



ATTIVITÀ T1.2

Prevenzione del rischio collisione con cetacei marini

Prodotto T1.2.2

Costruzione e installazione del sistema di rilevamento
dei mammiferi marini in tempo reale

Partner responsabile: UTLN

data di inizio e di fine: 01.04.2019-31.10.2022

Versione finale, 31.10.2022



Riepilogo

Introduzione.....	3
Implementazione dell'apprendimento AI BOMBYX.....	3
Apprendimento del sistema di rilevamento	5
Prestazioni del sistema di rilevamento	8
Dispiegamento di prova della boa nel 2021	14
Distribuzione di Bombyx2 nel 2022	15



Introduzione

Questo rapporto descrive la costruzione della boa, i cui componenti sono stati acquistati grazie al progetto GIAS e il suo apprendimento tramite intelligenza artificiale.

Bombyx2 ha un sistema di variazione della galleggiabilità che consente sia la registrazione a 20 m di profondità sia la trasmissione wireless dei dati in superficie una volta che la sua intelligenza artificiale ha rilevato fonti di interesse.

Ha un'autonomia stimata di 6 mesi. La sua trasmissione dei dati in tempo reale è necessaria poiché questa boa acustica fungerà da sistema di allerta per la presenza di capodogli e balenottere comuni, riducendo il rischio di collisione tramite la regolazione della velocità o la modifica della rotta.

L'antenna di un BombX è un array di 5 idrofoni che permette non solo di stimare l'azimut, ma anche l'elevazione e la distanza della sorgente acustica. Bombyx-2 è dotato di un microprocessore PIC32MZ abbinato alla scheda audio Qualilife HighBLue JASON, che consente la registrazione ad alta frequenza e calcoli integrati come il passaggio diretto della rete neurale convoluzionale (CNN), consumando poca energia.

Implementazione dell'apprendimento AI BOMBYX

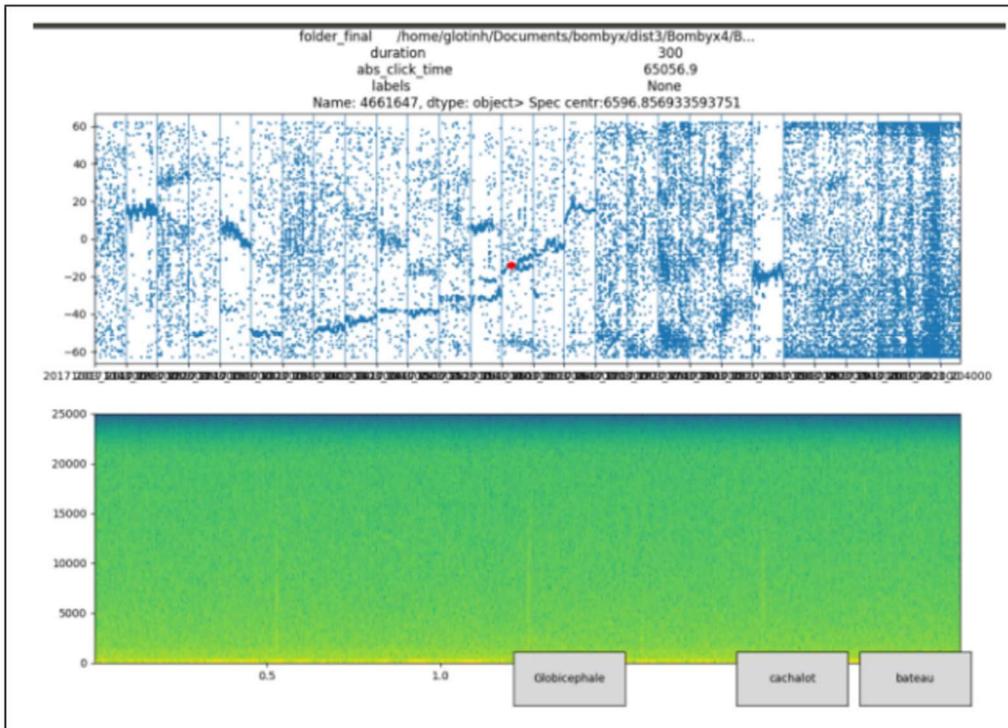
Per consentire un apprendimento AI efficiente tra la grande quantità di record, abbiamo sviluppato un'interfaccia personalizzata. Questa interfaccia si basa innanzitutto su un rilevatore di clic ad alto richiamo ma a bassa precisione. Applicando un operatore energetico Teager Kaiser al segnale dopo un filtro passa-banda centrato a 12,5 kHz, vengono rilevati la maggior parte dei clic del capodoglio, tra gli altri impulsi acustici come i clic del globicefalo, i rumori del motore e altri. Abbiamo quindi calcolato il TDoA di questi impulsi rilevati tra i due idrofoni.

Il grafico a dispersione dei TDoA nel tempo aiuta a identificare le emissioni acustiche in movimento. Tale interfaccia consente di sfogliare 10 ore di segnale con una sola occhiata, identificando facilmente qualsiasi potenziale trasmettitore acustico mobile, quali sono generalmente i capodogli. Per poi distinguere i

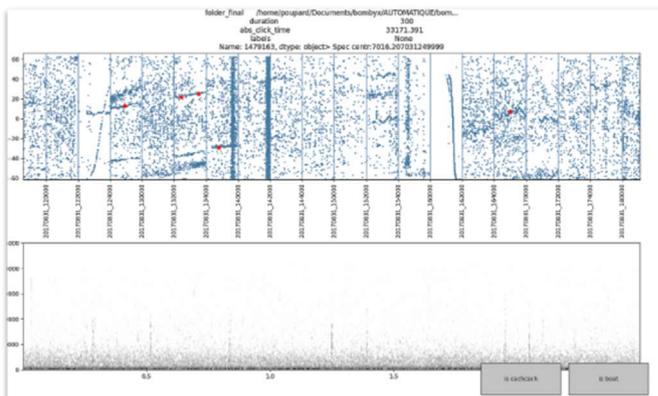


capodogli da altri trasmettitori acustici mobili (barche o globicefali), la nostra interfaccia permette di selezionare un impulso rilevato, e di tracciare lo spettrogramma del suo segnale circostante oltre che di ascoltarlo.

Questa interfaccia ha permesso la costruzione di un dataset composto da 2312 campioni di capodoglio, 154 campioni di globicefalo (G. m.) e 3087 campioni di rumore. Ciascuno di essi appartiene a singole tracce. Da quel momento in poi, siamo stati in grado di implementare l'intelligenza artificiale ottimizzata di BOMBYX che differenzia i clic del globicefalo dai clic del capodoglio.



