

Tecnologie per la comunicazione e la localizzazione sottomarina

Massimo Caccia

22 Luglio 2019 - ore 15.00

Ambiente sottomarino

Le onde elettromagnetiche non si propagano in ambiente sottomarino

- NO wi-fi
- NO radio
- NO GNSS



Le comunicazioni e la navigazione (localizzazione) sottomarine avvengono tramite onde acustiche

- modem acustici
- sistemi di posizionamento acustici
 - Long BaseLine
 - Short BaseLine
 - UltraShort BaseLine
- **dispositivi combinati di posizionamento e comunicazione**
- orologi atomici e nuove sfide tecnologiche

Idroacustica

Onde acustiche subacquee: tra i 10 Hz e 1.5 MHz

La propagazione delle onde acustiche in acqua al di sotto dei 10 Hz non è possibile

Le onde acustiche a frequenza maggiore di 1 MHz sono assorbite molto rapidamente e, in ogni caso, vengono riflesse da bolle e particelle

Lunghezza d'onda:

- circa 1.5 cm a 100 KHz e 1.5 mm a 1 MHz

Velocità del suono in un fluido

$$v = \alpha \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

v : *velocità del suono*

E : *elasticità* $[N / m^2]$

ρ : *densità* $[N / m^3]$

La velocità del suono in acqua cresce con la pressione, la temperatura e la salinità.

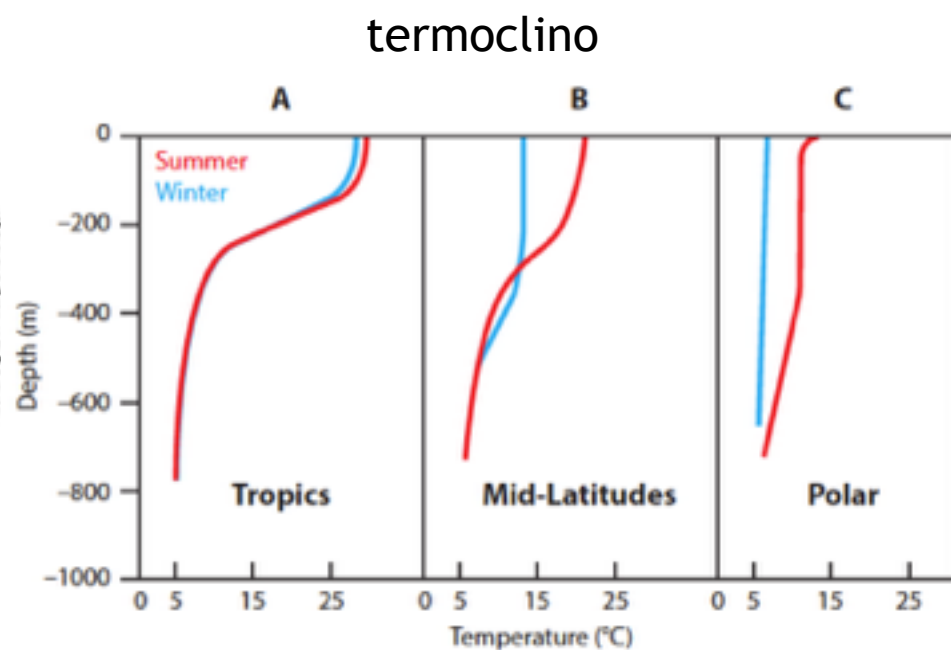
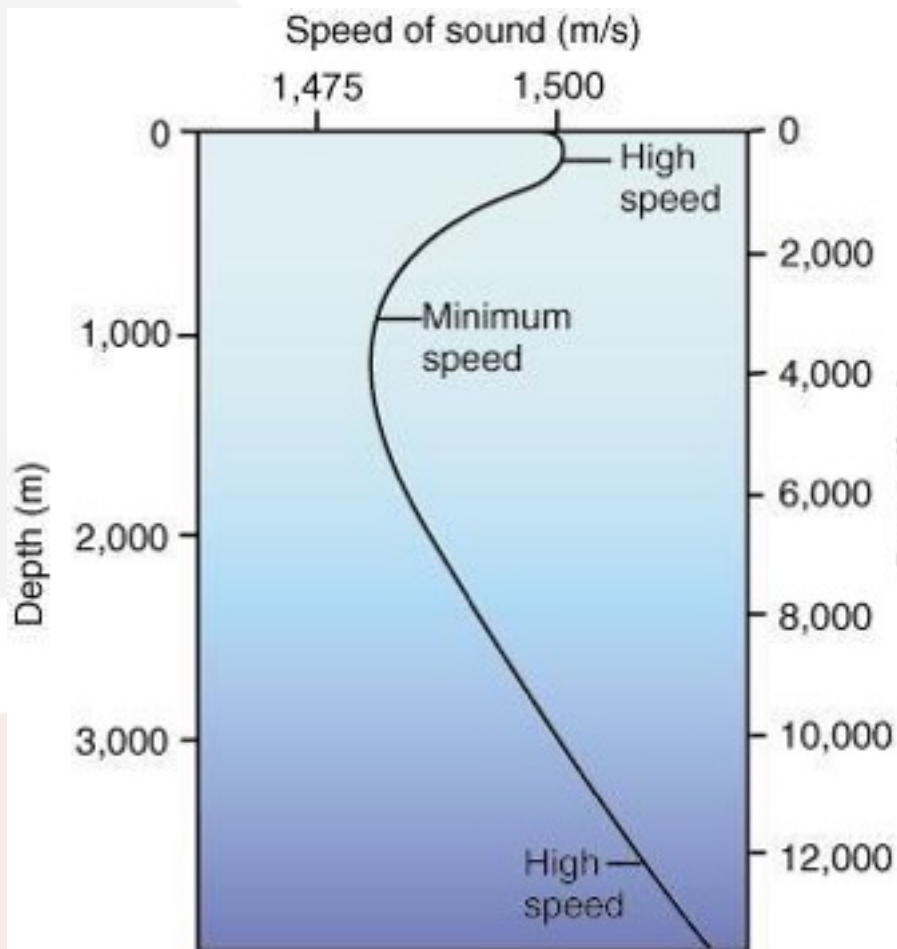
Formula di Wilson

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016z$$

La velocità del suono in acqua è circa 1500 m/s:

- per inviare un segnale a 200m e ricevere l'eco occorre aspettare più di un quarto di secondo
- per attendere che il segnale si smorzi e non si sovrapponga al successivo occorre aspettare almeno mezzo secondo

