



# Istituto Idrografico della Marina Genova

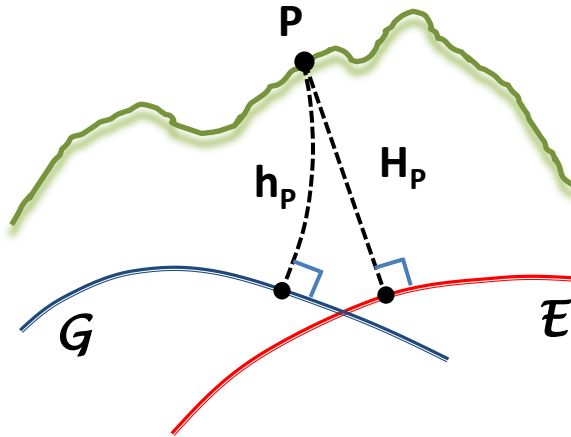


## IL SISTEMA ALTIMETRICO ITALIANO, LA LIVELLAZIONE, LO ZERO IDROGRAFICO ED I RIFLESSI IN AMBITO PORTUALE

Roma, 17 febbraio 2016

Prof. Marco Pierozzi

## Quota geometrica e quota fisica



$H_p$  = quota «geometrica» di P

$h_p$  = quota «fisica» di P

### Superfici di riferimento

$\mathcal{E}$  = superficie **geometrica** di riferimento (convessa) definita da una semplice equazione in forma chiusa;

*esempio:* **ellissoide a due o tre assi; sfera**

$\mathcal{G}$  = superficie **fisica** di riferimento (convessa) definita in collegamento con il campo di gravità terrestre, di cui è una delle superfici di livello (o equipotenziali);

*esempio:* **superficie libera, in quiete, di un fluido sottoposto al campo di gravità**

# Superfici di riferimento per le quote

## Superficie di riferimento geometrica

Generalmente adottato: **ellissoide di rotazione** ( $\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$ ) «schiacciato» ai poli ( $b < a$ ), di forma e dimensioni approssimanti quelle del corpo terrestre, dislocato in posizione geocentrica e con l'asse minore coincidente con l'asse di rotazione terrestre;

**Esempi:** ellissoide **WGS84** ( $a = 6378137,0$  m,  $b = 6356752,3142$  m) riferimento del sistema di posizionamento globale **GPS**; in Europa: ellissoide **GRS80** (Geodetic Reference System 1980) proprio del sistema **ETRS89** (European Terrestrial Reference System 1989) riferimento geodetico del sistema GPS in Europa

## Superficie di riferimento fisica

**Geoide** = in generale, una particolare **superficie equipotenziale del campo di gravità terrestre**

**Geoide locale** = superficie equipotenziale passante per un punto **prestabilito M** del territorio di una nazione

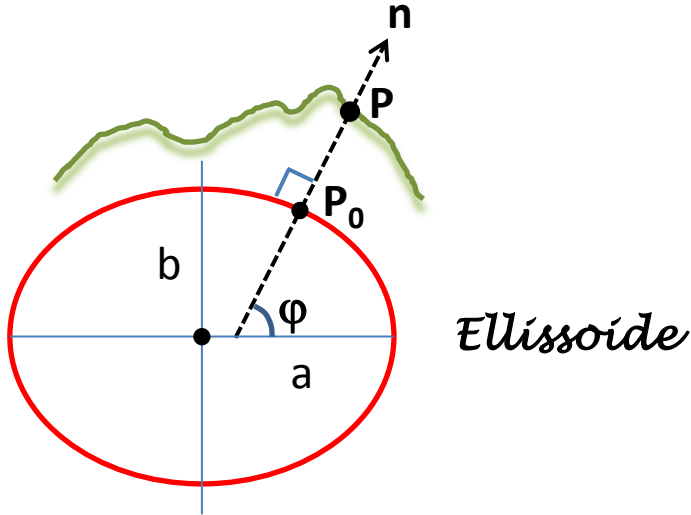
**Esempio:** **M** = livello zero mareografico **convenzionalmente** individuato come media di una serie di misure effettuate, in un certo intervallo temporale, da un mareografo

**Geoide globale** = superficie equipotenziale scelta internazionalmente in modo da approssimare, in media, il livello di tutti gli oceani; **Esempio:** modello **EGM2008**

La **superficie geoidica**, sia essa locale o globale, intesa come riferimento altimetrico, viene qualche volta descritta come **prolungamento degli oceani al di sotto delle terre emerse**

