

Progetto

SINAPSI

**asSistenza alla Navigazione per l'Accesso ai Porti in
Sicurezza**



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI GENOVA



UNIVERSITÉ DE
TOULON



ATTIVITA' T1.1: REALIZZAZIONE RETE DI MONITORAGGIO

**PRODOTTO T1.1.3: REPORT CAMPAGNE DI VERIFICA DELLA
STRUMENTAZIONE**

Partner responsabile: CNR-ISMAR

Partner contributori: UNIGE, UTLN, ADSP-MTS, LaMMA



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODOTTO T1.1.3

SOMMARIO

Descrizione del prodotto	1
1. INTRODUZIONE.....	1
2. PORTO DI GENOVA	1
2.1 Campagne di misura con i drifter	1
2.1.1 Drifter	2
2.1.2 Sonar	6
2.1.3 Test preliminari in mare.....	7
2.2 Campagne con ADCP mobile	12
2.3 Collaudo Radar.....	14
3. PORTO DI LIVORNO	20
4. PORTO DI TOLONE.....	27

Descrizione del prodotto

Acquisita la strumentazione per il monitoraggio dei parametri meteo-marini nei porti coinvolti da SINAPSI, sono state effettuate operazioni di collaudo della suddetta strumentazione per la verifica del suo corretto funzionamento. In questo prodotto vengono descritte le operazioni di collaudo svolte e riportati i risultati ottenuti. Inoltre, al termine dell'installazione della strumentazione, sono state effettuate campagne per la verifica dei dati acquisiti nel primo periodo di operatività della strumentazione fissa. Le campagne sono state realizzate grazie all'impiego di altra strumentazione, ovvero correntometri mobili utilizzati da imbarcazione nel Porto di Genova e l'installazione temporanea di altri correntometri fissi nel Porto di Livorno. In questo report riassuntivo sono riportati i risultati ottenuti dalle campagne svolte.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODOTTO T1.1.3

1. INTRODUZIONE

Il progetto SINAPSI ha previsto l'acquisto, il collaudo e l'installazione di diversi sistemi di monitoraggio delle condizioni meteo-marine nei Porti di Tolone, Genova, Livorno e Piombino. Per i dettagli sulle installazioni si veda il prodotto T1.1.2 "Installazione strumentazione e monitoraggio". A seguito dell'acquisto della strumentazione, sono state realizzate delle operazioni di collaudo che hanno permesso di verificare il corretto funzionamento della strumentazione stessa. A seguito dell'installazione della strumentazione sono state realizzate delle attività di verifica dei dati misurati grazie all'impiego di altri metodi di misura. In questo report sono riportati i primi risultati ottenuti dalla realizzazione di queste attività. I risultati riguardanti le campagne di verifica della strumentazione riportati in questo prodotto sono preliminari e verranno ulteriormente approfonditi anche dopo il termine del progetto grazie alla collaborazione tra i Partner e gli stakeholders coinvolti dal progetto. Ulteriori campagne di misura e indagini verranno effettuate e l'analisi congiunta dei dati permetterà di ottenere un approfondimento sulle condizioni meteo-marine che caratterizzano gli ambienti marini portuali del territorio di cooperazione transfrontaliera del Marittimo.

2. PORTO DI GENOVA

Il Porto di Genova ha visto l'installazione di 4 correntometri fissi lungo la diga foranea per la misura delle correnti marine e la restituzione dei dati in real-time sulla piattaforma di progetto. Campagne di verifica dei dati sono state effettuate tramite campagne di lancio di drifter e indagini con correntometro mobile usato da imbarcazione. Inoltre l'area di Genova è coinvolta nell'installazione di un sistema radar HF di misura delle correnti e delle onde al di fuori dell'ambiente portuale. Diseguito vengono riportati i risultati ottenuti dal collaudo e dal lancio dei drifter, dall'uso del correntometro mobile e dall'attività di collaudo del sistema radar.

2.1 Campagne di misura con i drifter

L'analisi dei processi fisici relativi alle correnti costiere ed ai processi di dispersione nella fascia litoranea è di fondamentale importanza da un punto di vista sia scientifico che applicativo. La necessità di avere a disposizione degli strumenti di analisi e predizione di tale tipo di processi è sentita non solo in ambito di pianificazione e programmazione delle attività umane nella fascia costiera (i.e. controllo della dispersione dei dragaggi,



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODOTTO T1.1.3

progettazione degli emissari degli impianti di depurazione, manovre di ormeggio di grandi e piccole imbarcazioni), ma anche in ambito di gestione delle emergenze e della qualità delle acque (i.e. sversamenti e dispersione di inquinanti sia lato terra che lato mare, incidenti in mare ed operazioni di *search & rescue*).

In quest'ottica, negli ultimi anni hanno assunto un ruolo centrale modelli numerici in grado di simulare l'idrodinamica marina e costiera e dei processi di dispersione sia da un punto di vista euleriano (dinamica della concentrazione) che da un punto di vista lagrangiano (dispersione di massa e oggetti). Se da un lato questi modelli permettono di gestire grandi quantità di dati e riprodurre in dettaglio i processi fisici che si sviluppano sotto costa grazie alla crescita esponenziale della potenza di calcolo dei moderni computer, gli stessi necessitano di essere accuratamente calibrati sui casi studio specifici affinché possano essere successivamente utilizzati in fase predittiva con ridotti margini di incertezza.

L'acquisizione di dati reali costituisce dunque un passaggio imprescindibile per la definizione dei cosiddetti *benchmark*, ovvero serie di dati misurati e ragionevolmente assunti come riferimento attendibile per poter validare i modelli numerici poc'anzi menzionati (si veda il prodotto T2.1.1 "Definizione modelli numerici per la dinamica marina dei porti" per un approfondimento dei medesimi). In quest'ottica, l'Università di Genova (DICCA), nell'ambito del progetto SINAPSI, ha potuto acquisire una serie di drifter necessari alla misura di correnti marine caratteristiche nell'area di studio del progetto, ed uno strumento sonar atto a misurare la quota del fondo (la cosiddetta batimetria), quale informazione imprescindibile per lo sviluppo dei modelli numerici di circolazione costiera e, più in generale, di generazione e propagazione di maree e moto ondoso.

2.1.1 Drifter

Il modello acquistato è il Coastal Nomad BT V3 della ditta SouthTex - Sensing Technologies (<https://www.southteksl.com/>), visibile in Fig. 2.1.1 2.1.1.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

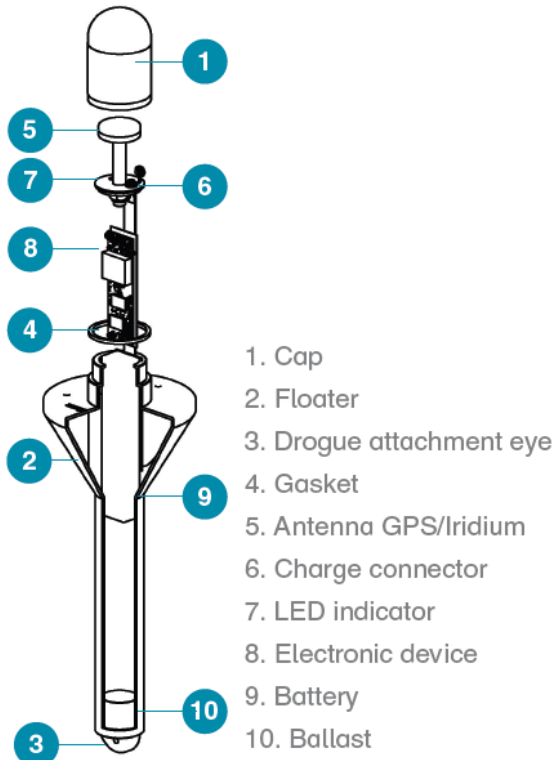
PRODOTTO T1.1.3



Fig. 2.1.1 - Drifter coastal nomad BT V3.

La Fig. 2.1.2 riporta le caratteristiche tecniche dello strumento.

Specifications



GSM	Quad-Band GSM 850/900/1800/1900 MHz
GPRS	Multi-slot class 12
GNSS	Receiver 32 channels GPS/GALILEO/SBAS: L1 1575.42 MHz GLONASS: L1 1597.5 MHz
Processor	ARM Core
Memory	5 MB (RAM) and 10 MB (Flash)
Battery	Lithium polymer (LiPo) Capacity standard 20400 mAh (Type M) Nominal = 3.7V
Antennas	Iridium: 2 dBi GNSS: 2.5 dBi
Charging conditions	DC 4.2V 2A max
Dimensions	72 cm x 22 cm x 22 cm
Weight	2895 gr

Fig. 2.1.2 - Caratteristiche tecniche del coastal nomad BT.

Un drifter è un dispositivo galleggiante, utile per lo studio delle correnti marine. Essendo infatti non ancorato al fondo, il dispositivo si muove in modo inerziale rispetto alle correnti marine, facilitato in tale senso da una vela (o *drogue*; Fig. 2.1.3), attaccata al fondo al fine di minimizzare gli effetti legati all'azione del vento. Ciascun dispositivo è tracciato da satellite e trasmette i dati di posizione tramite rete GSM (Global System for Mobile communication) con assegnate frequenze di campionamento.

I dispositivi coastal nomad BT sono pensati per campagne su brevi periodi in ambito costiero, garantendo un'autonomia di campionamento compresa tra due e sette giorni a seconda della frequenza di campionamento; la frequenza di default è pari a 10 minuti (i.e., il dispositivo registra la posizione ogni 10 minuti). I dispositivi possono comunque essere caricati illimitatamente tramite apposite batterie al litio.

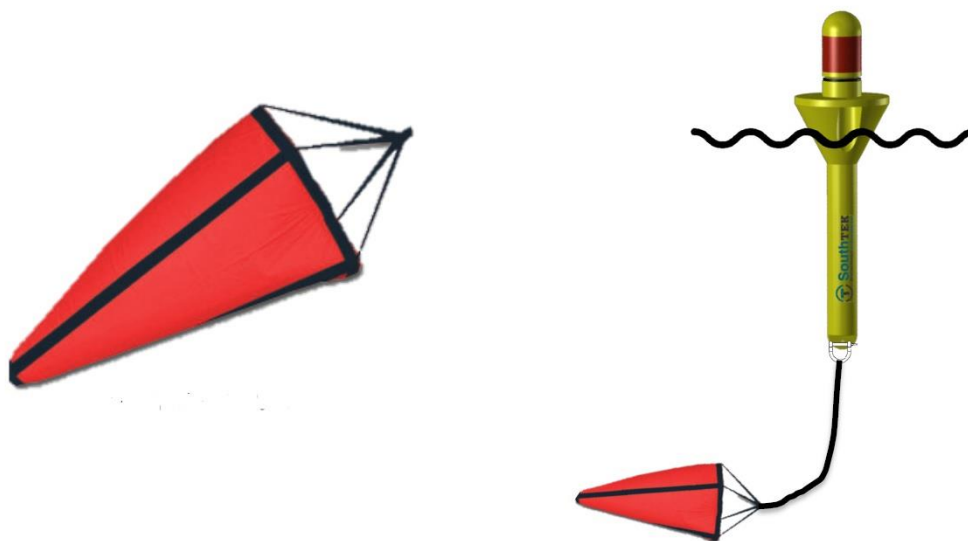


Fig. 2.1.3 - Vela in dotazione al drifter.