Interface d'annotation de clicks



Antenne stéréo Bombyx 1

Recording year	Sperm whale	Boat / Noise	Total
2015	48%	52%	256
2016	75%	23%	1,383
Test 2017	32%	67%	1,363
2018	28%	68%	2,552
Total	42%	55%	5,554

Figura: interfacce di annotazione per costruire la base di apprendimento Bombyx2



In questa interfaccia, il tempo di arrivo (TDoA) di ogni clic viene rilevato in funzione del tempo. In basso, lo spettrogramma del suono che circonda il click selezionato (in rosso). I 3 pulsanti vengono utilizzati per annotare il clic selezionato come capodoglio, balena pilota o rumore. tempo,

I dati raccolti e annotati durante Bombyx-1 sono stati utilizzati per ottimizzare un sistema di rilevamento analogico e per addestrare una rete neurale convoluzionale per il rilevamento di capodogli e balenottere comuni.

Il sistema di rilevamento analogico utilizza filtri passa-banda e passa-basso per confrontare l'energia al di sopra di 8 kHz con il livello del rumore di fondo. I picchi di energia ad alta frequenza vengono quindi rilevati come potenziali clic del capodoglio. La durata e la periodicità dei picchi vengono verificate rispetto a possibili intervalli per i clic del capodoglio utilizzando una macchina a stati. Questo sistema di rilevamento analogico ha mostrato un'area sotto la curva ROC del 75% sui dati annotati.

Apprendimento del sistema di rilevamento

Tutti gli idrofoni sono puntati nella stessa direzione (verso il basso), consentendo al metodo della differenza di fase di dedurre la posizione tridimensionale della sorgente acustica ad ogni clic. Occorre poi integrare le posizioni dedotte su diverse decine di click permettendo una stima più robusta. La boa salirà quindi in superficie e trasmetterà via 4G al nostro laboratorio i tempi di arrivo registrati e i segnali campionati.

Dopo la verifica umana, fino a quando non sarà convalidata la robustezza del sistema, verranno trasmessi alle autorità avvisi per la presenza di capodogli o balenottere comuni e verranno prese misure per ridurre al minimo il rischio di collisione.

È stata progettata una rete a bassa complessità di circa 10.000 parametri, con un'interfaccia Mel-Spectrum seguita da 3 livelli di convoluzione profonda di 64 caratteristiche ciascuno. Il modello ha mostrato una performance del 98% AUC sul training set e del 92% AUC sul test set dopo la convalida.

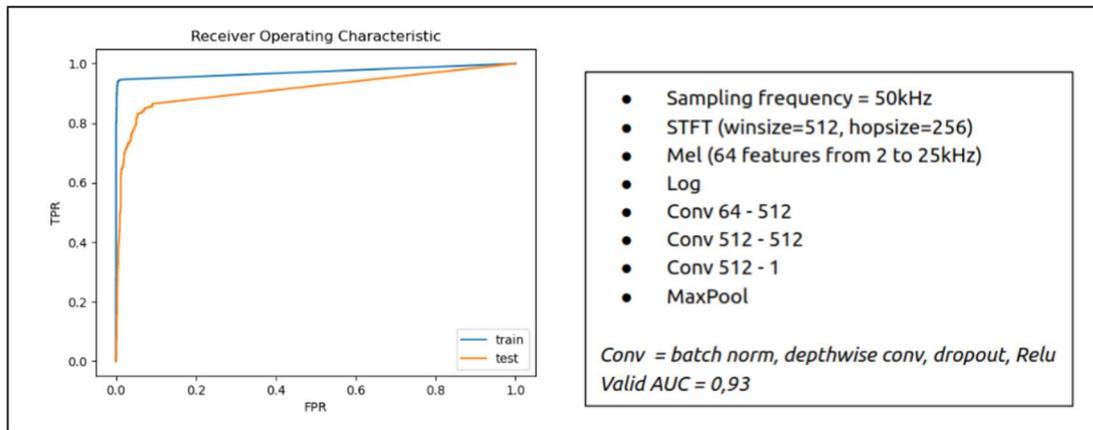
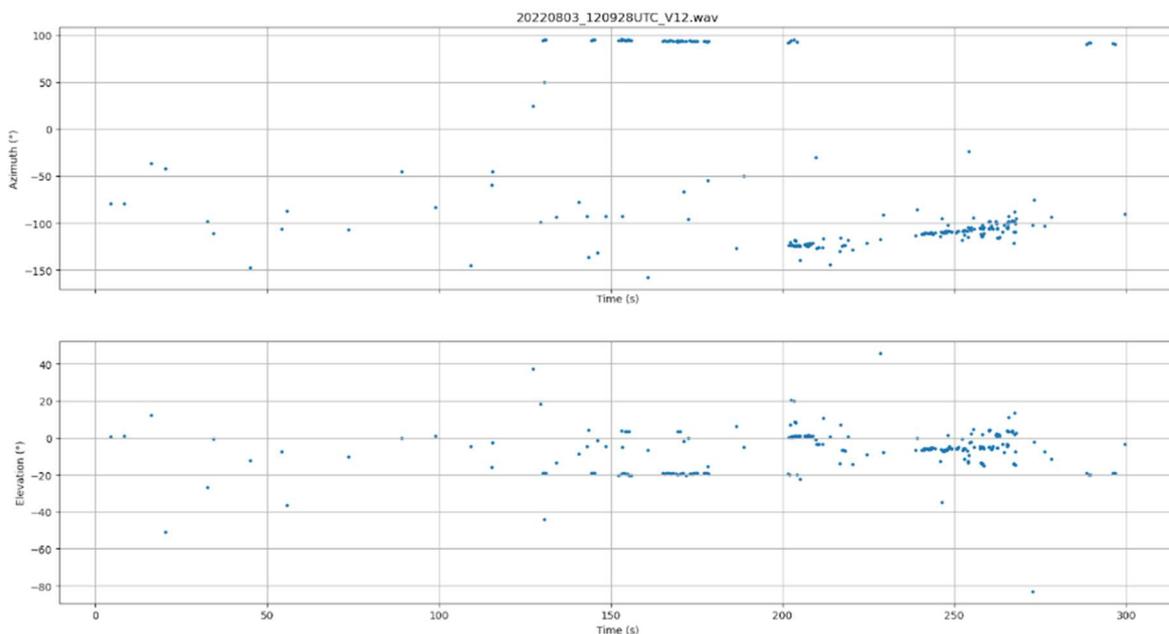


Figura: curva ROC sinistra del classificatore binario CNN del capodoglio, topologia CNN destra.

