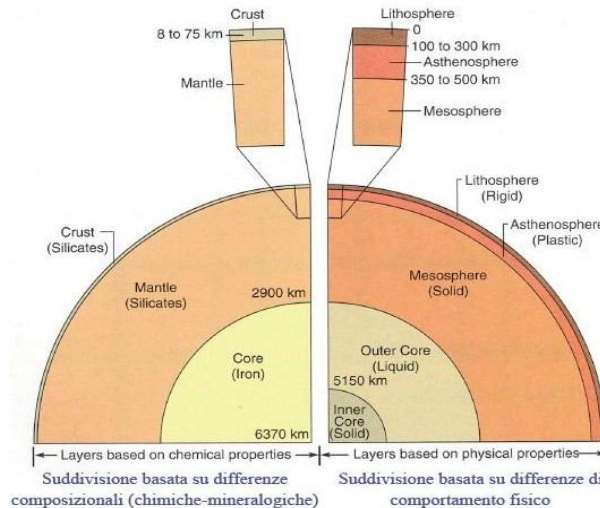


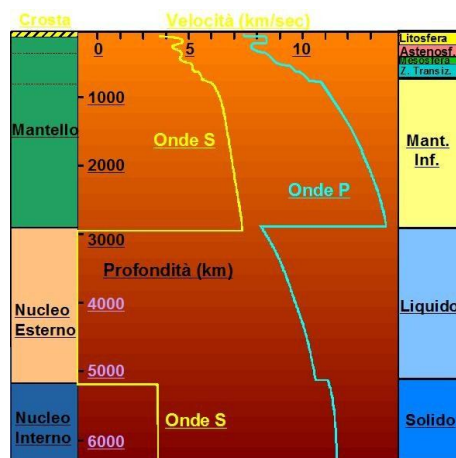
TETTONICA

Si possono utilizzare due approcci per studiare crosta e mantello:

- × **suddivisione composizionale** (attraverso lo studio delle onde sismiche) → **crosta e mantello**;
- × **suddivisione termo-reologico-meccanica** → **litosfera ed astenosfera**.



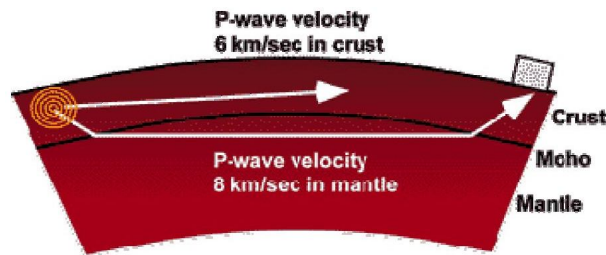
Le prime indicazioni della suddivisione interna della Terra derivano dalla sismica. Infatti, **le onde P ed S subiscono brusche variazioni di velocità suggerendo che ci sono discontinuità nell'interno terrestre**.



La crosta è il più esterno dei tre livelli composizionali della Terra, indicati dalla sismica. È separata dal mantello da un **aumento ben definito nelle velocità delle onde P, la cosiddetta discontinuità di Mohorovicic o Moho**. La Moho è stata definita a seguito del terremoto di Zagabria del 1901. Infatti, dopo questo evento, Mohorovicic e i suoi colleghi installarono una stazione sismica proprio a Zagabria.

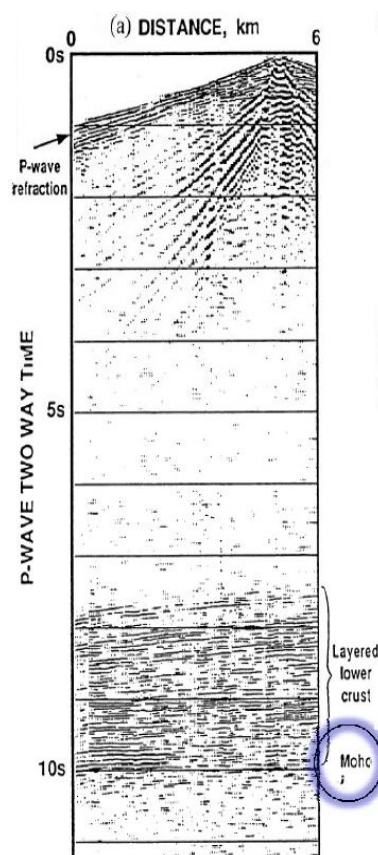
Nel 1910, Mohorovicic diagrammò i tempi di arrivo delle onde P verso la distanza epicentrale per 29 stazioni che registrarono un terremoto locale, considerando $\Delta x / \Delta t = v$. Questo definì due trend: uno per $V_P \sim 6$ km/s, l'altro ~ 8 km/s (osservato solo a grandi distanze).

