bambini non ricoverati - con storie a fumetti, giochi e informazioni "a misura di bambino" sulla vita in ospedale, sui diritti dei piccoli pazienti e su alcuni trattamenti medici. I bambini possono non solo accedere ai contenuti ma anche interagire con i moderatori del sito scrivendo loro e inserendo dei commenti. Per quanto riguarda il rapporto tra medico e paziente (**PWEI MD2P**), non si è rilevato un grande impegno da parte delle Aziende Sanitarie per agevolare un approccio interattivo tra medici e pazienti: sono ancora pochi, infatti, i forum e i blog effettivamente funzionanti. Questi, nella maggior parte dei casi, sono riconducibili a consultori e si rivolgono ad uno specifico target. In alcuni siti, oltretutto, i forum sono presenti ma talmente poco rintracciabili che non hanno alcuna conversazione avviata.

Poco più diffuse sono le soluzioni che permettono ai medici di rispondere alle domande degli utenti anche se alcuni esempi cominciano a diffondersi, basti pensare allo spazio

“Info salute - Lo specialista risponde” introdotto dall’Istituto Clinico Humanitas di Rozzano o “Medico On-line” dell’Azienda Ospedaliera di Palermo, in cui un utente può compilare la sua richiesta per poi ricevere risposta in forma privata.

Sempre per quanto riguarda il PWEI MD2P si sottolinea che, in virtù dell’“Operazione trasparenza” introdotta con la legge 69/2009 (c.d. riforma Brunetta), nell’ultimo anno è aumentata la presenza delle *e-mail* personali dei medici. La riforma, infatti, prevede l’obbligo, per le amministrazioni pubbliche, di pubblicare nel proprio sito internet le retribuzioni annuali, i curricula vitae (CV), gli indirizzi di posta elettronica e i numeri telefonici ad uso professionale dei dirigenti (cfr. art. 21)³. Le *e-mail* dei dirigenti medici sono generalmente inserite all’interno dei CV. Nonostante ciò, non tutte le aziende sanitarie indagate presentano tutte le *e-mail* dei medici: molti dei siti non hanno completato il caricamento dei CV di tutto il personale dirigente e, anche quando presenti, non tutti i CV contengono l’indicazione dell’*e-mail* istituzionale. Nei siti in cui non si è riscontrata una sistematica indicazione delle *e-mail* istituzionali dei medici, si è assegnato un punteggio pari a 0,5 o, addirittura, pari a 0

nel caso in cui questa presenza fosse del tutto sporadica.

Limitatamente al *Personal Health Record (PWEI PHR)* si ricorda che è necessario distinguere tra due esperienze diverse:

- i. singole ASL che decidono autonomamente di dotarsi di sistemi per la consultazione e il download da parte dei pazienti di fascicoli sanitari elettronici;
- ii. sistemi di PHR definiti nell’ambito di progetti regionali.

Nel primo caso sono ancora poche le aziende sanitarie che si sono dotate di tali strumenti. Pioniere sono state l’ASL di Chiavari e l’Azienda ULSS di Treviso. Altre aziende sanitarie permettono di scaricare dal sito determinati referti: l’Ospedale Pediatrico Bambino Gesù di Roma e l’Azienda Ospedaliera di Padova, per esempio, hanno un apposito spazio che consente il “ritiro dei referti via internet”.

Si registra invece la presenza di soluzioni PHR a livello regionale in Lombardia (progetto CRS-SISS)⁴, in Emilia Romagna (progetto SOLE)⁵ e in Toscana (progetto di Carta Sanitaria Elettronica CSE)⁶. Nella valutazione dei siti delle aziende di queste tre regioni si è tenuto conto di questi progetti regionali, registrando sempre la presenza di PHR, nonostante l’at-

³ È da segnalare come le Linee guida, previste dall’art. 4 della Direttiva del Ministro per la Pubblica Amministrazione e l’Innovazione (26 novembre 2009 n. 8) intendono suggerire alle pubbliche amministrazioni criteri e strumenti per la riduzione dei siti web pubblici obsoleti e il miglioramento di quelli attivi, in termini di principi generali, gestione e aggiornamento, contenuti minimi. L’obiettivo dichiarato è non solo quello di rendere pubblici i dati per favorire la trasparenza, ma anche quello di rendere omogenee le informazioni richieste alle amministrazioni dalla nuova legge, standardizzando i dati da pubblicare. Questi devono essere posti “all’interno della Sezione denominata “Trasparenza, valutazione e merito”, raggiungibile da un link, chiaramente identificabile dall’etichetta “Trasparenza, valutazione e merito”, posto nell’homepage del sito istituzionale”.

⁴ Il progetto CRS-SISS (Carta Regionale dei Servizi - Sistema Informativo Socio Sanitario) di Regione Lombardia ha come obiettivo la progettazione, lo sviluppo e la gestione del sistema informativo che consente il collegamento telematico della Regione, di tutti gli operatori del settore socio-sanitario (ASL, AO, MMG, PLS e farmacie) e dei cittadini. L’introduzione di questo sistema, che ha previsto la distribuzione di una *smart-card* a tutti i cittadini e agli operatori del settore, consente di migliorare l’offerta di servizi sanitari, garantire la continuità di cura, favorire le attività di governo del sistema socio-sanitario regionale e semplificare i processi interni alle aziende sanitarie rendendoli più efficienti.

⁵ Il progetto SOLE (Sanità *On-line*) è una rete informatica che collega i circa 3.800 MMG e PLS con tutte le strutture e i medici specialisti delle aziende sanitarie della Regione Emilia Romagna. SOLE favorisce la presa in carico degli oltre 4 milioni di cittadini tramite la condivisione delle informazioni sanitarie tra i medici che hanno in cura il paziente. Le richieste di esami e visite, i referti, le dimissioni dall’ospedale sono disponibili sulla rete SOLE a vantaggio dell’assistito e del suo rapporto con il medico.

⁶ La CSE è un progetto di semplificazione delle procedure sanitarie. La CSE è lo strumento attraverso il quale ciascun cittadino può accedere in qualsiasi momento e da qualsiasi postazione ai propri dati sanitari grazie ad una chiave privata che garantisce il riconoscimento del titolare e ne tutela la privacy. La tessera CSE è gratuita e viene spedita a tutti i cittadini assistiti dal Servizio sanitario regionale della Toscana in sostituzione dell’attuale Tessera sanitaria.

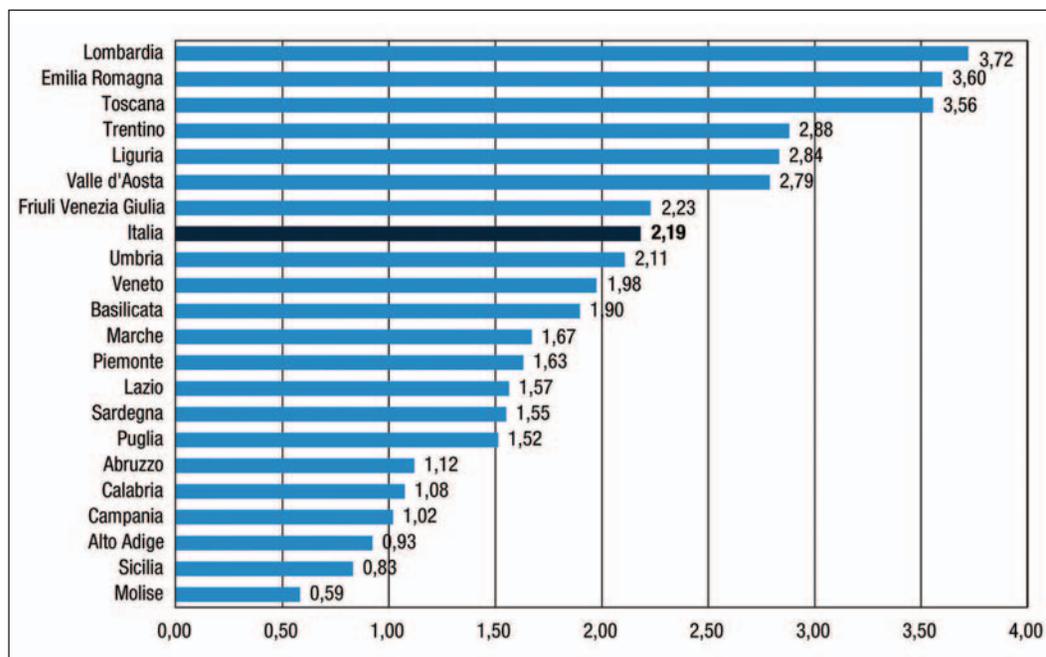


FIGURA 2
*PWEI complessivo
 medio per regione
 nel 2010*

tuale stato di realizzazione dei progetti non sia ancora pienamente compiuto soprattutto rispetto alla prospettiva del loro diretto utilizzo da parte dei pazienti [18].

Sulla telemedicina (**PWEI Telemed**) le esperienze risultano ancora limitate. Tra le poche esistenti, si annovera quella dell'ASL di Rovigo che presenta due servizi di telepatologia e teleradiologia a distanza. Le ASL sarde propongono diversi sistemi di telemedicina, in particolare spicca l'ASL di Olbia che ha sviluppato due progetti: il primo è un sistema rivolto ai pazienti diabetici che garantisce il monitoraggio costante da parte dei medici delle condizioni cliniche dei singoli utenti, permettendo di apportare in tempo reale le correzioni della cura oppure di suggerire variazioni degli stili di vita; il secondo prevede una partnership tra l'ASL di Olbia e l'ASL di Sassari per consulti neurochirurgici grazie alle immagini trasmesse attraverso sistemi di teleradiologia.

Le componenti del **PWEI Choice** sono quelle che registrano il miglioramento più significativo. Mentre, infatti, nel corso del 2009 la presenza dei curricula sembrava essere, nella maggior parte dei casi, una scelta del singolo professionista, nel 2010 la situazione è cambiata per il già menzionato adeguamento alla riforma Brunetta da parte delle aziende sanitarie. Anche in questo caso, tuttavia, si è deciso di attribuire un punteggio pieno solo alle

aziende sanitarie che hanno sistematicamente riportato i CV.

La diffusione di informazioni relative ai casi trattati dalle unità operative aziendali resta invece limitata a pochissime eccezioni. Spesso le indicazioni sono presenti all'interno di CV come casi effettuati dal singolo professionista. La pubblicazione di dati relativi alle liste d'attesa effettive è migliorata solo di poco. In molti casi, tuttavia, sono presenti ma non aggiornate, oppure i tempi di attesa vengono pubblicati in modo preciso solo per alcune tipologie di prestazioni.

Di seguito vengono descritti i principali risultati quantitativi della ricerca attraverso la presentazione dei valori del PWEI 2010 e delle differenze con le valutazioni del 2009.

Anche quest'anno nessuna delle aziende sanitarie indagate raggiunge un punteggio complessivo del PWEI vicino al valore massimo teorico, ossia 10. Nel 2010 solo tre aziende (una ASL, una AO e due Fondazione IRCCS) superano il valore 5 dell'indice e circa il 10% delle aziende mostra un punteggio superiore a 4.

La figura 2 riporta i dati complessivi medi del PWEI 2010 a livello regionale, comprendendo ASL, AO, AOU, policlinici privati e IRCCS pubblici e privati. La figura 2 descrive una situazione particolarmente variegata in cui, tuttavia, si possono individuare diversi cluster di regioni che hanno valori simili. Il primo cluster

di aziende è formato da Lombardia (3,72), Emilia Romagna (3,60) e Toscana (3,65): tali regioni risultano le migliori a livello nazionale in quanto, come specificato in precedenza, presentano dei progetti regionali per la diffusione di PHR.

Il secondo cluster non supera il tetto dei 3 punti ma mostra valori comunque superiori alla media nazionale di oltre 0,6 punti, si tratta di Trentino (2,88), Liguria (2,84) e Valle d'Aosta (2,79). È necessario, tuttavia, tenere in considerazione che per il Trentino e la Valle D'Aosta il punteggio si riferisce all'unica ASL che insiste sul territorio.

Friuli Venezia Giulia (2,23) e Umbria (2,11) si attestano intorno alla media nazionale (2,19).

Si ritiene interessante prendere in considerazione i singoli sotto-indicatori del PWEI per valutare i loro valori medi e verificare se nel 2010 presentano differenze rispetto all'anno precedente (Tabella 2).

Dai dati emerge una rilevanza maggiore del sotto-indicatore PWEI Site che ha una media di 4,22 punti, seguito da PWEI PHR (3,54). Significativi sono anche PWEI Choice e PWEI Community. Nel caso del PWEI Site il valore è direttamente riconducibile all'esistenza almeno di un sito web istituzionale per la quasi totalità delle aziende e dalla diffusa presenza di una descrizione della struttura organizzativa della struttura ospedaliera. Nel caso del PWEI PHR il valore è dovuto ai risultati positivi ottenuti da alcune regioni italiane come era avvenuto già nel corso del 2009 con Lombardia ed Emilia Romagna in testa, a cui va ad aggiungersi nel 2010 la Toscana.

Nella tabella 2 sono riportate anche le variazioni dei valori medi tra il 2009 e il 2010. Per tutti i sotto-indicatori, tranne per il PWEI Telemed, il delta risulta positivo ossia è stato registrato un aumento dei valori medi per singoli sottoindicatori. Questa crescita avvenuta a distanza di 12 mesi risulta essere comunque piuttosto contenuta, infatti i valori con segno positivo possono essere divisi in due cluster. Il primo è dato dai soli due sotto-indicatori con delta superiore ad 1: PWEI Choice (2,29) e PWEI Innovation (1,83), il secondo è dato dai restanti sotto-indicatori ad eccezione del PWEI Telemed che ha registrato un delta negativo pari a -0,63 punti. Questo dato può essere spiegato in quanto nell'anno 2009 erano stati

	Valore medio 2009	Valore medio 2010	Delta
PWEI Site	3,55	4,22	0,67
PWEI Clinic	1,10	1,48	0,38
PWEI Community	2,13	2,43	0,30
PWEI MD2P	0,94	1,27	0,33
PWEI PHR	2,79	3,54	0,75
PWEI Telemed	1,06	0,43	-0,63
PWEI Choice	0,32	2,61	2,29
PWEI Innovation	0,46	2,29	1,83

TABELLA 2

Valore medio nazionale di ogni sotto-indicatore del PWEI

attribuiti punteggi ad aziende sanitarie che presentavano progetti di telemedicina anche di tipo pilota, ma nel corso del 2010 molti di questi non risultano essere più attivi e quindi è stato inevitabile che per certi siti analizzati il sotto-indicatore assumesse un valore inferiore all'anno passato.

5. CONCLUSIONI

Recenti studi [19, 20] hanno evidenziato alcune minacce legate alle dinamiche del *web empowerment* e riconducibili soprattutto all'assenza di certificazione delle informazioni disponibili, sia nei PHR sia nelle informazioni e nei servizi web. Per esempio, il 20% dei siti utilizzati per ricerche di informazioni relative alla salute risultano sponsorizzati da aziende con potenziali conflitti di interesse e spesso sono privi di certificazioni di qualità rilasciate da soggetti indipendenti.

Si delinea pertanto un preoccupante *trade-off* tra i benefici legati ad un accresciuto *empowerment* del paziente e i rischi di una gestione del canale web senza un controllo e una strategia di sistema [21, 22, 23]. Proprio tale analisi ha ispirato, nel Regno Unito, le nuove strategie di riprogettazione del portale web del NHS, attraverso il quale il servizio pubblico ha perseguito un obiettivo di elevato *empowerment* del cittadino in un ambiente certificato, moderato e coerente con gli obiettivi del sistema (Figura 3).

La nuova misurazione del PWEI in Italia non

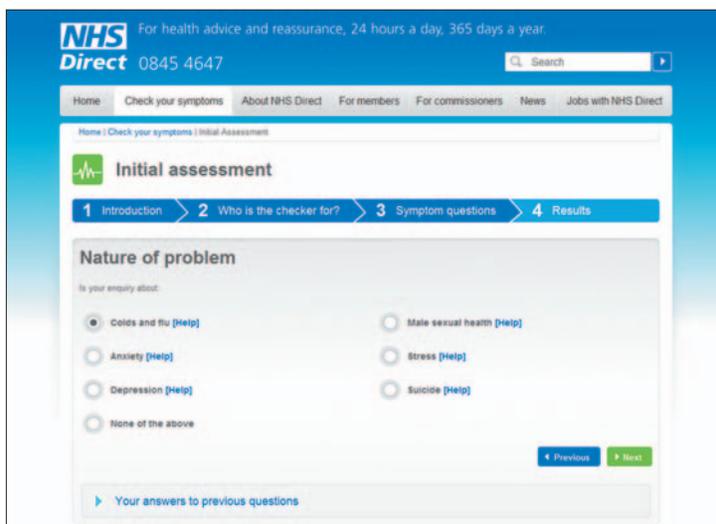


FIGURA 3
 Il symptom checker del portale NHS Direct (<http://www.nhsdirect.nhs.uk/>)

consente ancora di individuare una chiara e condivisa strategia di utilizzo del web per accrescere l'*empowerment* del paziente in un contesto ufficialmente certificato e moderato dal servizio pubblico. In Italia appare al contrario evidente il quadro di frammentazione delle esperienze e di complessiva inadeguatezza della progettazione dei siti delle aziende sanitarie del SSN.

Si conferma tuttavia, come illustrato nei paragrafi precedenti, la rilevanza che le strategie a livello regionale assumono nel dettare le linee di implementazione aziendali: le nuove strategie formulate dalla Regione Toscana, ad esempio, portano a tre il gruppo di regioni più "virtuose", in cui il valore del PWEI è positivamente influenzato da progetti regionali di *Personal Health Record*. Tutti gli altri contesti risentono ancora in misura significativa dell'assenza di strategie regionali a supporto delle implementazioni aziendali.

I dati rivelano tuttavia un lieve generalizzato incremento, seppur modesto, dei valori di PWEI nella quasi totalità delle aziende analizzate, come precedentemente illustrato, anche se quasi sempre tale incremento è ascrivibile alla realizzazione di iniziative pilota non integrate in un disegno strategico complessivo. Proprio la parcellizzazione di iniziative pilota che sono state dismesse spiega, tra l'altro, la vistosa riduzione (unico caso tra tutti i sottoindicatori) del PWEI Telemed, che rappresenta una delle evidenze

più preoccupanti che emergono dalla rilevazione 2010.

Unico sottoindicatore in notevole crescita - giova ribadirlo - è quello relativo al PWEI Choice anche se tale trend è in larga parte imputabile alla pubblicazione - obbligatoria per legge - dei CV dei dirigenti, quasi sempre, come si è osservato, in una logica amministrativa e formale più che di reale supporto al paziente nel recupero di informazioni a supporto del processo di scelta. Il reale contributo del web a un incremento della trasparenza del sistema non si è ancora evoluto in modo sostanziale.

Si conferma molto modesto l'incremento del PWEI Clinic: non è quindi possibile intravedere una chiara tendenza al miglioramento della qualità e dell'attendibilità delle informazioni cliniche *on line* che, come evidenziato in premessa, rappresenta la più rilevante problematica attualmente oggetto di analisi e dovrebbe costituire la prima motivazione per un rinnovato impegno degli attori del servizio sanitario pubblico, a tutela primaria della salute pubblica.

Il PWEI potrebbe rappresentare, a giudizio del team di ricerca, uno strumento per meglio comprendere, confrontare (anche attraverso analisi internazionali) e controllare le strategie web delle aziende e dei sistemi sanitari, supportando e accelerando la progettazione di servizi web disegnati sul nuovo ruolo del cittadino-paziente e in grado di caratterizzare le relazioni medico-paziente per un maggior livello di fiducia e di *partnership*, elementi essenziali per assicurare elevata qualità alle prestazioni ed elevata efficienza al processo erogativo.

Effettuare un *benchmark* periodico del PWEI significa abilitare una misurazione dei miglioramenti e, auspicabilmente, accelerare il trend di tale miglioramento, anche incentivando un circuito virtuoso di "riuso" delle idee e delle soluzioni adottate, stimolando fenomeni imitativi.

Il PWEI misura la performance delle aziende secondo la prospettiva del cittadino-cliente piuttosto che nella consueta ottica dell'azienda erogatrice. Da troppo tempo questa prospettiva risulta trascurata, tanto negli studi di management quanto nei concreti progetti di innovazione del SSN.

L'indice PWEI, aspetti metodologici

Le innovazioni basate sulle ICT e riscontrabili nei siti web istituzionali delle Aziende Sanitarie sono state valutate in base al loro impatto sulle due dimensioni fondamentali del *patient empowerment*:

- l'informazione del paziente;
- il controllo esercitato dal paziente sul proprio bisogno di salute.

L'analisi dei siti web è stata effettuata sulla base di due criteri fondamentali:

- l'immediatezza con cui le informazioni o i servizi sono rintracciabili nella navigazione del sito, senza particolari difficoltà o spreco di tempo dell'utente nel reperirle;
- la sistematicità (e non l'eccezionalità) della presenza di tali informazioni e servizi sul sito.

Nella fase di determinazione quantitativa si è attribuito valore 1 per la presenza sistematica e immediatamente fruibile del servizio o dell'informazione in esame, valore 0 nel momento in cui è assente e valore 0,5 ad una presenza non completamente strutturata.

Si precisa che, nell'universo di siti presi in considerazione, possono esservi alcuni servizi che sono stati valutati con un punteggio di 0,5 o 0, in considerazione dell'assenza di almeno uno dei due requisiti.

L'analisi dei siti web ha previsto l'utilizzo del PWEI, un indicatore multidimensionale composto da 8 sotto-indicatori, ciascuno dei quali ha l'obiettivo di misurare un diverso aspetto del fenomeno di *empowerment* del paziente attraverso il web.

I sottoindicatori di cui si compone l'indice sono i seguenti:

□ **PWEI Site (P1)**: è relativo ad alcune caratteristiche strutturali del sito che favoriscono una navigazione scorrevole e, soprattutto, rispondono efficacemente alle prime esigenze informative del paziente. Questo elemento non è direttamente legato ad un incremento di informazione e controllo ma rappresenta un pre-requisito per la migliore fruizione delle informazioni e dei servizi on-line. Tra queste sono state analizzate alcune caratteristiche legate all'accessibilità e alla fruibilità immediata dei contenuti e dei servizi erogati dall'ente. In particolare, si è esaminata la strutturazione del sito, assegnando un punto ai siti che consentono una navigazione secondo il modello *life event* oppure propongono una chiara segmentazione per cluster di pazienti. Il menu costruito secondo queste logiche può aiutare la consultazione da parte del paziente che ha problematiche specifiche e che riceve, così, una risposta mirata al proprio fabbisogno. Infine, è stata valutata anche la chiara rappresentazione della struttura organizzativa aziendale, indispensabile al paziente come mappa per orientarsi tra le diverse unità operative che la compongono.

□ **PWEI Clinic (P2)**: è rappresentato dalle informazioni cliniche ottenibili dal paziente sul sito. Per costruire il sotto-indicatore sono stati presi in considerazione diversi elementi relativi alle informazioni di carattere sanitario presenti sul sito: a partire da semplici schede divulgative o newsletter fino ad arrivare a test di valutazione del proprio rischio clinico o per l'autodiagnosi.

□ **PWEI Community (P3)**: valuta la presenza sul sito web di *community on-line* o di gruppi che garantiscono un supporto informativo clinico, psicologico o di accompagnamento ai pazienti che affrontano particolari problematiche di carattere sanitario, anche sotto forma di *bookmark* di risorse internet o elenchi e riferimenti a risorse non web (generalmente in modalità rubrica).

□ **PWEI MD2P - Medical Doctor To Patient (P4)**: è costituito dalla comunicazione medico-paziente direttamente on-line e contribuisce a migliorare in modo rilevante la qualità e la quantità di informazioni clinica a disposizione dell'utente. Il paziente può, infatti, rivolgersi direttamente ai professionisti per indicazioni o consigli di carattere sanitario attraverso l'e-mail personale, blog, forum, FAQ ecc.. In questo contesto si è anche rilevata l'eventuale multicanalità dell'approccio delle Aziende Sanitarie (oltre ad internet, anche telefono o televisione digitale terrestre).

□ **Personal Health Record (PHR - P5)**: garantisce la possibilità di accedere al proprio record elettronico delle informazioni sulla salute, assimilabile ad una cartella clinica, che riporta l'intera storia sanitaria della persona oppure singoli referti di prestazioni diagnostiche e sanitarie. Il PHR è, quindi, un importante strumento sia di informazione sia di controllo sui propri dati di carattere sanitario. Il sotto-indicatore PWEI PHR analizza la possibilità di visionare e di scaricare il proprio fascicolo elettronico direttamente dal sito dell'Azienda Sanitaria oppure attraverso altre modalità come la carta elettronica o l'accesso da parte del proprio MMG o dello specialista di riferimento.

□ **PWEI Choice (P6)**: prende in considerazione alcuni dei più importanti elementi che, se presenti sul sito, possono orientare il paziente verso la scelta dell'azienda sanitaria e dei professionisti più indicati presso i quali ottenere la prestazione richiesta o, quantomeno, favoriscono la trasparenza dell'Azienda Sanitaria nei confronti degli utenti (curriculum vitae dettagliati dei medici, tipologia e quantità di casi trattati di una determinata patologia, liste d'attesa per prestazioni diagnostiche e visite specialistiche).

□ **PWEI Telemed (P7)**: valuta la disponibilità sul sito dell'azienda sanitaria di servizi erogati con il sistema della telemedicina, che generalmente permette di effettuare diagnosi clinica in modo virtuale senza la presenza fisica del paziente presso il medico. In particolare, è stata valutata una chiara offerta di servizi di teleconsulto specialistico a distanza, teleassistenza domiciliare e telesoccorso.

□ **PWEI Innovation (P8)**: misura la presenza di innovazioni particolari, anche con un carattere di eccezionalità, andando oltre agli impatti informativi e di controllo indagati in questa ricerca. Ossia si è rilevata - in sin-

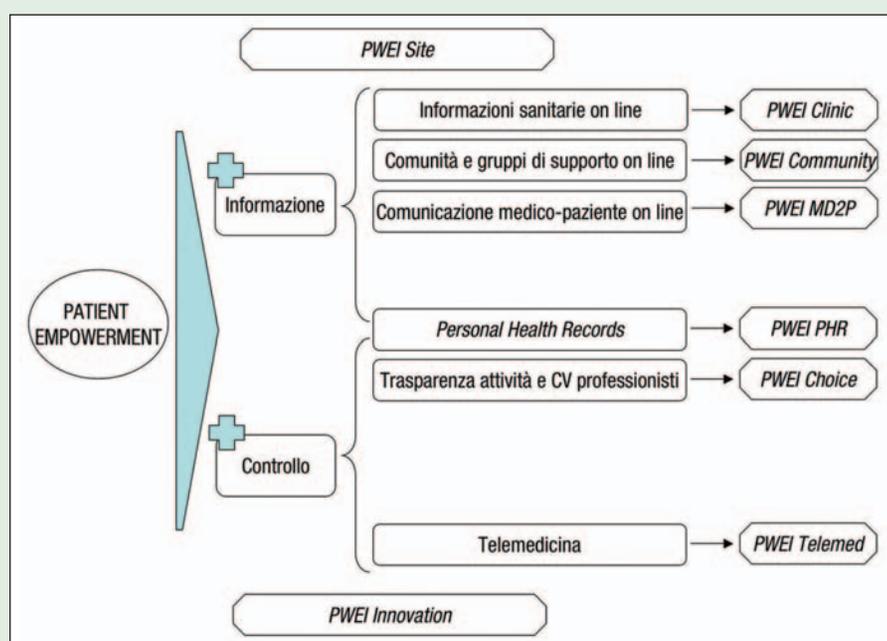
segue

goli casi - la presenza sul sito di alcuni servizi accessori basati sulle ICT, per esempio la webcam o l'album fotografico dei neonati dei reparti maternità o delle terapie intensive neonatali oppure la possibilità di accedere ad un sistema di prenotazione delle prestazioni *on line*.

Ogni sotto-indicatore è stato pesato rispetto alla rilevanza dello stesso nell'accrescere il grado di *patient empowerment*. I pesi sono stati attribuiti sulla base delle diverse accezioni di *empowerment* che si riscontrano in letteratura [25, 26, 29] e affinati tramite il coinvolgimento di un pool di esperti. Il valore dell'indicatore - il cui massimo teorico è pari a 10 - è dato dalla seguente formula:

$$PWEI = 0,5 P_1 + 2 P_2 + 0,5 P_3 + 1,5 P_4 + 2 P_5 + 2 P_6 + 1 P_7 + 0,5 P_8$$

La figura **A** sintetizza il collegamento dei principali sotto-indicatori dell'indice PWEI con i maggiori ambiti di applicazione delle ICT nei siti web delle Aziende Sanitarie e il loro impatto in relazione ai due elementi qualificanti l'*empowerment* del paziente: informazione e controllo.



A - I sottoindicatori del PWEI Fonte [14]

Bibliografia

- [1] Eysenbach G.: What is e-health?. *Journal of Medical Internet Research*, Vol. 3, n. 2, 2001.
- [2] Rigby M.J., Hulm C., Detmer D., et al.: *Enabling the Safe and Effective Implementation of Health Informatics Systems – Validating and Rolling Out the ECDL/ICDL Health Supplement*. MEDINFO 2007 Proceedings of the 12-th World Congress on Health (Medical) Informatics. Kuhn K.A., Warrene J.R., Leong T.-Y.. Amsterdam, IOS PRESS. Vol. 2, 2007, p. 1347-1351.
- [3] Buccoliero L., Sala F.: *ECDL Health in Italy*. Collaboration and the Knowledge Economy: Issues, Applications, Case Studies. Cunningham P., Cunningham M.. Amsterdam, IOS Press, 2008, p. 89-99.
- [4] Hesse B.W., Nelson D.E., Kreps G.L., et al.: Trust and Sources of Health Information: The Impact of the Internet and Its Implications for Health Care Providers: Findings From the First Health Information National Trends Survey. *Arch Intern Med*, Vol. 165, n. 22, 2005, p. 2618-2624.
- [5] Cox B., Thornewill J.: The Consumer's View of the Electronic Health Record: Engaging Patients in EHR Adoption. *Journal of Healthcare Information Management*, Vol. 22, n. 2, 2008, p. 43-47.
- [6] Buccoliero L., Prenestini A.: La Cartella clinica elettronica per l'empowerment del paziente: i percorsi verso la realizzazione di Personal Health Record. *Management della Sanità*, n. 5, 2009, p. 24-27.
- [7] Buccoliero L.: Come realizzare un ospedale paperless: un modello "di marketing" dal Giappone. *E-Healthcare*, Vol. 2, n. 3, 2010, p. 70-73.
- [8] Leong S.L., Gingrich D., Lewis P.R., et al.: Enhancing Doctor-Patient Communication Using Email: A Pilot Study. *J Am Board Fam Pract*, Vol. 18, n. 3, 2005, p. 180-188.

- [9] Giustini D.: How Web 2.0 is changing medicine. *BMJ*, 333(7582), 2006, p. 1283-1284.
- [10] Barak A., Boniel-Nissim M., Suler J.: Fostering empowerment in online support groups. *Computers in Human Behavior*, Vol. 24, n. 5, 2008, p. 1867-1883.
- [11] Frost H.J., Massagli P.M.: Social Uses of Personal Health Information Within PatientsLikeMe, an Online Patient Community: What Can Happen When Patients Have Access to One Another's Data. *J Med Internet Res*, Vol. 10, n. 3, e15, 2008.
- [12] Van Uden-Kraan C.F., Drossaert C.H.C., Taal E., et al.: Participation in online patient support groups endorses patients' empowerment. *Patient Education and Counseling*, Vol. 74, n. 8, 2009.
- [13] O'Reilly, T.: What Is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. *Communications and strategies*, Vol. 65, 2007.
- [14] Bellio E., Buccoliero L., Prenestini A.: *Patient web empowerment: la web strategy delle aziende sanitarie del SSN. Rapporto OASI 2009*. L'aziendalizzazione della sanità in Italia. Anessi E., Pessinae E., Cantù, Milano, EGEA, 2009, p. 413-434.
- [15] Bundorf M.K., Wagner T.H., Singer S.J., et al.: Who Searches the Internet for Health Information? *Health Services Research*, Vol. 41, 2006, p. 819-836.
- [16] Eysenbach G., Köhler C.: How do consumers search for and appraise health information on the world wide web? Qualitative study using focus groups, usability tests, and indepth interviews. *British Medical Journal*, Vol. 324, 2002, p. 573-7.
- [17] Bellio E., Buccoliero L., Prenestini A.: *Patient web empowerment Index 2010: il ranking annuale della web strategy delle aziende del SSN. Rapporto OASI 2010*. L'aziendalizzazione della sanità in Italia. E. Anessi Pessinae E. Cantù. Milano, EGEA: in press, 2010.
- [18] Buccoliero L., Mattavelli E.: *La patente europea del computer*. Certificazione informatica per gli operatori sanitari. Milano, Tecniche Nuove, 2008.
- [19] Kreps G.L., Neuhauser L.: New directions in eHealth communication: Opportunities and challenges. *Patient Education and Counseling*, Vol. 78, n. 3, 2010, p. 329-336.
- [20] Starman J.S., Gettys F.K., Capo J.A., et al.: Quality and Content of Internet-Based Information for Ten Common Orthopaedic Sports Medicine Diagnoses. *The Journal of Bone and Joint Surgery (American)*, Vol. 92, 2010, p. 1612-1618.
- [21] Salmon P., Hall G.M.: Patient empowerment and control: a psychological discourse in the service of medicine. *Social Science & Medicine*, Vol. 57, n. 10, 2003, p. 1969-1980.
- [22] Salmon P., Hall G.M.: Patient empowerment or the emperor's new clothes. *J R Soc Med*, Vol. 97, n. 2, 2004, p. 53-56.
- [23] Aujoulat I., d'Hoore W., Deccache A.: Patient empowerment in theory and practice: Polysemy or cacophony? *Patient Education and Counseling*, Vol. 66, n. 1, 2007, p. 13-20.
- [24] Eysenbach G.: Medicine 2.0: Social Networking, Collaboration, Participation, Apomediation, and Openness. *J Med Internet Res*, Vol. 10, n. 3, e22, 2008.
- [25] Funnell M.M., Anderson R.M.: Empowerment: an idea whose time has come in diabetes education. *Diabetes Educator*, Vol. 17, 1991, p. 37-41.
- [26] Johnston Roberts K.: Patient empowerment in the United States: a critical commentary. *Health Expectations*, Vol. 2, n. 2, 1999, p. 82-92.
- [27] Kevin J., Leonard M.C., David W.: Who Will Demand Access to Their Personal Health Record? A focus on the users of health services and what they want. *Healthcare Quarterly*, Vol. 11, n. 1, 2008, p. 92-96.
- [28] Lemire M., Sicotte C., Parè G.: Internet use and the logics of personal empowerment in health. *Health Policy*, Vol. 88, n. 10, 2008.
- [29] Steele D.J., Blackwell B., Gutmann M.C., et al.: Beyond advocacy: A review of the active patient concept. *Patient Education and Counseling*, Vol. 10, n. 1, 1987, p. 3-23.

