



Progetto “TIMIDRAM” - Taratura di Idrofoni per Misure Di Rumore Ambientale Marino in bassa frequenza

Domanda n. prot. A0375-2020-36598 - Avviso Pubblico “Gruppi di ricerca 2020”

RELAZIONE TECNICA SULLA REALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Rendicontazione a saldo – scadenza 15/04/2024

1. ILLUSTRAZIONE DEI RISULTATI CONSEGUITI

- *Descrizione delle attività del progetto (principali attività svolte che hanno qualificato il progetto di ricerca e sviluppo, metodologia di implementazione del Progetto ecc.)*

Il progetto ha permesso di individuare e realizzare una nuova metodologia di taratura di idrofoni con caratteristiche che la rendono vantaggiosa rispetto ad altre operando sul campo (in mare o in lago) alle basse frequenze (al di sotto di 1 kHz).

Per la sua realizzazione ci si è avvalsi dei risultati ottenuti nel precedente progetto di ricerca internazionale UNAC-LOW [1] che aveva evidenziato le limitazioni ad operare alle più basse frequenze (al di sotto del kHz) con metodi convenzionali e con sorgenti acustiche piezoelettriche, che sono comunemente impiegate nella maggior parte delle applicazioni in acustica subacquea. L'esperienza maturata in quel progetto nell'operare in lago ha reso evidente la necessità di impiego di strumentazione compatta e portatile per poter operare anche su imbarcazioni o piattaforme di dimensioni ridotte. Questo ha orientato nel presente progetto la scelta di una soluzione innovativa, con esito positivo trovato in un contesto applicativo inconsueto per il settore della ricerca quale quello della diffusione sonora subacquea in ambito sportivo e ricreativo. Nello specifico, si è individuata una sorgente acustica subacquea di caratteristiche elettriche completamente differenti, simili a quelle che si incontrano nei comuni apparati audio, che riunisce caratteristiche utili per l'applicazione in questione in termini di estensione della gamma di frequenze, tensioni di alimentazione, dimensioni e peso. Grazie a questo si è potuto implementare un sistema portatile per la taratura di idrofoni alimentato a batterie, contenuto comodamente in una valigetta e interfacciato a un normale PC portatile, che sostituisce un intero scaffale di strumenti di laboratorio alimentati a 220 VAC. Inoltre, la definizione di una nuova geometria di trasmissione e ricezione in acqua del segnale acustico ha portato a una notevole semplificazione delle operazioni sul campo, in particolare in termini di realizzazione degli ormeggi e dei punti di sospensione in acqua di trasmettitore e ricevitore. Il funzionamento del sistema è stato validato sul campo in una apposita campagna di misure al lago di Bracciano volta a riprodurre le

condizioni operative reali.

Nella realizzazione del progetto si è cercato di dare priorità agli obiettivi del Descrittore 11 sul rumore subacqueo della Direttiva Quadro dell'Unione Europea "Strategia Marina" [2]. La realizzazione del presente apparato sperimentale va quindi nella direzione di un suo utilizzo operativo, orientato in maniera specifica per il monitoraggio dell'indicatore sul rumore ambientale marino continuo in bassa frequenza, le cui frequenze caratteristiche sono state individuate dalla predetta Direttiva come centrate intorno a 63 Hz e 125 Hz. Si è quindi data più importanza a semplificare l'utilizzo del sistema per gli obiettivi specifici piuttosto che a renderlo idoneo a misure di rumore in una gamma di frequenze più estesa per scopi scientifici, tenendo a mente che il suo impiego previsto ricade più nell'ambito di operazioni da parte di personale preposto al monitoraggio ambientale piuttosto che di personale di enti di ricerca.

Riferimenti:

[1] [https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details?tx_eurametctcp_project\[project\]=1406](https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details?tx_eurametctcp_project[project]=1406)

[2] https://environment.ec.europa.eu/topics/marine-environment_en#objectives

- *Descrivere in maniera approfondita gli obiettivi finali raggiunti illustrando da punto di vista tecnico gli specifici risultati che sono stati conseguiti;*

Obiettivo 1. Realizzazione di un apparato sperimentale innovativo

L'apparato sperimentale sviluppato nel progetto consiste in una sorgente acustica collegata a un amplificatore di potenza dotato di un circuito di alimentazione a batterie. L'amplificatore riceve i segnali dall'uscita audio di un PC portatile dove risiedono i file audio in formato digitale (WAV) che si intende far riprodurre dalla sorgente. Il requisito iniziale è che l'intero sistema non richieda alimentazione esterna e sia il più possibile compatto e leggero.

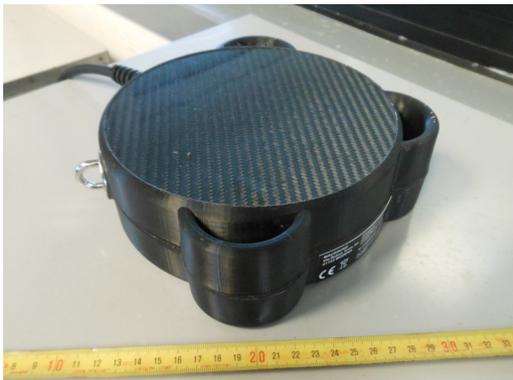


Fig. 1. Sorgente elettrodinamica "Akuasound"



