

Studio esplorativo sull'utilizzo di un laboratorio virtuale nella formazione in Ingegneria Informatica

Maria Lucia Giovannini, Roberto Laschi¹, Anna Riccioni¹
Dipartimento di Scienze dell'Educazione
v. Filippo Re 6, 40126 Bologna
marialucia.giovannini@unibo.it

¹Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica
v.le Risorgimento 2, 40136 Bologna
{roberto.laschi, anna.riccioni}@unibo.it

Questo contributo presenta S-vLab, un laboratorio virtuale per l'insegnamento delle Tecnologie per la Sicurezza nell'Ingegneria Informatica, e lo studio esplorativo di cui è stato oggetto. L'obiettivo di tale studio è duplice: si è inteso infatti sia valutare l'efficacia di un approccio didattico basato sull'utilizzo di S-vLab in un contesto di blended-learning, sia individuare le principali linee guida per la realizzazione di un sistema adattivo che consenta la personalizzazione del percorso formativo nell'ambito del laboratorio virtuale.

1. Linee teoriche di riferimento

Le Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione rendono oggi possibile lo sviluppo e la distribuzione di ambienti di supporto all'apprendimento sempre più ricchi e complessi. Un caso di grande interesse per la formazione scientifica è il laboratorio virtuale, perché consente: a) agli Atenei di mantenere il ruolo formativo delle attività applicative e del metodo sperimentale senza risentire troppo degli attuali vincoli di budget, di spazi e di personale tecnico; b) agli studenti di disporre, senza il limite di vincoli spazio/temporali, di tutto quel che può servire per l'applicazione dei concetti affrontati da un punto di vista teorico nella situazione didattica in presenza.

Numerosi studi, nel corso del tempo, hanno riconosciuto il ruolo cruciale svolto dall'azione nei processi di apprendimento. Già i primi approcci orientati al **"learning by doing"** hanno dimostrato come lo spostamento del fulcro del processo formativo dalla trasmissione di nozioni alla loro utilizzazione concreta e sperimentazione favorisca lo sviluppo da parte degli studenti di abilità e competenze durevoli [Dewey, 1957; Kolb, 1984]. È questo un principio che si è tenuto presente nella progettazione e realizzazione del laboratorio virtuale per l'Ingegneria Informatica descritto nel presente lavoro, un laboratorio il cui obiettivo primario è quello di supportare le tradizionali attività di modellazione di un sistema, valutazione della sua robustezza, efficacia ed efficienza e della sua implementazione in forma di software rispondente ai requisiti. Pur avendo

considerato tale principio, tuttavia l'impalcatura teorica di riferimento è rinvenibile soprattutto negli studi e nel dibattito sul processo di apprendimento di questi ultimi decenni: un ambiente di apprendimento di taglio costruttivista in cui la conoscenza non è riprodotta ma è costruita, un luogo virtuale in cui vengono affrontati compiti autentici e basati su casi reali anche complessi, in cui coloro che apprendono vengono stimolati a pratiche riflessive e metacognitive, alla collaborazione con i pari e possono avvalersi di una varietà di strumenti informativi e di risorse in attività di apprendimento guidato o di problem solving [in particolare Bruner, 1967; Collins et al., 1987; Duffy e Cunningham, 1996; Wilson, 1996; Jonassen, 1997; Hannafin et al., 1999]. Le nuove tecnologie consentono di dare concreta attuazione a queste linee guida. Già i sistemi di Computer Aided Instruction dei primi anni '60 hanno dimostrato che appositi software consentono di dare agli studenti una formazione personalizzata ben più efficace della tradizionale metodologia della formazione di gruppo. I successivi sistemi di Intelligent Tutoring (ITS), basati sull'uso di calcolatori connessi a Internet e sull'adozione di tecniche di intelligenza artificiale, hanno assegnato agli studenti un ruolo ancora più attivo nel loro processo formativo.

