

VERSO I MOTORI DI RICERCA DI PROSSIMA GENERAZIONE

I motori di ricerca sono diventati sempre più potenti e aggiornati. Ora lo sforzo è cercare di renderli anche più intelligenti. Ma che cosa limita le prestazioni dei motori di ricerca attuali e quali problemi devono essere risolti per costruire quelli di prossima generazione? L'articolo discute questi temi e delinea le innovazioni che possiamo realisticamente attenderci nei prossimi anni.

1. UNA STORIA BREVE E DI SUCCESSO

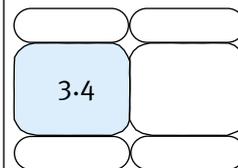
I motori di ricerca costituiscono uno dei fenomeni tecnologici, culturali ed economici più importanti di questi ultimi anni e sono considerati da molti come la terza “killer application” di Internet dopo i browser web e la posta elettronica. Il loro successo è enorme e trasversale, e può essere osservato a vari livelli. Indagini di mercato recenti concordano che nell'80% dei casi gli utenti utilizzano un motore di ricerca per trovare i siti di interesse e si stima che ogni giorno vengano inviate collettivamente ai motori di ricerca cinquecento milioni di interrogazioni. Il mercato delle inserzioni a pagamento è in piena espansione e abbiamo visto tutti che la recente quotazione in borsa di Google ha rinverdito i fasti della bolla speculativa degli anni '90. Ancora, società specializzate esclusivamente nel migliorare il posizionamento nei risultati prodotti dai motori di ricerca stanno sorgendo un po' ovunque. Anche la lingua recepisce la novità. In inglese, “to google” è ormai un verbo di uso comune; significa “cercare su Internet”.

Questi sistemi esercitano un monopolio di fatto in un settore delicato e cruciale come quello dell'accesso mondiale alle informazioni – non si dice che se non stai nella prima pagina dei risultati di Google è come se non esistessi? – e ormai vengono attentamente scrutinati anche riguardo alla trasparenza e “democraticità” dei risultati forniti. Gli interrogativi, giustificati dalla opacità delle tecnologie proprietarie, si vanno rafforzando alla luce dell'affermarsi di un modello di business basato sui collegamenti (link) sponsorizzati e dei forti fenomeni di concentrazione industriale cui stiamo assistendo.

Eppure all'inizio della loro breve storia molti analisti dissero che quello dei motori di ricerca sarebbe stato un fenomeno marginale. Era il 1993, e il web consisteva di poche centinaia di siti. Per contarli, Matthew Gray sviluppò il primo “web crawler”, chiamato World Wide Web Wanderer. Questo fu il padre (o la madre) dei moderni motori di ricerca, mentre i nonni sono probabilmente da rintracciare in Archie e Veronica, di qualche anno precedenti. Questi ultimi non cercava-



Claudio Carpineto
Giovanni Romano



no pagine web (il protocollo HTTP doveva essere ancora inventato) bensì file e testi, rispettivamente, da trasmettere con le due modalità che all'epoca la facevano da padrone su Internet, e cioè FTP e Gopher.

Il periodo immediatamente successivo all'introduzione del World Wide Web Wanderer fu il più ricco di novità. Limitandoci alle innovazioni nella logica di reperimento delle informazioni (per un resoconto storico più dettagliato si può consultare la pagina <http://www.wiley.com/legacy/compbooks/sonnenreich/history.html>) ecco che cosa successe. I crawler vennero rapidamente potenziati per estrarre URL e titoli, o usare brevi descrizioni fornite manualmente. Subito dopo WebCrawler indicizzò pagine intere, analogamente a quanto avviene oggi, ed Excite usò per primo l'analisi statistica delle occorrenze delle parole. Siamo nel 1994. Yahoo! costruisce il primo catalogo web e più o meno nello stesso periodo c'è l'esordio di Lycos, che oltre a consentire la ricerca per parole contigue e ad ordinare i risultati per pertinenza, si caratterizza per le dimensioni: parte con 50000 pagine e nel giro di due anni arriva a contenerne 60 milioni. Il passo successivo più importante fu Altavista, debuttante nel dicembre '95, che accettava interrogazioni in linguaggio naturale e offriva la possibilità di contare i link entranti in un sito. Nel 1998 fu lanciato Google, che introdusse la "popolarità" dei siti come criterio chiave nella ricerca delle informazioni e si contraddistinse subito per la maggiore precisione dei suoi risultati. Google in qualche modo ha segnato un punto di svolta e sancito la maturità di uno stadio tecnologico, con una spinta alla omologazione dell'offerta. Successivamente, sono apparsi altri motori di ricerca di qualità elevata, come ad esempio AlltheWeb e l'ultimo Yahoo!, ma si ha l'impressione che non ci siano state radicali innovazioni tecnologiche.

In effetti, il miglioramento degli ultimi anni ha riguardato principalmente aspetti ingegneristici. Oggi, con decine di migliaia di computer in parallelo, si riescono a censire miliardi di pagine web, a seguirne gli aggiornamenti in modo sempre più puntuale e a rispondere a migliaia di interrogazioni simultaneamente. All'aumento di forza però non è corrisposto un pari aumento di intelligenza. Gran parte del web rimane *invisibile*, in particolare tutte

le informazioni che vengono generate dinamicamente in seguito ad una interazione con l'utente, e il funzionamento basato su parole chiave non consente di capire la semantica delle interrogazioni e delle pagine *visibili*, con l'effetto di generare molti risultati ridondanti o palesemente inutili.

Nel seguito di questo articolo analizzeremo i principi di funzionamento dei motori di ricerca, per capire meglio le loro limitazioni intrinseche e i problemi che bisogna risolvere per spianare la strada ai sistemi di prossima generazione. Successivamente vedremo una serie di sviluppi recenti che, seppure a livello prototipale, vanno già oltre le funzioni e le prestazioni dei sistemi commerciali odierni.

2. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

L'interazione fra l'utente e il motore di ricerca inizia con l'invio di una interrogazione, tramite *form* HTML. Il motore di ricerca utilizza le parole dell'interrogazione per cercare nei file indice che si è precedentemente costruito scaricando e analizzando tutte le pagine del web, quali pagine contengono quelle parole. Tali pagine vengono quindi ordinate per pertinenza utilizzando vari criteri, che essenzialmente si basano sul contenuto testuale delle pagine stesse e sulle informazioni rappresentate dai link sul web che puntano ad esse. Il risultato viene mostrato all'utente utilizzando una pagina HTML che contiene rappresentazioni condensate delle pagine più pertinenti. L'utente a questo punto può scegliere di scaricare una o più pagine intere che sono d'interesse o di inviare una nuova interrogazione al motore. Questo schema di massima è rappresentato nella figura 1. Nel seguito saranno descritte con maggiore dettaglio le tre funzioni chiave di un motore di ricerca, e cioè quelle per la raccolta (*crawling*) e indicizzazione (*indexing*) delle pagine e per l'ordinamento dei risultati (*ranking*).

2.1. Raccolta

Il primo stadio di un motore di ricerca è costituito dal *crawler* (chiamato anche spider, o web robot), il programma per raccogliere le pagine web e scaricarle in locale. Poiché non esiste l'equivalente di un elenco completo delle pagine web, l'unico modo per eseguire

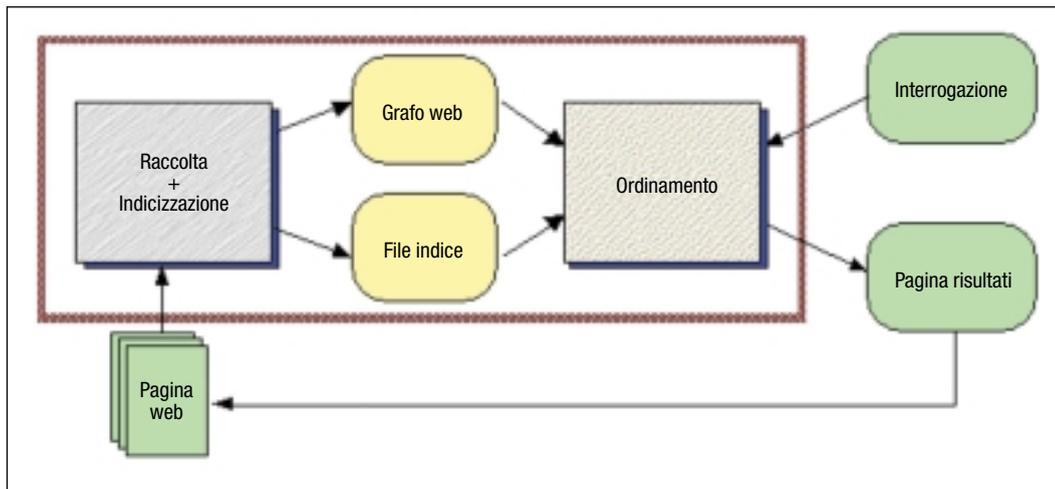


FIGURA 1
Schematizzazione funzionale di un motore di ricerca

questa operazione è quello di sfruttare i link fra di esse. Si parte da un insieme iniziale di pagine e si scaricano tutte le pagine raggiungibili dall'insieme seguendo i link, evitando di visitare quelle già viste. Si può fare o una visita in ampiezza, o in profondità, scegliendo dei criteri di terminazione legati alla profondità di visita o al numero totale di pagine raccolte. In linea di principio si tratta quindi di un programma molto semplice da realizzare, riassumibile addirittura in un singolo comando UNIX (*wget*).

In realtà la costruzione di un crawler su scala industriale, in grado di scaricare una frazione significativa del web in tempi ristretti (ordine di decine di migliaia di pagine al secondo), deve confrontarsi con una serie di problemi tecnici, alcuni di soluzione relativamente semplice, come l'estrazione e la normalizzazione delle URL e l'eliminazione efficiente delle URL già visitate, altri più complessi, come l'ottimizzazione della risoluzione delle URL negli indirizzi IP e la gestione di connessioni HTTP multiple a un server senza sovraccaricare quest'ultimo di richieste o saturare la sua banda. Per i lettori interessati ai problemi sottostanti alla ingegnerizzazione su larga scala di un crawler si rimanda all'eccellente capitolo su Web Crawling in [4]; per gli scopi di questo articolo è sufficiente capire il principio di base.

2.2. Indicizzazione

Dopo aver scaricato una pagina, il suo contenuto viene elaborato per estrarne il testo e inserirlo in un file indice che associa a ciascuna parola nella collezione le pagine in cui

quella parola compare. La preparazione del file indice avviene dietro le quinte, ma è altrettanto importante delle successive e forse più suggestive elaborazioni, perché sono le parole immagazzinate nel file indice quelle che in ultima analisi determinano i documenti candidati a far parte dei risultati di un'interrogazione.

L'estrazione del testo varia da sistema a sistema in dipendenza di una serie di ragioni. Innanzitutto la presenza di errori di formattazione può influenzare in modi differenti il risultato prodotto dagli analizzatori sintattici delle pagine. In secondo luogo, i marcatori HTML possono essere trattati in modo differenziato, ad esempio stabilendo di ignorarne alcuni come "comment" e "alt text" e di anettere un'importanza particolare ad altri, come "title". Un ulteriore livello di variabilità può essere rappresentato dalla decisione di gestire anche pagine in formati non testuali, come per esempio *pdf* o *ppt*. Il testo estratto dalle pagine viene successivamente segmentato in parole singole, ignorando la punteggiatura e tenendo conto anche dei caratteri non alfanumerici.

A questo punto, l'insieme delle parole contenute in una pagina può essere ulteriormente normalizzato utilizzando una "stop list" (cioè togliendo le parole a basso contenuto informativo come articoli, preposizioni e pronomi) e lemmatizzando le parole (per esempio per assimilare plurale e singolare di uno stesso sostantivo o le diverse forme di un verbo). Questo trattamento è prassi in molti sistemi di "information retrieval", principalmente al fine

di aumentare il numero di documenti pertinenti che vengono recuperati dal sistema, ma è meno diffuso nei motori di ricerca per il web, in parte perchè ciò precluderebbe, di fatto, la gestione di alcune interrogazioni (come quella relativa al gruppo musicale "The Who"), in parte perchè per altre interrogazioni, anche comuni, ci sarebbe una probabile penalizzazione della precisione dei risultati. Infatti, l'enorme abbondanza di sigle e abbreviazioni di natura tecnica e commerciale presenti sul web può facilmente confondere un motore di ricerca con lemmatizzatore nel caso in cui ci sia coincidenza con qualcuna delle varianti linguistiche associate all'interrogazione (per esempio "sock" e "SOCKS", o "ides" e "IDE"). Il file indice è l'equivalente dell'indice analitico di un libro, che ci consente di trovare subito l'argomento cercato senza sfogliare le pagine. Per ogni parola, il file indice contiene la lista delle pagine in cui quella parola compare con la posizione relativa. Quest'ultima informazione è essenziale nel caso in cui si voglia sfruttare la prossimità delle parole dell'interrogazione nelle pagine ai fini dell'ordinamento. In pratica, il file indice viene implementato utilizzando delle strutture dati che consentono un accesso veloce a ciascuna parola, ad esempio utilizzando una tavola "hash" per associare alle parola una chiave in uno spazio d'indirizzamento diretto ridotto, ed esso viene di solito partizionato per pagine o per parole per parallelizzare gli accessi e diminuire i tempi di risposta durante l'elaborazione delle interrogazioni [1]. Nel file indice, per ciascun termine comparirà, oltre alla lista delle pagine in cui compare e alla posizione nella pagina, un peso della parola in ciascuna pagina. Il significato di questo peso è descritto nella sezione seguente.

2.3. Ordinamento

Quando viene elaborata una interrogazione, il file indice consente di accedere velocemente a tutti i documenti in cui sono presenti i termini della interrogazione. Poiché anche per le interrogazioni più specifiche ci possono essere migliaia di pagine coinvolte, è necessario ordinare i risultati per pertinenza. Il meccanismo fondamentale per l'ordinamento dei risultati, mutuato dalle ricerche fatte nel settore dell'"information retrieval", consiste nel-

l'assegnare ad ogni termine di ciascun documento un peso (durante la fase di indicizzazione), e nel calcolare poi a "run-time" il punteggio di pertinenza di ciascun documento a fronte di una interrogazione sommando i pesi dei termini dell'interrogazione che sono presenti nel documento.

Schematicamente, il peso di un termine in un documento dipende da quanto il termine caratterizza il documento in oggetto, da quanto lo discrimina rispetto agli altri documenti e dalla lunghezza del documento stesso. Questo modello a tre componenti è alla radice di vari modelli di pesatura sviluppati nella comunità di "information retrieval", a partire dal classico modello a spazio di vettori [6], in cui il peso di una parola è proporzionale alla frequenza della parola nella pagina e inversamente proporzionale alla frequenza delle pagine in cui compare la parola e alla lunghezza della pagina.

Recentemente, sono state sviluppate tecniche più efficaci, principalmente utilizzando formule probabilistiche derivate dal teorema di Bayes o seguendo il paradigma della modellazione statistica del linguaggio, adoperato anche nel riconoscimento del parlato. Un terzo approccio, denominato divergenza dalla casualità (deviation from randomness), è stato sviluppato e sperimentato dagli autori di questo articolo insieme al collega Giambattista Amati della Fondazione Ugo Bordoni. Esso ha ottenuto risultati lusinghieri nelle ultime edizioni di TREC (Text REtrieval Conference) e CLEF (Cross Language Evaluation Forum), due forum scientifici internazionali dedicati alla sperimentazione e alla valutazione di prototipi innovativi per la ricerca delle informazioni. La sua idea essenziale consiste nel calcolare i pesi come una funzione inversa della probabilità che l'occorrenza di un termine in un documento segua una distribuzione casuale (per i lettori interessati ad approfondire l'argomento si rimanda alla consultazione degli atti TREC e CLEF). È importante notare come tutte queste funzioni di pesatura si basino su semplici statistiche relative alle pagine gestite dal sistema e possano quindi essere calcolate in modo estremamente efficiente.

Il meccanismo di ordinamento appena descritto si basa sulla similarità fra l'interrogazione e il contenuto testuale della pagina. Il

secondo criterio fondamentale per riuscire a filtrare ed ordinare in modo più efficace l'enorme quantità di pagine teoricamente pertinenti è basato sulla struttura del web, a prescindere dal contenuto testuale delle pagine. L'osservazione chiave è che certi siti web sono oggettivamente più importanti o "popolari" di altri e che un indice significativo della loro popolarità è costituito dal numero di pagine che puntano ad essi, così come nel mondo scientifico il prestigio di un articolo è misurato dal numero di articoli che lo citano. In realtà, per misurare la popolarità di un sito, contano sia la quantità dei siti che puntano ad esso sia la popolarità di questi ultimi, con una definizione evidentemente ricorsiva.

Per venire a capo di quest'ultima si procede così. Inizialmente si assegna uno stesso punteggio di popolarità a ciascuna pagina. Poi si calcola un punteggio aggiornato, dove sostanzialmente il punteggio di una pagina A è ottenuto sommando i punteggi delle pagine che puntano ad A divisi per il numero di link uscenti da ciascuna di esse. A questo punto, si itera il procedimento considerando ad ogni passo i punteggi correnti, fino a quando i punteggi non cambiano più. Questa è l'idea di base di PageRank, l'algoritmo utilizzato da Google. La formula esatta e un esempio molto dettagliato con i risultati delle singole iterazioni sono disponibili all'indirizzo <http://www.whitelines.nl/html/google-page-rank.html>. A questo punto ciascun sito (o pagina appartenente ad un sito) riceve un punteggio che misura la sua popolarità, e che può essere usato per influenzare la sua posizione nella lista dei risultati.

Per esattezza scientifica bisogna sottolineare che PageRank è stato preceduto da modelli analoghi che sono probabilmente anche migliori da un punto di vista teorico, come HITS di Kleinberg e Hyperinformation di Marchiori; Google è stato però il primo a mostrare la bontà dell'idea in un sistema commerciale su larga scala. Recentemente, il concetto di popolarità è stato raffinato con buoni risultati da Teoma, il quale calcola una popolarità relativa all'argomento dell'interrogazione invece che quella assoluta del sito.

Oltre al contenuto e alla struttura dei link, ci sono altre sorgenti informative che possono

concorrere a determinare l'ordinamento finale delle pagine. Una di queste è costituita dai cataloghi web, vale a dire un insieme di categorie strutturate gerarchicamente che coprono un vasto spettro di argomenti, con pagine web significative associate alle singole categorie mediante un processo manuale. Il catalogo sviluppato da Yahoo! e la Open Directory, con decine di migliaia di categorie aggiornate da una vasta comunità globale di redattori volontari, sono probabilmente gli esempi più noti. Quando le parole dell'interrogazione coincidono con quelle di una categoria, il risultato può essere fornito direttamente dal catalogo, che contiene pagine più controllate e verosimilmente pertinenti di quelle recuperate con una ricerca automatica. In effetti, sono molti i motori di ricerca che utilizzano in modo diretto o indiretto i cataloghi.

Un'altra tecnica per migliorare l'ordinamento consiste nell'utilizzare le ancore del codice HTML per estrarre termini e concetti con i quali arricchire la descrizione delle pagine puntate. In questo caso l'osservazione è che possono esserci siti anche molto importanti in cui l'oggetto primario del sito non viene menzionato nella *home* (per esempio automobile per Toyota e computer per IBM), mentre è probabile che esso compaia nella descrizione associata ai link entranti.

I differenti metodi di ordinamento possono essere integrati in vari modi. Si può usare per esempio la popolarità per elaborare a posteriori i risultati ottenuti utilizzando il contenuto o, dualmente, come criterio di filtraggio a monte della ricerca per contenuto. Un'altra possibilità è quella di calcolare in modo separato l'ordinamento prodotto da ciascun metodo e poi combinare direttamente i risultati. Google dice che utilizza più di 100 ingredienti, ma la ricetta è segreta, un po' come quella della Coca Cola. E come per la Coca Cola, questo ha probabilmente una importanza secondaria, se non altro perché nessuno oggi potrebbe essere seriamente intenzionato a riprodurre esattamente i risultati di Google con un altro marchio. Per uno studio sistematico di natura accademica sulla combinazione dei risultati prodotti da differenti metodi di ordinamento si può consultare l'ottima indagine di Yang [8].

3. LIMITAZIONI INTRINSECHE E INGANNI DELIBERATI

In alcuni casi i motori di ricerca sono di scarsa utilità. Anche con una scelta oculata delle parole dell'interrogazione o con una utilizzazione corretta delle opzioni della ricerca avanzata i risultati non soddisfano le aspettative, e possono indurre negli utilizzatori inesperti un senso di frustrazione. In questa sezione cercheremo di capire meglio che cosa un motore di ricerca non può fare o riesce a fare solo in parte.

3.1. Web nascosto

Il primo limite oggettivo dei motori di ricerca è che essi indicizzano solo una parte del web. L'esistenza del **web nascosto** è dovuta ad una serie di ragioni che qui cercheremo di riassumere brevemente. Innanzitutto, certe pagine non sono collegate alle altre e quindi il crawler non può fisicamente accedere ad esse. Nell'insieme delle pagine collegate invisibili si possono distinguere poi due categorie, quelle tecnicamente accessibili e quelle tecnicamente inaccessibili (o accessibili con difficoltà). Nella categoria delle pagine invisibili che sono tecnicamente accessibili rientrano le pagine che il crawler decide autonomamente di non scaricare, per esempio utilizzando un limite di profondità intra-sito per limitare i costi e i tempi di visita del web oppure una soglia sulla dimensione minima per scartare pagine poco si-

gnificative, e le pagine che non è autorizzato a scaricare (specificate con il file *robots.text*).

La categoria delle pagine tecnicamente inaccessibili comprende quelle che contengono formati che i crawler normalmente non gestiscono (immagini, audio, Flash, Shockwave, file compressi ecc.) e le pagine generate dinamicamente previa interazione con una *form* HTML, che il crawler non sa come riempire. Queste ultime tipicamente vengono generate da basi di dati specializzate in risposta ad una interrogazione e costituiscono la parte più pregiata del web nascosto. Si pensi a previsioni del tempo, orari dei voli, quotazioni di borsa, ricerche bibliografiche e molte altre sconosciute ai più, che sono state raccolte in un elenco ragionato in [7]. Anche in quest'ultimo caso, l'inaccessibilità è un concetto relativo che riflette scelte commerciali insieme a obiettive difficoltà tecniche, perché un crawler può essere programmato anche per estrarre informazioni da una base di dati.

3.2. Andare oltre le parole chiave

Una volta che le pagine sono state scaricate e il file indice costruito, ciascuna interrogazione viene elaborata recuperando soltanto le pagine che contengono esattamente le parole specificate nell'interrogazione. Questa è una limitazione molto forte, alla luce della ricchezza e dell'ambiguità del linguaggio naturale. In particolare, se una pagina contiene lo stesso

Il **web nascosto** (o profondo, o invisibile) è la parte che non viene indicizzata dai motori di ricerca e che si stima essere centinaia di volte più grande di quella visibile. La sua esistenza è dovuta ad un insieme di ragioni, riconducibili essenzialmente alle politiche di visita selettiva del web adottate dai crawler e alla presenza di contenuti non testuali che sono difficilmente indicizzabili dato lo stato della tecnologia e i vincoli operativi e commerciali cui i motori di ricerca sono soggetti. Le principali tipologie d'invisibilità sono riassunte nella seguente tabella.

Tipologia del contenuto web	Perché è nascosto
Pagine disconnesse	Non ci si può arrivare
Pagine periferiche	Il crawler si ferma prima
Immagini, audio, o video	Non c'è testo
Flash, Shockwave, .zip, .tar ecc.	Indicizzazione costosa
Informazioni fornite da basi dati	Il crawler non sa fare le interrogazioni
Dati che cambiano in tempo reale	Informazioni effimere e voluminose

concetto espresso con parole differenti essa non viene recuperata (*problema del vocabolario*). L'utente alle prese col problema di scegliere le parole giuste per descrivere le pagine che non conosce fa venire in mente la situazione di quel proverbio cinese che dice: "Sei sai quello che cerchi perchè lo cerchi? E se non lo sai come spero di trovarlo?".

La situazione è ulteriormente complicata dal fatto che le interrogazioni sono brevi (di solito non più di due o tre parole) e il web è estremamente ricco ed eterogeneo in contenuti. In queste condizioni, a causa dei problemi di sinonimia (parole differenti con lo stesso significato) e polisemia (una stessa parola con significati differenti), è ancora più probabile che il sistema non riesca a recuperare pagine pertinenti che non contengono gli stessi termini dell'interrogazione oppure, simmetricamente, che recuperi molte pagine non pertinenti. Per alleviare questo problema si possono utilizzare tecniche in grado di estrarre ed utilizzare informazioni che *non* sono contenute esplicitamente nella rappresentazione di pagine e interrogazioni. Una di tali tecniche, detta retroazione di pseudo pertinenza (pseudo-relevance feedback), sfrutta la ridondanza del linguaggio naturale per arricchire la formulazione dell'interrogazione. Essa consiste in un doppio ciclo di ordinamento, nel secondo dei quali è utilizzata una interrogazione espansa con parole estratte dalle pagine recuperate dal sistema nel primo ciclo. La retrazione di pseudo pertinenza è interessante per la sua semplicità e per le sue superiori prestazioni documentate sperimentalmente, specialmente se paragonata ad altri approcci basati sulla similarità inter-pagina, però fatica ad essere adottata dai sistemi commerciali, sia per l'aggravio dei tempi di risposta sia per la sua relativa robustezza.

Indipendentemente dalla possibilità di migliorare la formulazione delle interrogazioni, rimane il fatto che un meccanismo basato su parole chiave non riesce a cogliere la semantica di pagine e interrogazioni, e può fraintendere la loro apparente somiglianza. Per esempio, la frase "Giovanni ama Maria" non sarebbe discriminata da "Giovanni non ama Maria" o "Giovanni ama la migliore amica di Maria", perchè ciò richiederebbe la capacità di identificare concetti e relazioni fra concetti (chi ama e

chi è amato). Sembra quindi che l'uso di indici concettuali, legati alla elaborazione del linguaggio naturale, sia la strada maestra per andare oltre il paradigma delle parole chiave, ed effettivamente ricerche in questo senso sono in corso da vari anni. C'è da dire però che questi tentativi hanno finora avuto poca fortuna, perchè in genere i sistemi risultano più lenti e meno accurati di quelli statistici, specialmente se vengono applicati a compiti tradizionali di ricerca delle informazioni su collezioni omogenee. Più recentemente, però, sono emersi compiti di ricerca delle informazioni più specializzati, di cui vedremo un esempio più avanti, in cui tali metodi giocano in effetti un ruolo essenziale. Tecniche linguistiche "superficiali" possono rivelarsi utili anche per ricerche generiche sul web: alcuni motori di ricerca commerciali stanno cercando di sfruttare certi "pattern" linguistici (per esempio "such as...") per trovare entità con nome proprio o altri concetti rilevanti all'interno delle pagine e scartare il resto già in fase di indicizzazione.

Esiste poi una vasta classe di richieste che non possono essere esaudite senza assumere l'esistenza di qualche forma di strutturazione dei dati. È il caso di quei compiti di ricerca delle informazioni in cui vengono espressi vincoli temporali, spaziali, o di altro tipo, la cui risoluzione richiede il possesso di dati espressi mediante rappresentazioni strutturate. In effetti, poiché stanno diffondendosi nuovi linguaggi per la descrizione semantica dei dati sul web, i motori di ricerca si stanno attrezzando per riuscire a cogliere queste opportunità. Questo tema verrà ripreso nel paragrafo 4.

Un'ulteriore difficoltà pratica è rappresentata dalla modalità di visualizzazione dell'output, che costringe l'utente ad una scansione seriale dei risultati con ispezione diretta dei riassunti associati a ciascuno di essi. L'utente inoltre non ha la possibilità di riordinare i risultati o selezionare "viste" d'interesse. La conseguenza è che per motivi di tempo e di costo tipicamente ci si sofferma solo sui dieci risultati offerti nella prima pagina di risposta, a fronte di migliaia di risultati reperiti, con una vistosa sottoutilizzazione delle capacità del sistema. Per superare questo problema possono essere utilizzati schemi interattivi di visualizzazione grafica dei risultati dei quali parleremo più avanti.

Posizionamento

Per posizionamento s'intende l'adozione di un insieme di tecniche che hanno l'obiettivo di migliorare la posizione di un sito web nei risultati prodotti dai motori di ricerca. La letteratura su questo argomento (designato anche come ottimizzazione o marketing) è fiorente, con molti libri pubblicati. Il posizionamento non va confuso con lo *spam*, perché nelle tecniche di posizionamento si pone l'accento sui contenuti e sull'organizzazione del sito, e non sull'utilizzazione di trucchi per ingannare i motori di ricerca. A titolo di esempio, si riportano alcuni consigli che è facile trovare per siti commerciali:

- ✓ Inserire la parola chiave più importante nel marcatore "title" e all'inizio del *Body Text*.
- ✓ Includere nel *Body Text* un testo descrittivo dei prodotti o servizi offerti di alcune centinaia di parole, con una ripetizione non consecutiva di 4/5 volte della parola chiave.
- ✓ Inserire link alle altre pagine del sito e a siti esterni pertinenti.
- ✓ Non utilizzare testo nascosto, testo dello stesso colore dello sfondo, link nascosti, tecniche di *cloaking*, o reindirizzamenti automatici, perché possono essere facilmente scoperti, con conseguente penalizzazione del sito.
- ✓ Indicizzare il sito anche nella Open Directory.

3.3. Spam

Oltre ai problemi di calcolo e di presentazione, bisogna tenere conto di un importante fenomeno esogeno che ostacola il buon funzionamento dei motori di ricerca. Parliamo dello "spam", cioè del tentativo di influenzare con metodi scorretti il posizionamento delle pagine nei risultati. Questa è una novità sostanziale rispetto ai sistemi tradizionali di reperimento delle informazioni, come OPAC (*Online Public Access Catalogue*) e basi di dati bibliografiche, i cui dati di partenza hanno invece un elevato grado di veridicità e affidabilità.

Molte tecniche possono essere adoperate per confondere i motori di ricerca. Il fatto è che i principali meccanismi di ordinamento presentano un alto grado di vulnerabilità alle manipolazioni. Le più semplici sono l'utilizzazione di parole civetta nascoste nelle pagine e la creazione di fabbriche di link con contenuti artificiali, per alterare il contenuto delle pagine nei file indice. L'aneddotica su questo tipo di inganni è fiorente e ricorrente, come testimoniano i casi recenti in cui le interrogazioni "evil" e "miserable failure" producevano rispettivamente le pagine su Microsoft e su George Bush.

I punteggi di popolarità sono più robusti, ma anche essi possono essere falsati manipolando la struttura dei link; un'analisi ap-

profondita della vulnerabilità di PageRank è stata recentemente presentata in (Bianchini *et al.*, in pubblicazione). Contenuti civetta possono essere anche serviti direttamente nella fase di crawling, utilizzando in modo scorretto i normali meccanismi previsti per consentire di fornire al crawler versioni parallele che sono più appropriate o informative delle pagine visualizzate dai browser (*cloaking*).

Naturalmente i motori di ricerca adottano una serie di contromisure, per esempio analizzando la distribuzione delle parole nei testi per verificare scostamenti sospetti, o verificando l'esistenza di concentrazioni anomale di link. Va da sé che nel mondo segreto dei motori di ricerca, le tecniche di anti-spam costituiscono, per definizione, la parte più segreta, e la comunità accademica non se ne interessa più di tanto perché lo ritiene un problema essenzialmente commerciale. Il fenomeno dello spam è molto esteso perché estremamente redditizio, con un giro d'affari che Singhal, un ricercatore di Google, ha recentemente stimato in una decina di milioni di euro al giorno.

L'utilizzazione della parola spam ha una storia divertente, che evoca l'ottenimento di cose non richieste. Essa si riferisce ad una scenetta di una serie televisiva americana del 1972, Monty Python's Flying Circus, in cui i due protagonisti entrano in un bar e tentano invano di ordinare dei piatti senza SPAM (una nota carne di maiale in scatola), con la cameriera che contropropone piatti contenenti carne in scatola e un gruppo di avventori vestiti da vichinghi che urlano "spam, spam,.." ad ogni sua proposta.

4. LA PROSSIMA GENERAZIONE: DAI MOTORI DI RICERCA AI MOTORI DI RISPOSTA

Cosa ci riserva il futuro? Anche se l'argomento nel mondo industriale è ovviamente riservato, si possono interpretare i segnali provenienti dai laboratori di ricerca e osservare i risultati delle conferenze di settore, alimentati principalmente dagli studi compiuti nel mondo accademico. L'obiettivo di gran parte delle ricerche in corso, perseguito in vari modi, può essere ricondotto al tentativo di costruiri-

re sistemi in grado di fornire direttamente la risposta desiderata, invece di limitarsi ad indicare un insieme di pagine che probabilmente la contengono.

Anticipando alcune delle conclusioni di questo articolo, la sensazione è che non vedremo un motore di risposta generalista. Già oggi sono disponibili servizi di ricerca specializzati che offrono risposte mirate in domini ristretti, come ad esempio gli acquisti in rete, le ricerche bibliografiche, e le notizie. Questa tendenza probabilmente si estenderà e si generalizzerà. Avremo motori di risposta abili nell'eseguire certi compiti di ricerca, oppure ricerche su alcuni tipi di dati, o ancora nel rispondere alle richieste di determinate tipologie di utenti. Cercheremo ora di precisare meglio le principali direzioni di sviluppo, indicando anche alcuni sistemi prototipali suscettibili di tramutarsi in innovazioni tecnologiche stabili nei motori di ricerca di prossima generazione.

4.1. Visualizzazione e raffinamento dei risultati

Per superare i limiti connessi alla visualizzazione dei risultati mediante lista di riassunti testuali, da vario tempo sono allo studio metodi di presentazione grafica che consentano di mostrare le informazioni associate a più pagine risultato in modo simultaneo, dando al contempo all'utente la possibilità di focalizzare l'attenzione su determinate parti dell'insieme dei risultati recuperati specificandone interattivamente proprietà e vincoli.

Varie rappresentazioni 2D e 3D sono state proposte, specialmente nelle conferenze CHI (*Computer-Human Interaction*) e SIGIR (*Special Interest Group on Information Retrieval*) dell'ACM (*Association for Computing Machinery*), ma la loro adozione da parte dei sistemi commerciali è ostacolata da una serie di problemi tecnici e da una relativa difficoltà d'uso. Un buon compromesso fra la modalità di presentazione attuale e quelle grafiche più dirimpenti è costituito dal "clustering" dei risultati, in cui i risultati vengono partizionati in un insieme di categorie organizzate gerarchicamente che riflettono i contenuti principali delle pagine recuperate. Questo metodo combina inter-

rogazione diretta e "browsing" di una gerarchia: l'effetto per l'utente è quello di navigare attraverso un catalogo web costruito automaticamente sull'insieme dei risultati. I vantaggi sono molteplici: ci si può fare rapidamente un'idea dei contenuti delle pagine web che referenziano l'oggetto dell'interrogazione, si hanno a disposizione scorciatoie per trovare le pagine con le accezioni desiderate nel caso di interrogazioni ambigue, e si possono scoprire facilmente informazioni non note.