Poiché non era possibile avere onde P che viaggiano nello stesso mezzo a differenti velocità, Mohorovicic concluse che i due differenti tempi di arrivo rappresentavano due differenti fasi di onde P con percorsi in mezzi diversi.

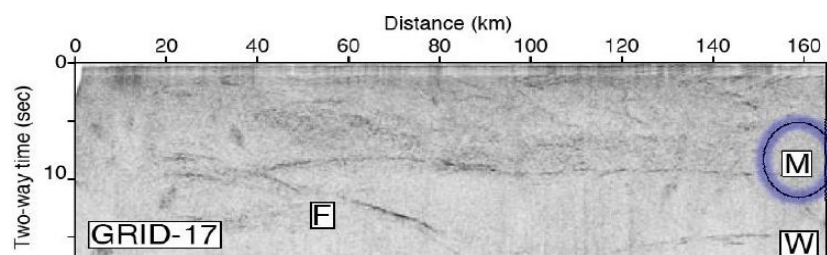


In corrispondenza della Moho si ha un brusco aumento di velocità delle onde P da 7 km/s ad 8 km/s.

In particolare, la **Moho sismologica** è definita come la **profondità alla quale la V_p cresce rapidamente o in maniera discontinua ad un valore compreso tra 7,6 ed 8,6 km/s**. In assenza di un incremento di velocità identificabile, **il primo livello dove la V_p supera 7,6 km/s viene considerata come la Moho sismologica**. La Moho formalmente definita **corrisponde alla refraction Moho**.

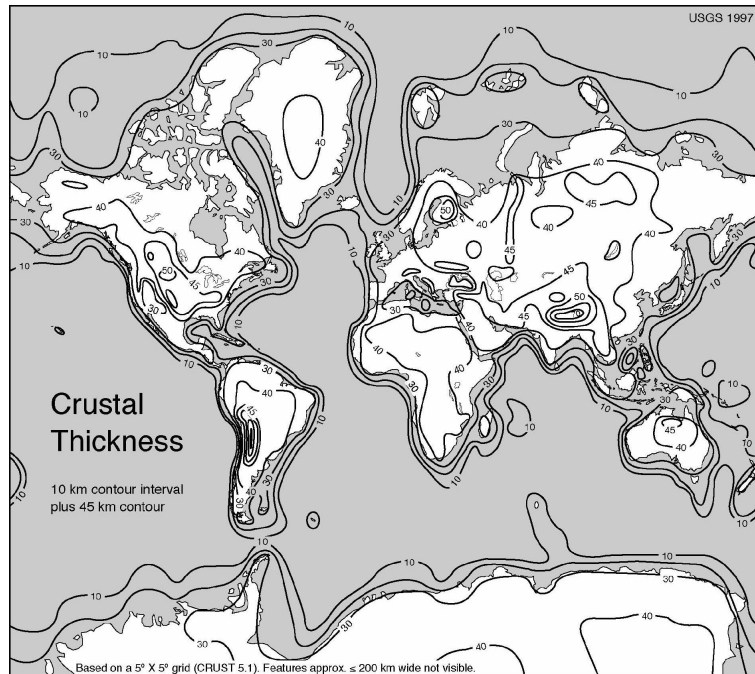


Invece, *nell'uso comune all'interno dei continenti si parla di reflection Moho, che rappresenta una singola prominente riflessione alla base di una riflettività stratificata, sopra una regione poco o non riflettiva, circa alla profondità della Moho a rifrazione.*