Fig. 2. Trasduttore piezoelettrico ITC 1007

La sorgente individuata, denominata "Akuasound" (Fig. 1), nasce come diffusore sonoro

subacqueo per piscine per il nuoto sincronizzato o per altre attività ricreative affini. Rispetto a un tradizionale trasduttore acustico piezoelettrico (Fig. 2), questa sorgente ha un principio di funzionamento elettrodinamico ed è costituita da un magnete permanente con bobina mobile solidale a una membrana di emissione, al pari di un comune altoparlante. La sorgente ha una emissione sonora a parità di tensione in ingresso pressoché costante al variare della frequenza e centrata esattamente nella cosiddetta banda audio (Fig. 3), ovvero nelle frequenze comprese tra circa 20 Hz e circa 20 kHz alle quali è sensibile l'orecchio umano. A parità di dimensioni e peso, una sorgente piezoelettrica avrebbe una banda di emissione centrata nella regione superiore, intorno a 10 kHz, e una marcata riduzione del livello di emissione alle basse frequenze a parità di tensione a causa della sua impedenza elettrica dipendente dalla frequenza. Per compensare la riduzione di sensibilità in trasmissione dei piezoelettrici, per applicazioni scientifiche normalmente si eleva la tensione di alimentazione fino all'ordine del migliaio di volt, cosa questa però del tutto improponibile in termini di sicurezza e praticità per un sistema compatto che debba essere impiegato su una piccola imbarcazione e da personale non altamente qualificato. Per contro, le tensioni di lavoro della sorgente elettrodinamica non superano quelle dell'alimentazione in continua, al più pari a 36 V, valore per cui le precauzioni per la sicurezza sono notevolmente semplificate.

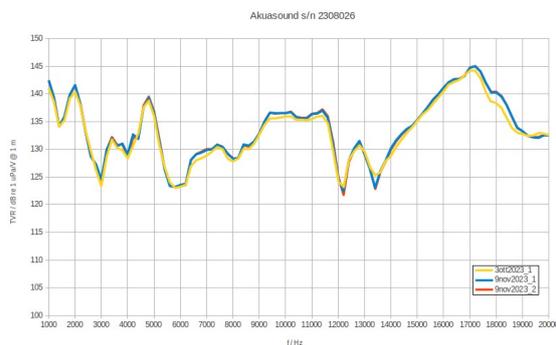


Fig. 3. Risposta in trasmissione sorgente

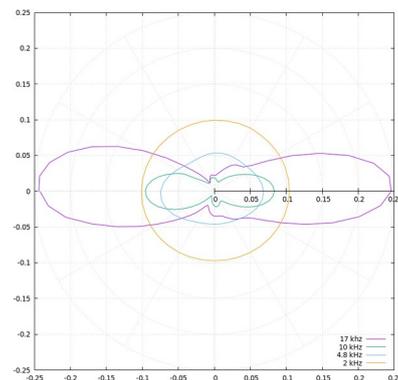


Fig. 4. Direttività sorgente

I test effettuati in vasca di laboratorio hanno evidenziato una buona estensione dell'emissione verso le basse frequenze, unita a una certa irregolarità nelle frequenze medio/alte a partire da 5 kHz in su (Fig. 3). Quest'ultimo svantaggio non crea un serio problema nell'applicazione in questione, dato che intenzionalmente l'apparato sperimentale è da impiegarsi solo alle basse frequenze (come detto al paragrafo precedente). Gli andamenti della funzione di direttività (Fig. 4) si confermano coerenti con quelli attesi per una superficie di forma circolare alle più basse frequenze, segno che la membrana è in grado di muoversi come previsto secondo il modo di vibrazione fondamentale senza insorgenza apprezzabile di linee nodali che possano causare fenomeni di interferenza. D'altra parte è del tutto probabile che proprio l'insorgenza di linee nodali sia alla base delle irregolarità osservate nell'andamento della risposta alle frequenze medio/alte. Ad ogni modo, le curve di direttività confermano che alle alte frequenze (oltre 10 kHz) il fascio di emissione è ristretto entro pochi gradi, rendendo di fatto la sorgente altamente direttiva e inadatta

allo scopo in questione. Per tali frequenze resta inevitabile il ricorso a sorgenti piezoelettriche.

Si sottolinea che rispetto al modello di sorgente acustica inizialmente individuato in sede di presentazione del progetto (Lubell VC2C) la presente sorgente Akuasound presenta caratteristiche di emissione del tutto confrontabili a fronte di una notevole semplificazione delle operazioni, non necessitando di metodo di compensazione della pressione statica al variare della profondità. Questo ha portato a una drastica riduzione della quantità e degli importi degli acquisti necessari per la realizzazione del sistema, a una semplificazione delle operazioni a bordo e a una riduzione a zero del rischio di danneggiamenti alla sorgente derivanti da un suo utilizzo improprio. Il fatto di aver individuato un produttore sul territorio nazionale ha inoltre portato benefici sia alla condizione del progetto, in termini di immediatezza nel dialogo col costruttore, sia alle potenziali ricadute in termini di aperture di mercato e di diffusione del made in Italy all'estero.

Il sistema portatile è costituito oltre che dalla sorgente sopra descritta anche da un amplificatore audio, da un circuito di adattamento della tensione di alimentazione e da un pacco batterie.

I parametri che influiscono sulla scelta dell'amplificatore, che derivano dalle caratteristiche della sorgente, sono i seguenti: tensione di alimentazione in continua, potenza elettrica erogata, impedenza elettrica in uscita. Grazie alla recente diffusione tra le apparecchiature audio della tecnologia "switching" (classe D), che sta gradualmente prendendo il posto delle precedenti generazioni di apparecchiature lineari (classe A, AB) non solo nel settore commerciale ma anche in quello scientifico, si è potuto individuare facilmente un componente a basso costo, compatto, robusto e affidabile. Il componente in questione è una scheda amplificatore audio Sure 200 W (Fig. 5) con tensione di alimentazione da 15 a 34 VDC e potenza massima in uscita 200 W su un'impedenza di 3 ohm. Dato il diverso valore di impedenza elettrica della sorgente individuata inizialmente (8 ohm), che riduce il valore della corrente, la potenza effettiva erogabile è risultata ridotta a circa 25 W con una alimentazione a 24 VDC mediante due batterie sigillate a piombo/acido, sufficienti comunque a condurre test in laboratorio. Per aumentare la potenza erogata si è quindi chiesto al produttore della sorgente di realizzarne una con doppia faccia di emissione e doppia bobina in parallelo, che comporta una riduzione da 8 ohm a 4 ohm dell'impedenza (Fig. 6).