La tipologia di rete è riportata sotto. L'apprendimento è in apprendimento attivo con passaggi da controllo di esperti umani. Le convoluzioni della rete sono per blocco al fine di ottimizzare i tempi e il consumo dei calcoli AI di bordo.





Détection par réseaux de neurones

- Robustesse aux perturbations variées
- Apprentissage automatique par l'exemple
- Comment rassembler les données d'entraînement ?
- Comment réduire le coût énergétique ?

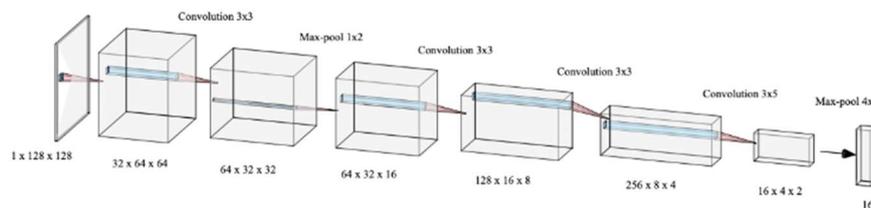
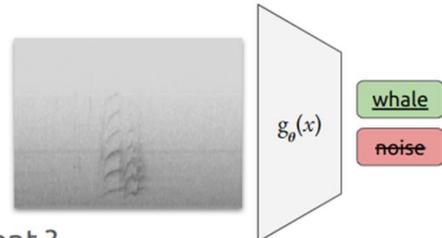
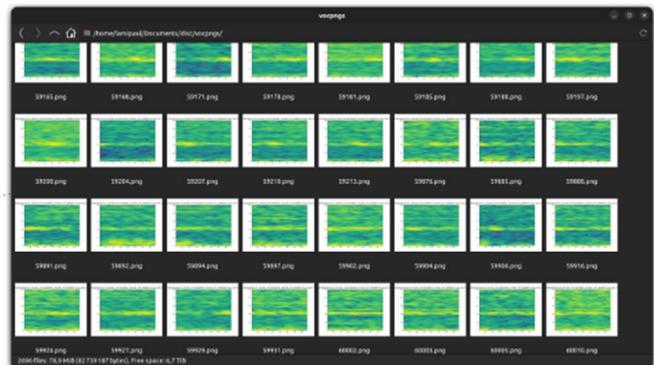
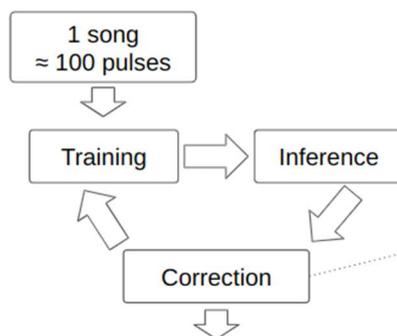


Figura: Topologia e costruzione della rete neurale della boa Bombyx2

Apprentissage de reconnaissance automatique des pulses de rorqual



Data Source	Positives	Negatives	Total
1999	15%	85%	688
2008-2009	9%	91%	4,528
2015-2018	49%	51%	574
Total	14%	86%	5,790

Figura: Addestramento della rete neurale mediante apprendimento attivo, l'esperto controlla i modelli

