

# S-vLab: UN PROGETTO DI RICERCA SULL'EFFICIENZA E SULL'EFFICACIA DI UN LABORATORIO VIRTUALE NELLA FORMAZIONE IN INGEGNERIA INFORMATICA

Roberto Laschi <sup>1</sup>, Anna Riccioni <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica - Università di Bologna  
v.le Risorgimento 2, Bologna; tel. 051 2093044  
{roberto.laschi, anna.riccioni}@unibo.it

**Abstract:** *Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione consentono la realizzazione di laboratori virtuali che offrono un supporto all'apprendimento sempre più ricco e complesso, e che facilitano la trasposizione pratica della conoscenza concettuale. Questo lavoro descrive l'attività di ricerca, sviluppo e sperimentazione di un laboratorio virtuale per la formazione nell'Ingegneria Informatica, la cui caratteristica saliente è la capacità di favorire l'apprendimento e l'acquisizione di abilità pratiche attraverso percorsi differenziati e personalizzabili sulla base delle competenze e degli obiettivi formativi dei singoli studenti. Questo lavoro presenta inoltre i principali risultati del progetto pluriennale che ha previsto sessioni di sperimentazione basate su un approccio orientato al blended-learning.*

## Introduzione

Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione rendono oggi possibile la costruzione e la distribuzione di nuovi e complessi strumenti di supporto all'apprendimento.

In questo programma di ricerca ci si è in particolare concentrati sulla realizzazione di un laboratorio virtuale, in grado di espletare le tradizionali attività formative del laboratorio di supporto agli insegnamenti di Ingegneria Informatica (tipicamente la *modellazione* di un sistema, la sua *valutazione* in termini di efficacia ed efficienza e la sua effettiva *implementazione* sotto forma di un sistema software corretto, efficiente e rispondente ai requisiti), affiancandole alle nuove positive proprietà della formazione a distanza: il *rilascio dei vincoli spazio/temporali*, il *supporto multimediale*, la *libertà di navigazione* e l'*assistenza automatizzata*.

L'obiettivo fondamentale di una realizzazione di questo tipo non è solo quello dell'innovazione tecnologica: si vuole, infatti, creare l'occasione per rimettere in primo piano il ruolo formativo del metodo sperimentale, purtroppo passato in secondo piano quando, con le ultime revisioni degli ordinamenti didattici, si è dovuto far esplodere il numero di discipline fondamentali da impartire agli studenti.

La Scienza dell'Educazione ha da tempo indicato l'importanza di offrire ai discenti esperienze di "*learning-by-doing*", riconoscendo che la trasposizione nella pratica della conoscenza concettuale aiuta gli studenti a rafforzare l'apprendimento, acquisire una maggiore padronanza della materia e sviluppare abilità pratiche e competenze durevoli (Kolb, 1984; Ma et al., 2006). Secondo l'*approccio costruttivista*, inoltre, i discenti devono ricoprire una parte attiva nel processo di apprendimento per poter elaborare un'interpretazione individuale dei concetti che li porti alla costruzione di una loro propria conoscenza (Black et al., 1996). Un tale obiettivo può essere raggiunto attraverso la pratica su casi di studio, la verifica e l'applicazione a nuovi ambiti delle nozioni studiate, la progettazione e la valutazione di nuovi scenari.

Nella nostra attività di ricerca abbiamo operato due scelte di fondo.

La prima discende strettamente da quanto detto in precedenza e prevede di collocare il laboratorio virtuale in un contesto di "*blended-learning*": il trasferimento della conoscenza concettuale è interamente affidato alle tradizionali lezioni in presenza, mentre il laboratorio è calorosamente suggerito come sede naturale per sperimentare le nozioni teoriche apprese, per riflettere sui risultati delle prove effettuate, per osservare aspetti di dettaglio, per pianificare nuovi test, o di approfondimento di determinati argomenti, o di collegamento fra diversi temi.

