

Sistemi esperti come strumento di pedagogia degli adulti: una ricerca qualitativa vent'anni dopo

Federica Baroni, Marco Lazzari
Università degli Studi di Bergamo
Dipartimento di Scienze umane e sociali
Piazzale Sant'Agostino 2, 24129 Bergamo
marco.lazzari@unibg.it

Vent'anni dopo la loro ideazione, vengono ricostruiti processi e attività che hanno condotto alla realizzazione di una famiglia di sistemi esperti tuttora in esercizio e indagate le eredità lasciate agli utenti. L'obiettivo è comprendere se e come i sistemi esperti hanno generato conoscenza come sistemi in sé e come tecnologia che, passando attraverso un processo di combinazione e formalizzazione di differenti saperi in fase di progettazione, è stata utilizzata negli anni da utenti diversi.

Ricorrendo a metodi di ricerca qualitativa, sono state condotte interviste semistrutturate a osservatori privilegiati e a utenti del software, per far emergere dai progettisti le narrazioni sull'origine e lo sviluppo dei sistemi in esame e dagli utilizzatori le percezioni derivanti dall'interazione con essi.

Ne emerge che un sistema di supporto alle decisioni può tradursi, su un arco temporale anche significativamente lungo, in uno strumento di pedagogia degli adulti trasversale a diverse figure professionali.

1. Introduzione

La storia dell'Intelligenza Artificiale negli anni Settanta e Ottanta è caratterizzata dallo sviluppo di sistemi esperti, che hanno consentito la produzione di software in grado di risolvere problemi complessi e fornire supporto alle decisioni in specifici domini di applicazione, così come farebbe un esperto umano. A differenza di altri programmi di intelligenza artificiale, un sistema esperto lavora su problemi reali che necessitano di una consistente esperienza umana pregressa [Jackson, 1986].

Fin dalle origini dello sviluppo di questi sistemi, si è ritenuto che il loro contributo potesse riguardare non solo l'acquisizione di nuove capacità

tecniche, ma anche di una più profonda conoscenza dei meccanismi che guidano i nostri processi di pensiero [Rolston, 1988]. La più comune definizione dei sistemi basati su conoscenza li vede infatti come servizi *human-centered* e pone l'attenzione soprattutto sul tentativo di tradurre la conoscenza umana in programmi che sappiano trattare anche problemi complessi [Liao, 2005]. Dalla seconda metà degli anni Ottanta sono state sviluppate numerose applicazioni in diversi domini, con un significativo investimento sull'esperienza umana e il comune intento di valorizzarla per produrre ulteriore conoscenza e trasmetterla dagli esperti agli utenti, sia per il fine immediato del supporto nel compito affrontato dal sistema esperto, sia per quello che ci interessa particolarmente in questa sede della formazione degli utenti stessi rispetto alla conoscenza contenuta nel sistema in uso [Liebowitz, 1991; McFarland e Parker, 1990].

A partire dalla fine degli anni Ottanta uno degli autori di questo lavoro (ML) ha partecipato come progettista allo sviluppo di una famiglia di sistemi esperti per il monitoraggio in tempo reale di dighe [Salvaneschi et al., 1996], monumenti [Lancini et al., 1997] e frane [Lazzari e Salvaneschi, 1999], diversi dei quali sono tuttora in servizio [Stigliano et al., 2012]: a più di vent'anni dalle prime installazioni, uno studio retrospettivo cerca di mettere in luce i processi e le attività che hanno condotto alla realizzazione del capostipite di questi sistemi, indaga le percezioni e le eredità trasmesse agli utenti che vi hanno interagito e identifica nel **trasferimento di conoscenza tra generazioni** di ricercatori e operatori uno dei risultati più interessanti della tecnologia adottata.

2. Storia di un sistema di supporto decisionale per la gestione della sicurezza delle dighe

Nel 1992 all'ISMES - istituto di ricerca e sviluppo che si occupa di sicurezza in diversi settori dell'ingegneria, ora divisione di CESI SpA - un team multidisciplinare di ingegneri, tecnici e informatici progettava e metteva in funzione Mistral, un sistema esperto per la gestione delle segnalazioni provenienti da sistemi automatici di monitoraggio delle dighe [Lazzari e Salvaneschi, 1994]. Da allora il sistema è stato installato in Italia sulle dighe di Ridracoli, Pieve di Cadore, Cancano, Valgrosina, Fusino, San Giacomo, Monguelfo, Gioveretto e San Valentino; all'estero sulla diga di Itaipu (Paraguay / Brasile); con il nome Eydenet sulle frane di Spriana, Val Pola, Val Torreggio, Campofrancia, Semogo, Saviore, Ruinon, Citrin, Bosmatto, Becca di Nona, Vollein, Chervaz e Rosone; con il nome Kaleidos a Pavia nel Duomo e sulle torri San Dalmazio, Belcredi, Maino, dell'Orologio, del Carmine e dell'Università.