Temperatura, velocità del suono e profondità



circa 0.67 ms per percorrere 1m

Criticità della comunicazione subacquea

- propagazione multi-path
- canale di propagazione tempo variante
- ridotta larghezza di banda
- forte attenuazione di segnale
 - coefficiente di attenuazione proporzionale al quadrato della frequenza

$$I = I_0 \cdot e^{-a \cdot R}$$

- velocità di trasmissione dati
 - dell'ordine dei 10 Kbit/s

Velocità di trasmissione dati

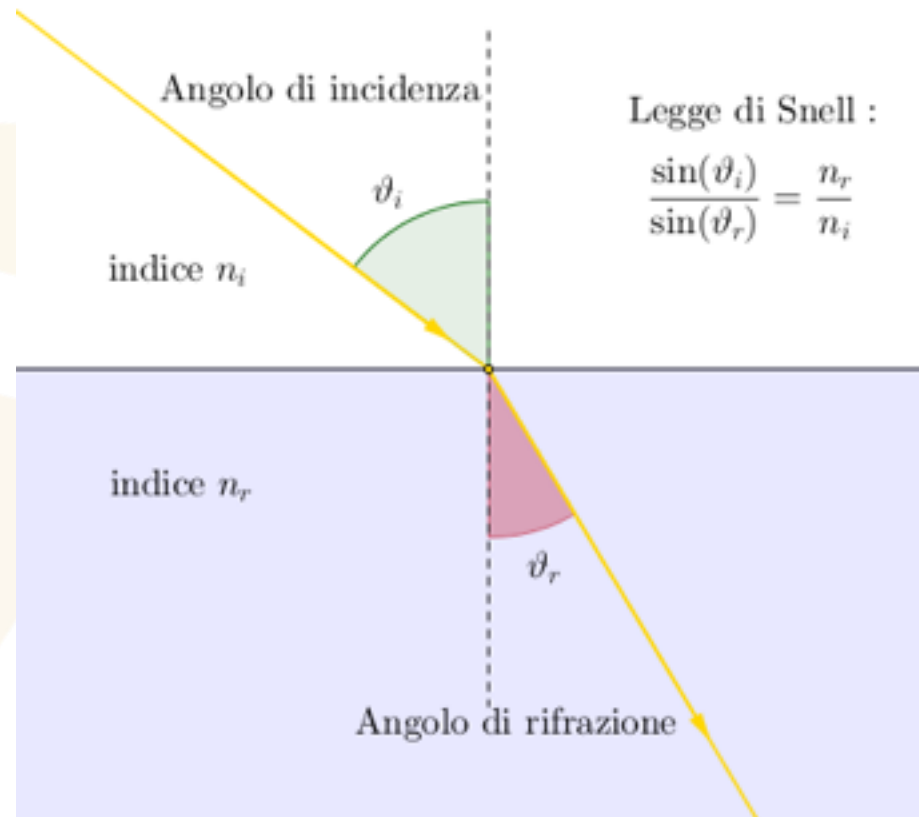
OPERATING RANGE	1000 m	1000 m	3500 m	3000 m
FREQUENCY BAND	48 - 78 kHz	42 - 65 kHz	18 - 34 kHz	18 - 34 kHz
TRANSDUCER BEAM PATTERN	horizontally omnidirectional	wide-angle 100 degrees	horizontally omnidirectional	hemispherical
ACOUSTIC CONNECTION	up to 31.2 kbit/s	up to 31.2 kbit/s	up to 13.9 kbit/s	up to 13.9 kbit/s

OPERATING RANGE	6000 m	6000 m	8000 m	10000 m	8000 m
FREQUENCY BAND	15 - 27 kHz	13 - 24 kHz	7 - 17 kHz	7 - 17 kHz	7 - 17 kHz
TRANSDUCER BEAM PATTERN	wide-angle 120 degrees	directional 70 degrees	hemispherical	directional 80 degrees	hemispherical
ACOUSTIC CONNECTION	up to 9.2 kbit/s	up to 9.2 kbit/s	up to 6.9 kbit/s	up to 6.9 kbit/s	up to 6.9 kbit/s

- esempio di dati da modem acustici EvoLogics
- immagine 320x240 pixel non compressa è pari a circa 614 KByte

Propagazione acustica: legge di Snell

La propagazione dei raggi acustici non è rettilinea



Il Fondo Sociale Europeo
in Friuli Venezia Giulia
Programma Operativo Regionale 2014-2020



UN INVESTIMENTO PER IL TUO FUTURO



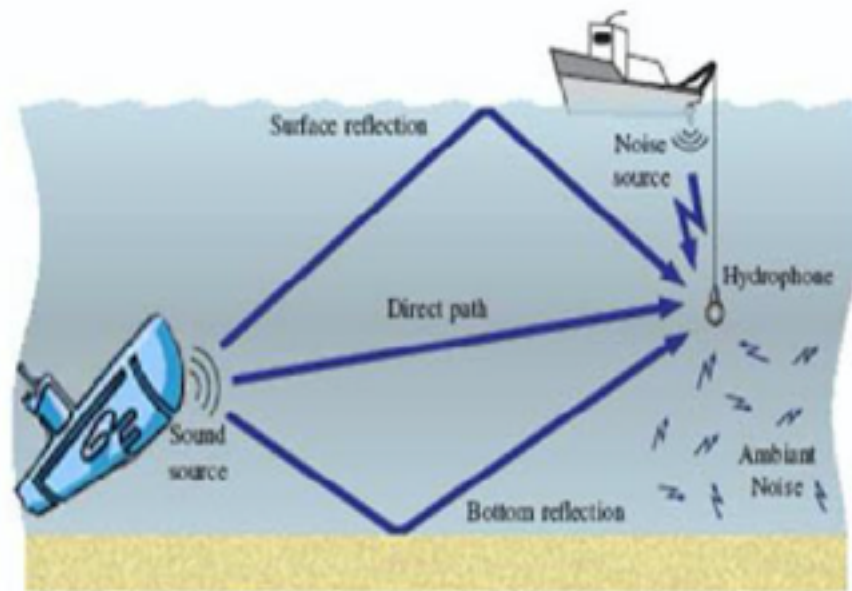
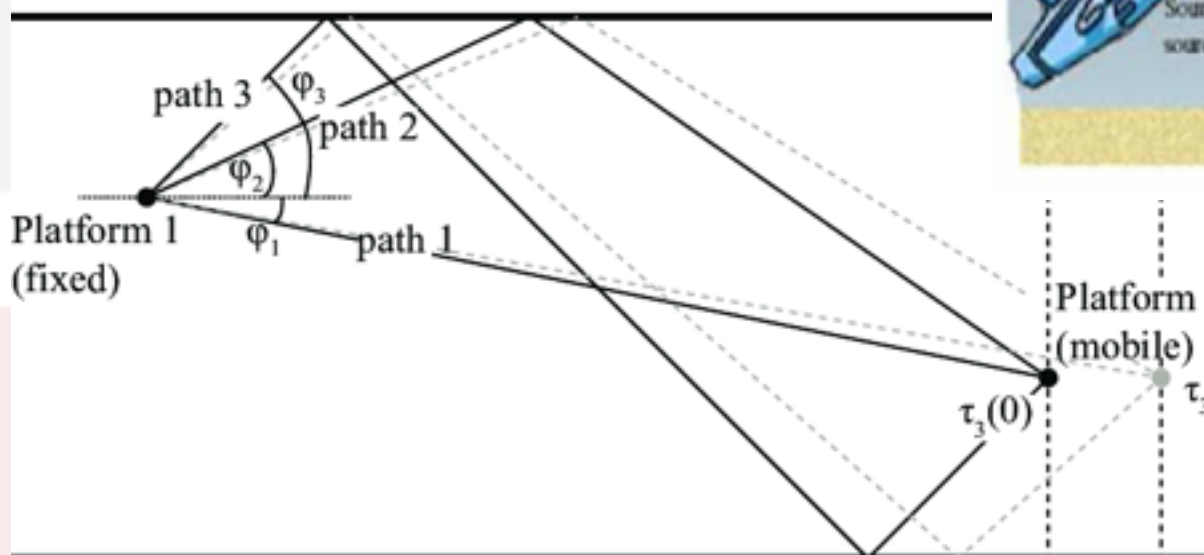
REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