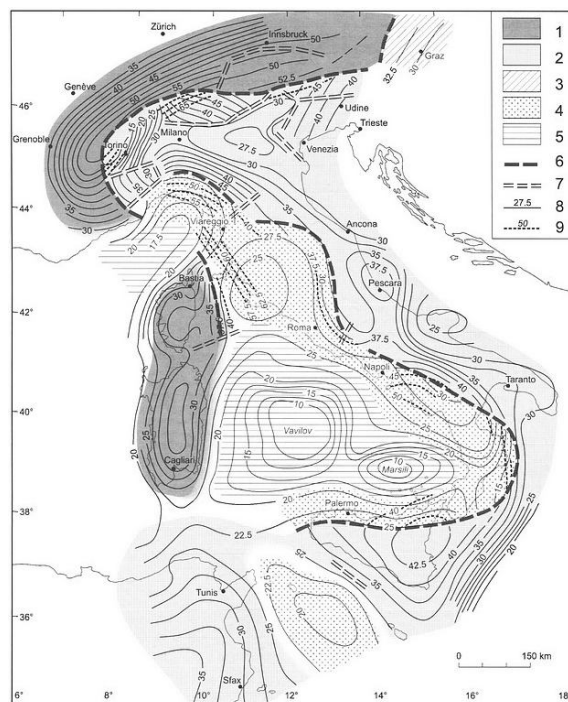


Ciò è dovuto al fatto che **le tecniche di sismica a riflessione sono più a corto raggio (poiché i raggi vengono riflessi)**, mentre **le sismiche a rifrazione sono più a lungo raggio (poiché i raggi vengono rifratti)**.

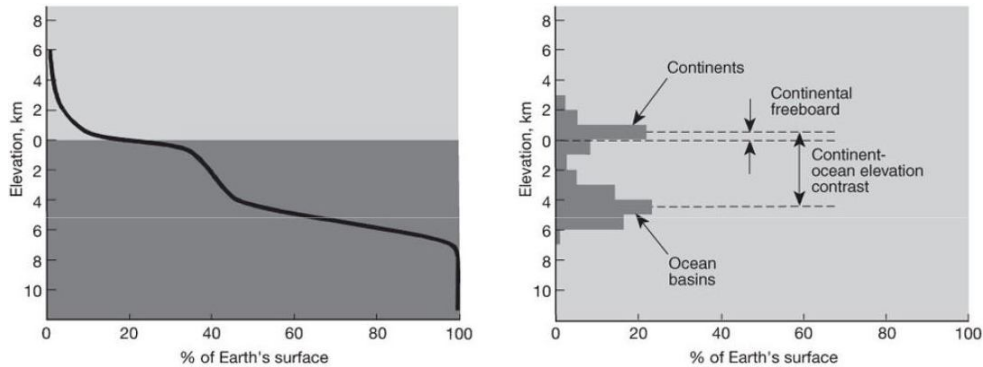
La **Moho** si trova **a diverse profondità, intorno ai 5-10 km sotto gli oceani e intorno ai 20-70 km sotto i continenti**. **Nelle zone in estensione la Moho è più superficiale**, invece, **nelle zone in compressione è più profonda**.



La **profondità di compensazione della Moho nelle zone cratoniche** all'interno delle placche è di **~ 40 km (quindi anche lo spessore della crosta continentale al centro delle placche è di circa 40 km)**, mentre **negli oceani tale profondità di compensazione è ~ 15 km**. Le profondità più elevate (gradienti) si trovano lungo i margini continentali, nelle zone di collisione tra due placche. Ad esempio, **al di sotto dell'Himalaya la Moho si trova a ~ 70 km di profondità**.

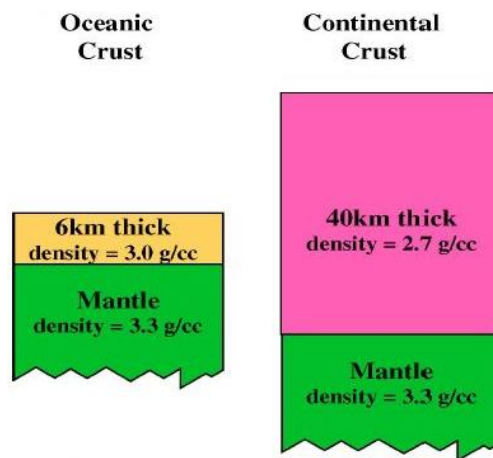


Le osservazioni sismologiche e geologiche indicano che esistono due tipi di croste: oceanica e continentale. In particolare, **se si diagrammano le quote (in un diagramma ipsometrico, che rappresenta la distribuzione delle quote topografiche) si notano che esistono due picchi: uno che rispecchia la quota media dei continenti, intorno ai 1000 m, e un altro che rappresenta il massimo delle profondità oceaniche. Tra di essi si trova una zona caratterizzata da un contrasto di elevazione tra continenti ed oceani.**