Mistral ha l'obiettivo di aiutare i gestori della diga ad affrontare i problemi del monitoraggio della sicurezza della struttura, filtrando eventuali falsi allarmi generati dagli impianti di rilevazione automatica delle misure in diga e supportando i tecnici nell'analisi di eventuali situazioni di pericolo. Il sistema si fonda sull'idea che un ingegnere del settore utilizza **differenti tipi di conoscenza** (dichiarativa, procedurale, associazioni empiriche, modelli causali) quando svolge un compito di interpretazione dello stato di sicurezza di una diga. L'esperienza e il sapere di un ampio gruppo di esperti sono stati prima raccolti e introdotti **nel sistema**, poi riutilizzati e distribuiti **dal sistema** stesso,

andando così a costituire un **corpus di conoscenza trasmessa e condivisa** [Lazzari, 2005]. Su questa base il software restituisce una valutazione dello stato della struttura integrando una serie di ragionamenti che ricalcano quelli di un esperto del dominio: esame di singole misure, analisi causa-effetto su gruppi di misure e modelli associati, valutazioni su famiglie di misure (fenomeni) e su processi e tendenze [Salvaneschi et al., 1996], ragionamento basato su regole e su casi. Mistral restituisce i risultati tramite un'interfaccia grafica sulla quale strumenti e parti della diga sono evidenziati con una gamma di colori a cui corrispondono condizioni che vanno da "normale" ad "anomalia grave" e descrive in linguaggio naturale le situazioni critiche: l'idea di fondo è che l'output di Mistral non sia la sentenza sullo stato della diga, ma un supporto alle decisioni dei gestori.

Oggi, a più di vent'anni dalla prima attivazione presso la casa di guardia della diga di Ridracoli in Emilia-Romagna (ottobre 1992), Mistral continua ad elaborare dati acquisiti dai sistemi di monitoraggio, a interpretare periodicamente le condizioni della struttura (tipicamente ogni ora, ma alcune istallazioni del sistema applicate a fenomeni franosi processano dati anche ogni quarto d'ora) e a supportare le quotidiane attività di controllo dei responsabili del monitoraggio. Il principale compito del software è di rendere immediata agli utenti la lettura dello stato globale della diga attraverso il filtraggio e la classificazione dei dati provenienti dagli strumenti posti nella struttura (estensimetri, piezometri, pendoli, stramazzi, termometri, eccetera), limitando così gli interventi degli esperti alle sole segnalazioni di anomalie significative.

La conoscenza, che è l'origine e il nucleo di un sistema esperto come Mistral, rappresenta il tema indagato in questo lavoro di ricerca qualitativa che ha ricostruito le fasi di ideazione, implementazione e uso negli anni di questo software; uno degli aspetti più interessanti della sua storia, sia per il settore dell'ingegneria del software sia per il campo delle scienze umane, riguarda infatti le modalità con cui la conoscenza è stata prima gestita e poi trasmessa.

Nella teoria delle organizzazioni si fa spesso riferimento alla distinzione tra **conoscenza esplicita** (codificata) e **implicita** (tacita): con il primo termine si intende la conoscenza che si può esprimere attraverso un linguaggio formale e che ha natura razionale, sequenziale e teorica; con il secondo termine, invece, si intende la conoscenza personale, percettiva, valoriale che, derivando principalmente dall'esperienza pratica, è più difficile da tradurre in codice [Polanyi, 1974]. Dallo studio delle origini e delle eredità dei sistemi esperti emerge come in quest'ambito si sia fin da subito messa a fuoco l'importanza della conoscenza implicita posseduta dagli esperti coinvolti nella progettazione e implementazione dei sistemi, oltre che nella risoluzione dei problemi operativi emergenti [Bandini, 2008]. La conoscenza implicita, però, per essere gestita, trasmessa e archiviata da un elaboratore e per poter creare «*conoscenza organizzativa*» deve essere prima comunicata e poi formalizzata, in un processo di trasformazione a spirale tra implicito ed esplicito [Nonaka e Takeuchi, 1995].

