

TITOLO DEL PANEL: Sistemi d'arma, di navigazione e sensori

SOTTOTITOLO DEL PANEL: Linee guida futuristiche nel settore dei sensori imbarcati a bordo di Unità e piattaforme subacquee

UNMANNED ASW: VERSO SISTEMI SONAR AUTONOMI, RICONFIGURABILI, ADATTIVI

A. Caiti (1,2)

(1) ISME – Centro Interuniversitario di Ricerca sui Sistemi Integrati per l'Ambiente Marino, Università di Genova, Via Opera Pia 11, 16145 Genova (GE)

(2) DII - Dip. Ing. dell'Informazione, Università di Pisa, Via Girolamo Caruso 16, 56122 Pisa (PI)

Il progetto europeo (H-2020) WiMust, di cui ISME è stato coordinatore europeo partecipando alle attività scientifiche con 4 dei suoi nodi (Università di Genova, Cassino e Lazio Meridionale, Pisa, Salento) ha dimostrato sul campo la possibilità di effettuare esplorazioni geofisiche con una squadra di veicoli subacquei e di superficie autonomi ed eterogenei. La configurazione studiata nel progetto ha previsto la presenza di veicoli trainanti sia le sorgenti acustiche (*sparker*) che i ricevitori, consistenti in *array* acustici sottili di piccola apertura (20 m di lunghezza, ciascuno dotato di 16 idrofoni equispaziati). Nell'esperienza finale di WiMust (2018) sono stati impiegati complessivamente 7 veicoli, di cui 5 subacquei trainanti un *array* acustico ciascuno e due di superficie azionanti le sorgenti acustiche con emissione alternata. Muovendosi in formazione, i veicoli autonomi hanno condotto un'intera *survey* geofisica raccogliendo dati che, processati *off-line*, sono risultati di qualità equivalente a quelli usualmente raccolti con sistemi tradizionali (in cui sorgente e *array* di grande apertura sono trainati da nave). La dimostrazione operativa del sistema WiMust è stata ripetuta in diverse occasioni, anche presso il SeaLab, il laboratorio congiunto sui sistemi eterogenei autonomi istituito fra ISME ed il Centro di Sperimentazione e Supporto Navale (CSSN) della MMI nel sito della Spezia.

La sperimentazione finale di WiMust è il primo esperimento, riportato nella letteratura scientifica aperta, di navigazione in formazione di una squadra di veicoli subacquei autonomi con *payload* acustici quali quelli sopra descritti. La dimostrata capacità di raccogliere dati acustici con cortine trainate da parte di una squadra di veicoli autonomi in formazioni pone le basi per la realizzazione di analoghi sistemi orientati ad applicazioni ASW. I vantaggi di poter disporre di un sistema di ricezione passivo composto da veicoli autonomi ciascuno con un *mini-array*, distribuiti spazialmente con geometria riconfigurabile e adattabile alle specifiche condizioni operative, sono molteplici ed evidenti. In particolare, il sistema di veicoli costituisce globalmente un *array* acustico, dotato di un proprio *beam pattern* che può essere variato modificando la geometria relativa degli elementi della squadra. In questo modo si può, in linea di principio, adattare le prestazioni del ricevitore passivo alle caratteristiche del canale acustico ed alla specifica situazione tattica.

Il passaggio da un sistema orientato alla geofisica, con elaborazione *off-line* dei dati, ad uno orientato alle applicazioni ASW, che richiede necessariamente una elaborazione *on-line*, non è però né immediato né banale. In particolare, le problematiche scientifiche e tecnologiche che questo passaggio comporta sono molteplici e sono attualmente investigate dai nodi ISME (i 4 già citati, più le Università di Firenze e Roma Sapienza) in collaborazione con le PMI Wsense e GraalTech, nate e sviluppatasi grazie al circolo virtuoso di ricerca e trasferimento tecnologico creato da ISME. Il primo e fondamentale punto con cui ISME e i propri *partner* intendono proseguire la ricerca è un ricevitore sonar passivo con architettura di elaborazione dati distribuita. Idealmente, il *processing* acustico (i.e. *beamforming*) vuole che i dati acquisiti dai vari veicoli ad ogni istante di tempo siano tutti processati assieme; questa procedura centralizzata comporta, tuttavia, che tutti i veicoli trasmettano ad ogni istante di tempo le proprie misure ad almeno un veicolo *master* che poi