La tabella sottostante riporta infine la lista di dispositivi operativi presso il DICCA con relativo codice alfanumerico, mentre la Fig. mostra una schermata del sito da cui è possibile modificare i settaggi di funzionamento dei drifter e scaricare i dati di posizione raccolti durante le campagne di misura (<https://ldmanager.southteksl.com/public/login>).

Tabella 2.1.1 - Lista dei drifter e relativo codice identificativo (ID).

NO. DRIFTER	ID	NO. DRIFTER	ID
1	LCI00592	14	LCI00648
2	LCI00634	15	LCI00649
3	LCI00635	16	LCI00650
4	LCI00636	17	LCI00651
5	LCI00637	18	LCI00652
6	LCI00638	19	LCI00653
7	LCI00640	20	LCI00654
8	LCI00641	21	LCI00655
9	LCI00642	22	LCI00656
10	LCI00643	23	LCI00657
11	LCI00645	24	LCI00658
12	LCI00646	25	LCI00659
13	LCI00647		

Devices

Name: Prof. Giovanni Besio
Email: giovanni.besio@unige.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI GENOVA

Refresh
Events & alarms
Configure device
Search mode
Update software
Data available
Export data

Filter Per page

<input type="checkbox"/>	Model	ID	Status	Power	GPRS RC	Ir. RC	More
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00592	●	65%	2005		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00636	●	41%	2000		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00657	●	100%	1784		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00654	●	51%	2005		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00658	●	7%	2005		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00653	●	78%	1979		Show Details

Fig. 2.1.4 - Interfaccia del sito per la gestione dei drifter.

2.1.2 Sonar

La scelta del sonar è ricaduta sul dispositivo Deeper Smart Sonar PRO+2, il quale permette di rilevare la batimetria lungo determinati transetti nelle aree lacustri e/o marine dove venga impiegato. Nello specifico, si tratta di un sonar di tipo "castable", ovvero un dispositivo di dimensioni ridotte poiché non in grado di immagazzinare dati. Tale caratteristica lo rende estremamente leggero e maneggevole, dunque facile da trasportare nei diversi siti di studio. I dati batimetrici campionati sono immagazzinati in repository remoti tramite l'utilizzo di una APP associata allo strumento (<https://deepersonar.com/>), la quale permette di tener traccia del percorso tramite l'ausilio di Bluetooth (quest'ultimo associato a qualunque smart-phone di nuova generazione).

Di seguito sono riportate due immagini esplicative dello strumento, che ne evidenziano le dimensioni ridotte e l'elevato range di misura, potendo il PRO+ campionare fondali sino a 100 m di profondità.

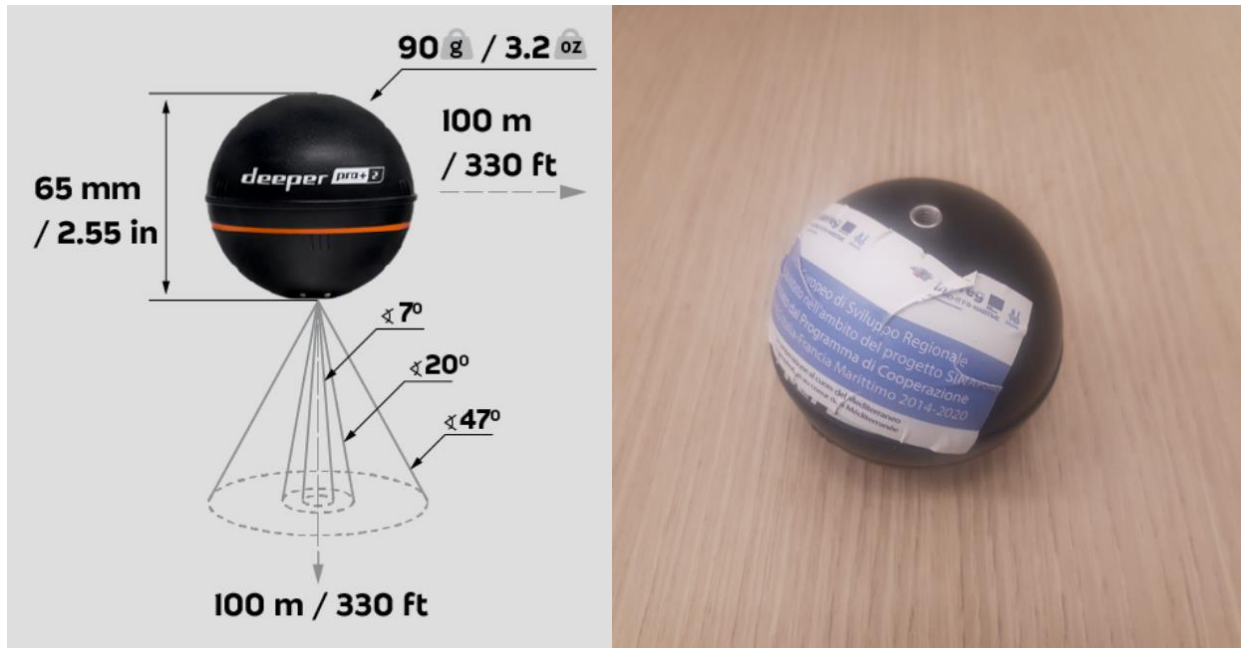


Fig. 2.1.5 - Caratteristiche del sonar Deeper Smart PRO+2.

2.1.3 Test preliminari in mare

Una campagna test per validare i dati del SONAR si è svolta in data 05/07/2022 lungo la costa di Sturla (Genova, Italia). Durante la stessa campagna sperimentale è stato verificato anche il corretto funzionamento di uno dei drifter acquisiti dal progetto.

In Fig. 2.1.6 è mostrata una schermata della APP associata al dispositivo PRO+2 durante la campagna svoltasi a Genova Sturla.



Fig. 2.1.6 - Schermata della app associata al dispositivo PRO+2. La parte sinistra dello schermo mostra i transetti campionati con il sonar; la parte destra dello schermo mostra la sezione trasversale del fondale nel punto indicato dalla freccia arancione nel pannello di sinistra dell'immagine.

La Fig. 2.1.7 mostra il dispositivo fissato ad una imbarcazione durante la campagna di misura.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODOTTO T1.1.3



Fig. 2.1.7 - Campionamento batimetrico tramite sonar PRO+2 a Genova Sturla, in data 05/07/2022.

La Fig. 2.1.8 mostra alcuni dei punti quotati campionati durante la campagna di misura di fronte alla spiaggia di Genova Sturla. Si può osservare come la batimetria sia regolare, con quote del fondo al largo prossime a -10 m e degradanti sino alla quota emersa verso riva. Sono visibili alcuni punti erroneamente collocati in mare sebbene si trovino in terra emersa (si veda il transetto in blu lungo la strada in Fig. 2.1.8), che richiedono un post-processing dei dati al fine di eliminare fisiologici errori nel campionamento e successiva trasmissione dei dati.

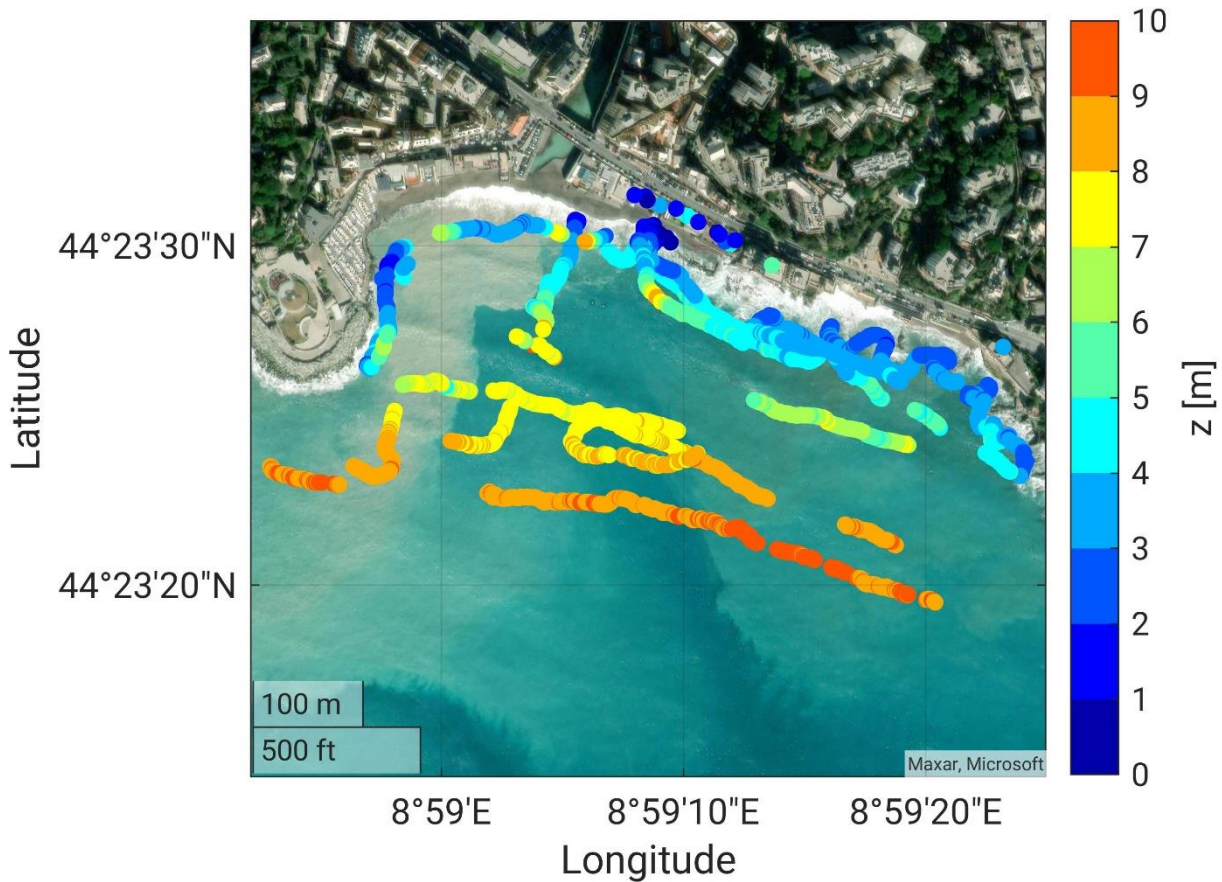


Fig. 2.1.8 - Punti quotati di fronte a Sturla campionati tramite il sonar PRO+2. I colori si riferiscono a diverse quote, come mostrato nella scala a lato della figura.