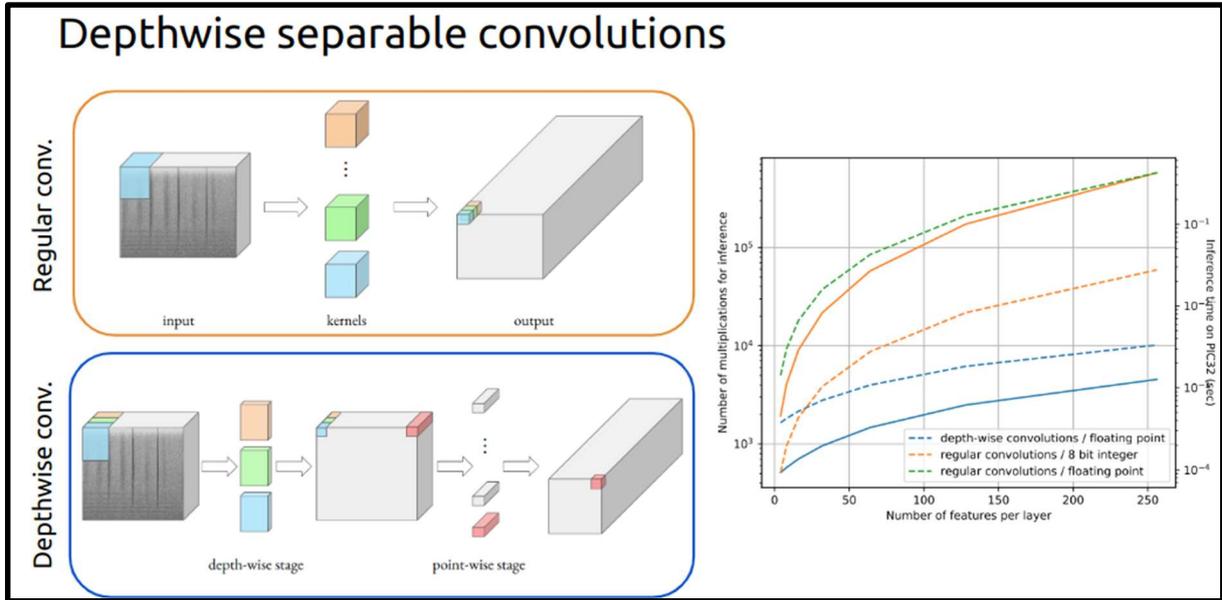


Figura: implementazione efficiente dell'IA per blocco di convoluzione



Prestazioni del sistema di rilevamento

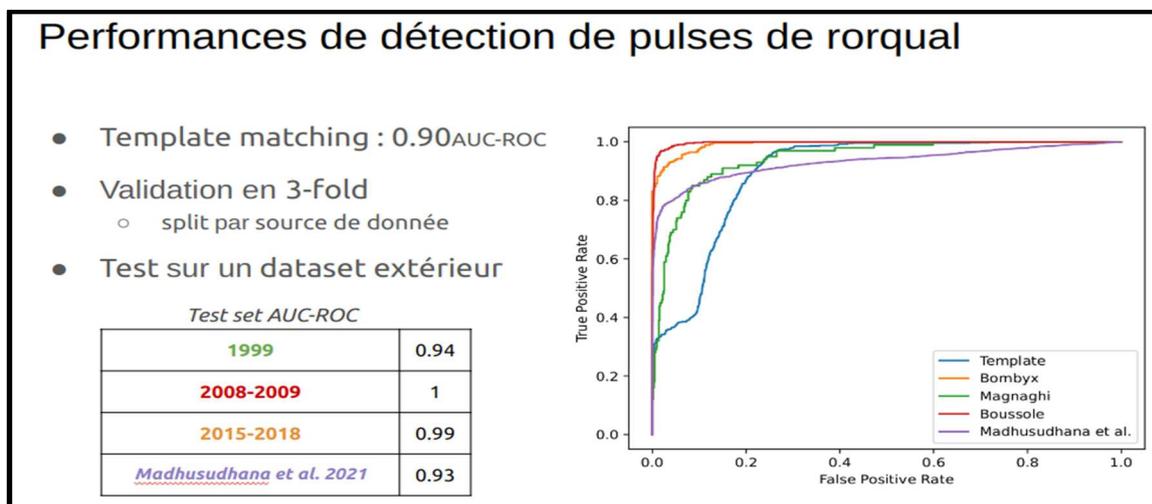
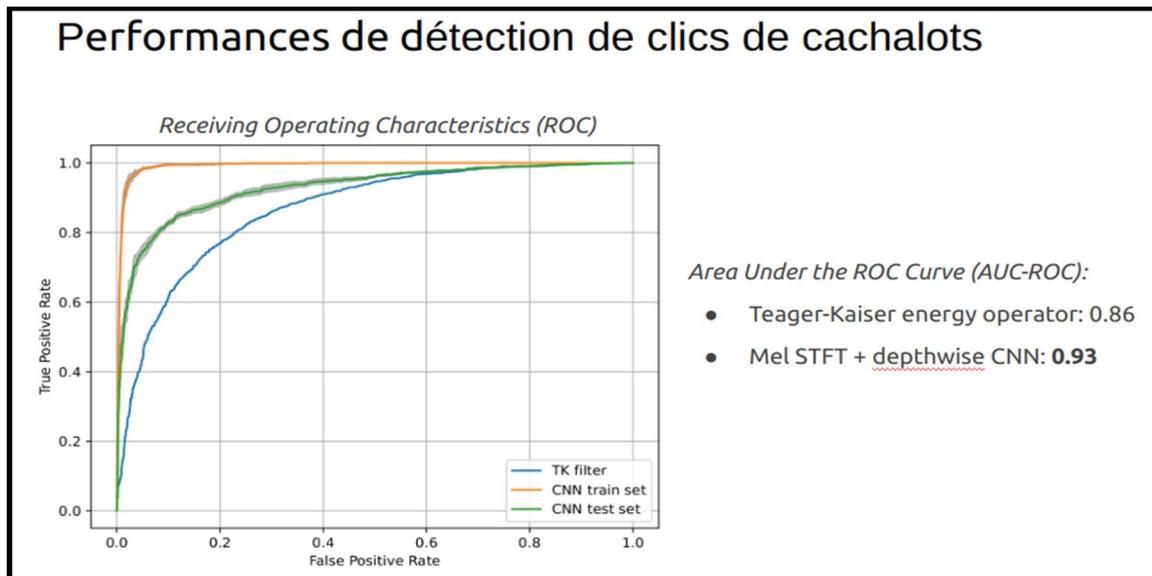


Figure: Qualificazione delle reti neurali costruite per Bombyx2, capodogli superiori, balenottere inferiori.

Abbiamo qualificato il costruire e testare gli algoritmi AI di Bombyx2, mostrando misurazioni AI in tempo reale a bordo (sopra) che sono eccellenti. Inoltre, i risultati sono in tempo reale.

Déploiement sur le micro-contrôleur

- PIC32-MZ : microcontrôleur basse consommation
- Portage de l'inférence en language C
- L'inférence du CNN prend 4 secondes

Target signal	Sperm whale clicks	20 Hz fin whale pulse
Signal length (sec)	10	60
Sampling frequency (Hz)	64,000	4,000
FFT window length	512	4096
FFT hop size	256	256
Mel bands	64	64
Mel start (Hz)	2,000	0
Mel end (Hz)	25,000	100
Signal loading (sec)	1	5
Spectrogram computation (sec)	12	26
CNN inference (sec)	4	4





Figura: costruzione e test degli algoritmi IA di Bombyx2, che mostrano le misurazioni IA incorporate in tempo reale

Costruzione della boa: installazione della scheda audio con AI a bordo

I passi successivi sono consistiti nel costruire gli elementi secondo i piani del rapporto T121 e garantire una bassa interferenza tra la scheda audio e gli strumenti di controllo della boa stessa. Di seguito presentiamo gli elementi e il bassissimo livello di rumorosità della scheda in funzione, che consentirà il corretto funzionamento delle misurazioni in mare.



Figura: La scheda JASON QHB sviluppata per BOMBYX2

ORIENTATION OF AXES (IMU)

