

# VIDEO GENERALE

Presentazione generale del progetto: obiettivi, componenti, Partners, programma interreg.

Il progetto MATRAC-ACP ha come obiettivo il Monitoraggio della qualità dell'acqua nei porti e nelle aree costiere, ed è stato finanziato dal programma Interreg-Maritime.

Asse... 2-Protezione e valorizzazione delle risorse naturali e culturali e gestione dei rischi, con l'obiettivo specifico di Accrescere la protezione delle acque marine nei porti.

Il progetto vede la collaborazione di enti di Ricerca italiani e francesi con competenze multidisciplinari.

Il coordinatore del progetto è l'Istituto di Ingegneria del mare (INM), che insieme all'istituto di matematica applicata e tecnologie informatiche (IMATI) fa parte del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Partecipano inoltre l'Università di Genova con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita (DISTAV) e IFREMER di Tolone.

MATRAC-acp contribuisce ad accrescere la protezione delle acque marine nei porti migliorando la qualità del monitoraggio mediante la definizione di protocolli innovativi basati sull'utilizzo di sistemi robotizzati ad elevata automazione e di metodologie di campionamento adattivo.

Vogliamo migliorare le prestazioni del monitoraggio delle acque portuali tramite tecnologie robotiche e strategie più efficaci di campionamento. Rendere più efficiente il monitoraggio significa diminuire i costi e i tempi necessari, permettendo stime più frequenti ed accurate.

Equipaggiando con sensori un veicolo sottomarino operato in remoto (ROV) effettuiamo misure di diverse variabili ambientali; un modulo di guida "intelligente" seleziona i punti migliori in cui effettuare queste misure in tempo reale, per ottimizzare la comprensione del fenomeno utilizzando solo le misure più significative.

La piattaforma robotica consente misurazioni ripetibili e minor rischio umano in casi di emergenza.

L'attività vede la collaborazione delle autorità portuali di Genova e di Tolone, città sedi di eccellenze a livello europeo e mondiale nel settore marino-marittimo. L'approccio transfrontaliero permette di proporre soluzioni tecnologiche, operative e normative estendibili a livello europeo.

# VIDEO: Modellazione 3D

Modellazione 3D: costruzione del modello geometrico, integrazione con dati reali per interpretazione di fenomeni.

La Computer Graphics (e in particolare la modellazione geometrica 3D) è la disciplina che studia i metodi per rappresentare oggetti e fenomeni come modelli digitali e i metodi per analizzare e manipolare queste entità per risolvere problemi reali.

Nel progetto MATRAC l'IMATI si è occupato della modellazione 3D del volume d'acqua, su cui poi vengono localizzate le misure ambientali rilevate dai sensori durante lo spostamento del ROV. Questo permette di associare i valori alla posizione precisa a cui si riferiscono, e questo è fondamentale per capire il comportamento di fenomeni ambientali nello spazio: nel nostro caso, la distribuzione di inquinanti o di proprietà fisico-chimiche dell'acqua.

Vediamo ora come abbiamo ricostruito un modello fedele del volume d'acqua nel porto di Genova.

Siamo partiti dalla batimetria del porto e dal contorno dei moli disponibili. Rappresentiamo il volume d'acqua limitato dai moli e dal fondale con una collezione di solidi semplici, come ad esempio cubi o tetraedri.

A partire dalla batimetria, costituita dalle coordinate nelle tre dimensioni di alcuni punti del fondale, possiamo ricostruire la superficie del fondale tramite una triangolazione, cioè un insieme di triangoli che uniscono tutti i punti dati. A partire da questa superficie creiamo altre superfici simili a diverse profondità e al livello del mare, e infine creiamo dei tetraedri, solidi con 4 facce triangolari, che uniscono superfici adiacenti. Ogni tetraedro è una cella volumetrica a cui possiamo associare diversi valori (temperatura, salinità, sostanze disciolte) relativi alle proprietà dell'acqua in quella posizione. Utilizzare una rappresentazione a cubi di dimensione fissa (anche detti voxel) facilita i calcoli ma è meno precisa nel rappresentare il volume di interesse.

Durante la campagna di campionamento, il tragitto del ROV viene tracciato nel modello digitale ricostruito, le misure dei sensori che ha a bordo vengono trasmessi in continuo e, dopo essere stati controllati e sincronizzati, vengono memorizzati nel modello.

Il modulo di geostatistica e di simulazione calcolano a partire dai dati raccolti i valori attesi in tutte le altre celle volumetriche di cui ancora non conosciamo i valori, e anche un valore di affidabilità di questa "previsione". Possiamo quindi visualizzare sul modello sia la predizione del fenomeno su tutto il dominio che l'affidabilità di questa stima.