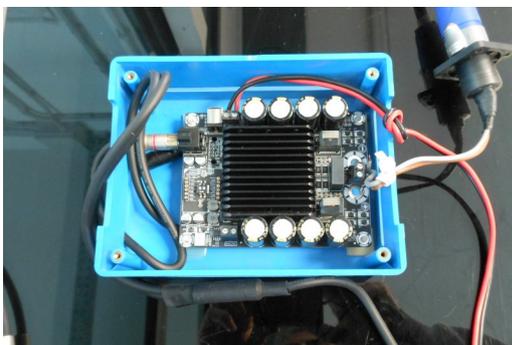


Fig. 5. Scheda amplificatore audio



Fig. 6. Confronto sorgente 200W (sin.) e 100W (ds.)



REGIONE
LAZIO



Una volta ottenuto questo nuovo modello di sorgente, la tensione di alimentazione è stata portata da 24 VDC a 36 VDC utilizzando un pacco batterie da tre unità 12 VDC 7 Ah, mantenendo pur sempre dimensioni totali del sistema entro quelle di una valigetta stagna per strumentazione scientifica di dimensioni standard. Per ovviare alla differenza in eccesso di tensione di alimentazione rispetto alla specifica della scheda si è fatto ricorso a un utilizzo non convenzionale di componenti elettronici (ponti raddrizzatori a diodi), ponendone in cascata un numero sufficiente tra il pacco batterie e la scheda in modo che la caduta sui diodi in conduzione fosse tale da mantenere la tensione alla scheda entro 34 VDC in condizioni di lavoro e con batterie completamente cariche. Inoltre la corrente che fluisce nel ramo di alimentazione è risultata essere tale da far lavorare i ponti di diodi, con specifica di corrente massima 35 A, entro le loro specifiche di massima dissipazione termica. Con questi accorgimenti la potenza totale erogata alla sorgente è risultata intorno a 100 W, valore che, unito alla caratteristica di sensibilità di trasmissione, permette di ottenere idonei livelli di pressione acustica per misurazioni in ambiente reale con condizioni di rumore tipiche.

Obiettivo 2. Metodo di misura innovativo per tarature sul campo

La scelta di una sorgente con coppia di facce di emissione contrapposte è andata di pari passo con la definizione di un nuovo metodo di misura che sfruttasse questa caratteristica per ovviare a una tipica limitazione in cui si incorre in ogni esperimento di trasmissione e ricezione di segnali acustici in bassa frequenza in ambiente marino. Questa limitazione, indicata con il termine "campo libero", discende dal fatto che la superficie libera dell'acqua in mare o in qualunque altro specchio d'acqua è quasi perfettamente riflettente per un'onda acustica che vi incida dal basso. Il rispetto delle condizioni di campo libero conduce inevitabilmente, per una geometria con un punto di trasmissione e uno di ricezione immersi in acqua, a non poter ridurre la profondità di immersione degli oggetti oltre un certo limite minimo determinato principalmente dalla frequenza dell'onda e dalla distanza tra sorgente e ricevitore. Il fenomeno fisico alla base di questa limitazione è l'interferenza tra l'onda trasmessa per via diretta e quella che arriva al ricevitore dopo aver subito una riflessione dalla superficie libera (Fig. 7), interferenza che può portare a ridurre o addirittura annullare completamente l'ampiezza del segnale ricevuto al variare della frequenza. A titolo di esempio, nel precedente progetto di ricerca si era trovato che la minima profondità di immersione per una frequenza di 200 Hz e una distanza sorgente/ricevitore di circa 7 m fosse di circa 10 m: tale profondità minima per una frequenza di 63 Hz (quella più bassa che si prevede di usare nel presente progetto) risulterebbe pari a circa 27 m, con conseguente aumento considerevole della complessità della logistica a bordo e un peggioramento della stabilità della distanza tra gli oggetti.

Queste considerazioni hanno portato alla definizione di una nuova geometria di emissione che anziché risentire degli effetti di campo libero ne sfrutti le proprietà al fine di massimizzare l'ampiezza del segnale al ricevitore per frequenze nell'intorno di un valore specifico (Fig. 8).

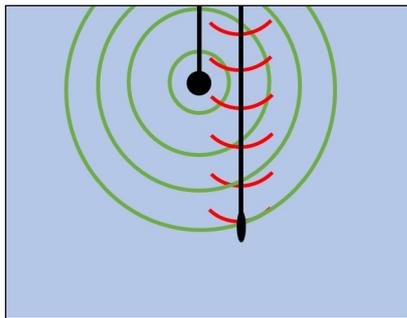


Fig. 7. Fenomeno di interferenza

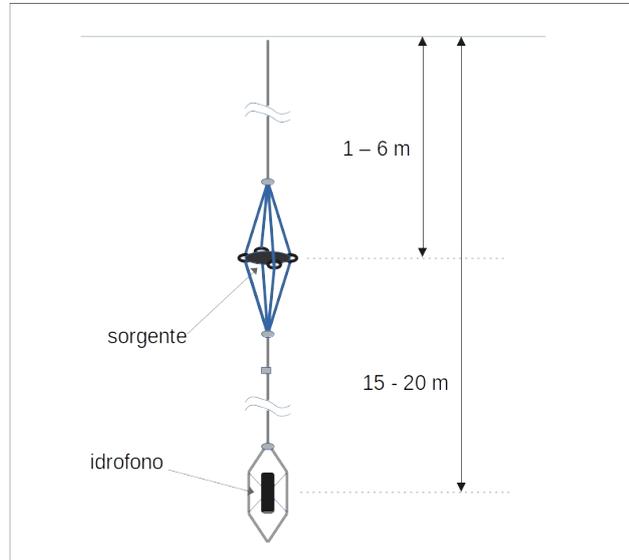


Fig. 8. Schema del nuovo sistema basato su interferenza

Nella nuova geometria il trasmettitore è immerso a una data profondità, di valore ridotto a soli pochi m, per la quale due onde trasmesse simultaneamente, una verso l'alto che subisca riflessione totale dalla superficie libera e l'altra verso il basso, possano ricongiungersi nello spazio sottostante la sorgente con interferenza costruttiva dando luogo a un'onda complessiva in fase, di ampiezza nominalmente doppia (ipotizzando riflessione perfetta e attenuazione trascurabile dovuta alla differenza di percorso). L'onda complessiva può essere rilevata dal ricevitore posto a una opportuna profondità dopo un determinato ritardo temporale, senza alcun requisito stringente sulla sua profondità. L'unica condizione che resta da rispettare è che il fondale non sia troppo vicino, tale da indurre una ulteriore riflessione verso l'alto con un conseguente aumento dei percorsi possibili verso il ricevitore e un conseguente aumento della complessità dello schema di interferenza complessiva. Tuttavia la condizione sulla profondità può essere soddisfatta in un lago anche solo di media grandezza: per scendere fino a 63 Hz bastano circa 50 m.