In Fig. 2.1.9 è mostrato il drifter posto in acqua durante la campagna di misura, mentre la Fig. 2.1.10 mostra i dati raccolti durante circa due ore di campionamento. Si può notare la tipica traiettoria in senso antiorario della corrente locale che si propaga verso ponente, prima di risentire dell'effetto schermante del promontorio dove è sito il depuratore di Genova Sturla che costituisce il limite occidentale della spiaggia di Sturla (e, al contrario, il limite orientale della limitrofa spiaggia di Vernazzola).



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODOTTO T1.1.3



Fig. 2.1.9 - Drifter in opera durante la campagna di misura svolta in data 05/07/2022.

Campionamenti analoghi a quello mostrato in Fig. 2.1.10 sono stati poi disposti nei siti pilota del progetto SINAPSI, effettuando registrazioni della durata di qualche giorno tramite batterie di drifter (il DICCA dispone di 25 dispositivi), prima del recupero degli strumenti.

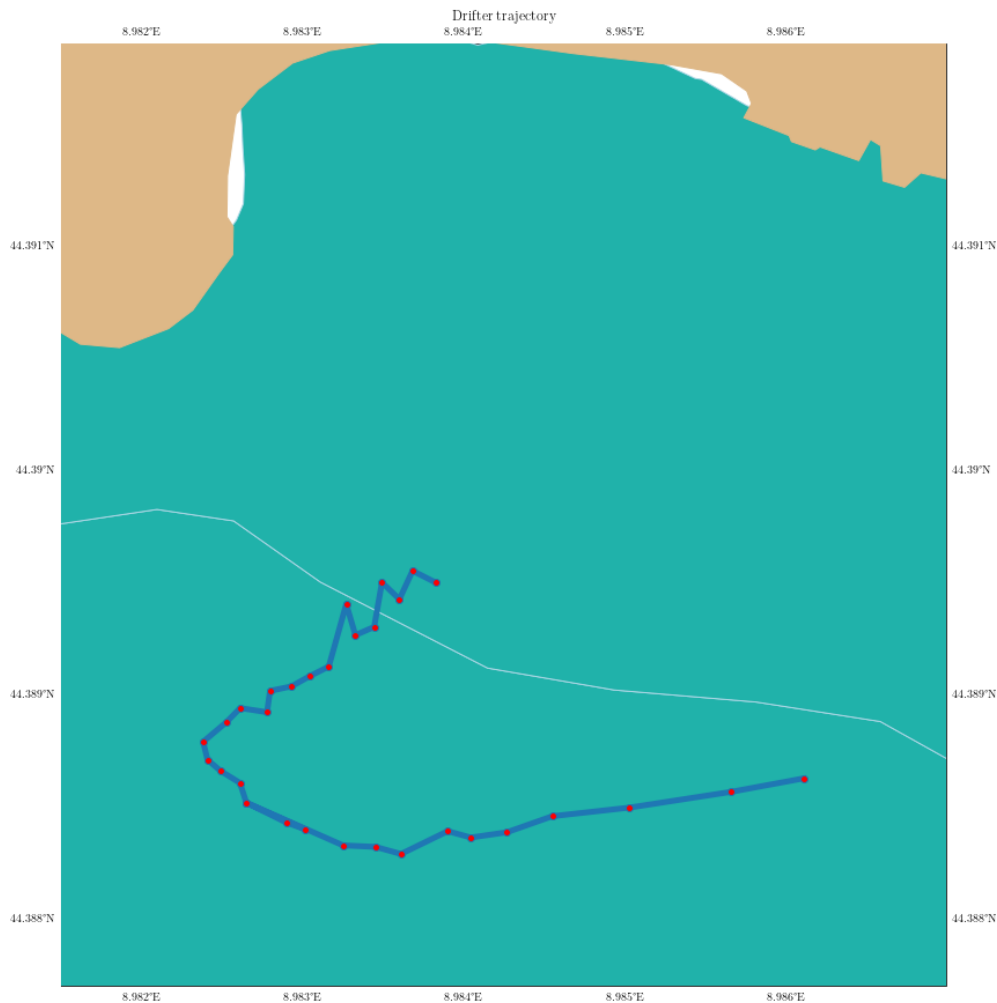


Fig. 2.1.10 - Misure registrate dal drifter nella baia di Sturla nel pomeriggio del 05/07/2022.

2.2 Campagne con ADCP mobile

Nel periodo Settembre-Dicembre 2022, sono state effettuate diverse campagne di misura a mezzo barca per l'acquisizione di misure di correnti lungo la colonna d'acqua nello specchio acqueo del Porto di Genova. Durante le campagne è stato utilizzato un correntometro verticale ADCP con frequenza 1200 kHz e le misure sono state effettuate in particolare in corrispondenza delle 4 stazioni fisse installate sulla diga foranea (Fig. 2.2.1). A causa delle condizioni meteorologiche e del traffico navale, non è stato possibile effettuare misurazioni in corrispondenza a tutti gli H-ADCP in tutte le campagne.

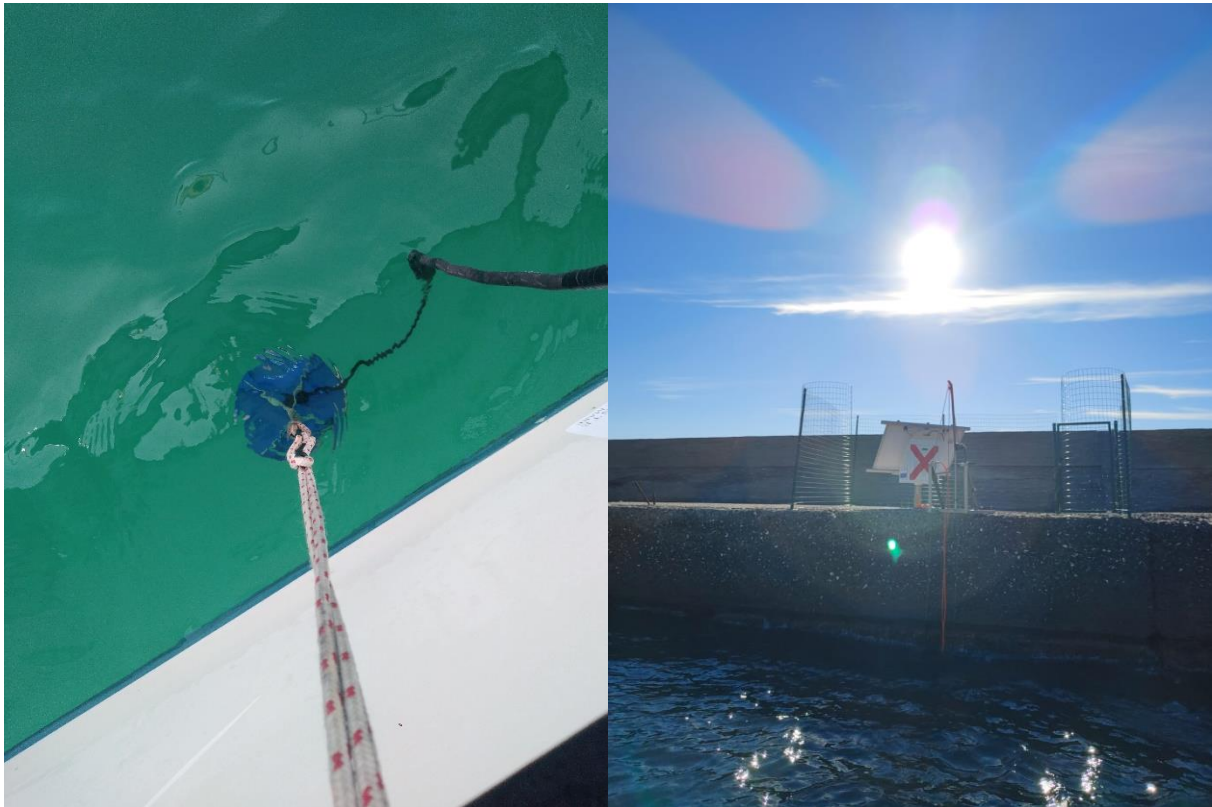


Fig. 2.2.1 – A sinistra il correntometro V-ADCP durante le misure da barca; a destra una stazione fissa durante le misure.

I valori delle direzioni delle correnti osservate durante le campagne di misura dal V-ADCP e dagli H-ADCP in ciascuna stazione fissa sono stati messi a confronto. Le misure delle direzioni delle correnti effettuate con i due strumenti concordano, con minime differenze tra i dati misurati dai due tipi di strumenti, tenendo presente che le misure del V-ADCP sono state effettuate a distanze diverse dagli H-ADCP in base alle condizioni meteo-marine e alle condizioni di traffico marittimo, e che gli H-ADCP registrano le correnti su un'ampia sezione orizzontale all'interno della quale ci può essere variabilità nelle direzioni delle correnti. La corrispondenza è leggermente inferiore nei dati relativi alla stazione fissa di Levante, ovvero all'ingresso di levante del porto: tutto il traffico navale sia in entrata sia in uscita dal porto è obbligato a transitare in questa parte del porto ed il continuo transito di navi incide notevolmente sulla dinamica delle correnti; inoltre, anche l'ampiezza dell'ingresso stesso comporta una certa variabilità nella dinamica attraverso l'ingresso soprattutto in presenza di forti venti e mari da SE o N.