Impostato sulla base di tali linee portanti, un laboratorio virtuale - nel quale gli strumenti di simulazione consentono agli studenti di modellare un sistema, di manipolarne le variabili caratteristiche e di osservarne il comportamento in differenti condizioni di lavoro - deve costituire un luogo di apprendimento con una serie di caratteristiche. Innanzitutto deve essere un ambiente in grado di fornire agli studenti, grazie al supporto tecnologico, una molteplicità di risorse diverse così che ciascuno possa utilizzare quelle che ritiene a lui più adatte in funzione degli stili di apprendimento, delle conoscenze già acquisite, delle preferenze personali: il laboratorio deve quindi offrire una varietà di strumenti, che possano essere attivati o disabilitati dai singoli utenti, permettendo la configurazione di un ambiente di apprendimento personalizzato.

Esso, d'altra parte, deve anche stimolare pratiche riflessive e metacognitive: a questo scopo all'interno dell'ambiente di apprendimento risultano utili non solo i materiali informativi per l'approfondimento autonomo e la presenza di supporti che consentano agli studenti di essere coinvolti nel compito e di essere facilitati nell'auto-valutazione, ma anche le opportunità tra pari di aiutarsi reciprocamente e di lavorare in piccolo gruppo per una co-valutazione e per la risoluzione condivisa di un problema riferito a un contesto definito come avviene nelle attività cognitive extrascolastiche.

2. Il progetto S-vLab

Sulla base dei suddetti principi teorici, quattro anni fa il Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica dell'Università di Bologna ha avviato un

programma di ricerca sulla progettazione e realizzazione di un laboratorio virtuale a supporto degli insegnamenti di Ingegneria Informatica e quindi in un contesto di **blended-learning**. Il progetto è incentrato su un editor grafico ed un simulatore per consentire agli studenti di modellare e simulare il comportamento di sistemi complessi, comprende una varietà di strumenti per l'analisi delle prestazioni dei sistemi simulati, e tre figure virtuali di supporto che permettono, in ogni momento della sessione di lavoro, di visualizzare dei feedback in tempo reale sull'attività in corso, di accedere a materiali di approfondimento, di valutare le conoscenze acquisite. Ai fini di una successiva realizzazione software del sistema allo studio S-vLab fornisce automaticamente all'utente una descrizione con un linguaggio ad oggetti di quanto è stato modellato e simulato.

Fin dall'inizio della ricerca si è ritenuto indispensabile valutare il laboratorio in un caso specifico: a tal fine è stato scelto l'insegnamento di Tecnologie per la Sicurezza del corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica. L'obiettivo della sperimentazione, tuttora in corso, è duplice: si intende innanzi tutto valutare l'efficacia dell'approccio didattico scelto e si vuole altresì condurre uno studio esplorativo che permetta di individuare nuove linee guida per arricchire e migliorare il laboratorio stesso tenendo conto della qualità dell'apprendimento conseguito da chi lo ha impiegato.

Il caso di studio dell'insegnamento delle Tecnologie per la Sicurezza risulta particolarmente significativo, dovendo fare riferimento ad una molteplicità di discipline: la logica matematica, la statistica, la teoria dei numeri, la crittografia e la crittoanalisi, i principi della programmazione e l'ingegneria del software. Gli studenti, per imparare realmente a realizzare sistemi in grado di proteggere l'informazione possono trarre molti benefici dalla disponibilità di un ambiente sperimentale in cui spaziare su diversi livelli di astrazione: dalla verifica di teoremi matematici, all'analisi di determinate proprietà statistiche, dall'individuazione e la progettazione di algoritmi e protocolli, alla valutazione dell'efficacia, dell'efficienza e della robustezza della soluzione software.

2.1 Strumenti e funzionalità

Gli strumenti e le funzionalità offerte dal laboratorio sono stati raggruppate in **prospettive**, ciascuna dedicata ad una delle tre fasi dei percorsi formativi associati agli obiettivi del corso:

1. modellazione,
2. simulazione e valutazione,
3. implementazione di un prototipo software.

La figura 1 riassume la suddivisione delle principali funzionalità nelle varie prospettive. Gli studenti sono liberi di utilizzare solo alcune delle prospettive, o di modificare gli strumenti presenti al loro interno.