Il sistema più famoso è Vivisimo (<http://vivisimo.com>), che fra l'altro non produce direttamente i risultati dei quali fa il clustering, ma li attinge da altri motori di ricerca (secondo una metafora zoologica diffusa, questi ultimi sarebbero gli erbivori delle informazioni e Vivisimo, così come altri motori specializzati nella post-elaborazione, i carnivori). Gli autori del presente articolo hanno sviluppato una variante che consente una navigazione più flessibile (genera un reticolo invece di un albero) ed è basata su un formalismo algebrico – i reticoli concettuali (concept lattices) – che produce cluster più giustificabili e comprensibili di quelli prodotti utilizzando metodi statistici. Questo approccio, descritto in [3], è stato implementato in un sistema prototipale denominato CREDO (*Conceptual REorganization of Documents*), che è disponibile in rete (<http://credo.fub.it>). CREDO ha una piccola comunità di utenti affezionati che noi chiamiamo scherzosamente credenti. È da notare che il clustering dei risultati è presente anche nell'agenda di Google, ed è probabile che lo vedremo presto in linea.

I metodi illustrati finora servono sostanzialmente ad analizzare più velocemente i risultati recuperati in seguito ad una singola interrogazione. La ricerca delle informazioni sul web è però un processo iterativo, oltre che interattivo, in cui l'esame delle pagine recuperate può spingere l'utente a formulare una nuova interrogazione i cui risultati soddisfino meglio il suo bisogno informativo. Come abbiamo già visto la scelta delle parole giuste non è sempre facile, specialmente nel caso di argomenti generici o ambigui che possono essere esaminati da varie angolazioni, potenzialmente sconosciute all'utente.

Poiché è ben noto che in alcuni casi è più facile riconoscere piuttosto che descrivere, alcuni sistemi, per esempio Altavista e Teoma, oltre ai risultati suggeriscono parole o concetti afferenti all'interrogazione che possono essere direttamente adoperati dall'utente per formulare una nuova richiesta, senza perdere troppo tempo ad esaminare i risultati della vecchia. I metodi impiegati spaziano dall'analisi del testo dei primi documenti recuperati o delle pagine che puntano ad essi, alla mappatura dei termini dell'interrogazione su cataloghi per il web o su reti semantiche, o ancora alla similarità con interrogazioni precedenti. Questo tipo di servizio è stato adoperato con alterna fortuna e convinzione da alcuni motori di ricerca nel recente passato; ora sembra che ci sia un interesse maggiore, giustificato anche dal miglioramento della qualità dei suggerimenti forniti e da una probabile maggiore propensione degli utenti alla interazione assistita.

4.2. Personalizzazione

La personalizzazione dei risultati è un vecchio cavallo di battaglia dell'accesso intelligente alle informazioni, per la quale è stata utilizzata anche la metafora degli agenti software. L'osservazione è che il risultato ottimale di una ricerca di informazioni dipende non solo dall'interrogazione, ma anche da chi la fa e per quale motivo. Direct Hit, uno dei primi motori a fornire risultati personalizzati, ha scoperto ad esempio che con un'interrogazione "flower" gli uomini vogliono spedire fiori, le donne ordinare semi e piante da giardino. Queste informazioni non vengono esplicitate dall'utente, ma possono essere ricostruite da varie sorgenti esterne.

Una possibilità, investigata presso i Google Labs, è quella di utilizzare un profilo d'utente e di graduare la sua influenza sui risultati ottenuti senza il profilo, lungo uno spettro di combinazioni che vanno dalla personalizzazione totale all'assenza di personalizzazione. Un approccio più ambizioso ed invasivo, studiato soprattutto in ambiente Microsoft, si basa sull'analisi dei comportamenti dell'utente desunti dalle informazioni presenti sul suo computer: le ricerche ante-

cedenti che ha fatto, i file memorizzati, con chi scambia messaggi di posta e su quale argomento. Un terzo paradigma di calcolo è basato sulle reti sociali. Ci si affilia ad un gruppo, per esempio un gruppo di amici o di colleghi o persone con le quali si hanno interessi comuni e le preferenze espresse da ciascuno influenzano i risultati di ricerche simili condotte dagli altri. Un esempio di ricerca sociale delle informazioni è il sistema Eureka (http://eureka.com).

Il concetto di personalizzazione può evolvere ulteriormente per abbracciare una serie di variabili ambientali legate al momento, al luogo e al tipo di dispositivo utilizzato. I recenti sviluppi dei servizi di reperimento delle informazioni basati sulla localizzazione geografica e le ricerche sull'accesso alle informazioni da terminale mobile convergono, insieme alla personalizzazione, verso la definizione di una ricerca *contestuale* delle informazioni che potrebbe diventare sempre più pervasiva ed efficace.

4.3. Risposte fattuali

Uno dei filoni di ricerca più promettenti è il "question answering", cioè fornire risposte molto sintetiche a domande precise. Un esempio è "chi sono stati gli ultimi tre Presidenti del Consiglio?", oppure "quanto è alto il Monte Everest?". La risposta contiene di solito un'entità prestabilita (data, nome di persona, misura, luogo, quantità ecc.) e viene calcolata combinando metodi statistici ed elaborazione del linguaggio naturale, con la seconda che gioca un ruolo essenziale prima nel riconoscere il tipo d'interrogazione, e poi nell'estrarre il risultato esatto dalle pagine che contengono le parole dell'interrogazione.

Vari risultati sperimentali indicano che con i prototipi sviluppati già è possibile raggiungere percentuali elevate di risposte fattuali corrette. Uno di tali prototipi è stato messo in rete dall'università del Michigan (<http://tanga.si.umich.edu/clair/NSIR/html/nsir.cgi>). Realizzazioni in corso presso vari laboratori di ricerca industriali, inclusi IBM e Microsoft, mirano sia a rendere più efficiente, robusto e preciso il processo di generazione delle risposte fattuali, sia ad estendere il paradigma "question answering" a domande non fattuali.

Fra i motori di ricerca commerciali, Ask Jeeves (<http://www.ask.com>) è stato uno dei primi ad utilizzare tecniche di elaborazione del linguaggio naturale per aumentare la qualità dei risultati o, in taluni casi, per fornire direttamente la risposta. Per esempio, per l'interrogazione "Who won the best actor Oscar in 2003?", Ask Jeeves restituisce la frase "The 2003 Best Actor award was given to Sean Penn in Mystic River".

4.4. Reperimento di informazioni multimediali

Sul web sono presenti milioni di file non testuali (immagini, audio, video) che teoricamente si prestano ad essere indicizzati e quindi reperiti utilizzando varie caratteristiche multimediali di base, combinate a differenti livelli di astrazione [5], per esempio riconoscendo un oggetto visuale dagli elementi visuali atomici (pixel, linee e regioni) e dai loro attributi (dimensione, posizione, colore). Le applicazioni sono molteplici: informazione, intrattenimento, istruzione, turismo. Strumenti per il riconoscimento automatico dei contenuti sarebbero preziosi anche per il filtraggio dei siti, la prevenzione dei crimini e la tutela della proprietà intellettuale sui beni multimediali.

Anche se la ricerca sulla elaborazione dei contenuti audio e video dovrà fare ancora molta strada prima di arrivare a costruire motori di ricerca multimediale per il web di uso generico, analoghi ai motori di ricerca testuali, la direzione è stata tracciata e lo stato attuale della tecnologia già consente alcune applicazioni. L'esempio più noto è la ricerca d'immagini basata sul testo, che avviene utilizzando il testo circostante l'immagine nella pagina web. I motori di ricerca commerciali offrono questo servizio da tempo con buona efficacia. Il reperimento d'immagini può anche essere eseguito calcolando la similarità visuale fra un esempio fornito dall'utente e le immagini da selezionare, seppure bisogna osservare che queste ultime tecniche hanno una utilizzazione pratica ancora limitata. Probabilmente una integrazione fra tecniche basate sul testo e tecniche visuali consentirebbe in alcuni domini di bilanciare meglio l'aumento di precisione e il contenimento dei tempi di calcolo. Vanno in questa direzione

alcune ricerche che mirano a raffinare i risultati di un motore di ricerca di immagini con una post-elaborazione visuale basata su immagini campione.

Anche per l'analisi e il riconoscimento del parlato sono stati fatti grandi progressi. Oggi è possibile estrarre con buona accuratezza le parole da una traccia audio ed utilizzarle per accedere direttamente al segmento che le contiene, in risposta ad una interrogazione specificata in forma testuale (speech retrieval). Il grande pubblico si accorse di quest'applicazione già ai tempi dell'affare Lewinski, con milioni di persone che utilizzarono un servizio disponibile gratuitamente in rete per accedere direttamente ai momenti salienti della deposizione di Clinton, senza doverla ascoltare interamente. Per tornare ai giorni nostri, Speechbot (<http://speechbot.research.com-paq.com>) è un prototipo di speech retrieval sviluppato dagli HP Labs che lavora su una base di trasmissioni radio piuttosto grande (circa 15000 h).

L'idea probabilmente più appassionante e ambiziosa del "multimedia information retrieval" è l'indicizzazione automatica delle sequenze video. Il progetto Informedia (<http://www.informedia.cs.cmu.edu>), iniziato a metà degli anni 90, è stato il pioniere di queste ricerche. Esso ha cercato di ridurre l'enorme complessità del problema agendo inizialmente sulla trascrizione automatica della traccia audio e il suo allineamento temporale col video, con l'obiettivo di attaccare etichette testuali ai frame candidati ad essere reperiti, ed integrando successivamente questo approccio con varie modalità di sintesi visuale. Lo studio dei metodi per la comprensione e l'indicizzazione automatica del video continuerà a vari livelli, ma mentre la complessità dell'elaborazione diretta del contenuto del segnale multimediale fa ritenere che l'interesse maggiore per questo tipo di applicazioni si concentrerà soprattutto presso le aziende che producono e trasmettono contenuti video, l'attenzione dei motori di ricerca sembra rivolgersi al reperimento di frammenti video basato sulle didascalie di accompagnamento delle trasmissioni o sulla trascrizione della traccia audio, in modo concettualmente analogo a quanto avviene per il reperimento d'immagini basato sul testo associato. Blinkx (<http://www.blinkx.tv>) e Google Video (<http://video.google.com>) sono

due motori di ricerca sperimentali per trasmissioni video che dimostrano la fattibilità di questo approccio.

4.5. Motori di ricerca per il web semantico

Nella visione del Web Semantico, le pagine vengono arricchite con annotazioni interpretabili dal computer che catturano il significato del contenuto delle pagine stesse. I vantaggi per l'accesso alle informazioni sono evidenti, in linea di principio. Utilizzando linguaggi come RDF per descrivere il contenuto dei dati e ontologie formali per specificare concetti e regole di derivazione, è possibile trovare risposte che sono collegate *logicamente* alle interrogazioni, superando i limiti sintattici dei motori di ricerca tradizionali.

Attualmente i marcatori semantici non vengono utilizzati dai motori di ricerca nel calcolo dei risultati. Poiché è probabile che vedremo un numero crescente di pagine descritte in modo misto (testo + annotazioni semantiche), il trattamento esplicito di entrambi gli aspetti, con l'integrazione di reperimento testuale ed inferenza logica, rappresenta una sfida ma anche una opportunità per gli attuali motori di ricerca.

Una situazione di complessità intermedia è costituita dalla gestione delle pagine descritte in XML, in cui lo schema, la tipizzazione dei dati e la prossimità strutturale possono essere adoperate a fini semantici. La strutturazione può consentire ad esempio di reperire l'elemento informativo di granularità appropriata, che risponda all'interrogazione in modo esaustivo ma che sia anche sufficientemente specifico. Il vantaggio di considerare pagine XML è anche che si tratta di uno standard di descrizione estremamente diffuso per la pubblicazione e lo scambio dei dati.

Il reperimento di informazioni da dati XML è l'oggetto di INEX (<http://inex.is.informatik.uni-duisburg.de:2004>), un programma pluriennale di ricerca finanziato in parte dalla Comunità Europea. L'obiettivo di INEX è lo sviluppo di tecniche di reperimento delle informazioni che integrino contenuto e struttura, cercando di fondere i metodi di "information retrieval" coi linguaggi di interrogazione per basi di dati strutturate. Per la sperimentazione e valutazione dei proto-

tipi viene utilizzata una collezione di pubblicazioni scientifiche della IEEE descritte in linguaggio XML.

5. CONCLUSIONE

Anche se in un settore caratterizzato da trasformazioni così rapide è sempre difficile fare previsioni, ci sembra di poter dire che la tecnologia della ricerca delle informazioni sul web sarà sempre più caratterizzata, usando un'espressione del linguaggio psicoanalitico, da un processo di "differenziazione e integrazione". La differenziazione consentirà di ottenere servizi ad elevate prestazioni in settori verticali mirati, per rispondere a bisogni specifici utilizzando particolari tipi di dati. Di questo già vediamo vari segnali e le prime manifestazioni, come abbiamo cercato di spiegare nell'articolo. Alle accresciute capacità di differenziazione dovrà necessariamente accompagnarsi un grosso sforzo di integrazione (di cui gli attuali meta-motori di ricerca costituiscono un aspetto modesto), con l'obiettivo di presentare all'utente in modo sintetico e possibilmente adattativo i vari "canali" di risposta che possono essere esaminati. L'integrazione di insiemi di risposta differenti può essere un aspetto cruciale per il miglioramento dell'esperienza finale dell'utente, specialmente se emergeranno anche nuovi paradigmi di presentazione delle informazioni più diretti e familiari, per esempio con l'adozione di metafore legate all'attività lavorativa e allo stile di vita degli utenti stessi.

Bibliografia

- [1] Baeza-Yates R., Ribeiro-Neto B.: *Modern Information Retrieval*. Addison Wesley, 1999.
- [2] Bianchini M., Gori M., Scarselli F.: *Inside Page-Rank*. To appear in ACM Transactions on Internet Technology (TOIT).
- [3] Carpineto C., Romano G.: *Concept Data Analysis: Theory and Applications*. John Wiley & Sons 2004.
- [4] Chakrabarti S.: *Mining the Web*. Morgan Kaufmann, 2003.
- [5] Maybury M.: *Intelligent Multimedia Information Retrieval*. The MIT Press, 1997.
- [6] Salton G., McGill M.: *Introduction to Modern Information Retrieval*. McGraw-Hill, 1983.

- [7] Sherman C., Price G.: *The Invisible Web*. CyberAge Books, 2001. Un sito di riferimento per il marketing: <http://searchenginewatch.com>
- [8] Yang K.: *Combining Text-, Link-, and Classification-based Retrieval Methods to Enhance Information Discovery on the Web*. Doctoral Dissertation, University of North Carolina, 2002. Gli strumenti di search: <http://searchtools.com>

Google Labs:
<http://labs.google.com>

Tutto sui Crawlers:
<http://www.robotstxt.org>

Text REtrieval Conference (TREC):
<http://trec.nist.gov>

Cross Language Evaluation Forum:
<http://www.clef-campaign.org>

Per approfondire

Un elenco aggiornato di risorse:
http://dmoz.org/Computers/Internet/Searching/Search_Engines/

CLAUDIO CARPINETO è ricercatore presso la Fondazione Ugo Bordoni. È autore o co-autore di circa 70 pubblicazioni nei settori dell'intelligenza artificiale, dei sistemi informativi e dell'"information retrieval", incluso il recente libro *Concept Data Analysis: Theory and Applications* (John Wiley & Sons, 2004). Le sue ricerche attuali riguardano lo sviluppo di motori di ricerca intelligenti per internet e intranet.
carpinet@fub.it

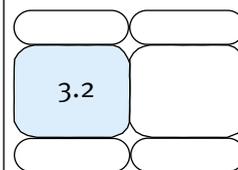
GIOVANNI ROMANO è ricercatore presso la Fondazione Ugo Bordoni. Ha svolto ricerche nel campo dell'intelligenza artificiale, dell'interazione uomo-calcolatore e dell'"information retrieval". Attualmente lavora allo sviluppo di strumenti software per la costruzione di motori di ricerca. È co-autore del libro *Concept Data Analysis: Theory and Applications* (John Wiley & Sons, 2004).
romano@fub.it



XML: RAPPRESENTARE E INTERROGARE DATI SEMI-STRUTTURATI

La nostra società si caratterizza sempre più come società dell'informazione, nella quale l'infrastruttura informatica svolge il ruolo cruciale di gestire la conservazione e lo scambio dei dati. In questo scenario, XML è ormai diventato lo standard per la rappresentazione e lo scambio dei dati in moltissime applicazioni. Questo articolo descrive le caratteristiche di XML che ne hanno determinato il successo e presenta i linguaggi e le tecnologie per la manipolazione di dati codificati in XML.

Daniele Braga
Alessandro Campi
Stefano Ceri



1. DATI O DOCUMENTI? LA CONVERGENZA DI DUE VITE PARALLELE

“**L**a disposizione della memoria su un nastro infinito non è soddisfacente in pratica, per il dispendio di tempo andando avanti e indietro alla ricerca delle unità di informazione richieste nei vari momenti. Questa difficoltà doveva angustiare gli antichi egizi, che scrivevano i loro libri su rotoli di papiro”. Così nel 1947 A. M. Turing, padre dell'informatica teorica e pioniere di quella pratica, provocava una platea di matematici a proposito del principale difetto di un metodo per rappresentare ed elaborare l'informazione che lui stesso aveva teorizzato, e che consentiva di effettuare *qualsiasi* operazione computabile.

Un'accusa analoga poteva essere mossa, alla fine degli anni 90, alla consolidata tecnologia dei database relazionali, per i loro limiti nella gestione efficiente dei *dati semi-strutturati*, cioè informazioni di un tipo relativamente nuovo – per popolarità e diffusione – la cui mole ed importanza da allora sono cre-

sciute sempre più rapidamente, in parallelo con il fenomeno Internet.

Alla base dall'affermazione di Turing, infatti, c'è una considerazione che è evidente per chiunque si occupi di informatica: il modo in cui sono rappresentate le informazioni ha un impatto sulla complessità e sull'efficienza delle applicazioni che devono gestirle. Nel caso in esame, i documenti che costituiscono il Web contengono prevalentemente dati se-

Dati e Documenti nel tempo

Nel mondo dei database

- 1970 database relazionali
- 1990 nested relational model e database object-oriented
- 1995 database semi-strutturati

La gestione dei documenti

- 1986 SGML
- 1990 HTML
- 1992 URL

Dati + documenti = informazione

- 1997 XML
- 1999 XPath 1.0 e XSLT 1.0
- 2004 XQuery 1.0 e XSLT 2.0 (draft quasi consolidati)

mi-strutturati, una tipologia di informazione troppo liberamente strutturata, come già accennato, per essere rigidamente imbrigliata nelle tabelle dei database relazionali e gestita in modo efficiente.

L'esigenza di una rappresentazione efficace per tali documenti, unitamente all'esigenza di flessibilità di utenti e applicazioni che spesso devono *integrare* dati provenienti da sorgenti *eterogenee*, ha favorito la diffusione di **XML**, rapidamente adottato come formato standard per la codifica di informazioni semi-strutturate. Infatti la principale caratteristica di XML, e anche uno dei suoi principali punti di forza, è l'attenuazione della distinzione tra **dati** e **schema dei dati**, con la possibilità di rappresentare un ampio spettro di situazioni intermedie tra gli estremi dell'informazione totalmente destrutturata (ad esempio un segnale audio) e dell'informazione del tutto vincolata a uno schema rigido (come nei database relazionali). In questi mesi, inoltre, si stanno consolidando, dopo un processo lungo, controverso e faticoso ad opera del World Wide Web Consortium (W3C) anche le specifiche di **XPath**, **XQuery** e **XSLT**, i linguaggi candidati ad essere lo standard per interrogare e manipolare dati rappresentati in XML. Questo articolo, dopo una breve introduzione ad XML, presenta dapprima alcuni scenari in cui esso si dimostra utile ed efficace, descrive poi XPath, XSLT e XQuery basandosi su una progressione di esempi, e termina con una panoramica sullo stato dell'arte delle tecnologie collegate ad XML.

2. XML PER RAPPRESENTARE LE INFORMAZIONI

2.1. Il segreto del successo di XML

XML (*eXtensible Markup Language*) è un "linguaggio a marcatori" (*tag language*) estremamente flessibile, derivato da SGML (*Standard Generalized Markup Language*) e nato per gestire la pubblicazione su larga scala di documenti elettronici tramite il Web. In seguito, XML si è rivelato adatto a rappresentare dati in contesti estremamente eterogenei.

Da SGML a XML

SGML è un linguaggio per la definizione di linguaggi di marcatura e offre costrutti per speci-

ficarne la sintassi (i vincoli da rispettare nel comporre i tag) e la semantica (il significato dei tag, cioè il comportamento del programma che li interpreta). SGML si consolida a metà degli anni '80 come sintesi di circa venti anni di sforzi profusi nel mondo dell'editoria elettronica per la standardizzazione di un meccanismo generale di definizione di stili di marcatura diversi, seppure in un contesto omogeneo. Già negli anni '60, infatti, si era avvertita la necessità di superare l'uso di codici di controllo specifici di ogni particolare formato, a vantaggio di uno schema generale di definizione (il cosiddetto "GenCode® concept") che permettesse di separare il contenuto di un documento dalla sua formattazione e di definire una struttura gerarchica in cui piccoli documenti potessero essere inclusi come parti di documenti più ampi. Nel 1969 IBM propose GML (ad opera di Goldfarb, Mosher e Lorie, ed anche acronimo di *Generalized Markup Language*), che per primo introdusse il concetto di "tipo di documento" come classe di documenti che si attengono a precise regole di struttura e di formattazione, definite da uno "schema di marcatura". SGML deriva da GML con l'aggiunta, per esempio, di un sistema di collegamento tra documenti tramite riferimenti.

Alcuni anni dopo, HTML fu definito a partire da SGML come un linguaggio di formattazione per documenti particolari, gli ipertesti. Un ipertesto, come oggi siamo ormai abituati a concepirlo, si rappresenta bene con un linguaggio di marcatura e presenta proprio le problematiche che hanno motivato la nascita di SGML. La semplicità di HTML è stata però ottenuta al prezzo del suo limite principale: l'impossibilità di estenderlo se non in modo "proprietario". Con l'aumentare della mole dei dati pubblicati sul Web si è diffusa l'idea di realizzare un linguaggio più generico, che consentisse di definire tag proprietari, ma che non avesse la complessità di SGML. Così si è aperta la strada che porta ad XML.

XML

Nel 1996 è stato proposto XML, un linguaggio che consentiva di realizzare browser completamente estensibili grazie alla possibilità di definire attraverso il linguaggio e "dentro" i documenti la tipologia dei tag ammessi e la struttura del linguaggio di marcatura. Lo standard

di riferimento era SGML, ma occorre considerare anche esigenze nate col Web e con le sue tecnologie. Uno degli obiettivi era quello di poter includere nel documento una semplice specifica della sua struttura e del suo significato, in modo da renderlo "autocontenuto" dal punto di vista della possibilità di interpretarlo. Per fare ciò si è introdotto il DTD (*Document Type Definition*), una specifica sintetica della struttura di una classe di documenti.

In sintesi XML è:

- Un formato generale usabile in ogni contesto;
- Standardizzato dal W3C (www.w3.org);
- Leggibile sia per le applicazioni software che per l'occhio umano;
- Semplice da analizzare in modo automatico;
- Internazionalizzato (attraverso la codifica UNICODE);
- Semplice ed efficace nel dare semantica al testo;
- Indipendente da piattaforme e fornitori/venditori;
- Una tecnologia che non richiede grossi investimenti.

2.2. L'abc di XML

Un documento XML è un documento testuale le cui sezioni sono racchiuse all'interno di coppie di marcatori (*o tag*). I tag sono distinti dal testo libero (*o PCDATA*, acronimo di Parsable Character DATA) per il fatto di iniziare e finire con le parentesi angolari '<' e '>'. Ogni sezione

è definita da un tag di apertura e un tag di chiusura che si corrispondono e che sono dotati di una propria struttura; in particolare il tag di apertura può contenere una lista di attributi, mentre il tag di chiusura è riconoscibile perché inizia con la sequenza '</'. L'unione di una coppia di tag corrispondenti e del loro contenuto è detta *elemento*; in un documento è sempre presente un unico elemento iniziale, detto *radice*, che racchiude l'intero documento.

Gli elementi possono sia avere *attributi*, elencati nei tag di apertura in forma di coppie nome/valore, per specificarne alcune caratteristiche, sia contenere *sotto-elementi* di arbitraria complessità, cioè che a loro volta possono (ricorsivamente) contenere altri sotto-elementi. Il contenuto di un elemento può anche essere costituito soltanto da PCDATA, o da una combinazione di PCDATA e di sotto-elementi, liberamente mescolati tra loro (in questo ultimo caso si dice che l'elemento è *misto*).

I tag di apertura e di chiusura si corrispondono col rigido vincolo per cui non si può chiudere un elemento finché non sono stati chiusi tutti i suoi sotto-elementi, realizzando così una struttura gerarchica rigidamente strutturata come le espressioni con parentesi correttamente annidate a più livelli. Un documento che rispetti queste semplici regole sintattiche si dice *ben formato*.

Il seguente esempio (Figura 1) mostra come un elenco di dischi di vari produttori può es-

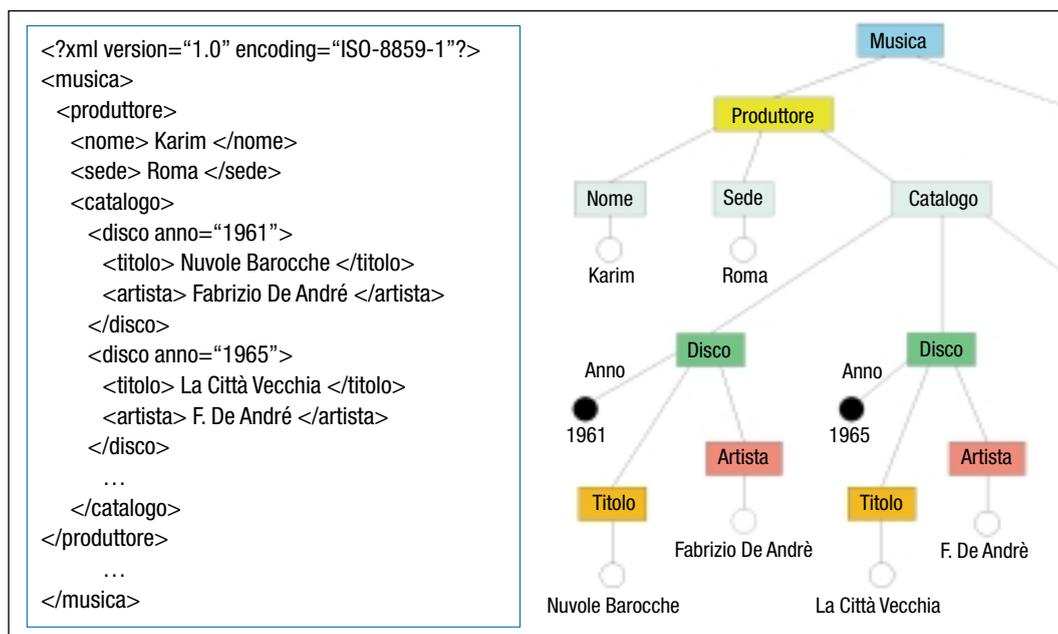


FIGURA 1
Esempio di documento ben formato

0

essere rappresentato in XML; gli elementi che rappresentano ogni disco sono elencati *dentro* (o *sotto*) ad un elemento catalogo, e così via fino all'elemento iniziale (musica). Per questo si dice che il modello dei dati di XML è *gerarchico*, e spesso se ne utilizza una rappresentazione ad albero che aiuta a visualizzare la gerarchia tra i vari elementi.

1

La classe di documenti che rispettano la struttura del documento d'esempio può essere per esempio definita dal DTD seguente:

```
<!ELEMENT musica (produttore+)>
<!ELEMENT produttore (nome, sede, catalogo)>
<!ELEMENT nome (#PCDATA)>
<!ELEMENT sede (#PCDATA)>
<!ELEMENT catalogo (disco+)>
<!ELEMENT disco (titolo, artista)>
<!ATTLIST disco anno CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT titolo (#PCDATA)>
<!ELEMENT artista (#PCDATA)>
```

0

Lo si legge piuttosto intuitivamente come segue: l'elemento radice *musica* contiene una lista di (uno o più) elementi *produttore*, ognuno dei quali è composto di una tripletta di elementi: *nome*, *sede* e *catalogo*. I primi due, come anche in seguito *titolo* e *artista*, contengono solo testo libero (PCDATA), mentre ogni catalogo contiene una lista di (uno o più) elementi disco, ognuno con un attributo "anno" (che essendo dichiarato #REQUIRED non può essere omesso), un titolo e il nome dell'artista. Ogni documento che sia ben formato e che rispetti i vincoli strutturali così specificati si dice *valido* rispetto al DTD.

1

Il principale limite di questo modo di specificare lo schema di una classe di documenti XML è la povertà del sistema di tipizzazione dei dati, che si riduce alla distinzione tra testo libero e tag. In molti contesti questa semplicità si è mostrata un vantaggio competitivo, ma per ovviare a questo limite, nel caso in cui sia necessario definire tipi di dato come nei tradizionali linguaggi di programmazione, è stato introdotto XML Schema (www.w3.org/XML/Schema), che prevede un ampio insieme di tipi di base e numerose primitive di costruzione di tipi complessi a partire dai tipi di base. Una trattazione esaustiva di XML Schema esula dagli scopi di questo articolo.

3. ADOTTARE XML? SCENARI, VANTAGGI, SVANTAGGI E SOLUZIONI IBRIDE

Le ragioni del successo di XML sono molteplici e assai diverse fra loro. Vediamo una rassegna di alcuni dei suoi più importanti ambiti applicativi.

3.1. XML come "lingua franca" per lo scambio di dati

Le caratteristiche di XML che abbiamo descritto mostrano come esso permetta a qualsiasi applicazione di rappresentare informazione in modo indipendente sia dal linguaggio di programmazione in cui è stata sviluppata sia dal sistema operativo su cui è in esecuzione. XML, pertanto, si candida ad essere un ottimo veicolo per scambiare informazioni tra applicazioni arbitrariamente eterogenee. Naturalmente XML può essere usato anche per lo scambio di dati tra componenti di una stessa applicazione: programmatori diversi possono lavorare in modo indipendente, a patto di concordare un formato comune per la rappresentazione dei dati da scambiare, sfruttando così una tecnologia già consolidata per l'interoperabilità esterna, al fine di conseguire una maggiore "apertura" anche nell'architettura interna delle applicazioni.

3.2. XML come linguaggio per la configurazione di sistemi di data management

La semplicità e la standardizzazione di XML ne fanno anche il linguaggio ideale per rappresentare le proprietà di configurazione del software, in virtù del requisito che lo vuole agevolmente leggibile sia per le applicazioni sia per l'occhio umano; il suo uso sistematico permette di avere file di configurazione altrettanto semplici da modificare tanto per intervento "manuale" diretto quanto per intervento mediato via software.

Un esempio significativo di questo uso di XML è *Hibernate* (<http://www.hibernate.org>), un potente strumento che consente al progettista/programmatore di garantire (con poche linee di codice) la *persistenza* degli oggetti di una applicazione Java su database relazionali. Hibernate consente, con poche istruzioni, di "salvare" (rendere persistente) in un database lo stato di un'applicazione Java (assieme a tut-

ti i suoi oggetti) per ricaricarlo in un secondo momento. XML interviene per specificare l'associazione tra le tabelle di un database (e i relativi campi) e le classi dell'applicazione (e i relativi attributi). L'esempio seguente mostra com'è possibile associare la classe Java *Prodotto* (identificata tramite la sua posizione nella gerarchia dei package) alla tabella relazionale *T-PROD*, al fine di mantenere automaticamente allineati i valori degli attributi degli oggetti con quelli dei record della tabella.

```
<hibernate-mapping>
  <class name="com.mokabyte.samples.Prodotto"
    table="T_PROD">
    <property name="id" type="string"/>
    <property name="descrizione" type="string"/>
  </class>
</hibernate-mapping>
```

Quello mostrato è un esempio molto semplice, ma il linguaggio consente la specifica di corrispondenze più sofisticate.

3.3. XML come ponte tra programmatori e grafici

Le attuali applicazioni Web hanno le esigenze contrastanti di pubblicare grandi quantità di dati e di permettere all'utente di visualizzarli o modificarli in modo semplice e intuitivo. Lo sviluppo e la manutenzione di tali applicazioni è un'attività particolarmente complessa, che richiede conoscenze multidisciplinari, per l'impiego di tecniche proprie dell'ingegneria del software unite alla capacità di realizzare pagine dall'aspetto gradevole. Si rende quindi necessaria la collaborazione di esperti informatici e designer grafici: il compito dei primi è realizzare la logica dell'applicazione (gestione dati, logica di business ecc.), realizzando lo strato software che elabora le richieste dell'utente e fornisce le informazioni richieste; il compito dei secondi è realizzare un livello di presentazione che mostri al meglio le informazioni fornite dallo strato sottostante. È importante notare che il livello di presentazione non è necessariamente unico: le richieste possono arrivare da personal computer, che possono accedere ad una versione del sito fornita di una raffinata interfaccia grafica (magari in Flash[®]), oppure da dispositivi

con risorse di calcolo più limitate, come per esempio i telefoni cellulari, che impongono un'interfaccia meno sofisticata. La comunicazione tra i due livelli avviene grazie a XML: lo strato della logica applicativa risponde alle richieste fornendo informazioni codificate in XML, che lo strato di presentazione elabora costruendo dinamicamente un'interfaccia utente codificata in un modo qualsivoglia, ad esempio in Flash oppure con trasformazioni XSLT che generano HTML; vedremo più avanti in questo articolo che proprio XSLT è uno dei linguaggi chiave per utilizzare XML, esemplificando la generazione di pagine HTML.

3.4. ebXML

ebXML (*Electronic Business using eXtensible Markup Language*, <http://www.ebxml.org>) è un insieme di specifiche nate per offrire alle organizzazioni geograficamente distribuite la possibilità di effettuare transazioni commerciali attraverso il Web.