Il principale vantaggio di questo metodo è che la sorgente è posizionata a bassa profondità, con valore pari a un quarto della lunghezza d'onda (per una frequenza di 63 Hz in acqua tale valore è di poco meno di 6 m). Un ulteriore vantaggio, rilevante per mantenere semplice la realizzazione del metodo su un'imbarcazione non grande, è che esiste un unico punto di sospensione per sorgente e ricevitore. Dal punto di vista pratico, è opportuno che la sorgente sia immersa separatamente dal ricevitore alla minima distanza praticabile, così da poter regolarne la profondità di immersione in maniera indipendente al variare della frequenza dell'onda. Se la misurazione si prevede per un numero ristretto di punti in frequenza (nel caso della Direttiva Strategia Marina questi punti si possono ridurre a due) la variazione di profondità può essere condotta agevolmente, per valori compresi tra circa 6 m e circa un metro. Per frequenze superiori al kHz il metodo sopra descritto richiederebbe profondità di immersione della sorgente inferiori a mezzo metro, il che è scarsamente riproducibile nelle tipiche condizioni che si possono incontrare in ambiente aperto. Tuttavia la stessa geometria può essere mantenuta alla profondità maggiore tra

quelle impiegate (circa 6 m per 63 Hz), passando a trattare la sola onda diretta con direzione verso il basso e omettendo nell'analisi l'onda riflessa dalla superficie. In questo caso il ritardo temporale dell'onda riflessa dalla superficie è tale da poter usare la comune tecnica di "gating" temporale per isolare una porzione del segnale di durata sufficiente (almeno 4 cicli sinusoidali) ed escludere la porzione affetta da interferenza.

Obiettivo 3. Validazione dell'apparato e del metodo effettuata sul campo

Il sistema e il metodo descritti in precedenza sono stati validati sul campo in una campagna di misura al lago di Bracciano. Questo sito è stato scelto principalmente grazie alla sua profondità (circa 167 m) che consente di operare agevolmente in bassa frequenza senza riflessioni dal fondo, e grazie alla sua particolare silenziosità derivante dalle forti restrizioni alla navigazione e ad altre attività che possano generare rumore subacqueo. Per la presente sperimentazione il requisito di almeno 100 m di fondale, per operare a 63 Hz, è soddisfatto in un'ampia area posta a centro lago, tale da non richiedere particolare cura nel posizionamento (Fig. 9).

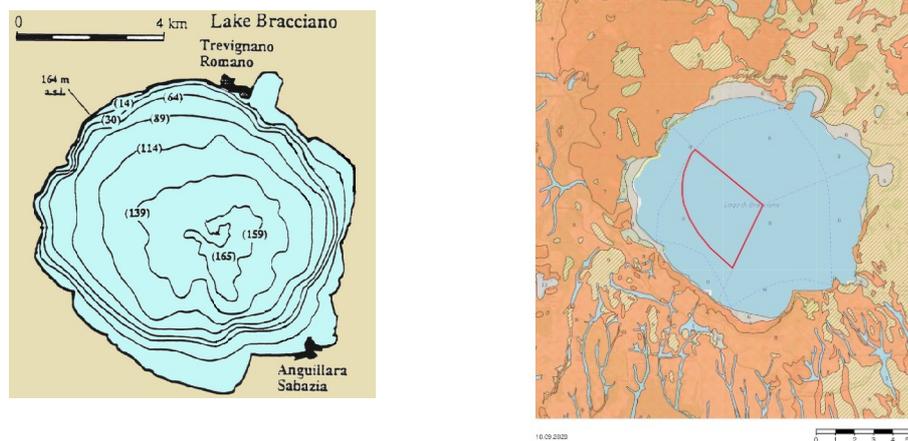


Fig. 9. Batimetria del lago di Bracciano (sin.) e area individuata per la sperimentazione (ds.)

Per la campagna ci si è avvalsi di una imbarcazione da lavoro (pontone) autorizzata ad operare nel lago e dotata di attrezzature per l'immissione e il recupero di dispositivi: per le sue caratteristiche si rimanda al cap. 3 "Macchinari e attrezzature".

La collocazione a bordo dell'apparato sperimentale e la gestione della posizione e della profondità della sorgente non hanno posto particolari problemi (Fig. 10-11). Le operazioni hanno beneficiato di condizioni meteo ottimali, con vento pressoché assente e superficie dell'acqua solo minimamente increspata.



Fig. 10 Apparato di trasmissione



Fig. 11 Punto di immersione della sorgente

Per ricevere i segnali trasmessi dalla sorgente si è impiegata una catena di ricezione tarata in dotazione ISPRA costituita da idrofono di riferimento preamplificato (Reson TC 4040 + preamplificatore VP1000) e da un registratore digitale portatile (TASCAM DR 100 Mk 3). Dell'intera catena di ricezione è noto il dato di taratura al variare del guadagno del preamplificatore: per $G = 32$ (valore utilizzato) si ha un valore di Scale Factor pari a 3185 Pa che corrisponde a una sensibilità equivalente pari a -190 dB re $1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$ (per il significato dei termini si rimanda alla documentazione del progetto UNAC-LOW, come da precedente riferimento [1]).