Il modello ci consente anche di stabilire una traiettoria per il ROV da un punto ad un altro in modo da passare sempre su celle non visitate, minimizzando la distanza percorsa ed evitando gli ostacoli.

# VIDEO: Sensori e analisi Geochimica

La comprensione degli equilibri nell'acqua di mare avviene attraverso due fasi fondamentali quali l'acquisizione di dati chimico-fisici essenziali, labili, di valori di concentrazione elementari della massa d'acqua e della loro interpretazione.

In un sistema complesso come le acque marine portuali del porto di Genova che acquisiscono le loro peculiarità dall'interazione con mare aperto alla Foce o dalla miscelazione con acque dei torrenti cittadini in corrispondenza del Polcevera e per via della bassa circolazione nella Darsena, la procedura di caratterizzazione sul piano geochimico necessita di un cambio di paradigma.

Gli equilibri in soluzione che si instaurano all'interno delle masse d'acqua risentono fortemente delle fasi gassose disciolte, dai nutrienti, dai colloidali o particelle in sospensione e dalla attività biologica. Quest'ultima è in grado di alterare notevolmente gli equilibri in particolari condizioni (vedi Darsena) per cui l'acquisizione di parametri sensibili in situ diventano di interesse primario.

Oltre a temperature, pH, Eh, conducibilità la sensoristica implementata con tecniche di rilevazione IR ed equilibrio con membrana è in grado di misurare gas disciolti come CO<sub>2</sub>, metano oltre naturalmente a O<sub>2</sub>, che sono coinvolti nei fondamentali equilibri dei carbonati (tra processi inorganici, organici mediati dall'atmosfera) e che partecipano alla definizione dello stato ossido-riduttivo delle specie in soluzione.

Ad essi vengono accoppiati altre specie gassose sfruttando sensori elettrochimici per H<sub>2</sub>S e H<sub>2</sub> volti ad indagare gli equilibri dello zolfo e per determinare in prossimità del fondo attraverso la presenza di idrogeno la presenza di condizioni particolarmente anaerobiche.

Altri parametri elementari come Ca, N sotto forma di nitrato e ammonio, sono determinati in situ al fine di fornire alla routine di calcolo deputata a determinare lo stato di speciazione degli elementi altri parametri specifici delle condizioni puntuali. I fosfati vengono determinati in maniera indiretta sulla base di una correlazione con la misura di clorofilla in continuo a cui è legata per vie dei processi biologici in atto.

L'impiego di dati medi per gli elementi maggiori e di questi parametri acquisiti in situ conduce a descrivere in real time le condizioni di equilibrio e le potenzialità per la precipitazione e/o dissoluzione di fasi solide.

La valutazione di un parametro considerato identificativo delle condizioni di eutrofizzazione il TRIX può essere approssimato direttamente on-board e guidare l'indagine in tempo reale permettendo ulteriori approfondimenti in siti specifici.

Alla fase di calcolo che viene accodata e rappresentata all'interno del software di gestione del campionamento adattivo una serie di diagrammi esemplificativi degli equilibri in acqua come diagrammi Eh-pH, diagrammi di correlazione con gli indici di saturazione di particolari fasi minerali e dei gas disciolti con lo scopo di riconoscere non solo le masse d'acqua ma i fronti tra di essi evidenziando i gradienti derivanti dagli equilibri termodinamici presenti all'interno del corpo idrico del Porto di Genova.

# VIDEO: Piattaforma robotica e comunicazione

L'utilizzo di veicoli robotizzati senza equipaggio all'interno di infrastrutture portuali deve tenere conto di problematiche legali e tecnologiche.

Dal punto di vista tecnologico è possibile utilizzare due classi di veicoli robotizzati:

1. Unmanned Surface Vehicle: battelli autonomi che determinano la loro posizione tramite GPS e comunicano tramite radio/wifi. L'acquisizione di dati nella colonna d'acqua può essere effettuata calando tramite un verricello una sonda multiparametrica in punti georiferiti prestabiliti.
2. Unmanned Underwater Vehicle: veicoli subacquei che determinano la loro posizione e comunicano tramite sistemi acustici, tipicamente più costosi di quelli utilizzati in area. L'acquisizione di dati nella colonna d'acqua avviene cambiando la quota di navigazione del veicolo equipaggiato con un'opportuna sonda multiparametrica.

