

## **Il progetto di ricerca BLU-ARCHEOSYS: tecnologie innovative e sistemi avanzati di supporto per l'archeologia subacquea**

**Lucio Colizzi**  
Divisione Ingegneria Informatica  
Consorzio CETMA

**Parole chiave:** tecnologia, subacqueo, educazione, analitico

### **1. Il progetto BLU-ARCHEOSYS**

È trascorso ormai un anno dalla chiusura (solo formale) dei lavori di ricerca industriale e sviluppo pre-competitivo previsti nel progetto BLU-ARCHEOSYS (Tecnologie innovative e sistemi avanzati a supporto dell'archeologia subacquea). Diversi anni di collaborazioni tra imprese, centri di ricerca ed Università hanno prodotto una enorme quantità e qualità di risultati scientifici le cui applicazioni vanno dall'archeologia delle acque, dei BBCC sommersi e sub-aerei a settori più industriali come l'industria degli idrocarburi (indagini, supporto a costruzioni di strutture offshore, oleodotti e gasdotti); l'industria delle telecomunicazioni (supporto alla posa e manutenzione di cavidotti); applicazioni militari; applicazioni di sicurezza e di protezione civile; operazioni minerarie sottomarine; monitoraggio e indagini ambientali; monitoraggio geologico; monitoraggio di infrastrutture subacquee; industria della pesca; formazione; intrattenimento.

Gli obiettivi del progetto erano stati concepiti in modo da portare alla realizzazione e sperimentazione di tecnologie verticalizzate in ognuna delle fasi della catena del valore del BC sommerso e che pertanto riguardavano la ricognizione, la prospezione, il rinvenimento, il progetto di recupero, il rilevamento, lo scavo, la documentazione, la protezione, il trasporto, la tutela e valorizzazione, il restauro, la manutenzione, la conservazione, la fruizione, la musealizzazione [1].

### **2. Le tecnologie abilitanti per lo studio del sommerso**

Nell'ambito del progetto BLU-ARCHEOSYS, due gruppi di ricerca hanno sviluppato nuove tecnologie impiegabili direttamente in situ, ovvero nel mondo sommerso. Si tratta del primo dispositivo di visione 3D basato su tecnologie radar, ed un sistema ROV multicomponente in grado di trasportare un complesso di tecnologie di misura utili ad analizzare diversi aspetti del fondale marino [2, 3].

#### **2.1. Il sistema U-ITR sviluppato dall'ENEA**

Nell'ambito degli ambienti subacquei, il centro ricerche ENEA di Frascati (Roma) ha sviluppato un sistema di visione 3D di tipo radar ottico denominato U-ITR (Underwater Imaging Topological Radar) (Figura 1). Il sistema è in grado di effettuare scansioni 3D in ambiente subacqueo. I risultati ottenuti dall'ENEA ci dicono che è possibile vedere in 3D sott'acqua utilizzando tecnologie radar. È stata effettuata un'intensa attività di ricerca che ha riguardato lo studio teorico e una serie di esperimenti, effettuati in due test tank rispettivamente da 1,5m e 25m di lunghezza, relativi alla propagazione in acqua con differenti gradi di torbidità di un fascio laser CW (Continuous-Wave) modulato in ampiezza (AM, Amplitude-Modulation) di lunghezza d'onda  $\lambda=405\text{nm}$  (regione blu/violetto dello spettro visibile) con l'obiettivo di ottenere informazioni che siano utili e fondamentali nel campo dell'imaging 3D per applicazioni in ambiente subacqueo [4].

Le prove effettuate con il prototipo di U-ITR nella piscina di prova hanno riguardato la scansione laser di alcuni target metallici immersi in acqua relativamente pulita, come dischi forati con dimensioni dei fori dell'ordine del mm, flange circolari, scaletta con salti prefissati e ben noti dei gradini (dell'ordine del cm). I dati di range e ampiezza acquisiti con l'U-ITR durante le scansioni hanno consentito di ricostruire modelli 3D di alta qualità, alta risoluzione (dell'ordine del mm a 4-5m di distanza) ed estremamente accurati dei target sommersi sotto investigazione, lasciando così intravedere un'ottima possibilità di utilizzo dell'U-ITR come strumento diagnostico dello stato di conservazione degli oggetti di interesse in ambiente subacqueo, come siti archeologici, e come strumento di ispezione e monitoraggio dello stato delle condutture e delle catene di ancoraggio delle piattaforme petrolifere o gassose off-shore.

L'impiego del radar ottico subacqueo si può generalizzare in modo naturale anche a visioni 3D in ambiente sommerso di strutture non necessariamente appartenenti

all'area dei beni archeologici, come piattaforme petrolifere e simili. L'interesse nel settore della sicurezza e della sorveglianza in questo campo sta assumendo sempre maggiore importanza negli ultimi anni.



Figura 1. Sistema U-ITR

**2.2. Un ROV multicomponente sviluppato da Ageotec**

Nei Laboratori della Ageotec srl, azienda italiana leader nella realizzazione di sistemi per la prospezione subacquea, è stato sviluppato un ROV, in grado di alloggiare non solo il modulo di visione 3D realizzato in Enea a Frascati ma anche una serie di sistemi di sensori grazie ai quali è possibile misurare diverse grandezze nel mondo sommerso ed effettuare campionamenti mirati.

L'obiettivo principale raggiunto è stato la realizzazione del veicolo ROV dimostratore le cui caratteristiche sono riassunte nelle seguenti tabelle.