Il valore di ebXML consiste nell'essere uno standard aperto, condiviso a livello globale e nato da una solida esperienza nell'ambito degli scambi commerciali elettronici. ebXML rappresenta un concreto passo avanti verso la creazione di un unico mercato elettronico globale in cui ogni soggetto può entrare liberamente.

3.5. I Web Service

I Web Service, sempre più usati per fornire servizi informatici via Web, rappresentano un nuovo paradigma per la costruzione di *sistemi informativi distribuiti* basati sulla composizione di servizi.

I Web Service sono applicazioni tra loro indipendenti e basate su standard aperti. Possono essere pubblicati, ricercati e liberamente utilizzati attraverso la rete. Possono essere aggregati per creare nuove applicazioni, servizi e processi. Possono essere pubblicati con una "auto-descrizione", che un servizio può sfruttare per ricercare altri servizi con cui tentare di interagire dinamicamente. I pilastri tecnologici su cui poggia l'idea dei Web Service sono tre: **SOAP**, il protocollo per lo scambio di messaggi nella comunicazione con un servizio; **WSDL**, il linguaggio standard per la specifica dell'inter-

faccia di un servizio; **UDDI**, per l'indicizzazione dei servizi. Questi standard sono tutti e tre basati su XML e il motivo principale è che tutti i linguaggi di programmazione e tutte le piattaforme possono spedire e ricevere dati in formato XML. Proprio XML, quindi, rende i Web Service realmente utilizzabili da parte di applicazioni eterogenee e su piattaforme eterogenee.

3.6. Ontologie e Semantic Web

La disponibilità dei Web service rende possibile l'utilizzo di servizi altrui per realizzare parte di un servizio che si vuole offrire. Un requisito fondamentale per poter comporre Web Service eterogenei nella realizzazione di un ulteriore servizio è la disponibilità di descrizioni ricche e molto accurate dei servizi stessi (il loro "contratto di utilizzo"); inoltre, per velocizzare e semplificare la ricerca, il confronto e la negoziazione tra diversi servizi che soddisfano un certo profilo tecnico e contrattuale, tali descrizioni devono essere pubblicamente accessibili e analizzabili tramite un processo automatico.

Il primo passo in questa direzione è rappresentato dalla standardizzazione dei linguaggi di descrizione delle interfacce dei servizi (WSDL, UDDI), ma, guardando gli elenchi di Web Service disponibili in rete (come per esempio <http://www.xmethods.com>), si nota che la ricerca e la pubblicazione di Web Service si basano sull'ipotesi che i termini usati siano comprensibili a tutti i soggetti coinvolti. Al momento sembra ancora impossibile costruire un servizio senza che il client e il server concordino sull'uso dei termini della transazione che si vuole realizzare.

Il motivo per cui è necessaria questa contrattazione preliminare non è connesso ai Web Service in sé, ma a un limite intrinseco di XML: il fatto che XML sia agevolmente trattabile con sistemi automatici non garantisce di per sé la totale interoperabilità. XML permette di inviare messaggi trattabili in modo automatico, ma che quei messaggi abbiano senso per il destinatario non può essere garantito da un'analisi automatica. Con questo non si vuole sminuire il ruolo ricoperto dall'XML, ma precisare che esso può offrire solo interoperabilità *sintattica* e strutturale (e già si è detto quanto questo

sia di aiuto per realizzare applicazioni distribuite), ma non una reale condivisione di conoscenza, quando non vi sia già una *semantica* condivisa.

Come conseguire quindi interoperabilità tra due parti che non sono mai entrate in contatto prima? Per colmare questa lacuna e tentare di rispondere a questa esigenza si può ricorrere alle **ontologie**, che sono specifiche formali di concettualizzazioni che descrivono una comprensione comune di un dominio, la quale è concordata da una pluralità di soggetti e può essere deliberatamente condivisa tra persone diverse e applicazioni diverse.

L'idea fondamentale del **Semantic Web** è affiancare al meccanismo di scambio di dati alla base dei Web Service anche una descrizione dei domini realizzata tramite ontologie. L'uso delle ontologie permetterà in futuro di mediare tra sistemi molto eterogenei e (per esempio) di rendere la ricerca di Web Service più efficace. Le ontologie, nate indipendentemente da XML e dai Web Service, hanno probabilmente trovato nel Semantic Web la loro applicazione fondamentale, ma per uscire dal mondo accademico ed avere una concreta ricaduta sulle tecnologie di più largo uso occorre che siano espresse in un formato standard; anche in questo contesto XML si è rivelato il miglior candidato per rendere le ontologie lo standard di riferimento per denotare il significato dei termini e rappresentare le relazioni che tra essi intercorrono. È auspicabile che in futuro, anche grazie a tutta l'infrastruttura tecnologica messa a disposizione da XML, le ontologie permettano la realizzazione di applicazioni sempre più complesse, che riescano progressivamente a catturare il significato dei loro domini applicativi.

3.7. Standard per la descrizione di domini applicativi in XML

Oltre che per gli scopi precedentemente descritti, XML è usato come standard per rappresentare informazioni in moltissimi domini applicativi specifici. A titolo puramente esemplificativo, ecco alcuni esempi di linguaggi usati in domini molto diversi tra loro, scelti tra i moltissimi standard esistenti:

■ *HealthCare Level Seven* (<http://www.hl7.org>);

- *Geography Markup Language (GML - <http://www.opengeospatial.org>);*
- *Systems Biology Markup Language (SBML - <http://sbml.org>);*
- *XML based Business Reporting standard (XBRL - <http://www.xbrl.org>);*
- *Global Justice XML Data Model (GJXDM - <http://ft.ojp.gov/jxdm>).*

3.8. Il denominatore comune

Cosa lega tutte le applicazioni viste finora? Perché XML si è rivelato particolarmente adatto per tutte? Come si è visto, i contesti applicativi descritti sono estremamente diversi. Ad unirli è solo il bisogno di uno standard semplice e generale. XML risponde a questo bisogno in quanto è semplice da elaborare da parte dei programmi e si basa su un modello dei dati semplice e intuitivo.

3.9. L'ostacolo comune: dove sono i dati e i documenti XML?

Possiamo quindi pensare al Web (di oggi o di domani) come a un grande database di pubblico accesso? È una definizione suggestiva, ma anche poco realistica, perché la maggior parte dei dati è protetta da applicazioni che li mascherano e ne limitano l'accessibilità. Anche se non mancano le applicazioni che espongono i dati in formati aperti (tra cui quelli citati precedentemente), è chiaro che la presenza di numerosi standard per la codifica e o scambio dei dati non può vincere di per sé la resistenza a rendere le informazioni pubblicamente accessibili; ogni comunità tenderà sempre a proteggere il proprio patrimonio informativo.

4. LINGUAGGI DI INTERROGAZIONE E TRASFORMAZIONE

Abbiamo visto come XML sia un linguaggio usato in contesti molto diversi. Questa eterogeneità nell'uso ha portato alla nascita di diversi linguaggi per interrogare e manipolare XML.

Il linguaggio di trasformazione più noto è XSLT (*eXtensible Stylesheet Language Transformations*), usato principalmente per generare pagine HTML partendo da dati in formato XML. Tra i linguaggi di interrogazione

il primo ad essere realmente usato è stato XPath, un linguaggio semplice dal limitato potere espressivo. In parallelo, il mondo relazionale ha prodotto XML/SQL, un'estensione di SQL per i documenti XML. Da ultimo, il W3C sta concludendo il processo di standardizzazione per XQuery, il linguaggio più adatto per le interrogazioni. XQuery e XSLT permettono entrambi di esprimere tutte le possibili interrogazioni e trasformazioni di documenti XML, ma nascono con scopi diversi e ben precisi, e risulta più facile effettuare alcune determinate operazioni con XSLT e altre con XQuery.

4.1. XPath

XPath è il linguaggio base per interrogare dati XML; permette di usare una sintassi simile a quella dei pathname dei file per individuare gli elementi in base alla loro posizione nell'albero che rappresenta il documento (cioè per "navigare" nella struttura, come si dice a volte). Una espressione XPath è una stringa contenente nomi di elementi e operatori di navigazione e selezione, che specificano i "passi" da compiere per raggiungere una particolare porzione del documento a partire dall'elemento radice:

- . indica il nodo corrente
- .. passa al nodo padre del nodo corrente
- / passa a un nodo figlio del nodo corrente
- // passa a un discendente del nodo corrente
- @ passa a un attributo del nodo corrente
- * indica qualsiasi nodo
- [...] predicato di selezione applicato al nodo
- [n] selezione per posizione (n è un numero)

Per esempio:

```
doc(musica.xml)//catalogo/disco
```

estrae tutti gli elementi <disco> contenuti in elementi <catalogo> del documento musica.xml. È anche possibile selezionare gli elementi da estrarre applicando dei filtri con condizioni sul valore di sottoelementi contenuti negli elementi da estrarre, come in questo esempio

```
doc("musica.xml")//catalogo/disco[artista='Bob Dylan']
```

in cui si estraggono gli album di Bob Dylan, o in base a condizioni su sottoelementi di elementi in cui l'elemento di interesse è contenuto. Per esempio, questa interrogazione

```
doc("musica.xml")//catalogo/disco[artista='L. Cohen']/titolo
```

estrae solo i titoli degli album di Leonard Cohen.

4.2. XSL/XSLT

XSLT è un linguaggio basato su regole (chiamate *template*) e usato per trasformare un documento XML in un altro documento XML o in un altro tipo di documento (spesso HTML). Più template che concorrono alla trasformazione di una determinata tipologia di documenti sono raccolti in fogli di stile (o *stylesheet*), e si dice che un dato output è il risultato dell'applicazione del foglio di stile al documento in input.

Ogni template XSLT si applica a specifici elementi XML, opportunamente identificati, e produce come risultato altri elementi XML o qualsiasi altro tipo di informazione testuale. Durante la sua esecuzione, un template può anche aggiungere o eliminare elementi, cambiarne l'ordine e filtrare gli elementi oggetto della trasformazione in base al valore dei loro attributi o sottoelementi. Intuitivamente, possiamo immaginare queste trasformazioni come trasformazioni di alberi XML in altri alberi che descrivono la struttura sintattica del risultato (anche se non XML).

Per selezionare gli elementi su cui agiscono, i template utilizzano XPath. Per caratterizzare

le parti del documento XML sorgente a cui applicare le trasformazioni, quindi, si possono esprimere sia vincoli di tipo strutturale, individuando elementi in specifiche posizioni, sia vincoli sui valori, considerando solo gli elementi le cui sotto-parti soddisfano opportune condizioni.

Il motore di esecuzione delle regole procede a una scansione ordinata del documento sorgente in base alla gerarchia degli elementi (più precisamente, una visita ricorsiva che esplora di ogni nodo tutti i figli seguendo l'ordine da sinistra a destra dell'albero); quando nella scansione si incontra un elemento XML che soddisfa le condizioni di una regola, quest'ultima produce in output il contenuto specificato al suo interno, ed eventualmente specifica come deve proseguire l'esecuzione. Le parti per cui non viene trovata nessuna corrispondenza con i template vengono attraversate senza che ciò abbia alcun effetto (vedi riquadro 1).

Vediamo ora un semplice esempio. Con riferimento al codice del riquadro 1, dopo il prologo, che specifica che uno stylesheet è a tutti gli effetti un documento XML, l'elemento radice `<xsl:stylesheet>` definisce l'inizio del foglio di stile, il cui contenuto è rappresentato, in questo caso, da una sola regola, definita nell'elemento `<xsl:template>`.

L'attributo `match` è usato per definire gli elementi a cui il template deve essere applicato; nell'esempio il template si applica alla sola radice del documento (la semplicissima espressione XPath `'/'` individua, infatti, tale elemento).

La parte rimanente del template (in verde) è la porzione di documento restituita in output; in questo caso si tratta della struttura di una pagina HTML che contiene solo una tabella con una intestazione e nessuna riga. Se visualizzato in un browser, il risultato appare come di seguito.

Album	Autore	Etichetta
-------	--------	-----------

Vediamo ora di definire una trasformazione che riempie la tabella con i dati contenuti nel documento precedentemente considerato. Per farlo, ci serviremo della direttiva `<xsl:value-of>` che seleziona il valore di un

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<xsl:stylesheet
version="1.0"xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform">
  <xsl:template match="/">
    <html>
      <body>
        <table border="1">
          <tr><th>Album</th><th>Autore</th><th>Etichetta</th></tr>
        </table>
      </body>
    </html>
  </xsl:template>
</xsl:stylesheet>
```

Dati in output

RIQUADRO 1

elemento del documento XML sorgente di modo da poterlo inserire nel risultato (vedi riquadro 2).

La direttiva value-of utilizza un attributo **select** per denotare attraverso un'espressione XPath gli elementi di cui produrre in output il contenuto. Nell'esempio qui sopra si estraggono alcuni dati dal secondo album nel catalogo del primo produttore.

Album	Autore	Etichetta
La Città Vecchia	F. De André	Karim

L'esempio presentato funziona correttamente perché estrae solamente un album. Ma se rimuovessimo il selettore di posizione del disco [2] le prime due espressioni XPath restituirebbero tanti dati quanti ve ne sono nel documento, e pertanto i titoli e gli autori sarebbero visualizzati tutti nella stessa casella?

Album	Autore	Etichetta
Nuvole Barocche	Fabrizio De André	Karim
La Città Vecchia..	F. De André	

Per assegnare correttamente titolo, autore e casa discografica a righe diverse della tabella occorre sfruttare un costrutto che definisce una iterazione: `<xsl:for-each>` itera l'esecuzione di quanto contenuto al suo interno per tutti i dati risultanti dalla valutazione di una espressione XPath, ancora una volta espressa nell'attributo select (vedi riquadro 3).

Questa trasformazione, dopo l'inserimento dell'intestazione della tabella, inserisce per ogni album del catalogo, una riga con una casella col titolo e una col nome dell'artista.

Album	Autore	Etichetta
Nuvole Barocche	Fabrizio De André	Karim
La Città Vecchia	F. De André	Karim

Si noti come le select di direttive contenute in una direttiva più esterna utilizzino espressioni XPath che proseguono la discesa nella gerarchia del documento da dove si era fer-

```
<xsl:template match="/">
  <html>
  <body>
    <table border="1">
      <tr> <th> Album</th> <th> Autore </th> <th> Etichetta </th> </tr>
      <tr><td><xsl:value-of
select="produttore[1]/disco[2]/titolo" /></td>
      <td><xsl:value-of
select="produttore[1]/disco[2]/artista" /></td>
      <td><xsl:value-of select="produttore[1]/nome" /></td> </tr>
    </table>
  </body>
</html>
</xsl:template>
```

RIQUADRO 2

```
<xsl:template match="/">
  <html>
  <body>
    <table border="1">
      <tr><th>Album</th><th>Autore</th><th>Etichetta</th></tr>
      <xsl:for-each select="produttore/catalogo/disco">
        <tr> <td><xsl:value-of select="titolo" /></td>
          <td><xsl:value-of select="artista" /></td>
          <td><xsl:value-of select=" ../.. /nome" /></td> </tr>
      </xsl:for-each>
    </table>
  </body>
</html>
</xsl:template>
```

RIQUADRO 3

mata la discesa definita nella direttiva che le contiene. Nell'esempio le select degli elementi che costruiscono le caselle nelle tabelle (**titolo**, **artista**, **../.. /nome**) sono la prosecuzione della path expression **produttore/catalogo/disco**. Si noti inoltre che per includere l'etichetta nella tabella sono necessari due passi "verso l'alto" (realizzati con l'operatore **..** che accede al nodo padre del nodo corrente), fino all'elemento `<produttore>`, da cui poi ridiscendere per recuperarne il nome.

Gli elementi su cui iterare l'applicazione di una trasformazione possono essere filtrati per considerarne solo un sottoinsieme; a questo scopo si sfruttano i predicati ammessi nelle espressioni XPath. Per esempio l'aggiunta di un predicato all'attributo select permette di aggiungere alla tabella solo le righe relative agli album di Ray Charles:

```
<xsl:for-each select="produttore/catalogo/disco[artista='Ray Charles']">
```

Oltre a selezionare in base al valore di un certo sottoelemento, è possibile, con la direttiva `<xsl:sort/>`, ordinare gli elementi in base al valore di uno dei loro sottoelementi, indicato come al solito attraverso una espressione XPath inserita nell'attributo `select`. Per esempio si può ottenere un ordinamento degli album in base all'ordine alfabetico dei loro autori con la seguente modifica:

```
<xsl:for-each select="produttore/catalogo/disco">
  <xsl:sort select="artista"/>
  <tr> <td><xsl:value-of select="titolo"/></td>
    <td><xsl:value-of select="artista"/></td> </tr>
</xsl:for-each>
```

XSLT offre anche caratteristiche mutuete dai linguaggi di programmazione, come la possibilità di effettuare test condizionali. In questo ultimo semplice esempio:

```
<xsl:if test="prezzo != 10">
  ...trasformazione...
</xsl:if>
```

si vincola l'applicazione di una trasformazione al fatto che il prezzo sia diverso da 10.

4.3. XQuery

XQuery è il linguaggio standard per interrogare documenti XML. Il nucleo di XQuery è rappresentato dalle *flwor expression*, il costruito più versatile del linguaggio. Ogni interrogazione è costruita con espressioni che possono essere annidate le une dentro le altre; la costruzione di una flwor expression può essere assimilata a quella di una classica espressione `select-from-where` dell'SQL. Inoltre, XQuery supporta la costruzione di nuovi frammenti XML di arbitraria complessità, sia ex-novo sia ricombinando arbitrariamente i frammenti estratti.

Una flwor expression si compone di cinque clausole (*flwor* deriva dalle loro iniziali):

- for** per iterare l'esecuzione in base a sequenze di valori
- let** per legare singole variabili a intere sequenze di valori

where per esprimere predicati
order by per imporre un ordinamento al risultato

return per costruire il risultato
La `return` e una almeno tra `for` e `let` sono necessarie, le altre sono opzionali. Esempio:

```
for $cd in doc("musica.xml")//disco
return $cd
```

La clausola **for** valuta l'espressione che definisce la variabile `$cd`, ottenendo un insieme di elementi, e itera all'interno di tale insieme, assegnando alla variabile `$cd` un riferimento ad un diverso elemento dell'insieme per ogni iterazione.

La clausola **return** costruisce il risultato dell'interrogazione. L'esempio restituisce semplicemente l'insieme dei valori di `$cd`, cioè di tutti i dischi che si trovano nel documento "musica.xml"

Le clausole **let** consentono di introdurre variabili legate a insiemi di valori:

```
let $tuttiCD := doc("musica.xml")//disco
return count($tuttiCD)
```

La clausola **let** valuta l'espressione (`//disco`) e assegna *l'intero insieme* dei dischi alla variabile `$tuttiCD`. La valutazione di una clausola **let** non effettua alcuna iterazione, ma genera un singolo assegnamento della variabile all'intero insieme restituito dall'espressione, passato poi nella `return` alla funzione che ne conta gli elementi.

La clausola **where** esprime una condizione: solamente gli assegnamenti (operati da `for` e `let`) che la soddisfano sono utilizzati dalla clausola **return**. Le condizioni nella clausola **where** possono contenere diversi predicati in AND o in OR. Per esempio:

```
for $cd in doc("musica.xml")//disco
where $cd/artista="F. De André" and
$cd/@anno<"1980"
return $cd
```

restituisce tutti i dischi di De André antecedenti al 1980. Si noti che `@anno` è preceduto dall'operatore XPath '@' poiché è un attributo. La clausola **return** definisce l'output di una flwor expression, e può essere un nodo, una

sequenza ordinata di nodi o un valore atomico. Può contenere costruttori di elementi, riferimenti a variabili definite nelle clausole `for` e `let` ed espressioni annidate. Un costruttore di elemento consta di un tag iniziale e di un tag finale che racchiudono una lista di espressioni che determinano il contenuto di tale elemento:

```
<ElencoAlbumEurope>
{ for $pro in doc("musica.xml")//produttore
  let $cdEur := $pro/disco[artista="Europe"]
  return <CasaDiscografica>
    { $pro/nome,
      $cdEur/titolo }
    </CasaDiscografica>
}
</ElencoAlbumEurope>
```

In questo caso, all'interno di un unico elemento esterno `ElencoAlbumEurope`, per ogni produttore viene generato un elemento `CasaDiscografica` contenente il nome del produttore e un elenco dei titoli degli album degli Europe tutti i titoli degli album estratti (selezionati in base all'artista) sono inseriti in un unico elemento.

La clausola **order by** ordina i frammenti estratti in base a uno o più sottoelementi. Per esempio questa interrogazione

```
for $cd in doc("musica.xml")//disco
order by $cd/titolo
return <cd>
  { $cd/titolo,
    $cd/artista }
  </cd>
```

estrae i dischi ordinati rispetto al titolo.

Oltre ai costrutti delle FLWOR Expression, XQuery contiene anche un ricco insieme di funzioni predefinite, e offre la possibilità di definire nuove funzioni, in cui si possono usare tutti i costrutti classici della programmazione (if-then-else, cicli while, cicli for,...).

4.4. SQL/XML

SQL/XML (www.sqlx.org) è l'estensione di SQL (parte di ANSI/ISO SQL 2003) per XML. Mentre XQuery è XML-centrico, SQL/XML è SQL-centrico. Esso permette di creare strut-

ture XML con poche e potenti funzioni dedicate. SQL/XML è più semplice da imparare per un utente SQL e può sfruttare gli strumenti a disposizione per il mondo relazionale, ma XQuery, linguaggio nato appositamente per i dati semi-strutturati, si adatta meglio alle peculiarità del diverso modello dei dati.

4.5. XQBE (XQuery By Example)

XQBE (*XQuery By Example*) è un dialetto grafico di XQuery che includiamo in questa rassegna anche perché sviluppato dagli autori presso il Politecnico di Milano. XQBE si ispira a QBE (*Query By Example*), l'interfaccia grafica per la formulazione di semplici interrogazioni SQL di MS Access®. XQBE è stato progettato per essere intuitivo e semplice da mappare su XQuery, ed essere quindi un'interfaccia grafica capace di appoggiarsi sui vari motori XQuery esistenti.

Il successo ottenuto da QBE dimostra che un'interfaccia visuale per un linguaggio di interrogazione è efficace quando è basata su un'astrazione grafica del modello dei dati da interrogare. Rispettando tale principio, XQBE è basato su strutture grafiche ad albero con annotazioni, che rispecchiano la natura gerarchica di XML e in cui gli *elementi* sono rappresentati da rettangoli, gli *attributi* da pallini neri, i PCDATA da pallini bianchi.

XQBE permette di costruire flwor expression annidate, di inserire nuovi elementi XML e di ristrutturare documenti esistenti. Tuttavia il potere espressivo di XQBE è limitato rispetto a quello di XQuery. Per esempio non è supportata la definizione di funzioni da parte dell'utente o l'uso della disgiunzione. Queste limitazioni sono precise scelte progettuali, ritenute necessarie per ottenere un linguaggio sufficientemente semplice.

Nella figura 2 vediamo l'interrogazione XQBE che estrae tutti i dischi di Fabrizio De André precedenti al 1990, mostrandone l'anno di pubblicazione e il titolo.

L'interrogazione è divisa in due parti: la parte sinistra descrive quali condizioni vogliamo porre sui dati da estrarre, la parte destra, il documento da costruire. Nell'esempio la parte sinistra estrae tutti gli elementi

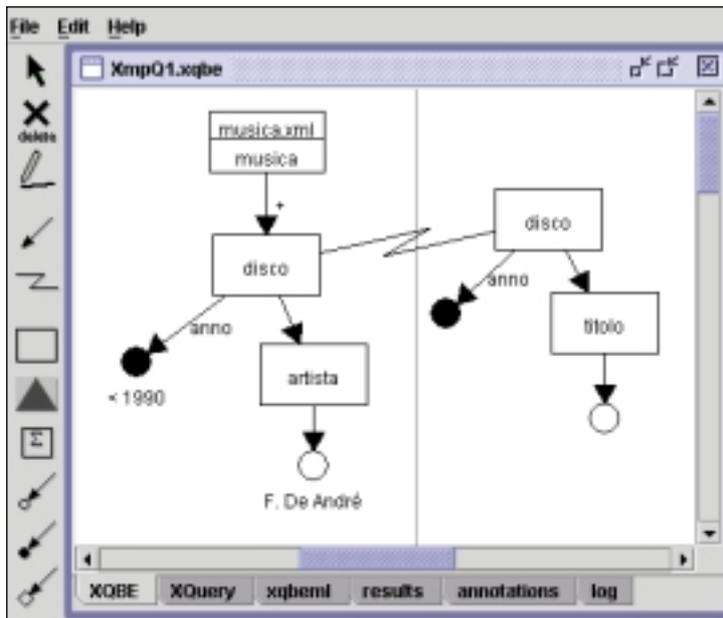


FIGURA 2
Interfaccia grafica XQBE

“disco” che siano discendenti dell’ elemento iniziale (radice) “musica”, che contengano un sotto-elemento “artista” il cui valore è “F. De André” e con un attributo “anno” minore di 1990. I dischi così selezionati sono “trasportati” per mezzo di un *binding edge* (collegamento a forma di fulmine) nella parte destra, dove sono utilizzati per costruire il risultato: nell’esempio se ne trattengono solo l’attributo “anno” e il sotto-elemento “titolo”. Qui di seguito, la stessa interrogazione espressa in XQuery:

```
for $d in doc("musica.xml")/musica//disco
where $d/artista = "F. De André" and $d/@anno < 1990
return <disco anno="{ $d/@anno }">
      { $d/titolo }
</disco>
```

5. LO STATO DELL'ARTE DELLA TECNOLOGIA

Gli strumenti per estrarre informazioni da fonti XML si possono classificare in due tipologie:

1. **Sistemi di pura interrogazione:** si limitano a caricare in memoria centrale i documenti dal file system e a eseguire interrogazioni o trasformazioni su di essi.
2. **Sistemi che offrono un supporto persistente:** hanno un proprio sistema di gestione del-

la memoria (sia volatile sia persistente) e di indicizzazione, che aumentano notevolmente l’efficienza delle interrogazioni e permettono di manipolare documenti molto più grandi di quanto permettano i primi.

5.1. Sistemi di pura interrogazione

Sax e Dom

Le tecnologie più usate dai linguaggi di programmazione sono **DOM** (*Document Object Model*) e **SAX** (*Simple Api for Xml*). Queste due tecnologie offrono ai programmatori alcune potenti astrazioni per realizzare in modo semplice il codice che naviga o modifica dati in formato XML (arrivano da file, dalla rete o siano creati *ad hoc* all’interno dell’applicazione).

Le differenze tra queste due tecnologie sono poche ma importanti, specialmente dal punto di vista delle prestazioni. DOM è un modello a oggetti di facile utilizzo, basato su classi che creano in memoria una rappresentazione ad albero del documento XML. SAX, invece, è una tecnologia più “leggera”, basata su eventi e priva di un proprio modello a oggetti; questo significa che richiede di creare un “parser” *ad hoc* per processare ogni documento XML, ma si tratta anche della soluzione ideale per trattare documenti di grosse dimensioni.

IPSI-XQ

L’IPSI XQuery Demonstrator (IPSI-XQ) è un prototipo che implementa XQuery secondo le specifiche del W3C. Le interrogazioni vengono eseguite precaricando in memoria centrale il documento, quindi è uno strumento poco efficiente per interrogare documenti di grandi dimensioni; è però un ottimo strumento per imparare XQuery.

5.2. Sistemi che offrono un supporto persistente

SQL Server 2005 (Yukon)

Yukon, l’edizione di Microsoft® SQL Server che sarà disponibile a breve (2005), introduce il supporto ad XQuery per interrogare i dati memorizzati in colonne con tipo XML. Per agevolare la scrittura di query, in MS SQL Server Workbench è stata introdotta una finestra di progettazione dedicata a

XQuery, *XQuery Designer*, per creare query semplicemente selezionando e trascinando i nodi XML dalla rappresentazione della struttura dei dati. L'editor di testo può sempre essere utilizzato per aggiungere costrutti XQuery complessi. È possibile utilizzare XQuery Designer per creare query da inserire poi all'interno di istruzioni select o per la creazione di report.

Oracle

Oracle gestisce i dati in formato XML attraverso XSU (XML/SQL Utility), una interfaccia per java e PL/SQL (linguaggio di programmazione proprietario di Oracle). Grazie a XSU, i documenti XML dotati di struttura regolare possono essere inseriti in una o più tabelle. Tutto ciò è facilitato dalla tecnologia object/relational di Oracle, in cui una tabella può contenere altre tabelle annidate; ciò permette di mappare direttamente l'annidamento gerarchico dei documenti XML.

DB2

DB2 gestisce i dati in formato XML sfruttando un file DAD (*Data Access Definition*), a sua volta in formato XML, in cui viene specificata la mappatura dei documenti in input: un documento XML può essere inserito in una o più tabelle utilizzando una funzione che accetta come parametri il documento da processare e un DAD, che indica la colonna di destinazione per ogni elemento XML.

Tamino Software AG

Tamino XML Server di software AG consente l'archiviazione, la gestione e la pubblicazione di documenti XML. Esso offre le capacità di storage nativo XML e di interrogazione dei dati. Inoltre, il prodotto offre servizi cosiddetti "di classe enterprise" (sicurezza, affidabilità, clustering, fault tolerance ecc...). Lo storage service è in grado di immagazzinare dati sia in formato XML che non-XML (per esempio in formato grafico o video), abilitando XML Server anche come soluzione di gestione dei contenuti. Il motore di interrogazione estende XPath e supporta XQuery.

Xyleme

Xyleme, nato nel 1999 per iniziativa del gruppo Verso dell'INRIA, usa le proprietà

strutturali di XML per fornire maggiore precisione alla ricerca di informazioni sul Web. I documenti XML sono letti e memorizzati localmente in un data warehouse su cui sono disponibili servizi per l'acquisizione e la memorizzazione di documenti XML, la classificazione semantica, la gestione temporale delle versioni, l'interrogazione con sofisticate funzioni di ricerca nel testo e la gestione a eventi dei contenuti.

eXist

eXist (<http://exist.sourceforge.net>) è un database XML nativo open source capace di eseguire interrogazioni XQuery in modo efficiente sfruttando una opportuna indicizzazione dei documenti. eXist supporta anche XUpdate, un linguaggio di modifica di dati in formato XML. Il sistema supporta XQuery nella versione del novembre 2003, ad eccezione del supporto per XML Schema.

6. CONCLUSIONI

XML, nato nel 1996 con lo scopo di offrire un metodo semplice, ma generale e rigorosamente formalizzato, per separare il contenuto informativo di un documento dalla sua formattazione, si è presto diffuso anche come linguaggio per rappresentare i dati internamente alle applicazioni informatiche, oltre che come standard per lo scambio di informazioni tra applicazioni che si trovano a cooperare attraverso il Web.

Questo articolo ha dapprima contestualizzato XML da un punto di vista "storico", motivandone la nascita e illustrando il percorso che ha portato alla sua definizione. Successivamente ha offerto una rapida panoramica su alcuni dei molteplici scenari d'uso di XML, e ha poi presentato le principali caratteristiche dei suoi linguaggi di interrogazione, soffermandosi in particolare su XPath, XSLT e XQuery. In conclusione, per dare uno sguardo anche allo stato dell'arte della tecnologia, si sono illustrate le principali caratteristiche di alcuni sistemi di gestione di basi di dati che oggi supportano XML e XQuery.

È opinione degli autori che nei prossimi anni XML e XQuery diverranno sempre più protagonisti dell'evoluzione della rappresentazione e

gestione dei dati, e saranno una parte sempre più rilevante del bagaglio culturale dei professionisti della società dell'informazione.

Bibliografia

[1] XML: <http://www.w3.org/XML/>

[2] XMLSchema: <http://www.w3.org/XML/Schema>

[3] Semantic Web: <http://www.w3.org/2001/sw/>

[4] SOAP: <http://www.w3.org/2000/xp/Group/>

[5] XQBE: <http://dbgroup.elet.polimi.it/xquery/XQBE.html>

[6] XQuery: <http://www.w3.org/XML/Query>

[7] XSLT: <http://www.w3.org/Style/XSL/>

DANIELE BRAGA laureato in Ingegneria Informatica al Politecnico di Milano nel 2001, collabora col gruppo di Basi di Dati all'attività di ricerca sui linguaggi di interrogazione per dati semi-strutturati; sta terminando il dottorato di ricerca in Ingegneria dell'Informazione e partecipa all'attività didattica nell'ambito di vari corsi.
daniele.braga@polimi.it

ALESSANDRO CAMPI è ricercatore del Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano. Vi ha conseguito nel 2004 il Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Informazione. I suoi interessi riguardano i linguaggi di interrogazione visuali per dati semi-strutturati. È titolare del corso di Basi di Dati per Ingegneria delle Telecomunicazioni.
alessandro.campi@polimi.it

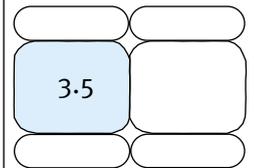
STEFANO CERI professore ordinario del Dipartimento di Elettronica e Informazione al Politecnico di Milano, è stato anche professore-visitatore all'Università di Stanford. I suoi interessi più recenti riguardano l'uso di XML per la gestione dei dati e i metodi e gli strumenti per la progettazione di applicazioni Web. È autore di molte pubblicazioni internazionali, tra cui otto libri e circa duecento articoli su riviste e atti di convegni.
stefano.ceri@polimi.it

UOMO E TECNOLOGIA UNA SIMBIOSI PROBLEMATICA



Giuseppe O. Longo

L'importanza della tecnologia nella definizione dell'uomo è sempre più evidente, ma fin dalla sua comparsa la nostra specie si è ibridata con gli strumenti che costruisce: in realtà *homo sapiens* è sempre stato *homo technologicus*, simbiote di uomo e tecnologia in perpetua trasmutazione. Parte dell'umanità sembra destinata ad una profonda trasformazione culturale, epistemologica e perfino fisiologica. Ma la rapidità del cambiamento, favorito in particolare dalla tecnologia dell'informazione, minaccia il nostro equilibrio biologico ed emotivo e lacera le componenti etiche ed estetiche tradizionali.



1. INTRODUZIONE

Il carattere essenziale della tecnologia (intesa in senso lato come produttrice di strumenti per la conoscenza e l'azione) nei confronti dell'uomo è rivelato dalla retroazione che le innovazioni tecniche esercitano sugli esseri umani e sulla società. Evoluzione biologica ed evoluzione tecnologica si sono intrecciate in un'evoluzione "biotecnologica" in cui sono all'opera meccanismi darwiniani e meccanismi lamarckiani. Al centro di questa evoluzione vi è una successione di "simbionti", cioè di ibridi biotecnologici, ciascuno dei quali è caratterizzato da dosi sempre più cospicue di tecnologia. La tecnologia è sempre un filtro, in quanto potenzia (o fa addirittura emergere) certe caratteristiche, fisiche o cognitive, e ne indebolisce o annulla altre. In particolare, le tecnologie dell'informazione hanno potenziato le capacità razional-computanti del simbiote uomo-computer a scapito delle facoltà emotive, etiche, estetiche ed espressive. Questo filtraggio provoca nel simbiote uno squilibrio

e un disadattamento crescenti, che sono talora causa di rigetto e di sofferenza. La velocità sempre più elevata dell'innovazione tecnica accentua lo squilibrio e spinge a delegare alle macchine una gamma crescente di azioni, funzioni e perfino decisioni. L'attività cognitiva del simbiote è profondamente influenzata da questa delega, che agevola il passaggio dall'attività scientifica, in cui si privilegia la conoscenza analitica e la capacità di previsione, all'attività tecnica, in cui si privilegia l'intervento pratico e la capacità di azione. Tutto ciò ha forti influenze sul corpo: se da una parte esso subisce una rivalutazione rispetto alle visioni platoniche e cartesiane di un tempo, allo stesso tempo il riduzionismo informazionale favorito dalla tecnologia informatica e dalla genomica tenta di cifrare il corpo in codice, negandogli la tradizionale funzione di depositario ultimo dell'identità personale. In questo panorama in ebollizione è difficile individuare punti di riferimento: l'etica e l'estetica sono continuamente lacerate e non hanno il tempo di con-

solidarsi. Tutto accade troppo in fretta per le capacità di adattamento della parte biologica del simbiote, quindi lo sforzo di analisi, pur necessario per la comprensione delle dinamiche in corso, non è certo sufficiente per indirizzarle. Ciò provoca la sensazione che la marcia della tecnologia sia ineluttabile. Entro questo “destino” s’inscrive il finalismo consapevole ma locale dell’intervento umano. Questo finalismo, per la nostra enorme capacità d’intervento e per la nostra limitata capacità di previsione, rischia di trasformare certe contingenze miopi ed effimere in tendenze a lungo termine potenzialmente devastanti per il sistema complessivo “uomo-più-ambiente”. È opportuno sottolineare che in questo articolo si considerano soprattutto gli effetti delle tecnologie della comunicazione e dell’informazione, ma altri fattori, in particolare le biotecnologie, sono destinate ad avere, a breve e a lungo termine, conseguenze forse ancora più cospicue e difficili da prevedere.

2. L’EVOLUZIONE BIOTECNOLOGICA

Quando si riflette sui complessi rapporti tra uomo e tecnologia, si fa spesso la tacita ipotesi che si tratti di due entità distinte e separate, per quanto interagenti e, inoltre, si assume che oggi l’evoluzione dell’uomo sia

lentissima o addirittura ferma, mentre la tecnologia si sviluppa con grande rapidità. A volte non si percepisce che il fenomeno davvero interessante non è tanto la tecnologia in sé, quanto il rapporto uomo-tecnologia. L’attenzione allo sviluppo della tecnologia e gli entusiasmi e i timori che essa suscita fanno spesso trascurare la necessità di una riflessione critica su questi processi nel loro insieme.

Qui le mie premesse sono: primo, tra uomo e tecnologia non esiste distinzione netta, perché da sempre la tecnologia concorre a formare l’*essenza* dell’umano. Secondo, l’evoluzione della tecnologia contribuisce potentemente alla nostra evoluzione, anzi ormai (quasi) *coincide* con essa. Le due evoluzioni, biologica e tecnologica, sono intimamente intrecciate in un’evoluzione “biotecnologica”, al cui centro sta l’unità evolutiva *homo technologicus*, una sorta di ibrido di biologia e tecnologia in via di continua trasformazione. *Homo sapiens* è sempre stato contaminato dalla tecnologia, cioè è sempre stato *homo technologicus* (Immagine 1 - “l’evoluzione biotecnologica”).

In biologia si usa il termine “simbiosi” per indicare uno stretto rapporto di convivenza e di mutuo vantaggio tra due specie diverse. Pur con i limiti di ogni metafora, anche il rapporto tra l’uomo e la tecnologia si può considerare una simbiosi, la cui manifestazione fenotipica, *homo technologicus*, è appunto un *simbionte*. Del resto l’uomo è in simbiosi, da sempre, non solo con i suoi strumenti ma anche con i batteri, i cibi, i medicinali, le piante, gli animali domestici.

In passato l’esistenza e la perpetua trasformazione del *simbionte* biotecnologico erano poco visibili, tanto da autorizzare, in molte filosofie e in molte religioni, una visione *fissista* della natura umana. Oggi, per la velocità e il continuo potenziamento della tecnologia, il fenomeno è diventato piuttosto evidente. Da sempre il corpo umano è stato ampliato da strumenti e apparati che ne hanno esteso e moltiplicato le possibilità d’interazione col mondo, in senso sia conoscitivo sia operativo. Tanto che non è facile stabilire dove termini il corpo: dire che esso è racchiuso nei suoi limiti topologici, segnati dalla pelle, è (sotto il profilo



IMMAGINE 1
Giorgio De Chirico
“Bagni misteriosi
con statua”

La *simbiosi* (dal greco: *vita in comune*) è un'associazione stabile e strettamente integrata tra due organismi di cui uno, detto ospite, costituisce l'*habitat* dell'altro: l'insieme dei due si chiama **simbionte**. L'associazione simbiotica porta vantaggi reciproci ai due organismi, che possono essere due vegetali, due animali oppure un vegetale e un animale. Il termine simbiosi fu coniato nel 1879 dal botanico Anton De Bary (1831-1887) a proposito della relazione tra le alghe e i funghi che vivono insieme formando i licheni. Per molto tempo il mutualismo, pur frequentissimo in natura, fu considerato poco più di una curiosità, ma di recente alcune teorie simbiotiche (o simbiotiche) hanno acquisito grande importanza in biologia evolutiva e in ecologia. Di recente si è cominciato a parlare di simbiosi in termini generalissimi, con riferimento all'ibridazione tra biologico, meccanico ed elettronico. In questo senso l'essere umano è un *simbionte* di biologia e di tecnologia. Visti gli sviluppi della tecnologia il termine ha un significato molto più che metaforico.

comunicativo e attivo) arbitrario e sostanzialmente inesatto.

Osserviamo che l'invenzione e l'uso degli strumenti si configura non tanto come l'aggiunta di *protesi*, quanto come una vera e propria *ibridazione*: la protesi supplisce ad un'abilità compromessa o perduta, mentre, innestandosi nell'uomo, ogni nuovo apparato dà luogo ad un'unità evolutiva (un *simbionte*) di nuovo tipo, in cui possono emergere capacità - percettive, cognitive e attive - inedite e a volte del tutto imprevedute, e di questa evoluzione ibridativa non è possibile indicare i limiti. Come l'uomo fa la tecnologia, così la tecnologia fa l'uomo. Molte delle capacità del *simbionte* uomo-computer, per esempio, erano affatto imprevedibili e non è improprio dire che l'unità cognitiva "uomo-computer" è essenzialmente diversa dall'unità cognitiva "uomo-senza-computer" (Immagine 2 - "la simbiosi").

3. DISADATTAMENTI E SOFFERENZE DEL SIMBIONTE

Se non si può negare l'effetto di retroazione trasformativa delle tecnologie sull'uomo, è anche vero che questo effetto si esercita in modo diverso sulle diverse componenti (cognitiva, emotiva, percettiva, fisiologica, fenotipica, genotipica ecc.) dell'uomo, le quali si evolvono con velocità diversa. Alcune caratteristiche, per esempio quelle emotive ed espressive, manifestano un'evoluzione molto più lenta di altre, per esempio di quelle cognitive. Le caratteristiche più stabili da una parte autorizzano a parlare di "natura umana" come di un dato quasi immutabile, dall'altra tendono a opporsi all'ibridazione tecnologica: ciò causa gravi problemi di disadattamento e acute



sofferenze (a questo proposito alcuni affermano che il corpo è obsoleto, e sostengono la necessità di una sua trasformazione ciborganica). Si tratta delle sofferenze che sempre accompagnano la trasmutazione, la nascita, il trapasso, il cambiamento. Evoluzione biologica ed evoluzione biotecnologica sono in certa misura eterogenee e sono eterogenee le due componenti dell'ibrido uomo-macchina. Le sofferenze derivanti da questi disadattamenti andrebbero ad aggiungersi a quelle che abbiamo ereditato dalla nostra natura biologica, anche se la tecnologia è riuscita, per converso, ad attenuare alcune delle sofferenze tradizionali. D'altra parte le sofferenze hanno come contropartita positiva la comparsa di capacità inedite: fare un bilancio quantitativo o almeno qualitativo dei pro e dei contro è ovviamente impossibile e la valutazione è lasciata a ciascuno (Immagine 3 - "l'ibridazione dell'uomo").

Poiché, secondo la mia premessa, la tecnologia, fa parte integrante dell'uomo, l'*homo technologicus* non è "*homo sapiens* più tec-

IMMAGINE 2

Arturo Nathan
"Scoglio incantato"

nologia”, ma è “*homo sapiens* trasformato dalla tecnologia”, dunque è, di volta in volta, un’unità evolutiva nuova, sottoposta ad un nuovo tipo di evoluzione in un ambiente nuovo. Nell’evoluzione biotecnologica sono all’opera sia meccanismi darwiniani (mutazione e selezione) sia meccanismi lamarckiani (eredità dei caratteri acquisiti, per apprendimento e imitazione), in un groviglio difficile da sbrogliare. Inoltre i simbiotici biotecnologici si stanno collegando a rete tra loro per formare una sorta di *creatura planetaria*, la quale potrebbe costituire un nuovo stadio evolutivo di tipo *supersocietario*. Benché sia immerso nel mondo naturale e sia quindi soggetto alle sue leggi, il simbiote vive anche in un ambiente artificiale, fortemente segnato dalle informazioni, dai simboli, dalla comunicazione e, sempre più, dalla *virtualità*.

È vero, si tratta di uno scenario: ma oggi i panorami del presente e le ipotesi sul futuro si costruiscono spesso con questo metodo semiartigianale, visto che le armi della previsione razionale e rigorosa si stanno spuntando contro la complessità crescente del mondo artificiale, gli effetti a volte grandiosi di fluttuazioni anche minime e la velocità dei mutamenti. È interessante notare che di fronte a queste difficoltà di previsione ac-

quistino credito di strumenti le congetture, spesso ispirate all’ottimismo o al pessimismo più che a valutazioni asettiche: si ricorre cioè a una *descrizione narrativa* di futuri possibili che somiglia alquanto alla fantascienza. Queste narrazioni, peraltro, possiedono una certa capacità diagnostica e predittiva, se non altro perché nascono da sensibilità diffuse e rispecchiano quindi tendenze ancora latenti ma prossime alla manifestazione. Ma, come tutte le narrazioni dove scienza e fantasia si legano, anche queste sono intrise di attese eccessive o all’opposto di paure ingiustificate, elementi che si ritrovano anche nelle valutazioni acritiche dell’uomo comune e le cui radici stanno nelle valenze *magiche* della tecnologia. È da questi suoi aspetti magici e pre-razionali che derivano lo stupore miracolistico che essa suscita, le aspettative taumaturgiche (si pensi alle attese suscitate dall’introduzione dell’informatica nelle scuole) e il forte carattere *mitopoietico* della tecnologia: la Rete ci renderebbe onniscienti e quindi onnipotenti, le biotecnologie ci prometterebbero un futuro di immortalità asintotica.

Se la tecnologia e l’uomo sono legati in modo essenziale, non è corretto affermare, come spesso si fa, che la tecnologia disumanizza l’uomo. Queste preoccupazioni derivano dal mito della “purezza” che, anche a proposito della natura umana, come della razza, della lingua e della scienza, è duro a morire. I problemi non derivano tanto da uno scostamento progressivo da un’ipotetica natura umana, primordiale e genuina, da conservare e difendere ad ogni costo, quanto dallo squilibrio crescente tra la parte biologica e la parte tecnologica del simbiote, dall’accelerazione progressiva dello sviluppo tecnologico, dall’impossibilità di assorbire in modo equilibrato le innovazioni e le perturbazioni che esse provocano.

Non si tratta dunque di considerare la tecnologia come un’entità esterna e invasiva, quanto di analizzare i motivi dello squilibrio e proporre i rimedi. Lo squilibrio si manifesta come un vero e proprio disadattamento. Le valenze e le caratteristiche umane più stabili e profonde, quelle emotive, comunicative, espressive, insomma i caratteri atavici, le eredità più legate al corpo, che pe-



IMMAGINE 3

Max Ernst
“La vestizione
della sposa”

scano negli strati evolutivi più lontani nel tempo e che hanno avuto una parte fondamentale nella sopravvivenza e nello sviluppo culturale della nostra specie, certo non spariscono di colpo solo perché la tecnologia ibrida il nostro corpo e cervello con i suoi dispositivi, che inaugurano o potenziano facoltà più recenti, come quelle di tipo razionale e computante, e tendono a soffocare le altre. L'adattamento richiede periodi lunghi e nel frattempo si manifesta il disadattamento, che può arrivare al *rigetto*.

I disagi e disarmonie dovuti all'incompatibilità, più o meno transitoria, tra uomo e macchina (o meglio tra le diverse componenti del simbiote) sono sotto gli occhi di tutti. Ne sono una prova i molti sforzi che si dedicano alla costruzione di macchine "socievoli" (*user-friendly*), con l'intento di estendere la zona di anestesia in cui possono insinuarsi le componenti artificiali. Insomma, le strutture antiche del corpo si oppongono in qualche misura all'invasione delle più recenti costruzioni della tecnologia e il nostro finalismo cosciente cerca di attenuare questa resistenza con esiti difficili da prevedere ma in ogni caso gravidi di problemi. Se è vero, com'è stato detto, che la tecnologia è un destino, cerchiamo almeno di analizzarlo e, se possibile, di indirizzarlo secondo ciò che riteniamo più saggio e meno traumatico.

4. ETICA ED ESTETICA NEL NUOVO SCENARIO

Qui è importante accennare al problema etico-estetico, che si pone in termini nuovi per il simbiote biotecnologico e per la creatura planetaria in via di formazione. Qual è l'*estetica* del simbiote? Qual è la sua *etica*? Che legame c'è tra la sua estetica e la sua etica? Quale mondo (ri)crea il simbiote? Queste domande sono molto importanti nel caso dell'uomo a scarsa tecnologia, per il quale etica ed estetica sono legate a doppio filo perché entrambe pescano nella storia evolutiva e sono "rispecchiamenti" della vita e dell'evoluzione. In altre parole, l'*estetica*, intesa come sensibilità al bello e più in generale come partecipazione sensibile ed emotiva a ciò che ci sta intorno (esseri umani, animali, paesaggi ecc.), deriva dall'im-

mersione e dal contatto che abbiamo avuto con l'ambiente durante la nostra lunghissima storia evolutiva. Questa storia comune ha prodotto in ciascuno di noi una sensazione di armonia con l'ambiente, sensazione forte ma difficile da definire in modo preciso, tanto che "spiegare" che cosa sia il bello è molto arduo. Potremmo quindi dire che *l'estetica è il sentimento soggettivo dell'immersione armonica nell'ambiente*. D'altra parte, certe nostre condotte sono utili a mantenere quest'armonia e questo reciproco adattamento tra noi e l'ambiente, mentre altre condotte minano e indeboliscono quest'armonia. I comportamenti armonici rientrano nell'*etica*, anzi la costituiscono: si può quindi dire che *l'etica è il sentimento di rispetto e di azione armonica con l'ambiente di cui facciamo parte*. Di conseguenza l'*etica* ci consente di mantenere l'*estetica* e l'*estetica* ci serve da guida nell'operare etico. In un certo senso, quindi, etica ed estetica coincidono (o sono "isomorfe") perché derivano entrambe dalla forte coimplicazione tra specie e ambiente: sono le due facce della stessa medaglia.

Bisogna aggiungere che l'*etica* e l'*estetica* sono *storiche*, cioè si evolvono, sia a livello di specie sia a livello di individuo: le esperienze fatte in un contesto che varia producono novità etiche ed estetiche, che sembrano trovare il loro corrispettivo fisiologico concreto nell'attivazione di circuiti cerebrali specifici. Per effetto della separazione cartesiana e baconiana tra le componenti dell'uomo e tra uomo e natura e per effetto del pensiero scientifico e della tecnologia, da tempo, e oggi più che mai, l'*etica*, cioè l'insieme dei comportamenti "giusti" per la sopravvivenza dinamica armoniosa, è sottoposta ad una tensione fortissima, e ciò sembra avere conseguenze importanti anche per l'*estetica*. Etica ed estetica sono modificate anche dal forte *effetto semplificante* che la tecnologia opera sull'immagine del mondo e dell'uomo. Tutto ciò ha portato ad una grave crisi dell'*estetica* cui forse non è estraneo il processo di astrazione e di codifica che è alla base del formalismo scientifico e non solo scientifico: al contrario dei messaggi della natura, i segni e i codici dell'uomo sono *arbitrari*. In musica, in



IMMAGINE 4
René Magritte
"La vittoria"

architettura nelle arti figurative e in parte anche nella narrativa l'estetica è stata scardinata: all'armonia tra l'uomo e la sua immersione evolutiva nella natura è stata sostituita l'*arbitrarietà segnica e combinatoria*, come dimostrano certe tendenze musicali o pittoriche (Immagine 4 - "l'arbitrarietà del codice").

Con l'estroflessione cognitiva rappresentata dalle macchine informatiche e dalla Rete il problema etico-estetico si pone in termini nuovi: il comportamento etico-estetico ha la sua base nelle connessioni cerebrali, ma con l'ibridazione ciborganica la nozione di connessione cerebrale si allarga a comprendere sia le connessioni biologiche (endocraniche) sia quelle artificiali (esocraniche ma anche endocraniche, ottenute con l'impianto nel cervello di circuiti e piastrine). Allora la domanda diventa: quali connessioni "cerebrali" in senso generalizzato (biologiche e artificiali) sono attivate dalle esperienze e a quali comportamenti etico-estetici porta questa attivazione? Inoltre: come interagiscono questi nuovi collegamenti con il complesso delle connessioni preesistenti? Ecco il significato concreto delle domande poste sopra. Nel caso del simbionte si può parlare di rispecchiamento della "vita"? O di "armo-

nia" o addirittura di "coincidenza" tra etica ed estetica, o di "rispetto" per le esigenze vitali, biologiche o d'altro tipo del sistema globale? Qual è l'evoluzione del simbionte? E in quale "ambiente" o "mondo" avviene questa evoluzione?

Anche se possono sembrare troppo "filosofiche", queste domande sono importanti, perché vanno alla radice del nostro rapporto con le macchine e della nostra evoluzione biotecnologica e gettano nuova luce sull'importanza ineludibile di quel mistero inafferrabile che è il corpo.

5. LA CREATURA PLANETARIA

Abbiamo parlato di disadattamenti all'interno del simbionte *homo technologicus*, ma anche nella società si possono osservare fenomeni di squilibrio. Per esempio si osserva un divario tra i Paesi dotati e i Paesi sprovvisti di tecnologie informazionali (*digital divide*), divario che sembra addirittura allargarsi. All'interno di ogni Paese si osservano poi divari di alfabetizzazione tra strati sociali, fasce d'età e via dicendo. C'è poi, a livello diverso, un divario crescente tra le competenze costruttive dei pochi progettisti e le competenze puramente manipolative dei molti utenti. Si osserva anche una forte disparità tra domanda e offerta di tecnologia informatica: mentre per le tecnologie del passato l'offerta seguiva la domanda e di rado si osservava il contrario, oggi l'offerta di macchine e sistemi nuovi è così incalzante da provocare disorientamento e una certa incapacità nell'uso di ciò che esiste. La domanda viene creata dall'offerta. Per esempio, nel caso della didattica, molti insegnanti rifiutano i computer perché non sanno usarli, altri li vogliono, ma non sanno che cosa farsene e li usano in modo improprio, o meglio nei modi propri delle tecnologie precedenti. Si tratta certo di fenomeni transitori, ma non per questo meno degni di attenzione.

Quanto agli aspetti socioeconomici, non bisogna dimenticare che dietro tutto ciò c'è un vasto e potente apparato economico, alimentato dal denaro e intessuto di tecnologia, autoreferenziale, privo di ideologie forti e animato solo da una vaga ma potente ten-

denza, tipica degli organismi biologici, al mantenimento e al rafforzamento delle proprie strutture. I collegamenti a rete sempre più fitti rendono appropriata la metafora della *creatura planetaria* di cui assisteremo ai primi stadi di formazione. Valendosi dell'apparato e della tecnologia e innervandosi nella Rete, questa creatura tenderebbe ad assoggettare a sé tutti i desideri e tutte le aspirazioni individuali, all'insegna di una cieca e acefala volontà di essere (Immagine 5 - "la creatura planetaria").

Questo disegno imperialistico (non deliberato ma non per questo meno preciso), ha come contraltare la presenza di strati di popolazione emarginati, che rifiutano di delegare le proprie prerogative e di farsi egemonizzare dall'economia di mercato e dalle anonime tecnologie che la sostengono. Queste frange sono portate a rovesciare la situazione con azioni di sabotaggio e dopo l'undici settembre sappiamo bene che non si tratta solo di ipotesi teoriche. Il sabotaggio ha buone probabilità di riuscita per la *fragilità* dell'apparato tecnoeconomico, fragilità dovuta alla programmatica carenza di *ridondanza* nelle costruzioni tecnologiche: in questo le strutture artificiali sono molto diverse da quelle naturali, che manifestano una grande robustezza per la presenza di ricche componenti vicarianti e ripetitive.

6. LA DELEGA TECNOLOGICA

Nel Novecento la tecnologia, per ragioni economiche e per il suo carattere autocatalizzante, ha subito una forte accelerazione. Ma l'entità del fenomeno non si spiegherebbe senza tener conto di una novità fondamentale: accanto alle tecnologie della materia e dell'energia è sorta la tecnologia dell'informazione, che ha costruito le *macchine della mente*, cioè i sistemi di elaborazione e di trasmissione dei dati, computer e reti. Grazie a questi sistemi, la tecnologia è letteralmente esplosa. D'ora in poi mi soffermerò soprattutto sulla tecnologia dell'informazione e della comunicazione, le cui conseguenze a livello cognitivo, culturale, sociale e tecnico, sono enormi.

Le macchine della mente rendono molto evidente un fenomeno che riguarda tutta la



IMMAGINE 5
Max Ernst
"Tutta la città"

tecnologia: la *delega*, cioè il trasferimento alle macchine di funzioni, attività, capacità e perfino decisioni che un tempo appartenevano all'uomo. Il fenomeno della delega è presente in ogni società un minimo complessa e si configura come ripartizione dei compiti tra i membri della società. Nascono così le figure professionali, che vanno dal barbiere all'avvocato al medico. Ma oggi, accanto alla delega specialistica, si manifesta sempre più anche la delega tecnologica, operata cioè a favore delle macchine. Questo tipo di delega è ormai obbligato: abbiamo affidato alle macchine tanta parte delle nostre attività che è impensabile riappropriarcene. La delega comporta ovviamente un rassicurante scarico di *responsabilità* anche in ambiti in cui le conseguenze di questa abdicazione potrebbero essere inquietanti (medicina, insegnamento).

A questo proposito è bene ribadire esplicitamente che ogni tecnologia è un *filtro*, nel senso che il simbiote biotecnologico derivante dall'adozione di una data tecnologia sa fare certe cose meglio del simbiote precedente ma fa peggio certe altre cose. Insomma la tecnologia non aumenta le nostre prestazioni e capacità in modo uniforme: se qualcosa si guadagna, qualcosa si perde. La videoscrittura, accanto agli evidenti vantaggi che offre, altera in modo irreversibile lo stile della scrittura e indebolisce molto la nostra capacità di tracciare le parole a mano, con la penna. L'uso delle calcolatrici ha portato al trasferimento (delega) della capacità computante dal bambino alla macchina, per cui solo nella simbiosi (irreversi-

bile) con il suo apparecchietto il bambino può far di conto.

7. CONSEGUENZE CULTURALI ED EPISTEMOLOGICHE

