



## Robotics for infrastructure management and monitoring

Giovanni Indiveri  
ISME - Università degli Studi di Genova  
c/o DIBRIS  
Via all'Opera Pia, 13  
16145 Genova

[giovanni.indiveri@unige.it](mailto:giovanni.indiveri@unige.it)

---

### **Introduzione:**

La manutenzione ed il monitoraggio di infrastrutture sottomarine, come cavi per il trasporto di energia o tubazioni di gas ed altri fluidi, può essere fortemente agevolata (sia sul piano tecnico che su quello dei costi delle operazioni) dall'uso di mezzi robotici autonomi e cooperanti. Tra i diversi scenari applicativi, quello relativo al monitoraggio dei cavi sottomarini ha il potenziale di ridurre drasticamente i costi di manutenzione dei parchi eolici offshore.

L'Europa è attualmente in prima linea nella produzione di energia eolica offshore e si stima che in dieci anni sarà responsabile di oltre il 50% delle installazioni globali. Attualmente, l'energia eolica offshore è più costosa delle tecnologie convenzionali, da qui la sfida di ridurre drasticamente i costi di esercizio, in particolare quelli associati alla manutenzione delle infrastrutture sottostanti.

Altri ambiti di interesse includono il monitoraggio e la manutenzione di infrastrutture portuali, piattaforme off-shore, impianti di acquacoltura e la caratterizzazione geofisica dei fondali.

Gli obiettivi principali della proposta relativamente al monitoraggio di cavi e tubazioni sottomarine includono i seguenti.

#### **Obiettivo 1**

Sviluppare un sistema robotico distribuito e multisensore (con sensori sia di tipo ottico che acustico) per l'ispezione di infrastrutture in acque poco profonde,

consentendo la raccolta di tutti i dati rilevanti per eseguire attività di manutenzione (predittiva) e riparazione.

#### Obiettivo 2

Sviluppare metodi a supporto dell'acquisizione simultanea e combinata di dati da più sensori. L'impiego simultaneo di più asset diversificati consentirà di eseguire, con una significativa riduzione dei tempi di rilevamento e una maggiore coerenza temporale nei dati raccolti.

#### Obiettivo 3

Sviluppare capacità cognitive che consentano l'esecuzione di missioni basate sui dati. Verranno sfruttate le moderne tecniche di Machine Learning per fornire ai robot coinvolti la capacità di rilevare e tracciare il bersaglio (cavo o tubo) da ispezionare in tempo reale.

### **Descrizione della proposta:**

Si prevede che il sistema proposto possa operare come segue: una missione di riferimento (nominale) viene inizialmente pianificata e assegnata. Le missioni tipiche includono l'ispezione di cavi e condutture sottomarine o altre infrastrutture civili al fine di svolgere la manutenzione periodica, predittiva o correttiva. Gli "elementi costitutivi" di base, ovvero i moduli tecnologici di base, del sistema sono:

- 1) Alcuni robot subacquei di classe AUV (Autonomous Underwater Vehicles);
- 2) Uno o più robot di superficie ASV (Autonomous Surface Vehicles) come catamarani o altre imbarcazioni autonome;
- 3) Alcuni sistemi di acquisizione sul fondale, ovvero Ocean Bottom Nodes (OBNs), per il supporto alla localizzazione dello sciame;
- 4) Una console di comando e gestione della missione da installare a terra o su una imbarcazione di appoggio.

Il numero preciso delle unità coinvolte potrà dipendere dall'estensione spaziale dalla zona oggetto di monitoraggio. Nella sperimentazione prevista si stima che gli AUV e gli OBN possano essere tra 1 e 5, per ciascuna tipologia, mentre gli ASV saranno uno o due. Tutte le unità coinvolte saranno equipaggiate con sistemi di comunicazioni subacquei di tipo acustico (modem acustici) e a radio frequenza da usarsi in superficie. L'architettura di sistema sarà progettata con particolare attenzione agli aspetti di scalabilità in modo da poter estendere il sistema con un numero maggiore di unità. La zona da monitorare è tipicamente nota a priori poiché le infrastrutture di interesse (cavi e tubazioni) sono censiti con sufficiente precisione per pianificare le missioni in modo da minimizzare il pericolo di impatto con ostacoli. Il progetto non include dunque uno studio specifico sui metodi per "obstacle avoidance" per ostacoli non noti a priori. Ciò nonostante si noti che i singoli robot (sia di superficie che subacquei) saranno dotati di sensori e sistemi di navigazione in grado di gestire il loro controllo del moto in modo sicuro rispetto possibili collisioni tra gli agenti stessi, il fondale o altri ostacoli artificiali o naturali presenti nelle mappe di interesse. Non si esclude inoltre la possibilità di dotare alcuni dei sistemi robotici costituenti lo sciame di capacità di

navigazione avanzate, al fine ad esempio di effettuare il monitoraggio attivo (riplanificazione dinamica di missione sulla base della bontà dei dati payload raccolti) per la copertura di alcune zone.

La missione tipica del sistema prevederà le seguenti fasi:

- F1) Pianificazione della missione;
- F2) Scouting preliminare della zona con sensori magnetici da parte di AUV e/o ASV;
- F3) Acquisizione di immagini ottiche ed acustiche della zona perlustrata nella fase di scouting;
- F4) Eventuale acquisizione con sensori acustici sismici (in presenza di una sorgente);
- F5) Post-processing dei dati acquisiti per l'analisi dell'infrastruttura.