<i>Caratteristiche generali</i>	<i>Dimostratore realizzato (solo veicolo senza accessori)</i>
<i>Dimensioni</i>	lunghezza 1000 mm larghezza 800 mm altezza 800 mm
<i>Peso in aria</i>	160 kg
<i>Profondità max operativa</i>	1000 m
<i>Propulsori e corrispondenti spinte max</i>	2 motori verticali, 100 kg 4 motori orizzontali, 100 kg di avanzamento e 50 kg laterali
<i>Capacità di carico</i>	40 kg

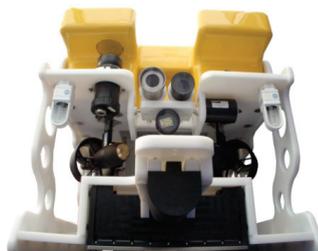
*Caratteristiche del ROV*

<i>Caratteristiche della strumentazione</i>	<i>Dimostratore realizzato (solo veicolo senza accessori)</i>
<i>Telecamere / luci</i>	4 canali video con trasmissione a fibra ottica più 1 canale video su cavo bipolare "twisted".

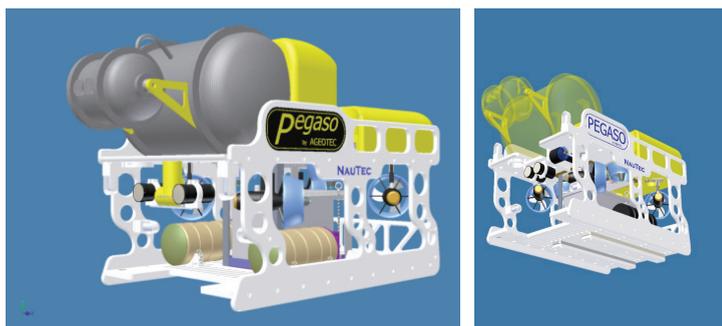
Strumentazione installabile	<p>Interfacciamento di:  CP Probe, Octans, R2Sonic 2022 e similari,  Sonar panoramico, Bathymetric System,  Altimetro, Correntometro, Pipe Tracker, sonde  multiparametriche.  Trasmissione dati con multiplexer a fibra ottica.</p>
Navigazione	<p>Girobussola Flux-gate, sensore accelerometrico  angolare, sensore di pressione (profondità)</p>
Controllo	<p>Video overlay su monitor con videoregistrazione.  Esportazione via seriale dei dati dei sensori.  Software diagnostica del sistema (PC esterno  connesso alla consolle di superficie)  Demultiplexer a fibra ottica.</p>
Alimentazione	<p>400 VAC trifase, 10 kW (volo libero), 30 kW  (opzione TMS)</p>

*Caratteristiche dei modulo a bordo ROV*

*Le figure 2 e 3 illustrano il veicolo dimostratore ROV in una delle sue configurazioni tipo che include oltre ai componenti di navigazione anche il sistema di visione acustica a scansione multifascio (istallato a sbalzo nella parte frontale) ed i sensori di assetto e di navigazione (istallati nella parte posteriore). L'architettura è stata mantenuta altamente modulare per consentire di adattare le caratteristiche operative in funzione dello scenario operativo dell'applicazione prevista.*



*Figura 2. Configurazione tipo del veicolo ROV dimostratore allestito con i sistemi sonar e di assetto e navigazione*



*Figura 3. ROV Pegaso con configurazione in grado di alloggiare l'UTR*

### 3. Visual Information System e la simulazione virtuale

La realtà virtuale rappresenta una importante ed innovativa forma di tecnologia nell'ambito del progetto BLU-ARCHEOSYS. Il gruppo di ricerca si è rivolto verso due campi di ricerca principali:

- 1) Simulazione dello scenario subacqueo
- 2) Metodo degli elementi finiti per la simulazione di recupero.

#### 3.1. Simulazione dello scenario subacqueo

Mentre in Ageotec si sviluppava il sistema ROV, nei laboratori del consorzio CETMA di Brindisi, si affrontavano tutte le problematiche di post-processing dei dati scientifici da esso acquisiti in ambiente subacqueo. L'utilizzo del sistema di ricostruzione 3D dei fondali di tipo multibeam (o ecoscandaglio multifascio), messo a punto per il ROV grazie ad una collaborazione tra Università di Bologna ed Ageotec, ha consentito al gruppo di ricerca costituito dagli informatici del CETMA di realizzare un sistema di processing in grado di:

- Visualizzare i dati di missione (review della missione ROV)
- Simulare una missione su fondale ricostruito a partire dalla nuvola acquisita dal multibeam

Il primo punto è stato implementato nell'ambito del Virtual Reality Centre realizzato dal consorzio in passato e messo a completa disposizione del progetto. Al fine di sviluppare le applicazioni di immersione e real-time si è proceduto alla registrazione di più dati parziali (strisciate), ed alla ricostruzione delle superfici triangolate (Figura 4). L'ultimo passaggio prima di ottenere il dataset finale (dati di missione) è stato quello di applicare algoritmi capaci di mappare la texture, per fornire, in fase di visualizzazione, la restituzione pseudo-realistica del fondale stesso.