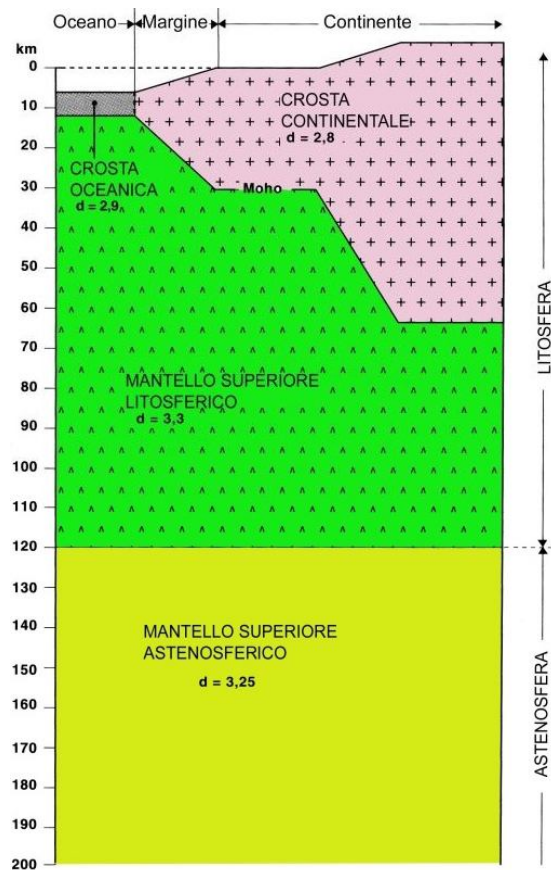


La crosta continentale può essere studiata direttamente, attraverso i campioni derivanti dalle pareti esposte in superficie, mentre la crosta oceanica si studia per lo più in maniera indiretta, attraverso l'utilizzo delle navi oceanografiche.

I due tipi di crosta sono composizionalmente distinti tra loro e dal mantello sottostante. La **crosta continentale** ha **composizione globale andesitica**, con $\sim 60\%$ SiO_2 e $V_P \sim 6$ km/s. La **crosta oceanica** ha **composizione globale basaltica**, con $\sim 50\%$ SiO_2 e $V_P \sim 6,8$ km/s.



Il **mantello** (litosfera inferiore e astenosfera), ha **composizione ultramafica o peridotitica**, con $\sim 45\%$ SiO_2 e $V_P \sim 8$ km/s. **Si distinguono un mantello superiore (litosferico o LID) ed un mantello inferiore (astenosferico).**



Le principali differenze tra crosta e continentale, in profondità tendono quasi ad annullarsi, e le proprietà tendono ad essere le stesse.

	Ocean Basins	Continents
Thickness	6 ± 1 km	~ 40 km
Composition	Basalt ($\sim 50\% \text{ SiO}_2$)	Andesite ($\sim 60\% \text{ SiO}_2$)
Max. Age	170 Ma	4000 Ma = 4.0 Ga
Origin	Seafloor spreading	Arc magmatism & accretion
Elevation	$=f(\text{age})$	$=f(\text{tectonics})$
Demise	Subducted	Immortal
Humans	No	Yes

In particolare, **la crosta oceanica ha composizione basaltica, quella continentale andesitica.**

La maggior parte della crosta oceanica è giovane (~ 170 Ma), mentre la crosta continentale può arrivare anche a 3,9 Ga.

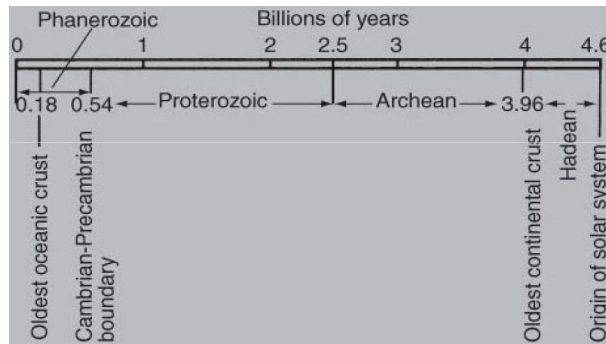
Gli oceani si formano per la risalita di nuovo magma, e la messa in posto sotto forma di pillow lavas, mentre ai bordi dei continenti la crosta viene riciclata.