in rete fvg
seminari per l'innovazione in rete

Propagazione acustica: multi-path

Il segnale multi-path è attenuato dalle riflessioni multiple



Il Fondo Sociale Europeo
in Friuli Venezia Giulia
Programma Operativo Regionale 2014-2020



UN INVESTIMENTO PER IL TUO FUTURO



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



in rete fvg
seminari per l'innovazione in rete

Multi-path: un caso reale

ROV exploration of the keel of the Campbell Ice Tongue in Antarctica

R. Bono, M. Caccia, E. Spirandelli, G. Veruggio
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto Automazione Navale
Via De Marini, 6
16149 Genova, Italy
E-mail: {ric, max, edo, gian}@ian.ge.cnr.it

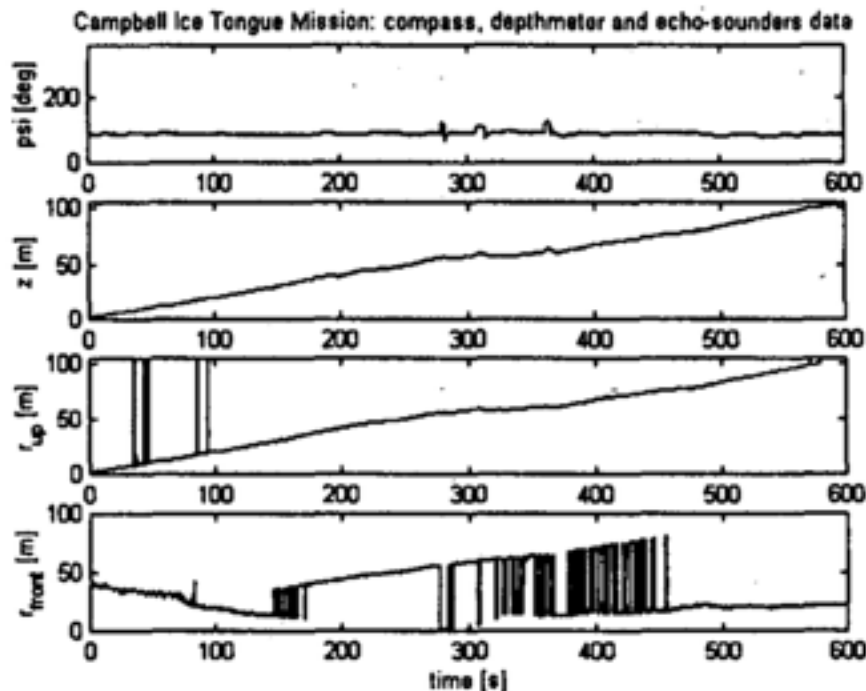


Fig. 6. Romeo heading, depth, sea surface detector and obstacle avoidance sonar range. Multi-path effects are clearly visible from time=150 s to time=450s.

Multi-path: un caso reale

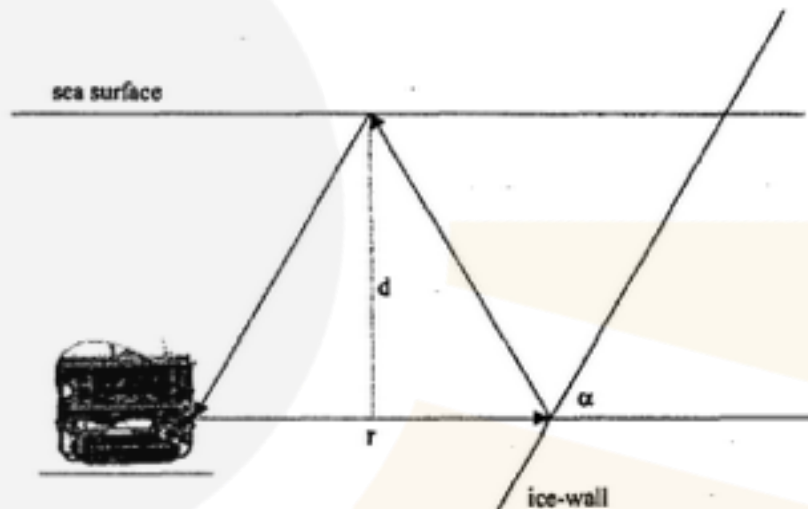


Fig. 7. Model of acoustic multi-path between the ice-wall and the sea surface.