effettuerà il calcolo. L'architettura centralizzata non è perseguibile all'attuale stato dell'arte, perché richiede una capacità di comunicazione (in termini di bit/s) non raggiungibile sia per limiti tecnologici sia per limiti fisici intrinseci del canale acustico. Ma anche ammettendo la possibilità di comunicare i dati con la capacità richiesta, la soluzione centralizzata è fragile perché prevede un elemento chiave (il *master*, che raccoglie i dati di tutti), il cui eventuale malfunzionamento comprometterebbe il funzionamento di tutta la squadra. Volendo usare un'architettura di elaborazione distribuita, si prevede che ciascun veicolo elabori i dati dei propri sensori localmente. Poiché ciascun sensore ha una apertura limitata, i risultati dell'elaborazione locale avranno una risoluzione spaziale fortemente minore di quella dell'elaborazione ideale centralizzata; essendo però i vari sensori dislocati in posizioni spaziali differenti, ciascuno ascolterà il potenziale *target* con bassa risoluzione ma da angoli diversi. Combinando l'informazione angolare di tutti i veicoli, la diversità spaziale potrà compensare la bassa risoluzione angolare, ottenendo in maniera distribuita *performance* paragonabili a quelle del sistema centralizzato. I vantaggi della soluzione distribuita consistono:

- nel limitare le esigenze di comunicazione, che avverrebbe soltanto in corrispondenza di una detezione, e che richiederebbe capacità di trasmissione molto inferiori di quelle necessarie per il sistema centralizzato;
- nel consentire all'intero sistema di funzionare anche in caso di malfunzionamento di uno o più veicoli con un degrado di prestazioni – *gentle degradation*, tipica dei sistemi distribuiti.

Per arrivare ad una convincente configurazione del sistema distribuito, per le ragioni sopra indicate, vi sono specifici aspetti tecnologici e scientifici da affrontare: in particolare l'*on-board processing*, la fusione distribuita dei dati, la comunicazione e la navigazione di gruppo, la pianificazione ed il controllo di missione:

- *on-board processing*: ciascun veicolo deve avere la capacità di calcolo e di elaborazione dati che consenta di effettuare in tempo reale l'elaborazione dei sensori acustici; a tal fine si sta investigando la possibilità di non usare esclusivamente cortine acustiche tradizionali, ma di considerare anche altri sensori acustici passivi dotati di direzionalità, quali ad esempio i cosiddetti *vector sensors*;
- *fusione dei dati*: i risultati delle elaborazioni locali sono integrati con un arbitraggio distribuito; a tal fine dovranno essere sviluppati algoritmi di consenso adattivi per l'osservazione ed al *tracking* del *target*;
- *comunicazione e navigazione di gruppo*: il comportamento della squadra si affida alla presenza di una rete di comunicazione subacquea che garantisca la connettività della rete sia per la navigazione di gruppo che per lo scambio di informazioni per la fusione dei dati. Tale rete deve inoltre essere caratterizzata da adattività rispetto alle *performance* di comunicazione (i.e. con trasmissioni multi-modale), bassa potenza per evitare detezione del sistema a grandi distanze e sicurezza dell'informazione trasmessa. Questi obiettivi sono ambiziosi e sfidanti – il gruppo di lavoro comprende due *partner* (WSENSE e ISME con i nodi di Roma Sapienza e Pisa) che già lavorano nel progetto PNRM Medusa per la realizzazione di *modem software-defined* che potranno costituire la base per il sistema di comunicazione della squadra;
- *pianificazione e controllo di missione*: il sistema sonar passivo, costituito dalla squadra di veicoli, dovrà essere autonomo nell'esecuzione della missione, mantenendo contatto con una stazione remota di comando e controllo (C²) in cui sia presente un supervisore umano che pianifichi la missione e possa intervenire al variare della situazione ambientale e/o tattica per la necessaria ri-pianificazione. La comunicazione deve essere bi-direzionale, in quanto, raggiunto il consenso sulla presenza e localizzazione di un *target* da parte della squadra, il C² deve essere avvertito. Non è detto che il C² sia nel raggio della comunicazione acustica disponibile ai veicoli, per cui il contatto con la stazione remota richiede opportune procedure di risalita in superficie da parte di veicoli ausiliari (i.e. mini-AUV) che accompagnino la squadra dei veicoli con carico pagante per mantenere connettività di comunicazione nella squadra e con il C² remoto. Le procedure di missione a questi fini dovranno essere eseguite in autonomia ed in base alla rilevata *situational awareness*. Anche in questo caso l'obiettivo è ambizioso e richiede interazione fra il livello architetturale del sistema locale di guida, navigazione e controllo, la comunicazione fra veicoli e il livello di pianificazione e gestione dei *task* di missione. Questi aspetti, seppur presenti in via preliminare anche all'interno del progetto WiMust, dovranno essere sviluppati nel prossimo futuro.