All'inizio degli anni Novanta, quando Mistral veniva ideato tra le sedi dell'ISMES e i luoghi della sua messa in funzione, la conoscenza integrata di esperti di differenti ambiti (ingegneri civili e idraulici, geologi, informatici e tecnici

responsabili delle dighe) ha generato un sistema che ancora oggi restituisce ai suoi utenti non solo il contenuto originario di quel sapere, ma anche il processo che ha portato alla formalizzazione di quello stesso sapere. Se da una parte, infatti, l'uso delle tecnologie dell'intelligenza artificiale consente la conservazione, gestione e disseminazione delle informazioni, dall'altra sistemi come Mistral contengono una meta-conoscenza che può essere analizzata per creare nuova conoscenza [Nemati et al., 2002].

3. Origine, sviluppo ed eredità di Mistral in una ricerca qualitativa vent'anni dopo

L'obiettivo di questo lavoro è comprendere se e in che modo Mistral ha generato conoscenza come sistema in sé e come tecnologia che, passando attraverso un processo di combinazione e formalizzazione di differenti saperi in fase di progettazione, è stata utilizzata negli anni da utenti diversi. Ricorrendo a metodi di ricerca qualitativa, uno degli autori (FB) ha condotto 16 interviste semistrutturate, per un totale di 8 ore di registrazione, a osservatori privilegiati e a utenti del software operanti in 5 centri di interpretazione dei dati (Seriате, Ridracoli, Grosio, Aosta, Sondrio) per far emergere dai progettisti le narrazioni sull'origine e lo sviluppo di Mistral e dagli utilizzatori le percezioni derivanti dall'interazione con il sistema (Mistral ed Eydenet).

Dai progettisti che negli anni Novanta hanno ideato Mistral emergono chiaramente l'idea alla base di un sistema esperto e il ruolo centrale della conoscenza, intesa come esito di un sapere esperto pregresso che viene riversato in un ambiente nuovo:

L'aspettativa è che il sistema esegua quei ragionamenti che avremmo fatto noi di fronte a quelle situazioni, questa è la logica di fondo.

La parte importante è la conoscenza che viene inserita [...] perché sulla base di un certo periodo di funzionamento noi abbiamo trovato delle regole di comportamento della struttura e il sistema verifica che queste regole di comportamento si mantengano inalterate nel tempo.

Il sistema gestisce e sintetizza una grande quantità di dati in riferimento a criteri e parametri fissati dagli esperti sulla base di misure, osservazioni e valutazioni accumulate negli anni. Pertanto, in fase di ideazione occorreva dotare il software delle informazioni necessarie alla gestione delle segnalazioni provenienti dai sistemi di monitoraggio e individuare un modello di elaborazione idoneo per la loro interpretazione, che andasse oltre il puro trattamento algoritmico del dato e sfruttasse anche l'esperienza, spesso espressa in termini qualitativi e sotto forma di regole, accumulata negli anni da ingegneri, geologi, geofisici e tecnici addetti al monitoraggio:

L'obiettivo era anche passare da quello che era negli anni Ottanta il monitoraggio, cioè la fornitura di grandi dati, mole di dati, ma saperli filtrare e gestire in modo da porre all'attenzione dei tecnici solo quanto di significativo ci fosse. [...] cioè dire "questi dati li filtro, li seleziono e adesso devo anche cercare di interpretarli al meglio" comparandoli con l'esperienza fatta dall'esperto.

L'esperienza pregressa è intervenuta non solo come "contenuto", ma anche nell'individuazione dei due parametri più determinanti per il filtraggio e la valutazione dei dati che il sistema è chiamato a interpretare: la **significatività** e l'**affidabilità** dell'informazione. L'individuazione e l'implementazione di questi due parametri sono l'esito di un processo di concettualizzazione e formalizzazione della conoscenza [Buchanan e Shortliffe, 1985; Comerford et al., 1992] che ha coinvolto progettisti e futuri utenti fin dalle prime fasi del progetto; un processo - che oggi definiremmo di co-design [Sanders e Stappers, 2008] - da cui diversi professionisti, mettendo in campo specifiche esperienze, hanno generato e derivato nuova conoscenza.