La seconda scelta riguarda il modo di condurre l'attività di ricerca. Abbiamo infatti deciso di fare riferimento ad un solo insegnamento (quello di Tecnologie per la Sicurezza della Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica dell'Università di Bologna) e di incrementare progressivamente la complessità del laboratorio virtuale valutando, anno per anno, la qualità dello strumento messo a disposizione degli studenti (in media un centinaio in ogni anno accademico) e la qualità dell'apprendimento conseguito da chi lo ha impiegato.

## **Il laboratorio virtuale: requisiti e funzionalità**

Il contesto educativo dell'Ingegneria Informatica richiede in generale che i discenti acquisiscano padronanza delle metodologie per l'analisi del problema, il progetto di una soluzione, la verifica della sua correttezza e validità, l'implementazione di un prototipo. Il laboratorio virtuale deve quindi prevedere efficaci strumenti per la modellazione e simulazione di sistemi complessi, per la raccolta e l'interpretazione dei dati sperimentali e per la codifica di un software esemplificativo del sistema allo studio.

La modellazione di un sistema può essere efficacemente effettuata grazie ad un "editor" grafico basato sull'astrazione dello schema a blocchi, affiancato da una "palette" che esponga i componenti elementari necessari.

Nel caso di studio da noi scelto i discenti hanno appreso, durante le lezioni in presenza, gli algoritmi ed i protocolli crittografici atti ad assicurare l'integrità, la riservatezza e l'autenticità delle informazioni comunicate su un canale su cui un avversario può intercettare, modificare e forgiare. Durante le sessioni di esercitazione con il laboratorio virtuale (S-vLab) gli studenti devono poter dunque direttamente verificare e sperimentare quanto appreso simulando il canale insicuro, le trasformazioni dell'informazione che lo rendono sicuro e gli attacchi che può svolgere l'avversario: a tal fine nella palette sono a disposizione i simboli grafici del Generatore di numeri pseudocasuali, del Generatore di chiavi, dell'Algoritmo crittografico per il calcolo di impronte, del Cifrario e della Firma digitale.

La simulazione a questo livello d'astrazione non è però l'unica possibile. Il livello d'astrazione a cui lo studente desidera operare può essere, infatti, o abbassato, attingendo dalla palette i simboli grafici delle operazioni matematiche impiegate negli algoritmi crittografici, o innalzato, definendo blocchi contenenti più componenti primitivi.

La valutazione del sistema così modellato costituisce la seconda fase del processo di apprendimento ed è resa possibile dalla stretta correlazione tra l'editor grafico ed un sottostante simulatore: gli studenti possono infatti impostare dei dati di input che ritengono appropriati, chiedere l'esecuzione della trasformazione associata ad ogni blocco che li elabora e prendere visivamente atto dei risultati di ogni esperimento; tali risultati vengono sempre raccolti e memorizzati anche dal laboratorio per consentire allo studente di esaminarli ed interpretarli globalmente alla fine della sessione accedendo ad uno strumento integrato di analisi grafica e statistica.

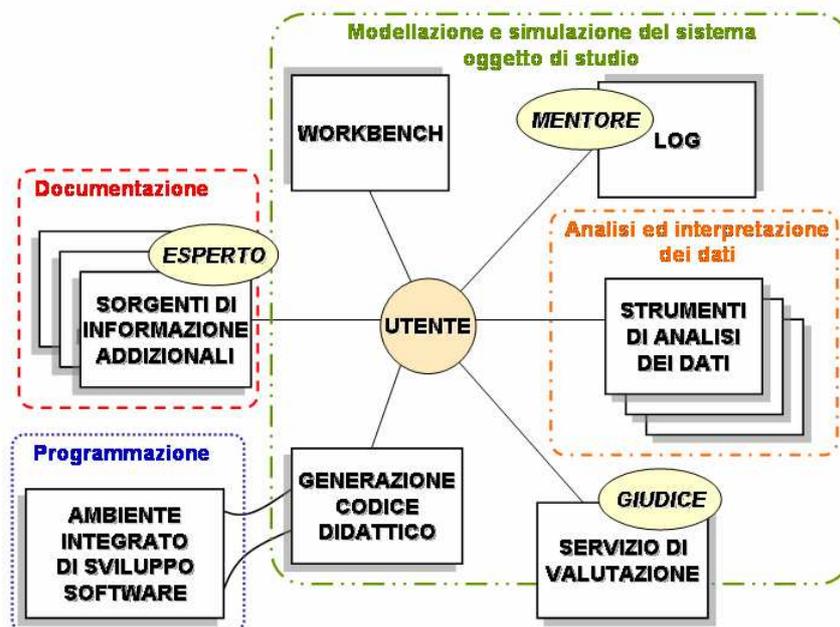
La terza fase del processo di apprendimento, rappresentata dalla codifica di un prototipo software, avviene in due tappe (Riccioni et al., 2008):