L'altezza delle dorsali è relativa anche all'età, mentre nei continenti l'elevazione è funzione dell'attività tettonica.

Con il termine demise si indica “la morte della crosta”. **La crosta oceanica scompare per subduzione, mentre la crosta continentale può anche essere immortale.**

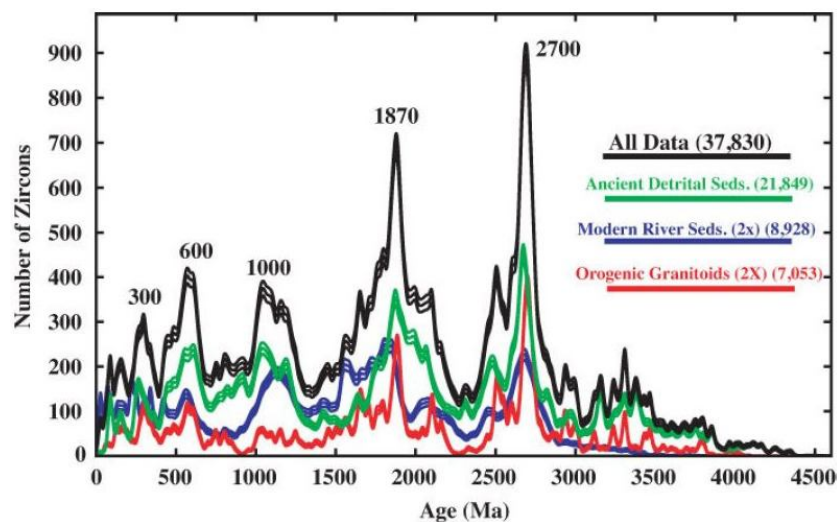
Le due principali età che riguardano crosta oceanica e crosta continentale sono:

- × **180 Ma:** che **rappresenta l'età della crosta oceanica più antica;**
- × **3,96 Ga:** che **rappresenta l'età della crosta continentale più antica.**



Le **datazioni per ricavare l'età della crosta continentale** vengono effettuate **tramite gli zirconi**. Infatti, **gli zirconi resistono molto bene ai fenomeni tettonici**, e ciò ha permesso di stabilire l'età più antica della crosta continentale.

I picchi dell'abbondanza di zirconi corrispondono a picchi di produzione di crosta continentale, che a loro volta corrispondono ad eventi di assemblaggio di supercontinenti (Pangea, Rodinia, ecc.). Invece, **i minimi di produzione di crosta continentale corrispondono ad eventi di rottura dei supercontinenti.**

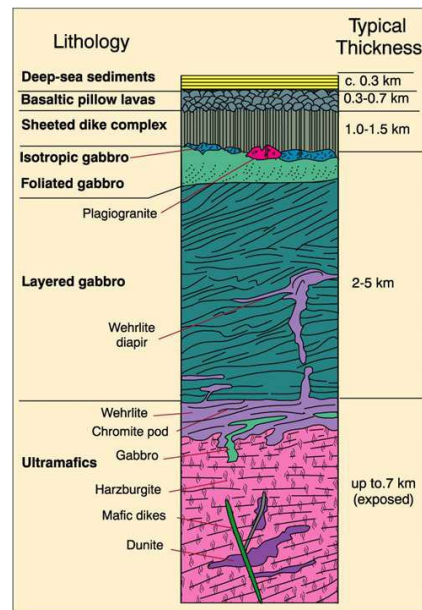


Attualmente il mondo si trova in una fase di disaggregazione. **L'aggregazione e la disaggregazione è ciclica, e si riflettono nel ciclo di Wilson**, che dura circa 500 Ma. Infatti, 2500 Ma è l'età che corrisponde al passaggio Archeano-Proterozoico, ed è il periodo che corrisponde all'inizio di un ciclo di Wilson.