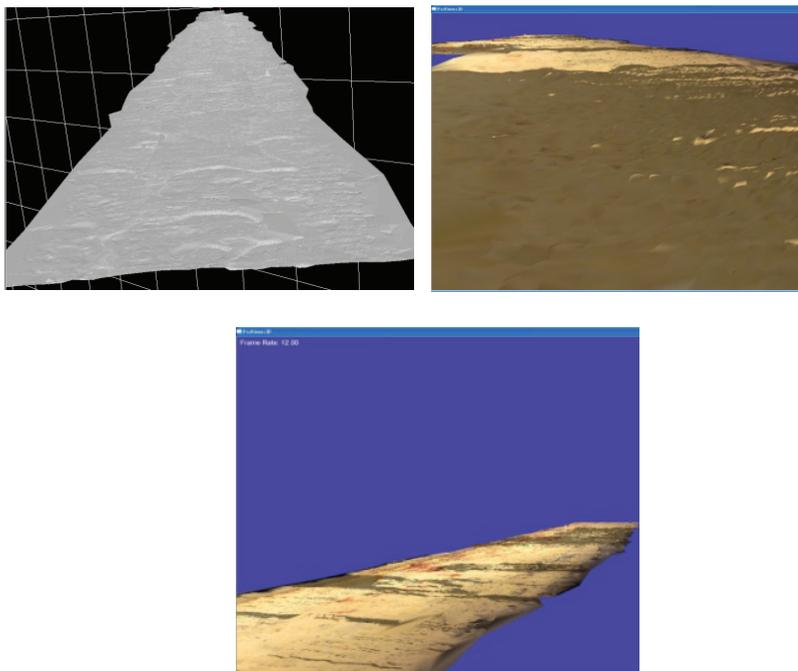


Figura 4. Visualizzazione della nuvola di punti a seguito della triangolazione e della mappatura del colore con il modulo di navigazione Real Time

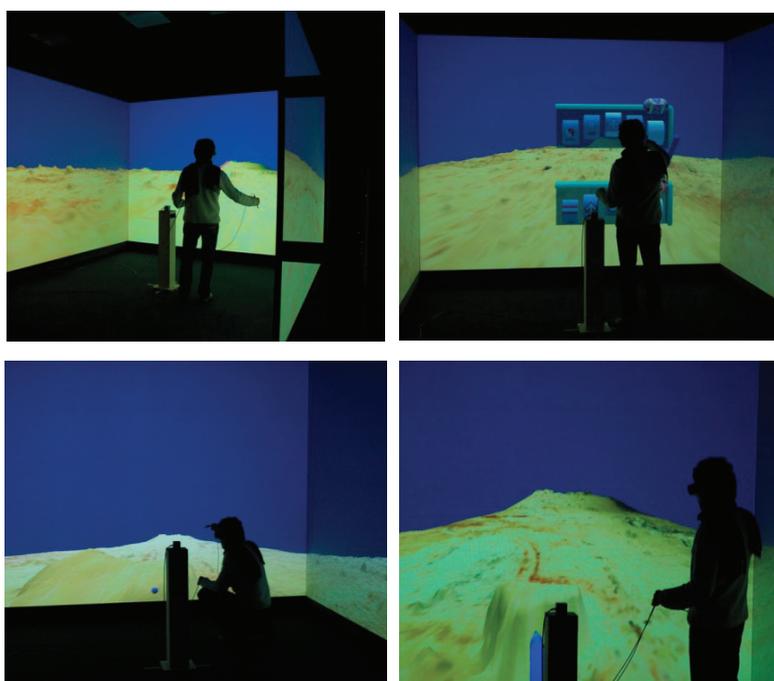
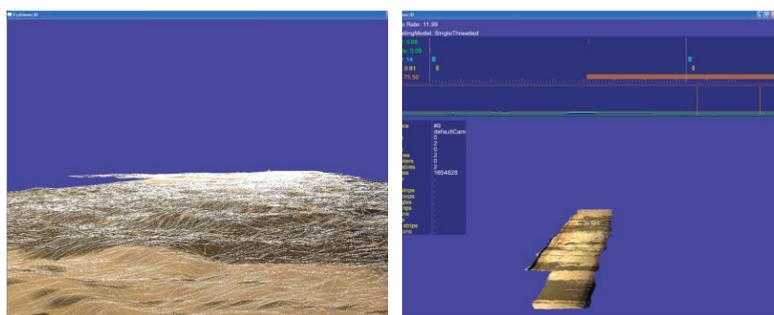


Figura 5. Fruizione del fondale all'interno del CAVE del CVRC

Una ulteriore attività è stata poi quella di utilizzare il dataset (dati di missione) del fondale ricostruito (Figura 5) al fine di realizzare un vero e proprio simulatore di missione ROV. A tal fine, per la parte di simulazione dei gradi di libertà è stata utilizzata una piattaforma robotizzata nell'ambito della quale venivano inglobate le applicazioni real-time, le dinamiche di moto del ROV e la gestione degli scenari immersivi. La piattaforma può essere utilizzata sia per attività di revisione di missioni che per addestramento e briefing. Per la modellazione della dinamica di un generico veicolo subacqueo è stato utilizzato un veicolo progettato e realizzato dalla "Naval Post Graduate School" il NPS AUV II (Figura 6).