1. durante la simulazione il laboratorio consente allo studente di visualizzare il codice Java relativo ad uno qualsiasi dei blocchi che compone il sistema allo studio, semplicemente selezionandolo nell'editor grafico;
2. al termine di ogni esperimento, S-vLab genera automaticamente un codice rappresentativo dell'intero sistema simulato e lo passa, pure automaticamente, ad un ambiente di sviluppo software, all'interno del quale lo studente potrà liberamente completarlo, modificarlo, riorganizzarlo ed eventualmente decomporlo al fine di costruire un prototipo caratterizzato da un'architettura distribuita.

Una caratteristica precipua della ricerca è l'aver previsto che, durante le sessioni di lavoro all'interno del laboratorio, i discenti siano assistiti da tre figure virtuali di supporto: il Mentore, dedicato alla notifica di feedback sulle attività svolte; il Giudice, che ha il compito di guidare gli studenti nei loro percorsi formativi, e l'Esperto, che consente l'accesso a risorse informative aggiuntive per ulteriori approfondimenti.

In figura 1 sono riportati gli strumenti discussi.

**Figura 1**  
STRUMENTI E FUNZIONALITÀ DEL LABORATORIO VIRTUALE



L'ultimo requisito individuato per il nostro laboratorio, anch'esso derivato dall'approccio costruttivista, è la possibilità per i discenti di integrare gli strumenti e le funzionalità offerte con nuovi servizi da loro realizzati. Ciò ha richiesto di porre grande attenzione nella realizzazione del supporto informatico del laboratorio, che deve avere nella modularità e nella estendibilità due caratteristiche imprescindibili: per questo motivo abbiamo scelto fin dall'inizio di dare a S-*vLab* una architettura a "plug-in".

### *La tecnologia Eclipse*

Per ottenere modularità, estendibilità e, soprattutto, rapidità di sviluppo, abbiamo deciso di appoggiare il laboratorio sulla piattaforma Eclipse (Riccioni et al., 2007).

Il "core" di questa piattaforma, le librerie esistenti ed i progetti aggiuntivi sviluppati nell'ambito della comunità internazionale o da terze parti offrono, infatti, un valido supporto sia per lo sviluppo software del prototipo che per la realizzazione di alcune delle funzionalità previste. In particolare, la realizzazione dell'editor grafico per la modellazione e la simulazione dei sistemi è stata basata sul "framework" GEF per semplificare la gestione degli aspetti grafici, mentre il progetto BIRT, orientato alla produzione di reportistica, ha rappresentato 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.

La piattaforma Eclipse è, inoltre, 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.

L'adozione della tecnologia Eclipse ci ha consentito anche di semplificare la distribuzione agli studenti del laboratorio: più in dettaglio, è stato possibile mettere a disposizione sia un applicativo "stand-alone", che semplifica notevolmente la procedura di installazione, sia una versione basata su "feature" da integrare in una preesistente istanza della piattaforma Eclipse.

### **Qualità del prodotto e qualità dell'apprendimento**

Come si è detto nell'introduzione, l'attività di ricerca è stata articolata in un percorso pluriennale che include tre tappe principali, ciascuna caratterizzata dal rilascio di un prototipo e dalla sua sperimentazione nell'ambito del corso. Al termine di ogni tappa è stata valutata sia la

qualità dell'apprendimento degli studenti che hanno utilizzato il laboratorio, sia la qualità del prodotto di volta in volta rilasciato; a tal fine gli autori hanno ricoperto i principali ruoli richiesti nell'organizzazione di un progetto di e-learning (Holma et al., 2006), come l'esperto di contenuti, l'esperto di architetture software, il tutor, lo sviluppatore e l'amministratore.