Abbiamo affinato la nostra sensibilità a capire quali sono le informazioni che, oltre a essere valide, sono facilmente incrociabili con altre, confrontabili, servono a spiegare cosa sta succedendo. Perché [...] quando ti poni come obiettivo quello di spiegare cosa sta succedendo hai bisogno di [...] qualcosa di interpretabile dal sistema e di recepibile da chi lo legge.

Questo processo di **elicitazione della conoscenza**, finalizzato al suo trasferimento nel sistema, è riconosciuto essere particolarmente complesso, dal momento che l'esperienza umana - rara e costosa - contiene anche un **sapere implicito**, non sempre esprimibile in linguaggio formale. In origine, alla tecnologia dei sistemi esperti si attribuiva «*la possibilità di rendere più economica e diffusa tale conoscenza*» [Jackson, 1986]. Anche nella memoria dei progettisti di Mistral questo processo risulta complesso; tuttavia, lo stesso percorso di progettazione ha generato non solo conoscenza, ma anche la consapevolezza necessaria ad esprimerla:

Noi i primi anni [i modi per trasformare la conoscenza in regole operative] li abbiamo provati e riprovati. Avere la conoscenza del comportamento ed essere in grado di trasferirla esattamente in un sistema non è stato così scontato. [...] Bisognava prendere anni e anni di misure dello storico, farglielo macinare, andare noi ad individuare dove erano quelle situazioni dove avevamo dei dubbi, delle criticità e vedere se il sistema le evidenziava oppure no. Questa è stata la taratura del sistema e su quello ci abbiamo lavorato parecchio. [...] Nel farlo abbiamo anche noi acquisito esperienza.

4. Il sistema come forma di pedagogia degli adulti: evoluzione, trasmissione e condivisione della conoscenza

Il sapere originario introdotto nel software dagli esperti è ancora potenzialmente trasferibile dai progettisti agli utenti finali. Chi ha ideato Mistral sostiene che uno dei riflessi del suo uso è stato il trasmettere ai gestori delle dighe, principali destinatari del software, «*un modo diverso di eseguire la propria attività, approfondendo alcune questioni sulla base di stimoli, di segnalazioni, che venivano dal sistema*»: le restituzioni di Mistral, confermando o smentendo ipotesi sul comportamento della diga in certe condizioni, hanno fornito nel tempo input di accrescimento della conoscenza ai suoi utenti diretti e indiretti, sollevati in parte dal sistema dall'esecuzione di operazioni di routine.

Per i gestori delle dighe, Mistral è una tecnologia *user friendly* [Lancini et al., 2000] che, rappresentando su scala cromatica gli esiti delle sue valutazioni e fornendo immediate sintesi in linguaggio naturale, è utilizzabile a diversi livelli di approfondimento, che vanno dalla semplice sorveglianza del custode che presidia la casa di guardia alla più profonda analisi del tecnico responsabile della sicurezza dell'intera struttura. È in particolare per quest'ultimo che le informazioni, vecchie e nuove, derivanti da Mistral sono input per l'accrescimento della conoscenza individuale e collettiva:

Per cui l'innovazione del Mistral è questa: dare un'immediata situazione della diga, di che cosa sta succedendo. Poi è chiaro che il tecnico deve interpretare, non è che se il Mistral diventa rosso c'è sicuramente un problema di allarme. Però l'importante è che se diventa rosso intanto il tecnico, avvertito da chi è qui, riesca a dire "non è mai diventato rosso, mettiamoci qui a capire".

Se i progettisti in origine hanno dovuto formalizzare il proprio corpus di conoscenze per introdurle in modo funzionale nel sistema, gli utenti riescono a derivarne le conoscenze alla base della gestione della sicurezza di una diga:

Quello che il sistema mi ha dato e che adesso ho acquisito è la filosofia, tradotto in termini pratici, quali sono i paletti che delimitano la valutazione per come deve essere fatta la diagnosi di una diga, cioè qui dentro [in Mistral] è inserita la filosofia del controllo della diga: [...] l'evoluzione storica assoluta, l'evoluzione dinamica nel tempo breve e, per alcuni strumenti, la valutazione sul modello. [...] Mistral mi indirizza su quali sono i punti cardine della valutazione.

