

Visual Sonar

*SIMULATORE DI ACUSTICA SUBACQUEA E DI
SISTEMI SONAR*

Alessio Mezzina

Relatore: Prof. Filippo L.M. Milotta

Corso di Laurea triennale in Informatica

A.A. 2022/2023

Acustica subacquea

- VELOCITÀ SUONO IN ACQUA
- SOUND VELOCITY PROFILE
- VISUALIZZAZIONE SVP SU VISUAL SONAR
- OCEAN LAYER

Perché un simulatore di acustica subacquea? Visual Sonar features?

1. Concetti chiave dell'acustica & acustica subacquea.

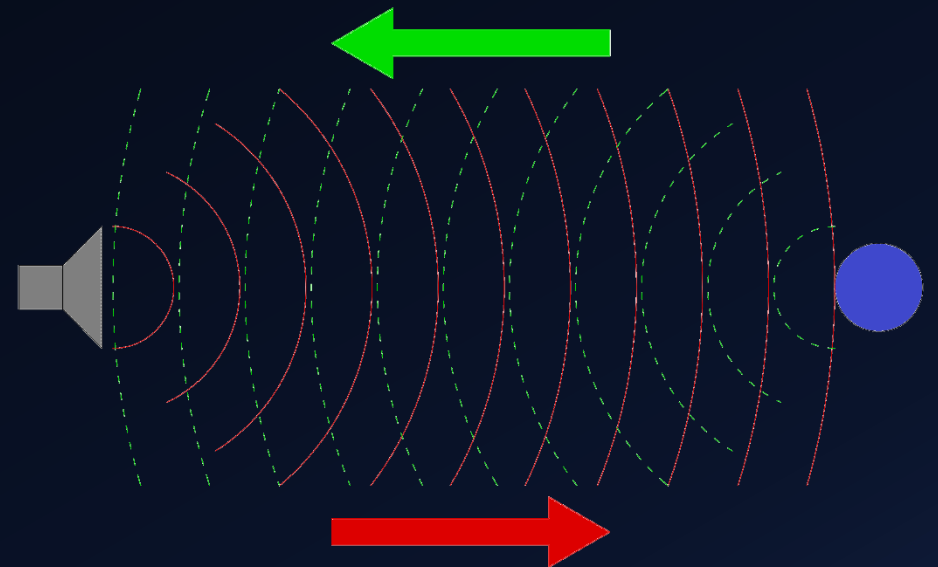
- Come si trasmette il suono?*
 - $V = 1450 + 4.61 * T - 0.045 * T^2 + 0.0182 * h + 1.3 * (S - 34)$*
- Sound velocity profile / Sound speed profile (SVP)*

2. Simulazioni (Ray Tracing):

- Propagation transmission loss (TL)*
- Shadow zone, best depth (BD)*

3. Calcoli parametrici:

- Figure of Merit (FOM)*



Acustica Subacquea

La velocità del suono in acqua di mare è dell'ordine dei 1500 m/s, e soprattutto non è costante. Come riportato dal "The Journal of the Acoustical Society of America" già nel 1960, l'equazione che descrive la velocità del suono nell'acqua è la seguente:

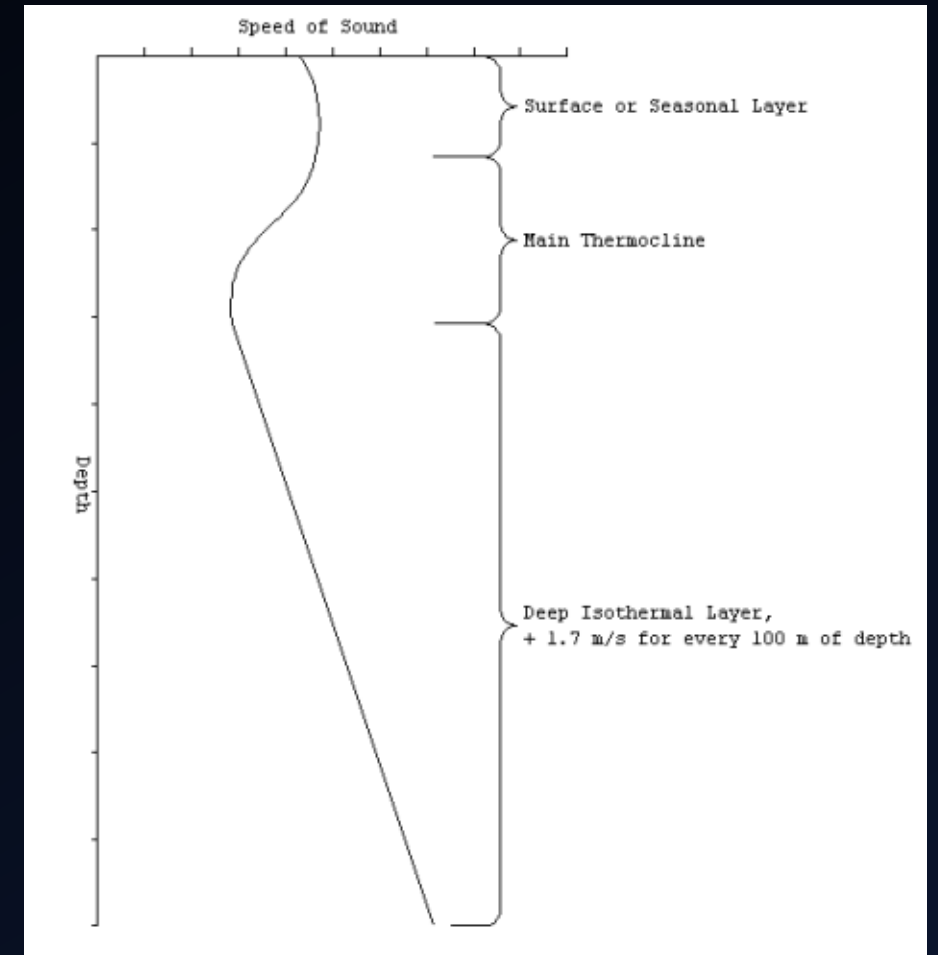
$$V = 1450 + 4.61 * T - 0.045 * T^2 + 0.0182 * h + 1.3 * (S - 34)$$

Dove:

- *T* rappresenta la temperatura.
- *h* la profondità
- *S* la salinità.