Le operazioni preliminari sono consistite nella realizzazione dell'ormeggio di sorgente e idrofono, effettuata subito prima dell'imbarco (Fig. 12-13).

La sorgente è stata sospesa e zavorrata usando dei tiranti per orientare la coppia di facce di emissione verso l'alto e verso il basso, così da produrre le corrispondenti onde che dopo la riflessione dalla superficie si ricombinino tra loro con interferenza costruttiva. L'idrofono è stato collocato in una gabbia di protezione mediante sospensione elastica per lo smorzamento delle vibrazioni indotte attraverso il cavo, orientandolo verso l'alto in modo da ricevere correttamente i segnali dalla sorgente.



Fig. 12. Ormeggio sorgente



Fig. 13. Ormeggio idrofono

Una volta raggiunto il centro lago, si è effettuata la misura del profilo di temperatura mediante sonda multiparametrica nei primi 14 m della colonna d'acqua. Dal profilo di temperatura si è rilevato un valore pressoché costante intorno a 11,0 °C con una leggera risalita a 11,2 °C negli ultimi 2-3 m. Da questi valori, combinati con quelli di salinità di 0,3 parti per mille e pressione idrostatica media di circa 1 bar, si è ottenuta una stima della velocità del suono media alle profondità di propagazione dei segnali acustici (tra 15 m e 3 m circa) pari a (1450 ± 1) m/s. Questo valore di velocità è stato usato per confermare le profondità di immersione della sorgente alle varie frequenze, riportate nella tabella seguente:

Frequenza / Hz	Profondità / m
63	5,75
125	2,90
250	1,45
500	0,72

I segnali inviati alla sorgente sono costituiti da pacchetti d'onde sinusoidali (ping) di durata 130 ms con ampiezza costante nella porzione centrale e transizioni a rampa iniziale e finale di durata 20 ms ciascuna. Per ciascuna frequenza sono inviati 10 ping ripetuti a distanza di un secondo, e ciascuna serie di 10 ping è stata ripetuta 4 volte per valutare media e dispersione dei risultati (Fig. 14).

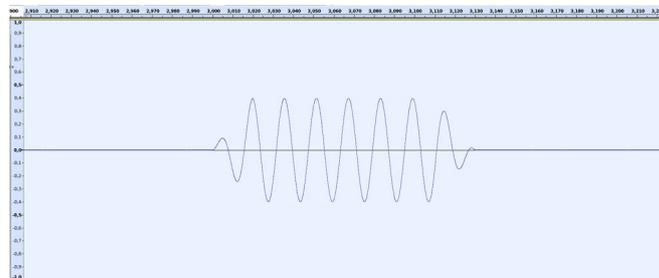


Fig. 14. Forma d'onda del pacchetto sinusoidale trasmesso ($f = 63$ Hz)

I segnali ricevuti dall'idrofono non filtrati mostrano una forte componente a bassissima frequenza di pochi Hz che maschera i segnali trasmessi. Questo disturbo è dovuto tipicamente a fenomeni naturali, per lo più moto ondoso e correnti interne con conseguenti oscillazioni che si propagano lungo il cavo. Per attenuare questo disturbo è sufficiente un filtraggio preliminare passa-alto a frequenza di 10 Hz (Fig. 15).

In aggiunta alle serie da 63 a 500 Hz, per le quali si è sfruttata l'interferenza costruttiva tra onda diretta e onda riflessa, sono stati anche inviate serie a frequenze comprese tra 1 kHz e 20 kHz con passo di 500 Hz. Per questi ultimi segnali si è utilizzata la profondità maggiore (5,75 m) e si è analizzata solo la porzione iniziale del segnale ricevuto che corrisponde al primo arrivo della sola onda diretta. Infatti a queste frequenze i percorsi acustici sono già di sufficiente lunghezza tali da

isolare un numero adeguato di cicli (almeno 4) prima che intervenga la riflessione dalla superficie. Dovendo analizzare la porzione iniziale, per questi segnali non si è adottato un transitorio di inizio a rampa.

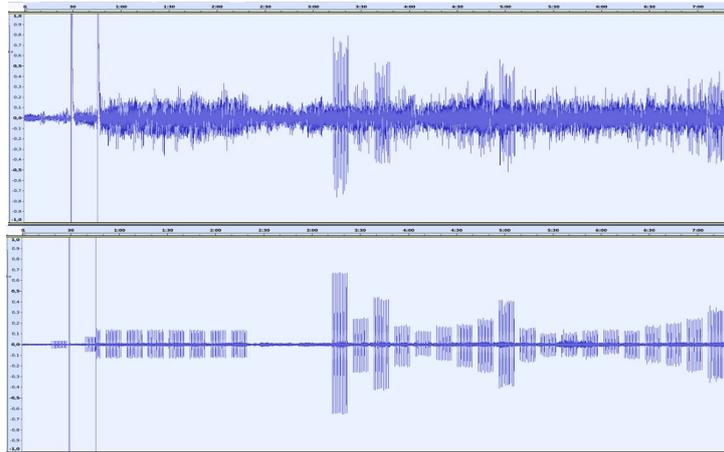


Fig. 15. Esempio di filtraggio passa-alto a 10 Hz: segnale prima (alto) e dopo (basso) il filtro.

Come risultato si è ottenuta la curva del livello di pressione acustica (Sound Pressure Level, SPL) generato dalla sorgente, attraverso il dato di taratura dell'idrofono di riferimento (Fig. 16). La curva conferma una fluttuazione del livello contenuta entro pochi dB fino a 125 Hz, con il solo punto a 63 Hz che differisce di circa 10 dB da quello a 500 Hz. Tale andamento costituisce il dato di partenza a partire dal quale è possibile tarare un secondo idrofono.

Il metodo descritto si configura quindi come un metodo di taratura mediante sorgente tarata a partire da un idrofono campione di riferimento. In alternativa, con lo stesso apparato è possibile implementare il tradizionale metodo del confronto senza necessità del dato di taratura della sorgente, collocando allo stesso tempo l'idrofono di riferimento e l'idrofono in esame in prossimità tra loro. In entrambi i casi si tratta di metodo in campo libero, dato che non intervengono riflessioni spurie oltre a quella dalla superficie libera che in realtà è parte integrante del segnale ricevuto.