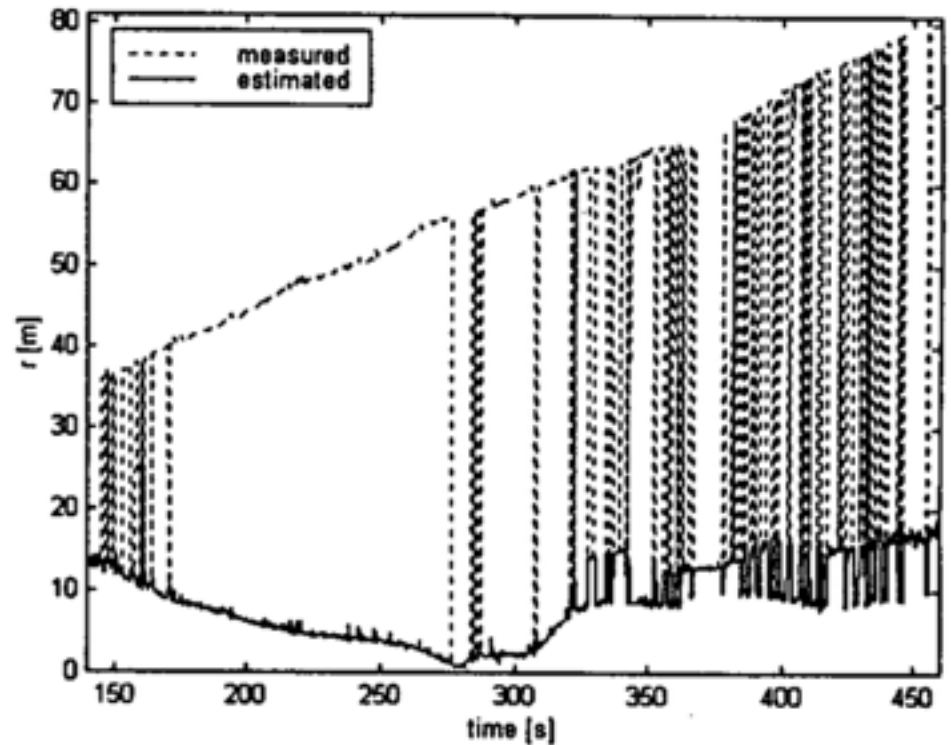


Figure 9. Measured and reconstructed obstacle avoidance sonar range.



Il Fondo Sociale Europeo
in Friuli Venezia Giulia
Programma Operativo Regionale 2014-2020