# Definizione di quota geometrica e quota fisica

Quota geometrica (**ellissoide di rotazione**):  $H_p$



$n$  = retta normale all'ellissoide, passante per  $P$

$H_p$  = segmento  $P_0 P$

( $\varphi$  = latitudine ellissoidica di  $P$ )

**Esempio:** la quota ricavata da misure **GPS**, assolute o differenziali riferita all'ellissoide **WGS84** o **GRS80** (**ETRS89**)

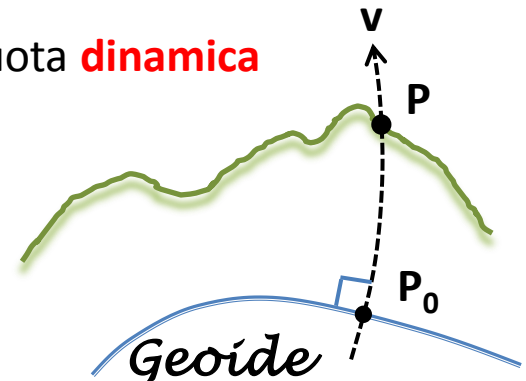
## Quota fisica (**geoidi**)

Almeno **due** i concetti di quota fisica: quota **ortometrica** e quota **dinamica**

(1) Quota ortometrica  $h_p^0$  (definizione)

$v$  = linea di forza del campo di gravità, passante per  $P$

$h_p^0$  = lunghezza del tratto  $P_0P$  della linea di forza  
(generalmente curva)



→  $v$  è anche detta **linea del filo a piombo** (in Inglese: **plumb-line**) perché in ogni suo punto il vettore gravità è ad essa tangente

→ la linea di forza **NON** coincide con la traiettoria di un grave in caduta libera

## Definizione di quota fisica

Quota ortometrica  $h_p^0$  (espressione teorica)

$$h_p^0 = \frac{1}{g_m} \int_{P_0}^P g ds$$



dall'espressione del valor medio integrale:

$$g_m = \frac{1}{h_p^0} \int_{P_0}^P g ds$$

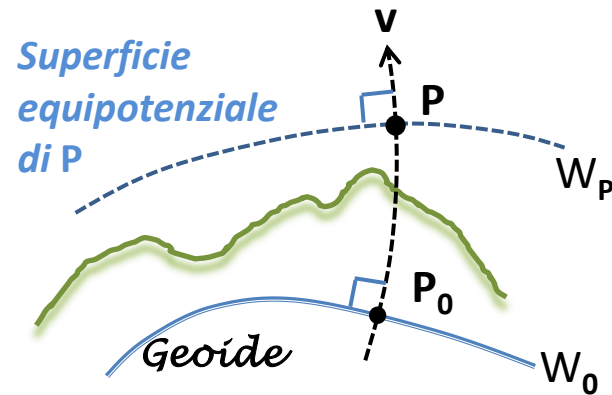
(  $h_p^0$  è la lunghezza del tratto di linea di forza da  $P_0$  a  $P$  )

dove le quantità sotto l'integrale di linea sono:

$g$  = gravità misurata (nominalmente) lungo la linea di forza da  $P_0$  a  $P$  in mGal ( $10^{-5} \text{ m s}^{-2}$ )

$ds$  = tratto infinitesimo di linea di forza da  $P_0$  a  $P$  in metri

$g_m$  = valore medio di gravità da  $P_0$  a  $P$  (da misura + modello)



$$\int_{P_0}^P g ds = - \int_{P_0}^P \mathbf{g} \cdot d\mathbf{s} = -(W_P - W_0) = \text{differenza di potenziale di gravità fra } P \text{ e } P_0$$

( $W_0$  = potenziale di gravità del geoido)

È generalmente di tipo ortometrico la quota riportata sulla cartografia tecnica

## Definizione di quota fisica

### (2) Quota dinamica $h_p^D$ (definizione ed espressione teorica)

$h_p^D$   $\rightarrow$  direttamente proporzionale alla differenza tra il potenziale del geoide ( $W_0$ ) ed il potenziale di **P** ( $W_p$ )  $\rightarrow$  ( $W_0 - W_p$ )