Nell'ambito del progetto MATRAC-ACP si è scelto di utilizzare la seconda classe di veicoli, esplorando la possibilità di utilizzo di sistemi "in aria" di comunicazione/localizzazione vista la specificità dell'ambiente operativo portuale.

In particolare, sul versante francese, l'Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Vortex di IFREMER, misura la propria posizione e comunica con la stazione operatore grazie ad un sistema acustico di localizzazione e comunicazione, mentre sul versante italiano, è stata sviluppata una boa trainata MATRAC-ACP, equipaggiata con GPS e wifi/radio, connessa tramite un cavo azionato da un verricello all'AUV Proteus di CNR-INM. La disponibilità della misura della profondità dell'AUV permette di azionare automaticamente il verricello in modo da mantenere la boa sulla verticale del veicolo, rendendo quindi possibile conoscerne le coordinate latitudine-longitudine grazie ad un GPS montato sulla boa stessa. Anche le comunicazioni tra la stazione operatore ed il veicolo possono avvenire in aria con il sistema posto sulla boa connesso al veicolo tramite cavo.

Per quanto riguarda gli aspetti normativi, nel porto di Genova si procederà mantenendo un collegamento fisico (sottile filo di Dyneema) tra l'imbarcazione di supporto ed il veicolo robotizzato, nel caso specifico con la boa di superficie, in modo che l'AUV possa essere considerato un tool dell'imbarcazione appoggio secondo la normativa IMO. Nel porto di Tolone, l'AUV Vortex lavorerà senza nessuna connessione fisica con la superficie.

# VIDEO: Modulo di campionamento adattivo

Per poter conoscere un fenomeno ambientale che si sviluppa spazialmente in un dominio di interesse, è necessario collezionare un insieme di misure puntuali in quest'area/volume e

successivamente, utilizzando tecniche di geostatistica, ottenere una stima di tale fenomeno su tutto il dominio. Il modo con cui questi punti campionari sono selezionati può cambiare notevolmente i risultati dell'analisi.

Tradizionalmente, nel monitoraggio ambientale la selezione delle posizioni dove campionare i valori quasi sempre avviene prima che il campionamento vero e proprio abbia inizio. Spesso vengono utilizzate informazioni a priori, nel caso in cui siano già state effettuate precedenti indagini sulla stessa area di interesse, oppure usando informazioni provenienti da esperti, o ancora, la selezione delle posizioni avviene casualmente. Una volta definite le posizioni, i campioni vengono raccolti e portati in laboratorio, dove vengono analizzati per ricavare le misure delle variabili ambientali di interesse.

Se i campioni raccolti hanno fornito delle buone stime del fenomeno allora l'indagine si conclude, se invece non si è soddisfatti dei risultati, devono essere riprogrammate ulteriori indagini. Questo tipo di procedure richiede sicuramente dei costi sia in termini economici che in termini di tempo davvero alti.

Grazie alle nuove tecnologie, con sensori capaci di fornire una misura in tempo reale e nuove piattaforme robotiche che si muovono nello spazio autonomamente, è stato possibile collapsare le tre fasi del campionamento tradizionale in una unica: la selezione delle posizioni da campionare, il campionamento dei valori corrispondenti e la loro analisi (geostatistica) avvengono tutte contemporaneamente.

in MATRAC viene proposta una nuova strategia di campionamento adattivo che seleziona le posizioni in cui campionare l'acqua in tempo reale sulla base delle informazioni raccolte fino a quel momento, ottimizzando l'incertezza delle stime ottenute grazie a tecniche di geostatistica.

Prima di tutto è necessario un set limitato di misure iniziali: il ROV con i sensori a bordo viene inviato verso 10 posizioni casuali in un'area del porto, e i sensori comunicano al centro di calcolo queste misure in tempo reale. Poi inizia una procedura iterativa:

- 1) con il set di misure fino ad ora ottenute vengono stimati con metodi geostatici i valori attesi nei punti non misurati, così da ottenere per ogni punto del dominio un valore di stima e un valore relativo all'incertezza con cui quella stima è stata ottenuta;
- 2) il campionamento si sposta verso quei punti dove l'incertezza è più alta in modo da aggiungere informazione dove è necessario per migliorare l'accuratezza dei risultati: più precisamente il prossimo punto da campionare viene scelto dove l'incertezza è massima;
- 3) la piattaforma robotica raggiunge questo nuovo punto e raccoglie nuove misure, aggiungendo questi dati al set di misure disponibili. La procedura riparte con questo nuovo set di punti.

Il sistema termina quando la predizione è ritenuta sufficientemente accurata/affidabile.