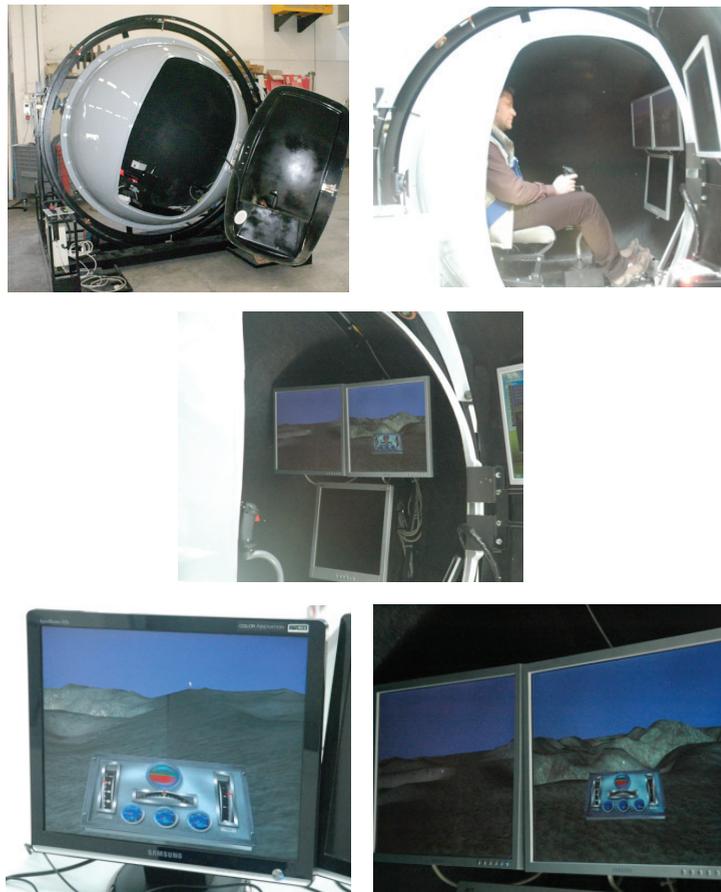


Figura 6. Simulatore di interfacce

### 3.2. Metodo di virtualizzazione e di analisi numerica agli elementi finiti

Le tecnologie della virtualizzazione e dell'analisi numerica agli elementi finiti, sono state impiegate anche nella simulazione del processo di recupero, grazie ad una collaborazione tra gli esperti di simulazione della divisione Ingegneria dei materiali e delle strutture del CETMA e il gruppo di chimica dell'ambiente e dei Beni Culturali dell'Università di Urbino. Il metodo è stato messo a punto utilizzando dei reperti provenienti da un relitto di Veliero (questo poi datato dall'Università del Salento e risalente al periodo rinascimentale). L'analisi agli elementi finiti prevede un approccio metodologico schematizzabile in tre fasi distinte:

- Fase di Pre processing: caratterizzazione chimico/fisico/meccanica dei materiali
- Fase di Processing: calcolo numerico
- Fase di Post Processing: visualizzazione dei risultati

In sintesi, è stato individuato un flusso logico di attività di post processing di dati ROV che, a partire dal modello 3D del relitto e dalle proprietà dei materiali che lo compongono, permette di analizzare un eventuale progetto di recupero.

Sulla base dei campioni lignei forniti e delle prove sperimentali effettuate (Figura 7), è stato possibile definire le caratteristiche meccaniche del materiale del reperto (Figura 8). I risultati della caratterizzazione meccanica sono stati utilizzati per l'implementazione dei modelli numerico-comportamentali dei materiali nel codice di calcolo Ls-Dyna (Figura 9).

Il modello comportamentale del materiale ha permesso di analizzare mediante specifiche simulazioni numeriche alcune ipotesi di progettazione del recupero. Infatti, facendo riferimento ad un modello 3D del relitto è stato possibile valutare soluzioni di recupero appropriate (Figura 10).

Sono state analizzate due possibili soluzioni di recupero (Figure 11-12) e sono state analizzate le zone critiche di rottura (mappatura finale delle sollecitazioni sul componente). Il modello agli elementi finiti messo a punto consente di analizzare anche altre soluzioni di recupero introducendo eventuali modifiche geometriche e strutturali al sistema ipotizzato (Figura 13).