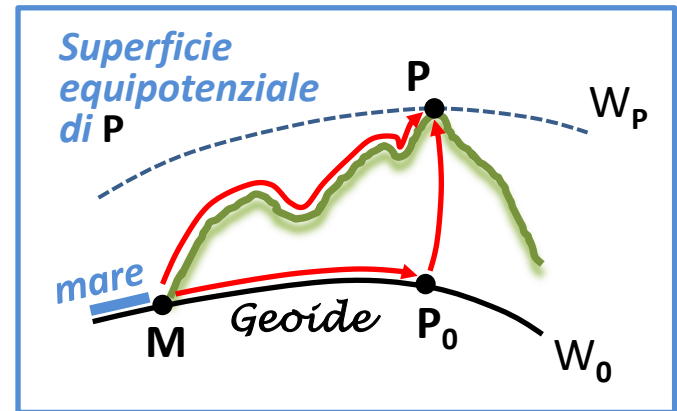
$$h_p^D = \frac{W_0 - W_p}{\gamma_{0,45}} = - \frac{1}{\gamma_{0,45}} \int_M^P \mathbf{g} \cdot d\mathbf{s}$$

dove l'integrale di linea è calcolato **lungo un cammino qualsiasi** a partire da un **punto qualsiasi M** del Geoide fino al punto **P**

$\mathbf{g}$  = vettore gravità misurato lungo il cammino di integrazione ( modulo di  $\mathbf{g}$  in mGal o sottomultipli)

$d\mathbf{s}$  = tratto infinitesimo (vettore) del cammino di integrazione (modulo di  $d\mathbf{s}$  in unità metriche)

$\gamma_{0,45}$  = **costante** (valore di **gravità normale** a quota zero e latitudine 45°) in mGal