UN INVESTIMENTO PER IL TUO FUTURO

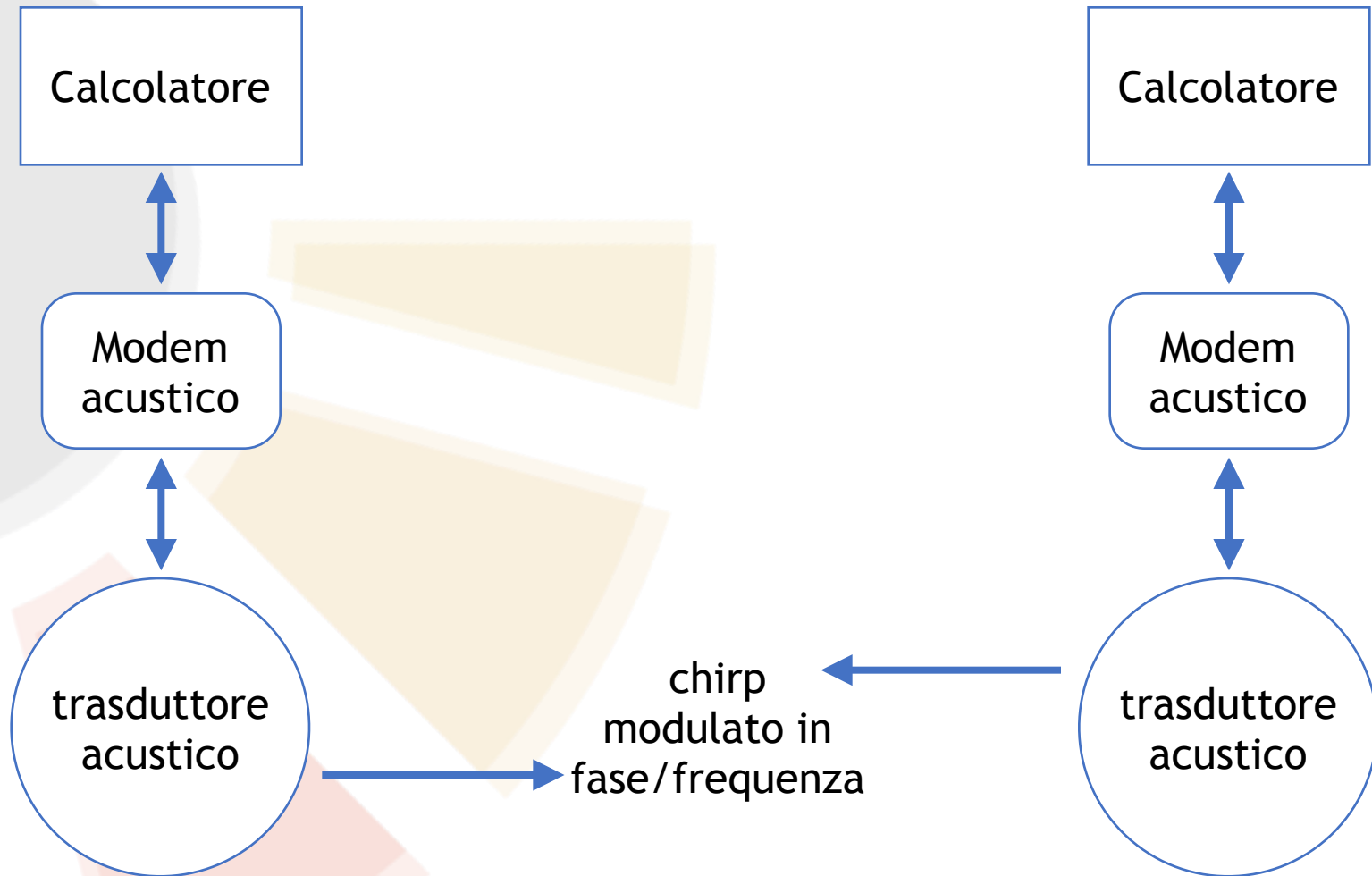


REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

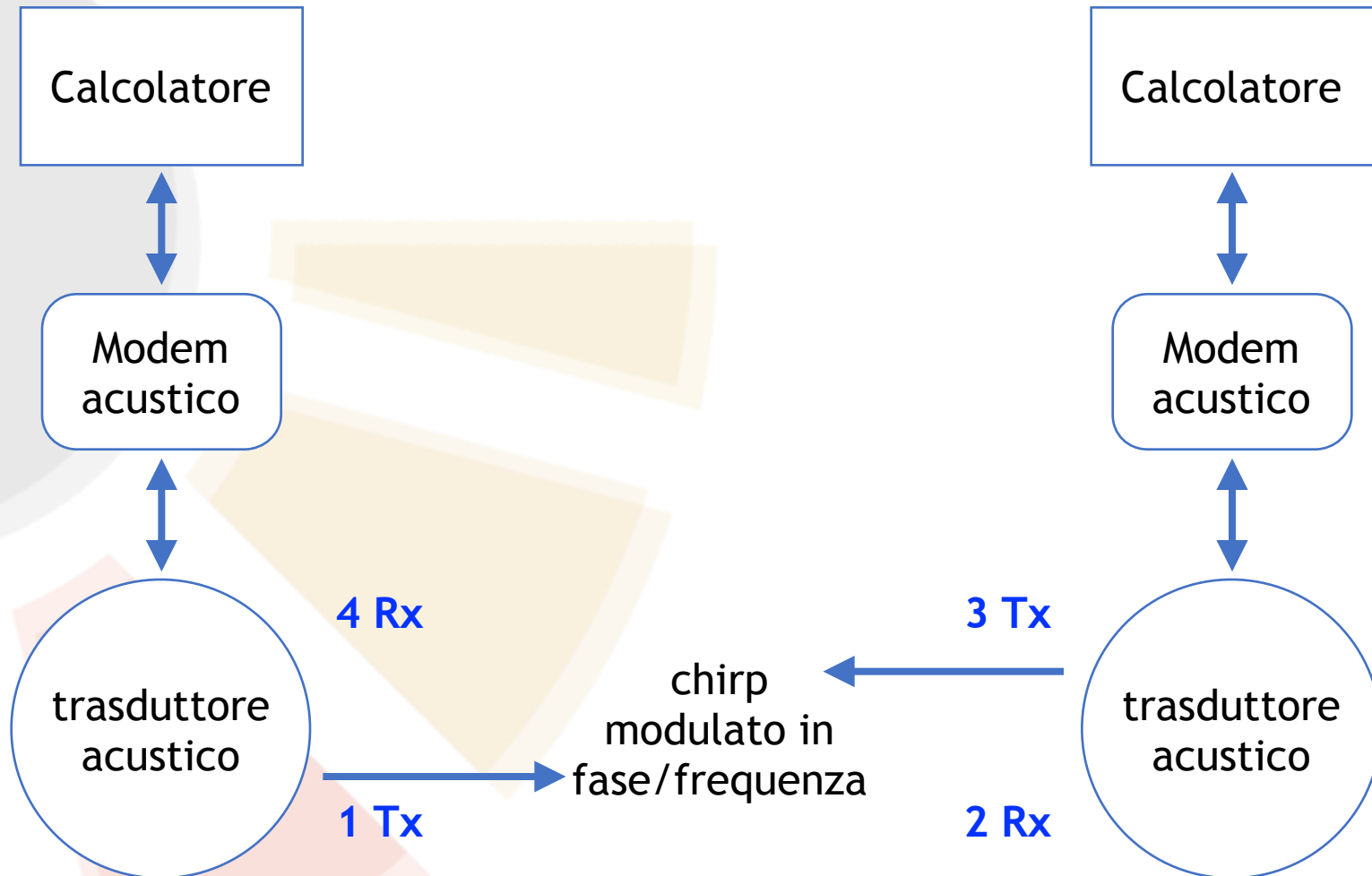


in rete fvg
seminari per l'innovazione in rete

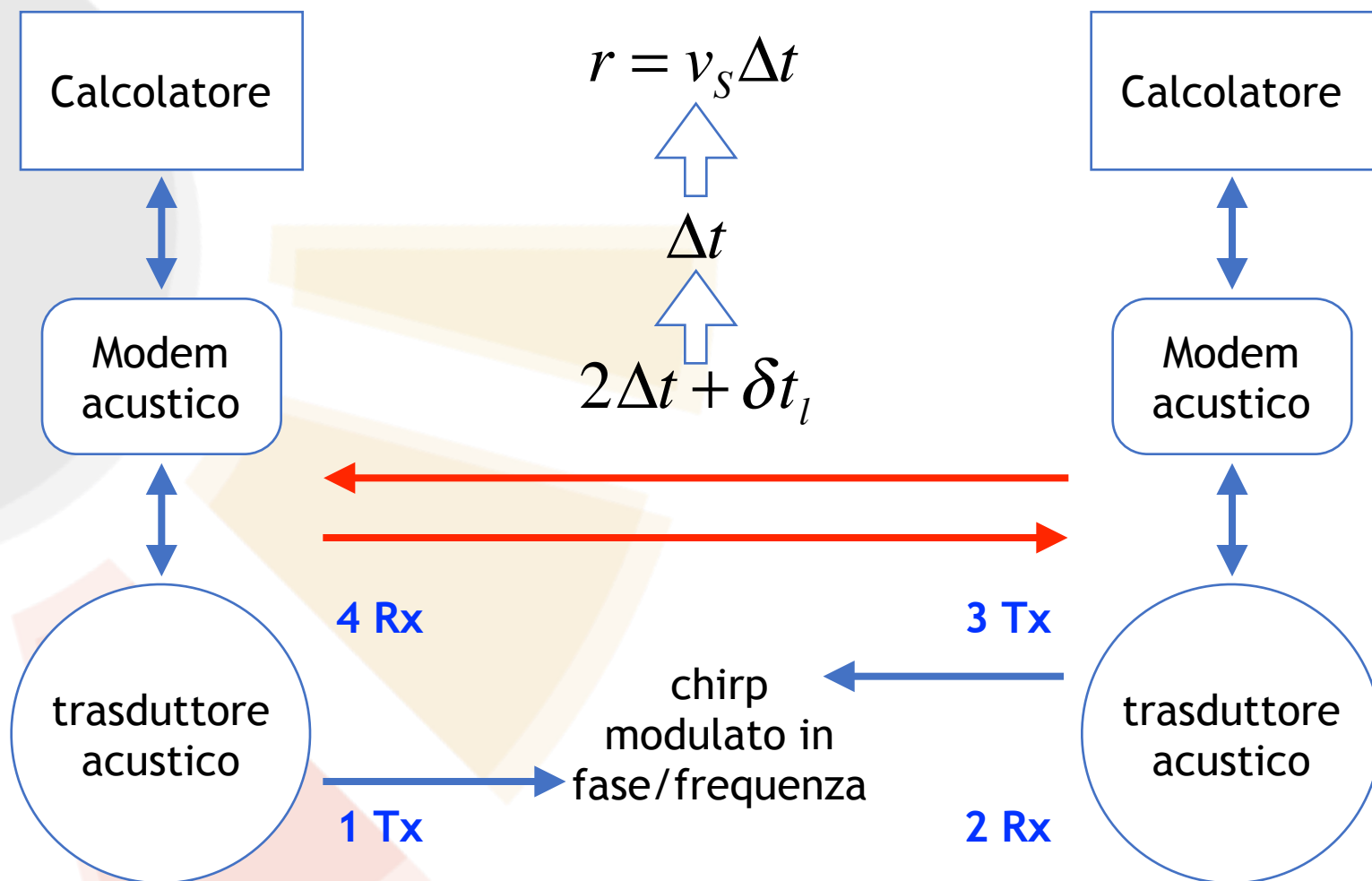
Comunicazione acustica



Comunicazione acustica



Comunicazione & localizzazione acustica



Comunicazione & localizzazione acustica

WHOI micro-modem

The WHOI Micro-Modem: An Acoustic Communications and Navigation System for Multiple Platforms