Figure 7. Subsequent splitting of the specimen

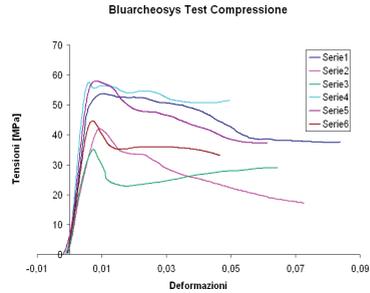


Figure 8. Tension strain curves of compression tests

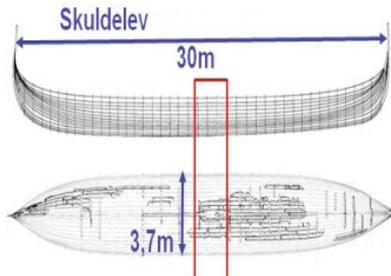


Figure 9. Model and size of Skuldelev 2

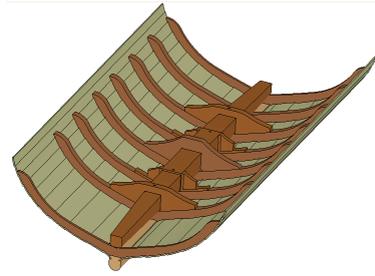


Figure 10. Finite element model used for simulation of recovery

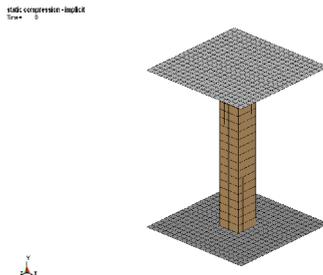


Figure 11. Finite element model of the compression test

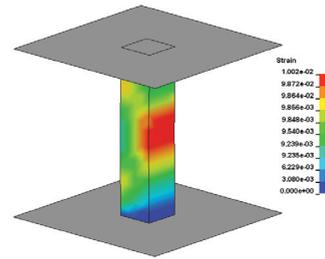


Figure 12. Finite element model of the compression test

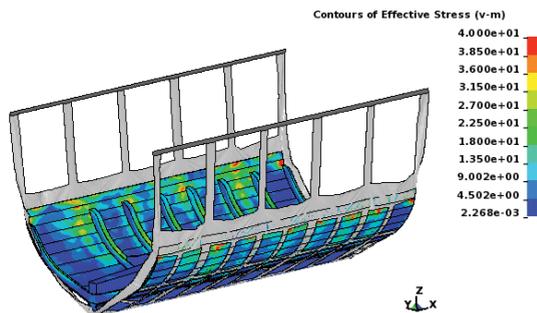


Figura 13. post processing di dati

#### 4. Una tecnologia innovativa per la caratterizzazione morfologica dei reperti subacquei

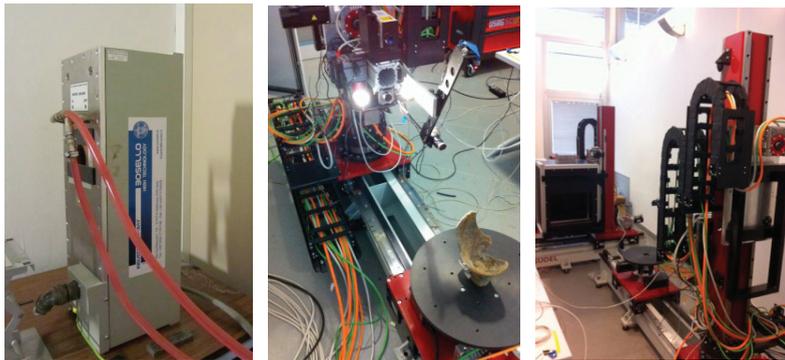
È stato realizzato un complesso sistema in grado di effettuare contemporaneamente diverse misure di natura morfologica su un reperto; il sistema integra:

- Un tomografo di potenza sulla sorgente pari a 250 MeV
- Un sistema di scansione superficiale a riga laser
- Un colorimetro
- Un microprofilometro.

La macchina risulta unica nel suo genere (Figura 14). Per la sua realizzazione sono stati impegnati ricercatori del consorzio CETMA (per la parte meccatronica), ricercatori del CNR-INO (per la parte di misura ottica), ricercatori dell'Università di Bologna (per la parte tomografia). Di seguito si riportano alcune immagini sia degli schemi costruttivi che delle fasi di realizzazione delle parti costituenti e del sistema nel suo complesso. La macchina è stata poi testata su un reperto fornito dalla soprintendenza speciale del mare di Palermo (anfora).

Il FRAMEWORK software per la gestione dei dispositivi hardware integrati nella macchina di caratterizzazione morfologica per le misurazioni consente di interfacciarsi, tramite apposite librerie software scritte in C++, ai dispositivi hardware reali quali: laser scanner, colorimetro e microprofilometro collegati al computer tramite porte USB e Rugosimetro collegato al computer tramite Ethernet [5].

Di seguito si riportano i risultati di una multi misura (TAC + Scansione laser) effettuati in laboratorio su un reperto fornito dalla Direzione Generale della Soprintendenza del Mare di Palermo (Figura 15).



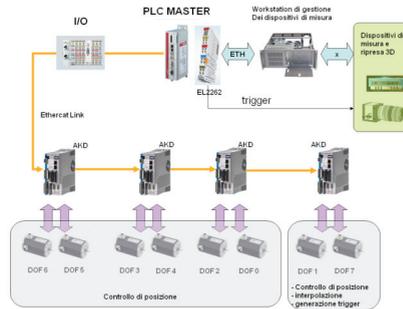
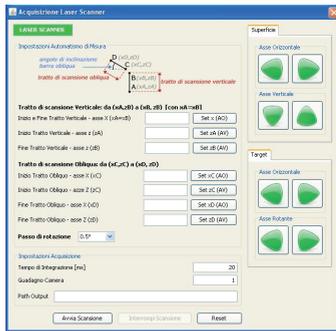
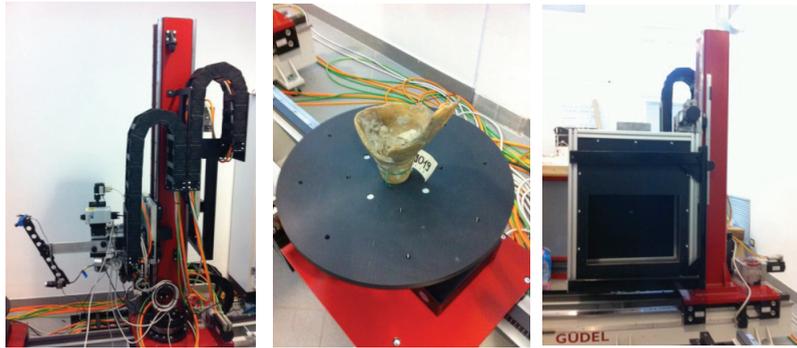


Figura 14. La macchina e il suo sistema di controllo

### 5. Tecnologie Complesse per l'analisi dei reperti subacquei

Sulle tecnologie per l'analisi dell'emerso, una linea di ricerca interessante del progetto BLU-ARCHEOSYS è stata quella condotta dall'Università del Salento coordinate dal Professor Lucio Calcagnile, Ordinario di Fisica Applicata del Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione.

L'attività di ricerca più importante è stata svolta nei laboratori del CEDAD – Centro di Datazione e Diagnostica del Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento. Ha consentito di progettare e realizzare una linea di fascio multi isotopica, connessa con l'acceleratore di particelle Tandetron da 3MV (Figura 16), in grado di effettuare analisi isotopiche e datazioni fino a decine di milioni di anni.