### **Risultati Attesi (su 4 anni o più di progetto)**

#### Risultato atteso 1

Disponibilità di un sistema prototipale per il monitoraggio di cavi e tubature subacquee sommersi tramite robot autonomi distribuiti.

#### Risultato atteso 2

Disponibilità di dati di validazione sperimentale a supporto dell'utilità della soluzione proposta.

#### Risultato atteso 3

Risultati di una prima analisi costi/benefici rispetto le ispezioni ottenute con tecnologie tradizionali.

### **Innovatività della proposta**

L'innovazione dirompente è duplice e si basa sulla modularità del sistema. Da un lato, la sua natura multisensoriale permette di raccogliere tutti i dati rilevanti per una precisa caratterizzazione dello stato dell'infrastruttura. Tali informazioni comprendono acquisizioni acustiche, immagini magnetiche, visive, e sismiche. La modularità del sistema consentirà all'utente di selezionare gli specifici elementi dell'architettura necessari per la missione da svolgere. D'altra parte, un secondo elemento di modularità consiste nel fatto che la missione è flessibile in termini di numero di agenti partecipanti. Se, per esempio, il target è ben localizzato per via di precedenti sondaggi (ad esempio, una tubazione che sicuramente non si muove), lo scouting può essere saltato. Se fosse necessario solo un rilevamento magnetico oppure solo uno sismico, si può eseguire l'uno senza l'altro. Tuttavia, e questa è un'innovazione chiave, se necessario possono essere eseguite contemporaneamente, risparmiando drasticamente tempi e costi di rilevamento e consentendo l'acquisizione del set di dati all'interno della stessa finestra meteorologica, garantendo che non vi siano nebbie dovute al cambiamento dell'ambiente.

## **Struttura in possibili WP e sintetici Task tecnici (da completare)**

### **WP Management and coordination**

- Project management and coordination
- Intellectual property management
- Dissemination and outreach

### **WP Application scenarios**

- Off shore platform inspection: from visual inspection to using instruments to monitor the effects of corrosion, fouling, locating cracks, estimating biologic fouling, etc.
- Underwater Pipeline Monitoring and Inspection: follow underwater pipelines to check for leaks, determine overall health of the pipeline and of the installation.
- Underwater cable Inspection.
- Sub-sea installations (such as trees, manifolds, flow-lines, and umbilicals). Construction, monitoring and inspection: used on offshore oil and gas fields, a subsea tree monitors and controls the production of a subsea well. Fixed to the wellhead of a completed well, subsea trees can also manage fluids or gas injected into the well. Subsea trees are used in offshore field developments worldwide, from shallow to ultra-deep waters.
- Geotechnical surveying for off shore infrastructure
- Harbour protection strategies with autonomous marine vehicles
- Aquaculture and fish-cage robot inspection technologies

### **WP Vehicle Technologies for infrastructure management and monitoring**

- Autonomous Surface Vehicles (ASVs) - ISME
- Remotely Operated Vehicles (ROVs) - ISME
- Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) - ISME
- Underwater Gliders (UG)
- Towed Vehicles
- Ocean Buoys
- Ocean Bottom Nodes (OBNs)
- Sea bottom crawlers
- Vehicles for ship hull and vertical structure inspection
- Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

### **WP Communication technologies**

- Underwater acoustic modems
- Optical and laser modems
- Short range underwater Radio Frequency technologies

- Underwater Networking and Internet of Things (IoT) methods and technologies
- Clock Synchronization Technologies

#### **WP Measurement and instrumentation technologies for infrastructure management and monitoring**

- Computer Vision Technologies - ISME
- Sonar and acoustic imaging technologies - ISME
- Physical and Chemical sensor technologies
- Underwater laser scanning technologies
- Magnetometer Technologies
- Sub bottom geophysical acquisition using active sources (sparkers, air guns and alike from the surface and/or deep towed)

#### **WP Data processing and data analysis technologies for infrastructure management and monitoring**

- Machine Learning and AI methods - ISME
- Statistical data analysis methods
- State estimation, model identification and filtering techniques - ISME

#### **WP Mission planning and mission execution technologies for infrastructure management and monitoring**

- Path planning and Trajectory planning methods - ISME
- Automatic mission execution - ISME

#### **WP Cooperative marine robotics for infrastructure management and monitoring**

- Cooperative Navigation of Teams of Marine Robots - ISME
- Cooperative Exploration and Inspection tasks
- Cooperative underwater data acquisition and consensus methods - ISME
- Cooperative navigation and SLAM technologies

#### **WP Underwater Guidance, Navigation and Control methods**

- Single vehicle guidance methods for inspection tasks - ISME
- Single vehicle navigation, localization and mapping methods - ISME
- Underwater Vehicle Control Architectures

## WP Intervention robotic technologies for infrastructure management and monitoring

- Semi-autonomous robot - infrastructure physical interaction control
- Dynamical manipulation control from a floating platform - ISME
- Perception modules via deep neural networks - ISME
- Interaction control
- Intelligent human-machine interface and artificial intelligence techniques for granting semi-autonomy and resilience behaviors of the underwater inspection robot.

Possibili partner afferenti al Cluster:

ISME - Università degli Studi di Genova  
CNR  
Eni SpA  
Deep Sea Technology srl  
SAIPEM SpA  
Novacavi Srl