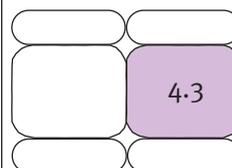
LUCA BUCCOLIERO è docente di marketing dei servizi pubblici (responsabile del nuovo corso "marketing e cittadino-cliente") presso il Dipartimento di Marketing dell'Università Bocconi di Milano; è inoltre docente senior presso la SDA Bocconi di Milano e *visiting professor* presso la Waseda University di Tokyo. Si occupa del management dell'innovazione tecnologica in ambito pubblico e sanitario, con particolare riferimento alle nuove opportunità di creazione di valore per cittadini e pazienti attraverso lo sviluppo di progetti di *e-government*. Laureato in Economia Aziendale presso l'Università Bocconi, ha ottenuto un dottorato di ricerca in Economia delle Aziende e delle Amministrazioni Pubbliche presso l'Università di Parma. Ha presentato e discusso paper in convegni internazionali e pubblicato articoli e saggi, con particolare focalizzazione dell'attività di ricerca sulle tematiche relative a *E-government* ed *E-health*, oltre che sui sistemi informativi contabili e direzionali nelle aziende sanitarie/ospedaliere e negli enti locali. Collabora con AICA dal 2003 con particolare riferimento allo sviluppo e alla diffusione della certificazione ECDL Health, nonché al progetto PKM 360°. E-mail: luca.buccoliero@unibocconi.it

SIMULAZIONE NUMERICA DELLE CONSEGUENZE DI UN TERREMOTO A MESSINA



La crescita delle conoscenze in campo scientifico e informatico ha permesso di simulare numericamente gli effetti di un terremoto. È stato quindi possibile condurre uno studio per analizzare gli effetti che oggi produrrebbe a Messina uno scenario sismico con caratteristiche simili a quelle del terremoto avvenuto nel messinese il 28 dicembre del 1908. L'analisi effettuata si è avvalsa di differenti strumenti informatici quali sistemi informativi territoriali, simulazione di città virtuali in Google Earth® e simulazione di analisi strutturali attraverso software specifici di calcolo.

Helen Crowley
Miriam Colombi
Manuel Lopez
Maria Serena Teramo
Rui Pinho



1. INTRODUZIONE

Il 28 dicembre del 1908, alle 5:20 del mattino, la città di Messina venne quasi completamente distrutta da un terremoto tra i più catastrofici della storia dell'Europa, che provocò circa 86.000 vittime. Da quella data fino ad oggi, la crescita delle conoscenze in campo scientifico e informatico ha permesso la simulazione numerica degli effetti di un terremoto. Grazie a tali conoscenze, con lo scopo di accrescere la consapevolezza del livello di rischio sismico nell'area messinese, si sono voluti analizzare gli effetti che uno scenario sismico, con caratteristiche simili a quello del 1908, provocherebbe oggi nell'area di Messina.

Lo studio e la valutazione del rischio sismico sono attività multidisciplinari che prevedono la raccolta e il censimento di dati, la stima della vulnerabilità delle strutture, l'analisi della pericolosità sismica e studi delle scienze socio-economiche (Figura 1). Il rischio sismico rappresenta la probabilità di ottenere una determinata perdita in un territorio di riferimento e viene calcolato attraverso la con-

voluzione di tre parametri fondamentali: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Generalmente la pericolosità viene quantificata con un parametro di scuotimento. Una volta modellata la pericolosità della zona – per esempio lo Stretto di Messina è una delle aree sismicamente più attive in Italia - è pos-



FIGURA 1
Elementi essenziali per uno studio completo di rischio sismico

sibile metterla in relazione al danno di edifici tramite una curva di vulnerabilità. La vulnerabilità sismica rappresenta la propensione di una struttura a subire un determinato livello di danno a fronte di un evento sismico di data intensità. Per questo motivo vengono calibrate specifiche curve di vulnerabilità a seconda della tipologia degli edifici (muratura, cemento armato, strutture miste). Infine l'esposizione, che rappresenta l'insieme degli edifici e dei beni che possono subire danno, viene stimata attraverso dati provenienti da censimenti.

Per poter considerare anche le perdite socio-economiche causate da un evento sismico occorre valutare una quarta componente da correlare a questa tipologia di perdita. I danni agli edifici, per esempio, potrebbero essere messi in relazione con le perdite economiche dovute alla ristrutturazione o alla ricostruzione della struttura, oppure, il collasso degli edifici potrebbe essere messo in relazione con il numero di vittime.

Per quanto riguarda il seguente studio, sono state valutate la severità di scuotimento, l'entità del danno al patrimonio edilizio e le relative conseguenze economiche e sociali. Si noti che non si vuole proporre un'esatta ripetizione del terremoto del 1908, ma si vuole piuttosto caratterizzare una delle plausibili ipotesi sul meccanismo di sorgente che ha generato l'evento e sulla propagazione delle onde sismiche. Si potrebbe, per esempio, utilizzare una diversa ipotesi sulla posizione dell'epicentro e sulla dimensione della rottura della faglia o una diversa metodologia per la stima del danno riguardante il patrimonio edilizio. In questo articolo, si mette in maggior rilievo l'importanza che l'informatica oggi ha sulle analisi di rischio sismico e il grande supporto che essa riesce a dare a sostegno di gestioni di emergenze conseguenti al disastro post-terremoto. Va ricordato, infatti, che lo studio di scenari di danno è molto utile a gestire le emergenze emerse subito dopo un evento sismico quali, per esempio, la definizione delle priorità di assegnazione delle risorse per opere di adeguamento e miglioramento sismico, la definizione di politiche assicurative per i danni da terremoti e la pianificazione urbana per lo sviluppo futuro di una città.

2. RACCOLTA E IMMAGAZZINAMENTO DEI DATI

La prima fase di sviluppo del calcolo del rischio riguarda la raccolta e l'immagazzinamento dei dati inerenti tre fattori principali quali pericolosità, vulnerabilità ed esposizione in modo ordinato, dinamico e facilmente modificabile. I dati provengono da fonti e da metodologie di raccolta diverse e per questo motivo si presentano spesso in formati differenti gli uni dagli altri. La fase di raggruppamento e omologazione dei dati rappresenta un passaggio fondamentale che permette alle analisi di essere effettuate in modo efficiente. Una buona organizzazione informatica riduce notevolmente i tempi di calcolo, produce risultati ordinati ed estremamente fruibili da ogni tipo di pubblico e ne permette una successiva manipolazione in caso si vogliano produrre ulteriori studi e approfondimenti.

La raccolta di tutti i rilievi macrosismici dopo il terremoto del 1908 ha permesso di determinare il livello di scuotimento del terreno durante l'evento stesso. Attualmente sono disponibili anche procedure basate sulla conoscenza di processi fisici responsabili dell'emissione delle onde sismiche e l'intensità macrosismica non rappresenta più la sola informazione a disposizione per individuare le aree a maggior rischio sismico in Italia. Nonostante lo sviluppo di nuove procedure scientifiche, l'intensità macrosismica viene tuttora impiegata come supporto nella gestione dell'emergenza post-evento. Anche in questo caso, il supporto telematico è di importanza fondamentale per permettere la circolazione repentina delle informazioni disponibili. Le mappe di risentimento macrosismico possono essere realizzate immediatamente dopo un terremoto, utilizzando una combinazione tra le registrazioni del movimento del suolo, le stime dell'intensità percepita inviate tramite internet e le previsioni dello scuotimento del suolo ottenute tramite leggi empiriche e determinate previa conoscenza delle condizioni della geologia locale del terreno¹. Tali mappe di scuotimento istantanee possono essere sovrapposte a mappe che mostrano la densità della popolazione per ottenere tempestive previ-

1 Per esempio: <http://earthquake.rm.ingv.it/shakemap/shake>

sioni delle conseguenze del terremoto². L'aumento delle conoscenze scientifiche negli ultimi 100 anni ha permesso agli scienziati di simulare numericamente gli effetti di un terremoto. Lo scuotimento del suolo può essere calcolato in modo numerico tramite algoritmi che richiedono la conoscenza delle caratteristiche principali della sorgente del terremoto: la geometria e le dimensioni del piano di faglia dove avviene la rottura; il punto di inizio della rottura e la sua velocità di propagazione; lo spostamento relativo tra i due blocchi di faglia, come anche le proprietà del mezzo attraverso il quale le onde si propagano. L'insieme di questi parametri costituiscono le informazioni necessarie per calcolare numericamente i sismogrammi sintetici per un dato scenario sismico. Nel seguente studio è stato riprodotto un sisma di magnitudo simile a quello di Messina del 1908. È stato quindi considerato un terremoto di magnitudo 7.1 originato da una faglia normale, lunga 40 km e larga 20 km, ubicata nello stretto di Messina. La geometria della faglia, la posizione dell'epicentro e la descrizione del processo di rottura sono ricavate dalla letteratura riguardante il terremoto del 1908 [9, 1]. La faglia viene incorporata in un modello semplificato della crosta terrestre in cui sono assegnate le velocità delle onde sismiche, l'attenuazione anelastica e la densità delle rocce [2].

Per quanto riguarda la vulnerabilità e l'esposizione, è stato compilato un inventario degli edifici residenziali sfruttando diverse fonti di dati: il Censimento ISTAT della Popolazione e delle Abitazioni del 1991, indagini sul campo e immagini satellitari. La fonte principale utilizzata per un primo studio è stata quella del Censimento ISTAT del 1991, mentre le indagini in situ si stanno attualmente effettuando a Messina, edificio per edificio, a cura dell'Osservatorio Sismologico dell'Università, e andranno avanti per i prossimi mesi e anni. Da tale inventario è possibile dedurre le principali caratteristiche degli edifici tipici del patrimonio edilizio messinese che servono ad identificarne la vulnerabilità. Dopo il terremoto del 1908 a Messina, il 18 aprile del 1909, in Italia venne introdotta la prima classifica-

zione sismica che individuava quelle città in cui gli edifici dovevano essere progettati specificamente per resistere a forze addizionali dovute allo scuotimento del terreno. Da quella data, Messina è sempre stata classificata in zona 1 che rappresenta la zona a massimo rischio e che obbliga i progettisti a progettare gli edifici per una forza laterale pari al 10% dei carichi verticali.

I dati di esposizione, in termine di numero di abitazioni, raccolti dal Censimento ISTAT del 1991, forniscono informazioni a livello comunale (utile per studi di ordine nazionale e regionale) e a livello di sezione censuaria (utile per studi più di dettaglio come il presente lavoro). La sezione di censimento rappresenta l'area all'interno della quale il singolo funzionario raccoglie i dati. La dimensione di una sezione di censimento può variare nelle zone urbane e rurali, in funzione della diversa densità degli edifici. Tale censimento è molto vantaggioso in quanto le abitazioni sono classificate in termine di tipologia costruttiva, anno di costruzione e numero di piani. Sono noti anche il volume, il numero di abitanti e lo stato di conservazione dell'abitazione. Nonostante questo, va sottolineata la possibilità di avere errori nella valutazione del numero di edifici che viene realizzata a partire da dati sulle abitazioni. Tali errori potrebbero essere dovuti a trascrizioni sbagliate e potrebbero essere causati dal fatto che gli addetti alla compilazione delle schede ISTAT non sono persone competenti in campo ingegneristico. Infine, va ricordato che il numero di edifici stimato non considera le strutture edificate dopo il 1991.

Tutte queste informazioni possono essere utilizzate per raggruppare gli edifici, che dovrebbero rispondere in modo analogo allo scuotimento del terreno, in classi omogenee:

□ edifici costruiti in periodi diversi presentano differenti caratteristiche strutturali perché le normative sismiche cambiano col migliorare delle conoscenze sul comportamento delle strutture e sulle azioni sismiche alle quali devono essere soggetti;

□ edifici con altezze diverse rispondono diversamente allo scuotimento del terreno – se il periodo naturale di vibrazione di un edificio, che è funzione dell'altezza, è prossimo alla frequenza predominante del movimento del terreno, si verifica il fenomeno di risonan-

2 Per esempio: <http://earthquake.usgs.gov/eq-center/pager/>

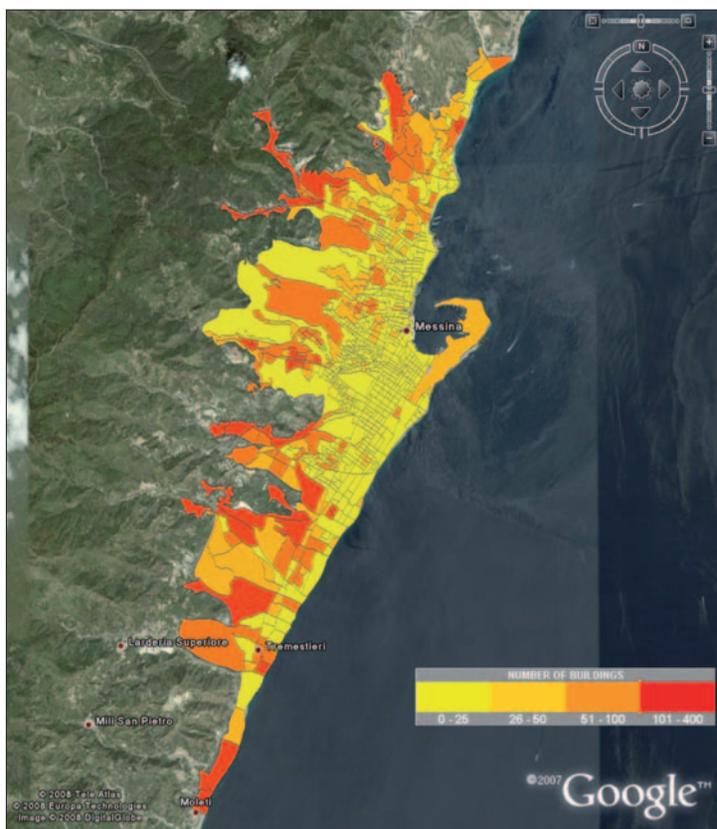


FIGURA 2

Numero di edifici all'interno di ogni sezione censuaria per un'area del comune di Messina

za e la risposta dell'edificio viene amplificata; ■ gli edifici realizzati con differenti tipologie costruttive - in Italia tipicamente muratura, cemento armato o una combinazione dei due - reagiranno diversamente allo scuotimento del terreno perché sono in grado di sopportare diversi livelli di forza laterale e di spostamenti indotti dal moto del terreno.

Note tali caratteristiche e suddivisi gli edifici in classi omogenee, è possibile stimare la capacità di ogni classe utilizzando metodologie *ad hoc*. Nel paragrafo successivo si riportano in dettaglio la scelta e lo sviluppo della metodologia utilizzata.

Tutti i dati raccolti vengono archiviati e importati in un GIS (*Geographical Information System*). Il GIS rappresenta il sistema informativo utilizzato per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali associando a ciascun elemento geografico una o più descrizioni alfanumeriche. Tale sistema permette di mettere in relazione tra loro dati diversi sulla base del loro comune riferimento

geografico in modo da creare nuove informazioni a partire dai dati esistenti. Nel caso oggetto di studio, il comune riferimento geografico è rappresentato dalla sezione censuaria. Ogni sezione contiene in sé una serie di informazioni necessarie ad un'analisi del rischio, quali, per esempio, il numero di edifici per quella sezione o il numero di persone che vivono in tali strutture. Tali dati possono essere visualizzati graficamente nel GIS o possono essere manipolati estraendo tabelle, creando join tra differenti tabelle e utilizzando diversi algoritmi di analisi. Un tool apposito è stato utilizzato per esportare dal GIS le informazioni di interesse in un file *.kml leggibile e importabile in Google Earth®. Google Earth® rappresenta un ottimo ambiente di lavoro e di visualizzazione dati, in grado di generare immagini virtuali della Terra ed è utilizzabile indipendentemente dal sistema operativo di utilizzo (Microsoft Windows, Mac OS X, Linux). Utilizza immagini satellitari, fotografie aeree e dati topografici che sono memorizzati in una piattaforma GIS. Nella figura 2 si riporta, in un'immagine Google Earth®, il numero di edifici per sezione censuaria di una zona del comune di Messina.

In questa fase dello studio è stata realizzata una città virtuale selezionando una parte del territorio urbanizzato dell'area messinese ed utilizzando i dati del censimento ISTAT 1991. Il punto di partenza è rappresentato dalla carta catastale, in formato digitale. La carta catastale viene suddivisa in diversi *layers* da cui si identificano le impronte degli edifici presenti. In Autocad® si assegnano i bordi ad ogni impronta rappresentante una struttura e si identifica l'oggetto come una polilinea. Questa procedura permette, in seguito, di importare i dati in un GIS trasformandoli in *shapefile*. Quando nuovi rilievi o nuove immagini satellitari forniranno dati più aggiornati, dal GIS sarà sempre possibile modificare, cambiare e migliorare i bordi degli edifici e aggiungere tutte le informazioni necessarie. È inoltre possibile georeferenziare i singoli edifici attribuendogli una dislocazione geografica e aggiungere molteplici caratteristiche quali, per esempio altezza e tipologia costruttiva. Una volta che il file è stato georeferenziato e che l'informazione relativa all'esatta posizione degli edifici è stata assegnata, può essere esportato ed importato in Google Earth®.

Può accadere che la carta catastale non sia ag-

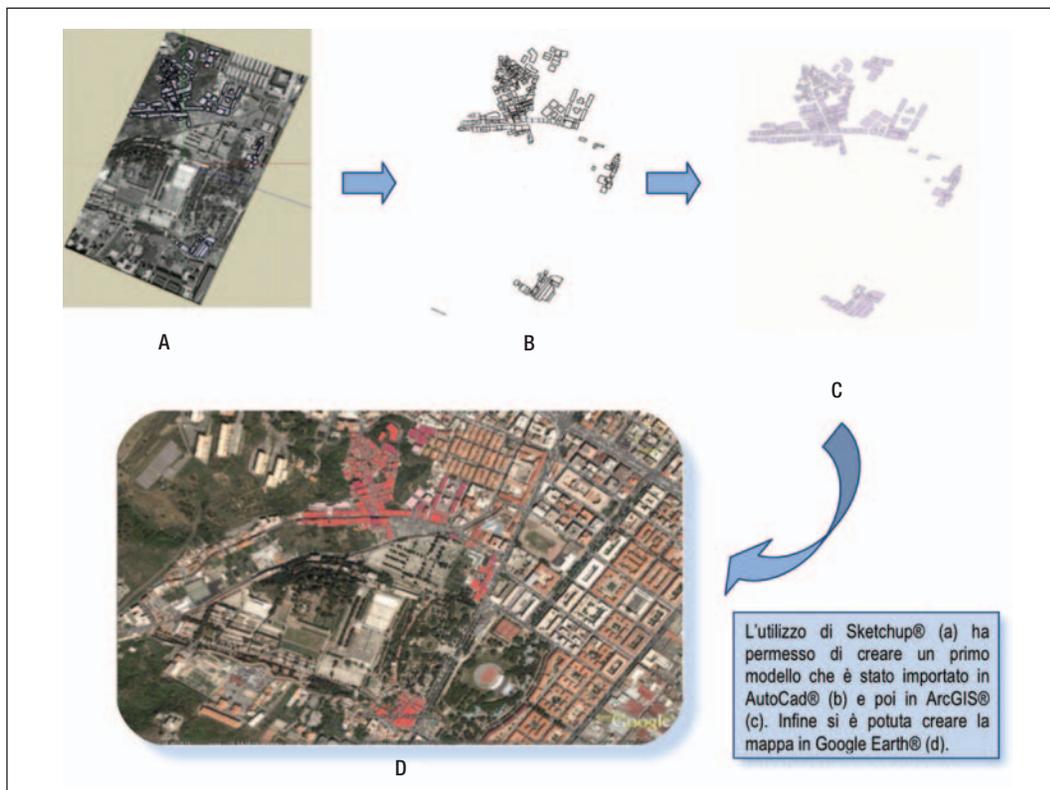


FIGURA 3

Sviluppo di una città virtuale. A - mappa Autocad® in SketchUp® Pro dell'area catastale F123 integrata con le strutture mancanti. B - mappa in Autocad®, C - mappa in ArcGIS®, D - mappa Google Earth®

giornata e dai rilievi condotti in situ o tramite immagini satellitari risultino differenze evidenti con il costruito attuale. Per fronteggiare questa mancanza, si utilizza un'applicazione di computer grafica (SketchUp® Pro) che permette di disegnare manualmente le strutture mancanti importando l'area selezionata in Google Earth®. SketchUp® Pro permette di creare in modo molto semplice e intuitivo forme bidimensionali e tridimensionali ed è molto utilizzato nel campo della progettazione architettonica, dell'urbanistica e dell'ingegneria civile. In secondo luogo, si importano tutti i dati necessari in Autocad® e si esegue la stessa procedura sopra descritta. Nella figura 3 sono riportati tutti i passaggi eseguiti, dalla visualizzazione in SketchUp® Pro alla visualizzazione in Google Earth® passando per quella in Autocad® e in ArcGIS®. I diversi colori presenti in Figura 3 nel modello in Google Earth® rappresentano le diverse altezze.

Come è stato accennato precedentemente è possibile, dal GIS, inserire nell'inventario creato e georeferenziato qualsiasi tipo di informa-

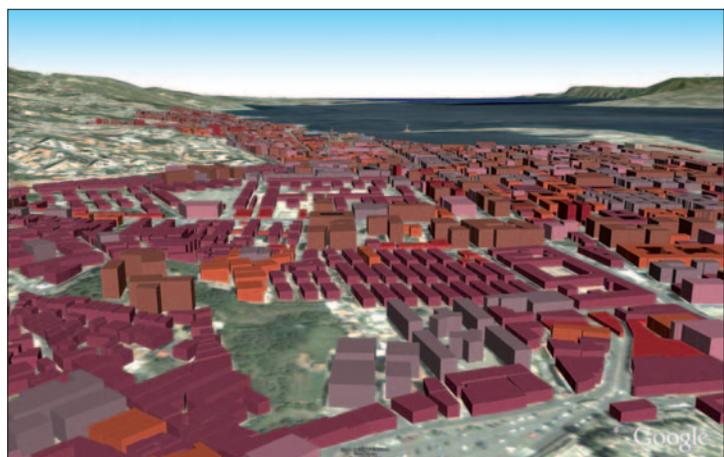


FIGURA 4

Modello virtuale degli edifici in Messina

zione come l'altezza degli edifici, ma anche la loro tipologia costruttiva o qualsiasi altra caratteristica disponibile. L'inserimento dei dati relativi all'altezza degli edifici permette una visualizzazione 3D della città virtuale creata su un'area del comune di Messina (Figura 4). La creazione della città tridimensionale presenta sicuramente dei vantaggi. Come si evidenzia nella figura 5 i modelli 3D forniscono una mi-

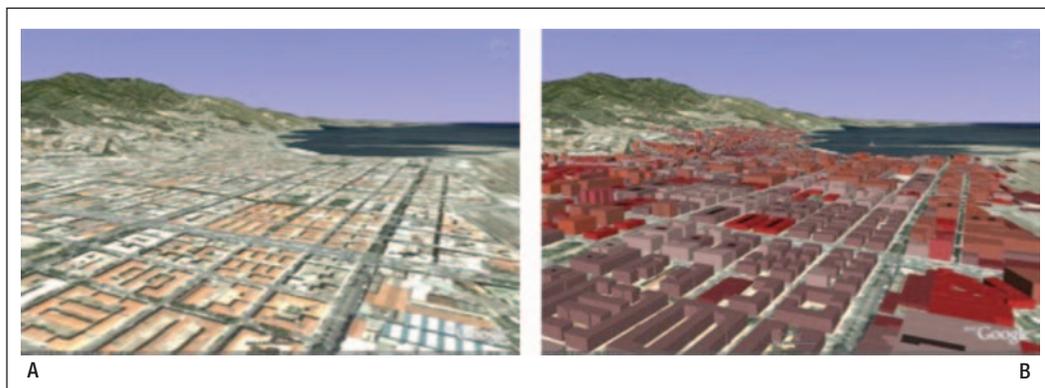


FIGURA 5

A - Rappresentazione 2D di un'area della città di Messina. **B** - Rappresentazione 3D di un'area della città di Messina

gliore rappresentazione delle reali dimensioni degli edifici che compongono la città. I differenti colori possono essere utilizzati per visualizzare il tipo di costruzione, oppure l'anno di costruzione o il livello di vulnerabilità. Le strutture possono così essere facilmente raggruppate in classi omogenee. Un altro vantaggio è che i punti di riferimento di una città (quali per esempio il porto, una chiesa ecc.) sono velocemente identificabili e si potrebbero utilizzare colori differenti per distinguere, per esempio, strutture pubbliche da strutture strategiche da edifici residenziali. Come è possibile dedurre, una città virtuale rappresenta uno strumento estremamente valido utilizzabile da diverse utenze e per differenti necessità.

3. ELABORAZIONE DEI DATI PER IL CALCOLO DEL RISCHIO SISMICO

Una volta che tutti i dati necessari sono stati raccolti e archiviati in un ambiente GIS, l'integrazione e la convoluzione degli stessi sono necessarie per la stima del rischio sismico. La flessibilità e la dinamicità dell'ambiente di sviluppo creato rendono agevole ed efficiente l'interazione tra i dati.

Per quanto riguarda la pericolosità, considerati i dati ricavati dalla letteratura, sono stati applicati metodi numerici per simulare il movimento del suolo in diversi punti virtuali intorno allo Stretto di Messina. Gli accelerogrammi utilizzati sono stati definiti in due fasi [10, 7] e tale procedura ha permesso di ottenere serie temporali realistiche che potrebbe-

ro originarsi dalla rottura della faglia precedentemente assunta. La figura 6 mostra un esempio di sismogrammi in velocità ottenuti nei punti in cui è stato simulato lo scuotimento per l'area di Messina.

Dai sismogrammi prodotti si sono calcolati i valori di risposta spettrale sia in accelerazione, che in velocità, che in spostamento. Questi rappresentano la domanda che viene sottoposta ad un edificio e che dovrà essere, in seguito, confrontata con la capacità dell'edificio stesso per stabilire i danni che esso può subire.

Come accennato precedentemente, alcuni edifici hanno più probabilità di altri ad essere danneggiati e la predisposizione di un edificio ad essere danneggiato da un dato livello di scuotimento del terreno è nota come vulnerabilità. Il livello di danno è funzione di come gli edifici rispondono ai movimenti del terreno, che rappresentano la domanda sismica, e della loro capacità di resistere a questa domanda. I parametri principali utilizzati per suddividere gli edifici in gruppi con livelli di vulnerabilità simili sono: anno di costruzione, altezza e materiale di costruzione. Per Messina, le due tipologie più diffuse sono rappresentate da edifici in cemento armato e muratura e di queste sono state definite le caratteristiche e la configurazione. Una progettazione strutturale simulata viene effettuata per ogni tipologia di edificio, basata sulle normative di progettazione in vigore al tempo della sua costruzione. A tal fine è stato condotto anche uno studio sull'evoluzione, in Italia, delle normative di progettazione nel secolo passato [5]. Una simulazione

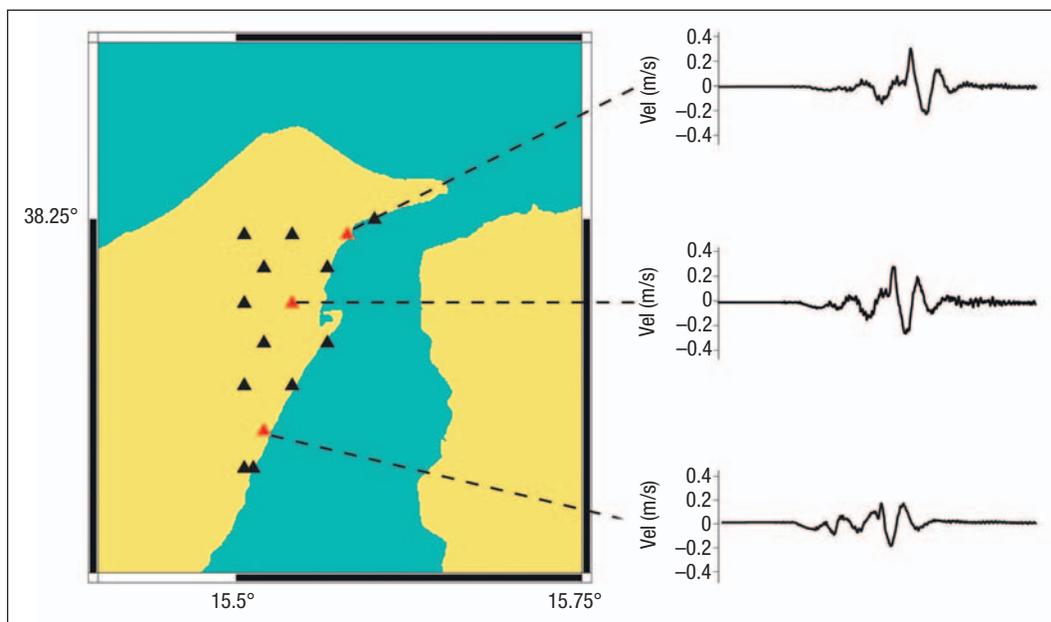


FIGURA 6

I sismogrammi sono stati simulati in corrispondenza di 15 siti differenti (triangoli). La figura mostra i sismogrammi in velocità simulati nell'area di Messina in tre siti (triangoli rossi). La durata delle serie temporali è di 30 secondi

Monte Carlo è stata effettuata per generare un numero elevato di edifici, ognuno con configurazione e proprietà dei materiali leggermente diversi per poter tenere conto della naturale variazione di queste proprietà riscontrabile all'interno di una popolazione di strutture. Possono essere utilizzate diverse metodologie per modellare gli effetti dei terremoti sugli edifici. In questo studio è stata applicata un'analisi semplificata che valuta la capacità laterale di un edificio in termini di quanta forza e spostamento laterale questo è in grado di sopportare prima di raggiungere diversi livelli di danno che vanno dal leggero, al significativo, al collasso [3]. L'effetto dello scuotimento del terreno su un edificio viene quindi modellato tramite forze laterali che aumentano lo spostamento di ogni piano dell'edificio (Figura 7). Lo spostamento raggiunto ad ogni piano, quando la struttura presenta un danno lieve, esteso o si trova al punto di collasso, viene predetto in base alle proprietà geometriche e dei materiali degli edifici progettati.

Il massimo spostamento laterale con il quale si prevede che gli edifici risponderanno viene ottenuto da spettri di risposta in spostamento che vengono ricavati dai sismogrammi in diversi punti all'interno della città, come accennato precedentemente. La risposta in sposta-

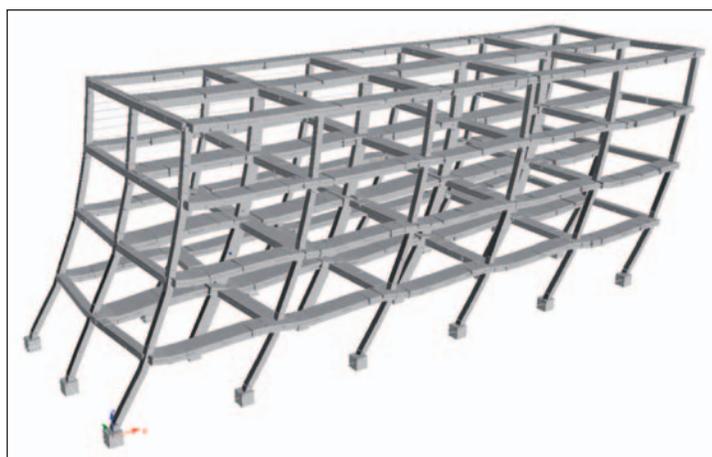


FIGURA 7

Modello di un telaio, tipico della costruzione in cemento armato, che è stato deformato lateralmente a causa dello scuotimento della terra

mento per ogni struttura all'interno della popolazione di edifici generata viene confrontata con la capacità di spostamento ad ogni livello di danno per identificare il livello di danno finale di tutti gli edifici. Per esempio, se la domanda di spostamento in sommità di un edificio è più alta dello spostamento in sommità quando l'edificio è danneggiato lievemente, ma minore dello spostamento che porterà la struttura a un livello di danno esteso, allora l'edificio risulterà moderatamente danneggiato. Questo

confronto viene effettuato per ogni edificio generato e progettato ed è quindi possibile valutare il numero di edifici che ricadono all'interno delle diverse fasce di danno per una data classe di vulnerabilità.

Combinando il modello di esposizione, che contiene il numero di edifici in ogni gruppo di vulnerabilità all'interno di una sezione di censimento, con le previsioni delle percentuali di edifici danneggiati per ognuno di questi gruppi di vulnerabilità, si può ottenere una stima della proporzione totale di edifici danneggiati dentro ogni sezione di censimento. In questo studio si è stimato che il 52% degli edifici in figura 2 potrebbe essere danneggiato dallo scenario sismico considerato.