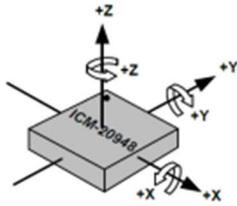


Figure 12. Orientation of Axes of Sensitivity and Polarity of Rotation

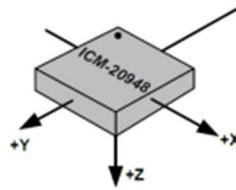


Figure 13. Orientation of Axes of Sensitivity for Magnetometer

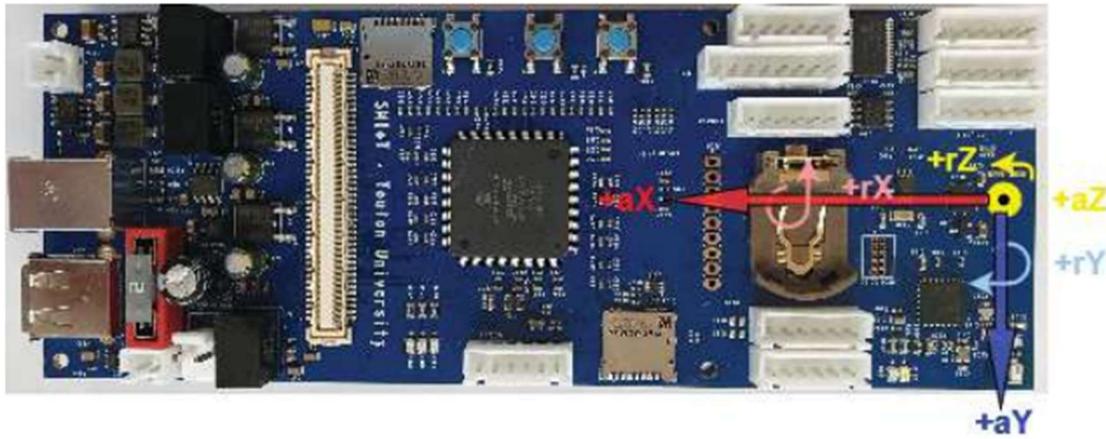


Figura: La scheda audio QHB e le sue azioni di misurazione in 3D

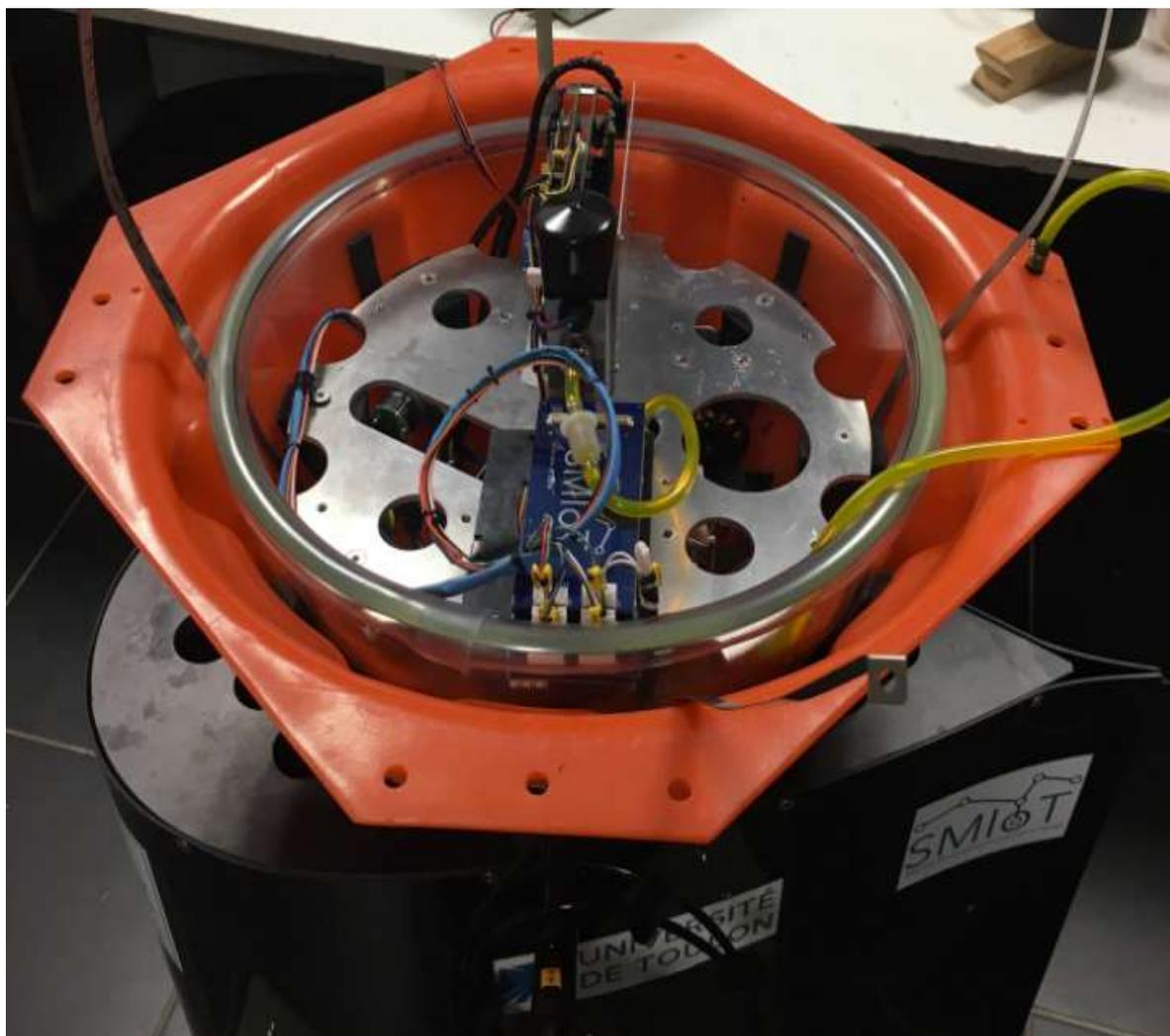


Figura: installazione della scheda QHB in una delle boe Bombyx

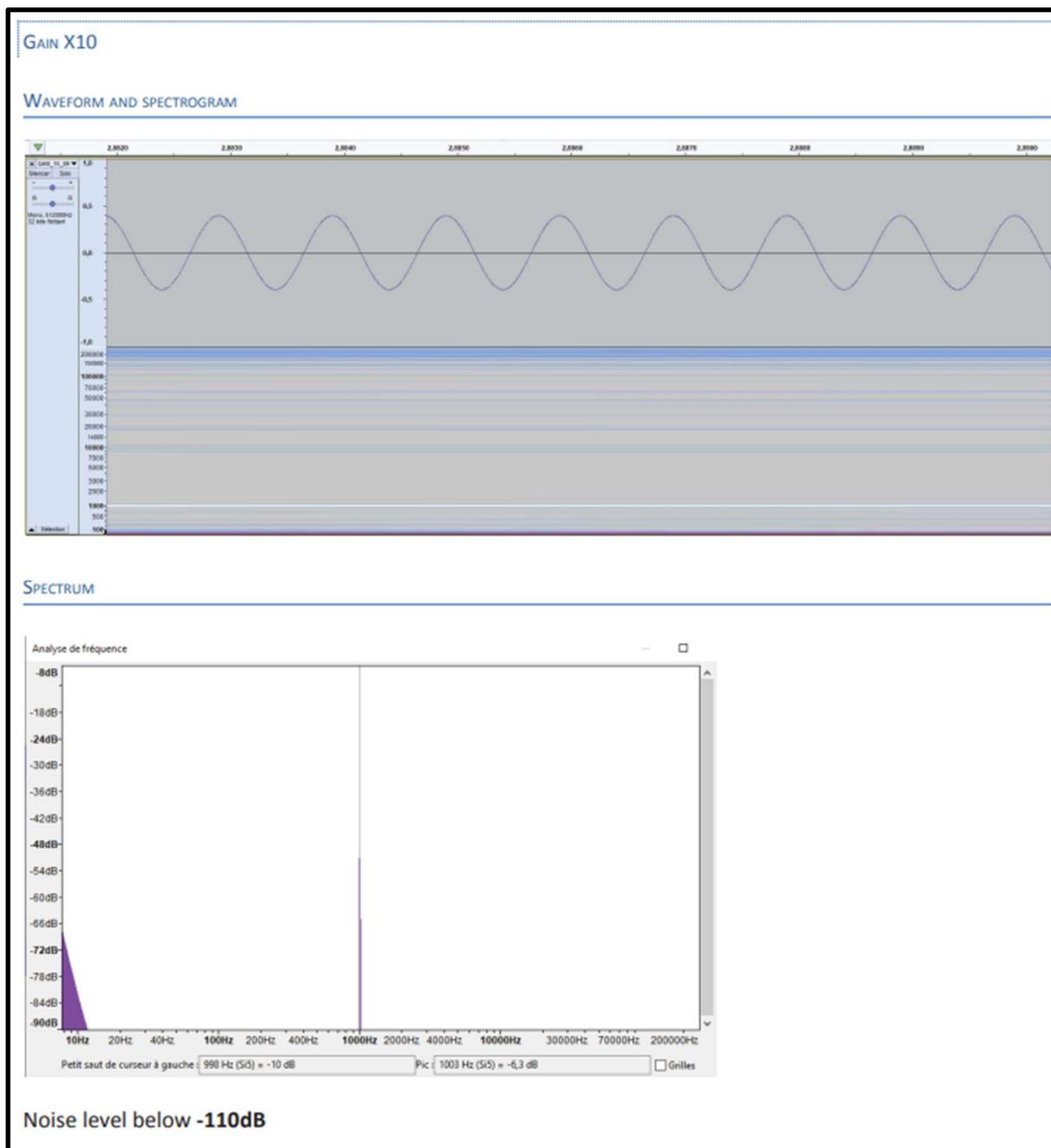


Figura: test della scheda QHB che mostra un livello di rumore inferiore a -110 dB

Dispiegamento di prova della boa nel 2021

Bombyx2 è stato testato per la prima volta nel maggio 2021 a Hyères, alla presenza dell'Ammiragliato/Prefettura marittima come mostrato nelle due figure sottostanti, con successo.