Un sistema come Mistral, oltre a comunicare implicitamente un modello di pensiero su cui un utente può esercitare le proprie riflessioni, può costituire uno stimolo che mette in moto forme di *motivazione esplorativa*, cioè impulsi a soffermarsi e approfondire situazioni che appaiano conflittuali [Berlyne, 1960]:

[...] Siccome è uscito fuori soglia dal modello Mistral me lo dice: è uscito di 0,047. Mistral me lo ha fatto notare e io dico "va bene o non va bene?", "È normale che siamo fuori soglia rispetto al modello?" E io dico "sì, se noi andiamo a vedere che cosa ha determinato questa cosa: con l'aumento della temperatura, che condiziona la dilatazione del calcestruzzo che a sua volta condiziona lo spostamento monte-valle della diga [...], la misura dello strumento diminuisce in termini assoluti" [...] come interpretazione io dico che la diga è tornata a monte di 2 mm.

La motivazione che spinge un utente ad approfondire gli output del sistema deve trovare riscontro nella possibilità data dal software di dettagliare i risultati delle elaborazioni: Mistral consente di espandere e analizzare le misure, di accedere alle valutazioni intermedie che concorrono alla definizione dello stato globale della diga (stato delle sezioni, dei processi, delle tendenze) e a quelle delle situazioni conservate nell'archivio dei casi di riferimento eventualmente identificate come simili alla situazione attuale. In quest'ultimo caso le note dei responsabili della sicurezza, associate alle situazioni di riferimento all'atto del loro inserimento in archivio, possono guidare l'utente nella gestione della situazione attuale (per esempio, suggerendo di privilegiare un certo tipo di intervento di approfondimento rispetto a un altro). Queste funzionalità sono

coerenti con una delle caratteristiche principali di un sistema esperto, che risiede nella capacità di spiegare il ragionamento che ha applicato e di giustificare le conclusioni, in modo da convincere l'utente della correttezza delle procedure messe in atto [Jackson, 1986; Turban e Aronson, 2001]. Dal nostro punto di vista, l'intelligibilità del sistema non è solo una qualità che riguarda l'interazione uomo/macchina o la facilità d'uso del software, ma anche opportunità per l'utente di riflettere sulla logica (o sulla "filosofia", per riprendere un termine usato dagli intervistati) del programma e di soddisfare il desiderio di esplorazione che può nascere nella pratica quotidiana.

Come emerge dalle interviste, le restituzioni giornalieri di Mistral hanno portato l'utente a maturare conoscenze nuove sia a livello macro (per esempio, sul comportamento della struttura a certe condizioni termiche), sia micro (come sull'affidabilità di un sensore), sulla spinta degli stimoli provenienti dal sistema:

Ad esempio, visto che noi nelle parti della struttura mettiamo in correlazione i diversi fenomeni che avvengono, uno si accorgeva che nella faglia della diga si verificavano variazioni di un certo tipo quando la temperatura si muoveva in un certo modo piuttosto che in un altro. Magari studi non erano stati fatti perché non si riteneva importante per la sicurezza, però lì [in Mistral] veniva descritto ogni giorno e uno lo vedeva e lo leggeva. [...] siccome questo sistema genera dei report, uno quando si è trovato queste sintesi, ha verificato che quel tipo di sensore ha problemi [...] e ha maturato l'esperienza di dire "allora quel sensore lì mi dà l'informazione però non è così affidabile come altri". Cosa che si è focalizzata solo dopo aver visto queste sintesi.

Quello appena descritto riguarda l'accrescimento individuale della conoscenza, ma è ormai ampiamente condivisa l'idea della natura relazionale, sociale e distribuita dell'apprendimento [Mercer, 1992; Bruner, 1996; Resnick e Nelson-Le Gall, 1996]. Anche per i sistemi esperti il processo di acquisizione della conoscenza, definito come «*trasferimento e trasformazione di una potenziale capacità di risolvere problemi da una certa sorgente ad un programma*» [Buchanan et al., 1983], è situato in un contesto di relazioni attive tra esperti e progettisti; tra esperti e utenti; tra utenti. In questo processo - che, come si è visto, può svilupparsi lungo un significativo arco temporale e coinvolgere diverse figure professionali - il sistema è al centro di pratiche di discorso-ragionamento collaborativo che possono contribuire alla costruzione di conoscenza condivisa [Pontecorvo, 1987].