4. RISULTATI DI UN'ANALISI DI RISCHIO SISMICO

Lo studio del rischio sismico dell'area di Messina ha permesso l'identificazione del livello di danno che subirebbero oggi gli edifici se sottoposti ad un sisma simile a quello avven-

nuto il 28 dicembre del 1908. Combinando pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sono state identificate le percentuali di edifici che ricadono all'interno di tre diverse fasce di danno: danno lieve, danno moderato, danno esteso o collasso. Queste percentuali sono state calcolate per ogni sezione di censimento e sono state archiviate anch'esse all'interno dell'ambiente GIS. In tal modo è possibile ottenere una visualizzazione grafica e molto veloce delle percentuali (Figura 8). Oltre al danno strutturale di un edificio sono stati condotti ulteriori studi per stimare anche il valore delle perdite economiche e sociali che inevitabilmente si generano quando succedono disastri naturali di tale portata.

Le perdite economiche dirette dovute al danno indotto dallo scuotimento possono essere valutate usando rapporti che correlano il costo di riparazione del danno al costo di ricostruzione. Questi rapporti, definiti "costi relativi di riparazione", sono stati determinati in Italia utilizzando dati statistici di danni, causati da terremoti, raccolti per 50.000 edifici negli ultimi 30 anni [6]. Si è riscontrato che questi costi relativi di riparazione variano tra il 3,5% per danno lieve, e l'80%, per un danno prossimo al collasso. Determinata, all'interno di ogni sezione di censimento, la percentuale di edifici danneggiati lievemente, moderatamente, ampiamente e collassati, il "Rapporto di Danno Medio" può essere valutato moltiplicando ogni costo relativo di riparazione per la rispettiva percentuale di danno e quindi sommando i risultati ottenuti. Questo "Rapporto di Danno Medio" viene poi moltiplicato per il costo di ricostruzione di tutti gli edifici in ogni sezione di censimento. Considerando un valore medio per il costo di ricostruzione per metro quadrato, nella simulazione realizzata il costo di riparazione dei danni, dovuti al solo scuotimento del terreno, ammonterebbe a miliardi di euro. Queste perdite economiche dirette non includono l'interruzione delle attività commerciali, la variabilità della domanda (per il maggior costo dei materiali nel post-terremoto, dovuto verosimilmente ad una mancanza di approvvigionamenti) e le conseguenze degli incendi che si aggiungono ai costi economici del terremoto. Stime di questi costi aggiuntivi possono essere effettuate acquisendo informazioni storiche sulle perdite causate da terremoti in aree urbane simili.

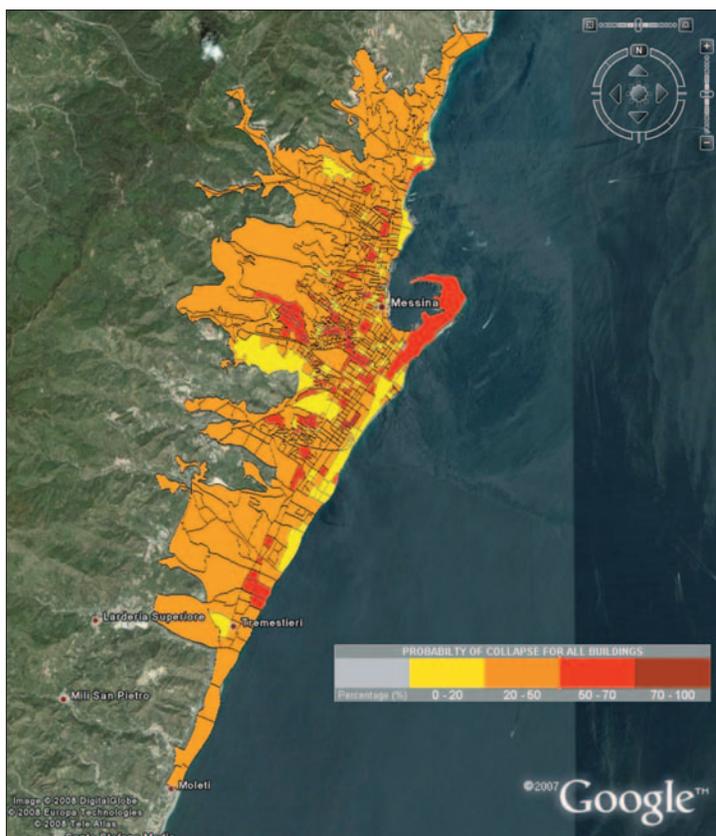


FIGURA 8
Percentuale di edifici collassati nell'area messinese

Le perdite in termini di vite umane provocate dai terremoti sono direttamente correlate al numero di edifici crollati [4]. Sulla base di statistiche su scala mondiale relative a terremoti del passato, la percentuale di vittime negli edifici crollati può essere valutata come una funzione del numero di piani e del materiale di costruzione [9]. Di conseguenza, effettuata la previsione della percentuale di edifici crollati per un dato scenario sismico, questa può essere combinata con la stima della popolazione che vive e lavora all'interno di questi edifici. Insieme alla percentuale delle vittime previste, è possibile quindi valutare anche l'impatto sociale di un terremoto.

5. VISUALIZZAZIONE DEI RISULTATI

Qualsiasi tipologia di dati utilizzati nel presente studio è stato archiviato in un sistema informatico in grado di mettere in relazione tra loro tabelle e risultati. Dati di input e di output possono essere manipolati, visualizzati ed estrapolati per compiere diversi tipi di analisi in tempi minimi. È praticamente immediato avere una fotografia dell'area di interesse e individuare gli edifici più o meno a rischio, le zone più o meno densamente popolate, le zone industriali e quelle residenziali. I dati archiviati nel GIS possono anche essere estratti sotto forma di tabelle *.dbf e, in seguito, elaborati per produrre visualizzazioni di tipo diverso quali grafici, istogrammi o grafici a torta e rendere così un'idea immediata della situazione globale di rischio sismico dell'area messinese. Nella figura 8 si riporta, come riassunto finale di questa elaborazione numerica, la percentuale stimata di edifici che subiranno collasso o danno molto grave nell'area messinese.

Oltre alle visualizzazioni 2D, come spiegato nel paragrafo 2, anche le immagini 3D sono a disposizione degli utenti. Utilizzando la città virtuale creata, è possibile aggiungere un attributo alle tabelle archiviate che identifichi le percentuali di danno e utilizzare colori differenti per rappresentarle così come è stato fatto, per esempio, per la tipologia costruttiva. L'impatto che si ottiene con una rappresentazione 3D è molto efficace ed è di grande aiuto nell'identificare le zone su cui

concentrare sforzi ed energie economiche e umanitarie.

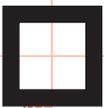
Di notevole interesse è l'ulteriore possibilità di creare e aggiungere algoritmi che permettono ad esempio l'individuazione delle strade rimaste agibili dopo l'evento oppure calcolare i percorsi più brevi per arrivare da un punto all'altro della città. Il sistema informatico creato è predisposto ad ampliamenti futuri e la facilità di gestione dei dati e di comunicabilità tra gli stessi riduce i tempi di impiego. La reale possibilità di visualizzare tutto lo studio via internet e l'opzione di apporre cambiamenti e interagire con il sistema da più postazioni rende tutto molto flessibile e dinamico. Diverse tipologie di utenti possono essere in grado di interrogare il sistema in tempo reale per prendere decisioni economiche e sociali oppure per gestire le diverse emergenze.

Ringraziamenti

Il lavoro descritto in questo articolo è stato sviluppato nell'ambito di una collaborazione tra EUCENTRE, Osservatorio Sismologico dell'Università di Messina, INGV Roma e ETH Zurich, in occasione dell'anniversario del centenario del terremoto di Messina 1908. Ha quindi beneficiato anche dei contributi di A. Teramo, A. Bottari, D. Termini, G. Cultrera, M. Cocco, A. Cirella, A. Herrero, A. Piatanesi, S. Lorito, F. Romano, M. Mai e W. Imperatori.

Bibliografia

- [1] Amoruso A., Crescentini L., Scarpa R.: Source parameters of the 1908 Messina Straits, Italy, earthquake from geodetic and seismic data. *J. Geophys. Res.*, 107, B4, 2080, 10.1029/2001JB000434, 2002.
- [2] Barberi G., Cosentino M.T., Gervasi A., Guerra I., Neri G., Orecchio B.: Crustal seismic tomography in the Calabrian Arc region, south Italy. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol. 147, 2004, p. 297-314.
- [3] Borzi B., Pinho R., Crowley H.: Simplified pushoverbased vulnerability analysis for large scale assessment of RC buildings. *Engineering Structures*, Vol. 30, n. 3, 2008, p. 804-820.
- [4] Coburn A., Spence R.: *Earthquake Protection*. John Wiley & Sons Ltd., 2002, England.
- [5] Di Pasquale G., Fralleone A., Pizza A.G., Serra C.: *Synthesis of the code evolution from the Royal Decree issued after the Messina and Reg-*



gio earthquake up to the first Ministry decree issued after the law n. 64/74, 1999. In: *La classificazione e la normativa sismica italiana dal 1909 al 1984*, De Marco, R. and Martini, M. G. [eds.] Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

- [6] Di Pasquale G., Goretti A.: *Vulnerabilità funzionale ed economica degli edifici residenziali colpiti dai recenti eventi sismici italiani*. X Congresso Nazionale "l'Ingegneria Sismica in Italia," Potenza-Matera, 9-13 settembre 2001.
- [7] Mai P.M., Olsen K.B.: *Broadband ground-motion simulations using finite-difference synthetics with local scattering operators*. Submitted to Bull. Seis. Soc. Am, July 2008.
- [8] Pino N.A., Giardini D., Boschi E.: The December 28, 1908, Messina Straits, southern Italy, earthquake: Waveform modeling of regional seismograms. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, n. B11, 2000, p. 25,473-25,492.
- [9] Spence R.: *Earthquake disaster scenario predictions and loss modelling for urban areas*. LESSLOSS Report 2007/07, IUSS Press, Pavia, Italy, Ed. 2007.
- [10] Spudich P., Xu L.: *Documentation of software package Comsyn svx3.11: programs for earthquake ground motion calculation using complete 1-d green's functions*. In: International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology CD, Int. Ass. Of Seismology and Physics of Earth's Interior, Academic Press, 2003.

HELEN CROWLEY si è laureata in Ingegneria Civile all'Imperial College London nel 2000 e ha conseguito sia il master che il dottorato di ricerca in Ingegneria Sismica alla ROSE School, Pavia. È stata Ricercatore nella sezione Rischio Sismico di EUCENTRE per 3 anni ed è attualmente il Coordinatore Scientifico al Segretariato del Global Earthquake Model, situato a EUCENTRE. È autore di più di 60 pubblicazioni nel campo dell'ingegneria sismica. Ha vinto l'edizione 2009 del prestigioso premio EGU Plinius Medal, assegnato dall'European Geosciences Union.
E-mail: helen.crowley@eucentre.it

MIRIAM COLOMBI ottiene la Laurea di Primo Livello in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio nel 2003 presso il Politecnico di Milano. Consegue poi la Laurea Specialistica presso il dipartimento di Strutture del Politecnico di Milano. Da giugno 2006 collabora con EUCENTRE settore Rischio Sismico nel campo della valutazione del rischio sismico a scala geografica variabile e nel campo della vulnerabilità sismica di strutture. Attualmente collabora anche con GEM (*Global Earthquake Model*) nel calcolo e nella promozione di strumenti di mitigazione del rischio sismico.
E-mail: miriam.colombi@eucentre.it

MANUEL LOPEZ si è laureato in Ingegneria Civile presso l'Università di El Salvador nel 1993. Nel 1997 ha conseguito il Master in ingegneria Civile presso l'Illinois Institute of Technology di Chicago e nel 2005 il dottorato di ricerca in Ingegneria Sismica alla ROSE School, Pavia. Ha lavorato presso l'Università di El Salvador dal 1991 al 2001 e dal 2005 al 2007. Attualmente lavora presso EUCENTRE, Pavia.
E-mail: manuel.lopez@eucentre.it

MARIA SERENA TERAMO ha conseguito nel 2006 la Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, indirizzo Strutture, presso l'Università degli Studi di Messina, dove, successivamente nel Marzo 2010, ha conseguito il titolo di Dottore di ricerca in Geofisica per l'Ambiente e il Territorio, con una tesi dal titolo "A Seismic Risk Study for the city of Messina". Le sue competenze e l'attività di ricerca riguardano la progettazione delle strutture in zona sismica, l'analisi non lineare e la valutazione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti e studi di rischio sismico di aree urbane.
E-mail: mariaserena.teramo@unime.it

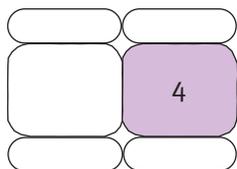
RUI PINHO è Segretario Generale della Fondazione GEM (*Global Earthquake Model*) e Ricercatore al Dipartimento di Meccanica Strutturale dell'Università di Pavia, dove si è trasferito nel 2001 dopo diversi anni all'Imperial College di Londra, come ricercatore e docente in Ingegneria Sismica. In precedenza, è stato responsabile della sezione Rischio Sismico di EUCENTRE (www.eucentre.it) e manager del Centro di Formazione Post-Laurea e Ricerca in Ingegneria Sismica e Sismologia (ROSE School, www.roseschool.it). Dr Pinho ha pubblicato oltre 150 lavori, è stato relatore ad invito in diverse conferenze nazionali ed internazionali.
E-mail: rui.pinho@globalquakemodel.org



SISTEMI DI CONTROLLO PER L'ALTA VELOCITÀ FERROVIARIA

Francesco Flammini

Da alcuni anni siamo abituati a viaggiare a bordo dei treni cosiddetti ad Alta Velocità (AV), il cui movimento è gestito da un sistema di controllo che sintetizza i risultati di decenni di ricerche in ambito ICT. In particolare, si tratta del primo sistema ferroviario in Italia (e non solo) a sostituire i segnali luminosi con segnali “virtuali”, ovvero realizzati tramite pacchetti dati trasmessi su reti wireless. In quest'articolo descriveremo il funzionamento del sistema AV, cogliendo l'occasione per illustrare i concetti fondamentali che accomunano i moderni sistemi di controllo ferroviario.



1. INTRODUZIONE

Le infrastrutture di trasporto su rotaia, incluse ferrovie, tranvie e metropolitane, sono percepite come uno dei segni tangibili del livello di civilizzazione di un territorio, riuscendo a spostare notevoli masse di individui attraverso zone rurali o urbane con un livello di capillarità elevato, una maggiore sicurezza rispetto al trasporto su gomma e un ridotto impatto ambientale, dovuto essenzialmente alla trazione elettrica (assenza di gas di scarico) e alla possibilità di installazione *underground*, con una conseguente riduzione del traffico stradale in superficie.

Allo scopo di rendere la sicurezza di tali sistemi meno dipendente dalla supervisione umana – per sua natura fallibile, come testimoniato dai tragici episodi di cronaca anche recente [1] – è in atto negli ultimi decenni una transizione dai tradizionali meccanismi di segnalazione luminosa (che vanno interpretati dai macchinisti) ai moderni sistemi di controllo computerizzati (*computer-based*) basati su segnali virtuali, interpretabili in modo autonomo dal sistema di controllo di bordo.

Bisogna dire che anche la gestione delle tradizionali logiche di segnalamento, finalizzate essenzialmente ad attivare i segnali luminosi e muovere i deviatori (noti ai più come “scambi”), si sta spostando progressivamente da una realizzazione tramite relè (dispositivi elettromeccanici) a sistemi computerizzati cosiddetti di “gestione della via” (o *interlocking*). Affinché l'automazione sia completa, però, anche la trasmissione dei segnali da terra a bordo deve essere realizzata attraverso sistemi di elaborazione e comunicazione dati digitali. Questo è ciò che avviene nei sistemi di *Automatic Train Protection* (ATP), in cui è il sistema di bordo a ricevere i segnali virtuali e ad attivare automaticamente la frenatura in caso di pericolo. Tali segnali sono trasmessi attraverso opportuni pacchetti dati che contengono, tra le altre informazioni, la distanza che il treno è autorizzato a percorrere in modo sicuro e le limitazioni di velocità della tratta. Infine, nei sistemi di *Automatic Train Control* (ATC), abbastanza diffusi negli impianti metropolitani (si veda per esempio, la nuova Linea C di Roma [2]), la funzionalità

di ATP è complementata da quella di *Automatic Train Operation* (ATO), che è in grado di far muovere il treno senza l'intervento del macchinista, consentendo quindi di realizzare sistemi completamente *driverless* (senza conducente).

Il moderno standard ERTMS/ETCS (*European Railway Traffic Management System / European Train Control System*) [3] appartiene alla categoria dei sistemi ATP evoluti: pur non prevedendo una parte ATO, la velocità del treno è supervisionata dal sistema al punto tale che il macchinista deve soltanto seguire le indicazioni che compaiono sulla strumentazione di bordo, ovvero sul *cockpit DMI* (*Driver Machine Interface*; Figura 1). Tale standard, nato con lo scopo di migliorare prestazioni, sicurezza, affidabilità e interoperabilità delle linee ferroviarie trans-europee, è stato adottato in Italia su tutte le nuove linee AV, in cui sono completamente assenti i tradizionali segnali luminosi. Pertanto, la marcia a vista da parte del macchinista non è consentita se non in condizioni di degrado (esempio, malfunzionamento di alcuni apparati) e ad una velocità molto ridotta (poche decine di km/h). D'altronde, a velocità elevate (fino a 300 km/h) il macchinista non avrebbe alcuna possibilità di interpretare visivamente un segnale laterale reagendo per tempo ad eventuali situazioni di pericolo, dal momento che lo spazio medio di frenatura per l'arresto completo del treno è dell'ordine dei chilometri. Si tratta quindi di una classe di sistemi di controllo che appartengono alla categoria *real-time safety-critical* [4]: un eventuale malfunzionamento (che può essere anche un ritardo nella risposta del sistema) può avere conseguenze catastrofiche in termini di incolumità dei passeggeri oltre che di danni all'ambiente circostante. Attualmente esistono diverse linee ferroviarie basate sullo standard ERTMS/ETCS già in esercizio in Europa (con l'Italia tra i pionieri, con la tratta AV Roma-Napoli attivata nel Dicembre 2005 [5]) e numerosi progetti in corso nel resto del mondo, per un investimento totale che copre quasi 40.000 km, realizzati da consorzi che comprendono le aziende Ansaldo STS, Alcatel, Alstom, Bombardier, Invensys Rail e Siemens [3].



FIGURA 1

Un cockpit DMI ERTMS/ETCS (Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e9/F%C3%BChrerstand_ICE_1_ETCS.jpg>)

2. DESCRIZIONE GENERALE

In questo e nei paragrafi che seguono verranno descritte nel dettaglio l'architettura e le funzionalità del sistema Alta Velocità, che, come anticipato, si basa sullo standard europeo ERTMS/ETCS. Come vedremo, la trattazione consentirà di approfondire molti aspetti che si applicano in generale ai moderni sistemi di controllo e segnalamento ferroviario [6].

Al fine di spiegare in modo chiaro i principi di funzionamento del sistema ATP è opportuno innanzitutto introdurre il concetto di "modello di frenatura". Si tratta di un modello matematico che si applica in linea teorica a qualsiasi veicolo terrestre a guida vincolata e consente di prevedere l'andamento della velocità in funzione dello spazio a partire dai seguenti dati:

- distanza obiettivo (per esempio, quella di un potenziale ostacolo lungo il percorso);
- velocità attuale del veicolo;
- caratteristiche fisiche del veicolo e del sistema di frenatura (esempio, massa, peso frenato ecc.).

A partire da tali dati è possibile costruire una curva come quella mostrata nella figura 2. Una volta noto il modello di frenatura è facile, ragionando a ritroso, determinare istante per istante qual è la velocità massima a cui può viaggiare il veicolo affinché possa arrestarsi in modo sicuro prima del punto pericoloso, che nel caso ferroviario può essere rappresentato da un segnale di arresto (o di "via im-

pedita”). Chiaramente, la velocità massima può essere limitata da altri fattori, quali caratteristiche fisiche della linea: presenza di curve più o meno strette, deviatoi, tratti con rallentamenti temporanei dovuti a squadre di lavoro in linea ecc.

Il modello di frenatura va rielaborato ogni qualvolta variano uno o più dei parametri coinvolti (esempio, la distanza obiettivo). Il sistema di bordo ha quindi lo scopo di elaborare la curva di protezione e verificare che la velocità attuale del treno sia sempre al di sotto di quella massima definita dal modello, come riportato schematicamente nella figura 3. Possono essere presenti più curve leggermente “sfasate” tra loro in modo da definire reazioni diverse (esempio, allerta audio-visiva sul *cockpit* del macchinista, frenatura elettrica, frenatura pneumatica o di emergenza). Inoltre, è possibile che alla distanza obiettivo la velocità cosiddetta “di rilascio” non debba essere neces-

sariamente nulla, ma solo al di sotto di un certo limite (esempio, 15 km/h)¹.

Affinché il sistema di bordo possa elaborare la curva di protezione, esso deve ricevere dal sistema di segnalamento di terra almeno le seguenti informazioni:

- ❑ autorizzazione al movimento, ovvero lo spazio che il treno è autorizzato a percorrere in modo sicuro, da cui viene ricavata la distanza obiettivo del modello di frenatura;
- ❑ profili di velocità, ovvero le limitazioni di velocità statiche (dovute alle caratteristiche fisiche della linea) o dinamiche (dovute a rallentamenti temporanei per lavori in corso), da cui viene ricavato il tetto di velocità del modello di frenatura.

Per contro, affinché il sistema di terra (*trackside*) possa fornire le suddette informazioni al bordo (*on-board*), esso deve ricevere almeno le seguenti informazioni:

- ❑ posizione attuale del treno lungo la linea e verso di percorrenza;
- ❑ libertà del percorso o stato della linea a valle della posizione del treno.

L’architettura di riferimento del sistema ERTMS/ETCS cosiddetto di livello 2 utilizzato sulle linee ferroviarie ad Alta Velocità è riportata nella figura 4. Un siffatto sistema consente l’elaborazione e lo scambio di informazioni tra il sistema di bordo e quello di terra utilizzando diversi mezzi trasmissivi cablati o *wireless*. In particolare, lo stato della linea è ricevuto attraverso una rete geografica in fibra ottica (*WAN, Wide Area Network*) dal cosiddetto sistema di *interlocking* (IXL), che tra le altre cose riceve lo stato di libero/occupato dei circuiti di binario nell’area di propria competenza. Un circuito di binario (*track circuit*, in inglese) è una sorta di *loop*

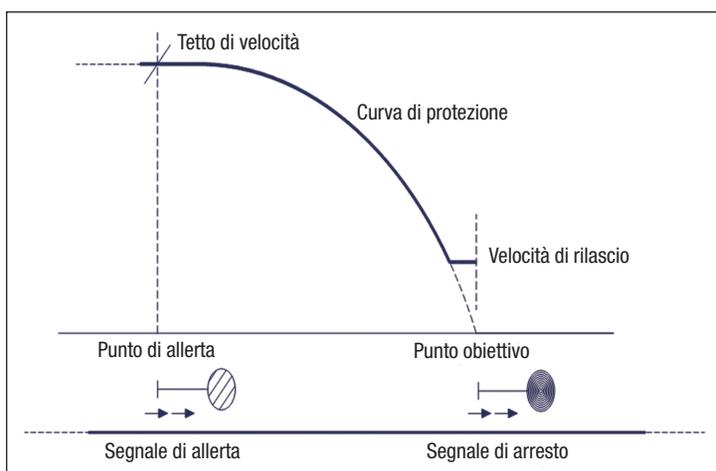


FIGURA 2
Rappresentazione schematica della curva di protezione elaborata dal sistema di bordo treno

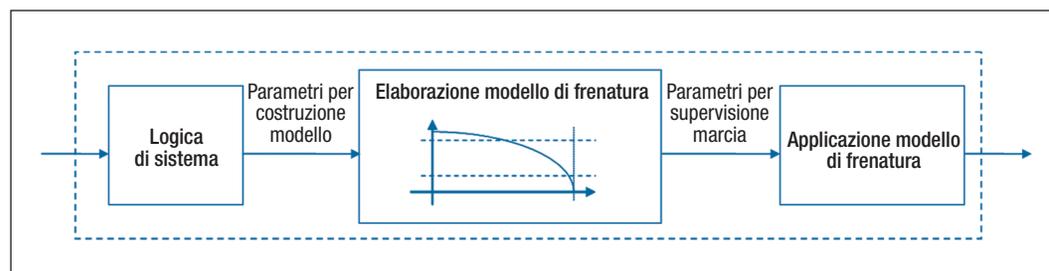


FIGURA 3
Compiti del sistema di controllo di bordo treno

¹ Un modello del genere è comune a praticamente tutti i sistemi evoluti di ATP, compreso quello denominato SCMT (*Sistema Controllo Marcia Treno*) impiegato in Italia sulle linee non ad Alta Velocità (riferimento [7]).

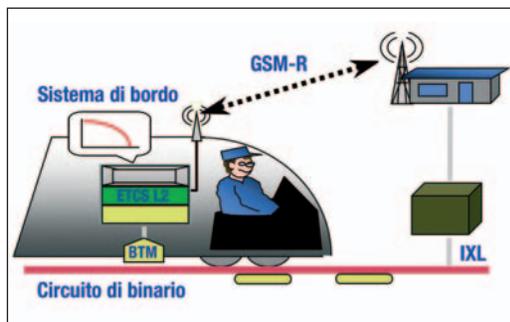


FIGURA 4

Schema semplificato del sistema ERTMS/ETCS di livello 2

elettrico (la cui lunghezza può superare un chilometro in piena linea), realizzato attraverso le rotaie, atto a rilevare la presenza di materiale rotabile (treni, locomotori, carrelli ecc.) che con i loro assi lo cortocircuitano. La posizione del treno è invece rilevata attraverso le cosiddette boe (o *balise*; Figura 5) statiche, ovvero dispositivi “passivi” installati fisicamente tra le rotaie in gruppi omogenei² e fissati alle traverse, che all’atto del passaggio del treno vengono energizzati per effetto induttivo e trasmettono in modalità *wireless* un telegramma fisso che contiene la chilometrica della linea (in altre parole, fungono da *milestones*). La posizione rilevata dal sistema di bordo, attraverso il cosiddetto captatore BTM (*Balise Transmission Module*), viene quindi trasmessa a terra attraverso un messaggio radio GSM-R, una versione dello standard GSM usata in ambito ferroviario anche per le comunicazioni vocali. A questo punto il sistema di terra attraverso il cosiddetto *Radio Block Center* (RBC) ha a disposizione tutte le informazioni per elaborare e trasmettere al treno, sempre tramite GSM-R, un messaggio contenente autorizzazione al movimento e profilo di velocità. Tutte queste elaborazioni devono soddisfare dei vincoli di ritardo massimo consentito, quantificati nel corso delle attività di *hazard analysis* [8].

Il riquadro 1 fornisce ulteriori elementi di approfondimento in relazione alle modalità di

² In AV tali gruppi, detti anche “punti informativi”, sono costituiti tipicamente da due boe, il che assicura un certo livello di ridondanza e consente al sistema di bordo di rilevare il verso di marcia al passaggio sul singolo punto informativo.



FIGURA 5

Una balise ERTMS/ETCS (Fonte: <<http://www.bahnindustrie.at/upload/bilder/95/story/5096-96pk%28etcs-balise%29.jpg>>)

RIQUADRO 1 - Trasmissione dati terra-bordo in ambito ferroviario

Vale la pena citare che in altri livelli implementativi di ERTMS/ETCS e in differenti sistemi di segnalamento, la trasmissione di informazioni da terra a bordo può avvenire attraverso altri meccanismi, tra cui:

1. circuiti di binario o *loop* con codifica dei segnali, che vengono poi ricevuti dal bordo attraverso specifici captatori (è il caso per esempio del cosiddetto BACC, Blocco Automatico a Correnti Codificate);
2. boe attive (o “comutate”) che replicano l’aspetto del segnale essendo connesse ad opportuni *encoder* lungo linea; esse trasmettono informazioni dinamiche sottoforma di telegrammi radio;
3. radio-segnalamento Wi-Fi, diffuso soprattutto nei sistemi CBTC (*Communication Based Train Control*) in ambito metropolitano;
4. satellite, in cui la posizione del treno è ricavata attraverso sistemi di georeferenziazione tipo GPS (*Global Positioning System*), come accade in alcuni sistemi americani di PTC (*Positive Train Control*).

Non tutte le suddette modalità trasmissive, variamente combinabili tra loro, consentono un aggiornamento continuo delle informazioni da terra a bordo. Per esempio, l’uso di boe commutate abilita una modalità di segnalamento **discontinuo**, dato che le informazioni aggiornate sullo stato della linea sono ricevute dal bordo unicamente all’atto della captazione del punto informativo. I *loop* permettono un tipo di segnalamento cosiddetto **semi-continuo**, dal momento che le informazioni sono aggiornate ovunque sia il treno, ma con un livello di granularità inferiore rispetto ad un sistema **continuo** di radio-segnalamento (esempio, GSM-R, Wi-Fi) dato che esse dovranno rimanere necessariamente le stesse per tutta la lunghezza del circuito. Un comportamento analogo (segnalamento semi-continuo) si ha con l’utilizzo del cosiddetto *radio infill*, tramite il quale si estende il raggio di azione di una boa commutata in modo da coprire una lunghezza maggiore. È intuitivamente evidente che la granularità superiore del radio-segnalamento continuo consente un migliore sfruttamento della capacità della linea, visto che non costringe a trasmettere informazioni in modo conservativo (secondo una logica *worst case*).

Vale la pena di osservare che lo standard ERTMS/ETCS prevede la coesistenza di eventuali sistemi di segnalamento pre-esistenti nel caso di transito sulle linee “storiche”, per esempio in Italia ciò avviene quando il treno deve entrare nelle stazioni non AV, attrezzate con sistemi come SCMT. La coesistenza è possibile avendo previsto un’architettura a livelli sovrapposti, in cui quello “nazionale” coincide con il cosiddetto livello STM (*Specific Transmission Module*).

trasmissione delle informazioni di controllo in ambito ferroviario.

3. GESTIONE DEGLI ITINERARI

Se il treno avesse la sola possibilità di percorrere un unico binario tra un punto di origine e uno di destinazione, la logica precedentemente introdotta sarebbe grossomodo sufficiente al funzionamento del sistema. La realtà è che l'origine e la destinazione del movimento di un rotabile è tipicamente una stazione, e, come ben sanno i viaggiatori, diverse stazioni possono essere attraversate anche durante il percorso. Una stazione è fondamentalmente una parte del sistema ferroviario tipicamente più ampia (la cui area è detta in gergo "piazze") costituita da un numero di binari paralleli (di "stazionamento", "corsa", "interconnessione", "manovra" ecc.) superiore a 2 e relativi deviatori (*switch points* in inglese) che consentono di instradare i treni sui diversi binari. Il percorso di un treno dall'ingresso all'uscita - o allo stazionamento - in una stazione è detto "itinerario". Un itinerario copre un certo numero di circuiti di binario e di deviatori. Il sistema di controllo che si occupa dell'instradamento dei treni sugli itinerari è detto in gergo di "gestione della via" o in inglese *interlocking* (IXL). In genere ogni sistema di stazione ha un numero predefinito di itinerari preconfigurati che devono essere formati di volta in volta per consentire il passaggio del treno. La formazione di un itinerario può essere automatica o comandata da un operatore (esempio, il capostazione, in caso di stazioni presenziate) ed è subordinata al superamento di tutta una serie di controlli, tra cui:

□ stato di libero di tutti i circuiti di binario inclusi nell'itinerario;

□ corretta operabilità dei deviatori lungo l'itinerario;

□ assenza di condizioni di fuori servizio.

Se le suddette condizioni sono soddisfatte, l'itinerario viene formato e al treno viene inviato un segnale (virtuale) di via libera per l'ingresso in stazione. Altrimenti, a seconda delle situazioni, il transito non può essere concesso o può essere concesso solo con opportune limitazioni di velocità e procedure manuali per consentire al macchinista il controllo visivo del percorso.

Nel caso delle stazioni AV, lo stato degli itinerari deve essere trasmesso anche al sistema RBC in modo tale che questo possa estendere l'autorizzazione al movimento in modo da coprire l'itinerario in stazione. La trasmissione di queste informazioni può avvenire in modo:

□ sincrono: tutto lo stato viene trasmesso ogni tot millisecondi, indipendentemente dal fatto che vi siano state variazioni;

□ asincrono: lo stato (o parte di esso) viene trasmesso solo quando si verifica una variazione.

Nel caso di trasmissione asincrona, deve essere assicurato un controllo di vitalità per evitare che una perdita di connessione possa rendere il sistema silente nei confronti di variazioni di stato senza che RBC possa avere la possibilità di accorgersene.

La figura 6 mostra lo schema di un possibile sistema di gestione degli itinerari (*routes*). A sinistra è mostrata una possibile visualizzazione sull'interfaccia operatore (MMI, *Man Machine Interface*), con lo stato di libero/occupato dei circuiti di binario e degli itinerari. A destra è mostrata la connessione WAN verso eventuali altri sistemi IXL (nel caso il sistema sia dedicato ad una sola stazione) e verso il sistema di automazione che si occupa a più alto livello della supervisione della marcia dei treni. Al

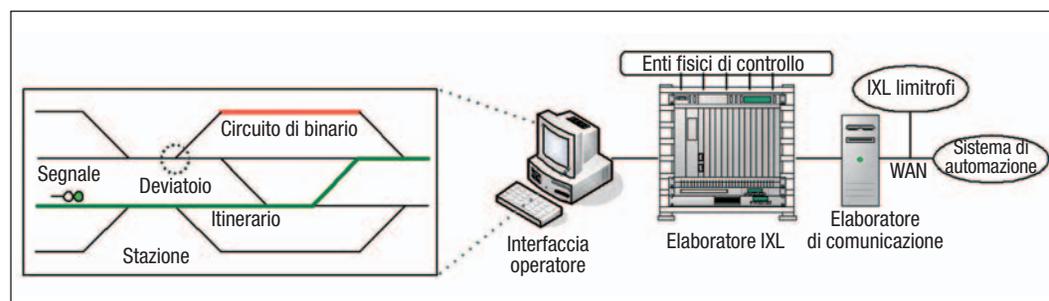


FIGURA 6
Schema di un possibile sistema di gestione degli itinerari

centro è mostrato il sistema di elaborazione vero e proprio, alloggiato in armadi (*rack*) posizionati a volte in posti periferici lungo la linea, che è connesso con le entità fisiche di controllo in campo (sensori e attuatori) attraverso protocolli di comunicazione proprietari (per esempio seriali).