Prima della realizzazione della nuova linea, al CEDAD, la datazione veniva effettuata soltanto misurando il radiocarbonio con un range di databilità fino a circa 50.000 anni. Grazie al progetto BLU-ARCHEOSYS è stato possibile estendere il range di databilità dei materiali, utilizzando il  $^{10}\text{Be}$  anziché il  $^{14}\text{C}$ , fino a circa 15 milioni di anni. La linea è stata progettata grazie alla collaborazione con il Gruppo di Fisica dei Fasci Ionici del Politecnico Federale di Zurigo (ETH) ed è in grado di misurare direttamente particelle radioattive estremamente rare in natura, tra le quali  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{238}\text{U}$  con la tecnica nota come Accelerator Mass Spectrometry (AMS). La realizzazione del sistema innovativo per la datazione ha richiesto l'ingegnerizzazione di due grossi magneti (uno del peso di 7 tonnellate) e un analizzatore elettrostatico per la selezione in massa, energia e carica dei vari isotopi radioattivi. Tutto il sistema di acquisizione elettronica e di conteggio delle particelle è stato sviluppato dal Gruppo di Fisica Applicata del Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione. La nuova linea di fascio connessa con l'acceleratore consentirà di effettuare al CEDAD ricerche in vari ambiti dall'Archeologia alla Geologia, dall'Idrologia alle Scienze Ambientali e della Terra [6, 7, 8, 9].

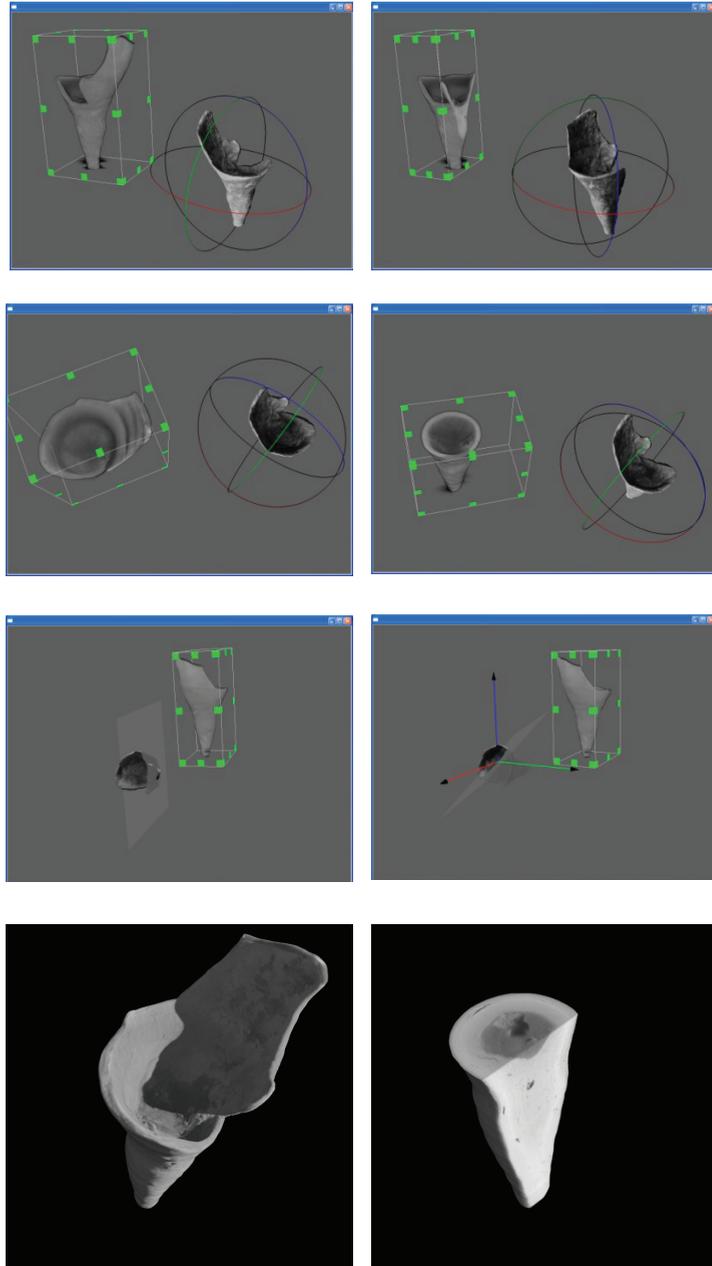


Figura 15. Fusione di diversi dataset in 3D



*Figura 16. La sala dell'acceleratore Tandetron del CEDAD (a sinistra) e la nuova linea multi isotopica (a destra)*

*Una seconda attività ha riguardato la progettazione e realizzazione di un sistema per la datazione delle acque per ricerche riguardanti l'idrologia e la climatologia. Il sistema (Figura 17) consiste in un recipiente contenete l'acqua dalla quale si deve estrarre la  $\text{CO}_2$ , connesso mediante varie valvole a trappole criogeniche per il congelamento e l'intrappolamento dell'anidride carbonica e l'evacuazione dei gas provenienti dal campione. Il trasferimento dei gas viene velocizzato mediante l'iniezione di un gas di trasporto, solitamente elio. La produzione di  $\text{CO}_2$  avviene mediante reazione chimica con acido fosforico, con successivo intrappolamento e riduzione catalitica in grafite per la misura con l'acceleratore degli isotopi del carbonio.*



*Figure 17. Il sistema di datazione delle acque*

Una terza attività ha riguardato l'ingegnerizzazione di un sistema meccanico per il prelievo di carotaggi marini dai quali vengono poi estratti i sedimenti contenenti gli isotopi radioattivi da misurare mediante AMS (Accelerator Mass Spectrometry). I risultati di queste attività sono stati presentati a numerose conferenze nazionali e internazionali del settore.