Sulla cultura la tecnologia informazionale ha effetti imponenti: essa ridefinisce radicalmente molti concetti importanti. Termini come "libertà", "democrazia", "intelligenza", "realtà", "storia", "tempo", "memoria" hanno oggi significati nuovi e talora irricognoscibili e sorprendenti. E per lo più questi mutamenti di significato sono inavvertiti sia perché sono lenti, quasi impercettibili, sia perché avvengono "durante il gioco": non esistono cioè momenti, in cui l'uso del termine, per esempio "intelligenza", venga sospeso per un certo tempo da un giudice o arbitro esterno il quale spieghi - a quanti hanno fin lì usato questo termine in un'accezione che sembrava chiara a tutti e da tutti era tacitamente accettata - che esso ha ormai assunto un altro significato, in seguito per esempio alle ricerche sull'intelligenza degli animali, sull'intelligenza artificiale o sull'intelligenza emotiva. Non esiste insomma un arbitro che dica: "signori, voi continuate a parlare di "intelligenza" come ne parlavate trent'anni fa, ma bisogna che riconosciate esplicitamente che oggi il termine ha un altro significato: è per questo che non vi capite più". In assenza di questo momento di sospensione, accade che lo slittamento semantico sia percepito da alcuni, più sensibili e informati, e non da altri, meno attenti o più conservatori: nascono così incomprensioni e ambiguità, che durano fino a quando la situazione diventa insostenibile e non si può fare a meno di ridiscutere il termine, cambiandone le regole d'uso.

Cospicue sono poi le conseguenze dell'informatica su alcune discipline particolari. In *matematica* l'introduzione dei calcolatori ha messo in crisi la nozione classica di dimostrazione e ha consentito lo sviluppo di intere branche (la teoria degli automi, i linguaggi formali, la teoria della computazione), che si distinguono da quelle tradizionali per l'importanza attribuita alle risorse (tempo, denaro, potenza di calcolo), ai procedimenti per raggiungere i risultati e alla loro precisione. In *fisica* è stato proprio

grazie al calcolatore che si sono scoperti (o forse riscoperti) gli effetti di complessità che hanno portato ad una profonda revisione concettuale dei sistemi dinamici e alla formulazione teorica del cosiddetto caos deterministico. Il calcolatore ha consentito uno sviluppo straordinario della *simulazione*, influenzando notevolmente la nostra percezione del tempo. L'informatica ha consentito e imposto, un nuovo tipo di analisi grammaticale e strutturale delle lingue, preludio e conseguenza del tentativo (ispirato ad un tipico *mito informazionale*) di costruire il traduttore universale. Con l'avvento dell'intelligenza artificiale ci siamo avventurati verso nuove concezioni sull'apprendimento, sull'epistemologia e sul rapporto mente-corpo. L'intelligenza artificiale ha avviato un'importante ricerca di epistemologia sperimentale improntata al riduzionismo mentalistico (di cui, puntualmente, ha poi scoperto le limitazioni). Inoltre, la realtà virtuale ci promette fantastiche passeggiate in un *yberspazio* di cui non si conoscono ancora né i confini né il paesaggio.

Infine, si è scoperto che accanto al mondo della materia, studiato da secoli, esiste un universo dell'informazione, della struttura, del significato, dell'ordine. A partire dal secondo dopoguerra è cominciata un'indagine sistematica di questo universo ed è stata formulata una sorta di *teoria generale dell'informazione*, che ha dato risultati molto interessanti. Si è scoperto che nel mondo dell'informazione vigono leggi diverse da quelle cui ci ha abituato la fisica classica e talora sorprendenti. Per esempio non vale un principio di conservazione dell'informazione (la quale si moltiplica e non si divide per il numero degli utenti). L'informazione è costituita da *differenze* rilevabili, interpretabili e sfruttabili per conseguire scopi pratici. Ogni messaggio (o assenza di messaggio) può rinviare ad altri possibili messaggi diversi: possiamo essere consapevoli di *non* ricevere una lettera.

Il significato di un messaggio non sta nel messaggio, ma nell'interazione tra messaggio e destinatario, perché quest'ultimo interpreta l'informazione in base ai suoi interessi, alla sua storia personale, alle sue capacità, al suo rapporto con la sorgente del

messaggio. La stessa energia sonora modulata (la stessa frase) può scatenare reazioni diversissime in ascoltatori diversi. L'assenza di messaggi costituisce un messaggio. Nell'universo dell'informazione ogni cosa può rappresentare qualsiasi altra cosa; nascono così i codici: le lingue naturali, i linguaggi formali, le simbologie settoriali e specialistiche. È davvero un mondo "creato" dall'uomo (e più in generale dagli organismi viventi), il cui studio ha portato alla nascita di discipline nuove, dalla semiologia alla cibernetica, dalla teoria dei sistemi all'intelligenza artificiale alla teoria dei controlli, che si situano all'incrocio di settori un tempo lontani e separati.

8. L'ARBITRARIETÀ DEI CODICI E IL CORPO

La "scoperta" dell'informazione ha avuto conseguenze culturali e scientifiche importantissime: da quando si parla di informazione, sembra che tutto sia diventato informazione e che la materia e l'energia siano scomparse nel nulla. Questo *riduzionismo informazionale* da una parte sta alla base del tentativo di ridurre l'essere umano a puro codice (sequenziamento del genoma e prospettive del *postumano disincarnato*) e dall'altra ha sostanziato il tentativo dell'intelligenza artificiale funzionalista di svincolarsi dal corpo. Ma l'informazione ha sempre bisogno di un supporto materiale con il quale ha rapporti che non si possono liquidare considerandoli occasionali e inessenziali. Così la scoperta della *natura arbitraria dei codici*, che tanta parte ha avuto nelle rivoluzioni culturali, artistiche (si pensi al cubismo e alla dodecafonìa) e tecnoscientifiche del Novecento deve fare i conti con l'intimo legame tra un codice e la sua incorporazione fenomenica in un supporto (Immagine 6 - "la pesantezza della materia").

È proprio la natura del supporto a limitare l'arbitrarietà del codice: nel caso dell'ontogenesi umana, per esempio, l'interazione costruttiva del fenotipo con l'ambiente in cui è immerso introduce nello sviluppo dell'organismo una serie di vincoli che non possono essere trasgrediti e, per converso,

una serie di variazioni imprevedibili a priori. È anche questo il motivo del fallimento dell'ambizione dell'intelligenza artificiale funzionalista forte, che vorrebbe replicare l'intelligenza umana su un supporto diverso dal supporto sistemico tradizionale "cervello-nel corpo-nell'ambiente", tanto che la tendenza attuale (rappresentata dalla *robotica*) è quella di aggiungere al cervello artificiale disincarnato un supporto (corpo) artificiale grazie al quale simulare l'interazione storico-evolutiva con l'ambiente.

Torniamo ora all'evoluzione biotecnologica, la quale, come si è detto, rispetto alla lentezza dell'evoluzione biologica, retta dai farraginosi meccanismi darwiniani di mutazione e selezione, è segnata da mutamenti sempre più rapidi e affannosi, come se mancassero retroazioni negative equilibratrici a frenarne la corsa: i lenti processi collaudati della natura, che procede per tentativi ed errori, sono spesso cortocircuitati da meccanismi di attuazione di tipo lamarckiano, grazie ai quali gli adattamenti immediati alle novità tendono a radicarsi subito nella struttura profonda della società. La rapidità di questa evoluzione si accompagna peraltro ad una grande *fragilità*. Tra le due evoluzioni si possono riscontrare continuità e insieme discontinuità, e questi aspetti divengono visibili soprattutto quando si considera il corpo, sempre più mediato e trasformato dalla tecnologia.



IMMAGINE 6

Mario Sironi: "Il gasometro"

In particolare sono interessanti gli effetti prodotti dalla *telematica* e dalla realtà *virtuale*, le quali in sostanza operano una diffusione comunicativa e, rispettivamente, percettiva e operativa del corpo. Per esempio con gli strumenti della realtà virtuale, il corpo si estende nello spazio in modi inediti fino ad occupare tutto il globo. La distanza viene annullata e la *sensibilità* viene dislocata, ma in modo paradossale, negandone l'attributo primo, quello della prossimità o della presenza, dunque attraverso l'artificio e la *simulazione*. Con la realtà virtuale, il potenziamento del corpo avviene, in ultima analisi, attraverso il suo opposto, cioè la negazione: si può fare un viaggio lunghissimo senza muoversi dalla poltrona, dunque senza attuare la dislocazione spaziotemporale di cui il corpo ha (aveva) bisogno per percepire, dunque per esistere.

La tele-azione comporta una tele-esistenza e la perdita del mondo *spaziotemporale* della realtà a vantaggio di un mondo *tele-spaziotemporale* manipolabile a volontà. La realtà virtuale ci dona tecniche di sostituzione che preludono all'ubiquità, ma attenuano e alienano (o, secondo alcuni, *uccidono*) la percezione immediata. L'onnipresenza e l'inerzia totale vanno di pari passo. Allo stesso tempo la realtà virtuale ci consente di assumere apparenze stravaganti o chimeriche, presentando agli altri una personalità e un aspetto arbitrari.

Se è vero che oggi il corpo viene rivalutato e non è più soggetto agli anatemi di tutta una tradizione filosofica e religiosa che privilegiava l'anima o la mente, è anche vero che vi è una tendenza a separare il corpo dalle sue funzioni essenziali e questa separazione, che si concreta in un'attenuazione o negazione del corpo ad opera della tecnologia, comporta ancora una volta *sofferenza*. Ecco perché i bambini, ancor più che gli adulti, dovrebbero godere dell'immersione totale, di corporeamente, nell'esperienza vivificante e salubre di essere al mondo e nel mondo. Uno sviluppo ipertrofico della mente, come quello indotto e agevolato dalle macchine dell'informazione a scapito dell'esperienza diretta e dell'interazione fisica con gli altri esseri viventi comporta un appiattimento o addirittura un'atrofia di alcune importanti capacità

umane. La nostra mente vive e si sviluppa nell'interazione con le menti altrui e questa interazione è tanto più efficace e nutriente quanto più passa per la ricchezza e la complessità espressiva del corpo.

La rinuncia al corpo, o la sua repressione, indurrebbe una grave privazione delle capacità comunicative nel senso più ampio, che negli uomini sono così raffinate e sono fonte di tanta soddisfazione. Gli umani hanno una predisposizione originaria alla comunicazione, all'interpretazione dei segni, al gioco linguistico, alla menzogna, al teatro, alla recitazione e così via: siamo frammenti di qualcosa di più ampio, siamo in una simbiosi che non è solo di tipo comunicativo e cognitivo ma anche di tipo fisiopsicologico molto profondo. La comunicazione non è in primo luogo un'esperienza concettuale, bensì un'attività globale della persona intesa come unità di mente e corpo: senza sosta parliamo, raccontiamo le storie, argomentiamo, recitiamo, e questo comunicare diffuso e continuo è basato sulla nostra natura corpo-mentale originaria, costituita dal nostro essere in comunicazione già prima di comunicare esplicitamente.

La tecnologia dell'informazione introduce in questa variegata complessità drastiche mediazioni e semplificazioni che portano ad una sorta di omologazione verso il basso. Ciò agevola la comunicazione tra uomo e macchina e quindi è utile per sfruttare gli strumenti, e inoltre aumenta il raggio comunicativo, consentendoci di entrare in contatto, sia pur mediato, con persone lontanissime. Allo stesso tempo, tuttavia, impoverisce la comunicazione umana: il lessico si riduce, le strutture grammaticali e sintattiche si uniformano a pochi modelli. E il corpo si eclissa: impoverendosi il veicolo, anche l'espressione e la comunicazione rischiano di irrigidirsi in formule stereotipate.

9. LA SCIENZA SUPERATA DALLA TECNOLOGIA

Nella seconda metà del Novecento ha avuto luogo un altro fenomeno di enorme portata pratica e concettuale, che descriverei come il sorpasso della scienza da parte della tecnologia. Per i Greci conoscere qualcosa

equivaleva a possederne una teoria esplicita ed espressa in termini precisi (oggi diremmo mediante una formula o un algoritmo). L'Occidente ha ereditato questa propensione alla razionalità esplicita e alla precisione teorica e ha sempre reputato l'intelligenza speculativa che costruisce i teoremi della matematica o gli edifici della filosofia teoretica, superiore all'intelligenza pratica, che ci consente di attraversare incolumi una strada o di guidare un'automobile nel traffico cittadino. Inoltre il culmine della scienza occidentale viene raggiunto con il formalismo matematico.

Oggi tuttavia il quadro sta cambiando. La tecnologia, in particolare quella legata all'elaborazione e alla trasmissione dell'informazione, si sviluppa in modo così rapido e tumultuoso che la teoria non riesce più a starle dietro. La velocità e la complessità della tecnologia impediscono spesso alla scienza di tracciarne un quadro esplicativo coerente e completo e di fornire risposte certe ai problemi applicativi: che cosa accadrà se userò il tale farmaco, se devierò il corso di questo fiume, se modificherò il corredo genetico di quella specie? Per entrare sul mercato e nelle nostre case la tecnologia non aspetta più la scienza e le sue patenti di legittimità.

In certa misura è sempre stato così: molte tecniche elementari non hanno mai avuto bisogno di una giustificazione teorica, ma con l'aumentare della complessità, diciamo dalla metà dell'Ottocento in poi, sempre più spesso le applicazioni erano frutto di rigorosi studi scientifici, ed era anzi sembrato necessario ricorrere in ogni caso ad una precisa base teorica.

Non intendo certo sbrogliare l'intricatissimo rapporto tra scienza e tecnologia, ma solo rilevare che oggi, soprattutto grazie all'impiego delle tecnologie informatiche e della simulazione, la nostra capacità di agire ha superato di molto la nostra capacità di prevedere. È interessante anche osservare che, in genere, gli utenti degli strumenti tecnici non si curano affatto di comprenderne il funzionamento. La tecnologia è importante per ciò che ci consente di *fare*, non di *capire*.

Il fatto che oggi molti ritrovati tecnici non abbiano una spiegazione teorica, di tipo

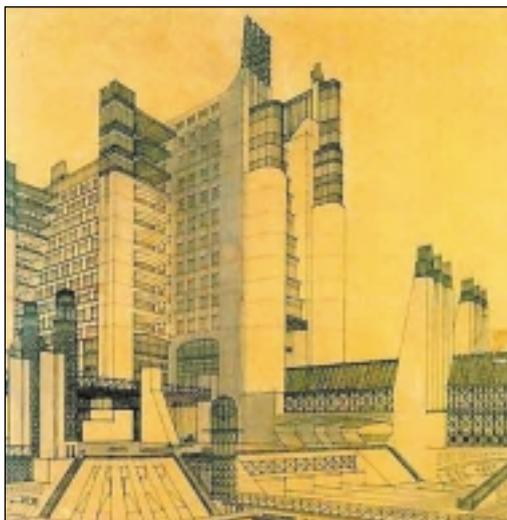


IMMAGINE 7
Antonio Sant'Elia
"Caseggiato"

scientifico, comporta una trasformazione dello statuto epistemologico della tecnologia, che si accompagna ad un'altra profonda trasformazione: la tecnologia tende a produrre non più "macchine" isolate e ben individuabili, come in passato, bensì "complessi" artificiali privi di confini definiti, spesso dotati di una struttura articolata (di tipo quasi organico) ma non sistematica, che s'intersecano in modo frastagliato e quasi caotico con altri prodotti artificiali o naturali. Per esempio i prodotti della biotecnologia s'infiltrano in modo difficile da districare nei prodotti dell'evoluzione naturale. Il caso delle biotecnologie è interessante anche perché manifesta il carattere *incompiuto* che oggi ha assunto in molti casi la progettazione: si costruisce un "embrione tecnologico" e poi lo si lascia sviluppare in un ambiente favorevole, con il quale può interagire in modi imprevedibili e svilupparsi in direzioni talora sorprendenti.

Alla luce di queste considerazioni appare molto appropriato l'uso del termine *bricolage* che alcuni autori hanno proposto per indicare sia i processi sia i prodotti della nuova tecnologia. Così si può dire ad esempio che Internet, il software, molte parti delle biotecnologie e altri settori tecnici molto importanti sono oggetto di *bricolage* più che di programmazione organica e razionale (Immagine 7 - "la progettazione razionale").

Il *bricoleur* recupera materiali, dispositivi, strutture e metodi di seconda mano (cioè

già usati per altri scopi) e li (im)piega alle nuove necessità, quando non può o non vuole usare nulla di più adatto. Il *bricolage* non è solo una forma di progettazione e costruzione alternativa rispetto ai classici principi dell'ingegneria e dell'architettura: per il legame inscindibile tra conoscenza e azione, esso è anche un modo diverso di vedere il mondo: possiede cioè un forte contenuto *epistemologico*. Infatti, costringendoci a ripensare il modello canonico della progettazione, il *bricolage* ci fa scoprire (micro)processi cognitivi tipici della progettazione che vengono di solito occultati dal modello ingegneristico tradizionale.

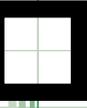
Mentre la progettazione ingegneristica classica persegue un ordine intrinseco ad un piano intenzionale esplicito e prestabilito, frutto della finalità cosciente, nel *bricolage* l'ordine emerge a posteriori e segue dall'interpretazione di una serie di azioni contingenti e di interventi d'improvvisazione. Intenzioni, piani, azioni e risultati sono legati, ma in modo debole, come debole è il legame tra i metodi e i materiali usati e il risultato. Il progetto è locale, contingente, pronto a riadattarsi alle circostanze nuove che scaturiscono dall'impiego di un materiale, e il materiale è impiegato perché è a portata di mano e quindi è utile ed economico, benché non sia il migliore possibile in assoluto. La centralità cede il passo alla località, l'unità progettuale alla molteplicità coordinata e variabile, la fissità al dinamismo, la rigidità alla flessibilità. Per queste sue caratteristiche, il *bricolage* può essere l'unica strategia d'azione in condizioni di incertezza, quando non si voglia correre un rischio eccessivo o mettere a repentaglio risorse limitate e preziose. Il *bricolage*, privilegiando la località a scapito della centralità del processo progettuale, ne accentua la flessibilità e la disseminazione: ciò corrisponde a una vera e propria *creatività diffusa*, che trova nella Rete il suo modello topologico più adeguato.

Come ho detto, a cominciare dalla metà del Novecento la tecnologia ha assunto una velocità tale da non permettere a volte alla scienza di giustificare e spiegare teoricamente, neppure a posteriori, il funzionamento dei ritrovati tecnologici.

La scienza si è così ridotta a difendere posizioni via via più difficili, tanto più che le radici dell'accelerazione tecnologica non sono da ricercarsi all'interno dello sviluppo scientifico, bensì nell'ambito della tecnologia stessa. Infatti è stata l'informatica che, con il calcolatore, ha fornito all'innovazione uno strumento, o meglio un metastrumento, flessibile e *leggero* che ha impresso un'accelerazione fortissima alle pratiche della progettazione. Anzi, ha indotto una profonda trasformazione di queste pratiche, poiché ha aperto la strada alla *simulazione*, una sorta di progettazione-costruzione virtuale che si pone a metà strada fra la teoria e l'esperimento. La simulazione è facile, rapida, economica, divertente: ce n'è d'avanzo per far dimenticare l'ardua complessità delle argomentazioni e delle esperienze tradizionali.

Il grande sogno dell'Occidente, che da Platone in poi, passando per Cartesio e Leibniz, giunge fino ad Einstein, di spiegare o di ricostruire il mondo per via linguistica, razionale e formale, non si è avverato. Anzi, quando sembrava prossimo all'attuazione, ha cominciato ad allontanarsi sempre più. Questo indebolimento della scienza fisico-matematica ha anche ragioni interne: gli strumenti informatici ci hanno permesso di (o costretto a) scoprire le dosi massicce d'incertezza, di complessità e di disordine che si celano nelle pieghe di una realtà che fino alla metà del Novecento (e nell'immaginario collettivo anche molto dopo) si riteneva invece caratterizzata da un'estrema semplicità soggiacente, che prima o poi sarebbe stata disvelata e riassunta in un'unica formula.

La crisi della scienza occidentale dimostra forse che essa non è, alla fin fine, una conquista irreversibile, ma un evento storico come tanti altri: è caduto l'Impero romano, cadrà, tristemente, anche la scienza che noi conosciamo, come aveva intuito Ortega y Gasset, la scienza occidentale è un fenomeno singolare, una sorta di fluttuazione statistica limitata nel tempo e nello spazio, che non si ripeterà perché è scaturita dalla concomitanza di una miriade di condizioni rare. Invece la tecnologia fa parte dell'essenza dell'uomo, è legata a bisogni primari e



profondi, alla stessa sopravvivenza, è radicata nell'evoluzione che ha portato alla nascita dell'*homo sapiens* e che oggi sta portando all'*homo technologicus*. Ecco perché la tecnologia accompagna da sempre l'uomo e non è un episodio passeggero.

10. UN'EPISTEMOLOGIA TECNOLOGICA?

Dall'eventuale declino della scienza nella sua forma attuale non segue naturalmente che debba scomparire l'attività mentale e conoscitiva: essa potrebbe assumere forme inedite e sorprendenti, legate soprattutto allo sviluppo tecnologico. Le conseguenze di questo mutamento di gusto e d'interesse, infatti, comportano, e seguono da, una profonda svolta epistemologica di cui è responsabile in primo luogo proprio la tecnologia. Non è affatto vero che la tecnologia sia "solo" produttrice di strumenti e che gli strumenti non abbiano alcun effetto sui modi e le forme della conoscenza. Anzi il problema epistemologico sembra oggi oscurato dalla velocità dell'innovazione tecnologica e dalle ansie e dagli entusiasmi che essa suscita, ma non si dimentichi che azione e conoscenza sono profondamente intrecciate tra loro: gli strumenti sono sempre catalizzatori e filtri di conoscenza, quindi la tecnologia è matrice di cultura.

Del resto anche il nostro primo strumento, che è il *corpo* nella sua interezza, è portatore di una conoscenza più ampia di quella consapevole che la scienza ha finora estrinsecato: il fatto che siano stati foggiate strumenti matematici capaci di formalizzare, sia pure senza il confortevole sostegno dell'intuizione, anche certe situazioni limite o "patologiche" rispetto alla normalità quotidiana (i paradossi della meccanica quantistica e i fenomeni caotici, che sempre più si rivelano onnipresenti in natura) può essere un segnale che la nostra *struttura biologica* supera, in capacità descrittiva inconsapevole, l'abilità di descrizione e interpretazione che finora siamo riusciti ad esplicitare in forma afferrabile e razionale. Quindi che cosa c'impedisce di pensare che anche gli strumenti che stiamo costruendo, quando superino un certo livello di complessità e di

interazione comunicativa con gli esseri umani, siano in grado di (farci) compiere un balzo cognitivo? Di (farci) scoprire cioè qualcosa di radicalmente nuovo e originale nella natura o nel mondo artificiale che ci stiamo costruendo intorno e di attuare una svolta conoscitiva radicale?

Insomma, il vuoto epistemologico che la scienza minaccia di lasciarsi dietro è via via colmato dalla tecnologia, anche se con materiali molto diversi e in modi inattesi. Per esempio la tecnologia produce sistemi di cui, come ho detto, ci serviamo senza capirne bene il funzionamento, e spesso non c'interessa affatto comprenderlo. Mentre la scienza ha sempre cercato di fare affiorare la complessità soggiacente per ridurla e darne una descrizione semplice attraverso le teorie, la tecnologia tende a nascondere la complessità dei manufatti sotto una superficie o "interfaccia" di grande semplicità ed efficacia operativa: è vero che la semplificazione offerta dalla tecnologia riguarda il mondo artificiale, ma il mondo artificiale si presenta ormai, all'*homo technologicus* che stiamo diventando, come il mondo *tout court*. Così l'indifferenza teorica della tecnologia si unisce alla sua potenza semplificativa e omologante nei confronti della realtà. Siamo indotti ad usare i suoi strumenti con la stessa inconsapevole disinvoltura con cui usiamo gli organi del nostro corpo, ma mentre per il funzionamento intimo di questi ultimi proviamo un grande interesse, per quello dei dispositivi tecnici nessuno. Va bene tutto, purché funzioni.

Insomma, è come se la conoscenza, lasciandosi alle spalle una lunga storia di astrazione progressiva e di formalizzazione, stesse cominciando ad *incorporarsi* nel nuovo *simbionte* uomo-macchina, cioè nell'*homo technologicus*, e nella "creatura planetaria" di cui Internet è il primo nucleo. In questo senso, la tecnologia, specie quella informatica, segna, dopo un lungo viaggio, un ritorno all'unità e alla completezza multimediale della conoscenza, quale forse c'era agli inizi della nostra storia: ma è un ritorno filtrato e mediato da un codice astratto, quello binario, e gli effetti di questo filtro sono tutti da scoprire.

Bibliografia

- [1] Bateson Gregory: *Verso un'ecologia della mente*. Adelphi, Milano, 1976, II edizione accresciuta, Adelphi, Milano, 2000.
- [2] Caronia Antonio: *Il corpo virtuale*. Muzzio, Padova, 1996
- [3] Collins Harry, Trevor Pinch: *Il golem tecnologico*. Edizioni di Comunità, Torino, 2000.
- [4] Horgan John: Morte della dimostrazione. *Le Scienze*, n. 304, dicembre 1993.
- [5] Lanzara Giovan Francesco: *La logica del bricolage*. Presentato al Convegno "Ingegneria e scienze umane", Bologna, 29 settembre 2000.
- [6] Longo Giuseppe O.: *Il nuovo Golem. Come il computer cambia la nostra cultura*. Laterza, Roma-Bari, 1998.
- [7] Longo Giuseppe O.: *Homo technologicus*. Meltemi, Roma, 2001.
- [8] Longo Giuseppe O.: *Il simbiote: prove di umanità futura*. Meltemi, Roma, 2003.
- [9] Ortega y Gasset José: *La rebelión de las masas*. Espasa, Madrid, 1999.

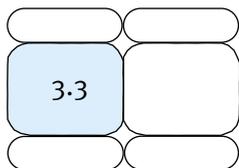
GIUSEPPE O. LONGO è ordinario di Teoria dell'informazione nella Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Trieste. Si occupa di codifica di sorgente e di codici algebrici. Ha diretto il settore "Linguaggi" del Laboratorio della "International School for Advanced Studies" (Sissa) di Trieste e il Dipartimento di Informazione del "Centre Internationale des Sciences Mécaniques" (Cism) di Udine. Socio di vari Istituti e Accademie, s'interessa di epistemologia, di intelligenza artificiale e del rapporto uomo-tecnologia. È traduttore, collabora con il Corriere della Sera, con Avvenire e con numerose riviste. È autore di romanzi, racconti e opere teatrali tradotti in molte lingue.
longo@units.it



UN MODELLO DI QUALITÀ PER I SITI WEB

Roberto Polillo

La qualità di un sito web è il prodotto dell'attività di numerosi attori: web designer, grafici, sviluppatori di software, redattori di contenuti, webmaster, gestori di reti. Il risultato del lavoro di ciascuno deve integrarsi correttamente con quello di tutti gli altri. Per valutare la qualità di un sito, è molto utile disporre di un semplice "modello di qualità", che ci ricordi i principali fattori che concorrono alla sua qualità. Questo articolo descrive un semplice modello di qualità per i siti web, che è stato ampiamente sperimentato.



1. INTRODUZIONE

Anche se la tecnologia del web può consentire ad utenti poco esperti di informatica di realizzare in breve tempo siti elementari, la progettazione di siti professionali è un processo molto complesso. Infatti, bisogna tenere conto di molti aspetti di natura diversa. Il sito deve essere coerente con lo stile di comunicazione dell'organizzazione che ne è titolare, deve presentarne in modo accurato le caratteristiche e i prodotti o servizi e, sempre più spesso, deve permettere al visitatore di effettuare delle operazioni complesse, come acquisti, prenotazioni, accessi a basi di dati, che richiedono una stretta integrazione con i sistemi informativi aziendali. Anche durante l'esercizio del sito bisogna gestire problematiche complesse. Per esempio, far sì che i contenuti informativi siano sempre e tempestivamente aggiornati, assicurare che le infrastrutture tecnologiche utilizzate garantiscano prestazioni accettabili e funzionino correttamente e con continuità, rispondere a eventuali richieste di informazioni che i visitatori faranno attraverso il sito.

Tutto questo richiede l'impiego di personale con professionalità che solo fino a pochi anni fa non esisteva. Inoltre, poiché le competenze necessarie per realizzare un sito di qualità sono varie, è necessario l'apporto di persone diverse, esperti di marketing, di comunicazione, di informatica, e soprattutto dello specifico business dell'impresa titolare del sito. La qualità complessiva di un sito dipende dalla cooperazione armoniosa di tutti questi interlocutori: il risultato del lavoro di ciascuno deve integrarsi correttamente col risultato del lavoro di tutti gli altri. Nessun contributo può essere ignorato: perché come in una catena, la qualità complessiva è pari alla qualità dell'anello più debole. Queste esigenze sono oggi normalmente sottovalutate: nei progetti di realizzazione, o di miglioramento di un sito, ci si focalizza sovente solo su alcuni aspetti, trascurandone altri, altrettanto importanti agli occhi dell'utente finale. Ed è proprio l'utente finale che, in ultima analisi, determina il successo o il fallimento di un sito.

Per valutare la qualità di un sito esistente, o per impostare correttamente il progetto di un nuovo sito, può quindi essere molto utile disporre di un semplice *modello di qualità*, che ci ricordi tutti i principali fattori che concorrono alla sua qualità, e che ci permetta quindi di tenerli tutti sotto controllo. Questo articolo descrive sinteticamente un modello di qualità studiato appositamente per i siti web, che è stato utilizzato con successo in siti di ogni tipo e complessità, sia per effettuare rapidi *check-up* che per *assessment* approfonditi. Il modello, descritto più approfonditamente in un libro recente dell'autore di questo articolo [6], considera soprattutto la qualità percepita dagli utenti del sito; in altre parole, la cosiddetta *qualità esterna e qualità in uso*, secondo la terminologia ISO [3], tralasciando gli aspetti che riguardano la struttura interna del software del sito (*qualità interna*).

Un modello di qualità può essere definito in molti modi. È tuttavia molto conveniente, come si vedrà meglio in seguito, prendere le mosse dall'analisi delle attività coinvolte nella progettazione, realizzazione e gestione di un sito web, e dei vari tipi di attori che le svolgono. Pertanto, nel paragrafo 2, si descriveranno sommariamente le fasi logiche che intervengono nella realizzazione e nell'esercizio di un sito web. Partendo da queste, nel paragrafo 3 si introdurrà il modello di qualità, che verrà analizzato ulteriormente nel paragrafo 4. Nel paragrafo 5 si indicherà come il modello possa essere utilizzato nella valutazione di siti web. Seguirà un breve paragrafo di conclusioni (paragrafo 6), e una bibliografia essenziale sui temi trattati.

2. IL PROCESSO DI PRODUZIONE DI UN SITO WEB

L'**ingegneria del web** è una disciplina recente e ancora poco consolidata, e nella pratica esistono approcci e metodologie diverse, normalmente assai poco formalizzate, per la progettazione e realizzazione dei siti. Non esiste un modello di processo universalmente adottato. Anche perché, per esempio, è molto differente la realizzazione di un grande portale (che può coinvolgere un gruppo di progetto di decine di persone), da quella del sito istituzionale di una piccola impresa (che potrebbe essere realizzato e gestito da un'unica persona, che si occupi di tutti gli aspetti).

Senza pretendere di fornire qui un modello universale, descriviamo brevemente le fasi che, in ogni caso, occorre seguire nella concezione, realizzazione e successiva gestione di un sito web, per individuare i tipi di attori coinvolti in ciascuna fase e i contributi che ciascuno porta alla qualità complessiva del sito. Questa schematizzazione farà riferimento a siti di una certa complessità, che richiedono, quindi, il coinvolgimento di molte persone: siti di commercio elettronico, di *Internet-banking*, siti della pubblica amministrazione, e simili. Nel caso di siti più semplici, il modello resta valido, purché si facciano le necessarie semplificazioni: i ruoli descritti non saranno necessariamente svolti tutti da persone diverse. Il caso più semplice è, ovviamente, quello in cui tutto è affidato ad una sola persona "tuttofare".

Le varie fasi sono schematizzate nella figura 1, dove sono indicate le attività principali che devono essere svolte nella realizzazione e nell'esercizio di un sito, con le professionalità coinvolte in ciascuna attività. Lo schema mostra la

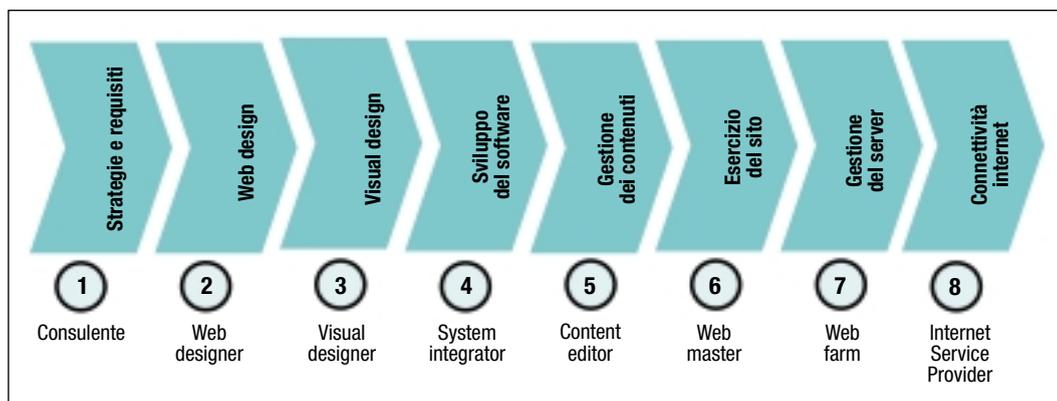


FIGURA 1

Attività e professionalità coinvolte nella realizzazione e gestione di un sito web

connessione logica delle attività. Per esempio, l'attività di *web design* prende i suoi input dalla definizione della strategia; l'attività di *visual design* richiede che la struttura del sito sia già stata definita nella fase di *web design*, la gestione dei contenuti richiede che un "contenitore" software sia già disponibile, e così via.

Con riferimento alla figura 1, il processo prende avvio dalla impostazione della **strategia generale**, che consiste nel definire gli obiettivi che si vogliono raggiungere con il sito, specificando il pubblico al quale esso si rivolge, i requisiti e i vincoli che debbono essere soddisfatti, i servizi che il sito deve fornire ai suoi utenti, il contesto d'uso ed eventualmente l'architettura tecnologica da utilizzare. Tipicamente, in questa fase, un'analisi dei siti della concorrenza permette d'individuare le soluzioni migliori (*best practice*) del settore e di impostare un'adeguata politica di differenziazione. Normalmente questa fase d'avvio è svolta dal management dell'impresa con l'aiuto di consulenti specializzati in questa attività. L'output di questa prima fase è un documento di specifica dei requisiti ancora abbastanza generale, spesso usato per richiedere a fornitori esterni offerte tecniche ed economiche per la realizzazione delle fasi successive.