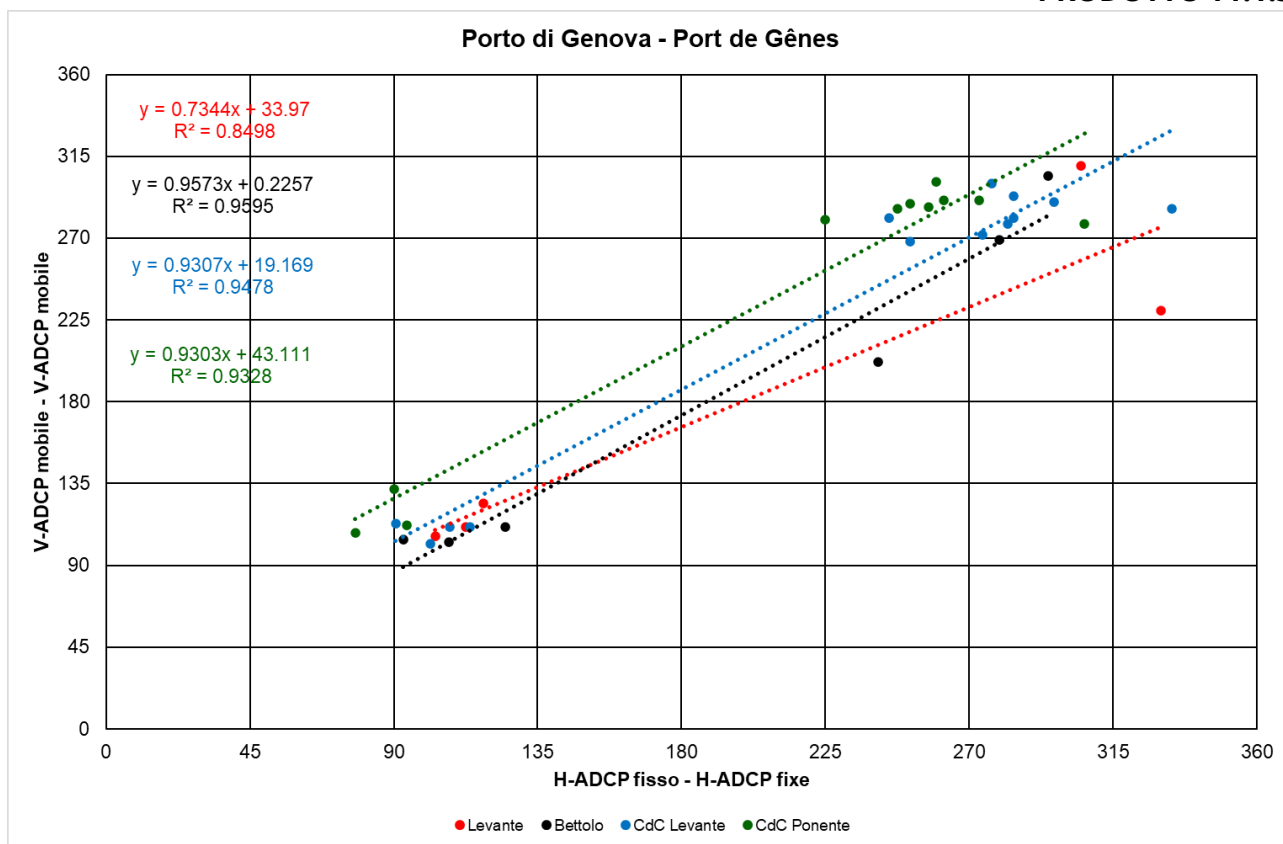


Fig. 2.2.2 – Valori di direzione delle correnti misurate dal V-ADCP e dagli H-ADCP.

2.3 Collaudo Radar

In questa sezione si riporta l'esito del collaudo del sistema radar in banda HF acquistato dal CNR grazie ai fondi del progetto SINAPSI. Al momento della scrittura del presente documento non è stato possibile eseguire altro tipo di campagne di verifica poiché i due radar HF, previsti nelle aree di Genova Voltri e Quarto dei Mille, non sono ancora operativi. Il radar in oggetto è un modello WERA IV prodotto dall'azienda HELZEL MESSTECHNIK GMBH ed è impiegato per il telerilevamento, in continuo e in tempo reale, delle correnti marine superficiali e del moto ondoso.

Trattandosi di apparecchiature di telerilevamento di parametri oceanografici, il collaudo è avvenuto in un sito di prova che rispecchia l'ambiente operativo tipico di un radar HF, cioè un sito in prossimità del mare, con visuale libera e in assenza di interferenze elettromagnetiche rilevanti. Il luogo individuato è stato il Porto di Viareggio, viale Marinai d'Italia e faro della diga Foranea, dove era già operativo un altro radar HF della rete transfrontaliera.

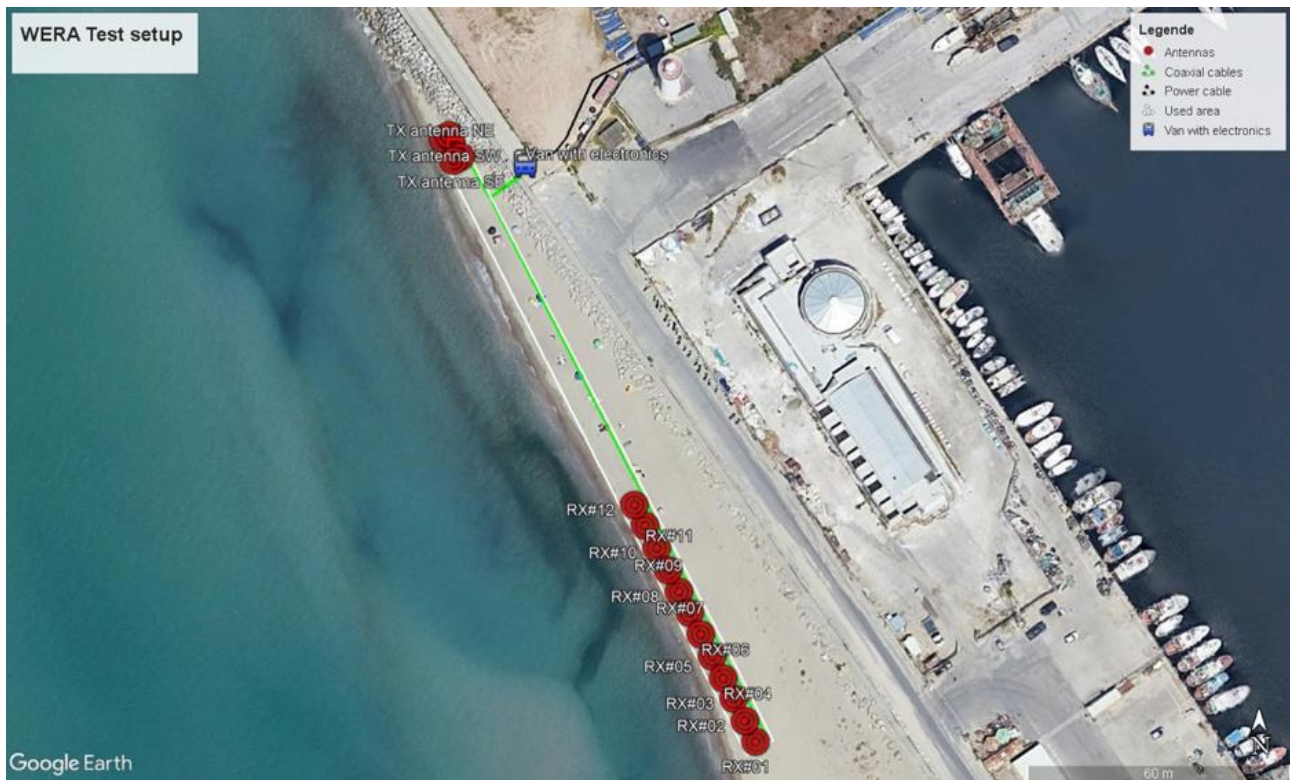


Fig. 2.3.1 - Schema della disposizione degli elementi principali del sistema radar Hf durante il collaudo presso il Porto di Viareggio.

In Fig. 2.3.1 è rappresentata la disposizione degli elementi che hanno fatto parte della strumentazione scientifica oggetto di test. Nei giorni 28, 29 e 30 Marzo 2022, sulla spiaggia nei pressi del faro della diga foranea di Viareggio, sono state installate e calibrate le antenne riceventi e trasmettenti. Lungo la strada nei pressi del faro è stato parcheggiato un furgone (icona blu "Van with electronics") contenente l'elettronica di acquisizione.

Lungo la spiaggia sono stati posizionati due gruppi di antenne, che occupavano rispettivamente due rettangoli di 10 x 6 metri (icone rosse gruppo TX = trasmettenti) e 60 x 6 metri (icone rosse gruppo RX = riceventi), lato lungo parallelo alla linea di costa. Le antenne sono stili verticali sottili sostenuti da pali in legno di sezione di pochi centimetri per un'altezza massima di 2,5 metri. Il gruppo di antenne TX opera in radiofrequenza sulle bande assegnate dalla International Telecommunication Union (ITU) per le applicazioni oceanografiche. La potenza di emissione è limitata a 7 Watt e il rettangolo indicato è stato delimitato con segnaletica visibile. Il gruppo di antenne RX ha operato solo in ricezione.

PRODOTTO T1.1.3

Cavi coassiali appoggiati sul terreno o eventualmente interrati appena sotto la sabbia hanno collegato i due gruppi di antenne con l'elettronica di acquisizione seguendo approssimativamente le linee verdi indicate in figura. Un cavo di alimentazione elettrica è stato prelevato dal Faro della Diga Foranea grazie al supporto del Comando Zona Fari La Spezia. Allo stesso set di antenne sono state collegate in sequenza le due unità radar HF, ciascuna per una durata sufficiente ad attestare la stabilità del sistema e il corretto processo di misura, acquisizione ed elaborazione dei dati. Durante tutte le operazioni il personale CNR-ISMAR è stato supportato dagli ingegneri della HELZEL.

Nelle figure seguenti si illustrano alcuni risultati della verifica della strumentazione e gli elementi principali del sistema radar HF.