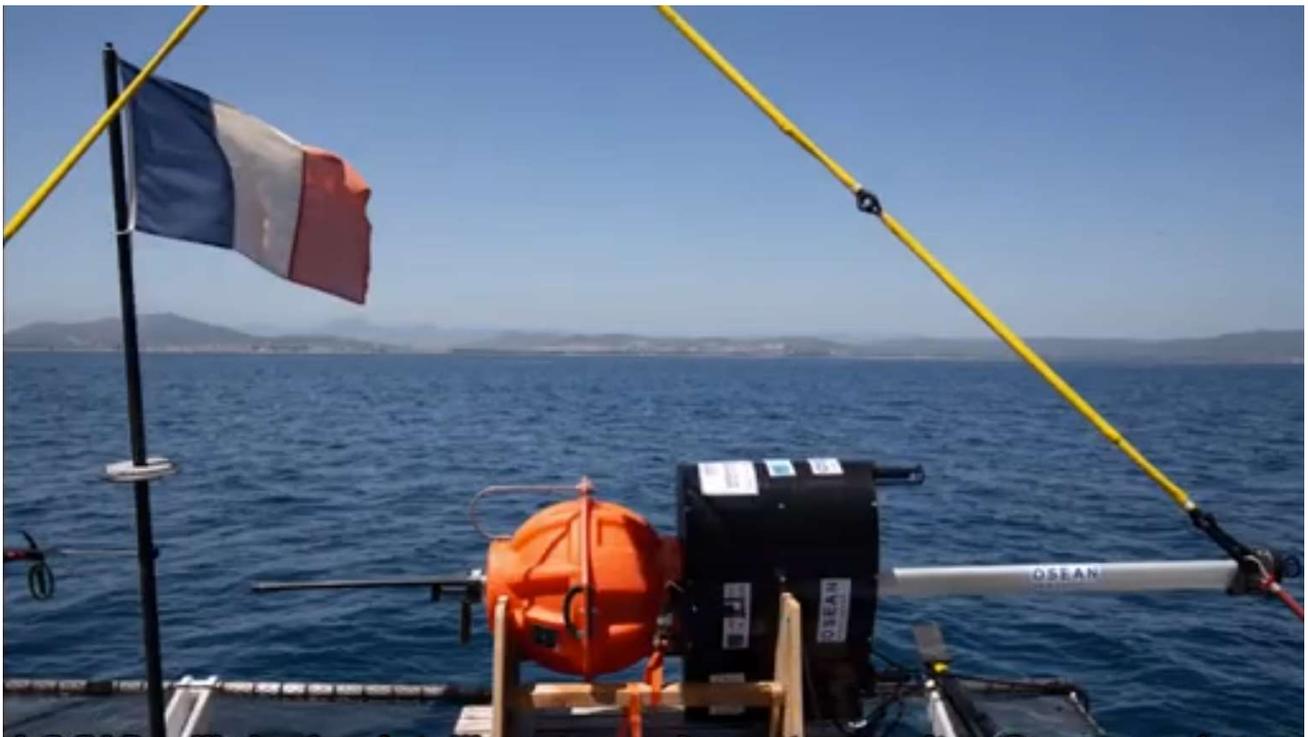


Figura: fase di test della boa nel maggio 2021 a Hyères

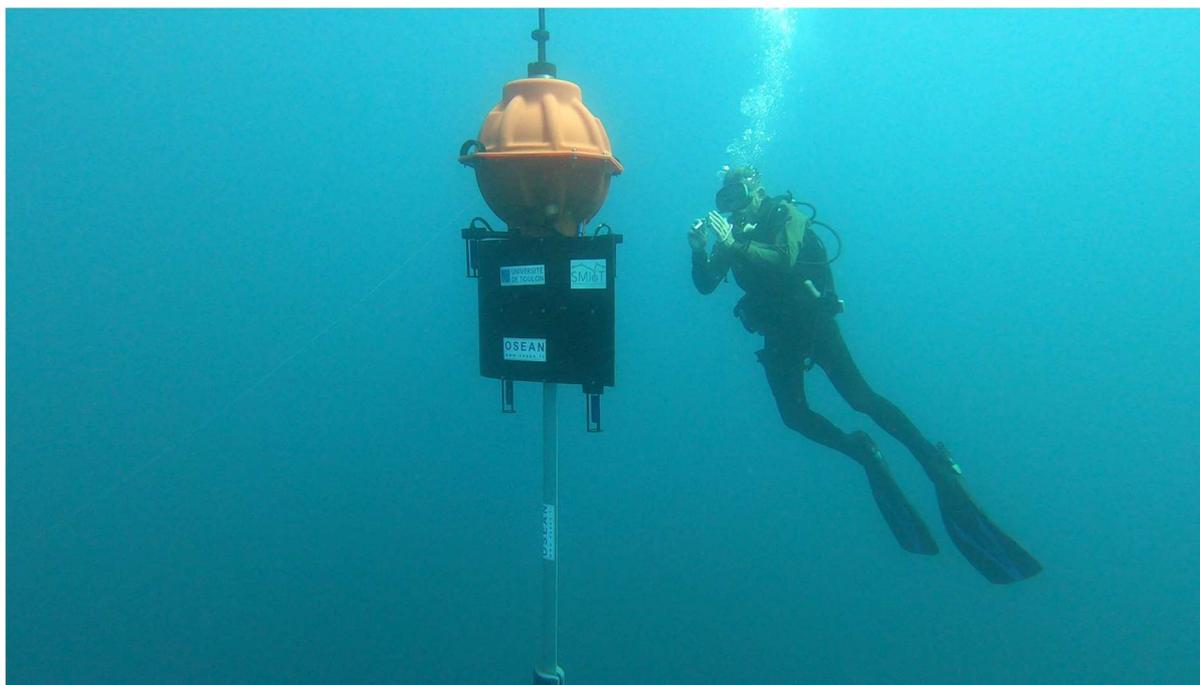


Figura La boa Bombyx2. Il subacqueo F. Sarano testa i 5 idrofoni durante la fase di test di maggio 2021. Estratto dal video <http://sabiiod.lis-lab.fr/pub/BOMBYX2/videos/GH010484.MP4>

Questi test hanno dimostrato la buona tenuta di mare di Bombyx. Da quel momento in poi abbiamo lavorato sulla posa finale come mostrato nella sezione successiva.

Distribuzione di Bombyx2 nel 2022

Dall'estate del 2022, questo sistema è stato schierato con le prime 2 boe a Monaco. In effetti, il sindacato della pesca di Cap Martin ha successivamente richiesto vincoli non compatibili con il funzionamento di Bombyx2. Anche la seconda boa Bombyx sta ruotando con la prima boa come mostrato sulla mappa.