4. DISTANZIAMENTO TRENI

Il sottosistema di AV responsabile di garantire un adeguato distanziamento tra un treno e l'altro, oltre che le altre informazioni necessarie ad assicurare la marcia sicura del treno, è il già citato *Radio Block Center* (RBC). Fondamentalmente, il RBC ha lo scopo di inviare periodicamente al sistema di bordo del treno dei messaggi radio contenenti le informazioni di cui esso ha bisogno per transitare in sicurezza. I più importanti tra questi sono i seguenti:

- **Movement Authority (MA)**, ovvero autorizzazione al movimento, con specificata la distanza che il treno è autorizzato a percorrere ed i relativi profili di velocità statici (pacchetti SSP, *Static Speed Profile*) o dinamici (pacchetti TSR, *Temporary Speed Restrictions*).
- **Emergency Stop**, ovvero arresti d'emergenza, che possono essere condizionati (il treno deve arrestarsi solo se non ha superato un

certo punto) o incondizionati (il treno deve arrestarsi immediatamente in qualsiasi condizione) e possono essere comandati manualmente dall'interfaccia operatore RBC presente al centro di controllo.

Al messaggio di MA possono essere aggiunte informazioni cosiddette di *linking*, che riportano ID e posizione dei punti informativi compresi nella MA (riquadro 2).

Un messaggio di tipo particolare è il cosiddetto *General Message*, che è il più semplice di tutti dal momento che ha l'unico scopo di segnalare periodicamente la "vitalità" del sistema RBC in assenza di altri messaggi da trasmettere (perché per esempio non vi sono state variazioni di stato significative rispetto alle ultime informazioni inviate). In assenza di messaggi di vitalità, infatti, il sistema di bordo non potrebbe accorgersi del fatto che non sta ricevendo informazioni perché nulla è cambiato (situazione sicura) o perché vi è stato un problema (perdita di connessione radio, guasto di RBC ecc.) ed esso non è più sotto la supervisione di RBC (situazione di pericolo). Come vedremo nel paragrafo successivo, esiste una specifica logica di bordo che consente di proteggersi nei confronti di quest'ultima eventualità.

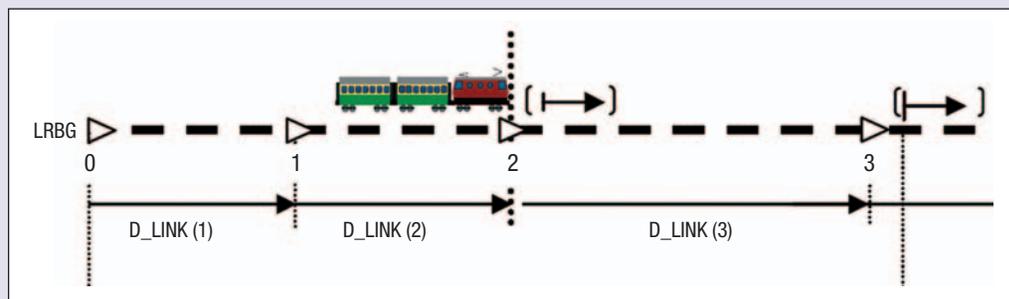
Alcune tipologie di messaggi sono impiegati nella fase di *hand-shaking* tra il sistema di bordo

RIQUADRO 2 - Logica di appuntamento

Tra le informazioni inviabili al bordo rientrano le liste dei punti informativi in appuntamento (*linked balise groups*). Si tratta, in altre parole, dei gruppi di boe che il treno capterà durante il percorso e delle relative distanze (parametro D_LINK). Questa informazione serve per realizzare la cosiddetta "logica di appuntamento", ovvero un ulteriore controllo che garantisce:

- il corretto posizionamento dei punti informativi (può capitare che questi si stacchino o vengano rimossi in modo doloso), fattore critico per l'attendibilità dell'autorizzazione al movimento;
 - la non esplosione dell'errore odometrico, qualora il treno "perdesse" uno o più punti informativi;
 - il corretto instradamento lungo gli itinerari (se l'itinerario non è quello previsto, le boe captate saranno diverse).
- La reazione del sistema di bordo ad un mancato appuntamento (considerata un'opportuna finestra di tolleranza) è configurabile e può anche coincidere con l'applicazione della frenatura.

Una rappresentazione schematica della logica di appuntamento è riportata nella figura.



Esempio di punti informativi in appuntamento (Fonte: rif. [24])

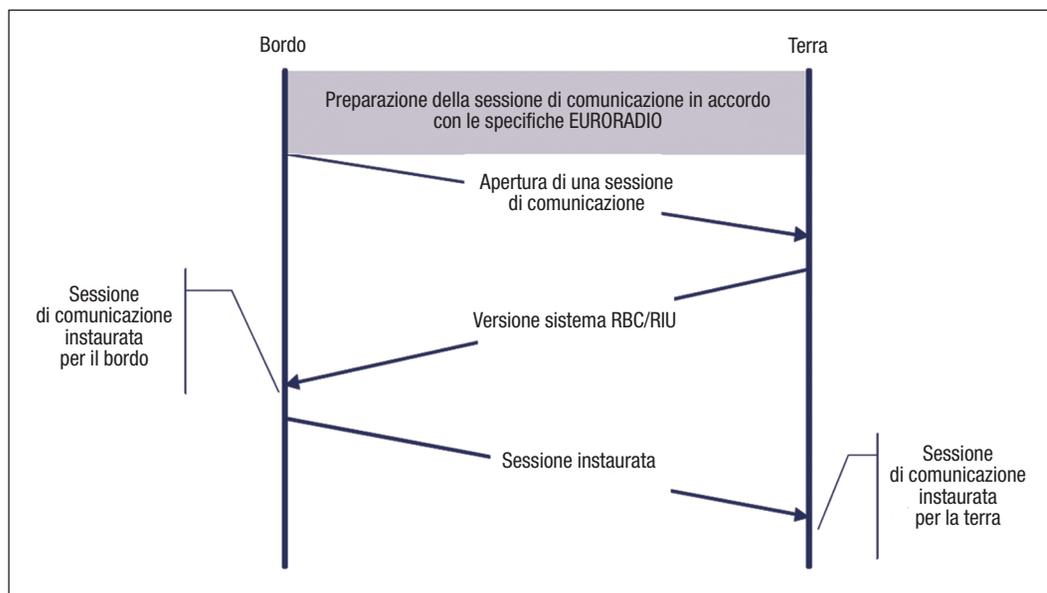


FIGURA 7
 Instaurazione di una sessione di comunicazione tra bordo e terra (Fonte: rif. [24])

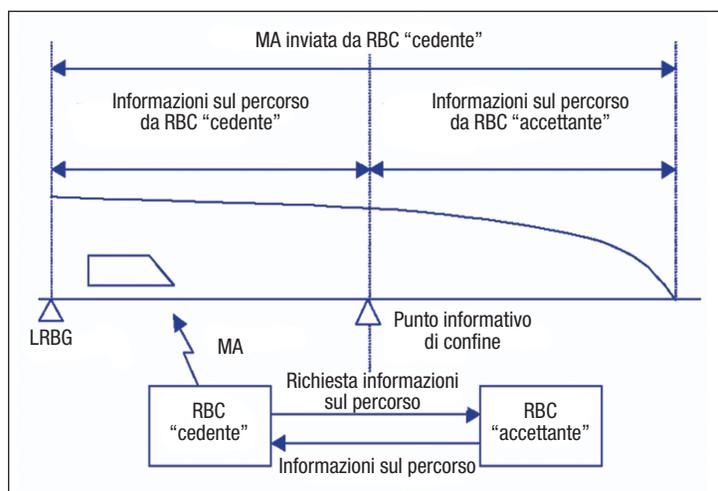


FIGURA 8
 La procedura di RBC hand-over (Fonte: rif. [24])

e quello di terra ad inizio missione (SOM, *Start Of Mission*), in cui tra le altre cose viene verificata la compatibilità delle versioni software di bordo e terra, e delle caratteristiche fisiche del treno con quelle della linea. La prima fase di questo colloquio è mostrata nella figura 7.

Altre tipologie di messaggi vengono adottate per gestire la procedura cosiddetta di RBC *Hand-Over* (HO) che si realizza quando un treno deve transitare dall'area di giurisdizione di un RBC a quella di un altro RBC (per esempio perché gli RBC controllano aree limitate per ragioni di prestazioni, o perché si sta attraversando un confine tra due stati). Tale procedura - di livello applicativo - non va confusa con quella di livello

più basso che consiste nel passaggio del treno dall'area di copertura di una BTS (*Base Transceiver Station*) GSM-R a quella di un'altra. La procedura di HO, descritta schematicamente nella figura 8, ha lo scopo di evitare che il treno possa fermarsi o rallentare la sua corsa in corrispondenza del confine tra le aree di competenza di due RBC limitrofi. Per far sì che ciò non accada, quando il treno si avvicina al confine (condizione segnalata da opportune boe) il RBC cosiddetto "accettante" (*accepting*) deve trasmettere al RBC "cedente" (*handing-over*) le informazioni relative allo stato del percorso a valle del punto di confine (*border*), in modo che il cedente possa integrare la MA da trasmettere al treno con quella "concessa" dall'accettante. La logica di distanziamento di RBC al livello 2 di ERTMS/ETCS si basa sul principio del "blocco fisso" (per approfondimenti, riquadro 3 a p. 25).

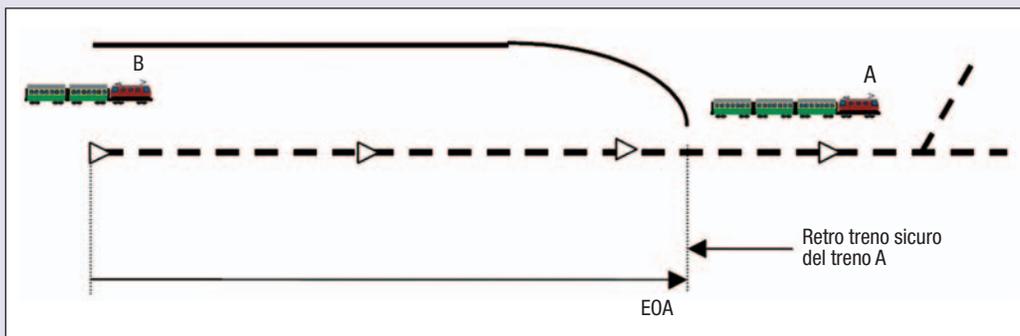
5. CONTROLLO DELLA MARCIA

Come precedentemente descritto, il sistema di bordo ERTMS/ETCS ha lo scopo di elaborare il profilo di velocità dinamico del treno, cioè la curva di protezione, la cui distanza obiettivo coincide con la fine della MA (EoA, *End of Authority*) e il cui tetto è dato dal profilo di velocità più restrittivo (MRSP, *Most Restrictive Speed Profile*) tra quelli statici (SSP) e dinamici (TSR).

L'architettura di riferimento del sistema di bordo usato in AV è mostrata nella figura 9 A. Si

RIQUADRO 3 - Blocco fisso e blocco mobile

Nel livello 2 ERTMS/ETCS, la MA è costruita avvalendosi delle informazioni relative allo stato dei circuiti di binario e degli itinerari fornite dal sottosistema IXL (che non è standardizzato). Circuiti di binario ed itinerari costituiscono le cosiddette "Sezioni di Blocco Radio" (SBR). Una MA è costituita sempre e comunque da un numero intero di SBR. Vale la pena citare che questa logica si applica al caso di segnalamento cosiddetto a "blocco fisso", mentre esiste la possibilità che la MA venga costruita avvalendosi delle informazioni relative alla posizione dei treni, ovvero basandosi sulla distanza effettiva di un treno da quello successivo (si veda la Figura). In tal caso si parla di "blocco mobile", che può assicurare un maggiore sfruttamento della capacità della linea in quando si riduce la granularità del distanziamento. A fronte di tale vantaggio, però, non è assicurato il rilevamento di rotabili lungo il percorso non noti al sistema RBC, dal momento che la logica di distanziamento non si avvale dell'informazione di libertà della via comunicata da IXL. Pertanto, è fondamentale che sulla linea non possano accedere treni non ERTMS/ETCS (che non avrebbero nessuna possibilità di essere rilevati) e che sia assicurato un controllo di integrità dei treni per salvaguardarsi dall'eventualità di distacco dei vagoni. La modalità di distanziamento a blocco mobile è prevista dal livello 3 dello standard ERTMS/ETCS, che ha avuto sinora una diffusione di gran lunga inferiore rispetto al livello 2.



Autorizzazione al movimento in caso di blocco mobile (Fonte: rif. [24])

tratta di un sistema *real-time embedded* il cui nucleo vitale di elaborazione è denominato EVC (*European Vital Computer*) ed è connesso con diverse unità di I/O periferiche attraverso un apposito bus industriale. Tra le interfacce di I/O rientrano le seguenti:

- ❑ DMI (*Driver Machine Interface*), per l'interazione con il macchinista;
- ❑ BTM (*Balise Transmission Module*), per la captazione delle boe;
- ❑ TIU (*Train Interface Unit*), per l'interfacciamento con gli organi elettro-meccanici del rotabile (sistema di frenatura, odometria);
- ❑ RTM (*Radio Transmission Module*), per il collegamento con i terminali mobili GSM-R.

Oltre a questi componenti è prevista un'unità di JRU (*Juridical Recording Unit*), ovvero una sorta di "scatola nera" per la registrazione cronologica degli eventi (velocità e posizione del treno, interazioni del macchinista ecc.) e la possibile consultazione durante le indagini della magistratura a seguito di incidenti. Attraverso la DMI il macchinista ha la possibilità di inserire o validare i dati del treno, che verranno poi inviati a RBC durante la procedura di inizio missione. La DMI è dotata di un tachimetro digitale che permette al macchinista di controllare, istante per istante, la ve-

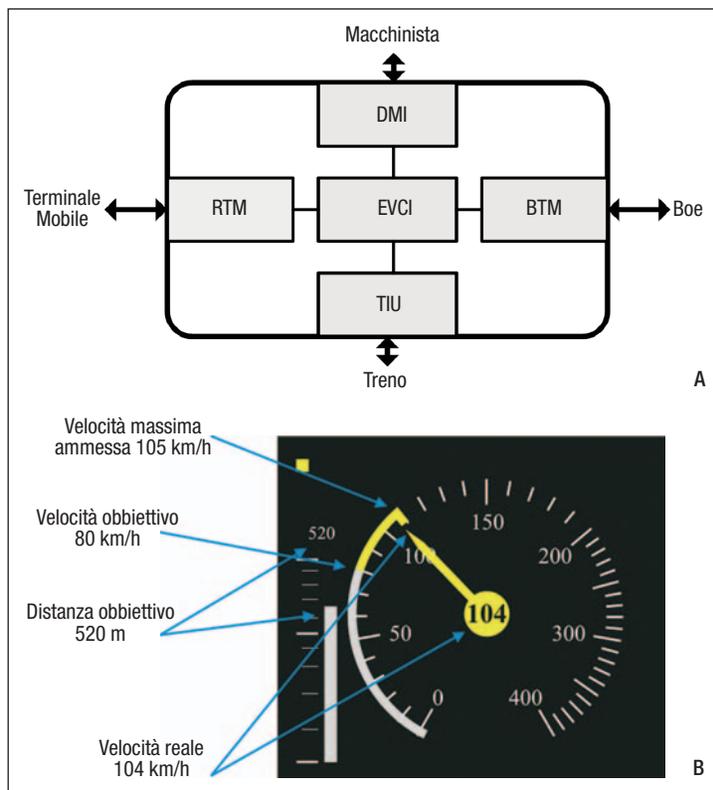


FIGURA 9

A - Architettura di riferimento di bordo ERTMS/ETCS

B - Esempio di tachimetro digitale

(Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/SegnaliFerroviari-AVAC-DMI.gif>)

to del sistema (coadiuvato dalla videosorveglianza e da altra sensoristica), gestione delle informazioni al pubblico e raccolta dati statistici sulla circolazione, oltre che da altre peculiarità rese disponibili dall'interfacciamento con i sistemi SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

Funzionalità avanzate dei sistemi cosiddetti di ATS (*Automatic Train Supervision*) possono essere la pianificazione automatica e l'ottimizzazione degli instradamenti per massimizzare la capacità della linea, in modo sia statico, cioè in funzione dei treni che vi devono circolare, che dinamico, cioè in funzione delle attuali condizioni del percorso.

Data la grande mole di informazioni da visualizzare, a volte condivisa tra più operatori, spesso le informazioni sono mostrate su schermi LCD o a retroproiezione (*overview screen o videowall*) pilotati da appositi client (Figura 10).

7. PROBLEMATICHE DI AFFIDABILITÀ E SICUREZZA

Trattandosi di sistemi critici per affidabilità e sicurezza, i sistemi di controllo ferroviario devono essere certificati secondo le direttive di rigorosi standard internazionali (esempio, CENELEC [10]). Tali norme regolano sia il processo di sviluppo che le caratteristiche del prodotto finale.

Come per tutti i sistemi *real-time embedded*, la schedulazione dei processi di controllo –

scritti in linguaggi di logica proprietari e/o in *safe subset* di linguaggi *general purpose* (quale il C) – è realizzata attraverso sistemi operativi progettati e certificati per girare su *hardware* dedicato, per esempio è diffusa l'accoppiata VxWorks e piattaforma PowerPC [11].

Per i sottosistemi "vitali", il livello di certificazione richiesto è quello cosiddetto SIL4 (*Safety Integrity Level 4*), che tra le altre cose richiede un ciclo di sviluppo del tipo di quello mostrato nella figura 11 (cosiddetto "a V"), in cui la fase di verifica e validazione (V&V) rico-



FIGURA 10

Esempio di sala di controllo per la supervisione della circolazione ferroviaria (Fonte: <http://neapolis.blog.rai.it/files/2008/01/fs-2.jpg>)

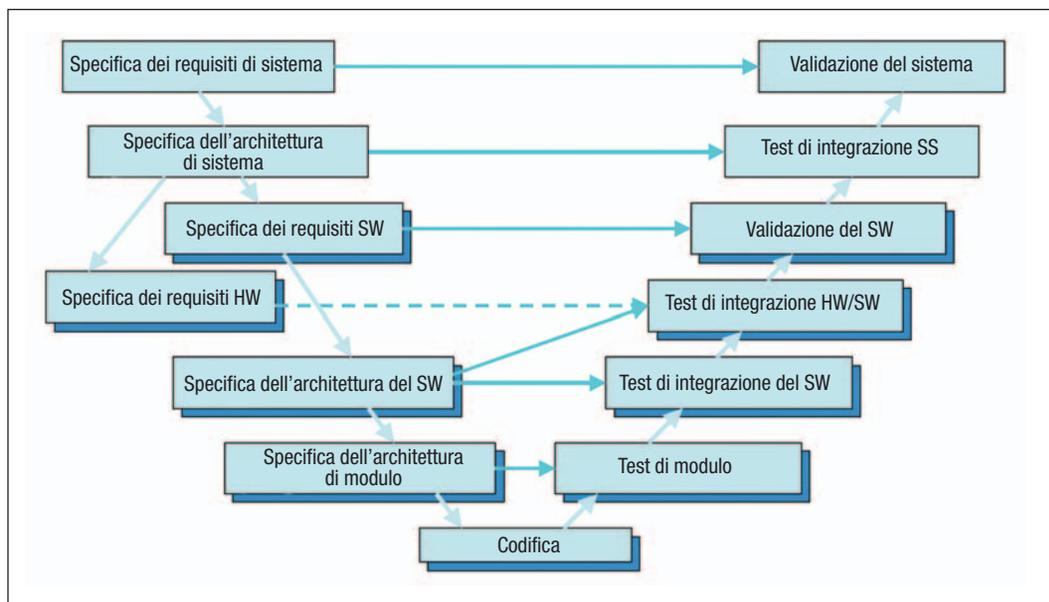


FIGURA 11

Ciclo di sviluppo a "V" (Fonte: <http://www.intecs.it/pdf/BrochureVRRailway/ta13.pdf>)

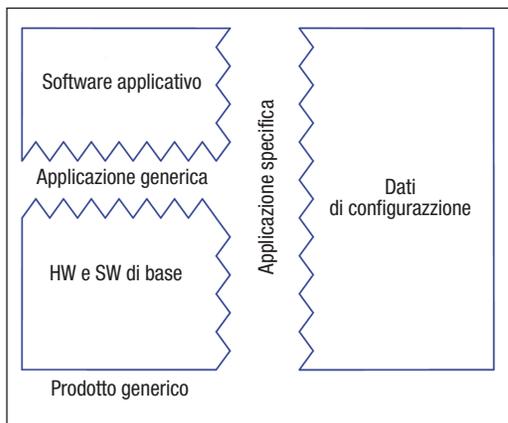


FIGURA 12
Processo di certificazione ferroviario

Parole chiave CENELEC EN 50159	
Parola chiave	Significato
Ripetizione	Un messaggio viene ricevuto più di una volta
Cancellazione	Un messaggio viene rimosso dal flusso messaggi
Inserimento	Un nuovo messaggio viene inserito nel flusso messaggi
Riordinamento	Alcuni messaggi vengono ricevuti in una sequenza diversa da quella prevista
Corruzione	L'informazione contenuta in un messaggio viene modificata, casualmente o non
Ritardo	Alcuni messaggi vengono ricevuti in un tempo successivo rispetto a quello previsto
Mascheramento	Un messaggio non autentico viene pregegettato in modo da apparire autentico (con "messaggio autentico" si intende un messaggio valido il cui contenuto è originato da una sorgente fidata)

TABELLA 1

Parole chiave definite dallo standard CENELEC EN50159

pre un ruolo predominante [12]. Dei risultati del processo di V&V viene data evidenza documentale in rapporti detti *safety case*, che possono riguardare il prodotto generico (ovvero l'hardware e il software di base), l'applicazione generica (esempio, logica del sistema di distanziamento treni) o l'applicazione specifica (esempio, distanziamento treni sulla linea Roma-Napoli), in cui sono presenti i dati di configurazione specifici dell'impianto (Figura 12) [13].

I requisiti di *safety* del sistema vengono ricavati dall'attività di analisi degli azzardi. Ad esempio, un risultato notevole di questa atti-

vità per il sistema AV è stato l'introduzione della funzionalità cosiddetta del circuito di binario (CdB) "ombra". Tale funzionalità serve a fronteggiare l'azzardo che può verificarsi a seguito dell'indebita occupazione del CdB successivo a quello occupato dal treno. Infatti, data la logica del distanziamento a blocco fisso, non sarebbe possibile discriminare in questo caso tra occupazione debita - il treno prosegue la sua marcia occupando il CdB successivo - o indebita - il CdB successivo viene occupato improvvisamente da un altro rotabile, ad esempio in ingresso da un deviatore laterale. La funzionalità del CdB "ombra" consiste nell'invio al treno di un messaggio di emergenza condizionato con punto di arresto coincidente con il giunto che separa il CdB occupato dal treno dal successivo. Pertanto, se è il treno stesso ad aver occupato il CdB successivo, il sistema di bordo ignorerà semplicemente il messaggio, altrimenti attiverà la frenatura d'emergenza, detta in gergo *trip*.

Numerosi altri azzardi possono derivare dalle minacce, sintetizzate nella tabella 1, che caratterizzano un canale di comunicazione di tipo "aperto", quale è quello wireless GSM-R. Pertanto, il protocollo sicuro cosiddetto *Euro-radio* è stato definito al fine di implementare i meccanismi atti a fronteggiare tali minacce (per approfondimenti, riquadro 4 a p. 29) [14, 15].

Venendo alle architetture hardware, quasi sempre vengono adottati sistemi di tipo NMR (*N-Modular Redundancy*) con votazione a maggioranza sull'output di sezioni di elaborazione indipendenti, diversamente sviluppate e galvanicamente isolate. Ciò consente di limitare al massimo l'incidenza di guasti di modo comune che potrebbero compromettere l'integrità del sistema (si vedano a tal proposito i riferimenti [16, 17]).

In particolare, nella specifica dei requisiti RAMS (*Reliability Availability Maintainability Safety*) del sistema ERTMS/ETCS [18], derivata dallo standard CENELEC 50129 [19], si richiede un tasso di guasti pericolosi (*Hazardous Failure Rate*, HFR³) inferiore a 10^{-9} per

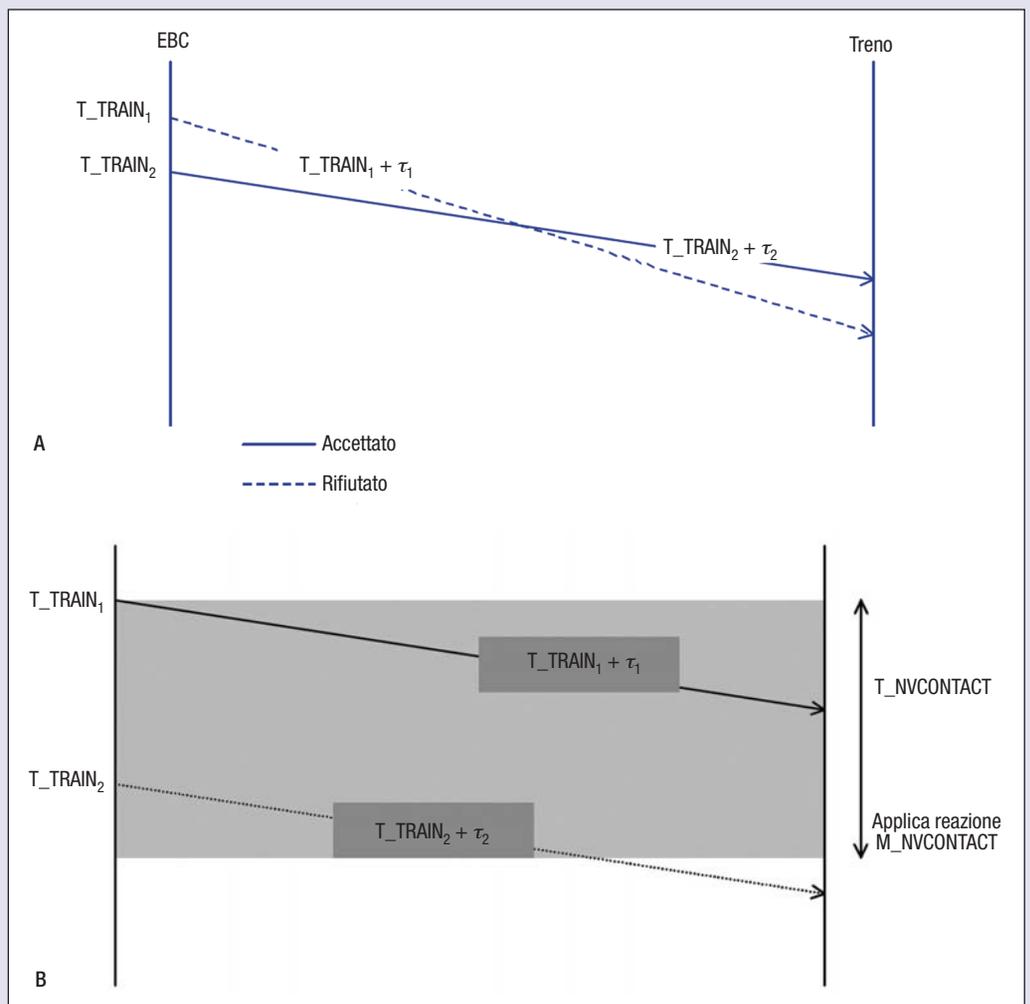
³ L'HFR è l'inverso del tempo medio tra guasti pericolosi (*Mean Time Between Hazardous Events*, MTBHE).

RIQUADRO 4 - Il protocollo sicuro Euroradio

Al fine di fronteggiare le minacce che caratterizzano un canale di comunicazione aperto, definite nella tabella 1, il protocollo di comunicazione *Euroradio* applica le seguenti contromisure per elaborare il contenuto dei messaggi scambiati (si vedano a titolo di esempio le Figure A e B):

- numeri di sequenza (*sequence numbers*), per evitare cancellazioni, ripetizioni, inserimenti e perdita di sequenza nel flusso dei messaggi;
- marcature temporali (*time stamps*), per gestire i ritardi di comunicazione attraverso controlli di *freshness* e di vitalità;
- codici di controllo (*checksum*), per rilevare e correggere errori casuali nei dati trasmessi;
- cifratura (*cryptography*), per salvaguardare l'integrità e l'autenticità dei dati trasmessi nei confronti di attacchi informatici di tipo doloso (*hacking*).

In particolare, la specifica ERTMS/ETCS definisce un'entità cosiddetta KMC (*Key Management Center*) che ha il compito specifico di gestire le chiavi crittografiche usate per le comunicazioni via radio.



Protezione nei confronti di perdita di sequenza (A) e ritardi (B), (Fonte: rif. [24])

ora (THR, *Tolerable Hazard Rate*), ovvero uno ogni almeno 100.000 anni.

Anche relativamente ai requisiti di disponibilità, la specifica è piuttosto precisa, definendo tra le altre cose i seguenti modi di guasto a livello di sistema [20]:

- guasto immobilizzante (*Immobilising Fai-*

lure), che si ha quando due o più treni sono costretti a marciare “a vista”;

- guasto di servizio (*Service Failure*), che si verifica quando si ha un calo di prestazioni per uno o più treni e/o al più un treno è costretto a marciare “a vista”;

- guasto minore (*Minor Failure*), che richiede

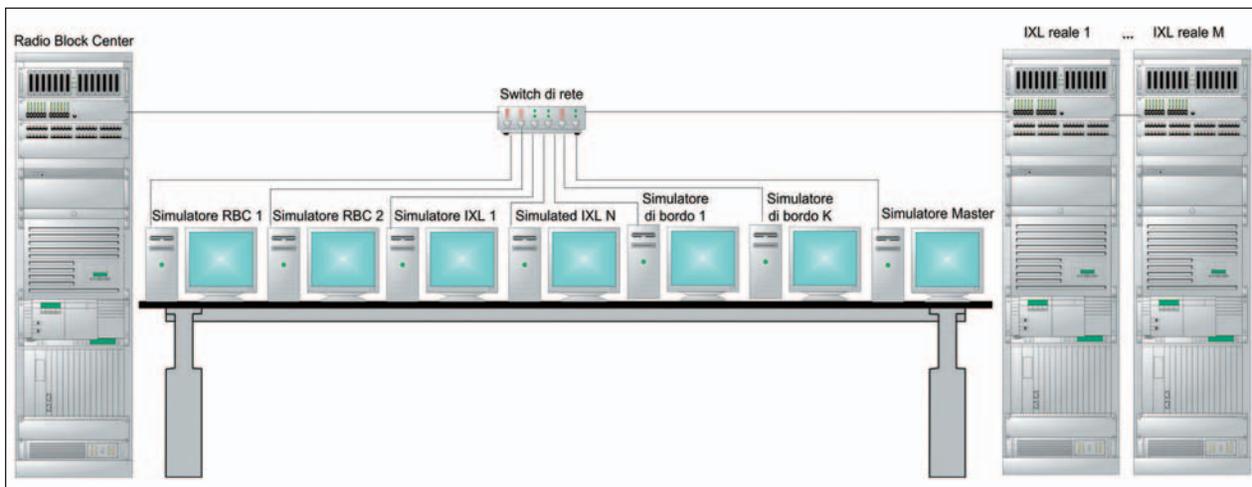


FIGURA 13

Esempio di ambiente di simulazione distribuito del tipo "hardware in the loop" per le prove di sistema ERTMS/ETCS

un intervento di manutenzione non pianificato ma non rientra nelle precedenti categorie.

Per esempio, secondo la specifica l'indisponibilità (MDT, *Mean Down Time*) del sistema rispetto ai guasti immobilizzanti di natura hardware non deve superare gli 8 minuti annui. Analogamente sono definiti i requisiti qualitativi e quantitativi di affidabilità (*Mean Time Between Failures*, MTBF) e manutenibilità (*Mean Time To Repair*, MTTR) suddivisi per modi di guasto e/o componenti.

A differenza della maggioranza dei prodotti software di tipo *consumer*, per i sistemi di controllo ferroviario non sono tollerati errori di progettazione o codifica, che, in quando sistemati, se attivati potrebbero avere conseguenze anche catastrofiche. Pertanto, requisiti quantitativi in termini di affidabilità del software lasciano spazio a criteri di sviluppo rigorosi e strumenti (esempio, compilatori, sistemi operativi) certificati per applicazioni critiche. Idealmente, tutto il software prodotto dovrebbe essere generato e/o verificato attraverso metodi formali. La complessità dei sistemi e la ridotta diffusione di approcci trasformazionali validati (esempio, generazione automatica del codice a partire da modelli di più alto livello, tipo UML) fa sì che all'atto pratico metodi puramente formali siano adottati solo in contesti limitati (esempio, verifica delle logiche di *interlocking* [21]). La maggior parte del software viene verificato attraverso tecniche di *testing*, coadiuvate da misure di copertura del codice e altre analisi statiche

(quali per esempio quelle descritte in [22, 23]), in opportuni ambienti di simulazione [24]. Per esempio, la figura 13 mostra un possibile ambiente di simulazione per le verifiche di RBC del tipo *hardware-in-the-loop*, in cui alcuni componenti (esempio, i sistemi di bordo) girano su hardware commerciale, mentre altri (esempio, RBC) sulla piattaforma reale, in modo tale che per il sistema oggetto di test sia provata anche l'integrazione hardware-software.