Una sequenza ofiolitica è una porzione di litosfera oceanica. La sequenza classica è costituita da:

- × **sedimenti pelagici;**
- × **lave a pillow/laloclastiti;**

- × **dicchi basaltici (dolerite-diabase)**;
- × **rocce gabbroidi (massive e stratificate)**;
- × **rocce cumulitiche ultramafiche**;
- × **rocce metatorfiche e/o ultrafemiche di mantello (peridotiti)**.



In diverse zone, però, lo schema classico delle ofioliti può variare. **Le ofioliti si alterano spesso in serpentiniti e/o spiliti**. Un complesso ofiolitico misura più di 10 km di spessore, più di 100 km di larghezza e più di 500 km di lunghezza (estensione).

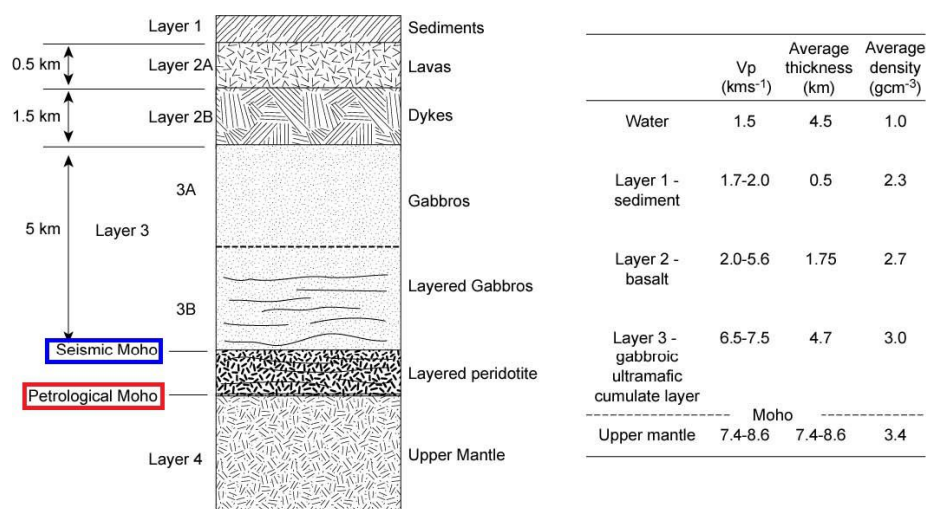
Le sequenze ofiolitiche possono essere correlate con gli orizzonti sismici della litosfera oceanica:

- × la **copertura sedimentaria** corrisponde allo **strato 1**;
- × le **lave a pillow** e i **dicchi** corrispondono allo **strato 2**;
- × i **gabbri (stratificati e massivi)** corrispondono allo **strato 3**;
- × le **rocce ultrafemiche** e le **peridotiti di mantello** corrispondono allo **strato 4**.

Lithology	Ocean Crustal Layers	Typical Ophiolite		Normal Ocean Crust	
		Thickness (km)	ave.	P wave vel. (km/s)	
Deep-Sea Sediment	1	~ 0.3	0.5	1.7 - 2.0	
Basaltic Pillow Lavas	2A & 2B	0.5	0.5	2.0 - 5.6	
Sheeted dike complex	2C	1.0 - 1.5	1.5	6.7	
Gabbro	3A	2 - 5	4.7	7.1	
Layered Gabbro	3B				
Layered peridotite	4	up to 7		8.1	
Unlayered tectonite peridotite					