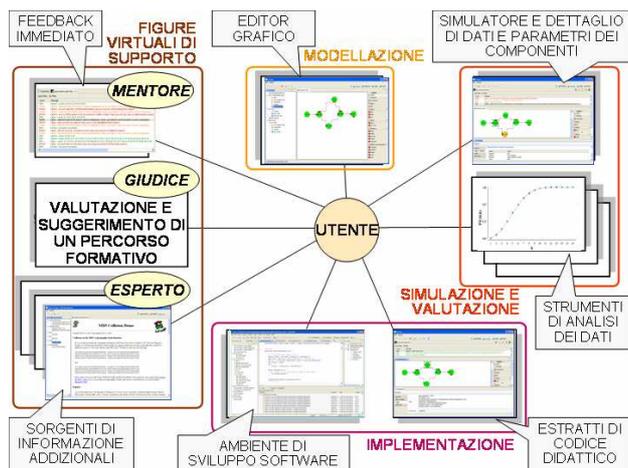


Fig.1 – Funzionalità di S-vLab

In genere, un'esercitazione inizia dalla fase di **modellazione**: gli studenti utilizzano un **editor grafico** ed una **palette** di componenti primitivi per comporre uno schema a blocchi che rappresenta il sistema allo studio. Ogni componente primitivo è associato ad una specifica funzione, ed ha delle porte di ingresso e d'uscita su cui fluiscono rispettivamente i dati elaborati dalla funzione associata ed i risultati prodotti. All'interno della palette, i componenti disponibili sono raggruppati in varie categorie, diverse per tipologia di componente e per livello di astrazione: ci sono, ad esempio, componenti che svolgono funzioni logico-matematiche (come l'ex-or, l'esponenziazione modulare, il confronto fra due numeri), altri dedicati a primitive crittografiche (la generazione di chiavi, cifratura e decifratura, produzione e verifica di una firma digitale, il calcolo di un'impronta, la generazione di una serie di numeri pseudocasuali), altri ancora rappresentano gli attori del sistema allo studio (Alice impersona il mittente di un messaggio, Bob il destinatario, Eva l'intruso che minaccia la sicurezza della comunicazione). Una categoria particolare di componenti è quella delle "box", indispensabili per simulare l'iterazione di una determinata sequenza di calcoli fino al verificarsi di una data condizione.

Gli studenti, trascinando un componente dalla palette sul foglio di lavoro, e collegando i vari blocchi per mezzo di connessioni tra le porte di uscita e quelle di ingresso, costruiscono il modello che intendono studiare. Possono quindi passare alla fase di **simulazione**, al fine di osservarne il comportamento: in questo step, occorre innanzi tutto configurare i parametri caratteristici di ogni componente. In questo compito gli utenti sono supportati da un codice dei

colori, che rappresenta in arancio i componenti che necessitano di una configurazione prima di poter essere messi in esecuzione, ed in verde quelli che invece sono già configurati. Analogamente, le porte di ingresso e di uscita risultano rosse quando non è presente il dato associato, verdi altrimenti.

Durante l'esecuzione dei componenti, il laboratorio registra su un database e mostra a video informazioni relative ai tempi di esecuzione ed ai risultati prodotti. Tali dati sono fondamentali per consentire agli studenti di **valutare le prestazioni** del sistema simulato e di confrontare le performance di diverse soluzioni. Inoltre, ricorrendo a particolari strumenti di analisi, gli studenti possono verificare specifiche proprietà dei dati generati: ne sono esempio la casualità di una sequenza di bit secondo i test del NIST, o la frequenza con la quale si ritrovano delle collisioni in una successione di impronte di messaggi casuali.

La terza fase è quella dedicata all'**implementazione** di un prototipo del sistema studiato. Gli studenti possono scegliere se progettare e sviluppare il software in modo completamente autonomo, o se ricorrere ad una forma di supporto. S-vLab consente infatti di visualizzare degli estratti di codice didattico: per ciascun componente di interesse viene generato automaticamente un esempio in linguaggio Java che mostra come istanziare un oggetto della classe corrispondente e come configurarlo in accordo ai parametri impostati. E' anche possibile avvalersi di un aiuto più esteso, richiedendo a S-vLab la produzione automatica del codice didattico corrispondente all'intero sistema modellato.