Infine, approcci basati su modelli che consentano di migliorare efficacia ed efficienza del processo di verifica e validazione trovano applicazione in modo trasversale in tutte le fasi del ciclo di vita e a tutti i livelli di astrazione del sistema di controllo [25].

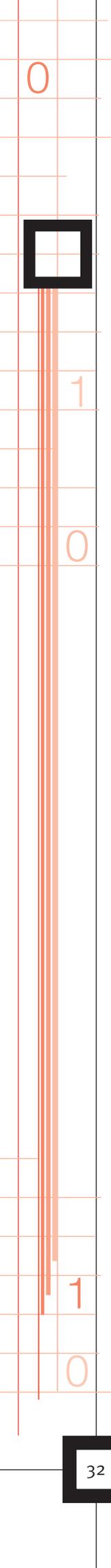
8. CONCLUSIONI

È opinione largamente condivisa che la capillarità e l'efficienza dei sistemi di trasporto su rotaia siano tra i segni più tangibili del livello di civilizzazione di un territorio. Ciò è dovuto a diversi fattori, tra cui: ridotta emissione di sostanze inquinanti per passeggero trasportato, riduzione del traffico sulle strade, maggiore sicurezza e comfort dei passeggeri. Alcuni di questi fattori si applicano in generale ai sistemi di trasporto pubblico, ma l'Alta Velocità ferroviaria aggiunge a questi tempi di percorrenza ridotti tra una città ad un'altra, in un ordine di distanza delle centinaia di chilometri (almeno). Negli ultimi

anni, non solo in Italia ma in tutto il mondo (Cina inclusa) stanno proliferando progetti basati sullo stesso standard europeo di interoperabilità su cui è basato AV. In particolare, in questo articolo abbiamo passato in rassegna del sistema AV gli aspetti relativi al controllo computerizzato che contribuiscono ad aumentarne prestazioni e sicurezza. L'ambito internazionale di ricerca in cui vengono studiati sistemi innovativi di trasporto a supervisione automatica è quello noto come *intelligent transportation systems*, a cui sono legati diversi convegni e pubblicazioni scientifiche in genere, che hanno sperimentato un forte impulso in tempi recenti. Per approfondimenti, esistono numerosi altri congressi che coprono almeno parzialmente le suddette tematiche, tra cui la serie *Computers in Railways* del *Wessex Institute of Technology*, o aspetti specifici, quali l'impiego di metodi formali nell'ingegneria ferroviaria (*FORMS/FORMAT, Symposium on Formal Methods for Automation and Safety in Railway and Automotive Systems*), o ancora lo stato dell'arte nello sviluppo e nell'implementazione dello standard ERTMS/ETCS a livello mondiale (*UIC World Congress*).

Bibliografia

- [1] Pagina Wikipedia su incidenti ferroviari recenti, [http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_rail_accidents_\(2010-2019\)](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_rail_accidents_(2010-2019))
- [2] Descrizione ATC Roma Metro C, <http://www.metrocspa.it/treni.asp>
- [3] Sito ufficiale ERTMS/ETCS, <http://www.ertms.com>
- [4] Flammini F., Mazzocca N., Vittorini V.: Modelli per l'analisi di sistemi critici. *Mondo Digitale*, n. 3, settembre 2009, p. 11-21.
- [5] Senesi F., Marzilli E.: *European Train Control System – Sviluppo e messa in esercizio in Italia*. CIFI, 2008.
- [6] *Brochure sistema ERTMS*, <http://www.rfi.it/cms-file/allegati/rfi/ERTMStotale.pdf>
- [7] *Descrizione modello di frenatura SCMT*, <http://www.rfi.it/cms-file/allegati/rfi/documenti/vol33ModellodiFrenaturaperSCMTVo3C.pdf>
- [8] Di Tommaso P., Esposito R., Marmo P., Orazio A.: *Hazard Analysis of Complex Distributed Railway Systems*. In: 22-nd International Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS'03), 2003, p. 283-292.
- [9] Unisig: *ERTMS/ETCS – Subset 026 System Requirements Specification (SRS)*. Issue 3.0.0, 2008.
- [10] CENELEC 2000. EN 50126 Railways Applications – The specification and demonstration of Reliability, Maintainability and Safety (RAMS).
- [11] VxWorks, http://www.windriver.com/products/product-notes/PN_VE_61508_0109.pdf
- [12] Sillitti A.: A caccia degli errori del software. *Mondo Digitale*, n. 4, dicembre 2005, p. 32-44.
- [13] Flammini F., Mazzocca N., Orazio A.: Automatic instantiation of abstract tests to specific configurations for large critical control systems. *Journal of Software Testing, Verification & Reliability (STVR)*, Vol. 19, Issue 2, 2009, p. 91-110.
- [14] Schulz O., Peleska J.: *Reliability Analysis of Safety-Related Communication Architectures*. Proc. SAFECOMP'2010, Springer LNCS, Vol. 6351/2011, p. 1-14.
- [15] Smith J., Russell S., Looi M.: *Security as a safety issue in rail communications*. In Proc. 8-th Australian Workshop on Safety Critical Systems and Software, Vol. 33 (Canberra, Australia). Lindsay P., Cant T., Eds. *Conferences in Research and Practice in Information Technology Series*, Vol. 97. Australian Computer Society, Darlinghurst, Australia, 2003, p. 79-88.
- [16] Coccoli A., Bondavalli A.: *Analysis of Safety Related Architectures*. In: 9-th IEEE International Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems (WORDS'03), 2003.
- [17] Amendola A.M., Impagliazzo L., Marmo P., Mongardi G., Sartore: *Architecture and Safety Requirements of the ACC Railway Interlocking System*. Proc. IEEE 2-nd Int. Computer Performance & Dependability Symposium (IPDS'96), Urbana Champaign, USA, 1996, p. 21-29.
- [18] Unisig: *ERTMS/ETCS – Class 1 Safety Requirements*. Issue 2.2.11, Subset-091, 2005.
- [19] CENELEC 2004. EN 50129 Railways Applications – Safety Related Electronic Systems for Signalling.
- [20] Unisig: *ERTMS/ETCS – RAMS Requirements Specifications Chapter 2 – RAM*, <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/B1-02s1266-.pdf>
- [21] Cimatti A., Giunchiglia F., Mongardi G., Romano D., Torielli F., Traverso P.: Model Checking Safety Critical Software with SPIN: an Application to a Railway Interlocking System. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1516/1998, 1998, p. 284-293.
- [22] Caiazza A., Di Maio R., Fernando S., Poli F., Impagliazzo L., Amendola A.M.: *A New Methodology and Tool Set to Execute Software Tests on Real-Time Safety-Critical Systems*. Proc. 5-th European Dependable Computing Conference (EDCC 2005), p. 293-304.

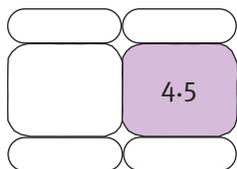
- 
- 
- [23] Abbaneo C., Flammini F., Lazzaro A., Marmo P., Sanseviero A.: *UML Based Reverse Engineering for the Verification of Railway Control Logics*. Proc. Dependability of Computer Systems (Dep-CoS'96), Szklarska Poreba, Poland, May 25-27, 2006, p. 3-10.
- [24] Di Tommaso P., Flammini F., Lazzaro A., Pellecchia R., Sanseviero A.: *The Simulation of Anomalies in the Functional Testing of the ERTMS/ETCS Trackside System*. In: 9-th IEEE International Symposium on High-Assurance Systems Engineering (HASE'05), 2005, p.131-139.
- [25] Flammini F., Impagliazzo L., Marmo P., Pragliola C.: Affidabilità e sicurezza dei sistemi innovativi di comando/controllo. Approcci basati su modelli e loro applicazioni industriali. *Ingegneria Ferroviaria*, n. 6, giugno 2010, p. 543-558.

FRANCESCO FLAMMINI, ha ottenuto la laurea con lode (2003) e il dottorato di ricerca (2006) in Ingegneria Informatica presso l'Università di Napoli "Federico II". Dal 2003 lavora in Ansaldo STS come progettista e ricercatore, occupandosi di verifica dei sistemi di controllo e protezione delle infrastrutture. Ha tenuto come professore a contratto corsi di informatica ed ingegneria del software. È autore di numerosi articoli scientifici pubblicati su riviste, libri e atti di congressi internazionali. Svolge attività editoriali per libri e riviste sul tema dei sistemi sicuri ed affidabili ed è nel comitato di programma di diversi convegni internazionali, tra cui SAFECOMP. È vicepresidente del capitolo italiano dell'IEEE Computer Society per il biennio 2010-2011.
E-mail: francesco.flammini@ieee.org



SOCIAL MEDIA INTELLIGENCE COMPRENDERE IL “POLSO” DI UN TERRITORIO

Paolo Barbesino
Chiara Francalanci
Fiamma Petrovich



Ogni territorio ha una sua identità e reputazione creata dal sedimentarsi delle esperienze di chi lo attraversa. Internet e i Social Network sono disseminati delle tracce di questi passaggi: la social media intelligence consente di leggere questi segni. Lo stato dell'arte nell'analisi della reputazione online per il brand di una città è in continua evoluzione: strumenti semiautomatici basati su tecnologia semantica supportano il monitoraggio in tempo quasi reale dell'ambiente dei social media per il corretto presidio del web 2.0.

1 CHE C'È DI NUOVO? IL MICROBLOGGING E IL TERRITORIO

Nel nuovo millennio l'attrattività di un luogo e in particolare di una città è legata alla storia e alle qualità del posto e delle persone che lo abitano, che costituiscono veri e propri attributi del brand territoriale, così come alla vivacità di ciò che vi accade. La risposta alla domanda “se avessi tempo per una visita o se vivessi lì quanto facilmente vi troveresti cose interessanti o nuove da scoprire?” determina in maniera significativa il successo di una destinazione per il turismo o come territorio d'elezione per viverci¹.

Più di cento milioni di persone scambiano liberamente informazioni in tempo reale attraverso Twitter. La forma testuale corta, che consente messaggi non superiori ai 140 caratteri, ne facilita la produzione e il consumo anche in mobilità e il messaggio è in misura

crescente accompagnato da indicazione di localizzazione secondo due modalità: come informazione dichiarata disponibile nel profilo dell'utente e/o come provenienza dichiarata (@); oppure come informazione rilevata attraverso la funzione di geolocalizzazione dell'applicativo utilizzato dall'utente per generarlo.

Ecco perché i 65 milioni di messaggi pubblicati ogni giorno su Twitter in risposta alla domanda “Cosa c'è di nuovo?” costituiscono un enorme serbatoio di intelligenza distribuita (o connessa, secondo *Derrick de Kerckhove*) che può tradursi in indicazioni per il governo di un territorio, se raccolta ed elaborata attraverso l'analisi dei Social Media.

Negli Stati Uniti, uno studio dell'Università di Harvard registra lo stato emotivo (*polso*) della popolazione su Twitter da costa a costa, nelle diverse ore del giorno, a partire da un *dataset* di 300 milioni di messaggi (Figura 1).

¹ Anholt City Brand Index, 2006 e successivi.

² <http://www.ccs.neu.edu/home/amislo-ve/twittermood>

In Europa, la geografia di Londra è stata mappata in funzione della densità degli scambi su Twitter³ (Figura 2).

A Milano, l'amministrazione comunale ha promosso e finanziato un progetto realizzato

dal Politecnico di Milano in collaborazione con CommStrategy per studiare le dinamiche che presidono alla costituzione dell'attrattività della città per il popolo di Twitter a partire da un data-set di oltre un milione di mes-

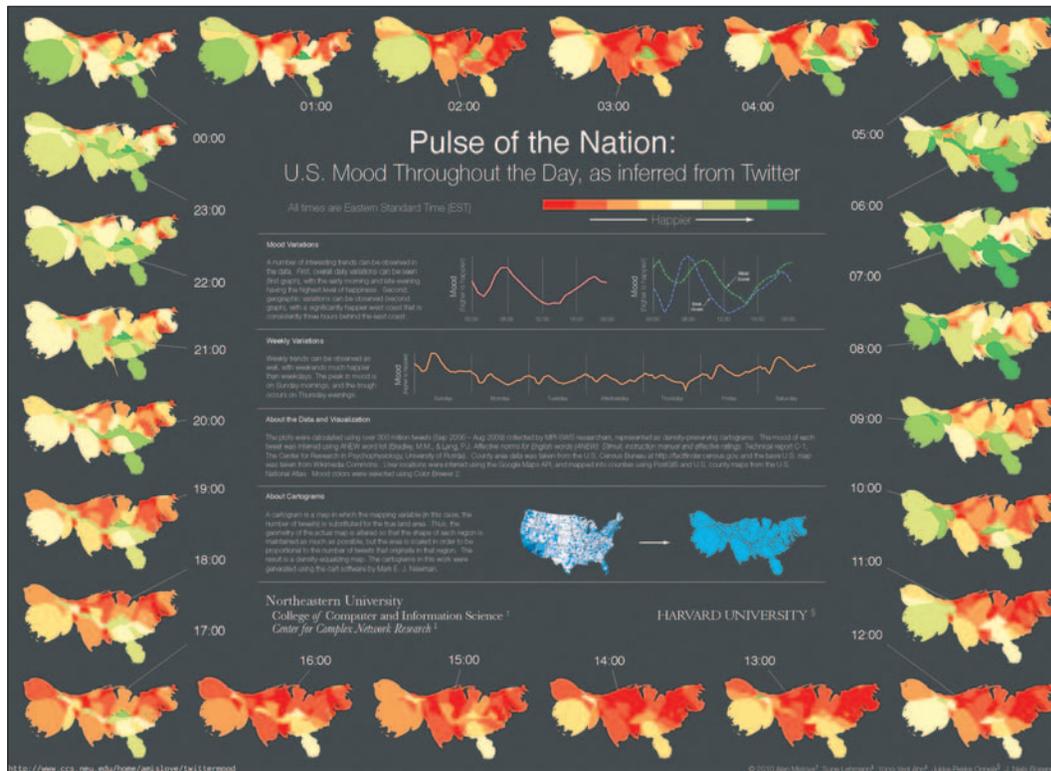


FIGURA 1
Visualizzazione delle variazioni di stato emotivo nel tempo e nello spazio inferite da Twitter

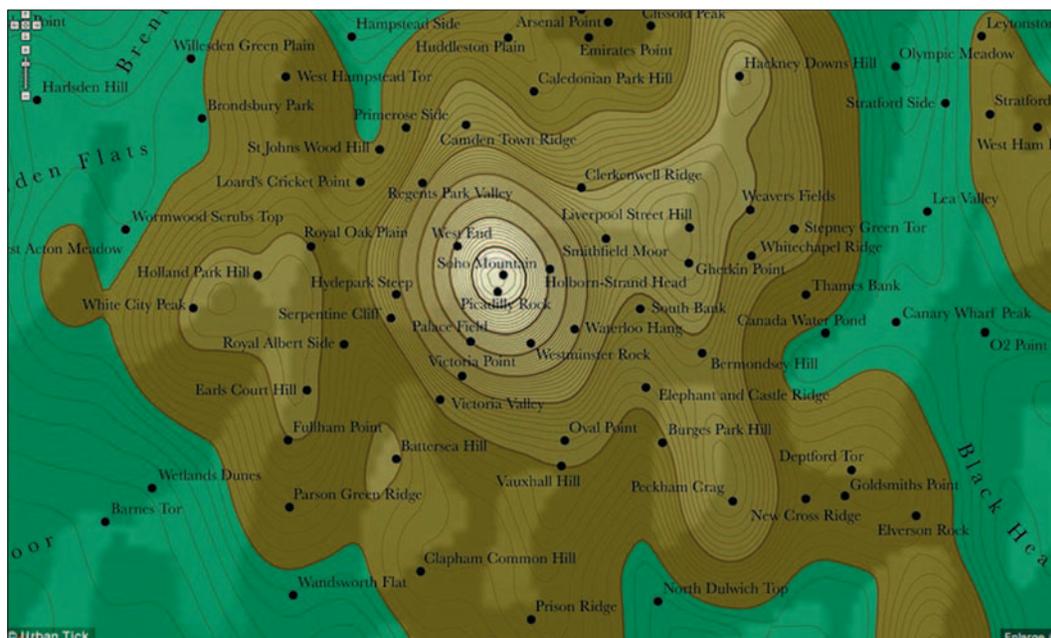


FIGURA 2
Picchi e avvallamenti di comunicazione su Twitter nelle diverse aree di Londra, città e dintorni

³ Fabian Neuhaus, UCL's Centre for Advanced Spatial Analysis.



FIGURA 3
 Dashboard di una listening platform (interfaccia a widget fruita in modalità self-service dall'analista)

saggi in lingua inglese raccolti negli ultimi 6 mesi, su Milano e su un primo gruppo di metropoli europee in diretta competizione quali: Berlino, Londra, Madrid.

Il progetto ha come perimetro di riferimento l'analisi dei Social Media e si estende dal microblogging alle community di viaggiatori (*tripadvisor*) e all'editoria digitale specializzata (*lonely planet*); mentre è in corso di realizzazione l'allargamento alle *fan page* di Facebook. L'obiettivo è la generazione di analisi strutturate e multi-sorgente, capaci di ponderare il gradimento in funzione della reputazione della sorgente informativa, in modo continuo e integrabile.

Il rilascio in versione prototipale di uno strumento di monitoraggio della reputazione online della città è avvenuto nell'ottobre 2010 e alla fase di *testing* attuale seguirà lo sviluppo di un'interfaccia *mash-up* destinata a recepire i requisiti espressi dai responsabili del Dipartimento Marketing Territoriale e Turismo del Comune di Milano.

2. INTRODUZIONE ALLA SOCIAL MEDIA INTELLIGENCE

Un *data-set* molto esteso come quello disponibile nell'ambiente dei social media richiede l'impiego di tecnologie per l'automazione dell'analisi dati: sul mercato della *Business Intelligence & Information Measurement Systems*

sono disponibili diverse soluzioni per l'ascolto di Internet. Il processo che viene comunemente adottato prevede la raccolta dati, l'elaborazione e il rilascio, con diversi gradi di automazione.

Le numerose piattaforme oggi disponibili in modalità *software as a service*, dette piattaforme di *listening*, offrono prestazioni apprezzabili in termini di raccolta dati e di rilascio, consentendo la visualizzazione del dataset sia nella forma atomica del singolo messaggio sia in forma aggregata grazie a grafici di sintesi sulla distribuzione dei volumi e delle *keyword* secondo variabili scelte; mentre ancora limitata è la possibilità di attribuzione di un gradimento ai messaggi relativi a un dato dominio (Figura 3).

L'utilizzo di piattaforme di *listening* per l'analisi della reputazione online del brand di una città fornisce alcune risposte di natura quantitativa: ci dice quanto si parla di un territorio nell'ambiente dei social media e se, in coincidenza di alcuni eventi, si verifica una moltiplicazione dei contenuti, come per esempio in occasione di manifestazioni fieristiche o al verificarsi di eventi critici, come nel caso del blocco dei voli a causa dell'eruzione del vulcano islandese la scorsa primavera. Nell'esempio proposto in questa sede, sono state mappate le *keyword* più ricorrenti nel corpus complessivo di conversazioni su Londra nel periodo autunnale fino al 27 ottobre 2010 co-

3. ASPETTI TECNOLOGICI DELLA SOCIAL MEDIA INTELLIGENCE

Un applicativo di Social Media Intelligence deve permettere di:

- monitorare come variano le opinioni nel tempo su un insieme di fattori competitivi;
- identificare aree di miglioramento e misurare il gap dal *best in class*;
- avere sotto osservazione i principali attori portatori di opinioni e poter reagire tempestivamente a situazioni pericolose per la propria reputazione.

Un elemento di criticità nei messaggi provenienti dai social network è la bassa qualità dei dati, dovuta all'elevata frequenza, nel già complesso linguaggio naturale, di slang, abbreviazioni e simboli che rendono inutile l'uso di un *parser* di testo tradizionale su flussi di conversazioni come quelli in Twitter: in 140 caratteri l'espressione testuale viene contratta e la tecnologia si trova ad avere poche informazioni di contesto per disambiguare correttamente il significato delle parole.

Si parla di *word sense disambiguation*, in altre parole, l'identificazione di un unico senso per ogni parola del discorso. In inglese, le performance dei vari algoritmi esistenti si attestano su un'accuratezza che raggiunge il 69% su corpora costruiti ad hoc per *SemEval-2007*, *Senseval-2 (Wikipedia)*, ma non c'è da sorprendersi poiché non è sempre facile distinguere di cosa si sta parlando.

«I have just arrived in Milan. Here food is great!»

«I have just read great news about Alyssa Milan.»

«I love Milan Kundera...»

«Beating AC Milan is going to be a challenge!»

Si sta parlando della città o di altro?

Nel progetto pilota del Comune di Milano l'applicativo sviluppato è in grado di comprendere testo non strutturato in lingua inglese, estratto da fonti Web eterogenee, attraverso tecniche di elaborazione del linguaggio naturale e l'uso di reti semantiche costruite ad hoc per il segmento di mercato in studio, producendo in output dei report che descrivono: cosa si discute online (gli argomenti d'interesse), chi ne parla (analisi degli *opinion maker*), come (positività e negatività dei giudizi espressi) e quando.

Uno strumento intelligente non si limita a contare le occorrenze di parole, ma integra capacità d'interpretazione semantica per una migliore disambiguazione, tramite l'uso di reti semantiche specifiche per le lingue d'analisi. L'uso di reti semantiche permette di risolvere i conflitti in casi ambigui quali "milan" (artista o città) o "turkey" (animale o nazione) (Figura 6).

L'accuratezza sulla disambiguazione del senso delle parole ha un elemento in comune con l'analisi delle opinioni espresse dagli utenti. Anche l'analisi di gradimento usa algoritmi complessi, sia con approcci basati su *data mining* sia seguendo metodi di elaborazione del linguaggio naturale (NLP) e non sempre produce come risultato un valore univoco, tanto che è possibile calcolare il gradimento con diverse scale⁴:

1. scala a due gruppi:
 - a. due possibili valori (0 e 1);
 - b. positivo/negativo;
 - c. accordo/disaccordo;
2. scala a più gruppi:
 - a. più valori possibili (1, 2, 3, 4, 5);
 - b. positivo/negativo/neutrale;
 - c. accordo/disaccordo/indecisione;

Noun

- **S: (n) turkey, [Meleagris gallopavo](#)** (large gallinaceous bird with fan-shaped tail; widely domesticated for food)
- **S: (n) Turkey, [Republic of Turkey](#)** (a Eurasian republic in Asia Minor and the Balkans; on the collapse of the Ottoman Empire in 1918, the Young Turks, led by Kemal Ataturk, established a republic in 1923)
- **S: (n) joker, turkey** (a person who does something thoughtless or annoying) "some joker is blocking the driveway"
- **S: (n) turkey** (flesh of large domesticated fowl usually roasted)
- **S: (n) turkey, bomb, dud** (an event that fails badly or is totally ineffectual) "the first experiment was a real turkey"; "the meeting was a dud as far as new business was concerned"

FIGURA 6
Esempi di diversi sensi per la parola "turkey" estratti da WordNet

⁴ Conversion, 2009.

3. scala a gruppi illimitati:

- a. valori con posizione decimale (1.000, 4.82 ecc.).

Nell'architettura del sistema di analisi della reputazione online, ai moduli tecnologici di raccolta dati e rilascio delle analisi - comuni alle *listening platform* descritte - è necessario aggiungere moduli di *data processing* che operino la disambiguazione, una corretta categorizzazione rispetto al modello euristico prescelto e filtrino correttamente i dati con gradimento positivo o negativo.

4. PRIMA FASE TECNOLOGICA: CRAWLING

La realizzazione del progetto del Comune di Milano ha messo in luce come il modello più efficace ed efficiente per lo sviluppo di una piattaforma di analisi semi-automatica del gradimento sia basato su un'articolazione in quattro fasi distinte, ciascuna delle quali presenta sfide tecnologiche specifiche e richiede l'utilizzo di soluzioni applicative differenti, all'interno di un governo complessivo del progetto finalizzato a rendere fluide le integrazioni tra le varie fasi. In forma sintetica, abbiamo definito queste quattro fasi come: *crawling*, *mapping*, *processing* e *visualization*.

L'acquisizione di dati dal Web avviene grazie all'uso di tecnologie ormai standardizzate. Ciò nonostante, implementare uno strumento di *crawling* multi-sorgente presenta evidenti criticità, dovute all'eterogeneità delle fonti che si vogliono analizzare e ai contenuti cui si desidera accedere.

Si distinguono principalmente due tipologie di *crawler*, quelli basati su *parser HTML (HyperText Markup Language)* e quelli basati su API (*Application Program Interface*).

I primi (*crawler* su *parser HTML*) puntano ad acquisire i dati analizzando la struttura di una

pagina Web, in modo molto simile al comportamento di un essere umano che naviga su internet: così come l'utente vede una pagina alla volta e naviga tra pagine diverse aprendo dei collegamenti ipertestuali, allo stesso modo il *crawler* analizza una pagina alla volta e sceglie la successiva sulla base degli attuali collegamenti (*link* e indirizzi URL) presenti. L'analisi della pagina Web è fatta attraverso dei *parser*. I *parser* sono algoritmi che identificano i tag HTML presenti e, in base ai tag scelti dall'utente, analizzano il testo presente al loro interno. È questo il contenuto che viene estratto e attraverso opportune connessioni alla base dati viene memorizzato per il riutilizzo dei dati in fase di analisi. Questo primo approccio permette una ricerca molto ampia, completa, a livello di sito Web, ma di contro richiede lunghi tempi di attesa (variabili da uno a venti secondi per pagina scansionata), paragonabili alla velocità di lettura manuale, e una connessione al sito sempre attiva. I tempi di attesa diventano un fattore da tenere in considerazione quando le fonti hanno un aggiornamento elevato, come nel caso dei social network, dove ogni giorno vengono generati contenuti nuovi. La connessione sempre attiva è un elemento non gestibile dalla tecnologia ma dipendente dalle *policy* del sito, perché c'è chi permette l'accesso ai dati e chi li custodisce gelosamente.

I vantaggi e gli svantaggi si invertono con il secondo tipo di *crawler*, basato su API (Tabella 1). Le API sono servizi offerti dal gestore del sito per permettere l'interfacciamento con i dati e/o le funzionalità del sito stesso. L'ottenimento delle informazioni è più veloce, ben gestito ma ristretto, perché l'accesso al sito è limitato a livello spaziale (solo alcune aree) e spesso temporale (numero di chiamate orarie fisse). Se il *crawler* basato su *parser HTML* è sempre utilizzabile, quello basato su API ha performance più elevate, ma richiede che il si-

Tecnologia	Vantaggi	Svantaggi	Che cosa spetta al gestore del sito
Parser HTML	- Ampiezza dei contenuti estraibili	- Lentezza - Rischio di essere bloccati	- Permessi di accesso dei bot/spider
API	- Connessione sempre attiva - Performance elevate	- Limite chiamate - Contenuti limitati	- Implementazione API

TABELLA 1

Vantaggi e svantaggi per le tipologie di crawler

to Web abbia sviluppato e messo a disposizione interfacce ad hoc non disponibili di default. Gli esempi più noti sono rappresentati da Twitter e Facebook che mettono a disposizione API, in continua evoluzione, attraverso le quali è possibile scaricare i *tweet* o le *fan page*, ma non i messaggi privati o tutti quei dati coperti dalla privacy.

5. SECONDA FASE TECNOLOGICA: MAPPING

La fase di *tagging* può essere intesa come una classica categorizzazione di testi. Per *text categorization* si intende l'attività che si occupa di classificare testi digitali scritti in linguaggio naturale, assegnandoli in maniera automatica una o più classi/tag. Esempi di classi possono essere "trasporti", "arte", "sport". Per questa operazione si usano solitamente degli algoritmi con apprendimento automatico supervisionati, sistemi che è necessario addestrare tramite auto-apprendimento a partire da testi taggati manualmente. Altri approcci fanno riferimento ad algoritmi non supervisionati, in cui il sistema non richiede una fase di addestramento preliminare; tuttavia quelli che stanno attualmente ottenendo risultati più concreti sono i semi-supervisionati, dove le decisioni sono lasciate in parte alle macchine e in parte agli esseri umani, sfruttando così i punti di forza di entrambi e limitando gli svantaggi.

Algoritmi di apprendimento supervisionato si basano sull'utilizzo di due insiemi di documenti per elaborare il gradimento finale: il *training set* (insieme che "allena" l'algoritmo a produrre risultati migliori) e il *test set* (insieme per effettuare i test). Molti studi hanno potuto fare riferimento a siti di recensioni (per esempio di un hotel), dove l'utente fornisce già una classificazione, per esempio da 1 a 5 stelle, per il suo messaggio o post.

Le prime tecniche che hanno implementato queste idee sono state i classificatori *bayesiani* e le *Support Vector Machine* (SVM), tutte appartenenti alla branca del *Machine Learning*. Pang et al hanno così classificato le recensioni dei film in due classi, positive e negative, ma il buon risultato ottenuto era in parte dovuto al fatto che non era stata presa in considerazione la possibile esistenza di commenti neutrali. Se i risultati migliori sembrano ottenibili tramite

apprendimenti supervisionati, la loro correttezza è limitata a particolari set di documenti, di conseguenza è poco adatta a catalogare tutta l'informazione presente online, che varia dai più comuni fino ai più sconosciuti argomenti, usando termini specifici, abbreviazioni e slang subculturali. Per questo motivo negli ultimi anni hanno ripreso importanza i sistemi non supervisionati, funzionanti in qualsiasi contesto. Questi si basano su uno schema, una struttura di conoscenza costruita a priori, quale una rete semantica o un'ontologia, in cui sono schematizzati tutti i concetti delle realtà (oggetti, azioni ecc.) e le relazioni tra essi ("composto da", "appartiene a" ecc.).

Possedere un'ontologia del linguaggio naturale non è sufficiente a dire di avere a disposizione uno strumento in grado di elaborare qualsiasi informazione scritta su fonti digitali. Diversi lavori hanno dimostrato che sono necessari algoritmi complessi che, basandosi su reti semantiche quali WordNet [2], OntoNotes [3], e SUMO [4], disambiguano il testo rendendolo disponibile a successive elaborazioni. Negli ultimi anni c'è stata una forte crescita tecnologica nel campo, portando risultati molto precisi, ma con costi ancora elevati e limitati contesti applicativi. Le performance ottenute, infatti, variano parecchio, da un'accuratezza del 54.2% ottenuta da Mihalcea [5] fino a valori del 96%, come nello studio di Yarowsky [6]. La minore precisione di Mihalcea non significa però un risultato più negativo, perché tecniche come la sua, applicano reti semantiche indipendenti dal contesto, in cui cioè non c'è una focalizzazione su particolari domini, ma permettono di essere applicati su qualsiasi argomento da analizzare: questo a differenza di tecniche dipendenti dal contesto, spesso basate su algoritmi supervisionati, che ottengono risultati più performanti a scapito dell'applicabilità pratica e del loro costo [7].

L'enorme progresso tecnologico degli ultimi anni viene incontro all'esigenza di analizzare contenuti generati dall'utente, permettendo di ricavare gli elementi essenziali per la ricostruzione di un insieme di senso partendo da analisi soggetto-azione-oggetto; soggettività/oggettività di una frase; analisi dei concetti (persone e luoghi) più importanti presenti nei testi. Queste tre analisi sono abilitate da un *parsing* sintattico e semantico delle

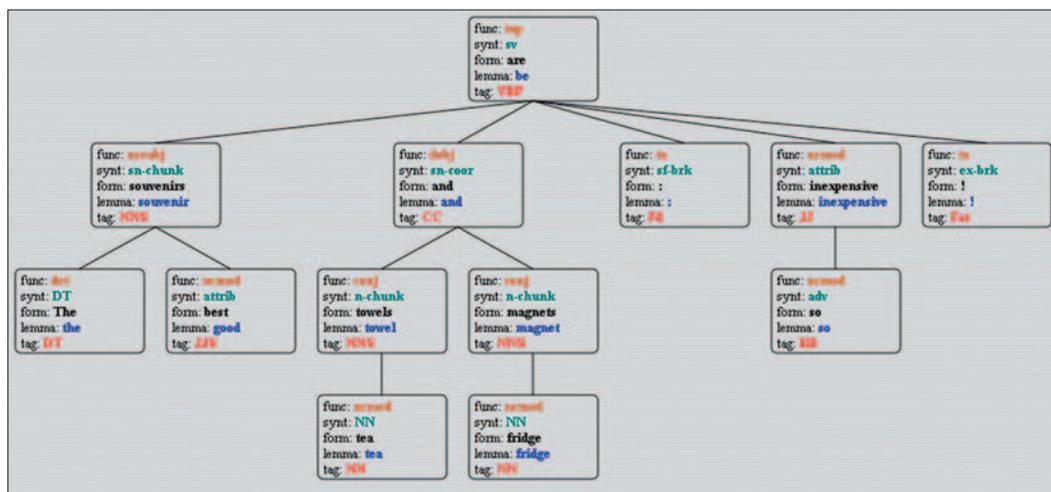


FIGURA 7
 Parsing tramite
 l'analizzatore
 sintattico - Freeling
 [1] di una frase
 presa da TripAdvisor

frasi. Grazie a degli alberi delle dipendenze (*dependency tree*), risultato tipico degli analizzatori sintattici (Figura 7) si può mostrare all'utente i concetti del discorso e le relazioni tra essi con una certa sicurezza.

Pur non esente da errori, questa tecnica garantisce risultati con un'accuratezza superiore al 90-95% ed è di grande aiuto a chi ha il compito di costruire una mappa di concetti. Un parser è indispensabile per ottenere relazioni tra concetti. Se si volessero avere solo le entità citate, quali nomi propri e luoghi, ci si potrebbe basare su moduli NER (*Named Entity Recognition*), che sfruttano pattern, ricorrenze statistiche e matching da dizionari per riconoscere le varie entità.