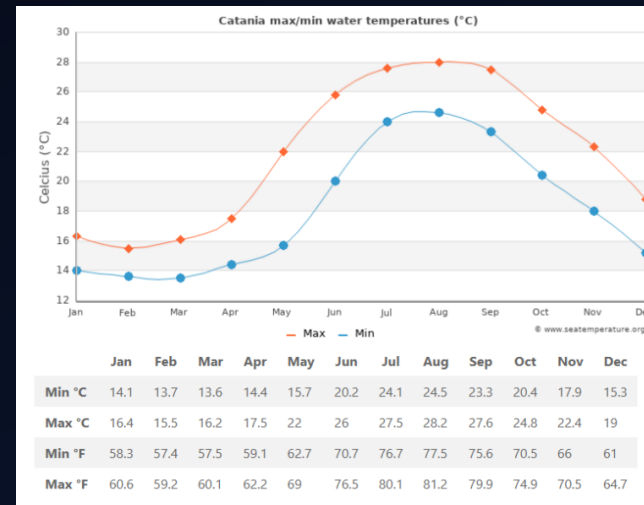
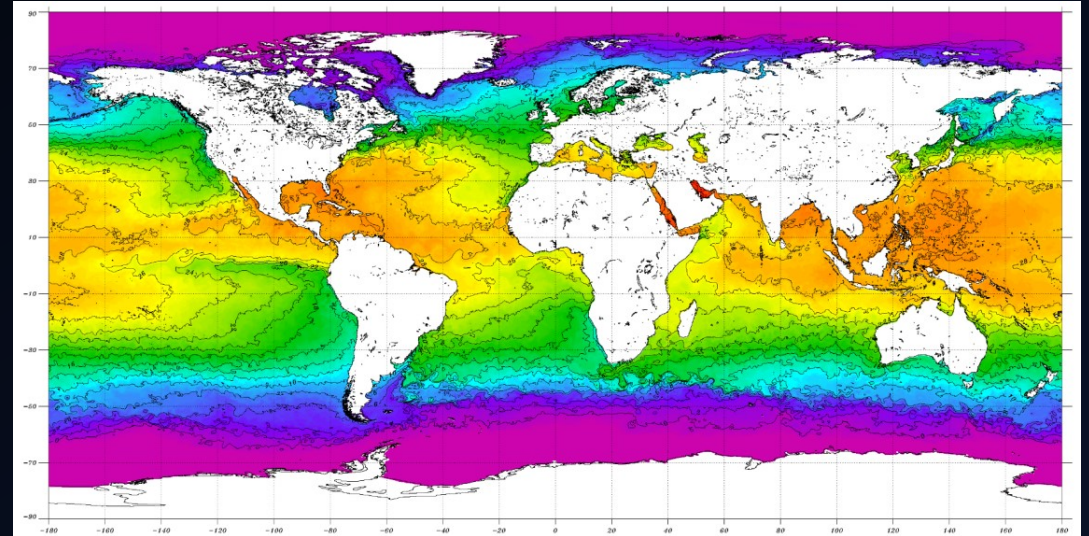
Dunque, la velocità varia in modo abbastanza complicato. Basandosi su questi 3 fattori è possibile fare una approssimazione per ogni parametro nel seguente modo:

Variazione (incremento)	Incremento di velocità
Per ogni 1°C	+ 3 m/s
Per ogni 100m di profondità	+1.7 m/s
Per ogni 1 ppt(parti per mille)	+ 3 m/s