In ogni momento dell'esercitazione gli utenti possono interagire con tre figure virtuali. Il **Mentore** fornisce dei feedback in tempo reale, segnalando eventuali errori e suggerendo possibili risoluzioni dei problemi, o semplicemente notificando il completamento con successo di una data operazione. L'**Esperto** semplifica l'accesso a risorse informative quali materiali didattici del corso, manuali tecnici, standard di riferimento, approfondimenti legati a temi specifici. Infine, il **Giudice**, una figura tuttora in via di realizzazione, valuterà le attività degli studenti e utilizzerà le informazioni sui loro profili al fine di guidarli al meglio verso un percorso formativo il più possibile indicato per le loro esigenze.

2.2 Architettura e dettagli implementativi

Tra i requisiti individuati per S-vLab, grande attenzione è riservata alla possibilità di estendere il laboratorio aggiungendo nuove funzionalità. Questa necessità deriva innanzi tutto dall'approccio costruttivista: gli studenti devono infatti poter integrare gli strumenti offerti con nuovi servizi da loro realizzati. D'altra parte, **estendibilità** e **modularità** sono due requisiti imprescindibili anche per uno sviluppo orientato alla prototipazione rapida, articolato su più anni accademici e basato sul rilascio di versioni successive.

A questo scopo, S-vLab è incentrato su un'architettura a **plug-in** ed è sviluppato con tecnologia Eclipse. Il "core" della piattaforma e diversi progetti di terze parti consentono di semplificare l'implementazione del laboratorio virtuale. Il Graphical Editing Framework (GEF) offre ad esempio il supporto grafico a cui si appoggiano l'editor ed il simulatore di S-vLab, mentre i Business Intelligence and Reporting Tools (BIRT), orientati alla produzione di reportistica, rappresentano il complemento ideale alla creazione degli strumenti di analisi dei dati ottenuti dalle simulazioni. Infine, il servizio di log offerto dal plug-in Ganymede – Log4J ha costituito la base su cui realizzare la figura del Mentore.

Ulteriori motivazioni per appoggiarsi a questa piattaforma sono relative all'usabilità: Eclipse è, infatti, una realtà ben nota sia in ambito accademico che professionale, e gli studenti di Ingegneria Informatica spesso iniziano ad utilizzarla nei loro primi anni all'Università; questo fa sì che abbiano già una certa familiarità con le sue caratteristiche e la sua interfaccia, che si ritrovano in gran parte anche nel laboratorio virtuale. Infine, l'adozione della tecnologia Eclipse consente di semplificare la distribuzione agli studenti del laboratorio: è stato infatti possibile mettere a disposizione sia un applicativo **stand-alone**, che facilita notevolmente la procedura di installazione, sia una versione basata su **feature** da integrare in una preesistente istanza della piattaforma Eclipse.

3. Lo studio esplorativo

Il progetto S-vLab è stato utilizzato nell'ambito di varie edizioni del corso di Tecnologie per la Sicurezza [Riccioni et al., 2008]. Nell'Anno Accademico 2006-2007 la realizzazione è servita da test di accettazione ed ha permesso di raccogliere importanti feedback dagli utenti in merito a nuove funzionalità desiderate. Nella successiva edizione, tenutasi nell'A.A. 2007-2008, gli studenti sono stati guidati nell'utilizzo di S-vLab durante tre esercitazioni in presenza condotte in laboratorio. In questa occasione, l'osservazione diretta, l'analisi dei report redatti volontariamente dagli studenti dopo ogni esercitazione e le informazioni raccolte tramite un questionario anonimo sottoposto dopo l'esame hanno permesso di verificare l'efficacia di S-vLab nel potenziare l'apprendimento ed accrescere l'interesse ed il coinvolgimento degli studenti. Con la terza sperimentazione, nell'A.A. 2008-2009, si è inteso sia valutare in maniera più sistematica l'efficacia di questo approccio didattico, sia individuare le principali linee guida per la realizzazione della figura del Giudice.