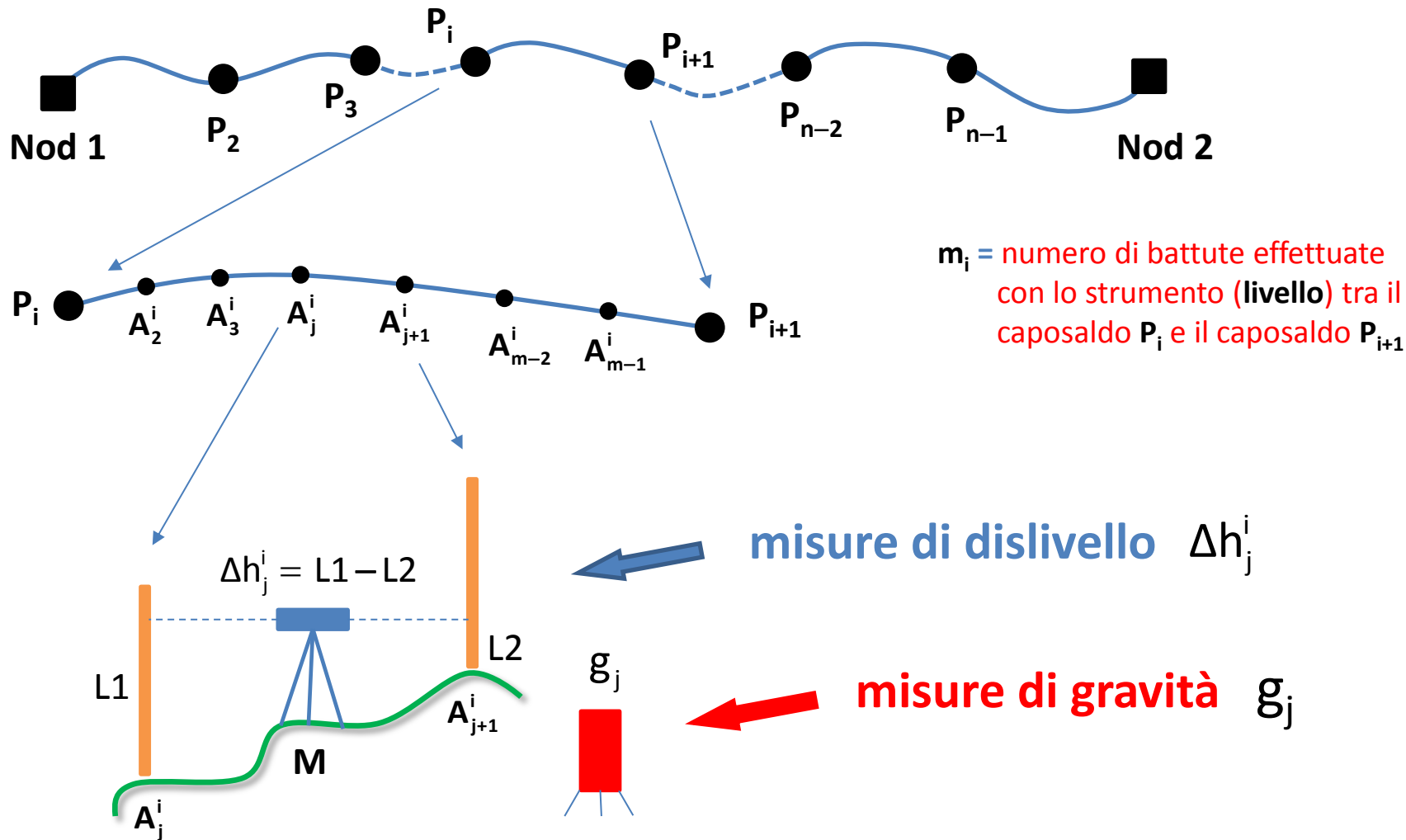


Campo di gravità **CONSERVATIVO**  $\rightarrow \int \mathbf{g} \cdot d\mathbf{s} = 0$  su un **cammino chiuso** e quindi anche **INDIPENDENTE** dal cammino percorso da **P<sub>0</sub>** a **P** o da **M** a **P** (l'integrale da **M** a **P<sub>0</sub>**, sul Geoide, è **identicamente** nullo)

# La livellazione geometrica per il trasporto delle quote (fisiche)

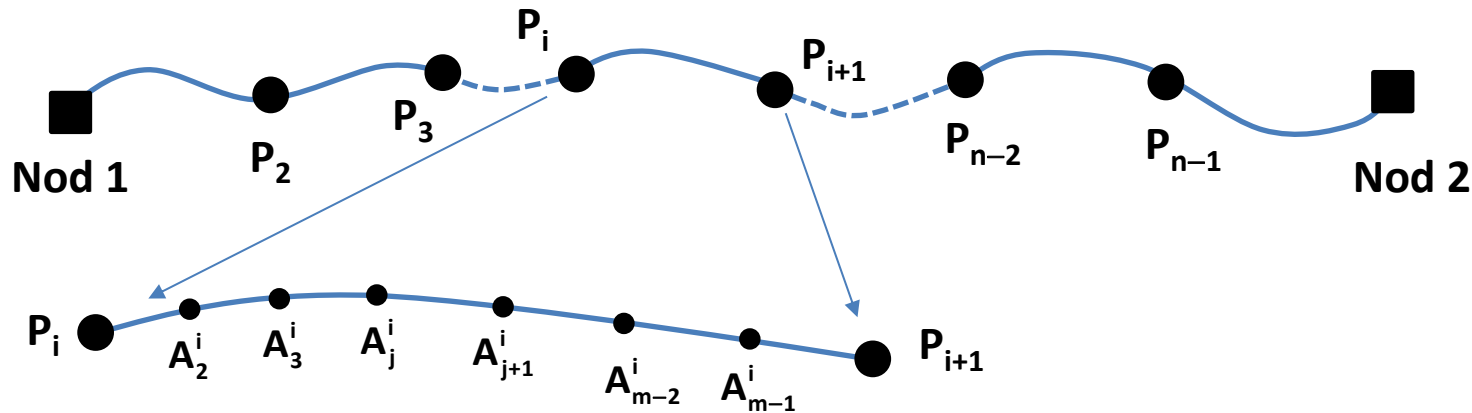
Elemento base → **Linea di livellazione geometrica** (composta da n capisaldi)

**Caposaldo P** → → **referimento di quota** costituito da speciale contrassegno (in acciaio o porcellana) materializzato stabilmente sul territorio, generalmente lungo la viabilità ordinaria – tipicamente posto ad una distanza di circa 1 km dal precedente e dal successivo