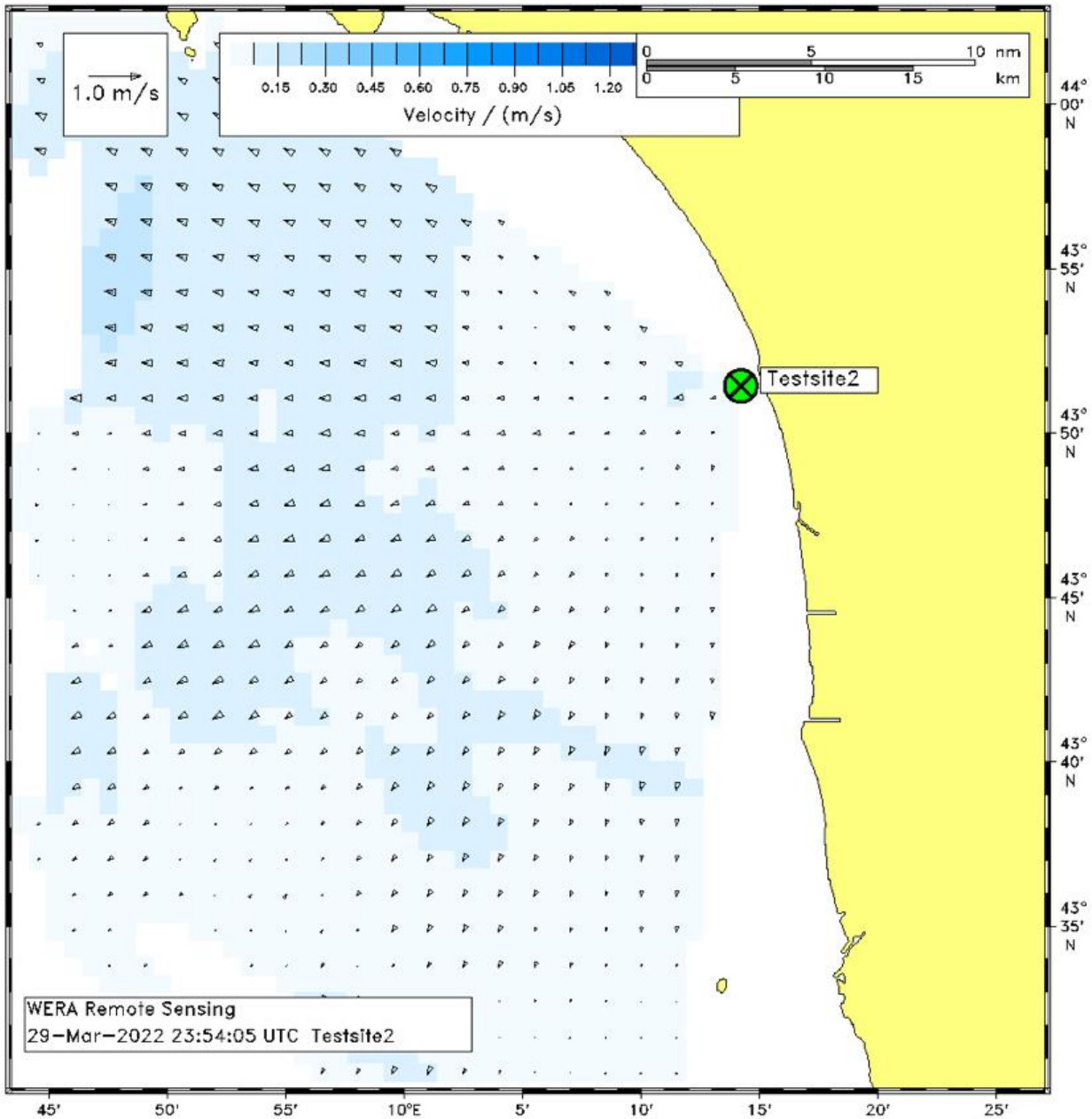


Fig. 2.3.2 - Mappa delle velocità della corrente rilevate dalla singola stazione radar HF (componente radiale).

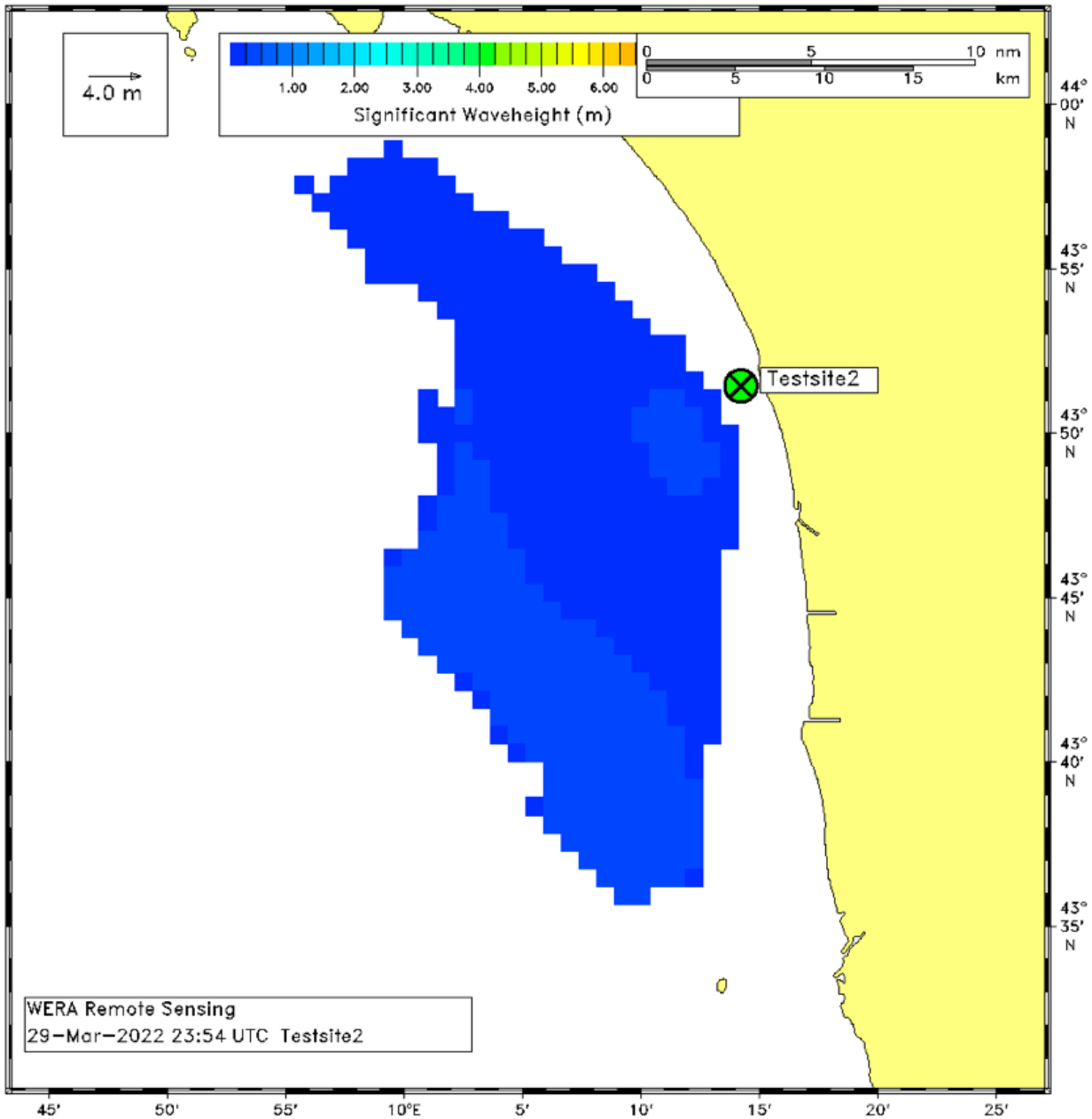


Fig. 2.3.3 - Mappa dei valori dell'altezza d'onda significativa rilevati dalla singola stazione radar HF (componente radiale).



Fig. 2.3.4 - Foto della configurazione dei sistemi radar HF durante il collaudo. In alto, unità ricetrasmittente collocata nel furgone; in basso, gruppo di antenne riceventi installate in spiaggia.

3. PORTO DI LIVORNO

In questo capitolo viene fornita una prima descrizione dei dati raccolti nell'ambito delle campagne di misura condotte dal LaMMA nell'ambito di SINAPSI. I dati si riferiscono all'area portuale di Livorno, dove si è svolta una prima sperimentazione dei correntometri/ondametri ADCP acquisiti dal Consorzio LaMMA nel progetto. I due ADCP sono stati acquisiti e installati dal LaMMA con l'intento di raccogliere dati aggiuntivi, per periodi di tempo limitati, necessari per le operazioni di calibrazione e validazione dei modelli idrodinamici e di moto ondoso con cui viene realizzato il sistema di previsione portuale.

L'analisi di questi dati è tuttora in corso e quella presentata in questo documento è da considerarsi preliminare.

Elaborazioni dei dati ADCP

Una prima campagna di misure che utilizza gli ADCP del LaMMA è iniziata a partire dal 23 Giugno 2022 nell'area portuale di Livorno. I dati sono stati acquisiti in modo continuativo fino al 5 Ottobre 2022 quando è stato effettuato un primo recupero della strumentazione al fine di verificare le corrette acquisizioni fino a quella data ed effettuare una prima analisi dei dati registrati in memoria. A partire dal 3 Novembre 2022 gli ADCP sono stati nuovamente posizionati sul fondo per concludere il periodo di acquisizione previsto per fine Gennaio/inizio Febbraio 2023.

Le posizioni di installazione (Fig. 3.1) sono state scelte in modo da rendere possibile la valutazione sia del principale flusso di corrente e di energia del moto ondoso che investe l'area marina portuale, sia le modificazioni che questi flussi subiscono per interazione con le strutture interne del porto. Queste osservazioni completano quelle delle stazioni di misura correntometriche e del moto ondoso installate dall'AdSP-MTS sempre nell'ambito del progetto.



Identificativo	ADCP (600 KHz) - Lamma1
Posizione GPS	43°31.7490'N 10°17.6480'E
Batimetria misurata	15,2 m
Identificativo	ADCP (1000KHz) - Lamma2
Posizione GPS	43°32.2160'N 10°17.6600'E
Batimetria misurata	8 m

Fig. 3.1 - Posizione degli ADCP in prossimità del Porto di Livorno.

Gli ADCP impiegati sono di tipo AWAC Nortek e sono in grado di misurare sia i profili correntometrici sia i dati del moto ondoso, quali periodo (medio e di picco), direzione (media e di picco), altezza d'onda significativa e media, spettro. Operano a frequenze di 600 kHz e 1000 kHz e sono installati a profondità pari a 15.2 m e 8 m rispettivamente.

Di seguito si riportano alcuni grafici relativi ai parametri acquisiti.

Nella Fig. 3.2 (colonna sinistra) sono illustrati i plot relativi all'altezza d'onda per i due ADCP ed il corrispondente grafico polare (colonna destra) in cui è possibile vedere la distribuzione della direzione media dell'onda. Tale direzione, nel caso del moto ondoso, ha provenienza dal terzo quadrante, per tutto il periodo osservato, e corrisponde alla direzione del vento prevalente a cui è esposto il porto, ovvero al libeccio (SW). Sono visibili i picchi in corrispondenza delle mareggiate che si sono verificate a fine Settembre, confermate anche dal grafico del Centro Funzionale Regionale (CFR-Toscana), relativo alla boa ondometrica situata in prossimità dell'Isola della Gorgona

PRODOTTO T1.1.3

(Fig. 3.3). Quest'ultimo grafico presenta un trend del tutto simile a quello degli ADCP con valori di picco più alti, dovuti alla maggiore esposizione della boa al moto ondoso, per effetto della maggiore distanza dalla costa, pari a circa 15 NM.