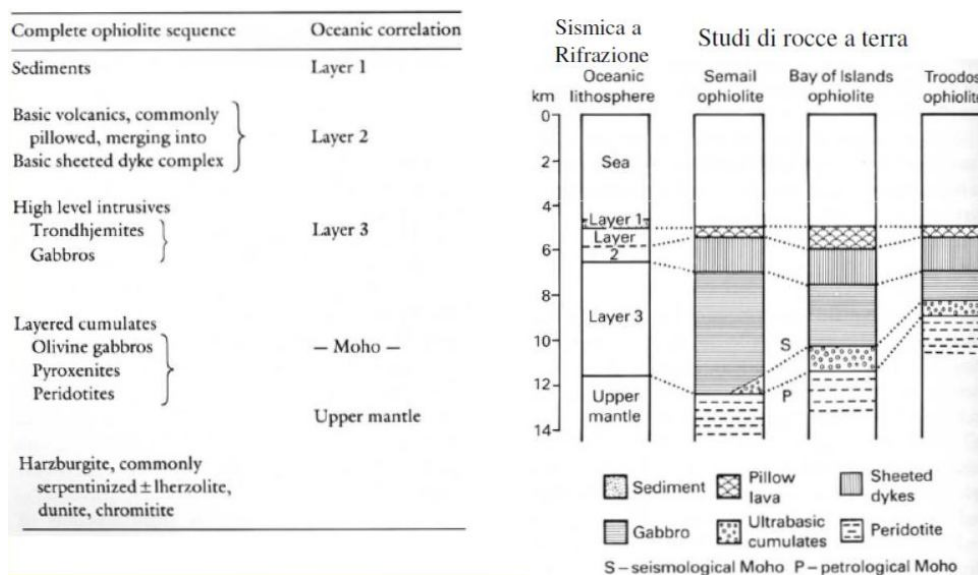
Dagli studi oceanografici si è visto che **non c'è corrispondenza tra la Moho petrologica e la Moho sismica**, quindi **la vera e propria Moho dovrebbe essere quella petrologica**. Infatti, **la**

Moho sismica corrisponde al limite tra peridotiti mafiche ed ultramafiche, e differisce dalla Moho petrologica, che rappresenta il limite crosta-mantello.



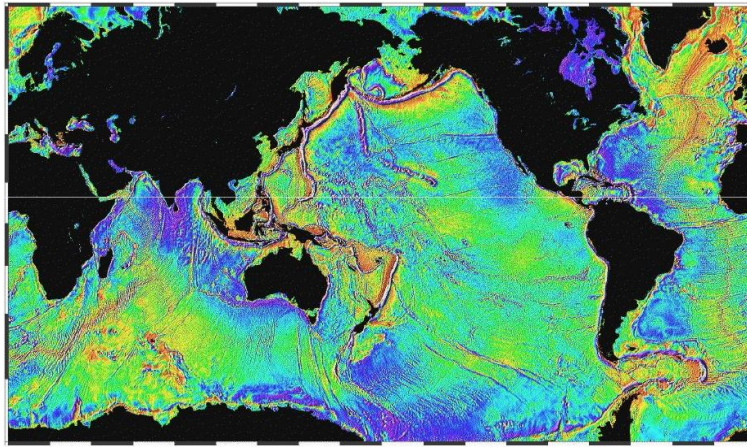
La **Moho sismica** (definita dalle V_p) **giace sopra le peridotiti, ma il limite crosta-mantello o Moho petrologica, definita dalla distinzione tra cumuliti e rocce restitiche giace entro il layer ultramafico.**

Gli studi di sismica a rifrazione e delle ofioliti affioranti indicano che **la crosta oceanica è composta di tre livelli ed è spessa 5-7 km.**

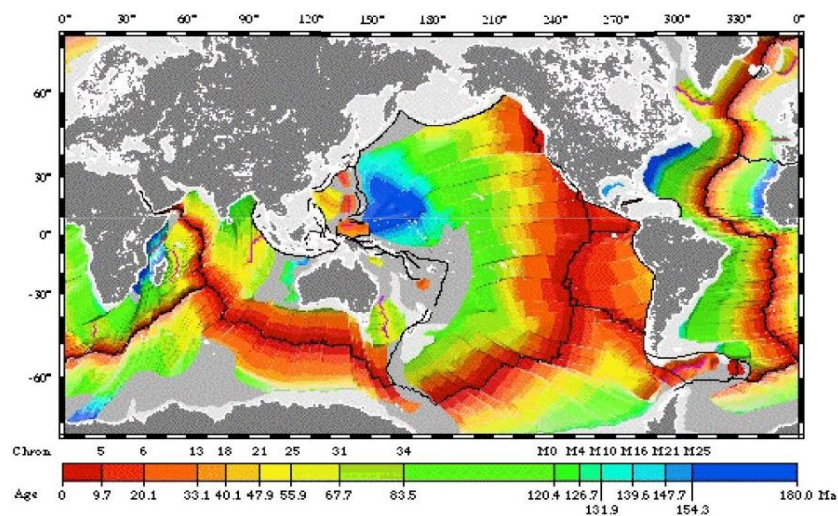


La crosta oceanica è stata studiata anche attraverso la batimetria da satellite (la batimetria è la misurazione della profondità delle acque del mare). Con questa tecnica si studiano le differenze del segnale batimetrico, per individuare le zone più elevate e quelle più profonde.