# La livellazione geometrica per il trasporto delle quote (fisiche)

## Calcolo del dislivello tra i vari capisaldi e tra i Nodali di una linea di livellazione



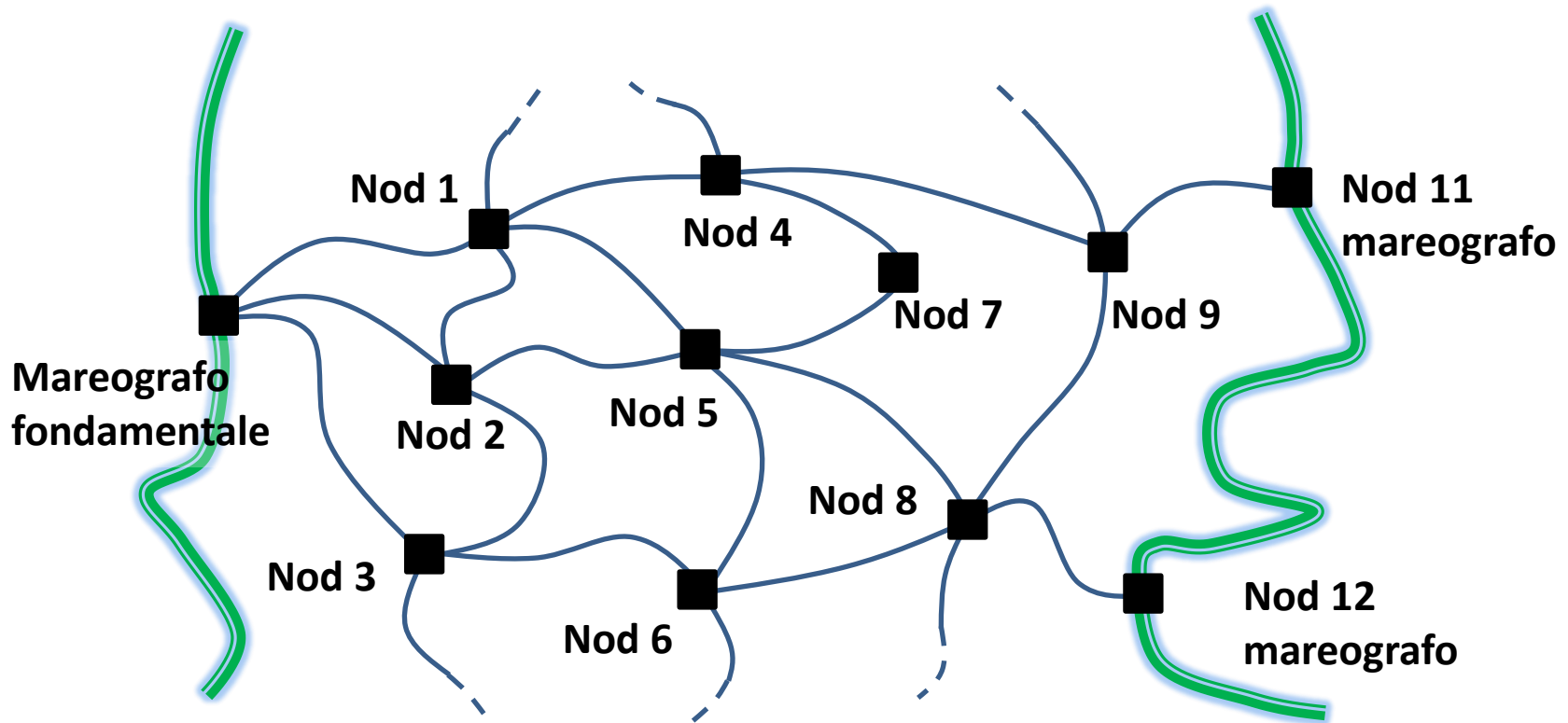
In teoria :  $g_i \Delta h_j^i \Rightarrow \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_i \Delta h_j^i \Rightarrow -\frac{1}{\gamma_{0,45}} \int_{\text{Nod1}}^{\text{Nod2}} g \cdot ds =$  dislivello «dinamico» tra Nod1 e Nod2

In pratica (spesso !):  $\Delta h_j^i \Rightarrow \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta h_j^i \Rightarrow \int_{\text{Nod1}}^{\text{Nod2}} dh =$  dislivello «bruto» tra Nod1 e Nod2



# Rete altimetrica di livellazione

**Rete di livellazione geometrica** = insieme di **linee di livellazione** tra loro collegate tramite i capisaldi estremi (capisaldi NODALI)



Trasporto di quota da  
(esempio) Nod 1 a Nod 8

NON univoco

Necessario  
«geometrizzare» la rete

Compensazione in blocco  
della rete secondo il principio  
dei MINIMI QUADRATI

Teoria degli Errori

## Rete altimetrica italiana

La rete altimetrica italiana (rete di livellazione fondamentale o di alta precisione) si estende attualmente per circa **18000 km** ed è materializzata da altrettanti capisaldi (in media 1 al kilometro) installati lungo la viabilità ordinaria, ove possibile su manufatti che diano garanzia di stabilità nel tempo.

Le quote disponibili all'utenza ordinaria sono quelle risultanti dalla **compensazione dei dislivelli «bruti» senza l'integrazione delle misure di gravità.**


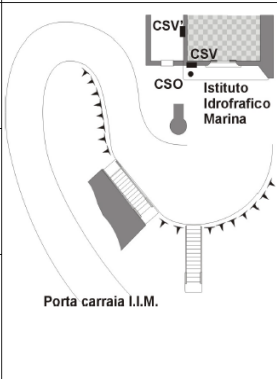

La tipologia delle quote risultanti pertanto non può a rigore definirsi né dinamica né ortometrica, anche se si avvicina maggiormente a quest'ultima, stante il carattere metrico dei dislivelli misurati.