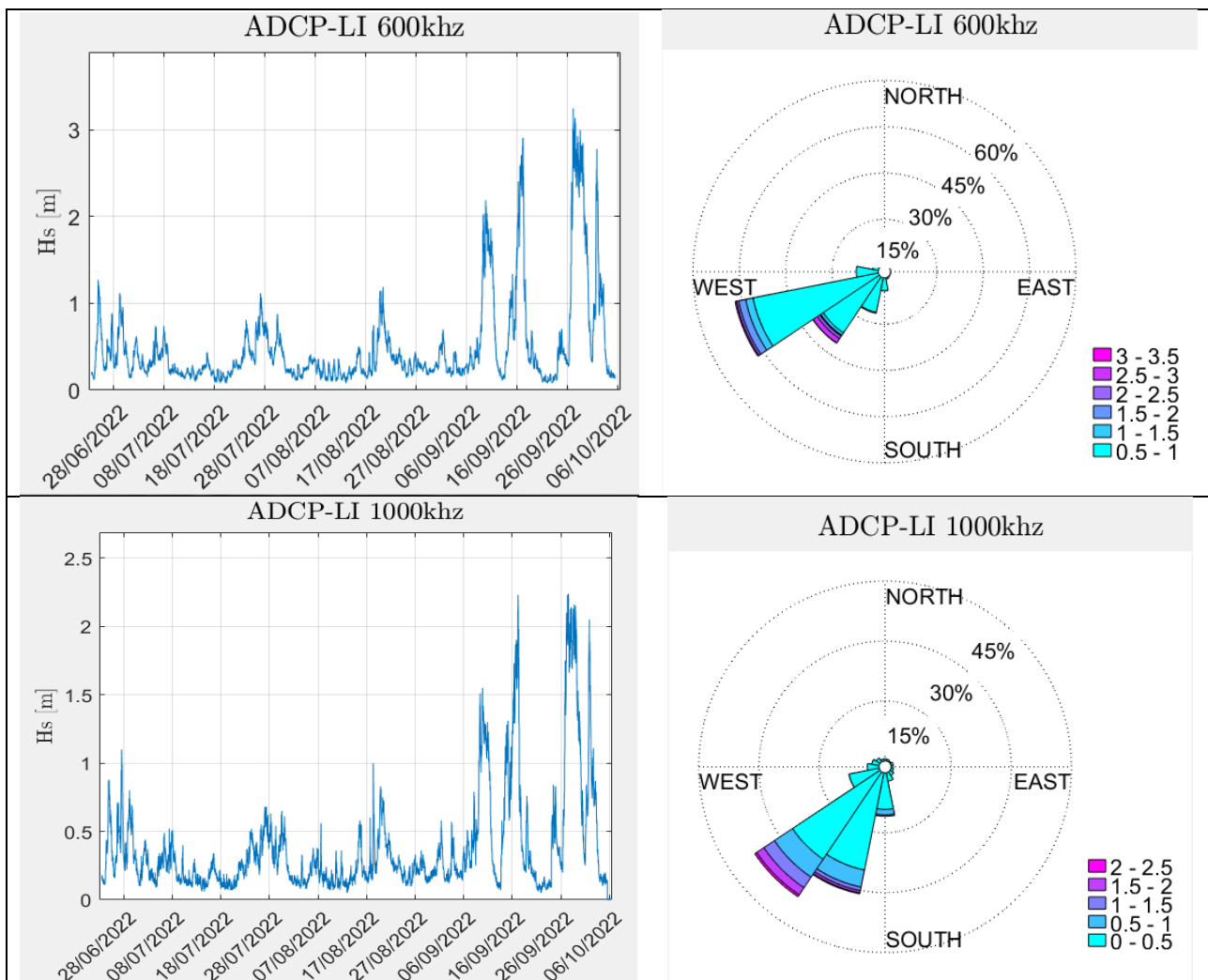


Fig. 3.2 - A sinistra i grafici di altezza d'onda nel periodo delle registrazioni (23/06/2022-05/10/2022), a destra le i grafici polari relativi al moto ondoso per lo stesso periodo.

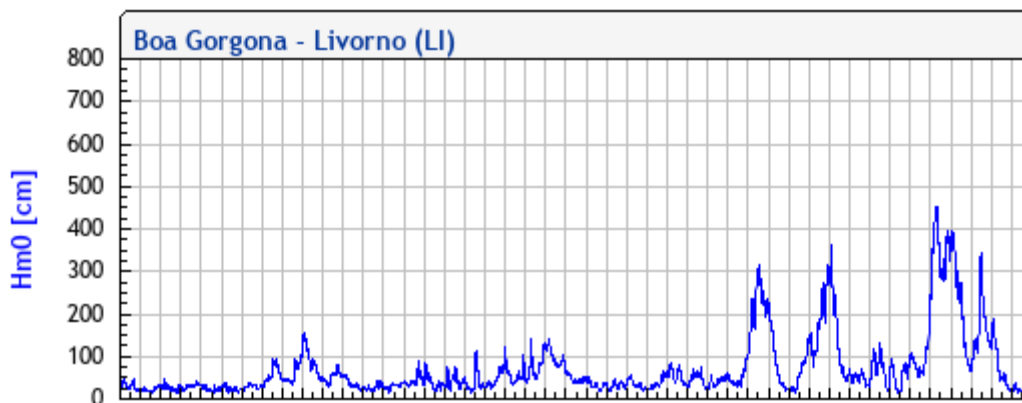


Fig. 3.3 - Grafico relativo all'andamento dell'altezza d'onda significativa registrato dalla boa ondometrica regionale (CFR).

Sempre a riguardo della Fig. 3.2 si nota, fra i correntometri posti rispettivamente a circa 15 m e a circa 8 m di profondità, una rotazione della direzione delle onde che lascia immutata la forma della distribuzione ma tende a ruotarla verso Sud, a causa dei processi di trasformazione delle onde in acque basse, ovvero alla rifrazione e diffrazione delle onde.

Questo effetto di rotazione, per fare l'esempio relativo ad un evento, è mostrato in Fig. 3.4, in cui viene rappresentato lo spettro del moto ondoso relativo alla mareggiata di Libeccio (SW) del giorno 27 Settembre 2022. La colonna di sinistra si riferisce all'ADCP-600 kHz, quella di destra all'ADCP-1000 kHz. Dall'alto verso il basso sono illustrati rispettivamente: lo spettro del moto ondoso completo (in frequenza e direzione) in coordinate polari, lo spettro direzionale contenente la variazione della direzione in funzione della frequenza e lo spettro energetico contenente la distribuzione energetica del moto ondoso al variare della frequenza. La mareggiata osservata ha contenuto energetico massimo alla frequenza di poco superiore a 0.1 Hz, ovvero poco meno di 10 secondi e direzione sud-ovest per entrambi gli ADCP. Nello spettro relativo all'ADCP-1000 kHz, posizionato nell'area più interna del porto, compaiono maggiori componenti a frequenze più alte, riferibili a presenza di rumore in fase di acquisizione ma anche alla maggior quantità di riflessione delle varie componenti di moto ondoso.

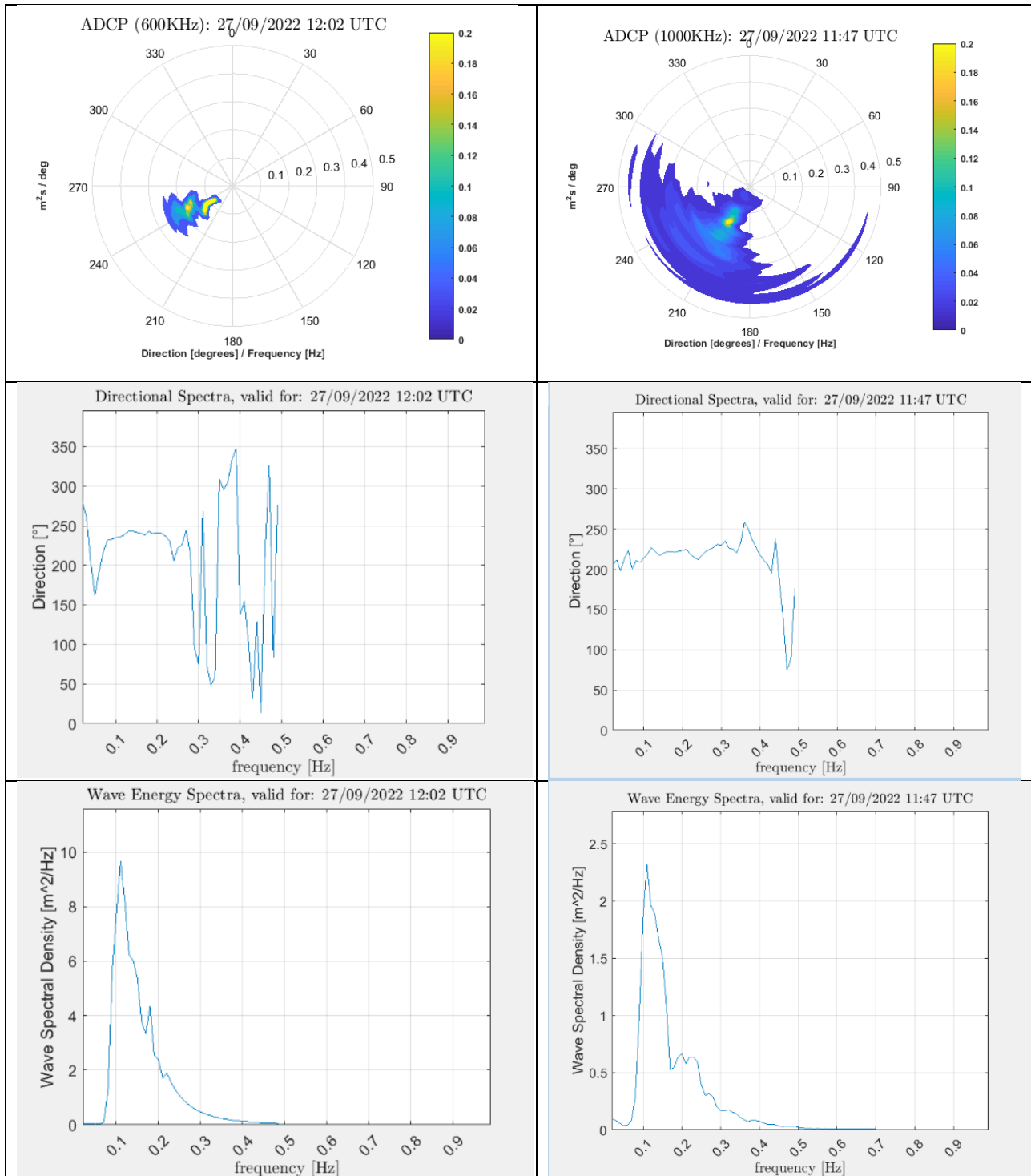


Fig. 3.4 - Analisi nel dominio spettrale del moto ondoso. Nella colonna di sinistra gli spettri dell'ADCP-600 kHz. A destra quelli dell'ADCP-1000 kHz. Dall'alto verso il basso sono illustrati rispettivamente: spettro d'onda completo, in direzione e frequenza, spettro direzionale e densità spettrale di energia.



PRODOTTO T1.1.3

Nella Fig. 3.5 è illustrata in coordinate polare la distribuzione delle intensità delle correnti. A titolo esemplificativo procedendo da sinistra verso destra sono mostrati i grafici relativi alle correnti partendo dallo stato più profondo a quello superficiale. In particolare, a distanza di 1.5 m, 7.5 m e 14.5 m dal fondo per l'ADCP operante a 600 kHz, e a 0.9 m, 4.4 m e 7.9 m per quello operante a 1000 kHz.