Lee Freitag, Matthew Grund, Sandipa Singh, James Partan, Peter Koski, Keenan Ball
Woods Hole Oceanographic Institution
Woods Hole, MA 02543 USA
lfreitag@whoi.edu

Abstract—The Micro-Modem is a compact, low-power, underwater acoustic communications and navigation subsystem. It has the capability to perform low-rate frequency-hopping frequency-shift keying (FH-FSK), variable rate phase coherent keying (PSK), and two different types of long base line navigation, narrow-band and broadband. The system can be configured to transmit in four different bands from 3 to 30 kHz, with a larger board required for the lowest frequency. The user interface is based on the NMEA standard, which is a serial port specification. The modem also includes a simple built-in networking capability which supports up to 16 units in a polled or random-access mode and has an acknowledgement capability which supports guaranteed delivery transactions. The paper contains a detailed system description and results from several tests are also presented.

I. INTRODUCTION

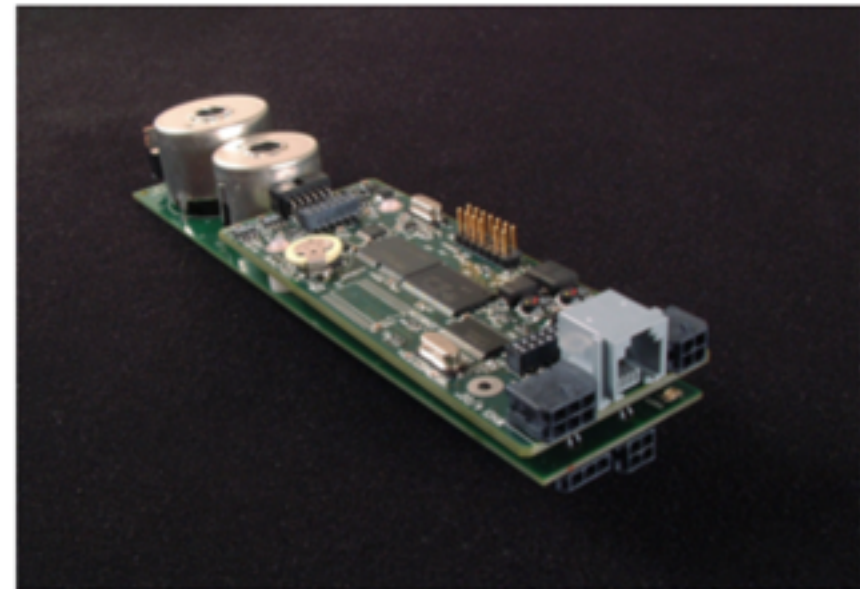


Fig. 1. Basic Micro-modem board set: power amp and main board.

Comunicazione & localizzazione acustica

WHOI micro-modem

The WHOI Micromodem-2: A Scalable System for Acoustic Communications and Networking

Eric Gallimore, Jim Partan, Ian Vaughn, Sandipa Singh, Jon Shusta, Lee Freitag

Woods Hole Oceanographic Institution

Woods Hole, MA USA

{egallimore, jpartan, jvaughn, ssingh, jshusta, lf Freitag}@whoi.edu

Abstract—A successor to the WHOI Micromodem-1 underwater acoustic modem has recently been developed. The Micromodem-2 has the same compact form-factor as the Micromodem-1 and will support all of the existing applications for the Micromodem-1, as well as interoperate with the Micromodem-1. Existing acoustic communications protocols using phase-shift keying (PSK) as well as frequency-hopping frequency-shift keying (FH-FSK) are supported, as are navigation features including narrow-band and broadband long-baseline (LBL) navigation.

The Micromodem-2 is significantly more capable than the Micromodem-1 in computational ability and memory, bandwidth, non-volatile data storage, user expansion interfaces, and real-time clock precision. The expanded capabilities will allow new communications algorithms, modulation, error-

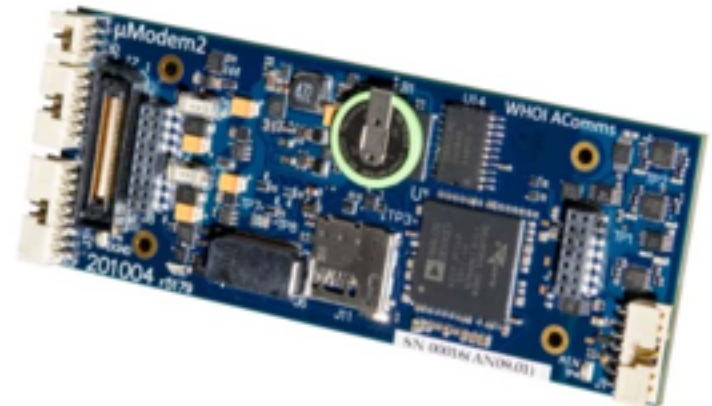


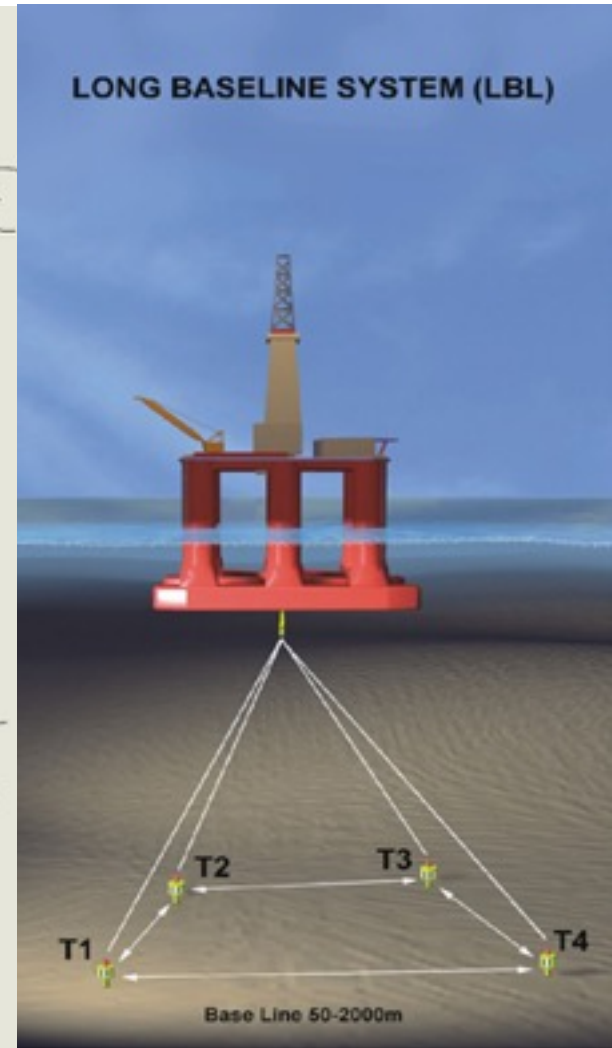
Figure 1. The 4.5" x 1.75" Micromodem-2 preserves the physical form factor of the Micromodem-1 while providing improved expansion connectors and I/O capabilities.