### 6. Nuove metodologie analitiche di indagine

Ma il progetto BLU-ARCHEOSYS è stato importante non solo sulla messa a punto di nuove tecnologie, ma anche per l'individuazione di metodologie analitiche innovative. Su questo tema, interessanti attività sono state svolte dall'Università di Bologna, ed in particolare gli studi effettuati su alcune anfore puniche del Museo "Baglio Anselmi" Di Marsala

Nell'ambito del progetto di ricerca "BLU ARCHEOSYS" è stata messa a punto la metodologia relativa alla conoscenza di campioni di anfore puniche provenienti dal Museo Baglio Anselmi di Marsala (Trapani).

Il mondo subacqueo è costellato di relitti, di reperti, di vestigia testimonianti epoche, popolazioni, livelli socio-economico-culturali nonché prodotti e tecniche di fabbricazione con materiali e funzioni tanto diversi quanto bisognosi, appunto, di studi di carattere sia storico-archeologico-bibliografico, sia tecnico-materico-analitico. Lo studio su manufatti anforici, scelti opportunamente, è stato rivolto inizialmente agli aspetti di ordine tecnologico-commerciale e, quindi, collegato a rotte e percorsi di navi con destinazioni diverse e, comunque, riconducibili a circuiti commerciali in determinate aree produttive (Figura 18).

I 33 esemplari anforici sono stati catalogati mediante schede tecniche redatte con i corrispondenti dati storico-archeologici, tipologici e di produzione. Le anfore puniche esposte nel Museo, eterogenee per tipologia e cronologia, si inquadrano in un intervallo temporale dal VII sec. a.C. al VII sec. d.C.

Il maggior numero di anfore puniche è rinvenuto nella provincia di Trapani e nel territorio di Palermo rispetto ad altre zone della Sicilia.

La distribuzione si concentra, infatti, nei centri punici di grande rilevanza della Sicilia Occidentale: Mozia, Marsala, Trapani, Pantelleria.



Figura 18. Probabili rotte commerciali di alcuni tipi di anfore

Al fine di effettuare la caratterizzazione dei materiali costituenti i beni oggetto di studio e per la valutazione del loro stato di conservazione, su 15 delle suddette anfore (selezionate sulla base della loro integrità, escludendo alcuni esemplari che, in quanto unici, possono testimoniare nel corso del tempo la loro unicità) sono state eseguite le seguenti analisi:

- diffrazione di raggi X (XRD) (Figura 19)
- spettroscopia in infrarosso con trasformata di Fourier (FT-IR)
- analisi termogravimetrica (TGA)
- analisi termodifferenziale (DTA)



Figura 19. Diffratometro di raggi X

*Lo studio delle anfore puniche del Museo Baglio Anselmi di Marsala (Figura 20) ha contribuito alla realizzazione del catalogo di un certo numero di esemplari esposti e ha portato a risultati significativi per quanto riguarda la distribuzione delle tipologie anforiche nel territorio siciliano.*

*La diagnostica per la caratterizzazione dei materiali costituenti i beni oggetto di studio e per la valutazione del loro stato di conservazione è risultata fondamentale per i conseguenti interventi di restauro ma anche per confutare o confermare le ipotesi sui principali siti di produzione, ottenuta sulla base delle fonti bibliografiche, e per ricondurre la composizione materica dei suddetti manufatti ai siti di origine.*



Figura 20. Anfore

### **7. Il progetto di formazione BLU-ARCHEOSYS**

Al progetto di ricerca BLU-ARCHEOSYS, è stato affiancato anche un progetto di formazione con l'obiettivo di creare figure professionali specializzate nell'applicazione di tecnologie innovative nel mondo dell'operatività umana in ambiente subacqueo.

La parte didattica del progetto di Formazione BLU-ARCHEOSYS ha previsto la realizzazione di un solo Obiettivo Formativo (OF) attuato direttamente dal Consorzio CETMA di Brindisi volto alla formazione di "Riceratori Specializzati nell'Applicazione di Metodologie e Tecnologie a Supporto dell'Archeologia Subacquea".

Il percorso formativo è nato dall'idea di formare nuovi profili professionali destinati ad attività di Ricerca nel settore dell'archeologia subacquea attraverso l'acquisizione di specifiche competenze su metodologie di studio ed analisi, tecniche di recupero ed abilità nell'immersione subacquea, utilizzo di tecnologie innovative, tra cui quelle direttamente risultanti dalle stesse attività di ricerca (strettamente correlate al percorso formativo).