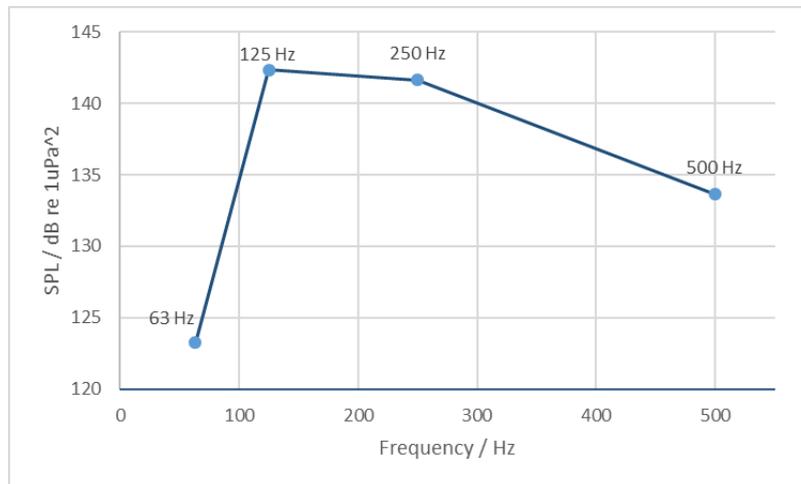


Fig. 16. Livello di pressione acustica (SPL) generato dalla sorgente per frequenze inferiori a 1 kHz

Come ulteriore risultato aggiuntivo rispetto a quelli previsti nel progetto, sono state effettuate registrazioni di durata complessiva di alcuni minuti in assenza di segnali trasmessi, per valutare il livello di rumore ambientale del lago nell'intera gamma di frequenze dell'apparato di ricezione che va da pochi Hz fino a 24 kHz (metà della frequenza di campionamento del registratore digitale, pari a 48 kHz). I file audio, dei quali è in corso l'analisi, evidenziano preliminarmente che il lago è estremamente silenzioso nell'intera banda, con valori molto al di sotto del minimo in ambiente marino (cosiddetto "sea state 0", con assenza di moto ondoso). Questo conferma che il lago è un ambiente privilegiato per l'esecuzione di misure acustiche per le più diverse applicazioni in un'ampia gamma di frequenze.



2. ATTUAZIONE DEL PROGETTO

Fasi e Attività Realizzative

- *Illustrare dettagliatamente le fasi del progetto;*
- *Descrivere approfonditamente le attività realizzate per ogni WP in cui l'intervento si è articolato;*

Il lavoro è stato articolato nei seguenti workpackage (WP) e attività (A):

WP 1: Progettazione e realizzazione del setup sperimentale

- A1.1: Progettazione dell'apparato sperimentale: definizione del metodo di misura e delle caratteristiche di sorgente, amplificatore di potenza, cavi, ormeggi

Sono state studiate le caratteristiche di diverse tipologie di sorgenti acustiche subacquee in bassa frequenza, e in particolare delle loro limitazioni ad operare sul campo. È stata individuata una sorgente di caratteristiche idonee per installazione in un setup sperimentale mobile e compatto per utilizzo su mezzi di superficie di dimensioni ridotte. È stato condotto uno studio dell'influenza sul funzionamento del sistema da parte delle riflessioni da superficie libera e della possibilità di loro sfruttamento in una configurazione in grado di ovviare alle consuete limitazioni imposte dalle condizioni di campo libero in bassa frequenza. È stato eseguito il calcolo dei parametri della geometria della configurazione in base alle grandezze fisiche coinvolte che permettono di ottenere il funzionamento previsto in termini di livelli di emissione in condizioni reali.

- A1.2: Ricerca di mercato e acquisto dei componenti dell'apparato sperimentale: sorgente, amplificatore di potenza, cavi, ormeggi

Sono stati condotti test di laboratorio per ottenere le caratteristiche di emissione della sorgente. Sono stati individuati miglioramenti nella realizzazione della sorgente in grado di sfruttare in maniera ottimale la configurazione dell'apparato sperimentale individuata nella attività A1.1, che hanno portato alla realizzazione di un modello migliorato con doppia faccia di emissione.

- A1.3: Assemblaggio dei componenti dell'apparato sperimentale

È stata realizzata una catena di trasmissione costituita da sorgente e amplificatore di potenza, e sono state verificate mediante test in vasca di laboratorio le caratteristiche di emissione e di durata dell'alimentazione a batterie. Le caratteristiche tecniche dei componenti sono descritte nel precedente capitolo 1.

WP 2: Validazione sul campo del setup sperimentale

- A2.1: Test preliminari di validazione dell'apparato sperimentale in laboratorio

L'apparato sperimentale è stato riprodotto in laboratorio riscaldando le frequenze in base



al rapporto delle lunghezze d'onda tra condizioni reali e condizioni di laboratorio, queste ultime dettate dalle dimensioni finite della vasca. Dato un rapporto di circa un fattore 10 tra le dimensioni caratteristiche dell'esperimento al lago e quelle dell'esperimento in vasca, le frequenze acustiche impiegate in questi test sono proporzionalmente moltiplicate per un pari fattore risultando comprese nell'intervallo tra 1 kHz e 10 kHz. A tal fine si è utilizzata una sorgente piezoelettrica con caratteristiche equivalenti in questa nuova gamma di frequenze. Attraverso questi test si è potuto validare l'efficacia del metodo di misura basato sullo sfruttamento dell'onda riflessa dalla superficie libera, variando opportunamente i parametri per riprodurre in ambiente controllato l'effetto di deviazioni casuali nella geometria reale rispetto a quella prevista.