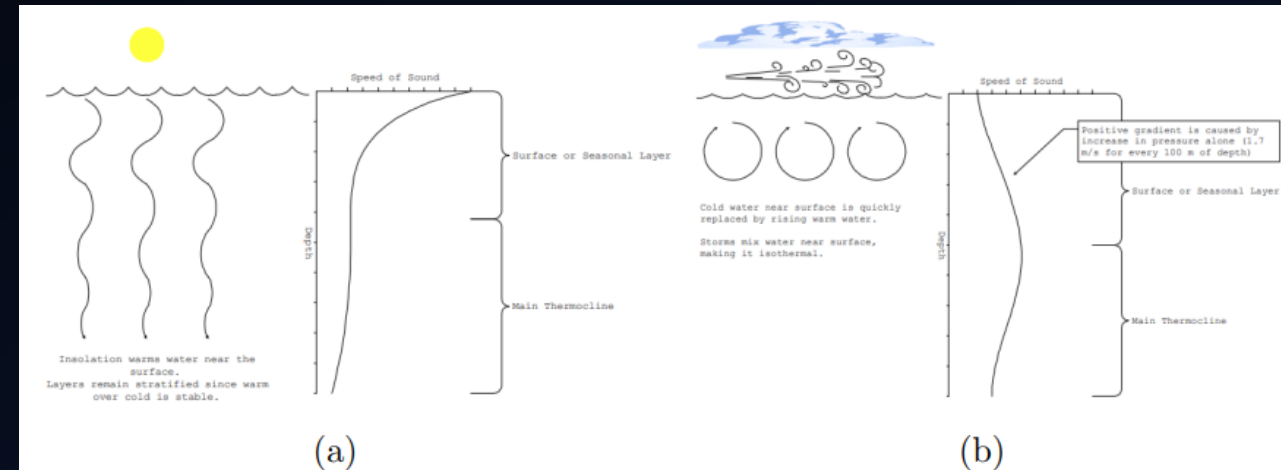
Livelli dell'oceano e SVP

- **Superficie**
 - *La superficie è lo strato più in alto ed è il più soggetto a variazioni. Questo strato, infatti, varia principalmente per variazioni di orario nella giornata (diurnal variation) e di stagione (seasonal variation). Durante il giorno, le radiazioni solari riscaldano l'acqua che si trova alla superficie, rendendola più calda dell'acqua sottostante. Dalle nozioni di velocità del suono nell'acqua, si può intuire che il grafico dell'SVP in questo caso indicherà velocità maggiori a profondità minori.*



Livelli dell'oceano e SVP

- **Termoclino**
 - *Il termoclino connette la superficie con le acque più uniformi e fredde che si trovano in profondità negli oceani.*
- **Deep isothermal layer**
 - *Le acque profonde dell'oceano coprono quasi il 90% del volume dell'oceano. Hanno un temperatura molto uniforme, circa 0 – 3°C, e una salinità del 3.5%, oppure 35ppt(parti per mille). Una variazione positiva del gradiente dell'SVP in questo caso può essere dovuta solo all'aumentare della pressione. Viene chiamato anche deep isothermal layer, in quanto data la temperatura costante è molto probabile che andando molto in profondità e si otterrà un gradiente della velocità del suono positivo.*

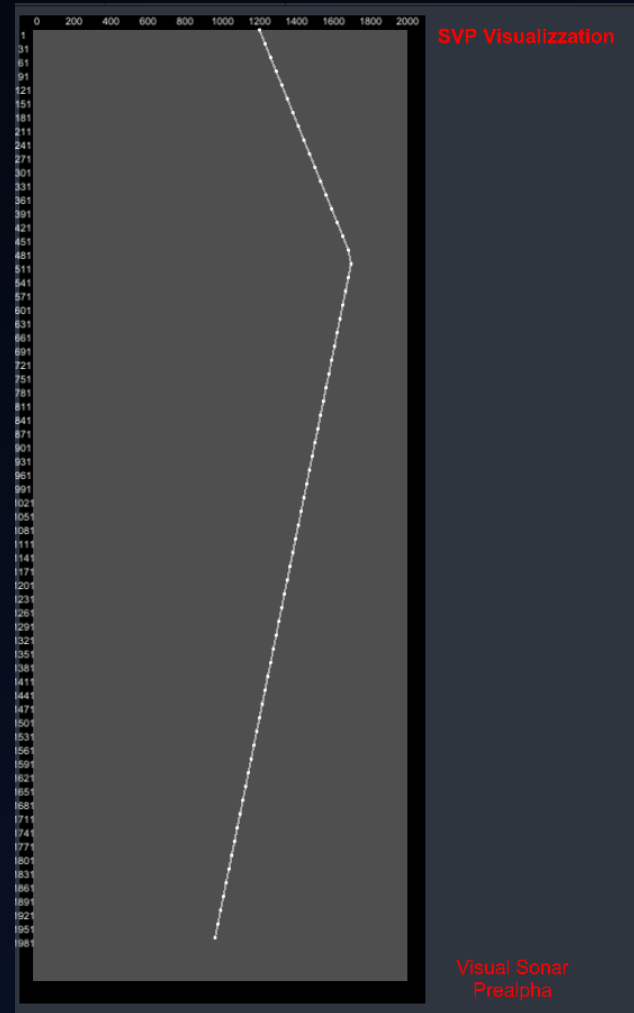
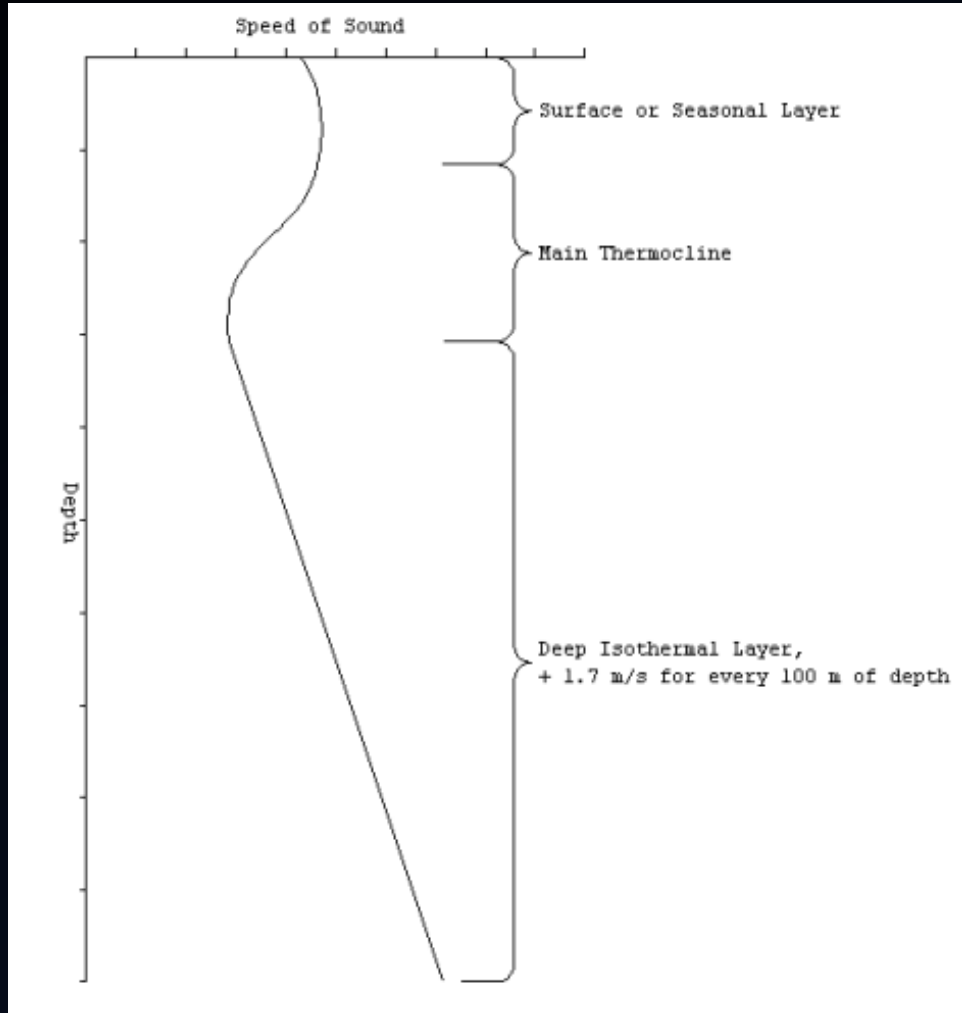