**L'errore commesso, tuttavia, è del tutto trascurabile per tutti gli scopi, a livello locale.**



# Rete altimetrica italiana

La **monografia** di ciascun caposaldo, disponibile presso l'IGM (Istituto Geografico Militare) in sintesi riporta: **schizzo planimetrico** del manufatto su cui è materializzato il caposaldo, **posizione** (coordinate geografiche troncate al secondo sessagesimale), **quota in metri** (fino al decimo di millimetro), risultante dalla compensazione, relativa ai vari contrassegni del caposaldo, più altri dati atti a meglio identificarne l'ubicazione. **Quota riferita allo «zero» di Genova**

	Nazione: Italia Regione: Liguria Provincia: Genova Comune: Genova	Serie 100: 082 Genova Serie 50: 213 Genova Serie 25: 213 sez IV Campo Ligure Serie 25V: 082 II-NE Sestri Ponente		
C: 92 (CSO) ( A: NON MISURABILE ) Pozzetto alla base della facciata dell'edificio, presso lo spigolo di sinistra.	Progressiva km: Km 2,555 dal Nodale N030#_###_#### Quotato: Il caposaldo è stato quotato nell'anno 2001 Ricognito: L'ultima ricognizione effettuata sul caposaldo risale all' anno 2005	IGM95: 1082903	IGM - Servizio Geodetico - via di Nevoli, 93 - 50127 FIRENZE - Tel. 055 2729442 - Fax 055 4389449 - email: servizio.geodetico@igm.101.it Attenzione: le quote sono espresse in metri e troncate al metro	
C: 93 (CSV) Piastrina infissa sulla facciata, in corrispondenza del CSO.				
(CSV') ( NON MISURABILE ) Piastrina infissa sulla parete laterale (attualmente è all'interno dell'ufficio annesso al fabbricato) .		foto non disponibile		
		Coordinate geografiche ETRF2000      Roma40 $\varphi$ : 44° 25' 08" $\varphi$ : 44° 25' 06" $\lambda$ : 08° 55' 17" $\lambda$ : -03° 31' 50"		
GENOVA - ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA()		N030#_D01_004#		

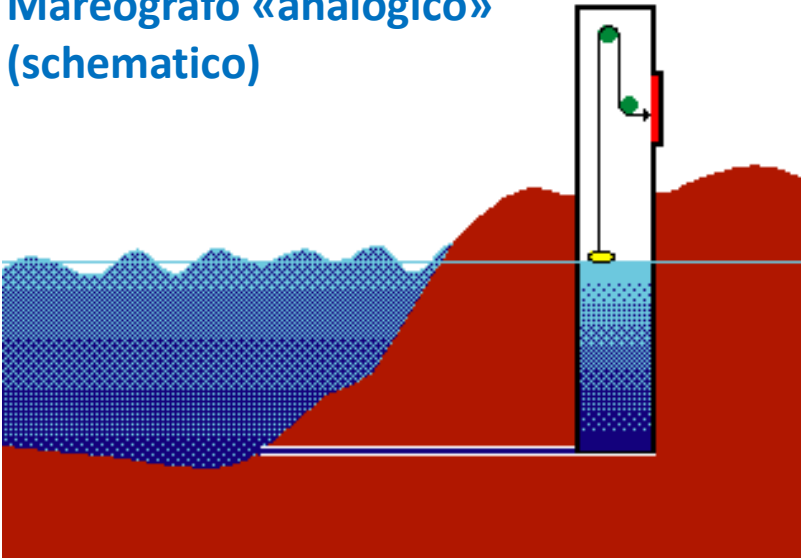
## Caposaldo di riferimento (quota zero)

Il **caposaldo di riferimento** della rete altimetrica della penisola italiana è dato da uno speciale contrassegno (**piastrina mareografica**) situato all'interno del **mareografo di Genova** (gestito dall'IIM e situato su Ponte Morosini) da cui tale piastrina prende la quota.

La quota della piastrina è il risultato di una media di osservazioni mareografiche del livello del mare effettuate su un periodo di 9 anni (1937-1946) ed ha quindi valore **convenzionale** (**3,249 m sul l.m.m.**). Le quote di tutti i capisaldi della rete peninsulare sono pertanto derivate per trasporto altimetrico da quelle del mareografo di Genova.