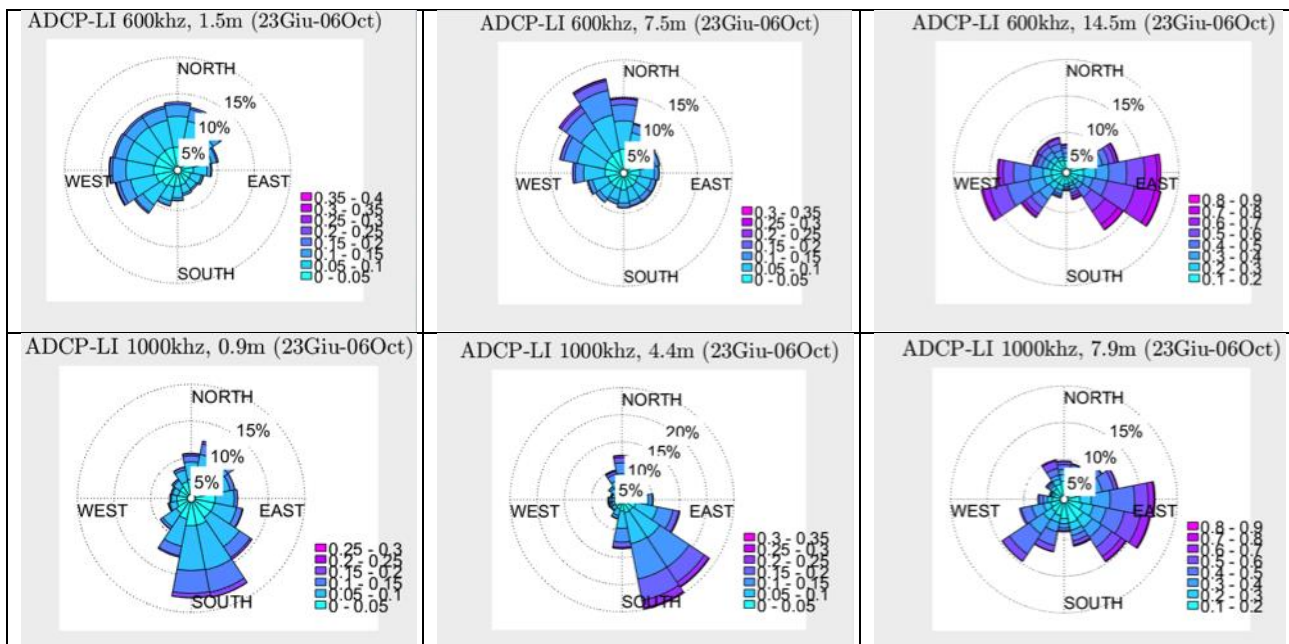


Fig. 3.5 - Da sinistra verso destra sono i grafici relativi alle correnti partendo dallo stato più profondo a quello più superficiale. Le distanze sono: 1.5 m, 7.5 m e 14.5 m dal fondo per l'ADCP operante a 600 kHz, e 0.9 m, 4.4 m e 7.9 m per quello operante a 1000 kHz.

Nella seguente Fig. 3.6 è riportato il grafico medio, su tutto il periodo in esame, del profilo verticale dell'intensità della corrente.

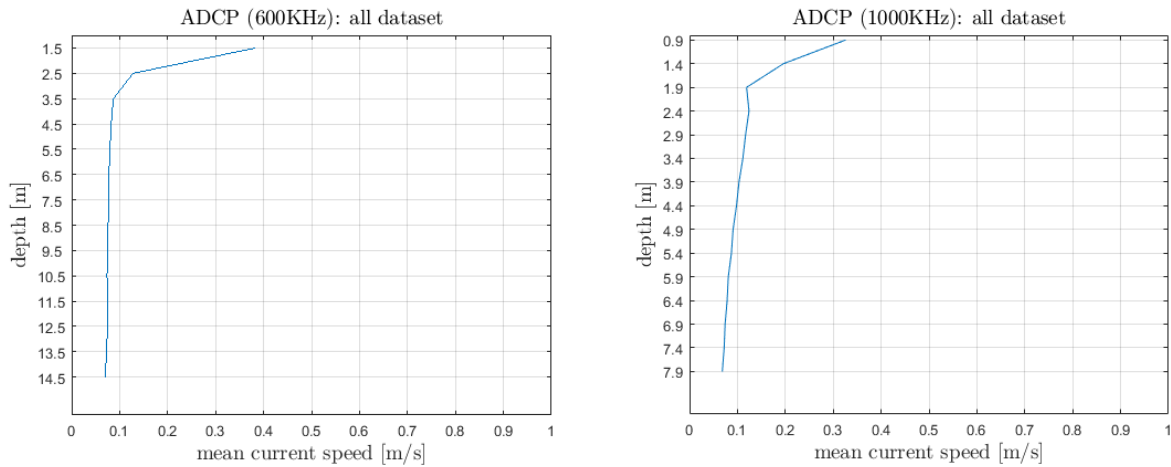


Fig. 3.6 - Profilo medio per tutto il periodo in esame (23/06/2022 - 06/10/2022) della corrente. A sinistra si riferisce all'ADCP-600 kHz a destra all'ADCP-1000 kHz.

In Fig. 3.7 è sotto riportata a titolo esemplificativo l'andamento temporale della direzione delle correnti superficiali per i due ADCP. Per motivi di visualizzazione viene mostrato solo un sotto-periodo.

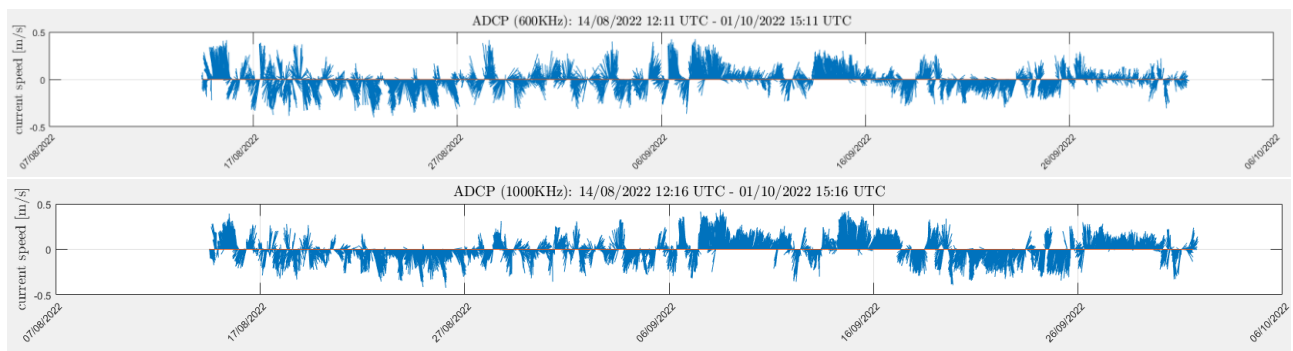


Fig. 3.7 - Direzione delle correnti superficiali per un sotto-periodo (14/06/2022 - 01/10/2022). Il plot in alto è riferito all'ADCP-600 kHz, in basso all'ADCP-1000 kHz.

4. PORTO DI TOLONE

Nel Porto di Tolone sono stati installati tre sistemi di misura, come mostrato nella figura 4.1: ST1 e ST2 a Saint-Mandrier e di fronte al porto di Les Oursinières, rispettivamente, e ST al centro della rada.

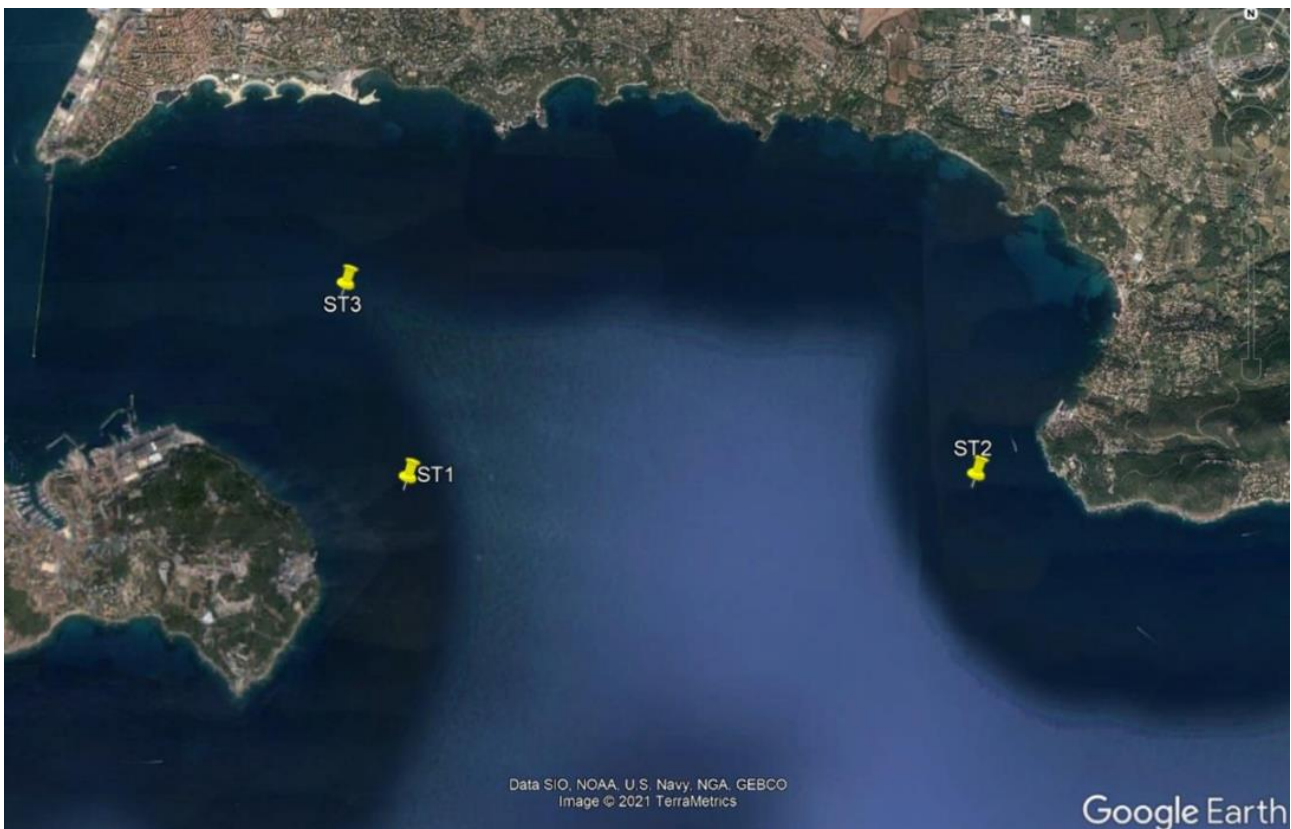


Fig. 4.1 - Posizione delle stazioni di misura.