Long BaseLine acoustic positioning system

I sistemi LBL utilizzano un array di almeno 3 transponder installati sul fondale marino come punti di riferimento per la navigazione, generalmente distribuiti attorno al perimetro del sito di lavoro. Ne risulta una elevata precisione e stabilità della stima di posizione indipendente dalla profondità dell'acqua (in genere migliore di 1 metro, può raggiungere alcuni centimetri). I sistemi LBL determinano la posizione di un veicolo tramite triangolazione della misura di distanza, spesso integrata con misure di profondità (pressione), rispetto ai transponder. Il trasduttore, a bordo di un veicolo subacqueo, trasmette un segnale acustico, che viene rilevato dal transponder. Il transponder trasmette una risposta e il tempo tra la trasmissione del primo segnale e la ricezione del secondo consente di calcolare la distanza tra il trasduttore e il transponder.

La posizione viene calcolata a bordo del veicolo subacqueo.

Long BaseLine acoustic positioning system



Short BaseLine acoustic positioning system

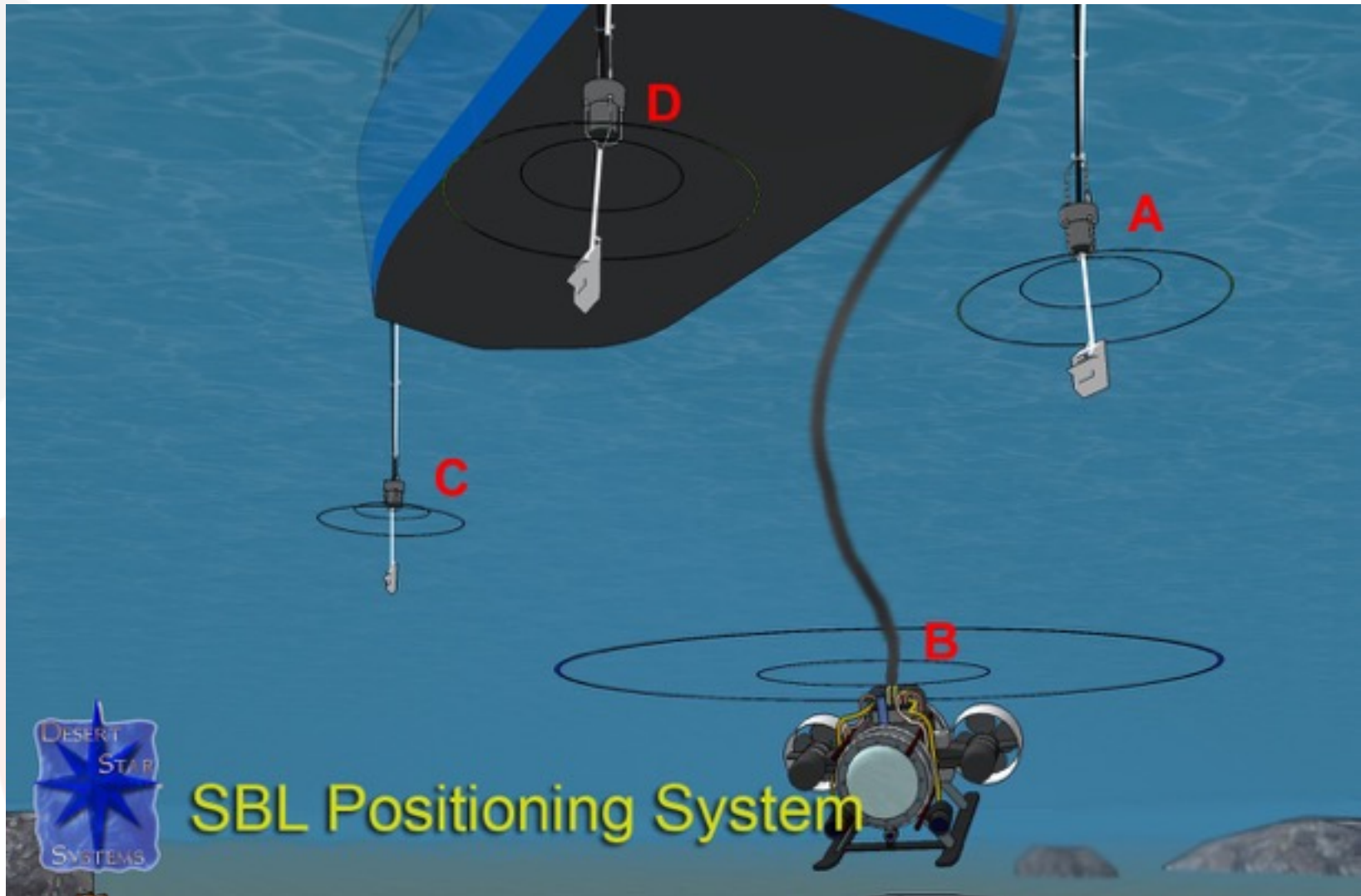
I sistemi SBL determinano la posizione di un bersaglio, es. un veicolo sottomarino, misurando la distanza da tre o più trasduttori. Queste misure di distanza, che sono spesso integrate da dati di profondità forniti da un sensore di pressione, vengono quindi utilizzate per triangolare la posizione del bersaglio.

Il bersaglio, tipicamente un veicolo filoguidato connesso alla nave tramite un cavo, trasmette la misura della propria profondità.

E' necessario conoscere posizione ed orientazione della nave.

La posizione viene calcolata a bordo della nave e trasmessa al veicolo subacqueo tramite un cavo.

Short BaseLine acoustic positioning system



Ultra-Short BaseLine acoustic positioning system

Un USBL è costituito da un ricetrasmittitore, montato su un palo sotto una nave, e un transponder sul bersaglio (veicolo) subacqueo. Un impulso acustico viene trasmesso dal ricetrasmittitore e rilevato dal transponder sottomarino, che risponde inviandone uno di ritorno (tipicamente con il dato di profondità). L'impulso di ritorno viene rilevato dal ricetrasmittitore della nave.