Per le isole maggiori, ruolo analogo è svolto dal mareografo di **Catania** (periodo 1965) e dal mareografo di **Cagliari** (periodo 1955-1957)

Mareografo «analogico»  
(schematico)



Mareografo «radar»

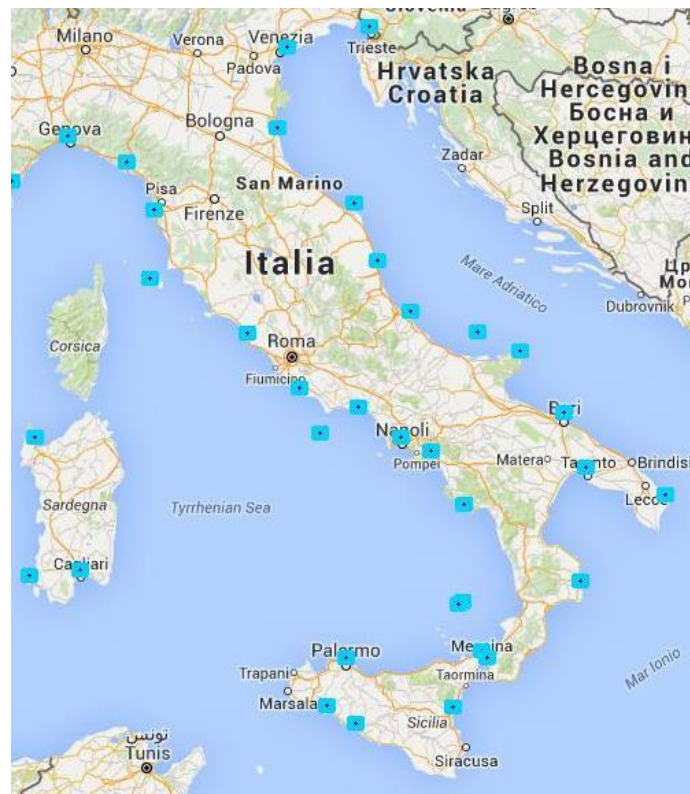


## Rete mareografica italiana

I mareografi direttamente gestiti dall'Istituto Idrografico della Marina



I mareografi della Rete Mareografica Nazionale (ISPRA)



I mareografi italiani sono stati tutti collegati altimetricamente alla rete di livellazione fondamentale, cosicché essi risultano anche tra loro collegati. Ciò consente, in linea di principio, di mettere a confronto i livelli medi marini locali lungo le coste nazionali.

## Tidal Datum e Chart Datum

**Tidal Datum = riferimento individuato dall'altezza del livello del mare in una predefinita fase della marea (in una determinata località)**

### Esempi (maree semi-diurne)

<b>HAT</b>	(Highest Astronomical Tide)	= la più alta marea astronomica
<b>MHWS</b>	(Mean High Water Springs)	= media alte maree sizigiali (allin. Sole-Terra-Luna)
<b>MHWN</b>	(Mean High Water Neaps)	= media alte maree alla quadratura Sole-Terra-Luna
<b>MSL</b>	(Mean Sea Level)	= livello medio marino (osservazioni su lungo periodo)
<b>MLWN</b>	(Mean Low Water Neaps)	= media basse maree alla quadratura Sole-Terra-Luna
<b>MLWS</b>	(Mean Low Water Springs)	= media basse maree sizigiali (allin. Sole-Terra-Luna)
<b>LAT</b>	(Lowest Astronomical Tide)	= la più bassa marea astronomica

### Qualche ulteriore dettaglio ...

**MLWN** = media, nell'arco dell'anno, di due altezze successive di bassa marea misurate in quei periodi di 24 h in cui, con cadenza quindicinale, la differenza tra alta e bassa marea raggiunge un **massimo relativo** (Water Neaps)