Recap -> Ocean Layer:

1. Surface.
2. Main Thermocline.
3. Deep Isothermal layer.

SVPGraph

Simulation



Quale anomalia crea questo SVP?

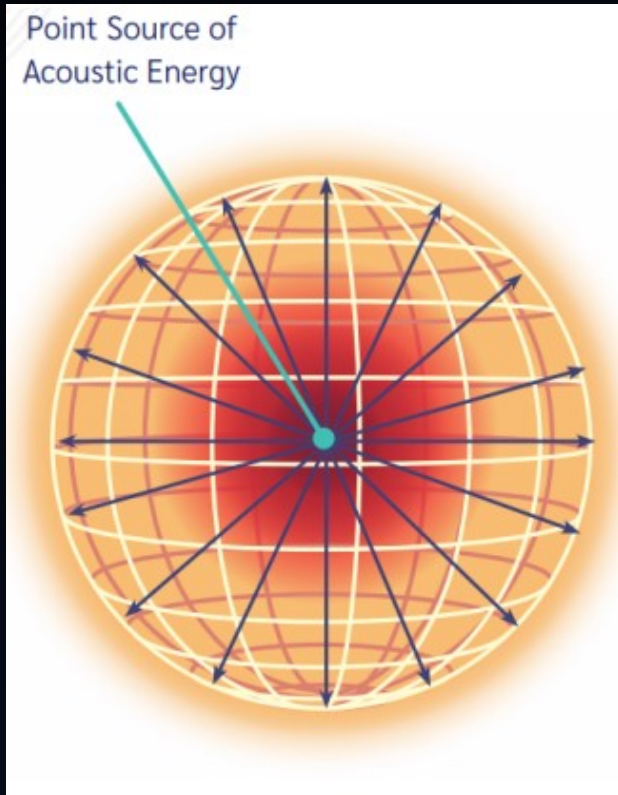
Transmission loss and sound absorption

- ATTENUAZIONE PER DIVERGENZE SFERICHE E CILINDRICHE
- ASSORBIMENTO DEL SUONO
- VISUALIZZAZIONE PERDITA DI TRASMISSIONE SU VISUAL SONAR

Perdita di trasmissione per divergenza sferica e sferico-cilindrica:

Divergenza sferica:

$$TL_{sferico} = 20\text{Log}(R)$$

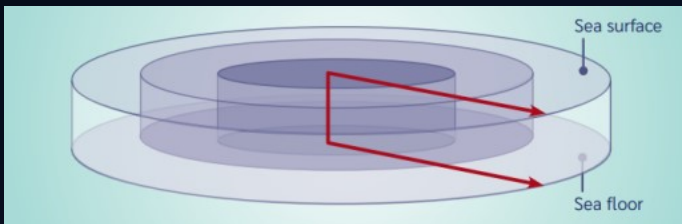


È da notare un concetto importante: parlando di perdita di trasmissione per divergenza, in inglese semplicemente *Spreading Loss*, non ci stiamo riferendo ad una perdita di energia, ma al fatto che la propagazione del suono avviene seguendo la superficie di una sfera, quindi all'aumentare del raggio aumenterà anche la superficie sulla quale viene propagato il suono, facendone diminuire l'intensità. Mentre l'onda si propaga in forma sferica dalla sorgente, l'intensità dunque diminuisce seguendo la Legge dell'inverso del quadrato:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Divergenza cilindrica:

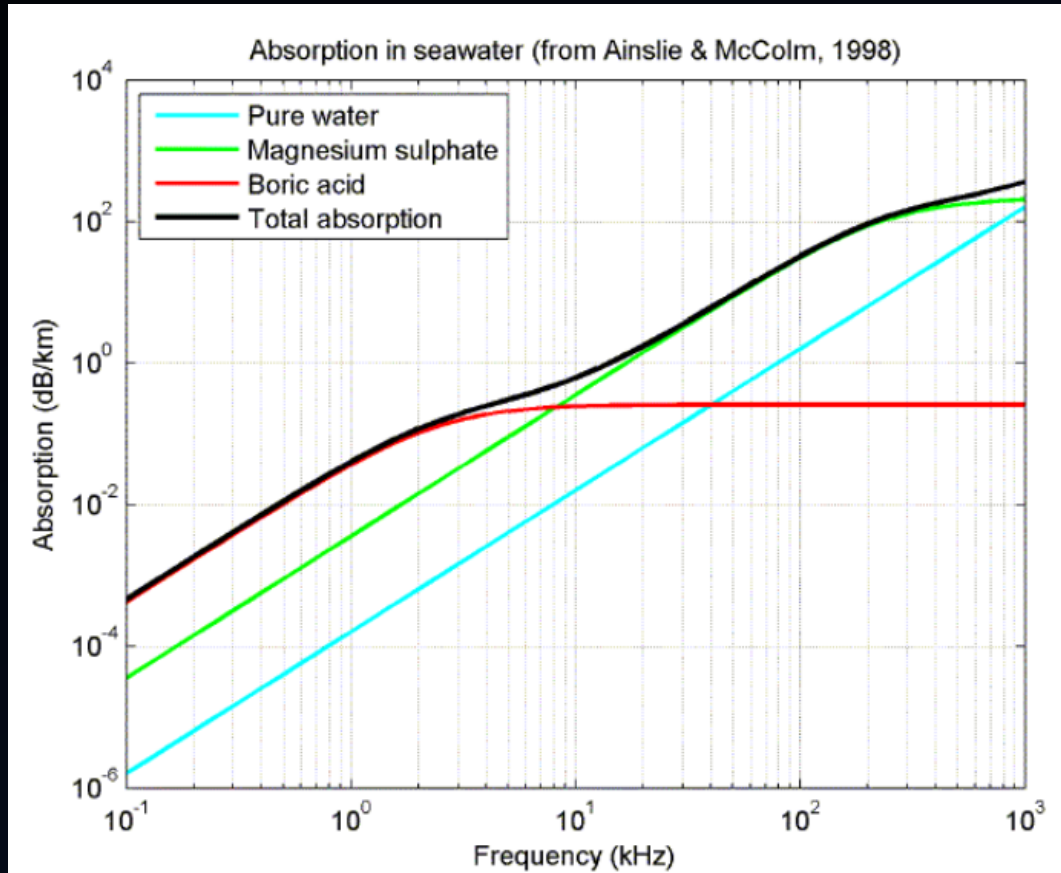
$$TL_{cilindrico} = 10\text{Log}(R)$$



Quindi più in generale:

$$TL = 10 \log(R) + 30\text{dB}, (R > 1000\text{m})$$

Perdita di trasmissione per assorbimento:



$$\alpha = \frac{\frac{0.1f^2}{1+f^2} + \frac{40f^2}{4100f^2} + \frac{2.75f^2}{10^4} + 0.003}{0.9144}$$

- *L'assorbimento è strettamente legato alla frequenza dell'onda sonora e non è altro che lo scambio che c'è tra energia acustica ed energia termica quando il suono tocca determinate componenti presenti nell'acqua. Tra questi componenti infatti ne prevalgono principalmente due, cioè, il solfato di magnesio, $MgSO_4$, e l'acido bórico $B(OH)_3$. In particolare quest'ultimo è il principale responsabile dell'assorbimento acustico a basse frequenze*
- *Il motivo per il quale l'assorbimento varia in funzione della frequenza è prevalentemente il seguente: più è alta la frequenza, più sono veloci le vibrazioni dell'onda sonora nell'acqua, e questo porta ad una maggiore trasformazione di energia acustica in energia termica.*

Perdita di trasmissione per divergenza sferica e sferico-cilindrica + assorbimento in visual sonar:

Profondità sorgente 2000, profondità fondale 4000

Raggio: 1008 m

Tipo di Propagazione: sferica

Perdita di trasmissione per propagazione: 60,06932 dB

Coefficiente di assorbimento:: 0,001004973 dB/m

SL: 0 dB

Source Frequency Level: 10 kHz

Perdita Totale: 61,08234 dB



Profondità sorgente 2000, profondità fondale 4000

Raggio: 2356 m

Tipo di propagazione: cilindrica

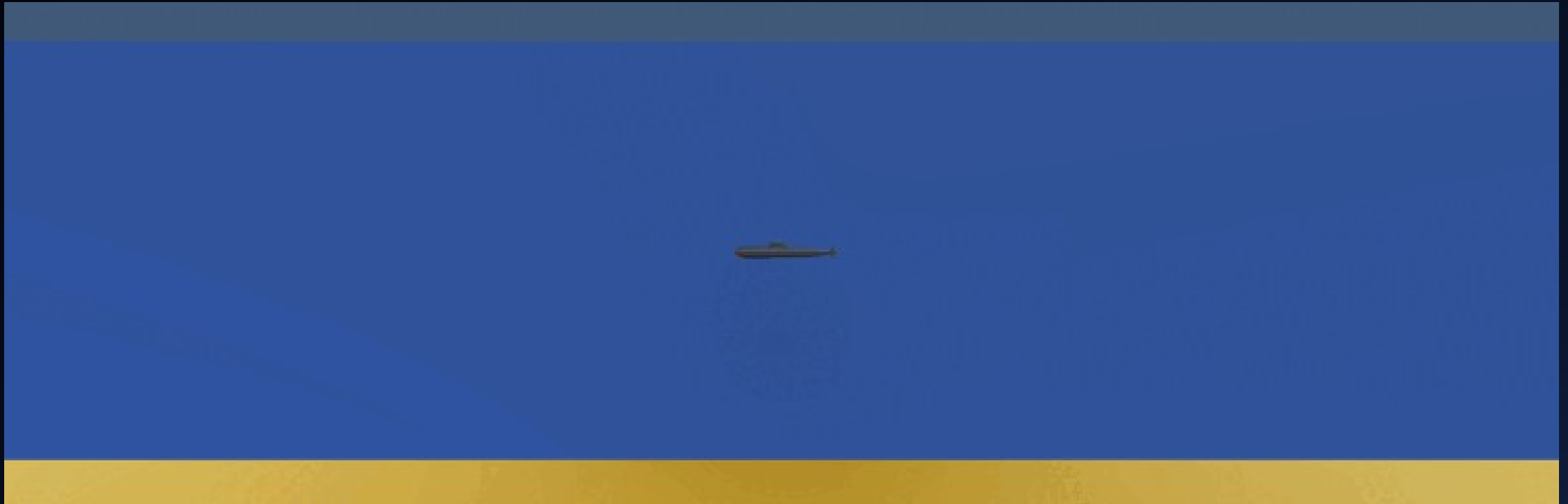
Perdita di trasmissione per propagazione: 91,53516 dB

Coefficiente di assorbimento:: 0,001004973 dB/m

SL: 0 dB

Source Frequency Level: 10 kHz

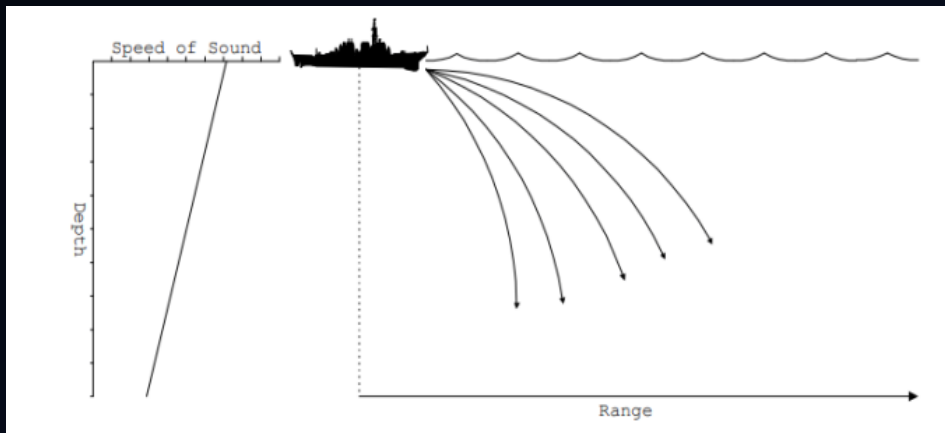
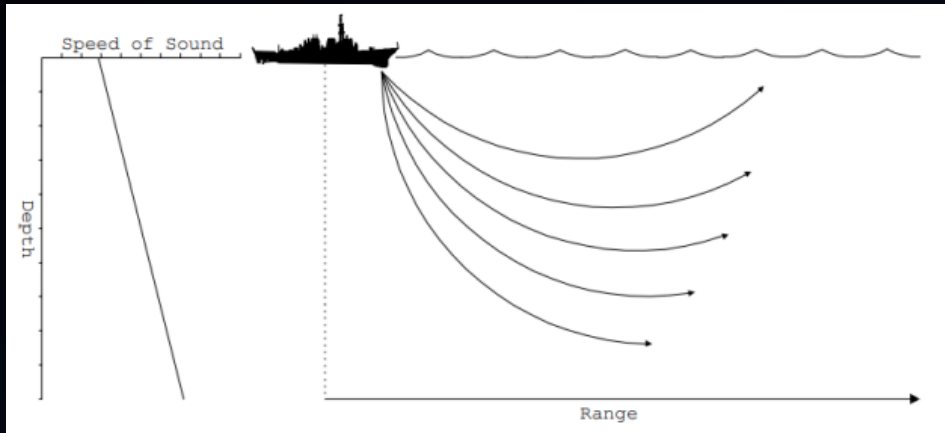
Perdita Totale: 93,90289 dB



Tracciamento dei raggi

- RIFRAZIONE SVP CON GRADIENTE NEGATIVO/COSTANTE/POSITIVO
- VARI FENOMENI & SHADOW ZONE
- SIMULAZIONI SU VISUAL SONAR

Propagazione dei raggi



La variazione di velocità nell'acqua induce una rifrazione delle onde sonore!