L'utilizzo di S-vLab nell'A.A. 2008-2009 ha coinvolto circa 100 studenti e si è protratto per l'intero corso di Tecnologie per la Sicurezza, articolato in otto settimane. Agli studenti sono state proposte cinque esercitazioni: le prime due, relative a conoscenze e comprensione di singoli meccanismi crittografici, sono state presentate con cadenza settimanale a partire dall'inizio del corso. Le

restanti tre esercitazioni, proposte a settimane alterne, sono state pianificate con l'obiettivo di stimolare le capacità di applicazione, analisi, sintesi e valutazione di più complessi servizi di sicurezza.

Ciascuna esercitazione, strutturata in quattro esercizi, è stata descritta in dettaglio in una serie di passi elementari che portano al completamento del compito: si è inteso così fornire una primitiva forma di **"scaffolding"** che guidi gradualmente gli studenti verso l'esecuzione di verifiche sperimentali, l'applicazione dei concetti appresi a casi di studio significativi e realistici, e verso la progettazione e l'implementazione di un sistema sicuro [Wood et al., 1976]. La descrizione di ogni esercizio è stata pubblicata sul sito web del corso (<http://lia.deis.unibo.it/Courses/TecnologieSicurezzaAK/S-vLab.html>), assieme ad una guida all'installazione ed all'utilizzo del laboratorio virtuale.

Al fine di stimolare la collaborazione e il confronto tra pari, gli studenti sono stati invitati ad organizzarsi in gruppi di tre persone per svolgere gli esercizi; sono inoltre stati attivati diversi thread all'interno di un forum, come ulteriore spazio di discussione tra singoli e tra gruppi.

Il piano di valutazione del progetto formativo è stato definito in stretta collaborazione con il Dipartimento di Scienze dell'Educazione dell'Università di Bologna. A tal fine si è scelto di ricorrere a molteplici strumenti di rilevazione, che hanno permesso di svolgere analisi qualitative e quantitative sulla partecipazione degli studenti, sui loro progressi e sulle loro opinioni in merito all'uso del laboratorio virtuale. In particolare, per monitorare l'incremento nelle conoscenze dopo ogni esercitazione, agli studenti sono state proposte delle domande immediatamente prima dello svolgimento dell'esercizio, e domande equivalenti appena concluso il lavoro. Questo approccio, pur non permettendo una valutazione rigorosa, nel nostro caso è indicato per la sua semplicità e per il livello congruo di affidabilità che garantisce. Infatti, poiché l'esercitazione viene generalmente completata in un arco di tempo che non supera le due ore, il confronto fra le conoscenze prima e dopo il suo svolgimento non è pregiudicato da effetti riconducibili al trascorrere del tempo tra le due misurazioni ("effetto della maturazione dello studente") [Campbell e Stanley, 1973]. Risultano altresì trascurabili la potenziale influenza di eventi esterni all'utilizzo del laboratorio ("effetto storico"), così come eventuali modifiche nelle modalità di somministrazione delle prove e del calcolo dei punteggi associati ("effetto della strumentazione"): tali prove consistono infatti in coppie di test equivalenti caratterizzati da una struttura analoga per numero e per tipologia di domande, ed i risultati raccolti sono valutati e confrontati dallo stesso osservatore in accordo ad una scala di punteggi definita a priori [Campbell e Stanley, 1973]. Inoltre, i singoli gruppi hanno prodotto un **report** dettagliato per ogni esercitazione, al fine di descrivere il procedimento seguito, esponendo le particolarità osservate, delineando le ipotesi fatte prima dell'esecuzione degli

esperimenti e riportando le conclusioni tratte. Alcuni report includono anche dei commenti sul laboratorio virtuale, inseriti volontariamente dagli studenti.

Con l'obiettivo di raccogliere ulteriori feedback, parte dell'ultima lezione del corso è stata riservata ad una **discussione collettiva** sull'esperienza svolta. Infine, sono in fase di pianificazione delle **interviste** telefoniche al fine di raccogliere i punti di vista degli studenti. Il piano seguito è riportato in figura 2.