La narrazione diventa così strumento di condivisione dell'esperienza e strutturazione della conoscenza anche in un campo così specialistico come quello della gestione della sicurezza delle dighe. Molte di queste strutture sono presidiate in parte da tecnici-responsabili (soprattutto di giorno), in parte da custodi-operai con il compito di monitorare le diverse colorazioni restituite dal software e allertare in caso di pericolo: intorno al sistema si sviluppano discorsi di esperienze vissute che, oltre a costituire il sapere di quella comunità di pratica, rendono possibile - a tutti i livelli - l'apprendimento continuo dei suoi partecipanti. Questo processo si attiva sia nelle fasi di elicitazione della conoscenza, quando i progettisti discutono per trasferire il sapere esperto nel

programma (dalla teoria alla prassi), sia tra gli utenti nelle attività quotidiane (dalla prassi alla teoria):

Secondo lei, dall'uso di Mistral, anche i custodi possono aver imparato qualcosa sul funzionamento della diga?

Responsabile - Sicuramente, perché secondo me hanno razionalizzato confrontandosi con questo sistema

Custode - Tramite quello che vedi lì, ti fa capire tante cose [...] È molto utile, molto operativo. Perché prima conoscevo le cose dentro la diga, sapevo fare le misure e tutto quanto, però [...] l'archivio delle misure, andare a vedere in un certo mese le misure o addirittura qualche anno indietro [...] prima non lo sapevo neanche che poteva funzionare in questo modo.

5. Conclusioni

Il processo di traduzione della conoscenza implicita in esplicita e il suo trasferimento nel sistema messo in atto dagli esperti in fase di progettazione ha un'ideale prosecuzione, un'eredità, negli utenti. È un processo che coinvolge diverse figure professionali in tempi di realizzazione e fruizione anche molto distanti tra loro.

In questo processo restano centrali il ruolo dell'esperienza umana, il valore della conoscenza trasmessa e condivisa e il ruolo attivo degli utenti nell'interazione con il sistema basato su conoscenza: a tutti i livelli sono state acquisite non solo nuove capacità tecniche, ma anche nuove modalità di esecuzione dei compiti, ulteriori conoscenze sul proprio dominio di competenza e nuove riflessività, in una forma di pedagogia degli adulti che passa attraverso un sistema ad alta tecnologia.

In questo senso è verosimile che un sistema di supporto alle decisioni come Mistral, oltre a essersi rivelato capace di fornire implicitamente efficaci stimoli per l'**apprendimento informale**, possa essere sfruttato da una parte esplicitamente per la formazione iniziale o *in itinere* del personale addetto alla sorveglianza di dighe, frane o monumenti, e dall'altra anche ai fini dell'**apprendimento formale**, nel contesto di tirocini curricolari per ingegneri strutturali o ambientali e geologi. Per gli studenti il sistema potrebbe rivelarsi un valido strumento di raccordo tra università e mondo del lavoro, mediatore didattico per validare le conoscenze acquisite in ambito accademico con il riscontro sul campo proveniente da valutazioni di misure reali, in una virtuosa combinazione di *auditorium* e *laboratorium*, tra pensare teoretico, fare tecnico e agire pratico [Sandrone Boscarino, 2004].

6. Ringraziamenti

Ringraziamo per la loro disponibilità Alberto Masera, Stefano Lancini, Tiziano Brignoli, Pierangelo Calegari, Andrea Tamburini, Silvia Tavelli, Luca Dei Cas, Nicoletta Bondio, Fabrizio Cortezzi, Gianfranco Cabassi, Paolo Valgoi, Ugo Pedrini, Lorenza Maganetti, Patrick Thuegaz, Andrea Giorgi, Massimo Broccolato; CESI SpA, Centro di Monitoraggio Geologico di Sondrio, Romagna Acque - Società delle Fonti S.p.A., A2A S.p.A., Regione Autonoma Valle d'Aosta. Mistral è un marchio registrato di CESI SpA.

7. Bibliografia

Bandini, S., Knowledge Management. L'eredità dei sistemi esperti. *Mondo digitale*, 3, 2008, 27-37.

Berlyne, D.E., Conflict, arousal and curiosity, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1960.

Bruner, J., The culture of education, Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, 1996.

Buchanan, B. et al., Constructing an expert system, in Hayes-Roth, F., Waterman, D., Lenat, D. (Eds.), *Building expert systems*, Addison-Wesley, New York, NY, USA, 1983.