La Fig. 4.2 illustra le rose dei venti all'interno della baia di Tolone sulla stazione ST3. Il pannello (a) per l'intensità e la direzione del vento misurato, mentre il pannello (b) rappresenta l'intensità della corrente e la sua direzione dopo aver calcolato la media dei valori di velocità degli strati superiori da 0 a 3 metri.



PRODOTTO T1.1.3

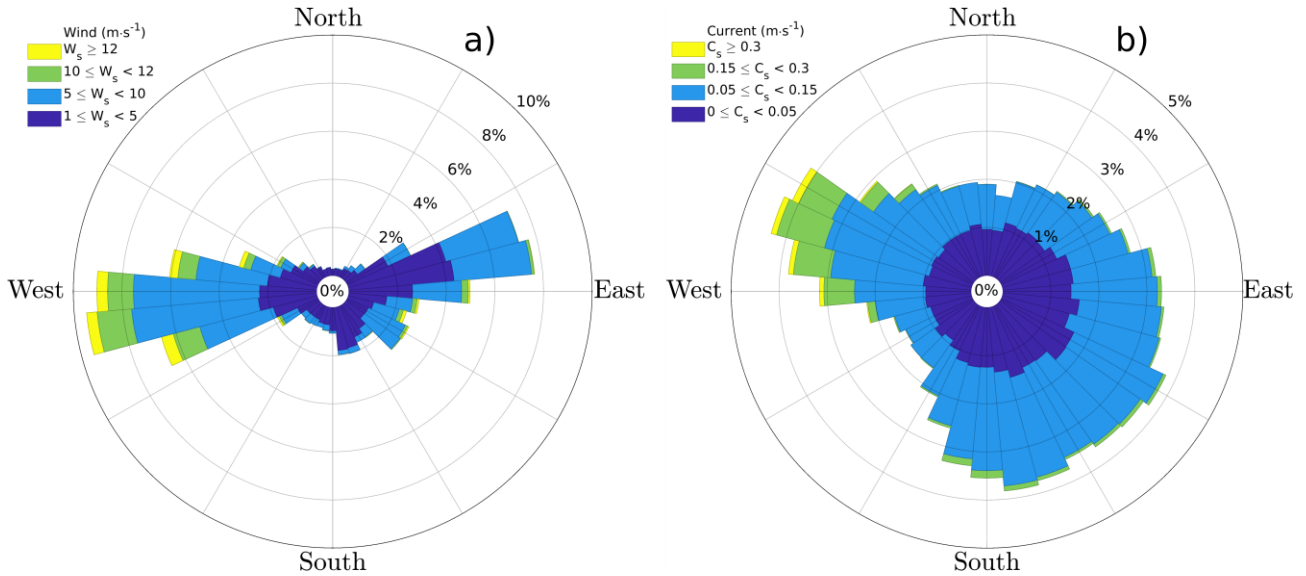


Fig. 4.2 - Rosa dei venti (a) e delle correnti (b) alla stazione ST3 nel porto di Tolone. La rosa delle correnti è stimata mediando i primi 3 metri dalla superficie.

Le Fig. 4.3-4.5 mostrano i profili della velocità della corrente (pannelli superiori) e della direzione della corrente (pannelli inferiori) lungo la colonna d'acqua per un periodo di misurazione di un anno. Gli assi verticali corrispondono ai livelli di profondità in metri e l'asse orizzontale al tempo secondo la convenzione mese/anno. Gli spazi bianchi nel diagramma per ST1 e ST2 sono dovuti a operazioni di manutenzione durante il periodo di registrazione. Poiché ST3 è stato installato in superficie (ADCP rivolto verso il basso), le operazioni di manutenzione sono state meno invasive rispetto a quelle per le ST1 e ST2, che avevano al contrario ADCP installati sul fondo e rivolti verso l'alto.

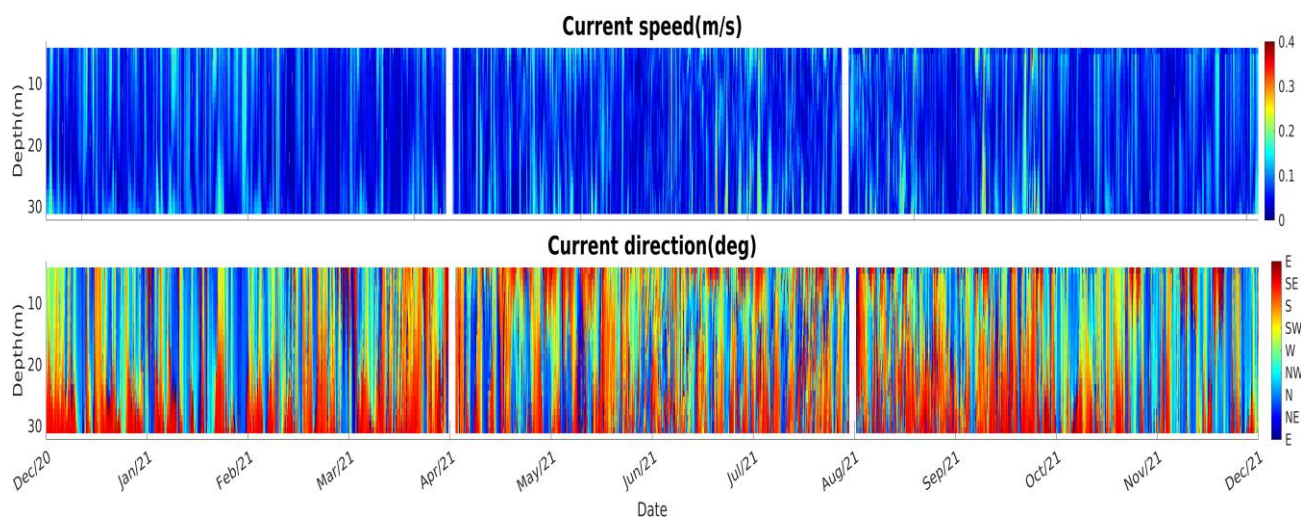


Fig. 4.3 - Evoluzione temporale dei profili verticali dell'intensità della corrente (in alto, in m/s) e della direzione (in basso, convezione cartesiana) in ST1.

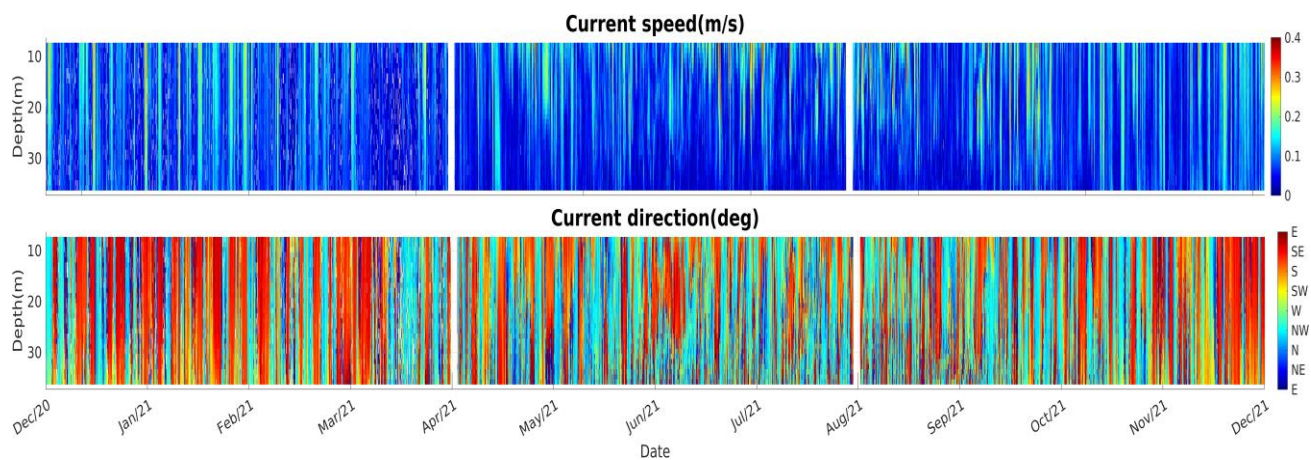


Fig. 4.4 - Evoluzione temporale dei profili verticali dell'intensità della corrente (in alto, in m/s) e della direzione (in basso, convezione cartesiana) in ST2.

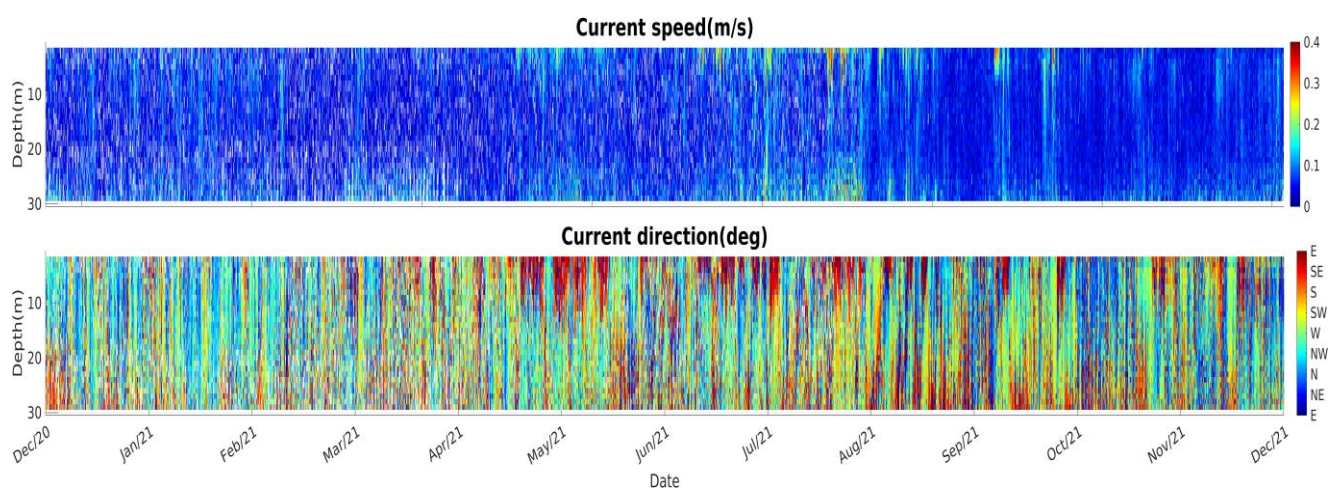


Fig. 4.5 - Evoluzione temporale dei profili verticali dell'intensità della corrente (in alto, in m/s) e della direzione (in basso, convezione cartesiana) in ST3.