Le sperimentazioni, finalizzate all'osservazione degli aspetti pedagogici e tecnologici connessi all'utilizzo del laboratorio virtuale, sono state effettuate adottando varie strategie. In particolare, nella prima fase del progetto si è scelto di raccogliere i feedback dei discenti attraverso interviste dirette e la valutazione degli elaborati prodotti al termine delle singole esercitazioni. In una seconda fase, a queste strategie è stata affiancata la somministrazione di un questionario attraverso il quale i discenti hanno potuto formulare un giudizio sull'ambiente di apprendimento e proporre dei suggerimenti per migliorarlo: al fine di raccogliere informazioni sincere e non condizionate, il questionario, completamente anonimo, è stato reso disponibile, una volta sostenuto l'esame finale del corso, ai soli studenti che hanno dimostrato di avere utilizzato il laboratorio.

La terza fase della sperimentazione, pianificata per il prossimo Anno Accademico, vedrà l'introduzione di sessioni di test, volte a stimare il livello di conoscenza dei singoli studenti, che i discenti dovranno completare prima e dopo lo svolgimento delle varie esercitazioni. In ogni caso, fino ad ora le esercitazioni con il laboratorio virtuale sono sempre state presentate e proposte agli studenti come delle attività integrative completamente facoltative, anche al fine di non incentivare il fenomeno del plagio.

La prima "*milestone*" del progetto, avviato nel 2005, si è conclusa con il rilascio del prototipo vLab 1.0, una applicazione stand-alone implementata in Java che permette l'esecuzione di un vasto insieme di possibili esercitazioni fortemente guidate dal docente (Laschi et al., 2007). La sua sperimentazione ha confermato il gradimento da parte degli studenti del laboratorio virtuale come strumento integrativo per semplificare la verifica dei concetti teorici studiati, ma ha anche rimarcato l'esigenza di un più completo supporto alla possibilità per i discenti di ricoprire un ruolo attivo durante le esercitazioni.

La seconda "*release*" del laboratorio è stata realizzata per superare questa limitazione. Il prototipo S-vLab 2.0, basato sulla piattaforma Eclipse, risulta fortemente improntato all'approccio costruttivista, e permette a studenti caratterizzati da diversi livelli di conoscenza di partenza e da diversi obiettivi di apprendimento –scelti nell'ambito di un insieme proposto dal docente- di seguire percorsi formativi differenziati all'interno del laboratorio virtuale. Ad esempio, è possibile per un discente seguire un percorso sequenziale che parte dalla fase di modellazione di un sistema sicuro, prosegue con la sua valutazione, e termina prima di affrontare l'implementazione di una versione prototipale: una tale esperienza formativa risulta particolarmente indicata per gli studenti dei Corsi di Laurea in Elettronica ed in Telecomunicazioni, che non possiedono forti abilità di programmazione ed il cui obiettivo principale è quello di verificare l'effetto degli attacchi ad un sistema sicuro. D'altra parte, i discenti che preferiscono svolgere un'esercitazione orientata anche al perfezionamento delle proprie abilità di programmazione, possono proseguire l'esercitazione passando alla fase di codifica di un prototipo del sistema studiato: a tal fine possono modificare, attraverso un ambiente integrato per lo sviluppo di software, il codice didattico automaticamente generato dal laboratorio virtuale.

Il questionario condotto al termine della sperimentazione di S-vLab 2.0 ha mostrato che la possibilità di strutturare autonomamente i propri percorsi formativi ed il continuo feedback sulle attività svolte offerto dal Mentore sono stati molto apprezzati dagli studenti. Inoltre, molte segnalazioni sui possibili miglioramenti sono risultate volte ad un'estensione di questa funzionalità attraverso il suggerimento automatico, da parte del sistema, di una successiva attività da svolgere per raggiungere l'obiettivo formativo prefisso.