Questa configurazione ha un grande interesse per il miglioramento dell'apprendimento della boa da parte dell'IA a bordo. Infatti le misure congiunte di due boe consentono da un lato una manutenzione a rotazione di manutenzione più rapida per il cambio delle batterie e un miglioramento di una boa quando un'altra è in acqua.

Il dispiegamento è quindi congiunto con le due boe in funzione contemporaneamente. Vale a dire che gli angoli di arrivo delle sorgenti in azimut, stimati dalle boe B1 e B2, vengono incrociati per stimare la posizione della sorgente come verrà presentato nel rapporto T123.

EssereSto mostrando la posa

= http://sabiod.lis-lab.fr/pub/BOMBYX2/MONACO_2022-07/bombyx2_Monaco_CapMartin_aout_2022b.mp4

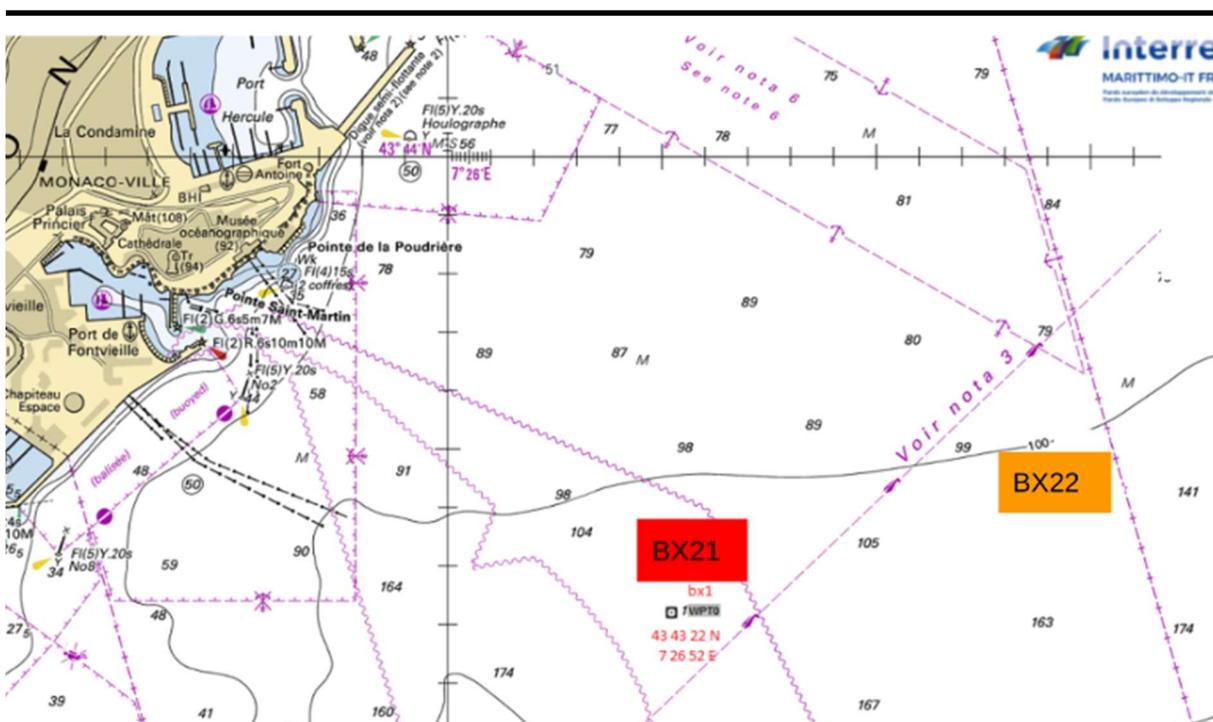


Figura: posizione delle boe Bombyx2: il cadavere è posto a -100m,

BX21 a 43°43'22"N 7°26'52"E e BX22 ½ miglio a est.