- A2.2-A2.3: Campagna di validazione dell'apparato sperimentale in lago

(Nota: l'attività A2.2, inizialmente prevista al lago di Nemi, è confluita nella A2.3 svolta al lago di Bracciano in quanto è risultata sufficiente la validazione preventiva in scala di laboratorio condotta nell'attività A2.1)

La campagna di validazione è stata pianificata in dettaglio e con ampio anticipo partendo dalla definizione degli aspetti tecnici e contrattuali legati al contratto di noleggio del servizio di supporto logistico al lago di Bracciano con idonea imbarcazione da lavoro. Tra gli aspetti più rilevanti vi sono stati quelli legati all'obbligo di avere i permessi ad operare all'interno dell'area del Parco Regionale omonimo, partendo da uno screening di valutazione di incidenza specifica per cui è stato necessario avviare un iter amministrativo complesso e redigere una apposita relazione dettagliata. Nella relazione sono stati descritti l'area prevista di intervento, la modalità di svolgimento, e ogni possibile fattore di influenza legato all'ambiente protetto. A seguito dell'esito positivo dello screening da parte dell'Ente Parco, la Città Metropolitana di Roma il 24 ottobre 2023 ha rilasciato autorizzazione a svolgere le attività previste. Nel periodo successivo si è però riscontrata una crescente instabilità nelle condizioni meteo tale da dover rinviare più volte la data prevista per l'uscita, fino a inizio febbraio 2024.

Non appena confermate condizioni meteo favorevoli, la campagna è stata condotta con la partecipazione del coordinatore tecnico-scientifico del progetto, di un dipendente del soggetto beneficiario mandante Ispra, e del collaboratore che ha fruito dell'assegno di ricerca per l'intera durata del progetto. Durante la campagna, della durata di un giorno, le apparecchiature hanno funzionato regolarmente, le attività si sono svolte senza imprevisti e i dati raccolti sono stati confermati validi a un primo controllo di qualità. Successivamente, i dati sono stati analizzati e sono stati misurati i livelli dei segnali alle varie frequenze trasmesse, comprese tra 63 Hz e 10 kHz, nonché i livelli di rumore ambientale in assenza di trasmissione. In particolare, questi ultimi hanno confermato che in lago i livelli di rumore alle frequenze di interesse sono estremamente più bassi rispetto a quelli che si incontrano in ambiente marino, il che conferma che il lago è un ambiente privilegiato per l'esecuzione di tarature di strumentazione acustica e di misure acustiche in generale. Si rimanda al precedente capitolo 1 per maggiori dettagli tecnici sui risultati.



REGIONE
LAZIO



WP 3: Disseminazione dei risultati

- Attualmente è in corso la disseminazione dei risultati ottenuti nell'ambito dei seguenti altri progetti di ricerca nel settore dell'acustica subacquea nei quali sono coinvolti i soggetti partecipanti al presente progetto:
 - Progetto PRIN "Seamphonia" (CNR-ISMAR, CNR-INO, Università "La Sapienza", Roma, Università di Padova): utilizzo della sorgente Akuasound per installazione permanente in piattaforma d'altura in Adriatico per l'emissione di segnali acustici di riferimento;
 - Progetto Interregionale Italia-Croazia "Undersea" (capofila CNR-ISMAR): uso del metodo sviluppato nel presente progetto per la taratura di registratori autonomi subacquei da impiegare in una rete di monitoraggio del rumore ambientale marino nel Mar Adriatico.
- È inoltre in corso il coinvolgimento delle seguenti realtà in specifiche attività di diffusione:
 - Ditta Mausound produttrice della sorgente Akuasound: condivisione di dati sperimentali per il miglioramento del modello;
 - Società di servizi ambientali Hydra, fornitrice del supporto logistico per la sperimentazione al lago di Bracciano: definizione di una convenzione per offrire un servizio standard di supporto per tarature di idrofoni e registratori autonomi in bassa frequenza;
 - Ente Parco Regionale di Bracciano e Martignano: disseminazione dei risultati in ambito istituzionale;
 - Istituto nautico "Caboto", Gaeta: esperienza dimostrativa per studenti della taratura in lago di un registratore autonomo subacqueo; organizzazione di corsi di aggiornamento per docenti e di future iniziative didattiche;
 - Conferenze internazionali: previsto invio di abstract a IEEE Imeko MetroSea, ottobre 2024.
- *Evidenziare le Innovazioni/avanzamenti tecnologici prodotti dal progetto in relazione allo stato dell'arte della AdS di riferimento (con riguardo ai risultati finora ottenuti, trasferibilità dei risultati e impatto della ricerca sul contesto socioeconomico regionale)*

Il progetto ha portato a compimento lo studio, avviato con il precedente progetto UNAC-LOW, della fattibilità di realizzare nei laghi tarature di idrofoni e di strumentazione equivalente, come i registratori acustici subacquei, per le frequenze del monitoraggio del rumore ambientale marino dettate dalla Direttiva UE "Strategia Marina" a partire da 63 Hz in su. Il lago di Bracciano è stato scelto tra quelli esistenti nel territorio della Regione Lazio che hanno sufficiente profondità, e anzi permetterebbe di scendere ancora più in basso in frequenza se necessario (si fa presente che sono ben 4 i laghi nel Lazio idonei a tale scopo, in ordine di profondità: Albano, 168 m; Bracciano,



REGIONE
LAZIO



167 m; Bolsena, 150 m; Vico, 50 m). Inoltre questo lago ha favorevoli caratteristiche intrinseche (estensione, fondale poco riflettente), ambientali (attività umane ridotte al minimo, navigazione strettamente controllata), operative (presenza di infrastrutture per la mobilitazione e smobilitazione di natanti da lavoro). L'apparato sperimentale sviluppato nel progetto ha mostrato di essere di semplice utilizzo, e le modalità operative a bordo permettono a una squadra anche di solo 3 persone (più eventuale personale di condotta) di agire in totale sicurezza e ottenere risultati affidabili.