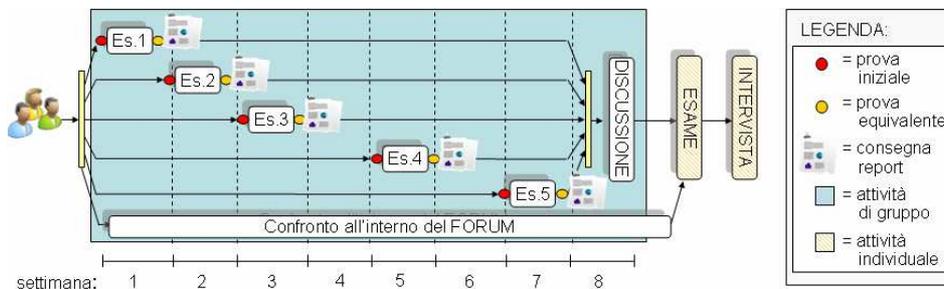


Fig.2 – Piano delle attività

L'utilizzo di S-vLab è stato caratterizzato da una elevata partecipazione: durante il corso 27 gruppi hanno completato le esercitazioni proposte nei termini previsti, ed alcuni studenti non frequentanti hanno scelto di avvalersi del laboratorio virtuale. Sebbene i test non abbiano evidenziato differenze particolarmente significative tra i risultati ottenuti prima e dopo l'esercizio, l'elevata qualità dei report dimostra che le esercitazioni sono state svolte con consapevolezza ed attenzione. Il forum, inizialmente poco frequentato, è stato molto apprezzato in occasione delle ultime prove, per cui gli studenti hanno proposto, discusso e comparato soluzioni alternative. In sede di esame si è notato, soprattutto durante la prima sessione, un effetto decisamente positivo sull'apprendimento degli studenti, che in media hanno dimostrato una maggiore padronanza dei temi oggetto di esercitazione rispetto agli anni precedenti.

4. Sviluppi futuri: progettazione di un sistema adattivo

La presenza di una guida personalizzata all'interno del laboratorio, e di un servizio adattivo in grado di stimare progressivamente la conoscenza dello studente e di suggerire di conseguenza il percorso formativo più indicato, può stimolare ulteriormente la motivazione e l'utilizzo da parte degli studenti, svincolando lo svolgimento degli esercizi dalle consegne proposte durante le lezioni e semplificando un utilizzo consapevole e proficuo di S-vLab anche dopo

la fine del corso. La realizzazione di un tale supporto automatizzato, costituito dalla figura virtuale del Giudice nel progetto S-vLab, richiede lo studio approfondito di due tematiche fondamentali: la **modellazione dell'utente** del laboratorio e la **rappresentazione del dominio** su cui si estendono le attività didattiche offerte. Nel contesto formativo, un sistema adattivo ha lo scopo di individuare, tra le varie attività possibili, quella più indicata allo stato corrente di un utente per farlo progredire verso un obiettivo. Affinché questo sia possibile, è indispensabile disporre sia di una descrizione completa dello studente (in termini di livello di conoscenza corrente, procedure di apprendimento dominanti e preferenze), sia di una classificazione delle attività disponibili. In particolare, per poter suggerire un percorso efficace, occorre che lo stato delle conoscenze dell'utente e la classificazione delle attività siano descritte con precisione e possano essere confrontate fra loro: una possibile soluzione è quella di rappresentarle attraverso un mapping su un modello puntuale del dominio oggetto di studio. Studi recenti individuano nelle **reti di concetti** degli strumenti particolarmente indicati per questo scopo: permettono infatti di modellare i temi trattati su diversi livelli di dettaglio, e, prevedendo una molteplicità di relazioni, consentono di esplicitare vincoli sulla presenza di prerequisiti o collegamenti tra più concetti [Brusilovsky e Millán, 2007]. Le attività offerte da S-vLab possono essere ricondotte alla mappa di dominio al fine di specificare gli argomenti di riferimento; inoltre, è opportuno indicarne il livello di difficoltà. Nel caso in cui la materia si presti ad essere interpretata da diversi punti di vista è infine possibile considerare anche la prospettiva di afferenza: le Tecnologie per la Sicurezza, ad esempio, includono tre prospettive distinte ma correlate quali la base teorica matematica, i concetti legati a meccanismi e servizi per la sicurezza, le metodologie e gli strumenti per l'implementazione di un sistema sicuro. Analogamente, lo stato corrente delle conoscenze dell'utente include una serie di informazioni che, per ogni concetto del dominio e per ogni prospettiva, riporta il livello raggiunto. Il valore di tali dati, così come le informazioni sulle procedure di apprendimento, possono essere inferiti dalle risposte date alle prove di apprendimento e dall'analisi delle attività svolte. A tal fine, è in corso un'analisi approfondita dei report degli studenti orientata ad individuare una serie di indicatori per cui sia significativo introdurre un monitoraggio automatico.