Le zone che hanno batimetria maggiore sono quelle più profonde, mentre quelle che hanno batimetria minore sono quelle meno profonde.



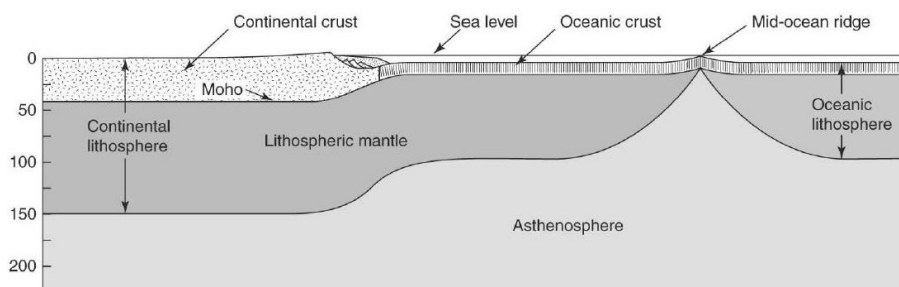
Per quanto riguarda l'età della crosta continentale, si nota che **le età più antiche delle rocce oceaniche si trovano lontano dalle dorsali, viceversa per le rocce più giovani.**



IL MANTELLO E LA LITOSFERA

Il mantello litosferico differisce dalla sottostante astenosfera per il suo comportamento reologico piuttosto che per la sua composizione chimica (come crosta e mantello). Infatti, **il mantello litosferico ha un comportamento simile a quello della crosta, ma la sua composizione chimica è simile a quella del mantello astenosferico.**

Sotto l'influenza degli sforzi remoti e di lungo termine che guidano la tettonica a placche, la litosfera risponde rigidamente mentre l'astenosfera si comporta come un fluido viscoso.



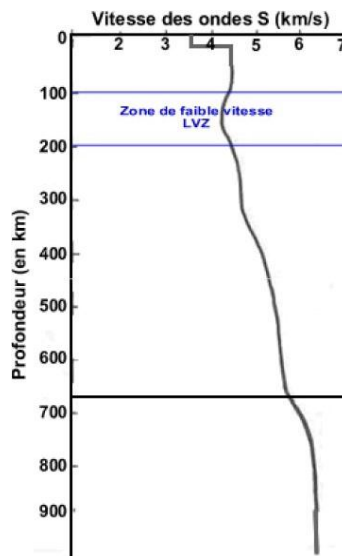
É proprio all'interfaccia tra litosfera ed astenosfera che, in virtù della differenza di comportamento, si genera lo scollamento delle placche.

La litosfera ha uno spessore di:

- × pochi km sotto le dorsali;
- × 0-150 km al di sotto dei vecchi bacini oceanici;
- × 250-300 km al di sotto dei continenti.

L'evidenza sismologica della dualità di comportamento tra litosfera ed astenosfera è data dalla presenza della Low Velocity Zone (LVZ). La zona sismica a bassa velocità nel mantello superiore si individua facilmente attraverso il comportamento delle onde S.

Infatti, **si tratta di una zona in cui si ha una notevole attenuazione delle velocità delle onde S**, e ciò indica che **il modulo di rigidità o di taglio è molto basso**, quindi, **si tratta di un materiale prossimo alla temperatura di fusione** (pertanto, anche meno resistente). **Non si tratta di un vero e proprio fluido, ma il materiale può comportarsi come tale a seconda dei processi che lo interessano.**



La LVZ è meglio definita sotto gli oceani che sotto gli scudi continentali, sia perché la litosfera oceanica è meglio definita sismologicamente della litosfera continentale, sia perché la litosfera è più spessa sotto i continenti che sotto gli oceani, e quindi si genera una maggiore attenuazione del segnale sismico registrato.

Per individuare lo spessore della litosfera e/o la presenza dell'astenosfera, si possono utilizzare le **tomografie sismiche**, che **rappresentano un modello della distribuzione di velocità, definito a partire da un modello teorico, in cui in rosso vengono indicate le basse velocità, che sono tipiche dell'astenosfera, ed in blu le alte velocità, che sono tipiche della litosfera.**