I risultati ottenuti mostrano che è da subito implementabile un servizio per la taratura di idrofoni in bassa frequenza al lago di Bracciano, servizio che ad oggi in tutta Europa è offerto con continuità solo da un laboratorio specializzato in UK e con metodi di misura che limitano le tipologie di strumenti che è possibile tarare. Si prevede che questo possa rappresentare una notevole opportunità per il contesto scientifico e imprenditoriale della Regione Lazio, che può proporsi come sito di elezione per servizi di questo tipo ad un'ampia platea di clienti e portatori d'interesse. Una conferma di tale previsione si potrà avere man mano che saranno portate a termine e avranno effetto le attività di disseminazione in corso.

- *Specificare se le fasi e le attività realizzative sono analoghe a quelle del progetto presentato.*

Le attività descritte qui sopra rispecchiano sostanzialmente lo schema del piano approvato. Rispetto a quello schema, il presente mostra una maggiore attenzione alla fase di progettazione e realizzazione del sistema (WP 1), che si è estesa temporalmente ben oltre i 12 mesi iniziali previsti. Date le caratteristiche innovative sia dei componenti impiegati sia del metodo di misura, la fase di validazione (WP 2) è anch'essa risultata di durata maggiore, includendo maggiori test in laboratorio delle soluzioni tecniche allo studio e potendo beneficiare dell'estensione temporale del progetto che è stata chiesta e ottenuta in due occasioni a ridosso della presentazione del SAL. La disseminazione dei risultati (WP 3) ha avuto inizio solo nelle ultime fasi ed è tuttora in corso dato che la sperimentazione sul campo si è potuta condurre solo in prossimità della scadenza del progetto, a causa di protrarsi di condizioni meteo avverse che hanno impedito per un tempo prolungato l'accesso al lago.

3. MACCHINARI E ATTREZZATURE

- *Descrizione delle attrezzature, macchinari e software utilizzati nel Progetto RSI e del loro utilizzo per il raggiungimento dei risultati del Progetto RSI.*

Per la sperimentazione in laboratorio si è utilizzata la vasca della sede secondaria dell'istituto di Ingegneria del Mare (INM) del CNR, situata presso l'Area della Ricerca di Roma Tor Vergata (v. fig. 17), con la sua dotazione di attrezzature che include diversi trasduttori e idrofoni di riferimento, grazie a cui è possibile realizzare varie configurazioni di esperimenti acustici. Ad esse si è aggiunta la sorgente "Akuasound" acquistata per le attività di progetto.



Fig. 17. Vasca del laboratorio di acustica subacquea CNR-INM di Roma Tor Vergata

Per la sperimentazione preliminare in vasca sono inoltre state utilizzate le seguenti apparecchiature in dotazione al soggetto partecipante ISPRA: catena idrofonica di riferimento costituita da idrofono preamplificato Reson TC4040 + preamplificatore VP1000, registratore digitale Tascam DR100 Mk3, sorgente "Akuasound" 100 W, scheda amplificatore audio Sure 200 W 3 ohm.

Per la sperimentazione sul campo al lago di Bracciano si è noleggiato come imbarcazione da lavoro un catamarano tipo "pontoon boat" da 7,5 m x 2,5 m della società Hydra Ricerche, munita delle autorizzazioni ad operare sul lago (v. fig. 18).



Fig. 18. Pontone Hydra Ricerche utilizzato per la sperimentazione al lago di Bracciano



REGIONE
LAZIO



4. VARIAZIONI

- *Descrivere eventuali variazioni intervenute rispetto al Progetto approvato e alla composizione delle Spese Ammesse nell'Atto di Impegno. (come previsto all'articolo 9 dell'Atto di impegno possono essere apportate modifiche compensative, fra le singole voci delle spese ammesse, nel limite del 10%). Indicare se tale variazione è stata presentata prima della richiesta di SAL e la pec di riscontro, o se è invece contestuale al SAL.*

Le sole variazioni di rilievo nella composizione delle spese sostenute hanno riguardato:

- la sorgente acustica (Akuasound) che è stata acquistata in sostituzione di quella prevista inizialmente nel progetto approvato (Lubell VC2C, Lubell Labs, Columbus Ohio, USA) conseguendo un notevole risparmio di spesa (poco più di 1000 euro a fronte di circa 8000); la riduzione delle spese per materiali ha interessato anche degli accessori (tubi e raccordi ad aria compressa), non più necessari con la nuova sorgente;
- le spese per le attività di diffusione dei risultati che sono state rinviate a data successiva al termine del progetto a causa del ritardo nell'eseguire la sperimentazione al lago, dovuto a fattori imprevisti (complessità nell'ottenere i permessi e condizioni meteo avverse).

Riguardo al cronoprogramma di svolgimento attività, sono state presentate richieste di proroghe riguardo a scadenza di SAL e di fine progetto, rispettivamente approvate il 01/04/2022 e 05/07/2023, con conseguente slittamento della data di fine progetto dal 15/04/2023 al 15/02/2024.



Rispetto al progetto approvato:

Sono emerse impreviste difficoltà operative		NO
Si sono manifestate impreviste evoluzioni di mercato		NO
Sono state realizzate soluzioni diverse dal piano approvato		NO

In caso di almeno una risposta affermativa specificare le cause e i prevedibili effetti sulla realizzazione del programma.

Non sono emerse difficoltà né imprevisti che abbiano portato a soluzioni realizzative diverse da quelle del piano approvato.

Al fine della liquidazione della Sovvenzione a Saldo concessa al progetto individuato in premessa, i sottoscritti Legali Rappresentanti dei Soggetti partecipanti

DICHIARANO CHE

- il progetto è stato realizzato secondo le modalità, l'articolazione temporale e i risultati precedentemente esposti;
- la realizzazione del progetto ha permesso il raggiungimento dei seguenti obiettivi finali relativi alla taratura di idrofoni in bassa frequenza :
 1. realizzazione di un apparato sperimentale basato su componenti innovativi;
 2. definizione di un metodo di misura innovativo;
 3. conferma del lago di Bracciano come esempio di sito idoneo all'esecuzione delle misure.

Luogo e data _____

(L.R. del Beneficiario Mandatario CNR-INM)

(L.R. del Beneficiario Mandante ISPRA)