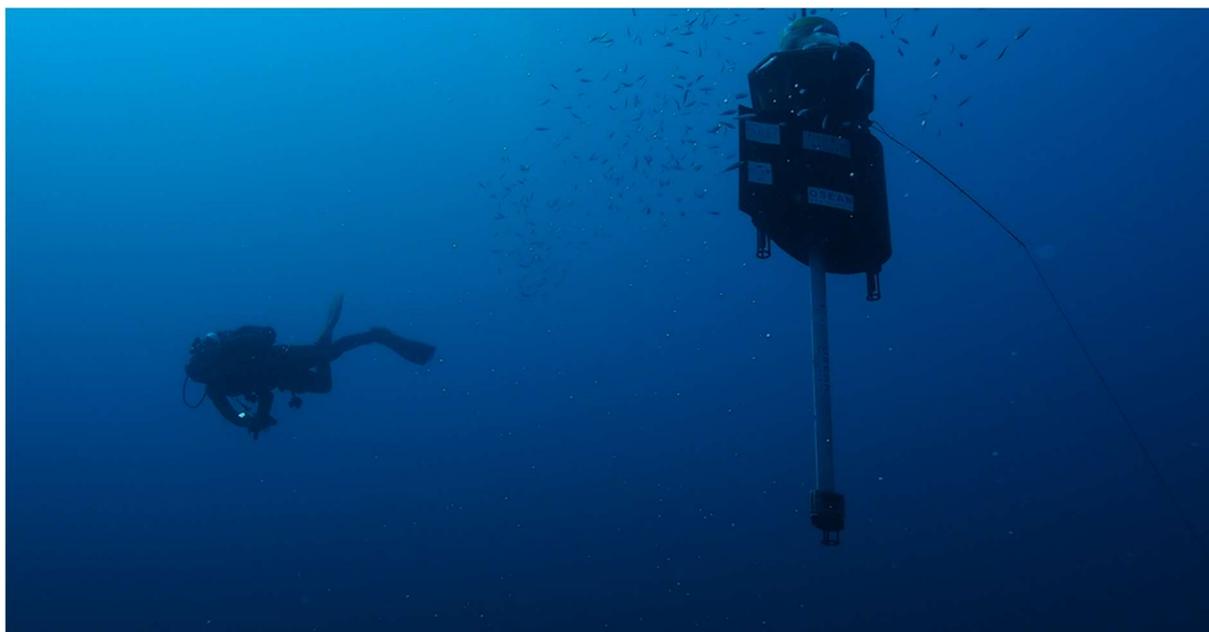


Figura: installazione di Bombyx2 da parte del team di Vincent Gaglio, capo del team di sommozzatori



Figura: installazione di Bombyx2 da parte del team di Vincent Gaglio, capo del team di sommozzatori

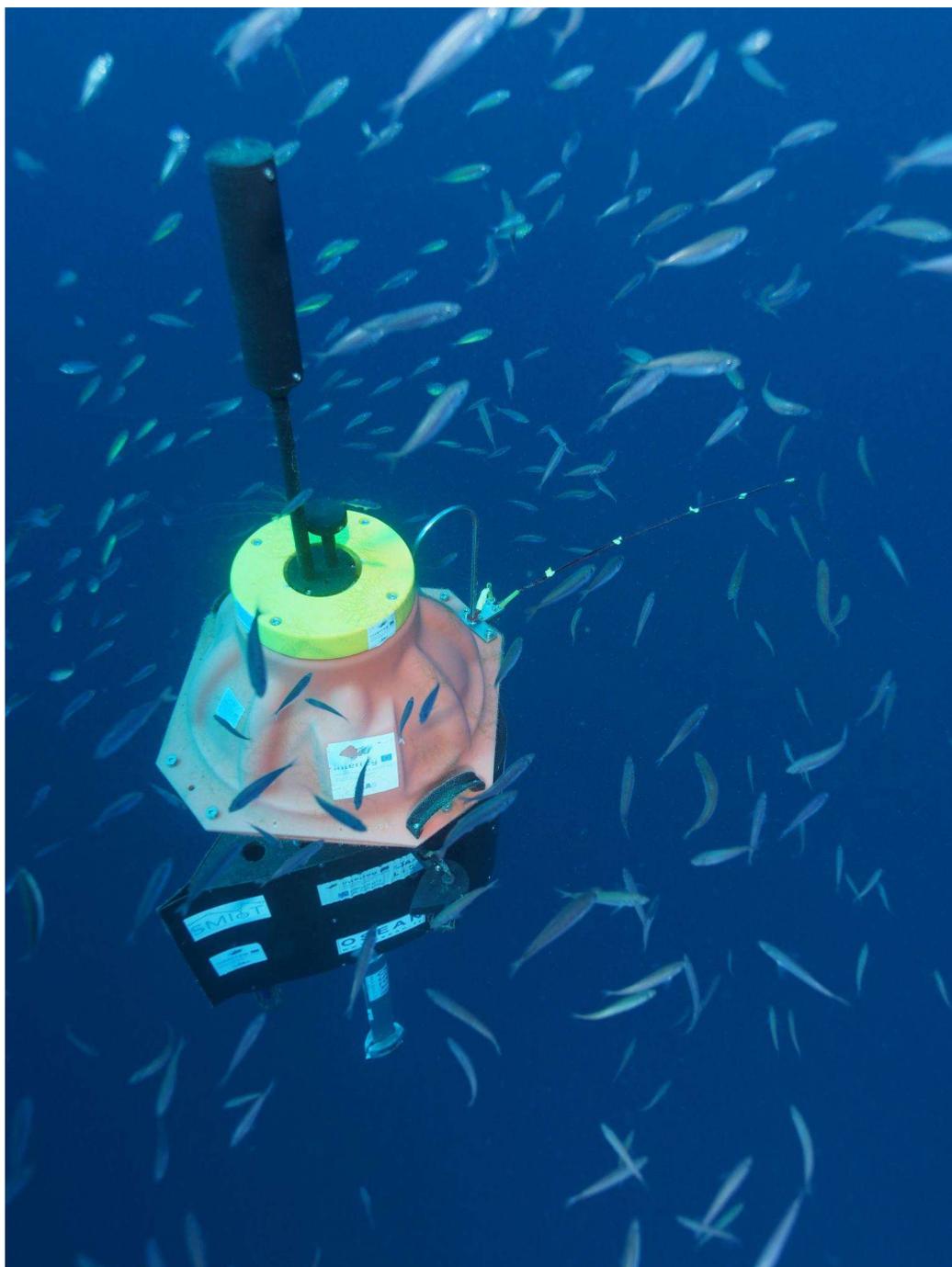


Figura: installazione di Bombyx2 da parte del team di Vincent Gaglio, capo del team di sommozzatori