Buchanan, B., Shortliffe, E., Rule-based expert systems: the MYCIN experiments of the Stanford heuristic programming project, Addison-Wesley, Boston, MA, USA, 1985.

Comerford, J.B. et al., The role of AI technology in the management of dam safety: the DAMSAFE system. *Dam Engineering*, 3, 4, 1992, 265-275.

Jackson, P., Introduction to expert systems, Addison-Wesley, Boston, 1986

Lancini, S., Lazzari, M., Masera, A., Salvaneschi, P., Diagnosing ancient monuments with expert software. *Structural Engineering International*, 7, 4, 1997, 288-291.

Lancini, S., Masera, A., Piccinelli, F.G., Farina, F., Ridracoli Dam - A decision support system for managing dam surveillance, in *Transactions of the 20th Int'l Congress on Large Dams*, Beijing, China, 2000, 3; 443-454 (Q. 60 – R. 30).

Lazzari, M., Epiphenomenal intelligence from partial models in safety management, in *Proc. of the 8th Int'l Conf. on the Application of Artificial Intelligence to Civil, Structural and Environmental Engineering*, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, 2005, paper 7.

Lazzari, M., Salvaneschi, P., Improved monitoring and surveillance through integration of artificial intelligence and information management systems, *Proc. of the 10th IEEE Conf. on Artificial Intelligence for Applications (CAIA '94)*, San Antonio, Texas, USA, 1994, 419-425.

Lazzari, M., Salvaneschi, P., Embedding a geographic information system in a decision support system for landslide hazard monitoring. *Natural Hazards* 20, 2-3, 1999, 185-195.

Liao, S.-H., Expert system methodologies and applications-a decade review from 1995 to 2004. *Expert systems with applications*, 28, 1, 2005, 93-103.

Liebowitz, J., Expert systems technology for training applications, in Lipsitz, L. (Ed.), *Expert systems and intelligent computer-aided instruction*, Educational Technology Publications, Engelwood Cliffs, NJ, USA, 1991, 77-79.

McFarland, T. D., Parker, R., Expert systems in education and training, Educational Technology Publications, Engelwood Cliffs, NJ, USA, 1990.

Mercer, N., Culture, context and the construction of classroom knowledge, in Light, P., Butterworth, G. (Eds.), *Context and Cognition*, Harvester-Wheatsheaf, Hemel Hempstead, UK, 1992, 28-46.

Nemati, H.R., Steiger, D.M., Iyer, L.S., Herschel, R.T., Knowledge warehouse: an architectural integration of knowledge management, decision support, artificial intelligence and data warehousing. *Decision Support Systems*, 33, 2, 2002, 143-161.

Nonaka, I., Takeuchi, H., *The knowledge-creating company: how japanese companies create the dynamics of innovation*, Oxford University Press, New York, NY, USA, 1995.

Polanyi, M., *Personal knowledge: towards a post-critical philosophy*, The University of Chicago Press, Chicago, IL, USA, 1974.

Pontecorvo, C., Discussing for reasoning: the role of argument in knowledge construction, in De Corte, E., Lodewijks, H., Parmentier, R. Span, P. (Eds), *Learning and instruction: European research in an international context*, England Pergamon Press, Oxford, UK, 1987, 239-250.

Resnick, L., Nelson-Le Gall, S., Socializing intelligence, in Smith, L., Dockrell, J., Tomlinson, P. (Eds.), *Piaget, Vygotsky, and beyond*, Routledge, London, UK, 1996, 145-158.

Rolston, D., *Principles of artificial intelligence and expert systems development*, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1988.

Salvaneschi, P., Cadei, M., Lazzari, M., Applying AI to structural safety monitoring and evaluation. *IEEE Expert*, 11, 4, 1996, 24-34.

Sanders, E., Stappers, P.J., Co-creation and the new landscapes of design. *CoDesign: Interantional Journal of CoCreation in Design and Arts*, 4, 2, 2008, 5-18.

Sandrone Boscarino, G., La didattica laboratoriale. *Scuola e didattica*, XLIX, 9, 2004, 49-58.

Stigliano, P., Masera, A., Saccarello dos Santos, M., Patrone, J., Comprehensive approach to dam safety, in *Proc. of HydroVision Brazil 2012*, Rio de Janeiro, Brazil, 25-27/9/2012.

Turban, E., Aronson, J.E., *Decision support systems and intelligent systems*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2001.