6. TERZA FASE TECNOLOGICA: PROCESSING (TAG & SCORING)

La difficoltà si presenta non solo in fase di assegnazione di un significato alle parole ma anche a livello di assegnazione di un gradimento. Abbiamo già detto che l'*e-wom* tende a essere positivo, ovvero che i contenuti generati dagli utenti esprimono soprattutto entusiasmo per un meccanismo sociale di autorinforzo (l'eccellenza si riverbera dall'oggetto al soggetto) ma le esperienze su cui si esprimono opinioni sono estremamente parcellizzate: *The best Sbagliato in Milan* fa riferimento ad un particolare aperitivo, riconducibile ad un'esperienza di ristorazione.

Grazie a insiemi di sinonimi, parole identificanti concetti equivalenti (Milano, città della Madonna, capitale lombarda ecc.) e l'identifica-

zione di nomi propri, ogni frase può essere catalogata con precisione all'interno della mappatura adottata, garantendo un solido punto di partenza per il calcolo del gradimento. L'uso della semantica non è l'unica soluzione. Altri due approcci affrontano il problema da un punto di vista di distanza lessicale o da un punto di vista statistico. L'approccio lessicografico si basa su una finestra di n parole considerate per la classificazione. Per esempio, usando una finestra di dimensione due, si prendono in considerazione due parole a sinistra e due a destra dalla parola "cardine" analizzata e su di esse si applicano algoritmi di disambiguazione per contestualizzare e catalogare correttamente la parola. In inglese si chiamano algoritmi *sliding window*, perché la finestra scorre di volta in volta su tutte le parole della frase. Differente è l'approccio statistico, che si basa sulla ricorrenza di particolari relazioni tra lemmi derivate dall'osservazione di grandi basi dati testuali. I suggerimenti nella ricerca di Google ne sono un esempio. La correzione non si basa su un dizionario fisso, ma costruito tramite le ricerche fatte precedentemente da milioni di utenti.

Le diverse tecniche agiscono per individuare parole e per poterle categorizzare con meno errori, ma tra ottenere volumi su un determinato argomento e analizzarne il gradimento c'è un grosso margine di dati inutilizzati. Un vero e proprio imbuto, perché ricerche dimostrano che la percentuale di testi che hanno un gradimento esplicito si attesta su meno di un decimo del totale. Di questo insieme poi, ci sono fattori che introducono distorsione dei dati: la

0

1

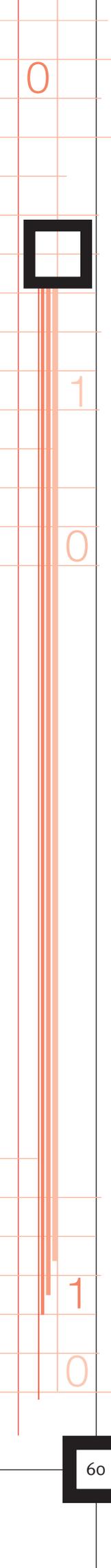
0

1

0

1

0



differenza tra la neutralità e la mancanza di opinione, la tendenza a parlare positivamente di un avvenimento, oggetto o evento.

La maggior parte degli strumenti che tracciano la reputazione online non si preoccupa di differenziare opinioni neutrali e/o non sbilanciate (non sono né a favore né contro questa nuova legge) da frasi completamente senza gradimento (com'è andata ieri in parlamento?). Eppure per valutare correttamente come si parla on-line è necessario prendere queste frasi e analizzarle. Correlato è anche il discorso di considerare frasi soggettive e oggettive: frasi con opinioni personali (mi piace il Duomo) da frasi con evidenze fattuali (il Duomo è alto 150 m).

Le sfumature sono importanti, così come il **silenzio**. Perché non si parla di un certo fatto, evento o brand? L'ascolto del silenzio è possibile impostando analisi di tipo comparativo, per esempio quanto si parla di Food&Drink a Milano rispetto a Londra, ponderando con la base diversa di volumi di partenza.

L'altro aspetto è la **distorsione del gradimento**. Quando una persona pubblica un commento su un sito tende a voler dare un'impressione positiva di sé stesso, come abbiamo già accennato. Descrive quanto bella è stata la vacanza, quanto si è contenti del nuovo acquisto, della bella serata o del fantastico cibo mangiato al ristorante. L'uomo tende a valorizzare ciò che fa e questo comportamento traspare anche nei commenti online. In particolare su Twitter, gli utenti che perseguono il raggiungimento di un maggior numero di *follower* tendono a esprimere eventi positivi. Questo comportamento opportunistico è difficile da catturare con gli strumenti di *Business Intelligence* per l'analisi di gradimento, ma è in realtà molto importante perché introduce un elemento di distorsione che crea un divario notevole tra il numero di frasi positive e quelle con valenza negativa. La differenza tra i valori è notevole, dato che le frasi positive sono un numero quasi quattro volte superiore a quelle negative, considerando una classificazione a tre livelli (positiva, neutra, negativa). Questo risultato è confermato anche da fonti come Steve Kaufer, fondatore di TripAdvisor [8].

Nello scenario precedente si è fatta l'assunzione che la valenza fosse calcolata a livello

di frase. In verità l'analisi di gradimento può essere affrontata a più livelli: **documento**, **frase** e parte di frase a senso compiuto, detto **snippet**.

Il primo è la cosiddetta classificazione a livello di documento, l'assegnazione di un voto positivo o negativo a un testo. Questo è stato il punto di partenza, da cui poi si è derivata la necessità di estrarre informazioni a granularità più fine rispetto all'intero documento. Da qui è nata la classificazione a livello di frase, che ottiene valori più dettagliati, ma con costi maggiori.

Le tecniche di elaborazione a livello di frase prevedono due passaggi:

1. determinare se una frase ha contenuto soggettivo o oggettivo;

2. se una frase è soggettiva, determinarne la polarità: positiva, negativa, o neutrale.

Molte delle ricerche studiano entrambi i punti, alcune si focalizzano su uno dei due. In entrambi i casi gli algoritmi più utilizzati sono il *bootstrapping*, i classificatori *bayesiani naive*, SVM e altri metodi statistici. Più precisamente per determinare la soggettività/oggettività sono usate tecniche quali la somiglianza delle frasi, i classificatori *bayesiani* singoli e multipli.

La valenza di una frase soggettiva invece è determinata basandosi su una lista di parole o sensi (in caso di analisi semantiche) aventi associati già un gradimento a priori. La classificazione a livello di *snippet* è la terza granularità (la più fine) per il calcolo del gradimento. A livello di documento si fa un'assunzione, che ci sia solo un valore di polarità per tutto il testo, quindi uno e un solo utente che descrivesse positivamente o negativamente un solo oggetto. Più si scende nei dettagli più si scopre che ciò non è vero: una frase può contenere più opinioni, proposizioni soggettive in contemporanea con proposizioni oggettive, più oggetti descritti. Il livello *snippet* punta a catturare tutti questi contenuti, distinguendo all'interno delle stesse frasi più sezioni, ognuna delle quali è composta da un'unica informazione specifica.

Ancora oggi esiste poco riguardo allo studio degli *snippet*, perché introduce la necessità di avere alta precisione sul contenuto in analisi con una tecnologia matura che non è ancora presente sul mercato.

7. QUARTA FASE TECNOLOGICA: VISUALIZATION

Disciplina nel cui ambito si registra attività di ricerca fin dall'inizio delle discipline informatiche, ma applicazione sistematica in ambito aziendale e pubblico solo dall'inizio del millennio, la *data-visualization* è assurta a fattore strategico di governo in occasione dell'impiego pubblico da parte del presidente Obama per mostrare agli elettori l'andamento della disoccupazione nei primi due anni del suo mandato.

I presupposti tecnologici che sostengono uno sviluppo autonomo della fase di visualizzazione risiedono nelle basi del *pattern* architetturale *Model View Controller* (MVC), che mira a tenere separata la parte di modellazione (quale la base di dati) dalla parte di logica (il controller, quale le classi java o C++ che chiamano il database ed eseguono algoritmi di analisi) e dalla parte di visualizzazione. Le visualizzazioni sono un mix tra design e tecnologia che devono permettere di far nascere conversazioni intorno ad esse [9], il loro scopo è comunicare e permettere il dialogo; sono il punto di partenza - e non un punto di arrivo - per un dibattito da cui poter estrarre conoscenza. Immagini e video hanno un potere enorme e riassumono in pochi colori e forme dati che spiegati a parole richiederebbero frasi e tabelle piene di valori.

Nel mondo del Web stanno nascendo numerose forme di rappresentazione dei dati, ma non esiste ancora un vero e proprio standard. Una visualizzazione deve essere immediata, sia per ciò che deve trasmettere, sia nella velocità di trasmissione dei dati alla parte grafica. Quest'aspetto tecnologico è importante quando si hanno notevoli quantità di dati, per non perdere il controllo delle informazioni catturate. È utile usare una logica a servizi, in cui solo nel momento del bisogno una rappresentazione fa richiesta di dati a un server con grandi capacità di elaborazione, che permette di alleggerire il carico del client di visualizzazione, che dovrà solo occuparsi di mostrare dati già filtrati e organizzati in base alle necessità.

Applicazioni pratiche che sfruttano l'approccio a servizi sono i *Mash-up* capaci di includere dinamicamente informazioni e contenuti provenienti da più fonti (Figura 8 e Figura 9).

8. CHE ALTRO C'È? PROSPETTIVE PER LA SOCIAL MEDIA INTELLIGENCE

La complessità tecnologica della comprensione dell'ambiente dei Social media e delle sue dinamiche è ben rappresentata dal caso illustrato in questa sede, relativo al progetto promosso e finanziato dal Comune di Milano sull'analisi della reputazione online del brand di una città.

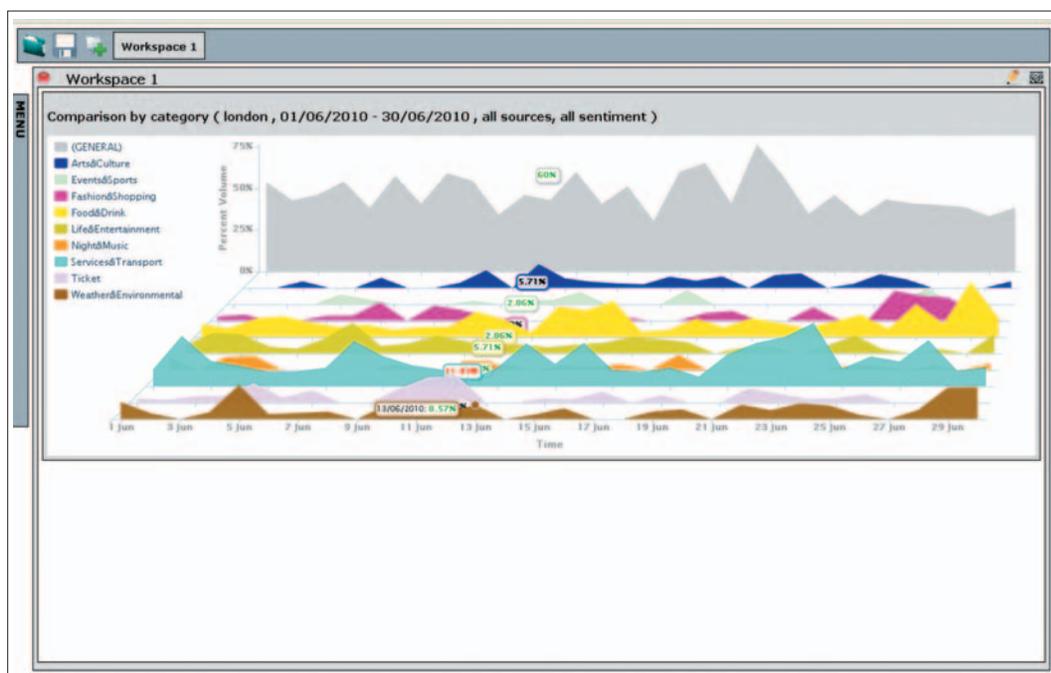


FIGURA 8

Esempio di applicazione mashup: analisi dei volumi per categorie nel settore turismo (Londra, giugno '10)

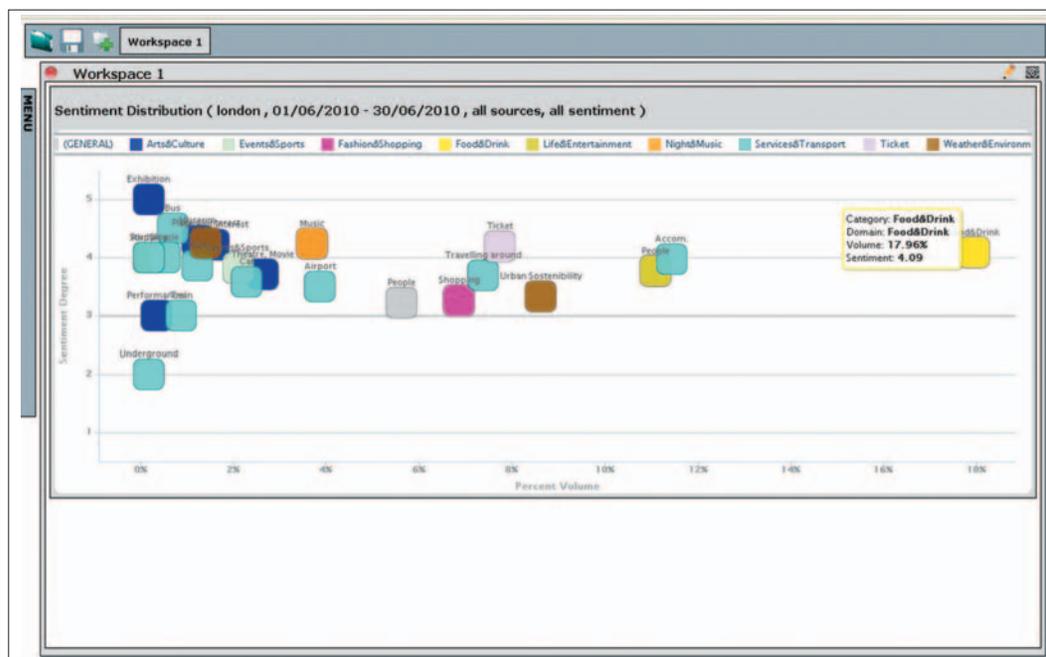


FIGURA 9

Esempio di applicazione mashup: analisi del gradimento per categorie nel settore turismo (Londra, giugno 2010)

Il diffondersi del cosiddetto mobile Internet e l'affermazione di un modello di interazione basato su "app" come quelle rese familiari da iPhone e Android, che da un lato offre un'esperienza utente più ricca e dall'altro integra a livello di metadati la componente di geo-localizzazione, pone indubbiamente nuove sfide: conoscere il "polso" di una città attraversata da persone in transito vuole dire parlare tante lingue, quante quelle usate da chi visita o lavora in una moderna metropoli ed essere molto veloci nell'ascoltare e comprendere un numero sempre maggiore di contenuti, destrutturati, contestuali, spesso espressione di forti appartenenze subculturali, potenzialmente distribuiti su un numero crescente di sorgenti rilevanti, ognuna caratterizzata da una propria architettura specifica a livello logico e tecnologico.

Il Politecnico di Milano in collaborazione con Commstrategy si propone come Centro di Competenza per progetti che vogliano sviluppare sistemi innovativi di Social Media Intelligence, a partire dall'allargamento del progetto in corso con il Comune di Milano. Le frontiere identificate sono in primo luogo quelle dell'allargamento del perimetro di analisi ad altre città, e territori; includendo un numero maggiore di dimensioni e allar-

gando l'insieme delle sorgenti monitorate e delle lingue considerate. In secondo luogo, quelle legate all'estensione dell'architettura tramite moduli aggiuntivi, come quello di individuazione e valutazione degli "orientatori" a livello di notizie, persone e brand. Infine, quelle relative alla mappatura geografica dei nodi di scambio.

Ognuno di questi ambiti di sviluppo presenta sfide tecnologiche e concettuali estremamente rilevanti, ma i presupposti per affrontarle con successo sono da ricercare nei risultati che già oggi sono stati raggiunti.

Bibliografia

- [1] Jansen B.J., Zhang M., Sobel K.: Twitter power: Tweet as electronic word-of-mouth. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Vol. 60 n. 11, 2009, p. 2169-2188.
- [2] Fellbaum C.: *WordNet: An electronic lexical database*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- [3] S.S. Pradhan, E.H.: *OntoNotes: A Unified Relational Semantic. International Conference on Semantic Computing*. Washington DC: IEEE Computer Society, 2007, p. 517-526.
- [4] Pease I. N.: *Towards a standard upper ontology*. Formal Ontology in Information Systems, New York: ACM. 2001, p. 2-9.

- [5] Mihalcea R.: *Unsupervised large-vocabulary word sense disambiguation with graph-based algorithms for sequence data labeling*. Human Language Technology Conference, Morristown, NJ: ACL. 2005, p. 411-418.
- [6] Yarowsky D.: *Unsupervised word sense disambiguation rivaling supervised methods*. Annual Meeting of the Association For Computational Linguistics, Morristown, NJ: ACL 1995, p. 186-196.
- [7] Barbagallo D., Bruni L., Francalanci C.: *Exploiting WordNet glosses to disambiguate nouns through verbs*. The Fourth International Conference on Advances in Semantic Processing, Firenze, 2010.
- [8] Kaufer S.: *Social Media Insights from TripAdvisor CEO Steve Kaufer*. E. Qualman, Interviewer, 2009, 4 20.
- [9] Wattenberg M.: *IBM Wants Many Eyes on Visualization*. T. O'Reilly, Interviewer, 2007, 01 23.
- [10] Atserias J., Casas B., Comelles E., González M., Padró L., & Padró M.: *FreeLing 1.3: Syntactic and semantic services in an open-source NLP library*. International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC), Genoa, 2006.
- [11] Bartlett F.: *Remembering, a study in experimental and social psychology*. Cambridge University Press, 1932.
- [12] *Conversition: There's Nothing Neutral About Neutral*, 2009.
- [13] Conway D.: *My Five Rules for Data Visualization*, 2009, 12 03. Retrieved from: <http://www.drewconway.com/zia/?p=1582>
- [14] Friendly M.: *Gallery of Data Visualization*, 2001. Retrieved from York University: <http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/>
- [15] *Il Sole 24 Ore*, 20 maggio 2010. Retrieved from: <http://www.ilsole24ore.com>: <http://www.ilsole24ore.com/art/SoleOnline4/Tecnologia%20e%20Business/2010/05/facebook-privacy-modifiche.shtml?uuid=704c84a0-6429-11df-87da-3032239fa3f5&DocRulesView=Liberato>
- [16] Nigam K., Hurst M.: *Towards a Robust Metric of Opinion*. Spring Symposium on Exploring Attitude and Affect in Text. Pittsburgh, 2004.
- [17] *Word sense disambiguation*. (n.d.). Retrieved from Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Word_sense_disambiguation

PAOLO BARBESINO, PhD in Sociologia, socio fondatore e Managing Director di CommStrategy, New Media Strategic Insight, dal 1997 supporta importanti attori internazionali, pubblici e privati, nella costruzione della strategia e nell'approccio al mercato utilizzando l'ICT come fattore critico di successo. Coinvolto anche come membro del board in nuove imprese tecnologiche, è stato mentor al Qatar Science & Technology

Park di Doha. È responsabile della collaborazione con il Politecnico di Milano, sia sul Mobile sia sulla Social Media Intelligence.

E-mail: p.barbesino@commstrategy.com

CHIARA FRANCALANCI è professore associato di Sistemi Informativi al Politecnico di Milano. Ha scritto numerosi articoli sulla progettazione e sul valore economico delle tecnologie informatiche, svolto attività di ricerca e consulenza nel settore finanziario e manifatturiero sia in Italia sia presso la Harvard Business School ed è editor del Journal of Information Technology.

E-mail: francala@elet.polimi.it

FIAMMA PETROVICH, Senior Manager in CommStrategy, New Media Strategic Insight. Master in Marketing (1994) e Master in Internet Business (2001). Appassionata del mondo digitale, da 10 anni coinvolta su progetti di innovazione in ambiente Internet e Mobile. Sta lavorando allo sviluppo di knowledge su Social Media e reputazione online in un progetto di ricerca con Politecnico di Milano, attraverso l'impiego di tecnologia semantica su un brand di territorio. Background professionale in Consulenza Strategica (Servizi, Government, Automotive), e da manager nell'area Marketing/Comunicazione (FMCG).

E-mail: f.petrovich@commstrategy.com

GLOSSARIO

App': applicazioni, gratuite o a pagamento, che possono essere scaricate direttamente dal dispositivo mobile o su un computer; a giugno 2010 nell'App Store ne erano disponibili 220 mila, con 5 miliardi di download accumulati.

Branding: progetto strategico e creativo di creazione e gestione dell'identità e dell'immagine di marca.

Business Intelligence: insieme composto dai processi aziendali per raccogliere e analizzare informazioni strategiche, la tecnologia utilizzata per realizzare questi processi e le informazioni ottenute come risultato di questi processi.

Crawling: azione del software che analizza i contenuti di una rete (o di un database) in modo metodico e automatizzato, ad esempio per conto di un motore di ricerca.

E-wom: passaggio di informazioni da persona a persona attraverso la rete digitale.

Follower (in Twitter): utenti che si sono iscritti ai messaggi di un altro utente.

Listening platform: sistema di ascolto della rete digitale con accesso web attraverso password a pagamento.

Mapping: localizzazione di elementi rilevanti all'interno in un sistema organizzato di dati per la creazione e l'organizzazione di una mappa di informazioni.

Mash-up: applicazione web che include dinamicamente informazioni o contenuti provenienti da più fonti.

Natural Language Processing: trattamento automatico delle informazioni in linguaggio umano che ne affronta le ambiguità in un processo di elaborazione con tecniche di analisi lessicale, grammaticale, sintattica e semantica.

Social Media: tecnologie e pratiche online che le persone adottano per condividere contenuti testuali, immagini, video e audio.

Tag: termine associato a un contenuto digitale, anche per facilitarne l'indicizzazione nei motori di ricerca.

Visualization: tecnica per creare immagini, diagrammi, o animazioni per comunicare un messaggio.

Word sense disambiguation: problema aperto del natural language processing, che fa riferimento al processo di identificare il senso di una parola (cioè significato) usato in una frase, quando la parola ha significati multipli (polisemia).

ICT E INNOVAZIONE D'IMPRESA

Casi di successo

Rubrica a cura di

Roberto Bellini, Chiara Francalanci

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



Green IT: efficienza nei consumi energetici dei data center - Il caso ENTER

Francesco Merlo

1. INTRODUZIONE

Il caso riportato descrive le soluzioni di razionalizzazione dell'IT orientate all'aumento di efficienza del consumo energetico sperimentate da ENTER nell'ambito del progetto ENER-IT¹. La duplice necessità di riduzione dei consumi elettrici e di razionalizzazione dell'utilizzo delle risorse ha portato ENTER ad una continua ricerca di innovazione dal punto di vista dell'infrastruttura del *data center* e dell'architettura logica dei sistemi informativi. L'articolo descrive in dettaglio l'esperienza di ENTER, analizzandone il *core business*, il contesto competitivo e le valutazioni dell'impatto che le strategie orientate alla razionalizzazione dell'IT hanno avuto sull'efficienza nel consumo di energia elettrica nel *data center*.

ENTER è un *Innovation Solution Provider*, un'azienda che progetta, sviluppa e gestisce solu-

zioni che spaziano dalla connettività ai servizi *data center*, dalla telefonia ai servizi on line e alla comunicazione digitale. Nata nel 1996, ed entrata a far parte nel 2002 del gruppo Y2K Communication, negli ultimi anni ha consolidato un posizionamento marcatamente originale divenendo il primo Digital Hub italiano in grado di accompagnare i clienti verso il mondo digitale: dalla rete, ai servizi di *data center* fino allo sviluppo dei contenuti.

Il cuore dei servizi di ENTER è una rete proprietaria supportata da un *data center* situato nel polo tecnologico di Milano Caldera ispirato alle più innovative linee guida del *Green IT*. Su questi asset tecnologici sono imperniati servizi di connettività, fonia, *hosting*, *mail* e *collaboration*, *digital asset management*.

2. UNA METODOLOGIA PER LA RAZIONALIZZAZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI

La filosofia che ha guidato le attività di ENTER nell'approccio alla tematica della razionalizzazione dei consumi energetici è ben riassunta dalle parole di Nicola Sciumè, Amministratore Delega-

¹ Il progetto è stato supportato da Regione Lombardia come parte del bando Metadistretti, orientato al finanziamento e al supporto di collaborazioni tra piccole e medie imprese e università per la creazione di nuove aree di business.

to di ENTER, che in occasione dell'evento di presentazione del progetto Energ-IT (di cui ENTER è stato partner) ha dichiarato: *“un problema è una necessità che viene offerta per fare meglio. Per questo, quando ci siamo resi conto che il controllo dei consumi e una gestione del data center erano diventati una priorità, abbiamo fatto una scelta precisa. Misurare il problema, ottimizzare le risorse e innovare, perché risolvere il problema non significasse solo rimandarlo”*.

Tale approccio, maturato anche grazie all'esperienza acquisita tramite la collaborazione con i partner del progetto Energ-IT, mette in chiara luce l'adozione di un approccio metodologico nell'affrontare il problema del controllo e della razionalizzazione dei consumi energetici, che oggi è sempre più sentito non solo dai gestori dei grandi data center.

La missione di ENTER, come afferma Mariano Cunietti, *Technical Manager*, è quella di *“dare alle aziende potenza di calcolo, spazio su disco e visibilità sulla rete. In altre parole, server”*. Operativamente, ciò si traduce nella costituzione di un data center che sia in grado di garantire l'operatività dei server, fornendo impianti infrastrutturali adeguati per l'alimentazione, il condizionamento, la gestione e la salvaguardia dei server stessi. *“Abbiamo costruito una casa intorno ai server - continua Cunietti - per dar loro ciò che serve per erogare in sicurezza i servizi ai nostri clienti: corrente elettrica, gruppi di continuità, raffreddamento. Siamo cresciuti insieme ai nostri clienti, ed è cresciuto anche il numero di server nel nostro data center”*. La corretta gestione della crescita del numero di server e l'adeguamento delle infrastrutture esistenti sono aspetti particolarmente critici in quanto, se non affrontati mediante un'adeguata pianificazione, potrebbero introdurre inefficienze che solo con difficoltà potrebbero essere rimosse successivamente. *“Piano piano - afferma Cunietti - la casa è diventata un condominio, sempre più affollato, e con sempre più fame di energia. Crescendo è diventato evidente che l'impatto del nostro fabbisogno energetico fosse una criticità da affrontare subito”*. Risulta lampante come la problematica relativa al contenimento dei consumi energetici sia chiaramente percepita, tuttavia, lo stesso Cunietti afferma quanto sia difficile, in prima istanza, anche solo quantificare con precisione il consumo energetico e suddividerlo nelle componenti di competenza delle differenti parti

infrastrutturali e sistemiche del data center. *“La prima cosa che potevamo fare - afferma - era modificare il costo della fornitura elettrica. Abbiamo studiato i nostri consumi, e abbiamo vagliato le offerte dei fornitori, selezionando quello che ci dava, nella stabilità, il miglior prezzo per kilowattora. La scelta di un profilo green ci ha garantito inoltre che la nostra energia provenisse solo da fonti rinnovabili”*. La scelta di adottare fornitori che garantiscano la provenienza dell'energia elettrica da fonti rinnovabili è sicuramente un passo fondamentale nel cammino verso la sostenibilità dei consumi; tuttavia, da solo non consente di ridurre i consumi, mantenendo comunque i livelli di servizio invariati. In altre parole, è necessario considerare quale sia il livello di efficienza dei consumi, oltre che il loro volume in termini assoluti.

Proprio in questa prospettiva ENTER ha contribuito a sviluppare e a sperimentare, insieme ai partner del progetto Energ-IT, l'approccio metodologico precedentemente sintetizzato attraverso le parole dell'Amministratore Delegato Nicola Sciumè. La metodologia si basa su tre passaggi concettuali fondamentali:

- misurare;
- ottimizzare;
- innovare.

La misurazione è un passo fondamentale, poiché permette di quantificare le grandezze in gioco e dare consistenza numerica alle variabili coinvolte nel problema. Anche se in prima istanza questa potrebbe sembrare un'operazione banale, esistono problematiche logistiche e tecnologiche che potrebbero introdurre svariati livelli di complessità da affrontare. Nel caso dei consumi elettrici di un data center, per esempio, la prima problematica è costituita dal numero di dispositivi che è necessario monitorare. Si pensi, infatti, alla difficoltà di mettere in opera un'infrastruttura in grado di fornire i consumi puntuali di tutti i dispositivi (sia IT, sia infrastrutturali) contenuti nel data center. Una possibile facilitazione può derivare dall'aver progettato a monte e realizzato un impianto elettrico che consenta di inserire i sensori di monitoraggio direttamente nei quadri elettrici, in modo da poter ottenere misurazioni (sebbene aggregate) ad esempio a livello di ciascun rack o di fila di rack e, separatamente, dei dispositivi per il condizionamento e/o l'alimentazione.

Sempre in relazione alla necessità di misurare,

una seconda problematica è legata alla raccolta e alla conservazione dei dati. Posto, infatti, di avere a disposizione un'adeguata infrastruttura per la rilevazione delle misure di consumo, si rende necessario disporre anche di un sistema automatizzato per la memorizzazione dei dati: per esempio, è possibile ricorrere a sistemi di basi di dati per la conservazione delle misure di consumo affiancati a sistemi di *Configuration Management* per la gestione del parco macchine installato nel *data center*. Successivamente, la consultazione dei dati memorizzati deve essere facilmente fruibile da parte dell'utente, che avrà necessità di effettuare operazioni di aggregazione e consuntivazione sull'intera mole di dati di consumo rilevati, tipicamente tramite *dashboard* analitiche. Anche quest'ultima operazione può non essere banale, in quanto, sulla base del volume di dati raccolti, per la generazione dei dati elaborati possono risultare necessari complessi sistemi di *data warehousing*. La figura 1 mostra un esempio delle possibili visualizzazioni della dashboard realizzata da Beta80 (partner del progetto Energ-IT) per la consultazione dei dati derivanti dalle misure di consumo energetico del *data center* di ENTER.

L'ottimizzazione è un'operazione che può essere effettuata solo dopo aver affrontato la misurazione delle variabili del problema. Infatti, è strettamente necessario conoscere e padroneggiare in modo approfondito tutti gli aspetti

che concorrono a definire il problema, poiché, in caso contrario, si potrebbe addirittura pervenire a soluzioni peggiorative anziché migliorative. L'ottimizzazione dei consumi energetici in un *data center* ha ovviamente una soluzione banale, come conferma Cunietti: "abbiamo studiato il modo di ridurre il più possibile i consumi, e abbiamo capito che l'unico server che non consuma, è un server spento". Tuttavia, risulta ovvio che in tal modo viene meno l'erogazione dei servizi stessi, opzione logicamente non percorribile. Si tratta quindi di affrontare un *trade-off* tra la necessità di erogare i servizi (rispettando i termini concordati con l'utenza) e ridurre al minimo il consumo di energia elettrica necessario. La soluzione messa in pratica nel progetto Energ-IT, basata sul caso reale del *data center* di ENTER, prevede l'ottimizzazione dei consumi mediante la modellazione del *data center* e la simulazione di scenari alternativi in cui si ricerca la migliore disposizione dei server e dei carichi computazionali per massimizzare l'utilizzo delle macchine (nel rispetto dei vincoli di servizio) e contemporaneamente rendere massima l'efficienza di funzionamento dei sistemi infrastrutturali (con particolare attenzione all'impianto di condizionamento dell'aria). Tale problema viene affrontato mediante un *tool*, sviluppato dal Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano e mostrato nella figura 2, che consente di raccogliere tutti i dati necessari e di esplorare possibili soluzioni



FIGURA 1
Dashboard di visualizzazione dei dati di consumo rilevati

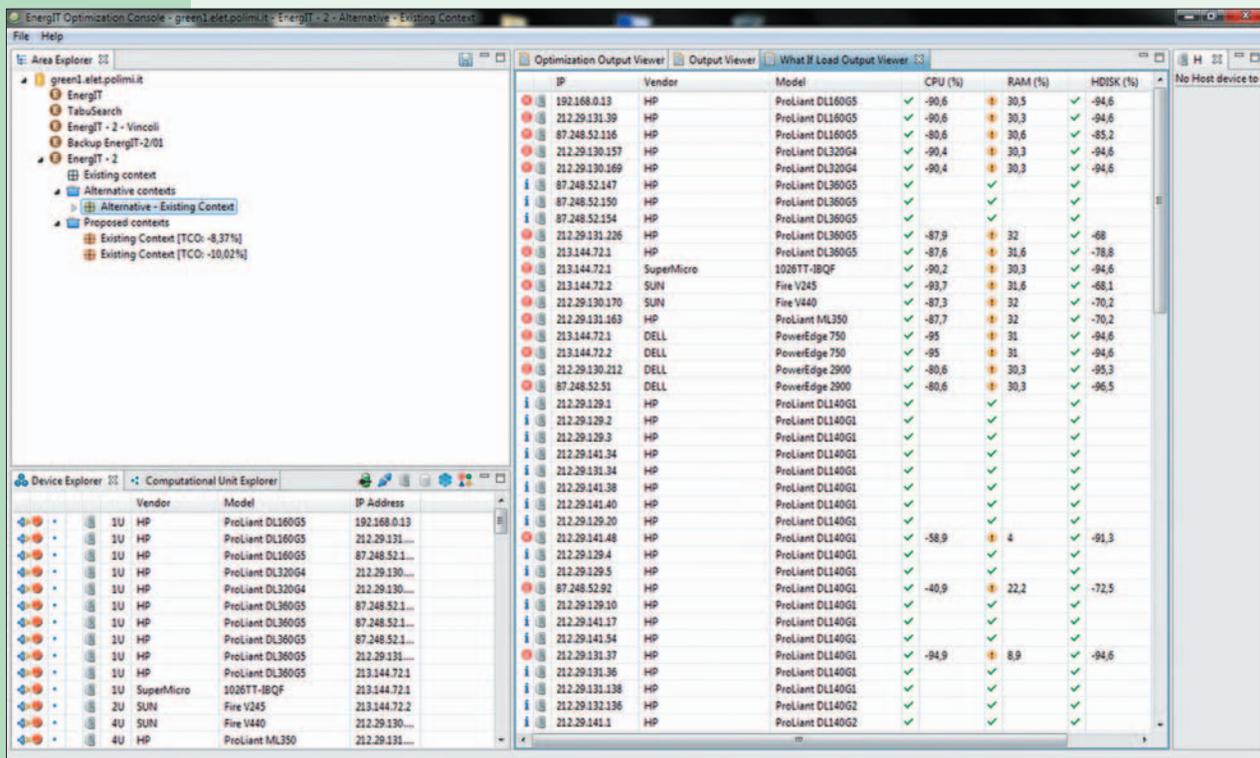


FIGURA 2

Tool di ottimizzazione dei consumi energetici di un data center

alternative che presentino una maggiore efficienza nel consumo di energia elettrica (sia per quanto riguarda i dispositivi IT, sia per gli impianti infrastrutturali).