La pianificazione e lo sviluppo di un più completo supporto automatico alla composizione ed alla personalizzazione dei percorsi formativi, modellato nella figura del Giudice, sono quindi gli obiettivi della terza tappa dell'attività di ricerca, attualmente in corso di svolgimento. Nella nuova release, S-vLab 3.0, il laboratorio diventa parte di una più complessa architettura distribuita, basata sulla piattaforma Eclipse e inquadrata nel modello di riferimento IEEE Learning Technology Systems Architecture (IEEE, 2001): S-vLab 2.0 è infatti esteso ed integrato nell'ambito di un framework distribuito per la raccolta di dati e informazioni sulle attività svolte e sull'avanzamento dei processi di apprendimento degli utenti. L'individuazione delle attività formative più indicate per i singoli studenti dipenderà da una serie di fattori, tra cui ad esempio

lo stile di apprendimento che caratterizza lo studente, le sue conoscenze pregresse ed i suoi obiettivi formativi, e la strategia didattica scelta dal docente.

Nell'istituenda Laurea Magistrale è previsto che l'uso del laboratorio sia obbligatorio e comporti l'acquisizione di crediti.

La tabella 1 riassume i principali riscontri fino ad ora ottenuti durante le sessioni di sperimentazione.

**Tabella 1**  
**VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ**

| Ciclo di sperimentazione | Modalità di raccolta feedback   | Principali feedback ottenuti  | Azioni intraprese   |
|--------------------------|---|---|---|
| Primo (A.A. 2006-2007)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interviste</li> <li>• Valutazione report</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strumento reputato utile</li> <li>• Limitate possibilità di personalizzazione dei percorsi formativi</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizzazione di un editor grafico per la composizione del modello da studiare</li> <li>• Pianificazione del supporto all'offerta di percorsi formativi composti dinamicamente dagli studenti</li> </ul> |
| Secondo (A.A. 2007-2008) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interviste</li> <li>• Valutazione report</li> <li>• Questionari</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caratteristiche molto apprezzate: Mentore e libertà nella definizione degli esercizi</li> <li>• Mancanza di punteggi rappresentativi del raggiungimento degli obiettivi formativi</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pianificazione di un sistema per la valutazione delle conoscenze dei discenti ed il conseguente suggerimento automatico di una attività idonea al conseguimento degli obiettivi formativi</li> </ul>     |
| Terzo (A.A. 2008-2009)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interviste</li> <li>• Valutazione report</li> <li>• Questionari</li> <li>• Quiz prima e dopo le esercitazioni</li> </ul> | -   | -   |

## Bibliografia

- (Kolb, 1984) Kolb D. (1984), *Experiential learning: experience as the source of learning and development*, New Jersey, Prentice-Hall Englewood Cliffs.
- (Ma et al., 2006) Ma J., Nickerson J. V., *Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review*, ACM Comput. Surv., 38(3):7.
- (Black et al., 1996) Black M. J. B., McClintock R. O., *An interpretation construction approach to constructivist design*, *Constructivist Learning Environment: Case Studies in Instructional Design*.
- (Riccioni et al., 2008) Anna Riccioni, Enrico Denti, Roberto Laschi, *An experimental environment for teaching Java Security*, accettato alla ACM International Conference on Principles and Practice of Programming In Java, Modena, 9-11 settembre 2008.
- (Riccioni et al., 2007) Anna Riccioni, Enrico Denti, *vLab: an Eclipse-based virtual laboratory*, in *First International Conference on Eclipse Technologies*, Napoli, Cuzzolin Editore.
- (Holma et al., 2006) Holma J., Junes S., *Trainer's and professional's guide to quality in Open and Distance Learning*, Tampere, Finland, E-Quality.
- (Laschi et al., 2007) Roberto Laschi, Anna Riccioni, Patrik Suzzi, *Learning by doing: vLab, a virtual laboratory for Computer Engineering education*, in *Proceedings of the International Workshop on Distance Education Technologies*, San Francisco, Knowledge System Institute Graduate School.
- (IEEE, 2001) IEEE, *Draft standard for Learning Technology – Learning Technology Systems Architecture (LTSA)*, P1484.1/D9, 2001-11-30.