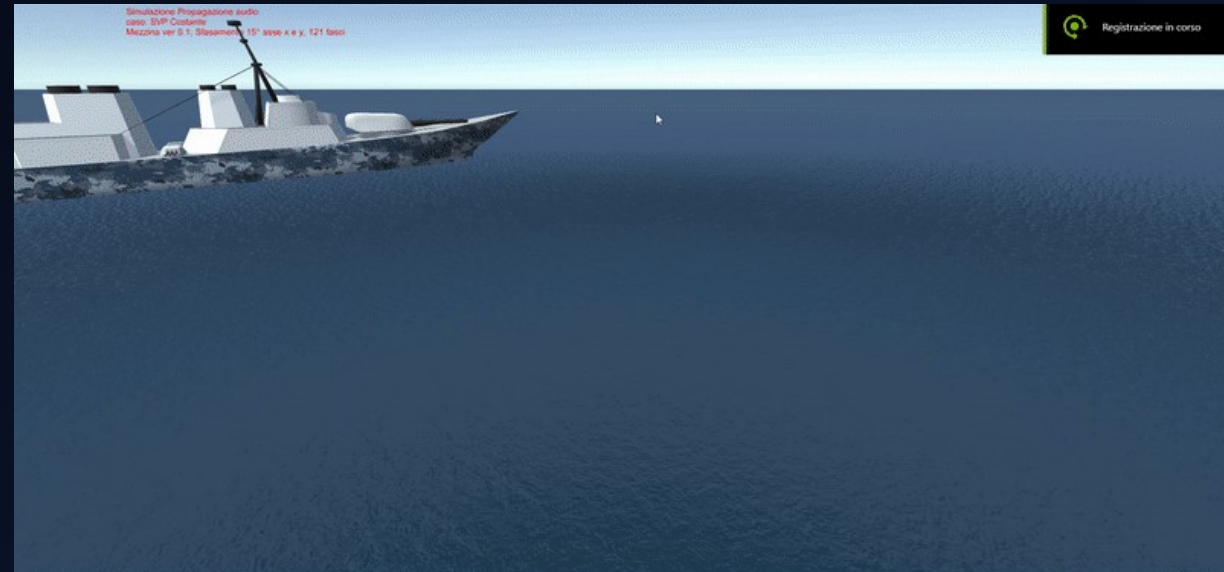
Il metodo grafico di rappresentare questa rifrazione prende il nome di "Ray Tracing", cioè tracciamento dei raggi. L'idea base è quella di rappresentare delle linee perpendicolari all'onda sonora in modo da seguirne il percorso. Per capire meglio come avviene la rifrazione supponiamo di avere un profilo di velocità dell'acqua (SVP) con gradiente negativo. Con il diminuire della velocità, all'aumentare della profondità, le onde sonore inizieranno a venire rifratte verso il basso e tenderanno ad essere più verticali. In modo esattamente simmetrico, con un gradiente positivo, i raggi tenderanno ad essere rifratti verso l'alto

- *Cosa succede con un SVP che ha gradiente costante?*
- *Possono i raggi rimanere confinati in uno strato?*

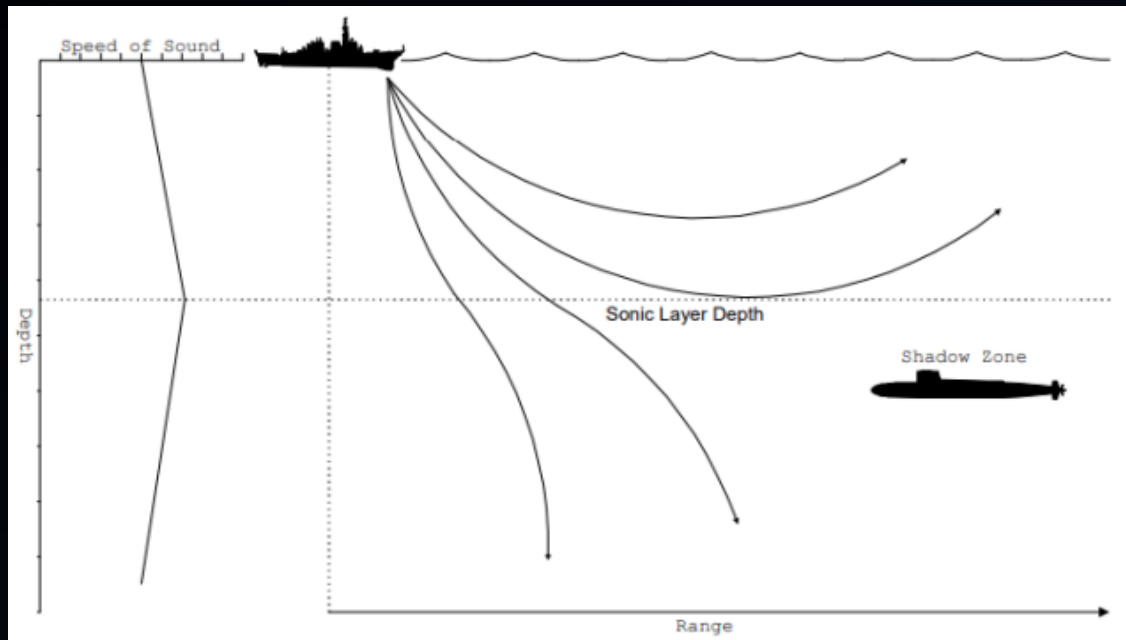
SVP Costante (Solo teorico)



*Non sono presenti
fenomeni di rifrazione!*



Shadow zone!