5. Conclusioni

Lo studio esplorativo ha permesso di rilevare significativi riscontri positivi nella qualità dell'apprendimento: l'utilizzo di S-vLab ha potenziato la motivazione degli studenti, ha permesso loro di verificare le nozioni studiate e di acquisirne così una maggiore padronanza, ed ha in diversi casi stimolato lo sviluppo di approfondimenti autonomi. L'esperienza condotta ha altresì

evidenziato alcuni punti critici, tra i quali la mancanza di una guida automatica alla scelta degli esercizi: si è quindi intrapresa la progettazione di un sistema adattivo finalizzato al suggerimento di percorsi formativi personalizzati. Tale sistema, incentrato su una rappresentazione in forma di rete semantica del dominio di interesse, costituisce il fulcro della prossima versione di S-vLab.

Bibliografia

[Bruner, 1967] Bruner, J.S., *On knowing: Essays for the left hand*. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1967.

[Brusilovsky e Millán, 2007] Brusilovsky, P. and Millán, E., User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems. In: *The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization*. Lect. Not. in Comp. Sci., Vol. 4321, Springer, 2007.

[Campbell e Stanley, 1963] Campbell, D.T. and Stanley, J.C., *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Rand McNally, Chicago, Illinois, 1963.

[Collins et al., 1987] Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E., *Cognitive apprenticeship: teaching the craft of reading, writing and mathematics* (Tech. Rep. N. 403). BBN Labs, Cambridge, Centre for the Study of Reading, Univ. of Illinois, 1987.

[Dewey, 1957] Dewey J., *Democracy and Education: an introduction to the philosophy of education*, MacMillian Company, New York, 1957.

[Duffy e Cunningham, 1996] Duffy, T. M., and Cunningham, D. J., *Constructivism: Implications for the design and delivery of instruction*, In *Handbook of Research for Educational Communications and Technology*, NY: Macmillan Library Ref. USA, 1996.

[Hannafin et al., 1999] Hannafin, M., Land, S., Oliver, K., *Open learning environments: Foundations, methods, and models*. In *Instructional Design Theories and Models* (pp. 115-140), Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1999.

[Jonassen, 1997] Jonassen, D. H., *Instructional Design Models for Well-Structured and Ill-Structured Problem-Solving Learning Outcomes*, in *Educational Technology Research and Development* 45 (1): 65–94, 1997.

[Kolb, 1984] Kolb D.A., *Experiential learning. Experience as the source of learning and development*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1984.

[Riccioni et al., 2008] Riccioni, A., Denti, E., Laschi, R., *An experimental environment for teaching Java Security*, in *Proceedings of ACM International Conference on Principles and Practice of Programming In Java*, New York: ACM, 2008.

[Wilson, 1996] Wilson B., *Constructivist learning environments. Case studies in instructional design*, Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, Nj, 1996.

[Wood et al., 1976] Wood D., Bruner J. S., Ross G., *The role of tutoring in problem solving*, in *Jour. of Child Psychology and Psychiatry*, volume 17, Pergamon Press, 1976.