L'innovazione costituisce invece un aspetto trasversale alle operazioni di misurazione e ottimizzazione, in quanto può trovare applicazione secondo modalità differenti in entrambi i passi della metodologia. Innovare significa introdurre elementi e/o cambiamenti che consentono di ottenere un miglioramento del prodotto o del processo preso a riferimento, e mai peggioramenti. Riferendosi al controllo dei consumi elettrici in un *data center*, l'innovazione può essere ottenuta sia tramite l'introduzione di nuove tecnologie (o evoluzione delle esistenti), sia mediante l'applicazione di approcci radicalmente nuovi. Nel caso specifico, il team di lavoro del progetto Energy-IT ha operato sul *data center* di ENTER su entrambi i fronti. Da un lato, ENTER stessa ha proseguito un cammino intrapreso in autonomia per introdurre nuove tecnologie, come l'utilizzo di tecniche avanzate di virtualizzazione e migrazione verso piattaforme ad alta densità come *blade server* o sistemi di *storage* dedicati. Grazie all'introduzione di queste inno-

vazioni tecnologiche, ENTER ha potuto ridurre notevolmente il numero di server fisici, che precedentemente risultavano sottoutilizzati, e concentrare tutto il carico applicativo in pochi server ad alta densità. L'introduzione di specifici sistemi di *storage* dedicati ha consentito, oltre ad una più semplice manutenzione (sia dal punto di vista fisico che logico), una razionalizzazione dei cablaggi e quindi una semplificazione del layout fisico del *data center*. Sempre in relazione all'innovazione tecnologica, ENTER ha anche sperimentato l'adozione di sistemi di raffreddamento alternativi a quelli classici con dispositivi CRAC distribuiti nei locali. In particolare, è stato acquisito un sistema di raffreddamento localizzato a livello di *rack* che consente di mantenere completamente isolato il ricircolo di aria attorno ai server rispetto all'aria del locale, aumentando così l'efficienza dell'impianto di condizionamento.

Parallelamente, e grazie alla cooperazione con gli altri partner del progetto Energy-IT, ENTER ha sperimentato soluzioni radicalmente innovative nella distribuzione fisica dei server all'interno del *data center* nel caso in cui non si adottino soluzioni di raffreddamento puntuali, con-

sentendo di preservare l'infrastruttura preesistente. In questo caso, l'innovazione è derivata dall'idea che la disposizione fisica dei server nel *data center* (e, quindi, delle sorgenti di calore) influenza il flusso di circolazione dell'aria all'interno dei locali, e quindi implica differenti condizioni di funzionamento per l'impianto di condizionamento dell'aria. L'approccio si è basato sull'intuizione che possano esistere determinate disposizioni dei server che consentano di mantenere la temperatura dell'aria più omogenea all'interno del *data center*, e quindi di richiedere meno lavoro utile all'impianto di condizionamento, riducendone così i consumi elettrici. Infatti, la presenza di *hot-spot* (ovvero, di situazioni localizzate in cui la temperatura dell'aria è molto più elevata rispetto a quella media del locale) costringe l'impianto di condizionamento di un *data center* a svolgere molto più lavoro, in quanto si vengono a creare difformità nei flussi di circolazione dell'aria all'interno dei locali.

3. I RISULTATI RAGGIUNTI DA ENTER NELL'AMBITO DEL PROGETTO ENERG-IT

La sperimentazione messa in opera da ENTER sul proprio *data center* ha avuto una doppia finalità: da un lato, verificare l'incremento di efficienza nel consumo di energia elettrica portato dall'introduzione di tecnologie che cambiano radicalmente il layout del *data center*, dall'altro, verificare quali siano i benefici che è possibile raggiungere, sempre in termini di efficienza energetica, mantenendo l'impianto preesistente di un *data center* e applicando migliorie incrementali. Entrambe queste finalità sono state perseguite mediante l'applicazione di una metodologia che si attenesse a quanto discusso nella precedente sezione, ovvero misurando le variabili in gioco (consumi elettrici, numero di macchine, efficienza dell'infrastruttura ecc.), i cui valori rilevati sono stati resi consultabili tramite una *dashboard* sviluppata da Beta80, e proseguendo con l'ottimizzazione del consumo energetico, grazie all'utilizzo del *tool* sviluppato *ad-hoc* dal Dipartimento di Elettronica ed Informazione del Politecnico di Milano. I risultati finali hanno perciò consentito ad ENTER di equiparare le potenziali riduzioni dei costi operativi legati al consumo di energia elettrica del

data center in due differenti scenari, ovvero:

- a. il "*revamping*" dell'infrastruttura esistente mediante il riposizionamento dei server in modo da massimizzare l'efficienza di funzionamento dell'impianto di condizionamento tradizionale;
- b. l'introduzione di soluzioni tecnologiche innovative quali i sistemi di condizionamento localizzati a livello di *rack*.

La sperimentazione è stata svolta in un ambiente costituito da 10 *rack* organizzati in due file secondo il paradigma corridoio caldo-freddo, contenenti 130 server fisici, che presentavano un consumo energetico medio di 57 kW, corrispondenti a circa 70.000 € annui in termini monetari (considerando un costo medio dell'energia elettrica pari a 0,14 €/kWh).

Per quanto riguarda la prima alternativa, si è considerato di rinnovare il parco macchine con server allineati allo stato dell'arte presente sul mercato e di applicare una virtualizzazione con un rapporto 2:1 (ovvero, di ridurre del 50% il numero di server fisici). Inoltre, si è considerata la possibilità di riposizionare i server fisici all'interno dei *rack*, secondo quanto indicato dall'ottimizzatore, in modo da migliorare l'efficienza del funzionamento del sistema di condizionamento. Questa alternativa, a fronte di un investimento per sua realizzazione di circa 160.000 €, ha consentito di ridurre il consumo energetico a 20 kW complessivi (corrispondenti a 24.000 € annui), con una riduzione percentuale rispetto alla situazione di partenza del 65%.

Relativamente alla seconda alternativa, invece, si è sperimentata l'adozione di una soluzione di *precision cooling* con impianto di condizionamento dedicato ed integrato, impiegando *blade server* e sistemi di *storage* dedicati e applicando una virtualizzazione spinta dei sistemi esistenti con un rapporto 10:1. Questa alternativa, a fronte di un investimento di circa 200.000 €, ha consentito di ridurre i consumi energetici a 10 kW complessivi (corrispondenti a 12.000 € annui), con una riduzione percentuale rispetto alla situazione di partenza dell'83%. La figura 3 riassume graficamente i risultati raggiunti dalla sperimentazione.

Al di là dei risultati prettamente numerici, lo svolgimento della sperimentazione ha consentito ad ENTER di migliorare le proprie competenze nella gestione del *data center*. A titolo di esempio, grazie all'infrastruttura di misurazione e di gestione dei dati di misura, oggi ENTER

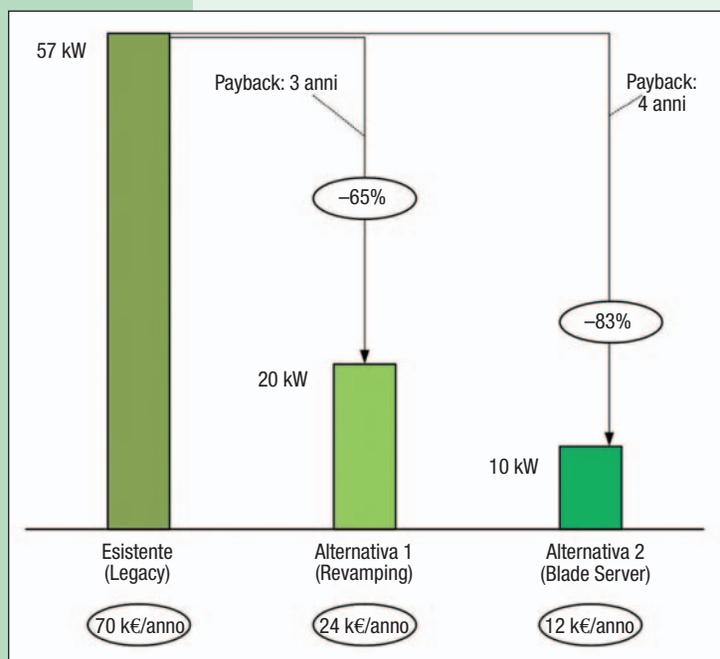


FIGURA 3

Risultati ottenuti dalla sperimentazione sul data center di ENTER

è in grado di avere informazioni dettagliate sui consumi che rivestono un ruolo fondamentale per far fronte alla necessità di dover considerare i costi energetici nella definizione dell'offer-

ta dei servizi e, quindi, di posizionamento sul mercato.

4. CONCLUSIONI

Risulta evidente come il ricorso alle nuove tecnologie, sia a livello infrastrutturale che a livello prettamente informatico, possa dare luogo a notevoli miglioramenti nell'impiego dell'energia nel funzionamento di un data center. In particolare, le soluzioni sperimentate e messe in opera da ENTER sul proprio data center sia autonomamente che nel contesto del progetto Energ-IT, dimostrano come la possibilità di migliorare l'efficienza di utilizzo dell'energia elettrica possa tradursi non solo in minori costi di gestione operativa, ma possa anche fornire informazioni indispensabili per trarre vantaggio competitivo nei confronti dei concorrenti sul mercato.

Inoltre, è stato dimostrato come, nella prospettiva di una PMI, sia possibile valutare l'adozione di soluzioni alternative che impongono la ristrutturazione completa del data center, facendo ricorso ad interventi migliorativi da applicare alla struttura preesistente e generando comunque ritorni significativi in termini di riduzione dei consumi energetici.

FRANCESCO MERLO è professore a contratto di Sistemi Informativi presso il Politecnico di Milano. Presso lo stesso ateneo ha conseguito il dottorato di ricerca in Ingegneria dell'Informazione nel 2010, la Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica nel 2006 e la Laurea in Ingegneria Informatica nel 2003. Durante gli studi di dottorato è stato *visiting researcher* presso il College of Management del Georgia Institute of Technology (Atlanta, USA). Collabora con la Fondazione Politecnico di Milano in qualità di consulente in ambito delle tecnologie dell'informazione. Si occupa di ricerca su tematiche legate al Green ICT, alla qualità ed ai costi di sviluppo e manutenzione del software, ed all'analisi di reti complesse; su questi temi è autore di pubblicazioni nazionali e internazionali.

E-mail: merlo@elet.polimi.it

ICT E DIRITTO

Rubrica a cura di

Antonio Piva, David D'Agostini

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



Computer Forensic e investigazioni informatiche

Nicola Chemello, David D'Agostini, Antonio Piva

1. INTRODUZIONE

La tecnologia sviluppatasi negli ultimi anni ha portato a un notevole incremento delle fonti di prova a disposizione degli investigatori, ora sempre più derivanti dai nuovi strumenti di comunicazione disponibili. Indagini su impronte digitali, su tracce di scarpe o di pneumatici, sulla composizione del suolo rinvenuto sul luogo del delitto, sono procedure che negli anni sono entrate nella conoscenza comune, grazie anche a famose serie TV.

Oggi si potrebbe addirittura affermare che non esiste più reato che non utilizzi, direttamente o indirettamente, un dispositivo elettronico; basti pensare al telefono cellulare, sempre più connesso a internet anche attraverso reti senza fili: sono attivi circa 152 *mobile phone contracts* (contratti per telefonia mobile) ogni 100 abitanti¹.

Le indagini penali si stanno indirizzando sempre più verso i dispositivi digitali (computer, telefoni cellulari, GPS): facendo riferimento ai tabulati telefonici, alle informazioni memorizzate dalle microcelle per l'accesso alla rete di telefonia mobile GSM e agli eventuali dati memorizzati su questi dispositivi, è possibile stabilire, con discreta sicurezza, la correlazione tra il fatto accaduto e l'utilizzatore del dispositivo.

Più un dispositivo è ricco di funzionalità, più sarà in grado di memorizzare le azioni intraprese du-

rante una normale giornata lavorativa, la sveglia impostata sul cellulare offre la possibilità di mettere in relazione particolari eventi accaduti, il percorso memorizzato sulla cronologia del navigatore dell'automobile delinea, in maniera inequivocabile, i chilometri percorsi; le macchine fotografiche digitali, anch'esse con funzioni GPS legano ogni immagine a un determinato luogo; il programma di fitness sul cellulare tiene traccia sia delle calorie bruciate, che delle abitudini dell'utilizzatore; il computer e le reti memorizzano molti più dati di quanto si possa immaginare e rendono difficili la loro definitiva cancellazione (riquadro 1).

Recuperare le informazioni memorizzate su un computer o un dispositivo elettronico è un compito possibile, non sempre semplice, ma sicuramente molto utile per poter valutare la commissione di un reato ovvero per verificare un alibi. Esempi più specifici possono riguardare la correlazione di informazioni memorizzate nella RAM di un telefono, con un evento quale una rapina, uno scambio di messaggi via mail o sms, un accesso a un server remoto per cancellare dei dati scomodi. In particolare se i reati

Riquadro 1

"I dispositivi digitali memorizzano molti più dati di quanto si possa immaginare e rendono difficile la loro cancellazione. La sfida dell'investigatore forense consiste nella loro ricerca".

¹ Fonte Eurostat: ec.europa.eu/eurostat

vengono commessi utilizzando le nuove tecnologie, anche il loro accertamento dovrà inevitabilmente impiegare metodi, tecniche e strumenti idonei; ad esempio nel caso di diffamazione tramite Internet si rivela essenziale acquisire informazioni sulla connessione telematica attraverso i relativi file di log. Questi, e molti altri, sono alcuni degli ambiti di un'indagine forense su dispositivi elettronici.

2. DIGITAL FORENSIC

La *Digital o Computer Forensic* prevede l'utilizzo delle tecnologie appropriate, in modo complementare con le metodologie di indagine tradizionali, allo scopo di individuare i responsabili degli illeciti. Il *Digital Forensic* è anche l'insieme delle attività, tecniche, procedure di indagine diretta all'analisi e alla soluzione dei casi legati alla criminalità informatica. Si tratta di una disciplina che si occupa dell'individuazione, della conservazione e protezione, della ricerca ed estrazione, della documentazione e di qualsiasi forma di trattamento del dato informatico per essere utilizzato in un'indagine e in un procedimento giudiziario.

L'Informatica Forense viene utilizzata ai fini probatori e richiede l'impiego di tecniche, strumenti e procedure per l'esame metodologico dei sistemi informatici.

Dalla nascita, circa 30 anni fa, per opera dei laboratori dell'FBI, la *Digital Forensic* ha avuto grande diffusione inizialmente negli Stati Uniti, e successivamente anche in Italia, in particolare a causa dell'aumento dei crimini informatici e conseguente presa di coscienza da parte di aziende, cittadini, consumatori e utenti della rete che hanno finalmente cominciato a denunciare i crimini dei quali sono vittime.

Il mondo delle investigazioni digitali è stato recentemente aggiornato da numerosi articoli di legge; la ratifica della convenzione di Budapest (Convenzione del Consiglio d'Europa di Budapest sulla criminalità informatica del 23 novembre 2001), avvenuta con la legge n.48 del 18 Marzo 2008, ha apportato importanti procedure e novità riguardanti i reati informatici al fine di poter trattare, in maniera congrua alla loro natura, i dati digitali.

Attraverso la Convenzione di Budapest e alcune normative italiane come la legge 23 dicembre 1993 n.547 riguardante il tema della criminalità informatica², sono stati introdotti nel nostro ordina-

mento giuridico il *danneggiamento informatico e l'accesso abusivo a un sistema informatico o telematico* (artt. 615 *quinquies*, 635 *bis*, 635 *ter*, 635 *quater*, 635 *quinquies* c.p.) la perquisizione informatica (art. 352 c.p.p.), modifiche del codice di cui al d.lgs. 30 giugno 2003 n.196 (noto come codice della Privacy), l'istituzione del fondo per il contrasto della pedopornografia su Internet e per la protezione delle infrastrutture informatiche di interesse nazionale.

La citata Convenzione di Budapest ha fornito una definizione unitaria delle infrazioni penali commesse contro o tramite le reti informatiche che possono essere suddivise in quattro gruppi:

- infrazioni riguardanti la riservatezza, l'integrità e disponibilità dei dati o dei sistemi informatici, per garantire la tutela delle comunicazioni elettroniche e delle informazioni contenute;
- infrazioni informatiche, come le frodi o falsi in ambiente elettronico;
- infrazioni relative ai contenuti, quali pornografia infantile;
- infrazioni contro i diritti d'autore come copie illegali protette dai diritti di proprietà intellettuale.

Con la Convenzione di Budapest è stato possibile apportare importanti modifiche al codice di procedura penale al fine di poter trattare, in maniera congrua alla loro natura, i dati informatici.

Di seguito vengono riportati alcuni degli articoli introdotti nel codice penale nel marzo 2008, che hanno diretta rilevanza per l'informatica forense:

□ Art. 244 [...] l'autorità giudiziaria può disporre rilievi segnaletici, descrittivi e fotografici e ogni altra operazione tecnica (artt. 359-364), anche in relazione a sistemi informatici o telematici, adottando misure tecniche dirette ad assicurare la conservazione dei dati originali e ad impedirne l'alterazione.

□ Art. 247 1-bis: quando vi è fondato motivo di ritenere che dati, informazioni, programmi informatici o tracce comunque pertinenti al reato si trovino in un sistema informatico o telematico, ancorché protetto da misure di sicurezza, ne è disposta la perquisizione, adottando misure tecniche dirette ad assicurare la conservazione dei dati originali e ad impedirne l'alterazione.

□ Art. 260 al comma 2 è aggiunto il seguente periodo: quando si tratta di dati, di informazioni o di programmi informatici, la copia deve essere rea-

² Chiamata anche legge sui *Computer Crime*.

lizzata su adeguati supporti, mediante procedura che assicuri la conformità della copia all'originale e la sua immodificabilità; in tali casi, la custodia degli originali può essere disposta anche in luoghi diversi dalla cancelleria o dalla segreteria.

Risulta chiaro che la suscettibilità all'alterazione di molti dispositivi o supporti informatici sia il fulcro di una qualsiasi procedura di acquisizione o analisi dei dati digitali. Solo il rispetto delle procedure e specifiche norme può garantire lo svolgimento di un'adeguata perizia. Il recupero delle informazioni costituisce una delle sfide che quotidianamente le forze dell'ordine sono chiamate a vincere. A differenza delle normali prove di reato, i dati digitali sono per natura suscettibili di modifica, e persino la visualizzazione di un singolo file, se non eseguita con la dovuta cura, ne altera alcune caratteristiche fondamentali, rendendo contestabile l'analisi effettuata.

Le investigazioni digitali possono fornire la risposta, attraverso le prove, di dove o con chi era un indagato in un determinato intervallo di tempo, che tipo di file sono stati scambiati attraverso un particolare computer, con che modalità, dove e quando, è stato effettuato un accesso ad una risorsa in Internet.

La *digital forensic* è, pertanto, la scienza che analizza, secondo le modalità previste dalla legge, i dispositivi digitali al fine di portare in giudizio le informazioni recuperate.

3. DATI DIGITALI CONTRO DATI CARTACEI O ANALOGICI

Anche se di primo acchito sembra compito più semplice il recupero di dati digitali, rispetto al rilevamento di un'impronta digitale, bisogna fare molta attenzione a non improvvisarsi investigatori, per non correre il rischio di inquinare le prove ed ottenere informazioni certe. Una formazione universitaria specifica, competenze adeguate e una o più certificazioni, sono necessarie per operare con efficacia nell'acquisizione di reperti così facilmente deperibili.

Non è ben chiaro se oggi sia più semplice ritrovare un foglietto o un documento cartaceo contenente delle frasi compromettenti oppure rinvenire la sua forma digitalizzata. Per quanto riguarda le informazioni cartacee la difficoltà di recuperare le informazioni può dipendere dal grado di conoscenza e attenzione di chi vuole nascondere tale documento: una persona inesperta potreb-

be strapparne e cestinarlo, senza considerare tutti i metodi per una distruzione efficace. Allo stesso modo vi sono diverse modalità per la cancellazione dei file da un computer, ma bisogna tenere ben presente che è molto più sicuro agire su ciò che si conosce a fondo piuttosto che su ciò che si presume di conoscere: pensando di saper cancellare i dati, magari utilizzando uno dei tanti software sul mercato, si lascerebbero evidenti tracce sia della cancellazione, sia di file e delle informazioni che si volevano cancellare³.

Le parole scritte sul pezzo di carta, una volta ricucito lo strappo, possono essere lette abbastanza agevolmente. La struttura di un *filesystem* rende la semplice lettura delle stesse parole decisamente più complicata: l'organizzazione delle informazioni dipende dal dispositivo, dal suo sistema operativo, dalle scelte del suo progettista e sviluppatore spinto da motivazioni che solitamente non riguardano il recupero di dati per un giudizio. Spesso l'esperto è in grado di recuperare informazioni utili per le indagini forensi.

Un altro aspetto da considerare, è il tipo di informazioni che un dispositivo memorizza: in un navigatore GPS non si andranno a ricercare documenti di videoscrittura, ma solamente informazioni riguardanti la latitudine e la longitudine; altresì potrebbe essere interessante ed utile controllare anche con quali dispositivi è stato messo in comunicazione, per esempio con un computer piuttosto che con un telefono cellulare, per utilizzarne la funzionalità di vivavoce.

Oggi, sempre più spesso, azioni compiute con modalità tradizionali e senza l'ausilio di mezzi elettronici sono comunque soggette a investigazioni digitali, basti pensare agli innumerevoli dispositivi di videosorveglianza presenti sul territorio, alla posizione dell'automobile o cellulare con GPS. Altre azioni compiute con l'ausilio dei moderni mezzi di comunicazione, dallo spionaggio industriale, alla diffamazione *on line* posta in essere tramite un *blog* o *social network*, alla frode, truff-

³ Nel caso sia installato un sistema operativo utilizzando *filesystem* NTFS, le posizioni dei file sono indicate in una particolare tabella chiamata *Master File Table* (MFT) che contiene il collegamento base ad ogni file e ad ogni cartella memorizzata. Il record associato nella tabella MFT viene segnato come *cancellato* e il *filesystem* renderà lo spazio libero (ma eliminando non vengono cancellati i byte con cui era composto il file). Apposite procedure e strumenti adeguati riescono quindi a recuperare questo file *pseudo cancellato*.

fa o furto commesso attraverso Internet⁴, al trattamento illecito dei dati, all'accesso abusivo ai calcolatori, vengono altresì trattati dal *computer forensic examiner*⁵ con metodologie adeguate al compito che deve svolgere. Esempi concreti, analizzati in maniera oggettiva, possono essere i log di un webserver oggetto di attacco informatico, tabulati telefonici di una particolare microcella, SMS cancellati inviati per mezzo di un telefono cellulare, verifica dell'esistenza di una determinata foto o informazione all'interno di un hard disk, accessi alla rete mediante l'uso di pseudonimi in apparenza anonimi o accessi effettuati attraverso account presunti tali.

4. PROCEDURE GENERALI PER LA RACCOLTA PROBATORIA, PROCEDIMENTI RIPETIBILI E IRRIPETIBILI, ANALISI DEI DATI ED I SISTEMI DI ANALISI

La disciplina della *computer forensic* si articola in diverse categorie:

- *computer media analysis* (verifica dei supporti di memorizzazione dei dati, delle periferiche ecc.);
- *imagery, audio and video enhancement* (verifica di immagini, audio, video generati dal computer);
- *data base visualization* (verifica delle basi di dati);

□ *network and Internet control* (verifica della attività svolte in reti pubbliche o private).

Considerati i presupposti giuridici sopra delineati, si evince come un *computer forensic examiner* debba garantire un insieme di metodologie e procedure adeguate al compito che deve svolgere.

La natura dei dati digitali è suscettibile a facile modifica, pertanto l'investigatore ha la necessità di preservare il dato digitale così com'è, eliminando la possibilità di alterazione.

La semplice accensione di un sistema operativo, nella maggioranza dei casi, modifica alcuni dati memorizzati nel computer, con conseguente alterazione dei parametri di ultima modifica di taluni file. Tali alterazioni dell'originale possono, in sede di giudizio, far sì che le prove digitali non siano valutate come oggettive, screditando altresì l'operato del tecnico investigatore.

L'organizzazione della raccolta delle informazioni digitali atte a fornire prove oggettive prevede l'utilizzo di adeguati e certificati dispositivi che impediscano la scrittura, volontaria o meno, sui reperti oggetto di analisi. Pertanto, durante un'acquisizione forense, devono essere utilizzati i cd. *writeblock*, che impediscono tramite procedure software o mediante hardware, la scrittura sul dispositivo collegato per la duplicazione. Il processo di analisi forense, posto in essere su dati digitali, viene riassunto nella figura 1.

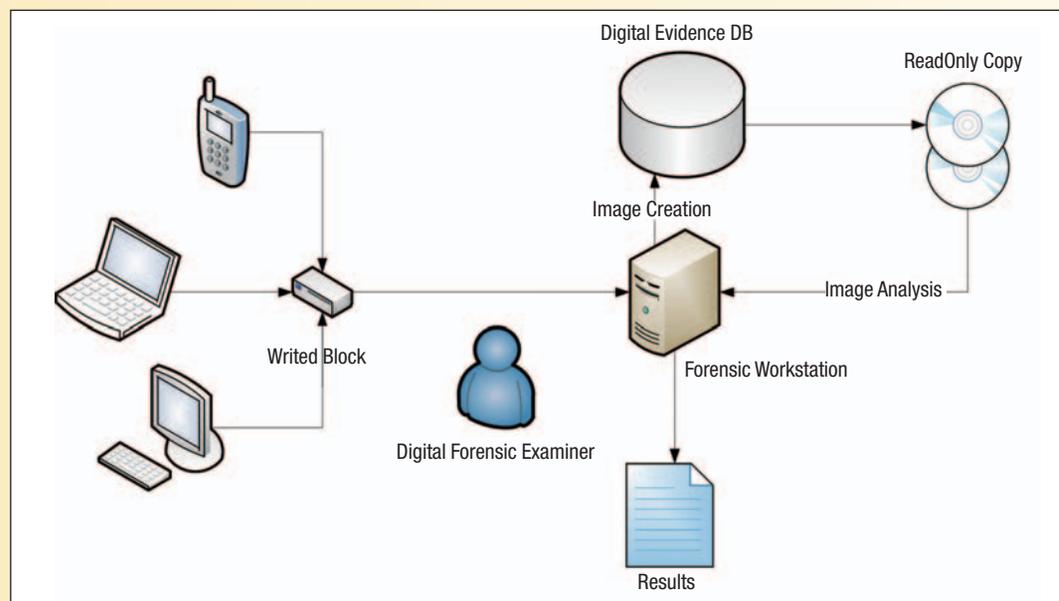


FIGURA 1
Processo di analisi forense su dati e dispositivi digitali

⁴ Si pensi al *Phishing*, argomento trattato nell'articolo pubblicato in Mondo Digitale, n. 4, dicembre 2006.

⁵ L'investigatore forense che si occupa di dispositivi digitali.

I dispositivi da analizzare, riportati sulla sinistra, vengono collegati, mediante apposito dispositivo, al computer adibito alla duplicazione e successiva analisi⁶. Un dispositivo *writeblock* esegue esattamente quello che il nome denota: blocca la possibilità di scrittura, quindi elimina la possibilità di modifica o alterazione dei file. Successivamente l'investigatore forense procede con la duplicazione integrale dei supporti, creando l'immagine forense memorizzata in apposita locazione di memoria (*Digital Evidence DB*), sottoposta preventivamente a processo di *disk sanitization*⁷. Al termine di questo processo, dopo verifica dei dati scritti, l'immagine viene trasferita su supporti ottici non riscrivibili. Solo dopo aver eseguito questi passaggi è possibile iniziare con l'analisi dei dati.

Questo tipo di dispositivi è fondamentale quando si deve operare nell'ambito di un procedimento che deve essere ripetibile (in altre parole, attuando le medesime procedure sugli stessi originali, si devono ottenere identici risultati). La ripetibilità delle azioni, in ambito forense, è di fondamentale importanza. Anche se non è una norma prescritta, l'utilizzo dei *writeblocker* è da consigliarsi non solo durante il processo di acquisizione, ma anche nel processo di analisi, per preservare il "nuovo originale" creato dalla duplicazione del reperto (riquadro 2).

L'effettuazione di un accertamento tecnico ripetibile non è però sempre possibile, in quanto in determinate occasioni può risultare necessario, al fine di recuperare le informazioni ricercate, alterare in maniera permanente un supporto; in

Riquadro 2

La forza di un investigatore forense è la sua capacità di rispondere ai quesiti posti, garantendo oggettività e ripetibilità delle operazioni intraprese. Non importa il tipo di strumento utilizzato, ma è di fondamentale importanza esser certi del suo funzionamento.

tal caso, come disposto dall'art. 360⁸ c.p.p., si utilizzano i procedimenti irripetibili.

Un tipico caso riguarda l'ispezione informatica di uno spazio virtuale: accedendo a una casella di posta su web vengono modificati tutti i log relativi all'ultimo accesso, compresi i riferimenti all'ultimo indirizzo IP da cui ci si è collegati. In queste particolari circostanze, come previsto dal sopra citato articolo 360 c.p.p., in ottemperanza a un fondamentale principio di garanzia e difesa, è necessario che siano invitate le parti e gli avvocati, che possono presenziare alle operazioni peritali con i propri eventuali consulenti.

Solo dopo aver creato l'immagine forense, è possibile iniziare il processo di analisi, inteso come la ricerca delle informazioni interessanti ai fini del particolare procedimento. Per quanto riguarda la fondamentale attività formale di analisi forense, è bene sottolineare che non esiste una procedura prestabilita per legge, in quanto non ci si può porre davanti un reperto sempre con lo stesso *modus procedendi*, sia per la natura del dispositivo, sia per il tipo di informazioni contenute. Pertanto si dovrà agire in maniera

⁶ In caso di dispositivi *writeblock* sofisticati, la copia forense viene eseguita direttamente da questi, senza la necessità di *workstation* forense. Nulla vieta che siano predisposte più postazioni, ognuna adibita a specifico compito (per esempio una macchina esegue le duplicazioni, mentre una seconda è utilizzata per l'analisi).

⁷ Processo che prevede la cancellazione in maniera sicura dei dispositivi di destinazione dell'immagine, al fine di evitare contaminazione e/o alterazione dei file creati.

⁸ Art. 360 - Accertamenti tecnici non ripetibili (codice procedura penale).

1. Quando gli accertamenti previsti dall'art. 359 riguardano persone, cose o luoghi il cui stato è soggetto a modificazione (116, 117 att.), il pubblico ministero avvisa, senza ritardo, la persona sottoposta alle indagini, la persona offesa dal reato e i difensori del giorno, dell'ora e del luogo fissati per il conferimento dell'incarico e della facoltà di nominare consulenti tecnici (233).

2. Si applicano le disposizioni dell'art. 364 comma 2.

3. I difensori nonché i consulenti tecnici eventualmente nominati hanno diritto di assistere al conferimento dell'incarico, di partecipare agli accertamenti e di formulare osservazioni e riserve.

4. Qualora, prima del conferimento dell'incarico, la persona sottoposta alle indagini formuli riserva di promuovere incidente probatorio (392 s.), il pubblico ministero dispone che non si proceda agli accertamenti salvo che questi, se differiti, non possano più essere utilmente compiuti.

5. Se il pubblico ministero, nonostante l'espressa riserva formulata dalla persona sottoposta alle indagini e pur non sussistendo le condizioni indicate nell'ultima parte del comma 4, ha ugualmente disposto di procedere agli accertamenti, i relativi risultati non possono essere utilizzati nel dibattimento.

0

1

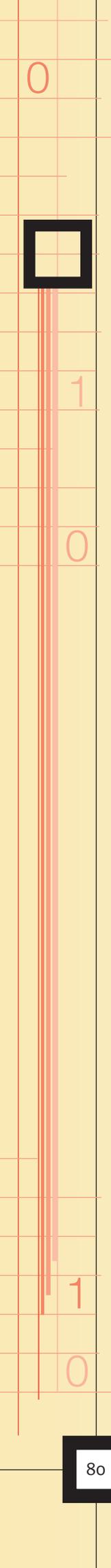
0

1

0

1

0



differente nel caso si cerchino immagini scambiate tramite supporto rimovibile, piuttosto che per la verifica degli accessi ad una determinata risorsa remota.

Si deve comunque utilizzare un metodo scientifico⁹ nel procedere con l'analisi.