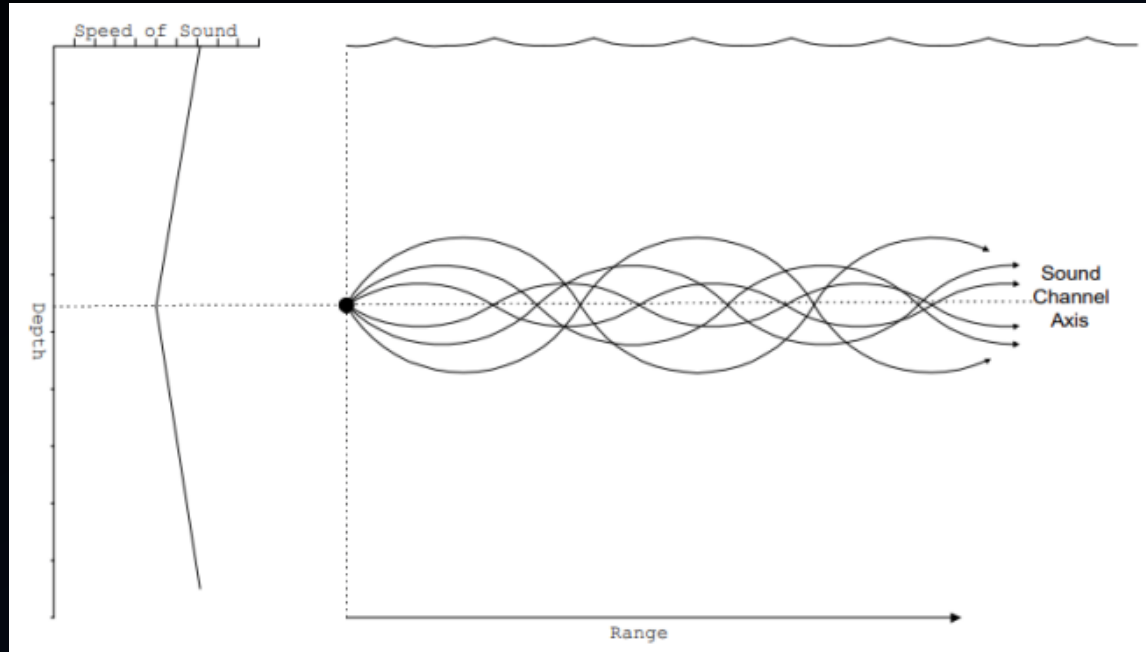
In circostanze particolari, cioè quando ci troviamo ad avere una combinazione di un gradiente positivo seguito da uno negativo, avremmo che i raggi andranno a rifrangersi in modo completamente opposto. Il livello al quale succede questo fenomeno prende il nome di "sonic layer", proprio perchè ci sarà un punto, ad una data profondità, nella quale la velocità dell'onda sarà massima, per poi diminuire successivamente. Infatti questo punto prende il nome di "sonic layer depth" (SLD). La profondità alla quale si crea questa zona, per ovi motivi, è la profondità ottimale alla quale dovrebbero operare dei sottomarini. Questa profondità, prende il nome di "best depth" (BD) si può calcolare in funzione del SLD come segue:

$$BD = 17\sqrt{LD}, \text{ per } LD < 60\text{m.}$$

$$BD = LD + 60\text{m}, \text{ per } LD > 60\text{m.}$$



Sound channel



Trovandoci in una situazione completamente opposta (prima gradiente negativo, poi positivo), si avrà un altro fenomeno chiamato "sound channel".

Quello che succede nel sound channel, è che la profondità alla quale ci si trova corrisponde, nel grafico del SVP, ad un punto dove sopra si avrà velocità maggiore e sotto minore. Una profondità del genere, data una sorgente sonora, farà rimbalzare sopra e sotto il suono, intrappolandolo. Questa regione, nella quale il suono rimane intrappolato, prende il nome di "sound channel axis"

NB: la perdita di trasmissione qui è cilindrica

Altri fenomeni degni di nota (non trattati qui) sono:

- *Convergence zone*
- *Bottom bounce*

Figure of Merit (senza dilungarci)

- **Con il termine cifra di merito si intende una quantità utilizzata per caratterizzare le prestazioni di un dispositivo, di un sistema o di un metodo, rispetto alle sue alternative**
 - **Sonar attivi vs Sonar passivi**
- **Il criterio di rilevamento diventa $FOM > TL$ che porta ad abbozzare la seguente definizione: la cifra di merito è la massima perdita di trasmissione che il sistema può avere ed essere ancora in grado di rilevare il bersaglio il 50% delle volte**
- **Parte Parametrica di visual sonar**
- **Argomento particolarmente tedioso**

Figure of Merit (FOM) Esempio

Il sonar ha possibilità di operare sia in maniera attiva che passiva.

sea state: Profondità: (in fathoms)

Dati Bersaglio:	Active	Passive
Radiated noise source level:	<input type="text" value="100"/> dB	
Radiated noise Frequency:	<input type="text" value="500"/> Hz	
Target Strength TS:	<input type="text" value="15"/> dB	
Target detection range:	<input type="text" value="10000"/> m	

Sonar Parameters:	Active	Passive
Source level:	<input type="text" value="110"/> dB	
Frequency:	<input type="text" value="1,5"/> KHz	
Self-noise at 15 kts:	<input type="text" value="50"/> dB	<input type="text" value="50"/> dB
Directivity Index (DI):	<input type="text" value="10"/> dB	<input type="text" value="10"/> dB
Detection threshold (DT):	<input type="text" value="-2"/> dB	<input type="text" value="-3"/> dB
Noise Level (NL):	<input type="text" value="58"/> dB	<input type="text" value="62"/> dB

[Ottieni risultati](#)

FOM Attivo: 79 TL Attivo: 80,4641189258397
FOM Passivo: 61 TL Passivo: 40,0257982640188

CONCLUSIONI & PROSPETTIVE FUTURE:

- *Sviluppo modulare*
- *Code Refactoring*
- *More interactive Simulation*
- *Passive Sonar Simulation*

VISUAL SONAR 
I DUE SONAR
VISUAL SONAR
IL RITORNO DEL SONAR

Domande Bonus
~~*per avere le risposte alle domande bonus dell'esame*~~
per fare l'esercitazione



<https://forms.gle/BjeyoJ4Ei3ftvKU8A>