La fase successiva è quella indicata, nella figura, col termine di **web design**. Si progetta in questo caso l'architettura informativa generale del sito e, soprattutto, la sua struttura di navigazione, definendo le modalità d'interazione fra il sito e i suoi utenti, e individuando in linea di massima la "gabbia" visiva delle varie pagine. I protagonisti di questa fase sono i *web designer*, "architetti" del web operanti spesso in organizzazioni denominate *web agency*.

Si passa poi al **visual design**, in cui si definisce in dettaglio la grafica del sito, sulla base dell'impostazione definita nella fase precedente. A volte si realizzano diversi prototipi, per poter scegliere, fra le soluzioni alternative, quella considerata migliore. Questa fase è svolta dai *visual designer*, creativi con forte background di grafica e comunicazione visiva che lavorano in stretto contatto con i *web designer*.

La fase successiva è lo **sviluppo del software** del sito, nella quale spesso si utilizzano anche prodotti software già disponibili sul mercato. Questa è l'attività più vicina alla realizzazione di un sistema informativo, e può essere effet-

tuata, per i siti meno complessi, direttamente dalla *web agency* che ha sviluppato le fasi precedenti. Per i siti più complessi, invece, queste attività sono normalmente condotte da società specializzate nell'integrazione di sistemi, i cosiddetti *system integrator*. Essi assemblano il sito a partire dai prodotti software prescelti, realizzando gli eventuali componenti software necessari, e tengono normalmente le fila del progetto complessivo, in collaborazione con l'eventuale *web agency*. Le attività di sviluppo software predispongono, per così dire, il sito "vuoto" di contenuti informativi. Di essi si occupano i *content editor*, nella fase logica successiva, la **gestione dei contenuti**. Si tratta, essenzialmente, di redattori esperti del dominio applicativo cui appartiene il sito, che operano sia nella fase di realizzazione del sito stesso sia durante la sua successiva vita on line.

Quando il sito va in **esercizio**, è necessario gestirne l'operatività. Questo compito è svolto dai *webmaster*, che hanno la responsabilità di effettuare i numerosi e frequenti interventi tecnici necessari a tenere il sito vivo e aggiornato, senza che gli utenti percepiscano fastidiose discontinuità nel servizio. Nel caso di siti che offrono servizi complessi, si tratta anche di gestire i sistemi informativi con i quali il sito coopera per l'effettuazione del servizio. Per esempio, in un sito di commercio elettronico, le applicazioni software per la gestione del magazzino prodotti, della contabilità, e di tutte le funzioni legate alla vendita e alla spedizione della merce. In questi casi il webmaster è opportunamente affiancato da specialisti delle applicazioni coinvolte.

Proseguendo nello schema di figura 1, troviamo l'attività di **gestione dei server** che ospitano il sito. Questa attività può essere effettuata all'interno dell'azienda titolare del sito o da una *web farm* esterna, quando si preferisce delegarla a terzi, attraverso un contratto di outsourcing. Si tratta di organizzazioni che si dedicano alla gestione di grandi quantità di *web server* per conto di clienti diversi e che dispongono di opportune infrastrutture tecnologiche che permettono di gestire con significative economie di scala tutte le problematiche relative alla gestione dei computer e alla loro manutenzione, alla sicurezza e alla continuità del servizio.

L'ultimo attore presente nello schema è l'*In-*

Internet Access Provider, cioè quella organizzazione che fornisce la **connettività Internet** alla *web farm*: essenzialmente, un operatore di telecomunicazioni che gestisce l'accesso alla rete Internet, e i necessari servizi correlati.

Abbiamo così identificato tutte le attività connesse alla progettazione e gestione di un sito web, le loro relazioni e gli attori chiave che devono cooperare, ciascuno nel suo ruolo, per assicurare il buon funzionamento del sito. Si tratta di attività fra loro molto diverse, condotte da professionisti di discipline diverse, con metodi di lavoro, linguaggi, cultura professionale e valori molto differenti.

La sequenza logica delle varie attività non necessariamente coincide sempre con la sequenza temporale: infatti, il processo di realizzazione di un sito, come di ogni sistema software complesso, raramente segue un percorso lineare. Spesso si verificano ripensamenti che mettono in discussione le decisioni già prese, e producono aggiustamenti e modifiche di quanto già fatto, in un processo iterativo che converge, per così dire, per approssimazioni successive (Figura 2). In altre parole, si progetta la struttura base del sito, la si realizza, la si sottopone al committente e la si prova con utenti reali o simulati. Si raccolgono le indicazioni del committente e degli utenti, e con queste si affina il progetto, migliorandolo nelle parti insoddisfacenti. Quando il sito viene messo in rete, la sua evoluzione non è finita, ma prosegue per l'intera sua vita. Un sito "vivo" è continuamente migliorato e adattato alle nuove esigenze, non solo aggiornando e arricchendo i contenuti informativi, ma anche apportando modifiche e perfezionamenti al "contenitore" software e all'infrastruttura hardware che lo ospita.

3. UN MODELLO DI QUALITÀ PER I SITI WEB

Avendo inquadrato in uno schema di riferimento le diverse attività che devono essere svolte nella realizzazione e gestione di un sito web, introduciamo ora gli elementi di base del modello di qualità oggetto di questo articolo. È utile, anzitutto, chiarire che cosa si intende per modello di qualità. Quando si vuole valutare la qualità di qualcosa, è necessario decidere quali criteri utilizzare. Per esempio, per

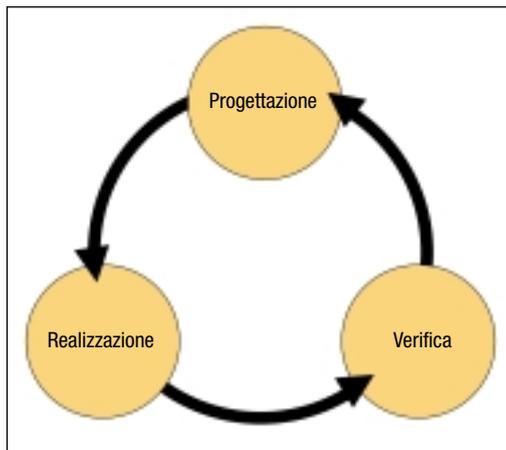


FIGURA 2
La costruzione di un sito è un processo iterativo

	Caratteristiche	Sottocaratteristiche
1	Camere	Comfort, dimensioni, eleganza, pulizia
2	Spazi comuni	Comfort, dimensioni, eleganza, pulizia
3	Servizio	Reception, servizi in camera, cortesia del personale
4	Ristoranti	Qualità del cibo, ambiente, servizio, varietà del cibo
5	Piscina	Comfort, dimensioni, ambiente, attrezzature, pulizia
6	Spiaggia	Vicinanza, privata/pubblica, attrezzature, paesaggio
7	Dintorni	Possibilità di escursioni, vicinanza a un centro abitato
8	Impianti sportivi	Tennis, golf, fitness, altri
9	Bambini	Nursery, zone riservate

valutare la qualità di un albergo, si può decidere di attribuire un voto ad alcuni elementi che consideriamo importanti, per esempio: le camere, gli spazi comuni, il servizio, i ristoranti, la piscina, la spiaggia, i dintorni, gli impianti sportivi, gli spazi riservati ai bambini, e così via. Con la stessa tecnica, per ciascuno di questi elementi, si devono quindi stabilire i criteri da seguire per attribuire il voto. Per esempio, la qualità delle camere potrebbe essere valutata sulla base del comfort, delle dimensioni, dell'eleganza e della pulizia. Una possibile scelta dei criteri da applicare è indicata nella tabella 1, che costituisce un possibile modello di qualità per gli alberghi. I nove

TABELLA 1
Un possibile modello di qualità per gli alberghi

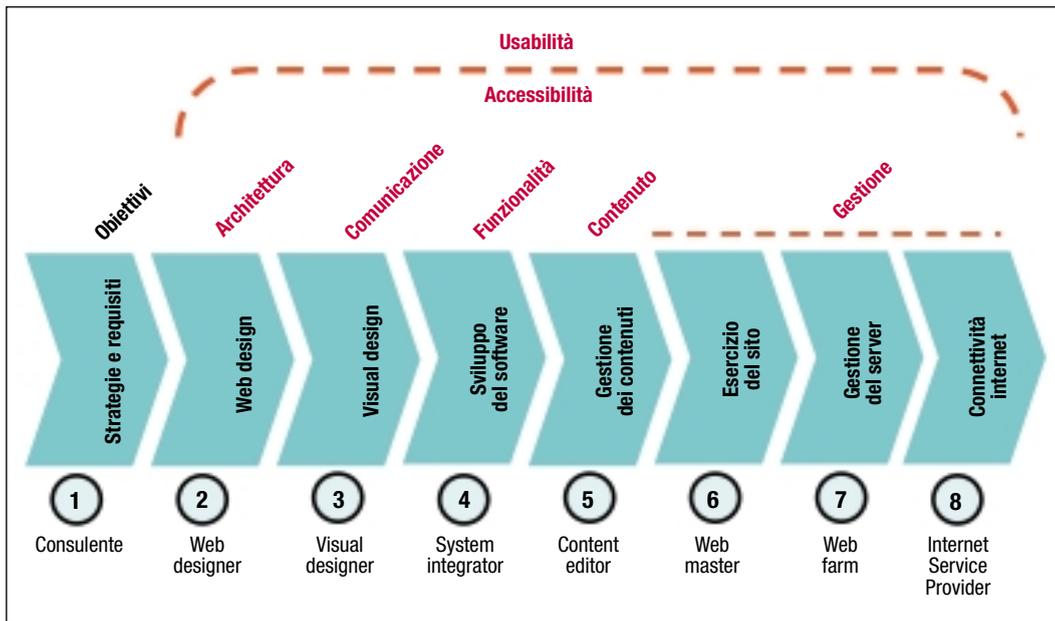


FIGURA 3
 Macro-caratteristiche del modello di qualità proposto, accanto alle attività che maggiormente contribuiscono a ciascuna di esse

ressa, non trattando il modello, come già detto, gli aspetti di *qualità interna*. Un sito ha una buona architettura se la sua organizzazione in pagine è coerente con i suoi contenuti e se permette una facile navigazione. Questa caratteristica è stata indicata in figura accanto alla fase di *web design*, poiché è qui che sono prese le decisioni principali che determinano l'organizzazione generale del sito. La seconda caratteristica, la **comunicazione**, riunisce numerosi aspetti quali: la chiarezza con cui il sito comunica il suo scopo, la sua coerenza con l'immagine dell'organizzazione titolare del sito, l'attrattiva grafica, la "relazione" che instaura con gli utenti. È soprattutto (ma non solo) la fase di *visual design* che determina la qualità comunicativa del sito, come indicato nella figura 3.

La terza caratteristica considerata nel modello è la **funzionalità**, cioè l'insieme delle funzioni che il sito mette a disposizione dei propri utenti. Da questo punto di vista, un sito è di qualità quando supporta bene l'utente nello svolgimento delle funzioni che gli servono, e tutte queste sono realizzate in modo corretto dal software, cioè senza errori. Per dare un voto alla funzionalità, si devono quindi esaminare in dettaglio le principali funzioni realizzate dal sito, e valutarne l'adeguatezza e correttezza. Una buona funzionalità deriva, principalmente, dal corretto svolgimento delle attività di sviluppo software, e

pertanto questa caratteristica è stata posta, in figura, accanto a questa fase.

La quarta caratteristica è relativa alla qualità dei **contenuti** informativi del sito, considerati da tutti i punti di vista: la loro affidabilità, il loro livello di aggiornamento, la comprensibilità del linguaggio in cui essi sono espressi, e così via. La qualità dei contenuti, com'è indicato nella figura, deriva essenzialmente dall'accuratezza del lavoro dei redattori di contenuti.

La quinta caratteristica riguarda la **gestione**, e misura la qualità complessiva del lavoro di gestione del sito durante la sua operatività: un sito di qualità deve essere continuamente presidiato, per assicurarne il corretto funzionamento durante tutto il tempo in cui esso deve essere attivo. Esso riguarda quindi la qualità del lavoro dei webmaster, dei tecnici della web farm e anche dell'*Internet Access Provider*, cioè di tutti coloro che, direttamente o indirettamente, devono garantire la corretta operatività del sito.

La sesta caratteristica è quella dell'**accessibilità**, che riguarda quegli aspetti che permettono a tutti di accedere rapidamente e senza problemi al sito. Il web si propone, nella visione del *World Wide Web Consortium*, di garantire un'accessibilità universale, indipendentemente dal tipo di hardware o software utilizzati, dall'infrastruttura di rete, da lingua, cultura, locazione geografica, e anche per utenti con disabilità. Questa caratteristica tiene con-

to di tutti questi aspetti: è quindi molto complessa. Per valutarla si devono considerare i tempi d'accesso al sito (che dipendono non solo dall'efficienza dei server e delle infrastrutture di rete disponibili, ma anche dalle dimensioni delle pagine del sito), la facilità di reperimento del sito nella rete, e la possibilità di

accedere alle informazioni contenute nel sito attraverso una varietà di dispositivi, inclusi quelli che ne permettono la comprensione a utenti disabili. L'accessibilità di un sito è il prodotto del lavoro di molti attori: per questo, nel grafico di figura 3, non è stata accostata a nessuna fase particolare.

Infine, la settima e ultima caratteristica del modello è quella dell'**usabilità** del sito, termine con il quale si intende tutto ciò che rende il sito facile e gradevole da usare. Dal punto di vista dell'utente del sito, è forse la caratteristica più importante. Essa non nasce da un'attività specifica, ma dal contributo di tutti gli attori coinvolti nello sviluppo e nella gestione del sito. Per questo, nella figura 3, non è stata associata ad alcuna attività in particolare: tutte le attività concorrono a creare usabilità. Essa non è indipendente dalle altre: si basa su di esse e, in un certo senso, le riassume tutte e le completa. Le altre caratteristiche sono, per così dire, necessarie ma non sufficienti per garantire una buona usabilità. Per esempio, se i tempi d'accesso al sito sono molto lunghi, l'usabilità sarà certamente modesta. Ma non è necessariamente detto che un sito con tempi di accesso molto brevi sia usabile. Così, un insieme di funzioni completo e corretto ci assicura una buona funzionalità, ma non necessariamente una buona usabilità. Quest'ultima andrà verificata nell'uso, da parte degli utenti: ciascuno con la propria fisionomia e le proprie esigenze, nello specifico contesto d'uso. L'usabilità è anche, probabilmente, la caratteristica più trascurata nella pratica del web, perché realizzare sistemi usabili è difficile, e impone di prestare un'attenzione particolare all'utente. La cultura dell'usabilità non è ancora diffusa in modo adeguato fra gli informatici italiani e, da questo punto di vista, i siti web di oggi presentano spesso gravi carenze.

La figura 4 dà una rappresentazione grafica del modello di qualità proposto. Per sottolineare il ruolo particolare dell'usabilità rispetto alle altre caratteristiche, essa è stata rappresentata al centro dello schema. Nella valutazione della qualità di un sito, è possibile attribuire un voto a ciascuna caratteristica, e quindi visualizzare in forma sintetica il "profilo di qualità" del sito mediante un diagramma a stella. Un esempio è rappresentato nella figura 5, in cui si vede

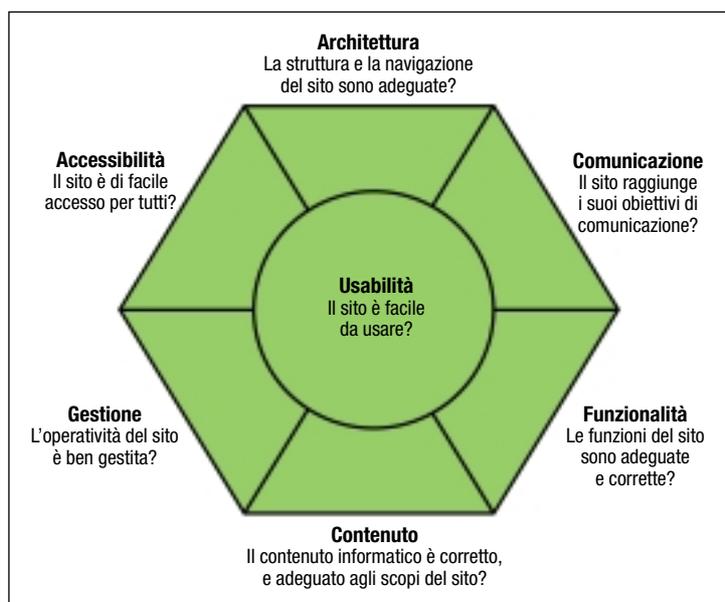


FIGURA 4
Macro-caratteristiche del nostro modello di qualità per i siti web

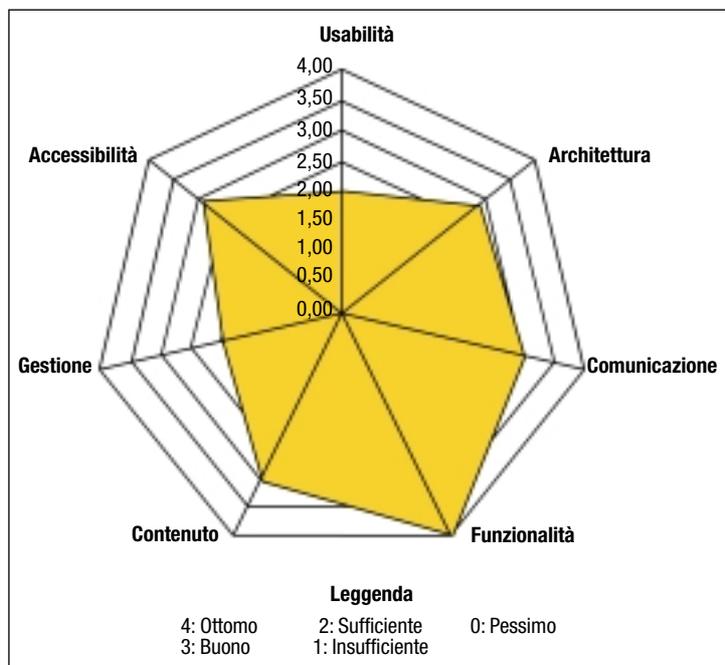


FIGURA 5
Diagramma a stella che mostra "a colpo d'occhio" il profilo di qualità di un sito web

immediatamente, anche se grossolanamente, dove stanno pregi e difetti del sito. È, per così dire, la sua “pagella”. È particolarmente vantaggioso, per la sua semplicità, utilizzare una scala di voti da 0 (che significa *molto male*) a 4 (che significa *molto bene*).

La rappresentazione con diagrammi a stella può essere molto utile per confrontare le caratteristiche di qualità di due siti analoghi: è sufficiente sovrapporre i due diagrammi, come nella figura 6.

4. LE SOTTOCARATTERISTICHE DEL MODELLO DI QUALITÀ

Come già osservato, le macro-caratteristiche del modello sono molto composite. Per poter valutare e attribuire un voto a ciascuna caratteristica è utile dettagliare ulteriormente il modello, e decomporre ogni caratteristica in sottocaratteristiche più semplici, da esaminare singolarmente. In questo modo, il voto attribuito ad ogni macro-caratteristica potrà essere calcolato a partire dal voto attribuito a ciascuna sottocaratteristica. Anche in questo caso le scelte possibili sono diverse. L'esperienza mostra che una ventina di sottocaratteristiche sono sufficienti per tenere bene sotto controllo i principali aspetti della qualità di un sito, almeno dal punto di vista del suo utente.

Una scelta che si dimostra, nella pratica, semplice e al contempo abbastanza completa, è rappresentata nella tabella 2. In essa, a ciascuna sottocaratteristica è stata associata una semplice domanda, alla quale rispondere durante la valutazione della stessa.

Come si vede dalla tabella, le sottocaratteristiche esprimono ancora delle proprietà piuttosto macroscopiche del sito, che possono essere ulteriormente decomposte in proprietà di più basso livello. Per esempio, le tabelle 3 e 4 mostrano la decomposizione in sotto-sottocaratteristiche di due sottocaratteristiche composite: la **Adeguatezza** della **Funzionalità** e la **Grafica** della **Comunicazione**.

Il modello completo, che per motivi di spazio non può essere presentato in questa sede, consta complessivamente di una set-

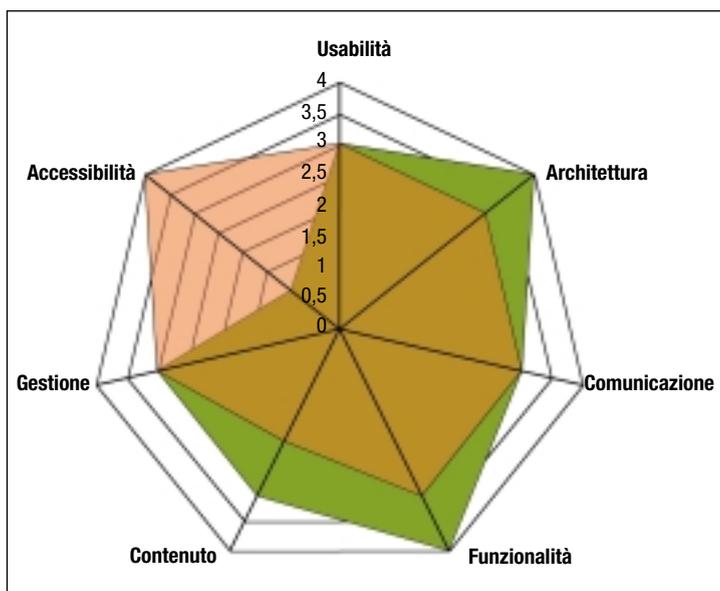


FIGURA 6

Diagramma a stella che permette di confrontare i profili di qualità di due o più siti

tantina di domande [6], che forniscono una guida piuttosto dettagliata al processo di valutazione di un sito. Queste domande sono utilizzabili per siti di ogni tipo, indipendentemente dal loro scopo e dalla loro complessità. Ad esse si potranno poi aggiungere di volta in volta, se necessario, altre domande più specifiche, relative al dominio applicativo in esame. Per esempio, per i siti di commercio elettronico, la domanda “Le funzioni per effettuare le transazioni sono adeguate?” potrà essere ulteriormente articolata come segue:

- Le funzioni per la selezione dei prodotti da acquistare sono adeguate?
- Le funzioni per l’inserimento e per la modifica dei dati di pagamento e di spedizione sono adeguate?
- Le funzioni per confermare l’ordine sono adeguate?
- Le funzioni disponibili all’utente per monitorare i propri dati e lo stato dei propri ordini sono adeguate?
- La sicurezza delle transazioni è gestita in modo adeguato?
- Le operazioni per la registrazione degli utenti sono semplici?
- Le informazioni personali richieste agli utenti sono proporzionate al tipo di transazione?

Caratteristica	Sottocaratteristica	Che cosa dobbiamo chiederci
Architettura	Struttura	La struttura informativa del sito è adeguata?
	Mappa del sito	Esiste una mappa del sito che ne rappresenta con chiarezza la struttura?
	Navigazione	La navigazione del sito è adeguata?
Comunicazione	Home page	La home page comunica chiaramente gli obiettivi del sito?
	Brand image	Il sito è coerente con la brand image?
	Grafica	La grafica del sito è adeguata?
Funzionalità	Adeguatezza	Le funzioni del sito sono adeguate?
	Correttezza	Le funzioni del sito sono corrette?
Contenuto	Categorizzazione/labeling	L'informazione è classificata in modo adeguato?
	Stile	Lo stile del testo è adeguato al web?
	Informazione	L'informazione è adeguata, pertinente, affidabile e aggiornata?
	Localizzazione	Il sito è correttamente localizzato ¹ ?
Gestione	Disponibilità	Il sito è sempre attivo e disponibile?
	Monitoraggio	L'uso del sito è adeguatamente monitorato?
	Aggiornamento	Il sito viene costantemente aggiornato e migliorato?
	Relazioni con gli utenti	Le relazioni con gli utenti sono adeguatamente presidiate?
Accessibilità	Tempi di accesso	I tempi di accesso sono adeguati?
	Reperibilità	Il sito è facile da trovare ² ?
	Indipendenza dal browser	Il sito è accessibile con ogni browser?
	Accessibilità per i disabili	Il sito è utilizzabile da utenti disabili?
Usabilità³	Efficacia	L'utente raggiunge il risultato voluto in modo accurato e completo?
	Efficienza	Lo sforzo richiesto all'utente per ottenere il risultato voluto è accettabile?
	Soddisfazione dell'utente	Il sito è confortevole e ben accetto all'utente?

¹ Questa sottocaratteristica riguarda i siti multi-lingue, e si riferisce alla corretta traduzione dei contenuti informativi, tenendo in debito conto anche le differenze non esclusivamente linguistiche fra i diversi paesi (valuta, sistemi di misura, convenzioni varie ecc.).

² Questa sottocaratteristica riassume, essenzialmente, tre aspetti molto importanti, che possono contribuire in modo determinante al successo di un sito, e che quindi vanno presidiati con cura: la mnemonicità dell'URL di un sito (il nome del sito si ricorda facilmente?); il suo ranking nei motori di ricerca (il sito è facilmente reperibile con i più diffusi motori di ricerca?); la popolarità del sito (il sito è adeguatamente referenziato dagli altri siti?).

³ Le sottocaratteristiche dell'*usabilità* sono state individuate in accordo allo standard ISO 9241, che definisce l'*usabilità* come "l'efficacia, l'efficienza e la soddisfazione con cui determinati utenti possono raggiungere determinati obiettivi in un determinato contesto d'uso". In questa definizione, per efficacia si intende "l'accuratezza e la completezza con cui l'utente raggiunge il risultato voluto"; per efficienza si intende "la quantità di risorse spese per ottenere questo risultato"; per soddisfazione si intende "il comfort e l'accettabilità del sistema da parte dell'utente" [4].

TABELLA 2

Caratteristiche e sottocaratteristiche del modello di qualità proposto

Sottocaratteristiche	Sotto-sottocaratteristiche	Che cosa dobbiamo chiederci
Adeguatezza Le funzioni del sito sono adeguate?	Gestione contenuti	Le funzioni a disposizione dei redattori del sito per l'inserimento e l'aggiornamento dei contenuti informativi durante la vita del sito sono adeguate?
	Transazioni	Le funzioni per effettuare le transazioni sono adeguate?
	Ricerca	Gli strumenti di ricerca delle informazioni presenti nel sito sono adeguati?
	Gestione degli errori	Il trattamento degli errori dell'utente è adeguato?
	Comunicazione	È possibile comunicare in modo adeguato con chi gestisce il sito?

TABELLA 3

Decomposizione della sottocaratteristica **Adeguatezza funzionale** in sotto-sottocaratteristiche

Sottocaratteristiche	Sotto-sottocaratteristiche	Che cosa dobbiamo chiederci
Grafica La grafica del sito è adeguata?	Layout	Il layout delle pagine è adeguato ai principali formati video?
	Gestalt	Il layout delle pagine facilita la comprensione dei contenuti?
	Colore	Il colore è utilizzato in modo adeguato?
	Tipografia	I caratteri utilizzati rendono il testo ben leggibile?
	Attrattiva	La grafica è attraente?

TABELLA 4

Decomposizione della sottocaratteristica **Grafica** in sotto-sottocaratteristiche

5. USARE IL MODELLO DI QUALITÀ

Il modello di qualità che è stato sommariamente presentato nelle pagine precedenti può essere usato in molti modi. Esso può essere utile per effettuare una rapido check-up di un sito, che permetta di individuare le aree principali che richiedono interventi migliorativi, per predisporre il piano di intervento successivo. In questo caso, non serve effettuare analisi dettagliate su sezioni del sito che saranno, con ogni probabilità, pesantemente ristrutturare: sarebbe un inutile spreco di tempo e di denaro. In altri casi, invece, si potrà utilizzare il modello per effettuare una valutazione approfondita del sito, che ne esamini in dettaglio tutte le sue sezioni principali. Questo può essere utile, per esempio, a seguito di un *restyling* del sito, o di diffusi interventi manutentivi in un sito già stabile e maturo, per accertarsi che la qualità complessiva non sia degradata. Altre volte, ancora, il modello può servire a confrontare il sito

con siti concorrenti, per individuare i rispettivi punti di forza e di debolezza.

In tutti i casi, è necessario definire inizialmente con accuratezza quali obiettivi si vogliono raggiungere, come si vuole procedere, e quanto tempo e risorse si possono impiegare a questo scopo. Una valutazione condotta senza una chiara definizione della metodologia rischierebbe, infatti, di produrre dei risultati poco significativi.

Il risultato finale della valutazione di un sito è normalmente un documento, chiamato *rapporto di valutazione*. Esso contiene, anzitutto, una descrizione degli obiettivi del lavoro e della metodologia usata. Presenta poi l'analisi delle caratteristiche di qualità del sito, e la sintesi dei risultati raggiunti: i punti di forza e i punti di debolezza del sito. Il documento si conclude, infine, con una serie di proposte di miglioramento, scaturite e motivate dall'analisi effettuata. Non occorre che il documento sia molto lungo: ciò che realmente importa, nella pratica, è che

Caratteristica	Voto	Peso	Voto pesato
Architettura	2,67	2,50	2,80
Struttura	3	1	3
Mappa del sito	2	0,5	1
Navigazione	3	1	3
Comunicazione	3,00	3,00	3,00
Home page	4	1	4
Brand image	2	1	2
Grafica	3	1	3
Funzionalità	4,00	2,00	4,00
Adeguatezza	4	1	4
Correttezza	4	1	4
Contenuto	3,00	4,00	3,00
Categorizzazione/labelling	2	1	2
Stile	4	1	4
Informazione	3	1	3
Localizzazione	3	1	3
Gestione	2,67	4,00	2,00
Disponibilità	2	1	2
Monitoraggio	1	1	1
Aggiornamento	2	1	2
Relazione con gli utenti	3	1	3
Accessibilità	2,50	3,00	2,92
Tempi d'accesso	3	1	3
Reperibilità	4	1	4
Indipendenza dal browser	2	0,75	1,5
Accessibilità per i disabili	1	0,25	0,25
Usabilità	2,00	3,00	2,00
Efficacia	2	1	2
Efficienza	2	1	2
Soddisfazione	2	1	2

TABELLA 5

Esempio di valutazione di un sito: la valutazione di ciascuna caratteristica corrisponde alla media pesata della valutazione delle sue sotto-caratteristiche, in una scala da 0 a 4

contenga tutto il materiale necessario a giustificare e a motivare adeguatamente le azioni di miglioramento proposte.

Un aspetto importante è la definizione della metrica da utilizzare per la valutazione delle varie caratteristiche. Normalmente, nella valutazione di uno specifico sito, non si attribuisce la stessa importanza a tutte le sottocaratteristiche del modello. Alcune potrebbero perfino essere considerate irrilevanti, come per esempio la localizzazione in un sito destinato al solo pubblico italiano. In funzione degli obiettivi del sito, è utile quindi assegnare a ciascuna sottocaratteristica un “peso”, che esprime l'importanza ad essa attribuita nella valutazione. Così facendo, il voto di ciascuna caratteristica potrà essere calcolato come “media pesata” dei voti assegnati a ciascuna sottocaratteristica.

L'esempio riportato nella tabella 5 chiarisce il metodo. In essa, a ogni sottocaratteristica è stato attribuito un peso, espresso con un numero compreso fra 0 e 1. Il valore 0 è associato alle sottocaratteristiche irrilevanti per il sito in questione, e che quindi non contribuiscono al voto finale. Il valore 1 è invece associato alle caratteristiche di importanza massima. Per esempio, nella valutazione dell'Architettura, abbiamo dato la massima importanza (1) a Struttura ed a Navigazione, ed un'importanza media (0,5) alla Mappa del sito. Poiché i voti attribuiti a Struttura, Mappa del sito e Navigazione sono, rispettivamente, 3, 2 e 3 (in una scala da 0 a 4, come per le macro-caratteristiche), il voto (pesato) complessivo per l'Architettura risulterà quindi fornito dal seguente calcolo:

$$(3 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 1) / 2,5 = 2,80$$

Il voto è un po' più alto della semplice media aritmetica dei voti delle sottocaratteristiche (2,67). Infatti la Mappa del sito, che ha ricevuto un voto piuttosto basso (2), ha un peso minore delle altre sottocaratteristiche.

Come di consueto, la valutazione complessiva dal sito può essere rappresentata con un diagramma a stella, come nella figura 5, che è relativa proprio all'esempio della tabella 5. Può essere conveniente visualizzare con un diagramma a stella anche le valutazioni delle sottocaratteristiche. Per esempio, la figu-

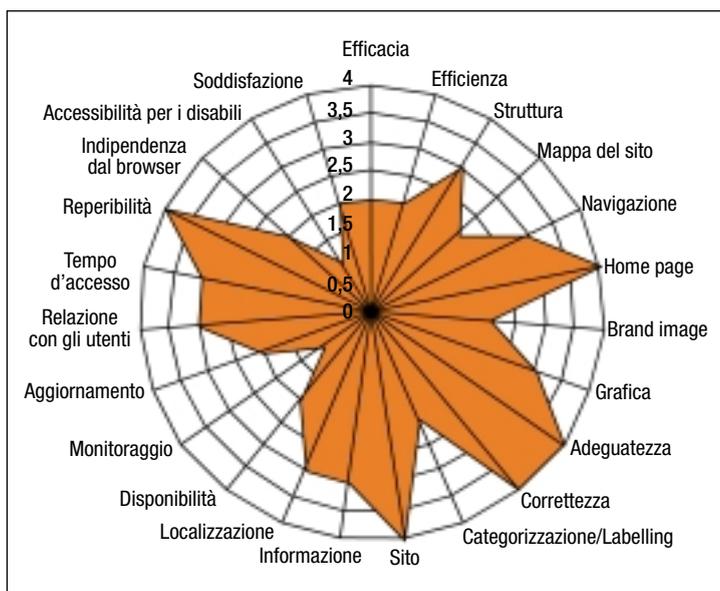
ra 7 riporta il diagramma relativo alle valutazioni della tabella 5.

I diagrammi di figura 5 e 7 ci danno una visione abbastanza precisa della fisionomia del sito, e dei suoi punti di forza e di debolezza, anche se di esso non sappiamo nulla. Sono un po' come i risultati delle analisi di un check-up clinico, da cui il medico trae molte informazioni, anche senza sapere nulla della vita del paziente.

Per convincerci che le cose stanno proprio così, proviamo ad analizzare i dati dell'esempio. Da essi si vede che il sito in questione è ottimo dal punto di vista funzionale, ha buoni contenuti (ma è migliorabile nella classificazione e nel *labeling*), e una buona grafica (ma la coerenza col brand è migliorabile). La gestione è appena sufficiente: infatti sono migliorabili la disponibilità del sito (forse i server sono instabili) e la qualità dei suoi aggiornamenti (ci sono informazioni obsolete?), e non sono utilizzati strumenti di monitoraggio degli accessi. Il sito è reperibile molto facilmente e ha buoni tempi d'accesso. Non è accessibile ai disabili, ma questo non era un obiettivo (il peso attribuito a questa caratteristica è solo 0,25). L'usabilità complessiva è però migliorabile (il voto di efficacia, efficienza e soddisfazione dell'utente è un modesto 2). Questo non sembra dovuto a grossi problemi strutturali (la struttura e la navigazione sono buoni), ma probabilmente a una serie di *microfattori* che si sommano, abbassando il voto complessivo.

Questi fattori dovranno essere individuati analizzando con attenzione i problemi di usabilità emersi durante la valutazione, per scoprire dove gli utenti hanno avuto difficoltà. Sembra probabile che queste criticità siano concentrate nel *labelling* (che ha una valutazione bassa). Forse andrà anche riconsiderata la bassa importanza data alla mappa del sito (solo 0,5), che è migliorabile.

In sostanza, i numeri sembrano dirci che si tratta di un sito con diverse caratteristiche positive, ma carente dal punto di vista della usabilità, che tuttavia sembra migliorabile senza grandi stravolgimenti strutturali o aggiunte funzionali, e di cui dobbiamo migliorare decisamente la gestione. I problemi di



coerenza col brand dovranno, presumibilmente, essere analizzati meglio con i responsabili della comunicazione aziendale. Nella redazione della sintesi finale, i valutatori non dovranno, naturalmente, procedere alla cieca, come nell'esempio appena visto, in cui abbiamo considerato solo i numeri. Essi arriveranno a questo punto dopo aver analizzato il sito in dettaglio, e averne discusso con gli utenti campione. Anche se i voti da loro attribuiti alle varie caratteristiche saranno, inevitabilmente, soggettivi, conosceranno bene pregi e difetti del sito. La diagnosi risultante sarà, quindi, piuttosto attendibile.

5. CONCLUSIONI

Questo articolo ha presentato, sia pure molto sinteticamente, un modello di qualità per i siti web, che permette di valutarne la qualità dal punto di vista della sua *qualità esterna* e della sua *qualità in uso*. Questo modello è stato sperimentato e messo a punto nell'arco di diversi anni, inizialmente a scopi essenzialmente didattici, per aiutare gli studenti dei corsi universitari tenuti da chi scrive a sviluppare una capacità di analisi critica "a tutto tondo" sui siti web. In particolare, è stato utilizzato per fare sia dei rapidi check-up che delle valutazioni più approfondite della qualità in numerosissimi siti web di ogni tipo e complessità, da sempli-

FIGURA 7

Diagramma a stella dei voti attribuiti alle sottocaratteristiche dell'esempio di tabella 5

ci siti informativi a siti di commercio elettronico, a grandi portali.

Il pregio principale del modello consiste nel fatto che esso si basa su una visione del processo di sviluppo e gestione di un sito web, come indicato in figura 3. In tal modo, le proposte migliorative che scaturiscono dalla valutazione di un sito sono facilmente indirizzabili ai diversi tipi di attori impegnati sul sito. Un altro pregio significativo è la sua semplicità: esso può essere usato anche da persone che non abbiano particolari competenze tecniche sulle tecnologie web. La metodologia, inoltre, è ben scalabile: può essere utilizzata per effettuare veloci check-up informali di un sito (in un tempo molto limitato: pochi giorni di lavoro) o valutazioni approfondite, che coinvolgano analisi e test di usabilità sofisticati.

Numerosi esempi di utilizzo della metodologia per la valutazione di siti italiani, realizzati da studenti universitari di Informati-

ca, sono reperibili sul sito www.ilcheckup-deisitiweb.it, tenuto da chi scrive.

Bibliografia

- [1] Buglione L.: *Misurare il software. Quantità, qualità, standard e miglioramento di processo nell'Information & Communication Technology*. Franco Angeli Editore, Milano, 2003.
- [2] Krug S.: *Don't Make Me Think*. Hops Libri, Milano, 2001.
- [3] ISO/IEC 9126: *Information Technology – Software Product Evaluation – Quality Characteristics and Guidelines for their Use*. 1991 e 2000.
- [4] ISO 9241: *Requisiti ergonomici per il lavoro di ufficio con terminali video*.
- [5] Nielsen J.: *Web Usability*. Apogeo, Milano, 2000.
- [6] Polillo R.: *Il check-up dei siti web – valutare la qualità per migliorarla*. Apogeo, Milano, 2004.
- [7] Rosenfeld L., Morville P.: *Architettura dell'informazione per il World Wide Web*. Hops Libri, Milano, 2002.

ROBERTO POLILLO insegna Interazione Uomo Macchina all'Università degli Studi di Milano Bicocca. Da oltre trent'anni si occupa di informatica, e in particolare di software, come professore universitario, imprenditore e manager. È stato uno dei fondatori di Etnoteam, di cui è stato Amministratore Delegato negli anni del boom di Internet. Apogeo ha pubblicato recentemente un suo libro che descrive in dettaglio la metodologia di valutazione della qualità di un sito riassunta in questo articolo.
polillo@disco.unimib.it

IN RICORDO DI GIORGIO SACERDOTI PIONIERE DELL'INFORMATICA ITALIANA

Il 25 maggio 2005 è mancato Giorgio Sacerdoti, ingegnere, informatico, progettista di computer.

Si era laureato a Roma in ingegneria elettrotecnica nel 1953, svolgendo una tesi sui calcolatori elettronici, la prima in Italia. Nel 1954 venne incaricato di installare il calcolatore Ferranti presso l'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo del CNR di Roma, divenendone poi direttore del centro di calcolo. Nel 1956 entra a far parte del gruppo di giovani ricercatori che a Pisa, nel Laboratorio di Ricerche Elettroniche della Olivetti stanno progettando e costruendo un calcolatore di grandi dimensioni, assumendo la responsabilità del progetto di sistema e del software. Il calcolatore, il primo realizzato in Italia, verrà messo nel 1959 sul mercato col nome di ELEA 9003. È un sistema all'avanguardia mondiale per l'impostazione sistemistica, la tecnologia (interamente a stato solido) e il design.

Mantiene la stessa responsabilità quando, a fine degli anni '60, il Laboratorio si trasferisce a Milano. Nel 1962 diviene direttore del Laboratorio dove si progettano altri elaboratori della serie ELEA e le relative periferiche e rimane nella stessa funzione quando le attività elettroniche della Olivetti vengono raggruppate nella Olivetti General Electric. In questo periodo, per due anni consecutivi, è professore incaricato del corso di "Calcolatori elettronici" nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Genova.

Nel 1967 si trasferisce alla Olivetti, dove assume la Direzione per la formazione del personale del Gruppo Olivetti in tutto il mondo. In tale funzione, sviluppa particolarmente le tecniche di addestramento mediante tecnologie audiovisive e informatiche e si fa carico di sensibilizzare gli ambienti pubblici e privati della necessità di formare i potenziali utenti in genere e i giovani in particolare, all'uso delle tecnologie informatiche. Sarà questo un tema di fondo che porterà avanti anche in sede AICA, insieme all'argomento, ad esso complementare, dello sviluppo del software didattico.