Un chiaro esempio, che denota la difficoltà di stabilire a priori una specifica procedura standard, può essere il caso di dover ricercare un'immagine di 1023 KB all'interno di un dispositivo sequestrato di dimensione di 2 TB. Le varie, e non esaustive, tecniche di ricerca potrebbero essere:

- ricerca in base a nome file;
- ricerca in base all'estensione file;
- ricerca in base all'*header* (firma del file che denota la sua natura) dell'immagine;
- ricerca in base al codice HASH dell'immagine da ritrovare;
- ricerca in base alla dimensione del file.

Tutte queste tecniche possono presentare dei limiti o dei pregi, relativamente all'obiettivo di ricerca: l'indagato potrebbe aver modificato il nome file, potrebbe aver copiato l'immagine all'interno di un altro documento, potrebbe aver inserito un messaggio nascosto tramite steganografia¹⁰ o altro ancora.

Come esistono degli strumenti informatici che facilitano il compito degli ingegneri edili nel calcolo strutturale, così esistono programmi di supporto agli investigatori digitali per la ricerca delle informazioni. Sul mercato esistono molti software (sia commerciali, sia *open source*) che aiutano a svolgere l'analisi forense: tra quelli appartenenti alla prima famiglia bisogna sicuramente ricordare Encase, FTK, X-Way Forensic, mentre appartengono alla seconda categoria i progetti italiani DEFT, CAINE e i progetti esteri come Helix e FCCU.

Tali strumenti sono comunque solo un supporto al professionista, in quanto nessun software potrà eseguire un'analisi forense in maniera automatica¹¹; inoltre il lavoro o il compito del *computer forensic examiner* non è limitato al cliccare il

pulsante giusto, ma è quello di comprendere profondamente il contesto, per poter indirizzare e guidare il software nella direzione corretta, al fine di ottenere risultati oggettivi, coerenti e rispondenti allo scopo.

Il processo di analisi forense termina con la redazione di un documento scritto che evidenzia sia la procedura utilizzata, che i risultati ottenuti. Questo documento deve essere tanto preciso quanto semplice da leggere da parte di una persona non tecnica, che deve decidere su ciò che è stato trovato.

5. CONCLUSIONI

Le indagini sui dispositivi digitali sono in aumento; per una miglior azione di prevenzione e repressione di tutti i reati, non solo dei *computer crimes*, servono nuove conoscenze, tecniche e metodologiche che riescano a preservare i dati informatici. Queste informazioni soffrono di problematiche legate alla loro facile modifica, circostanza che potrebbe compromettere l'esito di un intero procedimento giudiziario.

Non esiste la procedura esatta per effettuare un'analisi, non esiste il software perfetto per svolgere le ricerche, il cuore della *digital forensic* rimane l'esperienza certificata del *computer forensic examiner* che traduce i *bytes* in una risposta oggettiva ai quesiti degli investigatori.

NICOLA CHEMELLO è laureato in Ingegneria Informatica ed iscritto all'albo degli ingegneri della provincia di Treviso, membro della relativa commissione informatica ed informatizzazione e della commissione permanente di ingegneria dell'informazione della FOIV. In possesso della certificazione internazionale EnCE per l'analisi forense su dispositivi elettronici Collabora con le forze dell'ordine e con i Tribunali del Nord-est per consulente e perizie tecniche informatiche. Esperto in sicurezza informatica e certificatore di sistemi di sicurezza delle reti aziendali. Promotore del progetto di sensibilizzazione sul cyberbullismo. E-mail: nicola@securcube.net

⁹ Cioè con la modalità tipica con cui la scienza procede per raggiungere una conoscenza della realtà oggettiva, affidabile, verificabile e condivisibile. Consiste, da una parte, nella raccolta di evidenza empirica e misurabile attraverso l'osservazione e l'esperimento; dall'altra, nella formulazione di ipotesi e teorie da sottoporre nuovamente al vaglio dell'esperimento.

¹⁰ Tecnica che si prefigge di nascondere la comunicazione tra due interlocutori.

¹¹ Notoriamente il software velocizza l'analisi: tutto quello che esegue un programma per l'analisi forense può essere replicato "a mano" da un capace investigatore. Non è sufficiente recuperare un'immagine, ma si deve descrivere dove è stata trovata, per non fuorviare il giudizio; per esempio indicare se è presente in uno *slack space* (spazio inutilizzato nei settori del supporto di memorizzazione) fornisce una serie di informazioni fondamentali in sede di dibattimento.



PROFESSIONE ICT

Competenze e professionalità per l'innovazione digitale

Rubrica a cura di

Roberto Bellini, Federico Butera, Alfonso Fuggetta

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

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

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

Informatica nella Scuola

Un progetto europeo per formare i docenti

Pierfranco Ravotto, Giovanni Fulantelli

1. INTRODUZIONE

Far acquisire agli studenti la competenza digitale è uno degli obiettivi dei nuovi piani di studio della scuola secondaria superiore (riquadro a p. 88). Non parliamo solo della competenza d'uso ma anche di quella tecnica richiesta agli informatici per la progettazione, la produzione e la manutenzione di software e servizi digitali.

Questo obiettivo passa attraverso un diverso approccio alla didattica che tocca i docenti della scuola in presenza delle nuove tecnologie di interazione. Il presente articolo approfondisce quindi il "cosa" e il "come" insegnare, in un pe-

riodo in cui si va diffondendo l'approccio alla didattica delle competenze.

L'esperienza descritta è quella del progetto europeo *Sloop2desc*, in cui è particolarmente rilevante il ruolo di istituzioni scientifiche italiane.

2. LA DIDATTICA DELLE COMPETENZE

La vecchia logica scolastica era, e in gran misura è ancora, quella dei "programmi", intesi come lista di contenuti da trasmettere agli studenti. In tale logica i cambiamenti tecnologici comportavano la sostituzione, e più spesso l'aggiunta, di contenuti a tale lista.

L'informatica nei nuovi programmi scolastici

I nuovi piani di studio della scuola secondaria superiore danno rilievo, nel biennio, allo sviluppo di competenze informatiche:

- nei Licei esiste “Matematica con informatica” (“Informatica” nell'opzione Scienze applicate del Liceo Scientifico);
- nel settore Economico degli Istituti Tecnici è presente “Informatica”;
- nel settore Tecnologico “Tecnologie informatiche”;
- nei Professionali per Industria, Artigianato, Servizi per l'agricoltura e lo sviluppo rurale e Manutenzione e assistenza tecnica, è presente “Tecnologie dell'informazione e della Comunicazione”, per Servizi commerciali “Informatica e laboratorio”.

Si tratta di una scelta coerente con l'obiettivo di far conseguire agli studenti la competenza digitale, una delle otto competenze chiave “*necessarie per la realizzazione personale, la coesione sociale e l'occupabilità in una società della conoscenza*”, quelle competenze che il Parlamento e il Consiglio Europeo ritengono debbano essere acquisite da tutti entro la fine dell'istruzione e formazione iniziale [1].

L'obiettivo di tali insegnamenti dovrà essere quello di fornire competenze d'uso dei computer, da utenti esperti, ma anche l'acquisizione di una logica algoritmica nella risoluzione di problemi.

In alcuni trienni l'insegnamento dell'informatica sarà rivolto, come del resto avviene anche nei vecchi piani di studio, all'acquisizione di competenze professionali non da utilizzatori ma da informatici veri e propri:

- nell'opzione Scienze applicate del Liceo scientifico è presente “Informatica”;
- negli indirizzi Amministrazione, finanza e marketing e Sistemi informativi aziendali del settore Economico degli Istituti Tecnici è pure presente “Informatica”;
- nell'indirizzo Informatica e Telecomunicazioni del settore Tecnologico degli Istituti Tecnici sono presenti: “Informatica”, “Sistemi e Reti” e “Tecnologie e Progettazione di Sistemi Informatici e di Telecomunicazione”.

Come si vede, la riforma ha cambiato indirizzi, piani di studio, materie e monte ore. Ma, oltre al “cosa” insegnare, occorre cambiare anche il “come” per tenere la scuola collegata ad un mondo in rapida trasformazione.

Ora si sta cercando di sostituire la logica del programma con una logica delle competenze, fortemente richiesta dal mondo del lavoro e sostenuta dalla Comunità Europea. Una competenza è, secondo la Commissione, la “*comprovata capacità di utilizzare conoscenze, abilità e capacità personali, sociali e/o metodologiche, in situazioni di lavoro o di studio e nello sviluppo professionale e personale*”.

Ovviamente, per chi si occupa di formazione, è necessario declinare:

□ conoscenze, che sono il “*risultato dell'assimilazione di informazioni attraverso l'apprendimento; le conoscenze sono un insieme di fatti, principi, teorie e pratiche relative ad un settore di lavoro o di studio*”;

□ abilità, che “*indicano le capacità di applicare conoscenze e di utilizzare know-how per portare a termine compiti e risolvere problemi*” [2].

Ma conoscenze e abilità non possono dar luogo ad una nuova lista di contenuti da trasmettere più o meno in sequenza. Compito dell'insegnante è farle acquisire in un contesto di utilizzo, perché è in questo modo che si sviluppa la competenza.

Non si tratta dunque di adeguarsi ai cambia-

menti tecnologici aggiungendo qualche voce ad una lista di contenuti, quanto piuttosto di progettare contesti di utilizzo in cui far acquisire le conoscenze e le abilità considerate rilevanti.

Ragionare secondo una logica di competenze richiede che scuole e insegnanti rinuncino all'auto-referenzialità e assumano riferimenti esterni che a livello informatico possono essere rappresentati dalle certificazioni CEPIS e i relativi Syllabus.

Per quanto riguarda il biennio e gli indirizzi non informatici, il riferimento naturale è l'ECDL nelle sue diverse articolazioni e specializzazioni, oltre all'ECDL Core. **ECDL Advanced**, foglio elettronico: per “Matematica”, “Fisica” ed “Economia aziendale”, database per “Economia aziendale” e per “Informatica” nell'indirizzo Amministrazione, Finanza e marketing ecc.; **ECDL 4 PS (for Problem Solving)**: per “Matematica”, “Fisica”, “Economia aziendale” ecc.; **ECDL CAD**: per “Tecnologie e tecniche di rappresentazione grafica” e per tutte le materie che riguardano il disegno; **ECDL Health**: per “Biologia”, “Microbiologia” e “Tecnologie di Controllo Sanitario” ecc..

EUCIP¹ può invece essere il riferimento per i trienni degli indirizzi:

- Informatica e Telecomunicazioni del settore Tecnologico;
- Sistemi informativi aziendali del settore Economico;
- Opzione Scienze applicate del Liceo Scientifico.

Già alcune scuole hanno iniziato a fare riferimento ai moduli *IT Administrator* e a far conseguire le relative certificazioni ai propri studenti; come noto, i corsi IT Essential di Cisco, promossi in molti istituti, permettono di conseguire le certificazioni dei moduli 1 e 2.

Tre Istituti commerciali (Mercurio), il Romanazzi di Bari, il Baffi di Roma e il Fermi di Pontedera (PI) hanno avviato quest'anno una sperimentazione inserendo nei loro programmi curriculari il Syllabus EUCIP Core. Conoscenze e abilità delle tre aree, *Plan*, *Build* e *Operate*, sono state distribuite sul triennio coinvolgendo non solo gli insegnanti di "Informatica" ma anche quelli di altre materie, in particolare "Economia aziendale", fortemente riferita all'area *Plan*.

3. NUOVI AMBIENTI E STILI DI APPRENDIMENTO

È entrata da tempo nell'uso la distinzione, fatta per la prima volta da Marc Prensky in un articolo del 2001 [3], fra nativi e immigranti digitali, ossia fra studenti, cresciuti in un ambiente pervaso dalle tecnologie digitali e i loro insegnanti.

Come è possibile proporre agli studenti, oggi, di fare scuola senza gli strumenti di comunicazione che usano abitualmente e di apprendere in un ambiente diverso da quello in cui "vivono, costruiscono e scambiano significati" [4]? Non è solo una questione di abitudini, cui venire incontro, ma è anche questione di stili di apprendimento: Giuseppe Longo ha già scritto su questa rivista che le esperienze cognitive precoci di questa generazione hanno determinato strutture cerebrali diverse [5].

Gli insegnanti di informatica sono, per definizione, fra coloro che meglio dovrebbero conoscere i nuovi ambienti di apprendimento e di comunicazione resi possibili dalle ICT e potrebbero farsi promotori di una didattica che utilizzi a fondo gli strumenti informatici e che si svolga nel nuovo ambiente digitale la cui caratteristica principale è il "sempre connessi".

Tuttavia, questo non accade in maniera sistematica, anzi, a volte sono gli insegnanti di altre materie ad essersi spinti più avanti nell'utilizzare ambienti di *eLearning*, *blog*, *wiki*, *podcast*, cellulari ecc.. Nella maggior parte dei casi l'insegnamento dell'informatica e dell'uso del computer si svolge in modo tradizionale: lezioni accompagnate da un forte uso del laboratorio, ma nella vecchia logica in cui l'interazione con il docente e con i compagni avviene in classe-laboratorio, mentre a casa gli studenti sono "sconnessi".

Sarebbe invece ormai il tempo del *mobile learning*, di un'interazione insegnante-studenti e all'interno del gruppo dei pari che, grazie alla rete e ai dispositivi mobili, si estende oltre il tempo scandito dalla campanella che segna l'inizio e la fine delle lezioni e oltre le mura della classe-laboratorio.

Il modo di insegnare o, per meglio dire, di proporre occasioni di apprendimento deve necessariamente cambiare. Questo è un tema che rimanda alle competenze digitali degli insegnanti, del quale abbiamo già parlato in un'altra occasione [6].

4. IL PROGETTO SLOOP2DESC

Sloop2desc è un progetto a cofinanziamento europeo² che affronta sia il "cosa" insegnare sia il "come" e che si rivolge prevalentemente ad insegnanti di Informatica e materie affini, a coloro, dunque, che devono formare i futuri professionisti dell'informatica o, quantomeno, gli utenti esperti. *Sloop2desc*³ ha, come obiettivo centrale, la formazione di tali insegnanti sui due temi

¹ EUCIP, *European Certification of Informatics Professionals*, è un *framework* delle competenze con relativo sistema di certificazione sviluppato da CEPIS e gestito, per quanto riguarda l'Italia, da AICA. Il Syllabus EUCIP prevede 21 figure professionali caratterizzate da un'area di conoscenze e abilità comuni, il *core*, e una ventiduesima figura, quella dell'*IT Administrator*. I Syllabus *core* e *IT Administrator* sono quelli che più corrispondono a competenze acquisibili al termine di indirizzi informatici nella scuola superiore.

² Si tratta di un progetto TOI, *Transfer of Innovation*, finanziato nel *Lifelong Learning Programme*, programma Leonardo da Vinci, 2009. Promotore è il CNR-ITD di Palermo. Il partenariato comprende partner italiani, irlandesi, rumeni e sloveni. I partner italiani sono, oltre al promotore, AICA, Centro Metid-Politecnico di Milano, ITSOS "Marie Curie" di Cernusco sul Naviglio, IIS "Danilo Dolci" di Palermo e Consorzio "Med Europe Export". Il progetto, biennale, è iniziato nell'ottobre 2009.

³ L'acronimo riprende quello del precedente progetto, oggetto di trasferimento, SLOOP da *Sharing Learning Objects in an Open Perspective*, con il 2 che indica una seconda fase di SLOOP ma che va letto pronunciandolo all'inglese: *zdesc* uguale *TO Develop European Skills and Competences*.

Modulo	Durata	Unità	
1	Usare Moodle come corsisti e come docenti	3 settimane	
		Usare Moodle da corsista Usare Moodle da docente	
2	Essere tutor in rete e usare gli strumenti del web 2.0	3 settimane	
		Il tutor in rete Creare, organizzare e condividere risorse in rete	
		<i>E-cooperation</i>	
3	Usare e produrre risorse didattiche digitali aperte per la formazione in rete	3 settimane	
		La filosofia della condivisione e del riuso Strumenti di condivisione web 2.0	
		Il modello SCORM e strumenti per produrre oggetti didattici <i>Sloop repository</i>	
4	Syllabus europei delle competenze	2 settimane	
		EQF Le 8 competenze chiave per la cittadinanza Le competenze digitali degli utenti	
		Le competenze dei professionisti informatici: e-CF e EUCIP	
5	Produzione collaborativa di risorse didattiche aperte basate sullo standard EUCIP	6 settimane	Sviluppo di OER basate su un Syllabus delle competenze

TABELLA 1
Struttura dei corsi
Sloop2desc

della didattica delle competenze e dell'uso della rete e del web 2.0 ad integrazione della formazione in presenza.

I corsi *Sloop2desc*, "Progettare e sviluppare corsi in rete basati su sistemi di competenze", sono progetti formativi in *eLearning*, della durata di 16 settimane, articolati, come mostrato nella tabella 1, in 5 moduli.

Parlando di *eLearning* è utile qualche precisazione. Spesso con tale termine si intendono corsi prevalentemente centrati sull'auto-apprendimento: materiali didattici ai quali il corsista accede autonomamente. Nelle versioni più "arretrate" si tratta di semplici PDF da scaricare o di pagine web costituite da testi e immagini, in casi più evoluti si tratta di presentazioni audio-video, di filmati, di simulazioni, di test con alto grado di interattività. Il corsista è fondamentalmente solo durante l'apprendimento, anche se spesso

sono disponibili dei tutor ai quali far ricorso in caso di difficoltà e qualche forum per scambiare opinioni e informazioni con altri corsisti.

Il nostro modello è invece centrato sulla collaborazione in "classe virtuale", intendendo con classe un ambiente in cui si sviluppano interazioni fra docenti e corsisti e fra corsisti stessi, così come nella classe in presenza.

Il modulo 1 è dedicato all'ambiente di apprendimento MOODLE⁴, che è quello usato nel corso e che proponiamo agli insegnanti come strumento da utilizzare con i propri studenti. Qui i corsisti devono imparare ad usare le diverse funzioni, prima per adoperare Moodle come utilizzatori, poi per usarlo come docenti, dunque per creare corsi, per riempirli di risorse (materiali didattici) e di attività (proposte di lavoro, esercitazioni, forum ecc.) che possono essere monitorate. In questo modulo sono centrali le esercitazioni in-

⁴ MOODLE (www.moodle.org) è il più diffuso *Learning Management System* o ambiente di apprendimento in rete. Nell'ambiente Moodle si possono creare corsi composti di risorse (pagine di testo, pagine web, link ecc.) e di attività (forum, lezioni interattive, compiti, quiz, *wiki*, oggetti SCORM, questionari ecc.). Vi sono diversi livelli di permessi (ruoli): amministratore, creatore di corsi, docente, docente non *editor*, studente ecc.. Il docente può assegnare gli studenti a gruppi diversi e può monitorare le loro attività. I corsi possono essere agevolmente duplicati, per classi diverse, o esportati per essere inseriti su un'altra piattaforma Moodle.

dividuali (provare gli strumenti di Moodle) e l'attività collaborativa consiste "solo" nella discussione all'interno dei forum (domande ai docenti/tutor ma anche agli altri corsisti, risposte e suggerimenti ai "compagni di classe").

In uno dei due corsi pilota (ne parleremo) nel forum del Modulo 1, una trentina di corsisti con due tutor ha avviato in due settimane 18 discussioni con 352 messaggi! Analoga situazione si è presentata nell'altro corso. Questo chiarisce cosa intendiamo con "corsi basati sulle interazioni".

Il modulo 2 è invece centrato sul tutoraggio in rete e sull'uso, nella didattica in rete, degli strumenti del web 2.0. Fra le varie attività, viene richiesto ai corsisti, divisi in gruppi, di analizzare un ambiente/strumento web2.0 e di preparare - usando i *googledoc* e poi un *wiki* - una descrizione, ed un'esercitazione all'uso, per i componenti degli altri gruppi.

La collaborazione qui non si traduce più nel discutere o nel darsi consigli ma nel "fare insieme". Nell'esperienza già realizzata, 10 discussioni aperte nel forum con 439 messaggi sono solo la punta dell'iceberg della comunicazione fra i corsisti. Per svolgere le loro attività in comune i diversi gruppi hanno usato la posta elettronica, le *chat*, Skype, il cellulare!

Il modulo 3, come il primo, è nuovamente basato su esercitazioni individuali, legate in questo caso all'acquisire competenze tecniche di produzione di risorse didattiche, usando, per esempio, SlideShare per pubblicare una presentazione e aggiungere il parlato o *eXeLearning* per produrre un *learning object* in formato SCORM.

Attività individuali, ma ancora una volta in una logica di classe, dunque con domande, risposte, richieste di chiarimenti, suggerimenti: 13 discussioni nel forum del modulo 3, con 381 messaggi.

Il modulo 4 è dedicato alla questione delle competenze; nella prima versione: EQF⁵, e-CF⁶ ed EUCIP. Tale modulo avrebbe dovuto basarsi proprio sulla discussione, ma questa è avvenuta in maniera minore rispetto ad altri moduli: 119 messaggi in 10 discussioni.

Diverse le possibili cause:

□ parecchi corsisti sono arrivati in ritardo a questa fase perché si sono attardati lavorando sui due moduli precedenti e poi si sono buttati sul quinto, in cui il Syllabus EUCIP è stato usato come guida alla produzione dei materiali didattici (e quindi una parte della discussione in merito è avvenuta nel forum del modulo 5);

□ la tematica era per molti di loro nuova, di conseguenza non avevano molto da dire nei forum;

□ non tutti insegnavano in indirizzi informatici e quindi non erano interessati all'e-CF o a EUCIP.

È per questo che, nella versione rielaborata per i corsi a cascata, abbiamo introdotto anche una parte sulle "8 competenze chiave" e sulla famiglia ECDL.

Il modulo 5 è il più importante e impegnativo: è quello in cui si applica quanto affrontato in precedenza; non a caso dura 6 settimane e molti partecipanti hanno scelto di prolungarlo qualche settimana oltre il termine ufficiale del corso.

Ai corsisti viene chiesto di dividersi in gruppi in base alle proprie materie e classi di insegnamento, di scegliere punti del Syllabus EUCIP (o, nei corsi a cascata, dei Syllabus ECDL) su cui lavorare e di produrre risorse didattiche - singole risorse (*learning object*) e interi corsi - per i propri studenti.

In questo modulo non ci sono nuovi materiali didattici da studiare, tutta l'attività è basata sulla produzione collaborativa di materiali e corsi per gli studenti.

Anche in questo caso l'interazione fra i corsisti è avvenuta solo in parte nei due forum del modulo - 34 discussioni con 499 messaggi⁷ - in quanto i partecipanti al corso, resi esperti dal precedente modulo 2, hanno interagito molto tramite Skype o con altri strumenti.

Nei due corsi pilota sono stati prodotti:

□ 15 pacchetti SCORM di informatica;

□ 5 video di informatica;

□ vari materiali didattici per altre materie (in formati SCORM, doc, pdf, ecc.);

□ 4 corsi su piattaforma Moodle:

- un corso per *IT Administrator*, Modulo 1, *Hardware* (quasi completo);
- un corso centrato sul tema "livello di rete",

⁵ EQF, *European Qualification Framework* o Quadro europeo delle Qualifiche per l'apprendimento permanente (http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-policy/doc44_en.htm) è il documento europeo finalizzato a favorire la leggibilità delle qualifiche dei diversi sistemi nazionali attraverso una comune definizione di livelli.

⁶ E-CF, *European e-Competence Framework*, è il quadro europeo delle competenze in ambito ICT elaborato dal CEN (www.ecompetences.eu).

⁷ Per completare il quadro delle interazioni occorre aggiungere che era presente anche un forum di discussione generale: 42 discussioni con 347 post.

punto 4.5 del Modulo 4, Uso esperto delle reti, dell'*IT Administrator*;

- un corso sui *database*, area Build di EUCIP Core, punto B2;
- un corso "Uso didattico degli strumenti web 2.0".

I due corsi pilota, in Italia, si sono svolti nel periodo febbraio-giugno (con prolungamento per tutto il mese di luglio) e hanno coinvolto una sessantina di docenti, non tutti di informatica.

Tra questi insegnanti ne sono stati selezionati 20 per svolgere, a coppie, il ruolo di tutor in 10 corsi a cascata, avviati nel mese di novembre 2010, che hanno coinvolto circa 500 docenti. Un undicesimo corso, per insegnanti di "Economia aziendale" – potenzialmente interessati all'area Plan di EUCIP core, è stato avviato nel mese di dicembre.

A novembre sono partiti anche due corsi pilota in Slovenia e Romania. Il corso sloveno è centrato sul Syllabus EUCIP. In quello rumeno, invece, il Modulo 4 è stato modificato facendo riferimento ad un sistema di competenze nel settore dei trasporti marittimi ed è rivolto a docenti che si occupano di formazione in quel settore.

5. CONCLUSIONI

Sloop2desc è entrato nel secondo anno con un risultato che consideriamo straordinario. Dovevamo trovare, a livello italiano, quattrocento insegnanti disponibili ad affrontare un corso impegnativo, che non attribuisce punteggi o altri risultati spendibili in termini di "carriera". Abbiamo ricevuto più di 1.700 richieste di partecipazione! È un segno dell'interesse e della disponibilità degli insegnanti nei confronti dei due temi del corso: l'uso di tecnologie digitali nell'insegnamento e il riferimento a sistemi di competenze. Un segnale positivo per la scuola del nostro Paese.

Al momento siamo stati in grado di attivare corsi solo per una parte di coloro che ne hanno fatto richiesta - in ogni caso tutti i richiedenti che insegnano informatica - ma cercheremo di fare il possibile per non escludere del tutto i numerosi insegnanti di altre materie, il cui interesse dimostra le potenzialità di apertura della scuola italiana all'uso delle tecnologie digitali per innovare la didattica.

I corsi a cascata appena avviati saranno l'occasione per perseguire tre obiettivi:

- Diffondere un modello di *eLearning* basato sull'idea della rete come luogo di costruzione colla-

borativa della conoscenza. Auspichiamo che i docenti coinvolti nei corsi trasferiscano tale modello di *eLearning* alle loro attività con le classi, integrandolo con la didattica in presenza. L'uso della rete con gli studenti, permette a questi ultimi di accedere a materiali didattici variegati, interattivi, usufruibili nel momento preferito e seguendo il proprio personale ritmo, ma soprattutto permette di estendere le relazioni con il docente e con il gruppo dei pari oltre l'aula e l'orario di lezione. Inoltre, una didattica immersa negli strumenti di comunicazione e di elaborazione digitali, consente di rendere attivi tutti gli studenti e di farli interagire tra loro, molto più di quanto avvenga nelle tradizionali attività in presenza, in cui il numero degli studenti e il poco tempo a disposizione limitano le domande, le espressioni dei diversi punti di vista, le connessioni, le divagazioni, le interazioni, ossia tutti quei processi in cui si costruisce la conoscenza.

□ Produrre collezioni di risorse educative aperte, *Open Educational Resource* - OER, da cui ogni docente possa attingere nell'organizzare percorsi formativi e ambienti di apprendimento per i propri studenti. Con "risorse educative" intendiamo qualsiasi materiale didattico in formato digitale, da un intero corso a singoli oggetti: lezioni in formato testo e immagini, o in formato audio o audio-video, esercizi nelle più diverse forme, simulazioni, test, proposte di lavoro ecc.. Con "aperte" ci riferiamo a tre aspetti: accessibilità, modificabilità e permessi. Partiamo dall'ultimo: per essere utilizzabili, le risorse non possono essere coperte da un copyright "tutti i diritti riservati" ma devono essere rilasciate o come "pubblico dominio" o sotto una licenza, quale la *Creative Commons Attribution-Share alike*, che ne garantisca la libertà di utilizzo, distribuzione e modifica. Per permettere che le risorse siano modificabili è necessario che venga fornito l'accesso, ove il caso, ai sorgenti. Per essere accessibili, le risorse devono essere caricate in una *repository* e devono essere facilmente rintracciabili.

Nel modulo 5 dei corsi cascata, i partecipanti saranno invitati a partire dai materiali didattici prodotti nei corsi pilota, inseriti nella *Sloop Repository*, per migliorarli e integrarli e per svilupparne altri. Ciò è particolarmente rilevante per quanto riguarda le competenze informatiche vere e proprie, non quelle degli utenti ma quelle degli informatici. I syllabus di riferimento per gli indirizzi "Informatica e telecomunicazioni" e per "Sistemi infor-

mativi aziendali” sono quelli dell’*IT Administrator* e dell’*EUCIP core*. Arrivare ad avere una *repository* di risorse didattiche “aperte”, riferite a tali syllabus, può agevolare fortemente gli insegnanti nel progettare e realizzare ambienti di apprendimento per i loro studenti in cui coniugare didattica delle competenze e nuovi modelli didattici.

Abbiamo parlato di singole risorse e di interi corsi, ma occorre a questo proposito qualche precisazione. I syllabus, che abbiamo assunto come riferimento, dettagliano le conoscenze e le abilità che stanno alla base delle competenze di riferimento. Una *repository* ideale dovrebbe contenere risorse corrispondenti ad ogni singola conoscenza e ad ogni singola abilità. Anzi, sarebbe desiderabile che ci fossero più risorse per ciascuna, in modo da fornire al docente – o direttamente allo studente – una possibilità di scelta. Ci aspettiamo quindi che nei corsi *Sloop2desc* i docenti producano risorse con questo livello di definizione.

Ma una competenza non è una semplice somma di conoscenze e di abilità. Sta al docente progettare e proporre percorsi formativi che propongano agli studenti attività collaborative nel corso delle quali acquisire, utilizzandole, quelle conoscenze e quelle abilità. È questo che intendiamo con “corso”. Ci aspettiamo che i docenti di *Sloop2desc* utilizzino le risorse prodotte – da loro o da altri – per costruire corsi. Ed è questa, più ancora della produzione della singola risorsa, l’attività collaborativa che proponiamo loro. Anche i corsi possono e debbono essere messi in condivisione con le stesse caratteristiche di apertura.

□ Realizzare una Comunità di Pratiche di docenti di informatica. Le comunità di apprendimento che si sono costituite nei corsi pilota e quelle che stanno costituendosi nei corsi a cascata, il forum di confronto fra i docenti/tutor dei corsi cascata e quelli dei corsi pilota sono già l’embrione di una tale comunità di pratiche. La pratica di collaborare nella progettazione di materiali didattici, di inserirli in *repository*, di cercare, modificare e utilizzare OER prodotte da altri sarà l’altro elemento chiave. Scriviamo, a conclusione del precedente progetto SLOOP, che esso si inseriva in una “*idea del web come spazio in cui le persone interagiscono, collaborano, producono insieme nuova conoscenza*” [8]. Per raggiungere in rete i propri studenti e per utilizzare il web nella propria didattica, i docenti devono acquisire il concetto di collaborazione e di condivisione, di comunità, che è tipico del web 2.0.

Bibliografia

- [1] Parlamento e Commissione Europea 2005: *Raccomandazione del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa a competenze chiave per l'apprendimento permanente*.
- [2] Commissione Europea: *Quadro europeo delle qualifiche per l'apprendimento permanente (EQF)*.
- [3] Prensky M.: *Digital natives, digital immigrants*. MCB University Press, Vol. 9, n. 5, 2001.
- [4] Ardizzone P., Rivoltella P.C.: *Media e tecnologie per la didattica*. Vita e pensiero, 2008.
- [5] Longo G.O.: *Nascere digitali. Verso un mutamento antropologico?* *Mondo Digitale*, n. 32, dicembre 2009.
- [6] Ravotto P., Bellini R.: *Quali competenze digitali per insegnare al tempo del web 2.0?*, Atti del Congresso Sie-L di Trento, 2008.
- [7] Fulantelli G., Gentile M., Taibi D., Allegra M.: *Open Learning Object: una nuova prospettiva per un utilizzo didattico efficace delle risorse didattiche digitali*. Atti di Didamatica 2007.
- [8] Ravotto P., Fulantelli G.: *L'idea base di SLOOP: condividere free/open learning object*. In: *Condividere free/open learning object - I risultati del progetto SLOOP*, 2007.

Sitografia

Sito progetto SLOOP: www.sloopproject.eu

Sito progetto Sloop2desc: www.sloop2desc.eu

Sito EUCIP: www.eucip.it

Sito ECDL: www.ecdl.it

PIERFRANCO RAVOTTO, laureato in Ingegneria Elettronica al Politecnico di Milano nel 1974, è stato docente di Elettrotecnica, Elettronica, Automazione e Sistemi organizzativi in istituti tecnici occupandosi di corsi post-diploma, alternanza scuola-lavoro, scambi di giovani con alternanza all'estero ed e-learning. Ha coordinato diversi progetti europei nel programma Leonardo da Vinci ed ha partecipato alla progettazione e realizzazione di corsi di aggiornamento per docenti e dirigenti scolastici. Dal 2008 collabora con AICA per il framework EUCIP. È Project Manager del progetto Ensemble per il Dipartimento di Scienze dell'Educazione dell'Università di Firenze. È membro del direttivo nazionale della Sie-L, Società Italiana e-Learning, e del direttivo milanese di AICA. È certificato EUCIP IT Trainer. E-mail: p.ravotto@aicanet.it

GIOVANNI FULANTELLI è ricercatore presso l'Istituto per le Tecnologie Didattiche (ITD) del Consiglio Nazionale delle Ricerche; i suoi studi si concentrano sull'utilizzo delle Nuove Tecnologie a supporto dell'apprendimento. È coordinatore del progetto europeo “*Sloop2desc - Sharing Learning Objects in an Open Perspective to Develop European Skills and Competences*”, responsabile della commessa di ricerca CNR: “*Multiculturalità e scuola: metodologie e tecnologie di supporto all'apprendimento e all'integrazione*”, membro del Consiglio d'Istituto dell'ITD. Nel 2005 è stato insignito di un riconoscimento scientifico per aver raggiunto risultati innovativi di particolare eccellenza e rilevanza strategica nel settore delle Tecnologie Didattiche. E-mail: giovanni.fulantelli@itd.cnr.it