Destinatari del progetto formativo sono stati 9 laureati, risultati idonei nella fase di selezione e assegnatari di una Borsa di studio. Nel dettaglio, l'attività formativa relativa all'approfondimento di conoscenze tecnico-specialistiche ha avuto come oggetto sia tematiche di carattere più prettamente scientifico sia tematiche più strettamente legate a discipline storico umanistiche, secondo quanto previsto per il progetto di formazione. Di seguito si riporta il dettaglio degli argomenti trattati nei diversi submoduli:

- Submodulo A1 – Elementi di Informatica di base
- Submodulo A2 – Fondamenti di Fisica Generale
- Submodulo A3 – Fondamenti di chimica, scienze biologiche ed ecologiche
- SubMod. A4 – Fondamenti di Scienza dei Materiali
- SubMod. A5 – Geologia e Geomorfologia costiera.
- SubMod. A6 – Cultura storico-archeologica e filologica
- SubMod. A7 – Sistemi robotizzati
- SubMod. A8 – Tecniche e sistemi di prospezione
- SubMod. A9 – Tecniche di diagnostica non distruttive
- SubMod. A10 – Tecniche di datazione
- SubMod. A11 – Tecniche di microscopia elettronica
- SubMod. A12 – Archeologia subacquea ed archeologia navale
- SubMod. A13 – Valorizzazione del patrimonio sommerso
- SubMod. A14 – Conoscenza del sistema: manufatto-ambiente
- SubMod. A15 – Metodologie di rilievo archeologico e prospezione subacquea
- SubMod. A16 – Abilitazione all'immersione subacquea.

Ai moduli sopra riportati sono state affiancate anche conoscenze nell'ambito della valutazione e organizzazione operativa dei progetti di ricerca industriale e/o sviluppo precompetitivo, gestione della R&S nel settore industriale, aspetti legislativi e normativi nel settore dei beni culturali.

Le attività formative hanno previsto in generale una metodologia di formazione strutturata in:

- lezioni in aula con docenti esterni (Professori e Ricercatori universitari, Dottori di ricerca e professionisti esperti e Istruttori riconosciuti ESA – per la parte relativa all'abilitazione per le immersioni);
- esercitazioni in aula pratico-applicative individuali e/o di gruppo;
- esercitazioni di laboratorio;
- lezioni pratiche per le attività di immersione effettuate da istruttori riconosciuti ESA; tali attività sono terminate con l'acquisizione da parte dei partecipanti di 8 Brevetti ESA (Open Water Diver, Advanced Diver, First Aid, Prevention & Rescue Diver, Nitrox Diver, Orienteering Diver, Deep Diver, Archeo Diver );
- operatività e sperimentazione in affiancamento a ricercatori ed esperti operanti all'interno degli enti ospitanti- partner del Progetto BLU-ARCHEOSYS Ricerca e di un'azienda (periodo di formazione al lavoro) ed operatività individuale con supervisione e coordinamento presso le medesime strutture, per lo sviluppo di lavori individuali specifici attraverso attività di studio, ricerca e redazione di documenti ed elaborazione dati, sperimentazione in laboratorio (periodo di specializzazione professionale).

Nel dettaglio gli stage si sono svolti presso le seguenti sedi:

- CEDAD - CEntro di DATazione e Diagnostica -Dip. di Ing. dell'Innovazione -

- Università del Salento -c/o Cittadella della Ricerca Brindisi;
- INOA, Astuto Nazionale di Ottica Applicata- Arnesano (Lecce);
- NAUTILUS COOPERATIVA - Vibo Valentia;
- Laboratorio Diagnostico per i Beni Culturali del Dipartimento di Storie e Metodi per la conservazione dei Beni Culturali, ALMA MATER STUDIORUM Università di Bologna, con sede a Ravenna e presso il Laboratorio Diagnostico CTA (Centro di Tecnologie Avanzate) con sede nel Consorzio inter-universitario di Trapani;
- Consorzio CETMA- Dipartimento di Ingegneria Informatica - c/o Cittadella della Ricerca, Brindisi.

#### **Ringraziamenti**

*Alla fine di questo viaggio straordinario, vorrei ringraziare alcune persone che sono state molto, molto importanti, non solo per il raggiungimento degli obiettivi del progetto, ma anche per il rapporto umano che è stato il terreno di coltura di molte sfide. Un ringraziamento particolare al Prof. Salvatore Lorusso, per la sua saggezza e tenacia. Ci siamo incontrati nel gennaio del 2004, in quella riunione mi ha esposto per la prima volta questa idea-progetto producendo poi un breve ma fondamentale documento. Grazie anche al prof. Lucio Calcagnile il cui contributo è stato fondamentale per gli obiettivi più ambiziosi del progetto. Grazie anche a tutti i partner tecnici e scientifici del progetto: Dr. Luca Pezzati (CNR INO), Dr. Pietro Basciano (Ageotec), Prof. Giuseppe Spoto, Dottor Antonino Dipietro (Dipietro Group), Giorgio Fornetti (Enea), Prof.ssa M. Letizia Amadori (Università di Urbino). Ringrazio anche i professori Paolo Mazzoldi e Mario Lombardo per il magistrale coordinamento del progetto di formazione.*

#### **Note biografiche**

**Lucio Colizzi** è un ingegnere di tecnologia informatica. Dopo molti anni di esperienza nel settore ICT, robotica, realtà virtuale ed elaborazione dei dati e modellazione, nel 2001 diventa il Direttore del Dipartimento ICT del CETMA. Fino ad ora ha coordinato i più importanti programmi di ricerca nazionali e negli ultimi dieci anni ha coordinato diversi progetti nel campo dello sviluppo delle tecnologie per i beni culturali. Ha ottenuto molte qualificazioni post-laurea: BPR, Concurrent Engineering e Quality Function Deployment, STEP-ISO 10303, Simple ++, eM-Plant, eM-Planner, Informix Dynamic Server Administration e Performance Tuning, Design For Manufacturing & Assembly, Object Design Oriented con UML, Microsoft certificazioni: C#, ADO.NET, ASP.NET, servizi Web XML NET; PROJECT MANAGEMENT (Università Bocconi). Come risultato di molteplici interessi, ha insegnato "Project Management e dinamiche di gruppo", come Professore Aggiunto presso le Università di Bologna e Lecce.