Nel 1971 diviene Direttore generale della Società di Ricerca SAGO, con sede a Firenze, attiva nel campo dell'applicazione delle tecnologie elettroniche e informatiche per l'organizzazione della sanità. Contemporaneamente, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze, ricopre l'incarico di "Tecniche per l'organizzazione dei Sistemi", che mantiene fino al 1985 quando, nominato professore associato, va a coprire la cattedra di "Complementi di Calcolatrici" all'Università di Brescia.

Una costante della sua attività è stato l'impegno nella nostra Associazione, di cui è stato Presidente per tre mandati triennali. In tale ambito ha svolto per lungo tempo incarichi culturali e di rappresentanza dell'Italia in organismi internazionali, tra cui l'IFIP, International Federation for Information Processing.

Con Giorgio Sacerdoti scompare non solo un pioniere dei computer, ma il simbolo di una stagione irripetibile di esperienze e di speranze dell'informatica italiana.



Consiglio Direttivo Centrale AICA



INNOVAZIONE ICT E BUSINESS

Rubrica a cura di

Roberto Bellini, Chiara Francalanci

La rubrica "Innovazione ICT e business" 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.

Caso ODMConsulting

Roberto Bellini

1. INTRODUZIONE

ODMConsulting nasce e si sviluppa negli anni 90 come piccola società di consulenza (oggi 10 fra soci e dipendenti) con sede a Bergamo, specializzata nell'area della gestione delle risorse umane e della formazione.

Nel 2000 ODMConsulting lancia una linea di servizi innovativi on-line nell'area dei sistemi retributivi e di incentivazione, che gradualmente negli ultimi 4 anni hanno dato luogo ad una distinta unità di business che ha permesso di censire le retribuzioni di oltre un milione di persone, fatto raddoppiare il fatturato dell'azienda e portato il numero delle aziende clienti dalle 20 del 2000 alle 1.000 di fine 2004, creando quindi un alto livello di visibilità ed una solida reputazione professionale.

2. SERVIZI ON-LINE OFFERTI DA ODMCONSULTING ALLE "PERSONE"

La nuova linea di servizi on-line lanciata da ODMConsulting nel 2000, è destinata alle "persone" che lavorano o sono in cerca di lavoro. Il primo servizio si chiama Quantomipagano.com; chiunque sia interessato a conoscere/verificare l'adeguatezza della propria retribuzione accede al servizio con i seguenti passi:

1. imputa i propri dati anagrafici (età, sesso, di-

ploma o altro titolo scolastico) e alcuni dati sintetici sul tipo di azienda in cui lavora (dimensione, settore, sede geografica);

2. descrive il proprio ruolo in azienda in termini di "cosa fa" e "quanto viene pagato", indicando anche il proprio inquadramento come operaio, professional, quadro o dirigente;

3. riceve immediatamente una risposta ai dati imputati costituita dal valore medio della retribuzione lorda riconosciuta sul mercato del lavoro e da un benchmark che misura la distanza fra la retribuzione dichiarata dall'interessato e quella media riconosciuta dal mercato. Nella figura 1 è riportato il fac simile di come il servizio si presenta sul sito ODMConsulting (www.quantomipagano.com) nel 2000.

La retribuzione di riferimento tiene conto oltre che del tipo di lavoro che svolge, dell'età dell'individuo, del sesso, del suo profilo scolastico, della sua anzianità di lavoro, del suo inquadramento, della dimensione e della zona geografica dell'azienda in cui lavora e del settore di industria in cui opera l'azienda stessa. Il servizio di base è completamente gratuito mentre è possibile ottenere, attraverso il pagamento di un servizio più sofisticato (My-Pay.it, per circa 20 €), un consistente report di analisi della retribuzione stessa, con informazioni preziose e puntuali sul "valore" della professione nel mercato di riferimento.

Il servizio base ha avuto tanto successo da per-

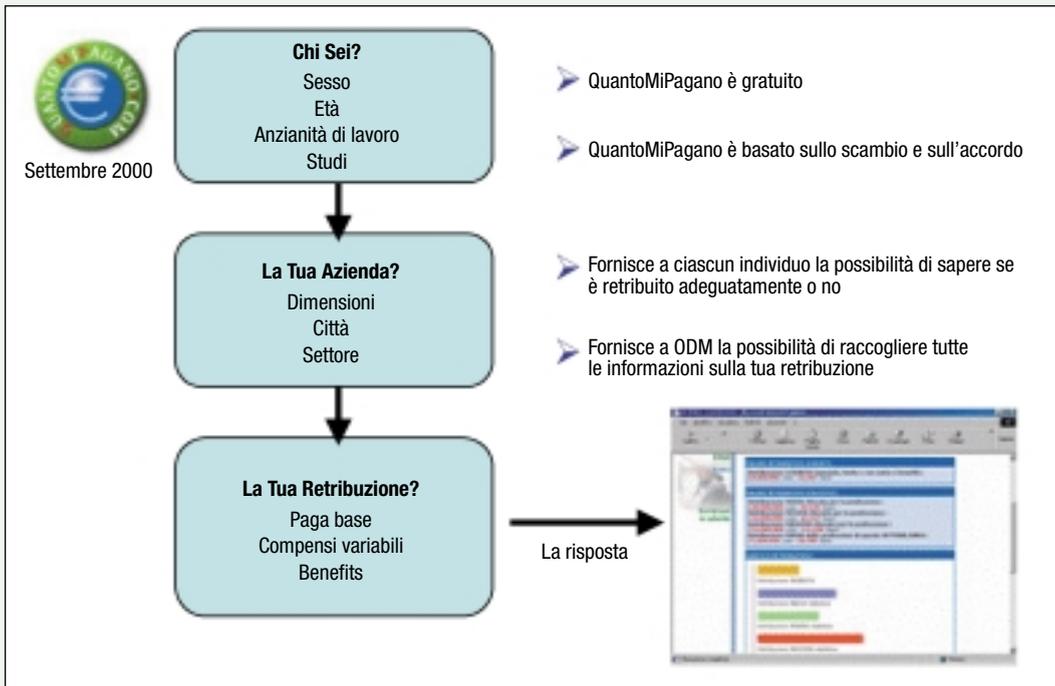


FIGURA 1
Come si presenta sul sito ODMConsulting il servizio "Quantomipagano"

mettere di censire oltre un milione di dichiarazioni retributive in 4 anni; il servizio fin dall'origine è stato sponsorizzato dal Corriere della Sera nel supplemento Corriere Lavoro a cui, successivamente, si è aggiunto quello del Sole 24 Ore nel supplemento Lavoro & Carriere. Oggi la Banca Dati ODMConsulting viene qualificata come la più estesa banca dati sulle retribuzioni oggi esistente in Italia e costituisce la base per una serie di articoli sulle caratteristiche delle retribuzioni nei vari settori, nelle varie aree geografiche, la loro evoluzione nel tempo ecc..

3. ALTRI SERVIZI DERIVATI OFFERTI DA ODMCONSULTING ALLE AZIENDE

Accanto al servizio di base per le "persone", ODMConsulting sviluppa poi un servizio per le aziende costituito dalla stampa di una serie completa di tavole con le retribuzioni rilevate, cioè in sostanza dalla stampa del Data Base delle retribuzioni; il servizio di accesso al Data Base è a pagamento nelle due versioni, cartacea e on line; inizialmente era disponibile solo la versione on line (Compensation.it), ma dopo il primo anno di difficoltà di vendita, il presidente di ODMConsulting, M.Vavassori, ha deciso di produrne una versione cartacea (Compensation Kit) partendo dal presupposto che la pla-

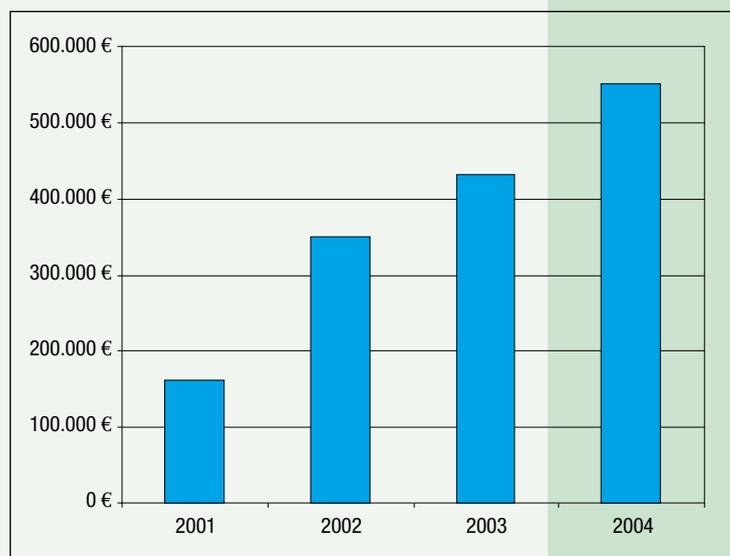


FIGURA 2
La progressione del fatturato totale dell'area servizi di ODMConsulting

tea dei potenziali clienti e utilizzatori, costituita essenzialmente da responsabili del personale con scarso orientamento alla tecnologia, fosse più incline ad un prodotto tradizionale, cartaceo appunto, anche se con funzionalità meno avanzate della versione web.

Vavassori aveva ragione: dal momento in cui è stato disponibile il Compensation Kit, le vendite hanno cominciato ad impennarsi e oggi, dopo 4 anni l'insieme dei servizi di ODMConsulting conta circa 1.000 clienti per un fatturato complessivo di circa 600.000 €, come indicato nella figura 2.

ODMConsulting, mentre sviluppava i nuovi servizi on line negli ultimi 4 anni, ha continuato ad offrire le tradizionali attività di formazione e consulenza alla direzione organizzazione e risorse umane, così come fanno innumerevoli piccole altre società di consulenza; l'incidenza sul fatturato complessivo di ODMConsulting della vendita alle aziende dei vari servizi sui profili retributivi si è sviluppato gradualmente fino a superare nell'ultimo anno il 50% del totale: a partire dal prossimo anno ODMConsulting si trasformerà gradualmente in società di servizi di consulenza strumentata e strutturata focalizzata sull'area delle retribuzioni, dei sistemi di incentivazione e del cosiddetto "premio di risultato", con l'obiettivo di diventare leader di mercato in questa area e di internazionalizzare il successo italiano in altri Paesi europei.

4. COME NASCE L'IDEA DI BUSINESS DEI SOCI ODMCONSULTING

I soci di ODMConsulting erano e sono dei bravi professionisti della consulenza nell'area delle risorse umane e della formazione; il socio fondatore e presidente di ODMConsulting, Mario Vavassori, ha una lunga esperienza in questa area che si è costruita prima nella grande impresa e poi attraverso l'attività di consulenza presso medie e grandi imprese lombarde. Nessuno dei soci di ODMConsulting, nel 2000, quando cominciarono a lavorare all'idea dei servizi on line sulle retribuzioni, aveva una competenza tecnologica, salvo quella di utilizzatore di Internet. Naturalmente Vavassori e soci conoscevano molto bene, per averle praticate come consulenti nelle grandi aziende, le metodologie di assessment della posizione organizzativa e del relativo livello retributivo associato a tale posizione, applicate da alcune multinazionali della consulenza come Hay, Watson Wyatt, Towers Perrin ecc..

Il principale punto di debolezza di tali metodologie è costituito dall'onerosità della rilevazione che il cliente paga sia sottoforma di parcelle professionali dei consulenti sia come impegno della propria Direzione del Personale per rispondere e verificare quanto previsto dalla procedura di rilevazione; in cambio di tale onere però l'azienda sa quali sono le "forbici di valore del lavoro" riconosciute dal mercato entro cui posizionare il valore complessivo della retribu-

zione dei propri dipendenti; tale informazione è soprattutto necessaria nei mercati ad alta tecnologia, molto competitivi sul piano nazionale e internazionale, in cui "catturare" risorse professionali e manageriali pregiate portandole via alle aziende concorrenti, per aumentare/mantenere il proprio livello di competitività.

I servizi di questo genere erano disponibili sul mercato per le imprese italiane a partire dagli anni '80; la tecnologia ICT non era ancora disponibile per dare grossi contributi se non in termini di archiviazione elettronica e di elaborazione dei dati raccolti; tutte le procedure erano svolte manualmente, a costi molto elevati ma comunque sostenibili da parte delle grandi imprese.

I soci ODMConsulting avevano consapevolezza, nel 2000, di quale sarebbe stato il ruolo di Internet per un servizio sulle retribuzioni. I 2 presupposti fondamentali messi a fuoco dai soci ODMConsulting infatti per un servizio sulle retribuzioni erano:

a. l'interesse per la propria retribuzione che chiunque lavori o cerchi lavoro ha a livello individuale è sempre presente; anzi, il valore della retribuzione è uno dei principali "motori" motivazionali della ricerca di nuove opportunità da parte di chi ritiene di poter migliorare la propria qualificazione professionale;

b. l'accesso ad Internet non era più un problema; sia nelle imprese che nelle famiglie ci si avviava alla saturazione delle possibilità di accesso individuale, cioè tutti coloro che lavorano e anche quelli che non lavorano potevano avere accesso ad Internet.

L'idea innovativa di ODMConsulting si poteva riassumere così:

■ mettere a disposizione di chiunque un sistema via Internet di benchmark della propria retribuzione; l'accesso al servizio doveva essere gratuito ed essere contestualmente molto accreditato, da cui la strategia delle sponsorizzazioni con i 2 maggiori quotidiani italiani rispettivamente nella società (Corriere della Sera) e nelle imprese (il Sole 24 Ore);

■ vendere alle imprese italiane, soprattutto alle medie e piccole imprese, il benchmark sulle retribuzioni degli italiani, facendosi pagare quindi solo il valore del dato e non il costo della rilevazione; naturalmente il livello di articolazione del Data Base delle retribuzioni deve essere sufficientemente alto da permettere a ciascuna impresa interessata di trovare una o più "celle"

in cui poter riconoscere il valore delle retribuzioni dei propri dipendenti.

Con questa soluzione, il costo della rilevazione si spostava dal rilevatore a ciascun individuo interessato a conoscere/aggiornare il valore della propria retribuzione.

Il successo del servizio alle aziende fornito da ODMConsulting si spiega oggi sia per il suo alto livello di competitività rispetto a quello delle grandi multinazionali, sia perchè va a coprire un'esigenza informativa di tutte le imprese almeno al di sopra dei 100 addetti, per le quali un servizio come quello proposto da ODMConsulting prima non era disponibile.

5. STRUTTURA E CARATTERISTICHE DELL'UNITÀ DI BUSINESS DEI SERVIZI ON LINE

L'unità di business dei servizi on line di ODMConsulting è organizzata per la commercializzazione ed erogazione dei servizi come indicato di seguito:

Direzione e comunicazione: la direzione dell'unità di business servizi on line è sotto la responsabilità di M. Vavassori, presidente e socio fondatore di ODMConsulting; pur continuando a fare anche il consulente e il formatore, è Vavassori che imposta i prodotti e che comunque tiene le relazioni con i media partner, cioè i quotidiani; è sempre lui che scrive gli articoli di commento ai dati pubblicati settimana per settimana dai media partner.

Marketing: il marketing di prodotto, affidato ad un giovane professional che nasce con i nuovi servizi on line, ha un ruolo fondamentale nel confezionare il prodotto cartaceo per le aziende; è sotto la responsabilità del marketing anche la gestione degli indirizzi dei clienti con il supporto di un sofisticato sistema di CRM-Customer Relationship Management e la promozione via Internet sia dei prodotti standard che delle 3-4 indagini aggiuntive svolte ogni anno. È ancora a carico del marketing l'assistenza ai clienti aziende in termini di interpretazione e analisi dei dati.

Vendita: la vendita dei prodotti viene affidata, a partire dal secondo anno, ad un responsabile commerciale dedicato che ha il compito di seguire sia i clienti diretti che la rete di business partner per la vendita indiretta; l'idea di avere anche dei business partner nasce dalla necessità di raggiungere le piccole e medie imprese

sul territorio nazionale. La vendita si sviluppa quindi su 3 canali: diretto, tramite il commerciale e via Internet, e indiretto, tramite i business partner; la segreteria commerciale supporta le procedure di ordine, consegna e fatturazione dei prodotti venduti.

Progettazione, sviluppo ed erogazione prodotti: anche la progettazione, lo sviluppo e la erogazione dei prodotti è affidata ad un giovane professional che nasce con i nuovi servizi on line; sotto la sua responsabilità si sviluppano le specifiche di prodotto, la strumentazione necessaria per la raccolta dei dati via web (sviluppo questionari, gestione comunità, raccolta dati), l'analisi dei dati, la costruzione delle tavole base dei prodotti e lo sviluppo dei report.

Progettazione e manutenzione del sistema tecnologico: infine arriviamo al sistema tecnologico; anche in questo caso il giovane professional che ne è responsabile si forma sul campo sviluppando i software applicativi o coordinando lo sviluppo del software affidato a risorse esterne; l'architettura del sistema, rappresentata molto schematicamente nella figura 3, mostra quali sono i principali archivi del sistema e quali sono i servizi a pagamento e gratuiti che vengono erogati rispettivamente agli individui (B-to-C) e alle imprese (B-to-B); naturalmente il responsabile ha anche l'incarico di presidiare la gestione tecnica della erogazione e di fornire, dove richiesto, l'assistenza sistemistica ai clienti o agli utenti.

6. MODALITÀ CON CUI LE TECNOLOGIE ICT CONTRIBUISCONO AL SUCCESSO DI BUSINESS

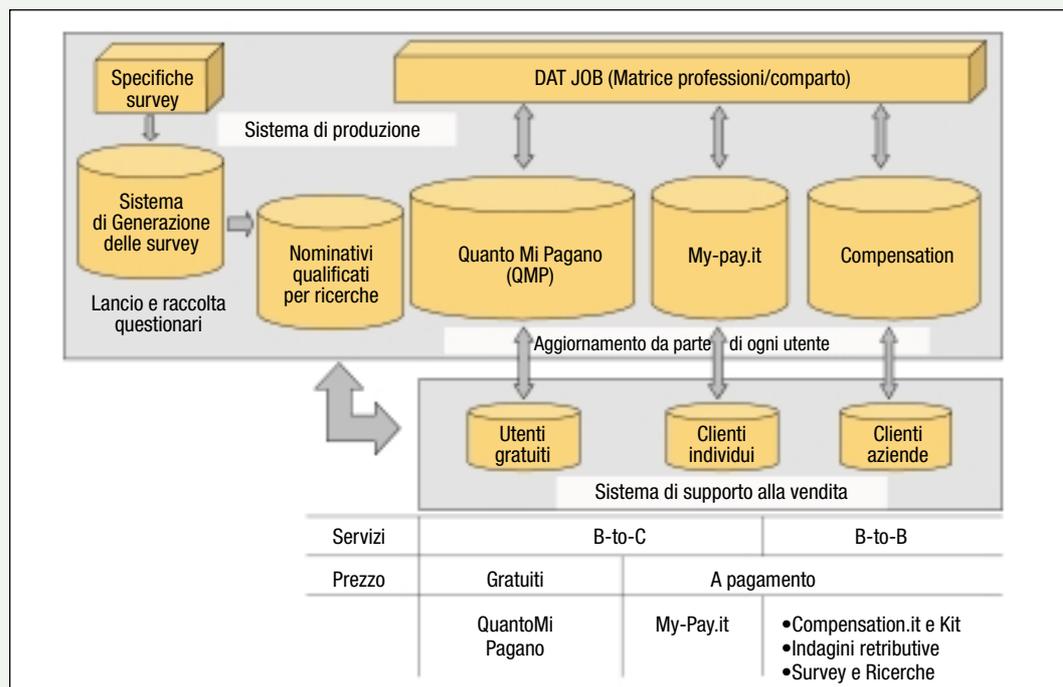
Sulla base della architettura del Sistema Informativo di ODMConsulting Net possiamo distinguere il Sistema di Produzione e il Sistema di Supporto alla Vendita.

Il Sistema di Produzione si articola intorno ai Database relativi ai 3 principali prodotti di ODMConsulting: per gli individui, l'archivio di QuantoMiPagano e quello di My-Pay.it, per le aziende quello relativo a Compensation Kit e alla versione elettronica Compensation.it.

Ciascuno degli archivi relativi agli individui viene aggiornato automaticamente ad ogni accesso da parte di un nuovo utente o nuovo cliente: l'applicazione software in esercizio prevede le seguenti funzionalità:

■ acquisizione da parte dell'utente/cliente, at-

FIGURA 3
Architettura
del Sistema
Informativo Servizi
ODMConsulting



traverso apposite maschere su web, di tutti i dati necessari alla selezione e filtraggio del risultato di benchmark retributivo;

■ sulla base della professione/comparto identificata, selezione nei rispettivi archivi di riferimento dei dati relativi alle componenti retributive associate;

■ editing della riposta e presentazione all'utente/cliente; nel caso di May-Pay.it, la procedura di editing è particolarmente complessa dato che il software costruisce in modo completamente automatico un report di una quindicina di pagine;

■ chiusura della sessione, con la stampa del risultato del benchmark retributivo.

Per il servizio Compensation non c'è alcun aggiornamento automatico da parte del cliente azienda; in questo caso l'applicazione software prevede solo funzionalità di aggiornamento periodico dei dati retributivi acquisiti tramite i servizi alle persone e produzione delle tavole aggiornate. Il Sistema di Produzione per il cliente azienda è completato da una serie di strumenti di analisi ed elaborazioni di tipo statistico, utilizzati per la costruzione sia delle tavole dei servizi che delle tavole sintetiche di supporto alla comunicazione sui media.

Il Sistema di supporto alla Vendita si articola intorno ad un sistema CRM-Customer Relationship Management, che registra tutti dati

relativi alla profilatura del singolo cliente azienda.

7. ASPETTI ECONOMICI DEI SERVIZI ODMCONSULTING

Molto interessante diventa capire come si articolano i costi di commercializzazione, erogazione e sviluppo dei servizi on line di ODMConsulting. I costi sono stati costruiti valorizzando i costi aziendali delle risorse dedicate, ricostruite analiticamente imputando le giornate dedicate per singolo tipo di attività/prodotto erogato, oltre che completate con gli eventuali costi esterni.

Come si vede dalla tabella 1, i costi commerciali sono i più alti, assorbendo ben il 32% del fatturato, mentre i costi di produzione assorbono

Fatturato	100%
Costi commerciali	32%
Costi di produzione	30%
Costi generali	17%
Ammortamenti	16%
Margine	5%

TABELLA 1

Il contributo dei vari tipi di costi per la cattura del fatturato dei Servizi ODMConsulting

il 30% del totale e i costi generali con il loro 17% si configurano come equilibrati. Il margine lordo al termine del 4° anno mostra un valore del 5% che comincia ad essere significativo e che è destinato a migliorare.

Il totale degli ammortamenti, che comprendono sia gli acquisti di materiali e tecnologie sia il lavoro di sviluppo dei nuovi prodotti, incidono per un 16% sul totale del fatturato; pur trattan-

dosi di investimenti relativamente rilevanti in tecnologie dato che tutti i servizi, sia quelli per le "persone" che quelli per le "aziende", sono erogati con un elevatissimo livello di automazione (le tecnologie operanti in questo caso svolgono il ruolo sia di tecnologie di produzione dei servizi vendibili sia di tecnologie di comunicazione e distribuzione), il valore assoluto è relativamente piccolo.

INTERVISTA

Vavassori svela i "segreti" del successo dei servizi di ODMConsulting

Quali sono i segreti del successo dei servizi on line di ODMConsulting? Lo abbiamo chiesto a Vavassori.

Quali sono state secondo lei, le ragioni profonde del successo dei servizi ODMConsulting?

Siamo riusciti ad utilizzare le nostre competenze sulle retribuzioni e sulla organizzazione aziendale per realizzare prodotti/servizi standardizzati basati sulle nuove tecnologie, che in particolare danno la possibilità di connessione e di scambio di informazioni; da una parte, con il servizio QuantoMiPagano abbiamo colto un profondo bisogno insoddisfatto dell'individuo che lavora, quello relativo alla informazione sulla sua retribuzione; dall'altra però, abbiamo scoperto che anche le aziende, soprattutto le piccole e medie, hanno un bisogno simile soddisfatto dal servizio Compensation Kit, quello di sapere se il livello retributivo dei propri dipendenti è in linea con quanto offre il mercato del lavoro; quindi i segreti del successo sono nell'ordine: la soddisfazione di un bisogno informativo sia a livello di individuo che a livello di impresa, la nostra capacità di proporre un sistema sufficientemente semplice, ma non per questo meno completo, di raccogliere i dati necessari per rispondere al bisogno degli individui, e infine la disponibilità di tecnologie a costi accettabili per una piccolissima impresa come la nostra.

Come avete fatto a "convincere" più di un milione di italiani ad utilizzare il servizio QuantoMiPagano?

Per questo l'idea giusta è stata quella di andare a proporre la sponsorizzazione del servizio ad un media partner importante come il Corriere della Sera; la collaborazione con Corsera ha dato a ODMConsulting la visibilità e l'opportunità di usare il loro marchio per i nostri prodotti, mentre ha dato al quotidiano la possibilità di usare le nostre informazioni in esclusiva; il risultato è stato straordinario: abbiamo cominciato a fare 2.000 "interviste" al giorno e oggi possiamo dire di avere tenuto sotto osservazione la retribuzione di oltre un milione e mezzo di lavoratori.

In sintesi allora quali sono stati i fattori critici di successo dell'iniziativa?

I nostri 1.000 clienti attuali hanno apprezzato evidentemente il fatto che dall'inizio abbiamo potuto dichiarare, ed era vero, che avevamo/abbiamo la più grande base dati sulle retribuzioni italiane che copre il più grande numero di posizioni organizzative, i settori di industria anche meno importanti, la possibilità di fare anche rapporti su richiesta; ha trovato inoltre buona accettazione la decisione di distribuire i nostri prodotti in 3 formati diversi e cioè in formato cartaceo, su CD e via Internet; ancora ha trovato ottima accoglienza la proposta di usare la tecnica del benchmark per rispondere sia alle persone che alle imprese.

E il ruolo della tecnologia ICT?

Senza la capacità abilitante delle tecnologie ICT e la loro disponibilità a costi accettabili il servizio ODMConsulting non sarebbe stato possibile; ma con altrettanta chiarezza devo dire che se questa è stata una condizione necessaria per lo sviluppo del nuovo servizio, senza la messa in campo degli altri fattori critici di successo indicati prima, il servizio non sarebbe mai decollato.

ROBERTO BELLINI è docente di Gestione e Marketing dell'Innovazione presso il Politecnico di Milano e docente di Marketing e Gestione della Relazione con il cliente nell'ambito del MIP, con una focalizzazione sulla innovazione nelle reti di imprese. Presiede la Sezione AICA di Milano ed è responsabile per Aica del progetto Osservatorio delle Competenze e delle Certificazioni Informatiche, sviluppato con Federcomin e Fondazione Politecnico.
roberto.bellini@polimi.it

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.
francala@elet.polimi.it



DENTRO LA SCATOLA

Rubrica a cura di

Fabio A. Schreiber

Il Consiglio Scientifico della rivista ha pensato di attuare un'iniziativa culturalmente utile presentando in ogni numero di Mondo Digitale un argomento fondante per l'Informatica e le sue applicazioni; in tal modo, anche il lettore curioso, ma frettoloso, potrà rendersi conto di che cosa sta "dentro la scatola". È infatti diffusa la sensazione che lo sviluppo formidabile assunto dal settore e di conseguenza il grande numero di persone di diverse estrazioni culturali che - a vario titolo - si occupano dei calcolatori elettronici e del loro mondo, abbiano nascosto dietro una cortina di nebbia i concetti basilari che lo hanno reso possibile.

Il tema scelto per il 2004 è stato: "**Perché gli anglofoni lo chiamano computer**", ovvero: **introduzione alle aritmetiche digitali**. Per il 2005 il filo conduttore della serie sarà: "**Ma ce la farà veramente?**", ovvero: **introduzione alla complessità computazionale e alla indecidibilità**" e il suo intento è di guidare il lettore attraverso gli argomenti fondanti dell'Informatica e alle loro implicazioni pratiche e filosofiche. La realizzazione degli articoli è affidata ad autori che uniscono una grande autorevolezza scientifica e professionale a una notevole capacità divulgativa.

Formule, numeri e paradossi

Dino Mandrioli

1. INTRODUZIONE

Questo è il secondo articolo della serie dedicata agli aspetti più concettuali e teorici dell'informatica. Esso è in diretta relazione con il primo [1] e, per una lettura e comprensione non superficiali, ne presuppone la conoscenza. In [1] infatti abbiamo visto come il concetto fondamentale di tutta l'informatica, l'algoritmo, inteso come processo di calcolo automatizzabile, abbia radici in comune con la matematica e la filosofia, che risalgono a diversi secoli prima di Cristo. Abbiamo inoltre osservato come la classe dei problemi risolvibili automaticamente, ossia mediante algoritmi, pur vastissima, presenti importanti e "incolmabili lacune": molti problemi di notevole rilevanza pratica e concettuale possono essere risolti *–se possono essere risolti–* solo ricorrendo a doti umane difficilmente formalizzabili come intuizione, esperienza, ... Questo secondo articolo, di taglio necessariamente più tecnico-matematico¹ fornirà una di-

mostrazione dell'enunciato suddetto; il suo scopo, tuttavia, più che aumentare nel lettore il convincimento dell'enunciato stesso, è mostrare come le tecniche utilizzate dai "pionieri" per giungere a questi risultati abbiano molto in comune con altre forme classiche di ragionamento matematico e filosofico e mostrare quindi –nuovamente– i profondi legami che storicamente uniscono queste discipline.

2. L'ENUMERAZIONE (O GOEDELIZZAZIONE)

Il termine "enumerazione" è di largo uso nel linguaggio comune: si possono enumerare le squadre di un campionato, gli alunni di una classe, le offerte commerciali di una ditta ecc.. In termini matematici enumerare gli elementi di un insieme S significa stabilire una *corrispondenza biunivoca* tra S e l'insieme dei numeri naturali, o un suo sottoinsieme, se il numero degli elementi di S è finito. Si noti infatti che la seguente enumerazione dei giorni della settimana, {lunedì, martedì, ... domenica} implicitamente associa all'elemento "lunedì" il numero 1, a "martedì" il numero 2 e così via. In

¹ Lo stile espositivo, tuttavia, sarà il più possibile informale e discorsivo. Il lettore interessato ad entrare approfonditamente negli aspetti più formali può consultare, per esempio [2].

questo modo possiamo riferirci al “terzo giorno della settimana” per intendere “mercoledì”. In generale, una qualsiasi tabella costituisce un’enumerazione.

Un insieme si dice perciò numerabile, o enumerable, se è possibile stabilire una corrispondenza biunivoca tra esso e un sottoinsieme dei numeri naturali. Non a caso linguaggi di programmazione come il Pascal permettono di usare come indice di un array (che altro non è che una tabella finita) un qualsiasi insieme numerabile finito: è infatti immediato “tradurre” un indice “giorno della settimana” in un numero compreso tra 1 e 7 e viceversa (d’ora in avanti però, per uniformarci alla prassi del linguaggio C e dei suoi derivati nonché al fatto che i numeri naturali comprendono anche lo 0, inizieremo sempre le nostre enumerazioni dallo 0).

Moltissimi, anzi infiniti insiemi sono numerabili². Per esempio, fissato un alfabeto di caratteri, l’insieme delle stringhe di lunghezza finita di tali caratteri è numerabile in varie maniere: supponendo per semplicità che l’alfabeto in questione contenga i soli caratteri ‘a’ e ‘b’, una possibile enumerazione è per lunghezza crescente e in ordine alfabetico: { ϵ , a, b, aa, ab, ba, bb, aaa, aab, ...}, dove ϵ denota la stringa convenzionale di lunghezza 0, ossia costituita da 0 caratteri, detta anche stringa vuota o stringa nulla.

Essendo poi un linguaggio (sia naturale, come l’Italiano, che artificiale, come un linguaggio di programmazione) un sottoinsieme dell’insieme di tutte le stringhe ottenibili da un dato alfabeto, se ne deduce che ogni linguaggio è a sua volta numerabile.

Un caso particolare di linguaggio e di relativa enumerazione è costituito dall’insieme delle Macchine di Turing. Facendo riferimento alla descrizione di questo modello fornita in [1], un semplice modo per enumerare tutte le macchine di Turing è il seguente. Scriviamo prima tutte le possibili macchine con due stati (macchine a uno stato solo non sono molto significative, ma, volendo, nulla ci impedisce di comprenderle nel nostro elenco; rammentiamo anche che, senza perdere in generalità ab-

biamo adottato un alfabeto costituito da due soli simboli: lo fanno anche tutti i calcolatori di questo mondo ...). Orbene le possibili macchine con due stati sono in un numero finito: c’è un numero finito di modi diversi di riempire le 4 caselle corrispondenti alle 2×2 combinazioni possibili di stati e simboli dell’alfabeto mediante terne del tipo <simbolo da scrivere sul nastro, nuovo stato, spostamento della testina>³. Possiamo perciò ordinarle, ossia enumerarle, secondo un qualche criterio; per esempio, possiamo indicare come “macchina numero 0” quella con tutte le caselle vuote, come “macchina numero 1” quella in cui l’unica casella non vuota è quella in basso a sinistra e che contiene la terna <_, s1, R>⁴, come “macchina numero 2” quella in cui l’unica casella non vuota è quella in basso a sinistra e che contiene la terna <_, s1, L> ecc.. Dopo aver enumerato l’ultima macchina con due stati (per esempio quella che ha tutte le caselle piene e contenenti la terna <|, s2, N>, passiamo ad enumerare tutte le macchine con 3 stati (saranno molte più di quelle a due stati ma sempre in numero finito) e così via: ad ogni macchina abbiamo assegnato un numero d’ordine appartenente all’insieme dei numeri naturali.

Questo procedimento ci suggerisce due osservazioni fondamentali:

1. Il procedimento è assolutamente generale e può essere facilmente esteso a qualsiasi “linguaggio” nell’accezione più ampia possibile del termine: allo stesso modo sono perciò enumerabili tutti i programmi C o Pascal, tutte le formule che si possono scrivere in logica matematica, tutti gli spartiti musicali ecc..

2. Il *procedimento* è anche *algoritmico*. Infatti non dovrebbe essere difficile riconoscere nella sua descrizione soprastante i requisiti tipici di un algoritmo. Chiunque abbia un po’ di esperienza di programmazione potrebbe ricavarne un programma che, ricevuta in ingresso la descrizione di una macchina di Turing, attraverso la sua tabella, produca in uscita il numero ad essa corrispondente e *viceversa*.

Un tale processo di enumerazione algoritmica

² Non tutti però! Anzi vedremo tra breve che ancor di più non lo sono.

³ Per essere precisi questo numero è $(2 \cdot 2 \cdot 3 + 1)^{(2 \cdot 2)} = 13^4$. Perché?

⁴ I simboli R, L, N indicano, rispettivamente, spostamento a destra, a sinistra e non spostamento della testina.

degli elementi di un insieme si dice anche *Goedelizzazione*, in omaggio a Kurt Goedel che lo usò sistematicamente per ricavare i suoi fondamentali risultati già menzionati in [1]. Perciò l'indice associato dall'enumerazione a un generico elemento X dell'insieme viene anche chiamato numero di *Goedel* di X . Per esempio, se nella precedente enumerazione una macchina occupa la posizione i , la indicheremo con M_i e diremo che essa è la i -esima macchina di Turing e che i è il suo numero di Goedel.

L'enumerazione è anche una tecnica, forse banale, ma semplice e spesso efficace, per risolvere molti problemi. Per esempio, se vogliamo stabilire se un oggetto si trova in un insieme (tabella, array, o altra struttura dati) la cosa più semplice da fare è enumerarne tutti gli elementi e confrontarli, uno per uno, con l'oggetto in questione: se il confronto dà esito positivo in qualche caso ne otteniamo una risposta positiva; altrimenti, se giungiamo al termine dell'enumerazione senza aver trovato alcun elemento identico a quello in questione, la ricerca dà esito negativo. Similmente, se vogliamo calcolare la radice quadrata intera di un numero naturale n , possiamo enumerare tutti i numeri naturali m , iniziando da 0 o da 1; calcolarne il quadrato e confrontarlo con n ; non appena troviamo un valore m , tale che $m^2 > n$, possiamo concludere che $m - 1$ è la radice cercata.

Consideriamo ora il *decimo problema di Hilbert*, ossia il problema di stabilire se un polinomio a coefficienti interi in un qualsiasi numero di variabili ammetta radici intere. In [1] abbiamo affermato che questo problema è stato dimostrato indecidibile. Osserviamo tuttavia che, data una qualsiasi n -pla di valori interi, è immediato verificare se essa è una radice di un certo polinomio in n variabili. Potremmo perciò enumerare tutte le n -ple (per esempio, per $n = 3$, una possibile enumerazione è $\{ \langle 0,0,0 \rangle; \langle 0,0,1 \rangle; \langle 0,0,-1 \rangle; \langle 0,1,0 \rangle; \langle 0,-1,0 \rangle; \dots \langle 0,1,1 \rangle; \dots \}$) e per ognuna di esse verificare se essa è una radice del polinomio. In questa maniera, evidentemente, *se una radice intera esiste*, prima o poi (magari dopo tempi biblici, ma questo aspetto al momento non ci riguarda) la si trova. Il punto critico però sta nella domanda: "e se una tale radice non esiste?". Evidentemente in tal caso continueremmo ad enumerare n -ple di valori interi (che sono infi-

nite) senza poterci mai arrestare. Siamo tornati al problema della terminazione del calcolo: come fare per sapere se la nostra enumerazione prima o poi avrà successo? Il fatto che il decimo problema di Hilbert sia indecidibile significa che non c'è modo di saperlo (algoritmicamente). Tuttavia, il procedimento di cui sopra ha tutti i requisiti dell'algoritmo; diversamente dagli altri algoritmi considerati finora, però, la sua esecuzione termina solo se il problema ammette soluzione.

Per questo motivo problemi come questo, per i quali esistono algoritmi che calcolano la soluzione, se essa esiste, ma in caso contrario non forniscono garanzia di terminazione, si dicono *semidecidibili*. Si noti che lo stesso problema della terminazione del calcolo è banalmente semidecidibile: infatti basta "far girare la macchina M sul dato x " per scoprire che la sua esecuzione terminerà ... *se terminerà!*

Purtroppo però, tra semidecidibilità e decidibilità c'è di mezzo ... l'altra metà come ci dimostreranno le sezioni 4 e 5.

3. IL PROBLEMA DELL'HALT CONNESSIONI CON MATEMATICA E FILOSOFIA