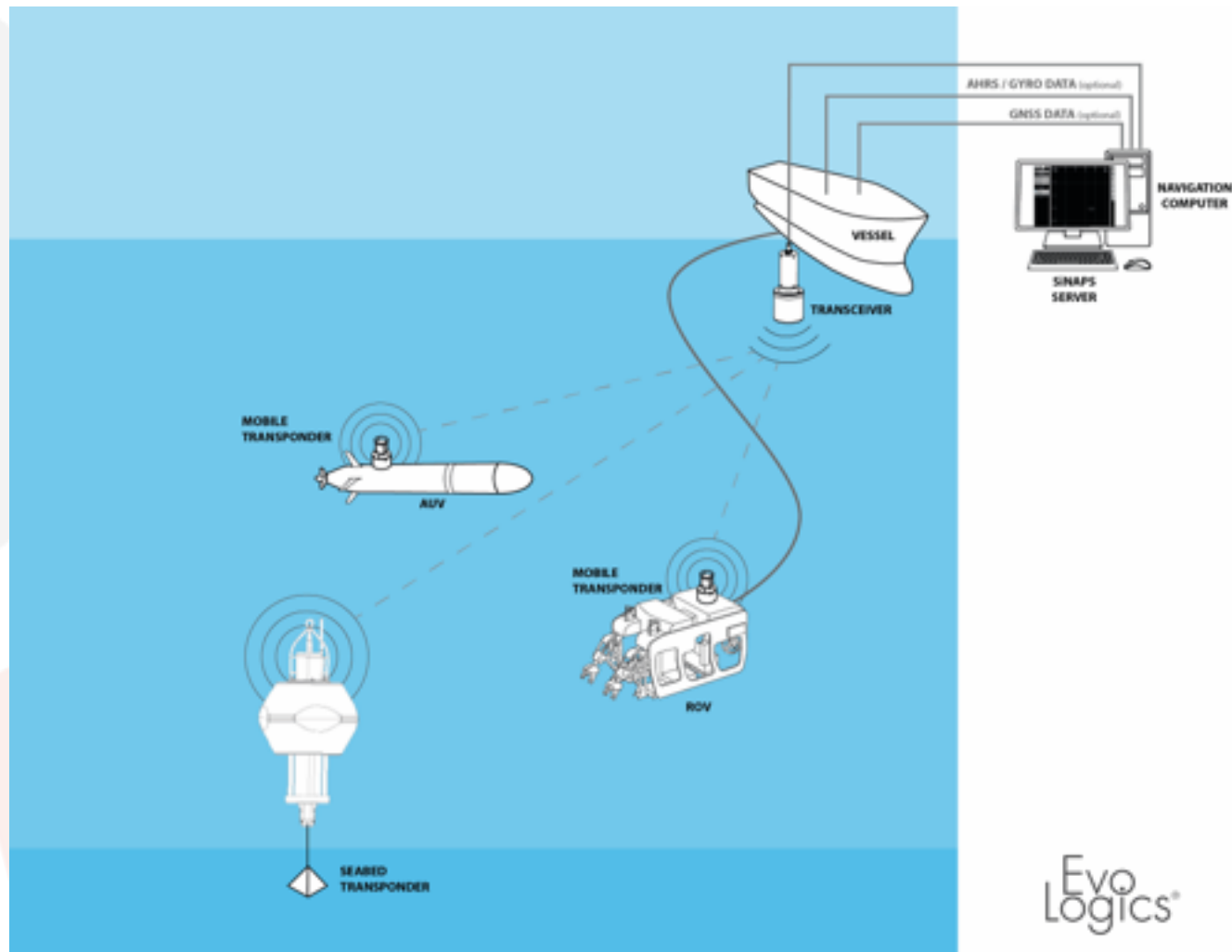
L'USBL calcola sia la distanza sia l'angolo tra ricetrasmittitore e il bersaglio sottomarino. La direzione del bersaglio viene calcolata tramite "differenziamento di fase". Il ricetrasmittitore contiene sensori di rullaggio e beccheggio ed è connesso ad un sistema GNSS/heading in grado di fornirgli posizione ed orientazione assolute.

La posizione viene calcolata a bordo della nave.

Il sistema può essere invertito per calcolare la posizione a bordo del veicolo.

Il ricetrasmittitore trasmette/riceve —> il sistema USBL nasce combinato con un modem acustico...

Combined acoustic USBL & modem



EvoLogics®



Il Fondo Sociale Europeo
in Friuli Venezia Giulia
Programma Operativo Regionale 2014-2020



UN INVESTIMENTO PER IL TUO FUTURO



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



in rete fvg
seminari per l'innovazione in rete

I sistemi di comunicazione e localizzazione acustici subacquei sono lenti

- Il trasduttore interroga il primo transponder e ne attende la risposta
- Il trasduttore attende che si smorzino i segnali acustici nell'ambiente
- ... e così via per tutti i transponder

Se consideriamo un range di 1000m e 4 transponder abbiamo almeno 6-8 secondi per ciclo

L'aggiornamento della posizione a 0.1 Hz richiede l'integrazione con sistemi di dead-reckoning

Modem acustici subacquei e orologi atomici

UNDERWATER ACOUSTIC MODEMS WITH INTEGRATED ATOMIC CLOCKS FOR ONE-WAY TRAVEL-TIME UNDERWATER VEHICLE POSITIONING

Kebkal K.G.¹⁾, Kebkal O.G.¹⁾, Glushko E.¹⁾, Kebkal V.K.¹⁾, Sebastião L.²⁾, Pascoal A.²⁾, Gomes J.²⁾, Ribeiro J.²⁾, Silva H.²⁾, Ribeiro M.²⁾, Indivero G.³⁾

¹⁾ Evologics GmbH, Ackerstrasse 76, 13355 Berlin, Germany,

²⁾ Instituto Superior Técnico, Institute for Systems and Robotics, Univ. Lisbon, Av. Rovisco Pais, 1, Torre Norte – ISR, 1049-001 Lisboa, Portugal,

³⁾ University of Salento, Department of Innovation Engineering, Via per Monteroni, 73100 Lecce, Italy.

Il modem integrato con un orologio atomico è in grado di misurare il ritardo di propagazione del segnale e quindi di stimare la distanza dalla sorgente.

In questo modo un veicolo sottomarino può implementare tecniche “silenziose” di single beacon navigation.

Grazie per l'attenzione

Massimo Caccia

Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR

Istituto di Ingegneria del Mare - INM

Via De Marini 6

16149 Genova

e-mail: massimo.caccia@cnr.it