Siamo ora in grado di provare quanto affermato in [1], ossia "Non esistono algoritmi, ossia macchine di Turing, in grado di risolvere il problema della terminazione del calcolo".

La dimostrazione rigorosa è data nel riquadro. A prima vista la dimostrazione potrebbe sembrare una "tipica, noiosa dimostrazione di un tipico teorema che può interessare pochi strampalati amanti della matematica". In realtà essa ripercorre alcuni fondamentali paradigmi del ragionamento umano che, come abbiamo già affermato nell'articolo precedente [1], sono serviti, nel corso dei millenni, ad evidenziare proprio i limiti del nostro ragionamento. Per fissare le idee, potremmo enunciare questi paradigmi con i termini seguenti: *assurdo*, *diagonalizzazione*, *negazione*. Il ragionamento per assurdo è il più evidente e non dovrebbe richiedere ulteriori spiegazioni e commenti. Concentriamoci perciò sugli altri due.

Il procedimento utilizzato è *diagonale*, perché abbiamo considerato un dominio di coppie di numeri $\langle m, x \rangle$, rappresentabili in un piano cartesiano a coordinate intere e ci siamo posti sul-

Teorema dell'Halt

In primo luogo riformuliamo il problema in termini “numerici”. Grazie alle tecniche enumerative, un qualsiasi dominio di dati può essere rappresentato attraverso l'insieme dei numeri naturali, \mathcal{N} . Quindi un qualsiasi problema può essere formalizzato come una funzione f , con dominio \mathcal{N} e codominio \mathcal{N} . Una macchina di Turing M che quindi calcola una funzione f , può essere a sua volta indicata attraverso il suo numero di Goedel m . Denotiamo con f_m la funzione calcolata da M_m . Poiché sappiamo che in generale una macchina M potrebbe non terminare mai la sua computazione in corrispondenza di un dato di ingresso x , diciamo allora che in tal caso $f_m(x)$ è *indefinita*, e indichiamo questo fatto con la notazione $f_m(x) = \perp$, dove il simbolo \perp indica appunto un valore convenzionale indefinito, ovviamente non appartenente ad \mathcal{N} .

Il problema di decidere se la macchina M terminerà la sua esecuzione in corrispondenza del dato di ingresso x significa perciò stabilire se, per un generico m e un generico x , $f_m(x) \neq \perp$ o no. Orbene, ragioniamo per assurdo e supponiamo che esso sia decidibile. Ciò equivale a dire che esiste un algoritmo, ossia una macchina di Turing, che calcola la seguente funzione:

$$g(m, x) = 1 \text{ se } f_m(x) \neq \perp; g(m, x) = 0 \text{ se } f_m(x) = \perp$$

Ma se una tale macchina esistesse sarebbe molto facile ricavare da essa un'altra macchina che calcola invece la funzione:

$$h(z) = 1 \text{ se } f_z(z) = \perp; h(z) = \perp \text{ se } f_z(z) \neq \perp$$

Per calcolare $h(z)$ per un generico z basterebbe infatti calcolare la funzione g per $m = x = z$; se il risultato fosse $g(z, z) = 0$, produrre in uscita il valore 1; se invece fosse 1 basterebbe portare la macchina in uno stato in cui, per esempio, la testina continua a spostarsi a destra di una posizione senza cambiare più stato, e fare in modo che la macchina non si arresti mai. Dunque, in base alla nostra ipotesi (assurda), esiste una macchina che calcola h ; essa avrà un numero di Goedel, diciamo y . Quindi, in base alla nostra notazione, h è la funzione f_y . Domandiamoci allora “Quanto vale $h(y)$?”

Per come è definita, $h(y)$ può solo valere 1 oppure essere ... indefinita (il lettore ci scuserà il gioco di parole, pur matematicamente corretto).

Supponiamo dunque che sia $h(y) = 1$. Essendo h la funzione f_y , ciò significa $f_y(y) = 1$; ma, se nella precedente definizione poniamo $z = y$, otteniamo anche $f_y(y) = \perp$: una contraddizione. Dobbiamo perciò escludere la possibilità $h(y) = 1$. Non resta che esaminare l'unica alternativa possibile, ossia $h(y) = \perp$. Ripetendo il ragionamento però, ciò significa $f_y(y) = \perp$ ma anche il suo contrario, $f_y(y) \neq \perp$. Nuovamente, una contraddizione, che quindi conclude il ragionamento per assurdo. QED.

la diagonale del piano, ossia abbiamo considerato il caso $m = x = z$.

Il procedimento utilizzato è *centrato sulla negazione*, perché “abbiamo scambiato il Sì con il No”: ciò che era 1 nella definizione di g è diventato \perp nella definizione di h mentre lo 0 di g è diventato 1 per h .

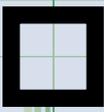
Orbene questi stessi “schemi mentali” si ritrovano in numerosi *paradossi* elaborati da diversi filosofi o matematici nel corso dei secoli. Per esempio, il “paradosso del barbiere” definisce l'unico barbiere di un paese come colui che rade tutti e solo coloro che non si radono da soli, per ricavarne che il barbiere non può né radersi da solo né non radersi da solo: se indichiamo con $g(m, x) = 1$ il fatto che m rade x e con $g(m, x) = 0$ il fatto che m non rade x , il “non radersi da solo”, palesemente corrisponde al valore $g(z, z) = 0$. Simili analogie valgono per il paradosso di Russell, che fa riferimento all’“insieme degli in-

siemi che non appartengono a se stessi”, per concludere che un tale insieme non può né appartenere a se stesso né non appartenere a se stesso e mettere così in crisi l'insiemistica tradizionale.

Ancora più evidente è l'analogia con la dimostrazione del teorema di Cantor che afferma che non è possibile stabilire una corrispondenza biunivoca tra \mathcal{N} e il suo insieme delle parti $\mathcal{P}(\mathcal{N})$ ⁵. Anche in questo caso infatti, si assume per assurdo che una tale corrispondenza esista, ossia che a ogni numero n corrisponda uno e un solo sottoinsieme di \mathcal{N} , S_n , e, viceversa, ogni sottoinsieme S di \mathcal{N} “abbia un suo indice” ossia compaia nella enumerazione $\{S_n\}$. Definiamo allora quell'insieme $S \subseteq \mathcal{N}$, costituito da tutti quei numeri i tali che $i \notin S_i$. S è ben definito, se vale l'ipotesi assurda: infatti per esempio, $0 \in S$ se e solo se $0 \notin S_0$, $1 \in S$ se e solo se $1 \notin S_1$ ecc⁶.. Allora un tale S (che potrebbe anche essere l'insieme vuoto o

⁵ Sul teorema di Cantor è fondato il concetto di cardinalità degli insiemi infiniti. Grazie ad esso, si può affermare che i numeri reali hanno la “cardinalità del continuo”, che è superiore alla “cardinalità del numerabile” che accomuna invece numeri naturali, numeri interi, numeri razionali, nonostante gli uni siano sottoinsiemi propri degli altri.

⁶ Si noti che qui la computabilità non c'entra: stiamo *definendo* S indipendentemente dal fatto che esista un *algoritmo per decidere* se un generico $n \in S$.



l'insieme universo) deve trovarsi nell'enumerazione $\{S_n\}$; ossia deve esistere un m tale che $S = S_m$. A questo punto il gioco è chiaro: $m \in S$? Evidentemente sia la risposta *Sì* che la risposta *No* portano ad una contraddizione e quindi alla conclusione dell'assurdità dell'ipotesi di partenza.

Dal teorema di Cantor possiamo anche ricavare un significativo corollario del fatto che esistano problemi non risolvibili algebricamente.

I problemi non risolvibili algebricamente sono "molti di più di quelli risolvibili algebricamente". Essi hanno infatti la cardinalità del continuo mentre quelli risolvibili sono un insieme numerabile.

Per rendercene conto ricordiamo che il concetto di problema può essere formalizzato, tra l'altro, come una funzione con dominio e codominio \mathcal{N} . L'insieme di tali funzioni contiene l'insieme delle funzioni con dominio \mathcal{N} e codominio $\{0, 1\}$ (essendo questo un sottoinsieme di \mathcal{N}) che sono evidentemente in corrispondenza biunivoca con $\mathcal{P}(\mathcal{N})$ (ad un generico $S \subseteq \mathcal{N}$ faccio corrispondere la funzione $f(x) = 1$ se $x \in S$, $f(x) = 0$ se $x \notin S$); e $\mathcal{P}(\mathcal{N})$, abbiamo visto, non è numerabile (ovviamente è "più che numerabile", ossia ha una cardinalità maggiore della cardinalità dei numeri naturali). Al contrario, per definizione, l'insieme dei problemi risolvibili non può essere "più grande" dell'insieme delle macchine di Turing (o dei programmi C) che invece è numerabile.

Si noti tuttavia che questo risultato ha una portata più concettuale che pratica: infatti è bensì vero che "l'insieme dei problemi non risolvibili sta all'insieme dei problemi risolvibili come i numeri irrazionali stanno ai numeri razionali", però la "gran parte" di questi problemi (ossia, ancora una quantità non numerabile) non è neanche *esprimibile*. Infatti per definire un problema abbiamo bisogno di un meccanismo espressivo, ossia di un *linguaggio*. E un linguaggio altro non è che un sottoinsieme di tutte le stringhe ottenibili a partire da un alfabeto base di caratteri (in senso lato). Tale insieme, abbiamo visto, è numerabile. Quindi l'insieme dei *problemi definibili*, è un insieme numerabile, esattamente come l'insieme dei *problemi risolvibili*. Sfortunatamente il secondo è un sottoinsieme proprio del primo, esattamente come l'insieme dei nu-

meri pari è un sottoinsieme proprio dell'insieme dei numeri naturali pur avendo la stessa cardinalità.

Chiudiamo infine questa sezione osservando che anche i teoremi di indecidibilità e di incompletezza di Goedel menzionati in [1] sfruttano tecniche dimostrative simili a quelle presentate qui, confermando perciò la grande generalità e valenza concettuale di queste forme di ragionamento.

4. IL PROBLEMA COMPLEMENTO

Nella sezione 2 abbiamo introdotto il termine "problema semidecidibile", intendendo con esso un problema per il quale esiste un algoritmo che ne calcola la soluzione ... se questa esiste. Più precisamente, posto che il termine decidibilità è sinonimo di "calcolabilità" laddove il problema sia formulato in termini "booleani" (come specificato in [1]), ossia sotto forma di domanda che ammetta una risposta "SI o NO", un problema è decidibile quando esiste un algoritmo in grado di fornire sempre la risposta corretta; un problema è invece semidecidibile quando esiste un algoritmo che, se la risposta è SI, allora la fornisce sempre correttamente, e ... se la risposta è NO? In tal caso, certamente non può dare una risposta sbagliata, ossia SI; allora che risposta potrebbe dare? Potrebbe, ovviamente, fornire la risposta giusta, ossia NO, ma potrebbe anche *non dare alcuna risposta, ossia non terminare mai l'esecuzione*.

Che ci sia un'importante differenza tra decidibilità e semidecidibilità è certificato dalla constatazione precedente che il problema dell'halt è semidecidibile ma non è decidibile. Cerchiamo allora di capire da dove deriva questa differenza. Orbene, la differenza sta nel "problema complemento". Come suggerisce il termine, il problema complemento P^{\wedge} di un generico problema P si ottiene semplicemente da P invertendo le risposte: se la risposta a P era SI la risposta a P^{\wedge} sia NO e viceversa.

A prima vista non sembrerebbero esserci profonde differenze tra un problema e il suo complemento: ad esempio, se ho un algoritmo che è in grado di rispondere SI o NO alla domanda se un certo valore si trovi in una certa tabella, con una banale modifica ne posso rica-

vare un algoritmo in grado di rispondere SI o NO alla domanda se un certo valore non si trovi in una certa tabella.

Il punto critico di questo ragionamento risiede nel fatto che le due risposte SI, NO possono essere scambiate tra loro se c'è la garanzia che *vengano fornite entrambe al termine della computazione*; ciò richiede dunque la garanzia che la computazione termini sempre, sia quando la risposta è SI che quando la risposta è NO, e questo è proprio ciò che non accade quando un problema è soltanto semidecidibile, ma non decidibile: in tal caso quando la risposta è NO l'algoritmo di (semi)soluzione del problema non è in grado di fornirla perché per farlo dovrebbe "sapere" che la sua computazione non terminerà. Questa constatazione ci permette di sottolineare un dettaglio tutt'altro che marginale nella tecnica che abbiamo utilizzato per dimostrare l'indecidibilità del problema dell'halt: non ci siamo limitati, sulla base dell'ipotesi assurda, a scambiare il SI ($g(z, z) = 1$) con il NO ($g(z, z) = 0$), ma abbiamo anche trasformato la risposta NO in una non-terminazione: altro è il fatto che per definizione un problema abbia risposta negativa se un algoritmo per la sua soluzione non termina e altro è il fatto che tale risposta negativa sia computabile, anche nell'ipotesi che sia computabile la risposta positiva: quando c'è di mezzo la possibilità che il calcolo non termini le risposte SI e NO non sono semplici bit facilmente invertibili con un operatore NOT!

Osserviamo però che il prefisso "semi" nel termine "semidecidibilità" è quanto mai appropriato, in quanto, "due semidecidibilità fanno una decidibilità". Vediamo di spiegare meglio questa battuta.

Se il problema P è semidecidibile ciò significa che esiste un algoritmo A la cui esecuzione, se la risposta a P è SI, prima o poi termina e produce la risposta corretta. Se dunque anche il complemento di P , P^{\wedge} , è semidecidibile, vuole dire che esiste anche un algoritmo A^{\wedge} che, se la risposta a P^{\wedge} è SI (cioè la risposta a P è NO), prima o poi termina e produce la risposta corretta. Allora è sufficiente eseguire A e A^{\wedge} in parallelo ed avere sufficiente pazienza: in tal caso, prima o poi almeno uno dei due terminerà con la risposta corretta e a quel punto potrò tranquillamente sospendere anche l'esecuzione dell'altro.

5. RISVOLTI PRATICI E CONCETTUALI DELLA SEMIDECIDIBILITÀ

Nel precedente articolo [1] abbiamo citato diversi esempi di problemi indecidibili; con particolare riferimento alle proprietà dei programmi, è indecidibile, per esempio, la presenza di alcuni tipici errori come il rischio di divisione per 0, l'accesso ad un array attraverso un indice al di fuori dei limiti imposti ecc.. Nella prassi della programmazione questi errori vengono solitamente classificati come "errori a run-time": diversamente dagli "errori a compile-time" che possono essere individuati dal compilatore –la cui presenza, quindi è un problema decidibile-, essi possono essere segnalati (inserendo nel codice oggetto opportune istruzioni di verifica) solo durante l'esecuzione e solo al momento in cui si manifestano.

Ciò è la naturale conseguenza pratica del fatto che questi problemi siano semidecidibili: con un ragionamento che costituisce un'ulteriore estensione della tecnica diagonale illustrata in precedenza si può infatti dimostrare che, se uno di questi errori si annida in un programma, una opportuna attività di testing del programma è in grado, *prima o poi*, di segnalarlo. Qui però occorre distinguere con attenzione il problema dal suo complemento: semidecidibile è la *presenza* dell'errore; siccome lo stesso problema non è decidibile, ne deduciamo che il suo complemento, ossia, l'*assenza dell'errore*, non solo non è decidibile ma non è neanche semidecidibile, altrimenti sia la presenza che l'assenza dell'errore sarebbero anche decidibili. Questa constatazione costituisce il fondamento teorico del famoso slogan coniato da Dijkstra per sottolineare limiti e criticità dell'attività di testing: "Il testing serve per dimostrare la presenza di errori, non potrà mai dimostrare invece la correttezza di un programma". In altri termini, dimostrare la correttezza di un programma è ancor più difficile che dimostrarne la scorrettezza⁷.

⁷ Con questa osservazione abbiamo "urtato la punta dell'iceberg", ossia la criticità dell'attività di testing per il software. Per sviscerare il tema e investigare anche le differenze con altre tecniche di verifica sperimentale in diversi settori dell'ingegneria, però, dobbiamo rimandare il lettore ad una letteratura più ampia e specializzata (per esempio, [3]).

In modo del tutto analogo, supponiamo di voler stabilire se una certa formula matematica è un teorema oppure no: se, provando diversi casi, ne troviamo un controesempio (ossia un caso che contraddice la formula), possiamo certo concludere la sua falsità; ma tanti tentativi con esito positivo non costituiscono una dimostrazione.

In conclusione, il fatto di non aver trovato la soluzione di un problema dopo un certo numero di tentativi non ci autorizza a concludere che la soluzione non esiste.

Bibliografia

- [1] Mandrioli D.: Potenza e limiti del calcolo automatico: le radici teoriche dell'informatica. *Mondo Digitale*, Vol. 4, N.1, p. 64-69, 2005.
- [2] Mandrioli D., Ghezzi C.: *Theoretical Foundations of Computer Science*. John Wiley & Sons, 1987. Disponibile anche nella traduzione italiana, edita da UTET, 1989.
- [3] Ghezzi C., Jazayeri M., Mandrioli D.: *Fundamentals of Software Engineering*. II edizione, Prentice-Hall, 2002. Disponibile anche nella traduzione italiana, edita da Pearson Education Italia, 2004.

DINO MANDRIOLI è professore ordinario di Informatica Teorica presso il Politecnico di Milano. I suoi interessi di ricerca sono principalmente nei settori dell'informatica teorica, dell'ingegneria del software e dei sistemi critici in tempo reale. Ha pubblicato oltre 80 articoli scientifici su riviste ed atti di convegni internazionali. È coautore di vari libri, fra cui *Theoretical Foundations of Computer Science* (J. Wiley & Sons), *Fundamentals of Software Engineering* (Prentice-Hall), *The Art and Craft of Computing* (Addison Wesley). Dino Mandrioli è stato membro del Program Committee di diverse conferenze internazionali, Associate Editor di diverse riviste internazionali, program co-chairman della conferenza Formal Methods 2003.
mandrioli@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.



Countdown per la registrazione dei nomi a dominio .eu

1. INTRODUZIONE

Il 28 aprile 2005 il *Country Code Top Level Domain* (ccTLD) *.eu* è stato ufficialmente inserito nella radice (*root*) dell'*Internet Assigned Numbers Authority*, l'organismo che assegna i blocchi di indirizzi IP.

Questa data rappresenta il compimento del processo di creazione del dominio di primo livello comunitario iniziato cinque anni fa con la Comunicazione della Commissione Europea COM(2000) 421¹, ma al tempo stesso costituisce il punto di partenza per coloro i quali ritengono che il *.eu* possa costituire un elemento decisivo per accelerare il commercio elettronico in Europa e per potenziare l'interconnessione delle imprese, delle organizzazioni e dei cittadini europei.

I soggetti che intendono operare nel mercato interno, avranno finalmente l'opportunità di identificarsi come europei evitando la necessità di registrarsi in più Stati membri. Si auspica che il *.eu* possa accrescere sensibilmente anche la fiducia nell'uso di Internet tra gli utilizzatori europei, confortati dall'applicazione del diritto comunitario e, in particolare, delle norme in materia di tutela dei dati personali e di protezione dei consumatori.

Oltre alla già citata Comunicazione, il nuovo dominio si è ispirato ai principi generali contenuti nel Regolamento CE n.733/2002 nel qua-

le vengono stabilite le caratteristiche e gli obblighi del Registro; mentre le "regole di naming" per la prima volta non hanno natura privatistica, cioè contrattuale, come i regolamenti degli altri TLD (per esempio per il *.it* è in vigore un regolamento di assegnazione e gestione approvato dall'Istituto di Informatica e Telematica del CNR), ma hanno forza di legge, essendo dettate direttamente dal Regolamento CE n.874/2004 [Riquadro 1].

2. REGISTRO E REGISTRAR

Ai fini dell'assegnazione dei nomi a dominio sotto il TLD *.eu* il Reg. CE 733/2002 individua due distinte figure: il Registro e il Conservatore del Registro (detto anche *Registrar*).

a. Il Registro è l'organismo al quale sono state affidate tutte le attività di organizzazione, amministrazione e gestione del dominio; tra queste abbiamo la manutenzione delle banche dati e dei servizi correlati di interrogazione desti-

Riquadro 1

Fonti di diritto

- a.** Comunicazione della Commissione COM(2000) 421 "Sistema dei nomi di dominio (DNS) di Internet - Creazione del nome di dominio Internet di primo livello *.eu*".
- b.** Regolamento (CE) N.733/2002 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 22 aprile 2002 relativo alla messa in opera del dominio di primo livello *.eu*.
- c.** Decisione della Commissione del 21 maggio 2003 relativa alla designazione del registro del dominio di primo livello *.eu* (TLD *.eu*).
- d.** Regolamento (CE) N.874/2004 della Commissione del 28 aprile 2004 che stabilisce le disposizioni applicabili alla messa in opera e alle funzioni del dominio di primo livello *.eu* e i principi relativi alla registrazione.

¹ Tutte le normative comunitarie citate sono reperibili sul sito dell'Unione Europea all'attuale URL www.europa.eu.int (che in futuro diventerà presumibilmente www.europa.eu).

nati al pubblico (il comunemente detto *who is*), la registrazione dei nomi di dominio, la gestione del registro dei nomi di dominio, la gestione dei server dei nomi di dominio di primo livello e la diffusione dei file di zona relativi ai domini di primo livello. Tra le funzioni giuridiche più importanti del Registro si ricorda il potere di verificare la validità delle richieste di registrazione. Per scegliere il soggetto adatto a tali compiti la Commissione Europea ha condotto una procedura di valutazione delle candidature proposte, in esito alla quale - con decisione del 21 maggio 2003 - è stato ufficialmente designato quale Registro l'*European Registry for Internet Domains* (EURID).

EURID, che ha la forma giuridica di un consorzio senza scopo di lucro con sede a Bruxelles, è stato creato per iniziativa del Registro belga (DNS BE, noto per il suo elevato grado di automatizzazione) al quale si sono subito associati l'Italia e la Svezia e, in un secondo momento, anche la Repubblica Ceca. In tale modo si è potuto ripartire territorialmente la gestione del dominio suddividendo l'Europa in quattro fasce (nord, centro, sud ed est) in ciascuna delle quali sarà operativo un *Regional office* deputato, tra le altre cose, a prestare assistenza nelle lingue dei Paesi di rispettiva competenza².

b. Il *Registrar*, invece, è il soggetto che, in virtù di apposito contratto stipulato con EURID, presterà i servizi di registrazione del nome di dominio ai richiedenti (l'equivalente del *maintainer* per il TLD .it, ma con la peculiarità che nel sistema delineato dal Regolamento (CE) 874/2004 il Conservatore scrive direttamente sul registro velocizzando sensibilmente la procedura).

Il *Registrar* può non essere un cittadino comunitario (o non avere la sede legale nell'Unione europea), ma dovrà comunque sottoscrivere con EURID l'impegno di sottostare alla legge di uno dei paesi membri e di rispettare la direttiva 95/46/CE in materia di trattamento dei dati personali.

Naturalmente potranno offrire servizi di registrazione di nomi nel dominio .eu solamente i Conservatori riconosciuti da EURID (sulla base di una procedura non discriminatoria che assicuri condizioni di concorrenza eque) e che abbiano

² Per maggiori informazioni sull'attività statutaria e sull'EURID, si rinvia a www.eurid.eu, il primo sito internet del nuovo dominio.

Riquadro 2

Definizioni

Registro: organismo al quale sono affidate le attività di organizzazione, amministrazione e gestione del dominio.

Registrar: soggetto che presta servizi di registrazione del nome di dominio ai richiedenti.

provveduto a versare l'importo di € 10.000 (parzialmente rimborsabile in caso di cessazione dell'attività).

Al momento non è ancora iniziato il riconoscimento dei *Registrar* in quanto dev'essere predisposto l'*agreement* tra i medesimi ed EURID sulla base delle indicazioni della Commissione. Si possono peraltro evidenziare sin d'ora, tra le disposizioni più importanti, da un lato l'obbligo per il *Registrar* che riceve più richieste per lo stesso nome di trasmetterle al Registro nell'ordine cronologico di ricezione; dall'altro il dovere di verificare che tutti i richiedenti forniscano estremi precisi e affidabili di almeno una persona fisica o giuridica responsabile del funzionamento tecnico del nome di dominio [Riquadro 2].

3. SUNRISE PERIOD

Al fine di tutelare i diritti preesistenti (i cosiddetti "*priority rights*") riconosciuti dal diritto comunitario e/o nazionale, è stata predisposta una procedura di registrazione per fasi, denominata *sunrise period* che inizierà nell'ultimo trimestre del 2005 (l'incertezza sul momento esatto dipende dalle consultazioni attualmente in corso tra EURID e la Commissione europea in merito ad aspetti fondamentali quali il suddetto accordo con i *Registrar*, le politiche di registrazione ecc.).

Scoccato l'inizio della fase di *sunrise*, i tempi successivi appaiono ben scanditi: il periodo di registrazione per fasi avrà una durata di quattro mesi, nei primi due dei quali potranno chiedere la registrazione del *domain name* i titolari dei marchi nazionali o comunitari registrati e gli enti pubblici in relazione ai propri nomi completi o agli acronimi comunemente utilizzati; nei successivi due mesi verrà ammessa la registrazione dei marchi non registrati, dei nomi commerciali e di imprese, dei cognomi e dei titoli distintivi di opere letterarie protette [Riquadro 3]. Per cercare di aiutare il Registro nella gestione

Riquadro 3

Sunrise period

1. Il 1° e 2° mese possono chiedere la registrazione del *domain name* i titolari dei marchi nazionali o comunitari registrati e gli enti pubblici;
2. il 3° e 4° mese possono chiedere la registrazione del *domain name* anche i titolari dei marchi non registrati, dei nomi commerciali e di imprese, dei cognomi e dei titoli distintivi di opere letterarie protette.

di questa fase, il Reg. (CE) 874/2004 ha imposto a carico del richiedente l'onere di indicare espressamente il riferimento alla normativa nazionale o comunitaria sulla quale si fonda il diritto sul nome in questione, nonché altre informazioni pertinenti, quali il numero di registrazione del marchio, informazioni relative alla pubblicazione in una gazzetta o altro repertorio ufficiale, informazioni sulla registrazione presso associazioni professionali o commerciali e camere di commercio.

EURID dovrà assicurare che i diritti preesistenti su un determinato nome siano verificati da "agenti di convalida" appositamente designati, in base alle prove fornite dai richiedenti. Nel caso di due o più titolari di un diritto preesistente (si pensi al marchio "Ferrari" che distingue le automobili di Maranello, ma anche le bottiglie di spumante dell'omonima cantina), l'assegnazione del nome di dominio avverrà in base al consolidato principio del "*first come, first served*" (primo arrivato, primo servito).

Se sulla carta tutto sembra relativamente semplice, in chiave operativa potrebbero presentarsi non poche difficoltà, se solo si pensa che tra i diritti dei vari Stati membri sussistono differenze sostanziali (per esempio, in alcuni Paesi i nomi di persona vengono trattati alla medesima stregua dei marchi depositati); a tal proposito è solo il caso di accennare al celebre caso Armani³ e al più recente Milka⁴. Concluso il *sunrise period* (quindi presumibilmente nei primi mesi del 2006) potrà iniziare la

³ Si veda "La tutela del Domain Name: da indirizzo Internet a marchio d'impresa". In: Mondo Digitale, Anno II, n. 4, dicembre 2003, p. 77-80.

⁴ Un tribunale francese ha tolto il nome di dominio milka.fr alla sarta Milka Budimir per assegnarlo alla Kraft Foods detentrica del marchio Milka.

registrazione generalizzata aperta a chiunque su tutti i nomi a dominio .eu.

4. REGOLE

Il regolamento del TLD .eu non solo si distingue per la sua completezza e precisione, ma ha l'indiscutibile merito di contenere l'enunciazione di una serie di principi (emersi in passato dalla prassi, dalle procedure di riassegnazione e dalle decisioni dei giudici) ai quali va attribuito un carattere universale.

Nel canonizzare tali principi il Reg. (CE) N.874/2004 compie una sorta di rivoluzione copernicana rispetto alle tradizionali regole di *nam-ing* laddove dal procedimento tecnico veniva ricavato il *modus operandi* e da quest'ultimo si traevano successivamente i principi astratti.

Ora, finalmente, viene affermato il primato giuridico in virtù del quale le procedure tecniche si devono adeguare ai principi di diritto e non viceversa.

Vediamo sommariamente quali sono le principali disposizioni applicabili al TLD .eu.

1. È legittimato a registrare i nomi a dominio sotto il .eu chiunque abbia la residenza ovvero la sede (o una stabile organizzazione) nel territorio della Comunità europea.

2. La richiesta di registrazione di un nome a dominio deve contenere -a pena di inammissibilità o di revoca- i seguenti elementi:

a. il nome e l'indirizzo del richiedente;

b. la conferma di essere legittimato alla registrazione;

c. l'affermazione che la richiesta di registrazione è fatta in buona fede e non lede eventuali diritti di terzi (la cosiddetta LAR, cioè Lettera di Assunzione di Responsabilità);

d. l'impegno a rispettare tutte le condizioni di registrazione, comprese le disposizioni relative alla risoluzione stragiudiziale delle controversie. Tali dichiarazioni dovranno poter essere effettuate in forma elettronica, attraverso una procedura semplice e immediata, in tutte le lingue dei Paesi membri.

3. La registrazione del nome di dominio è valida solo dopo che il richiedente ha pagato i corrispondenti diritti.

4. Il Registro blocca i nomi di dominio giudicati diffamatori, razzisti o contrari all'ordine pubblico dall'organo giurisdizionale di uno Stato membro.

5. Il *domain name* è revocabile, a seguito di una procedura giudiziaria o stragiudiziale, qualora sia identico ad un nome oggetto di un diritto riconosciuto (esempio, un marchio) o se presenta analogie tali da poter essere confuso col medesimo (cfr. il *typosquatting*, forma evoluta di cybersquatting consiste nel registrare un nome di dominio molto simile a un marchio notorio, differenziandosi per minime difformità letterali imputabili a errori di digitazione⁵).

6. Ai fini della revoca per tali registrazioni speculative e abusive, deve essere dimostrato alternativamente che tale nome di dominio:

a. è stato registrato da un titolare che non possa far valere un diritto o un interesse legittimo, ovvero;

b. è stato registrato o viene utilizzato in malafede.

7. In caso di decesso del titolare, gli eredi possono chiedere che il nome a dominio sia trasferito a loro; se il titolare è un'impresa che cessa o fallisce, il *domain name* può essere trasferito all'acquirente delle posizioni attive.

8. In via alternativa al giudice ordinario può essere avviata una procedura di risoluzione stragiudiziale delle controversie da effettuarsi nella lingua del contratto di registrazione. In tale eventualità il Registro sospende la cancellazione o il trasferimento del nome di dominio fino a quando la procedura di risoluzione della controversia o il successivo procedimento giudiziario non sia stato completato.

Al termine di questo rapido *excursus*, si evidenzia come il legislatore comunitario non abbia voluto appesantire il testo normativo con l'indicazione delle regole tecniche che verranno stabilite in altra sede.

La scelta di un doppio livello (principi giuridici da un lato, regole tecniche dall'altro) risulta frutto dell'esperienza già maturata dai registri e privilegia la caratteristica di flessibilità maggiormente adatta alla gestione di un dominio.

5. CONCLUSIONI

Come ricordato in premessa, la creazione del TLD europeo, quale indicatore di un'unica identità per i fornitori di servizi su Internet, è stata

⁵ Sul tema del *typosquatting* si rinvia alla procedura di riassegnazione del nome a dominio "essecaffe.it" sul sito del Centro Risoluzione Dispute Domini www.crdd.it.

perseguita come un prezioso incentivo al commercio elettronico. Il conto alla rovescia sta giungendo al termine, sarà opportuno che le imprese si facciano trovare pronte per la storica opportunità.

Si auspica, inoltre, che la messa in opera del *domain name .eu*, dedicato alle esigenze dell'*e-commerce*, delle istituzioni scientifiche e culturali, nonché dei servizi pubblici, possa soprattutto andare a vantaggio dei consumatori, degli utenti finali e dei cittadini, integrando le ulteriori politiche comunitarie finalizzate alla transizione verso la società dell'informazione su scala europea.

Bibliografia

- [1] Menchetti P., Sirotti Gaudenzi A.: *Codice del diritto d'autore e della proprietà industriale*. Esperta, 2005.
- [2] Sammarco P.: *Il regime giuridico dei "nomi a dominio"*. Giuffrè, 2003.
- [3] Vaccà C.: *Nomi di dominio, marchi e copyright. Proprietà intellettuale ed industriale in Internet*. Giuffrè, 2005.
- [4] Vari P.: *La natura giuridica dei nomi di dominio*. CEDAM, 2001.

ANTONIO PIVA laureato in Scienze dell'Informazione, Membro del Consiglio Nazionale e Presidente della commissione di informatica giuridica dell'ALSI (*Associazione Nazionale Laureati in Scienze dell'Informazione ed Informatica*).

Docente a contratto di diritto dell'informatica all'Università di Udine.

Consulente sistemi informatici e Governo Elettronico nella PA locale, valutatore di sistemi di qualità ISO9000 e ispettore AICA ECDL base ed advanced. antonio_piva@libero.it

DAVID D'AGOSTINI avvocato, ha conseguito il master in informatica giuridica e diritto delle nuove tecnologie, fornisce consulenza e assistenza giudiziale e stragiudiziale in materia di *software*, *privacy* e sicurezza, contratti informatici, *e-commerce*, nomi a dominio, computer crimes, firma digitale. Ha rapporti di partnership con società del settore ITC nel Triveneto.

Collabora all'attività di ricerca scientifica dell'Università di Udine e di associazioni culturali.

david.dagostini@adriacom.it