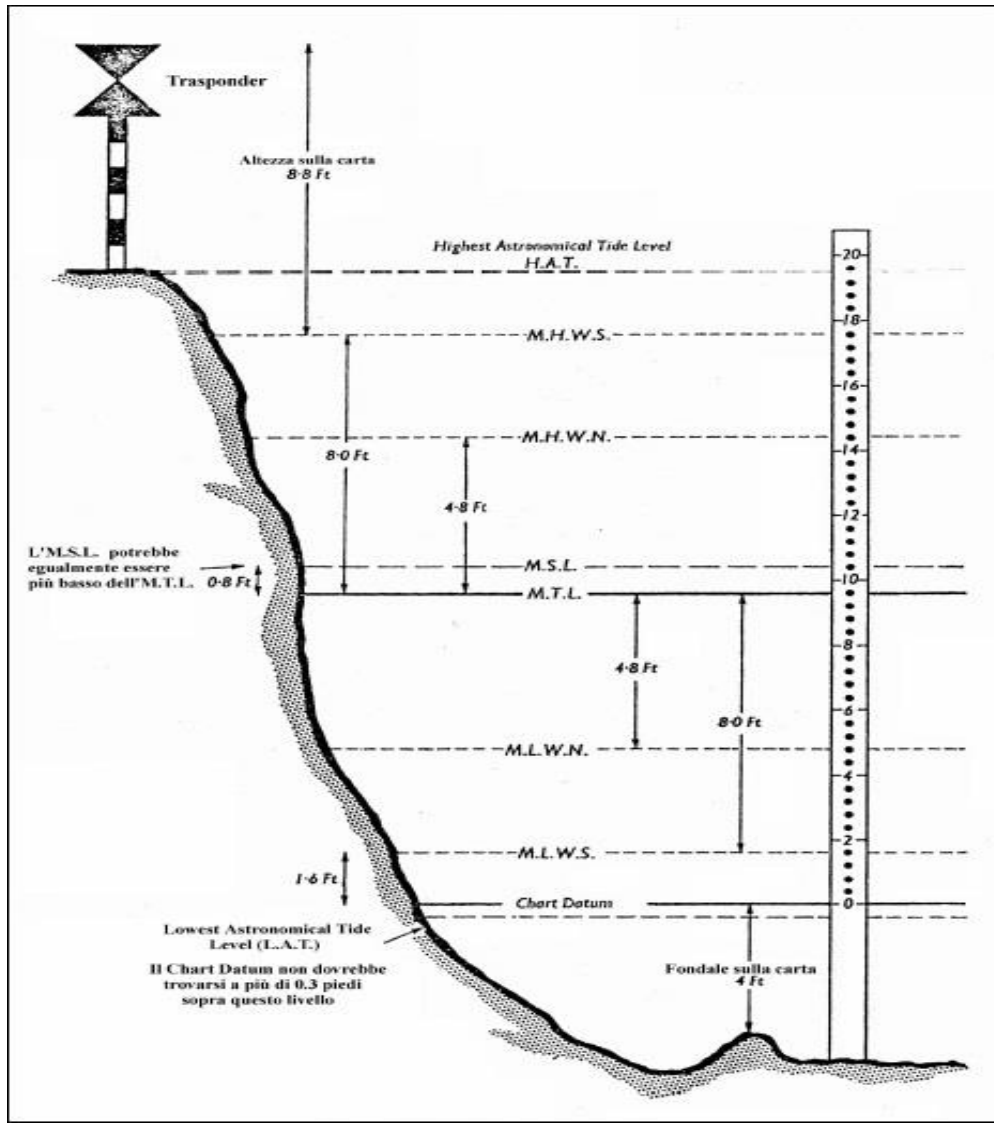
**MLWS** = media, nell'arco dell'anno, di due altezze successive di bassa marea misurate in quei periodi di 24 h in cui, con cadenza quindicinale, la differenza tra alta e bassa marea raggiunge un **massimo assoluto** (Water Springs)

**MLWN** =  $Z_0 - (M_2 - S_2)$  ← effetto combinato, in opposizione, delle componenti semi-diurne  $M_2$  ed  $S_2$

**MLWS** =  $Z_0 - (M_2 + S_2)$  ← effetto combinato, in rafforzamento, delle componenti semi-diurne  $M_2$  ed  $S_2$

# Tidal Datum e Chart Datum

**Tidal Datum = riferimento individuato dall'altezza del livello del mare in una predefinita fase della marea (in una determinata località)**



**HAT** (Highest Astronomical Tide)

**MHWS** (Mean High Water Springs)

**MHWN** (Mean High Water Neaps)

**MSL** (Mean Sea Level)

**MLWN** (Mean Low Water Neaps)

**MLWS** (Mean Low Water Springs)

**LAT** (Lowest Astronomical Tide)

## Tidal Datum e Chart Datum

Per convenzione internazionale :

Chart Datum = «**Riferimento sotto il quale raramente scende il livello di marea**»

In pratica, il CD viene scelto **nominalmente coincidente con un particolare Tidal Datum**.

In Italia: CD = MLWS

( in Inghilterra e Australia, ad esempio, CD = LAT )

Il CD è un livello di riferimento **praticamente legato alla cartografia nautica**: i valori batimetrici, isobate e singoli punti, riportati su ogni carta nautica sono riferiti al CD di quella carta ( = MLWS della zona costiera rappresentata ).

Ne segue che **carte nautiche limitrofe, o anche parzialmente sovrapposte, possono in taluni casi avere CD diversi**, ciascuno valido solo nell'ambito geografico rappresentato e ciò deve costituire elemento di attenzione per il navigante che le utilizza.

Tra le informazioni presenti a margine di una carta nautica, viene anche riportato il valore di una variabile  $Z_0$  (costante per quella carta nautica) che indica, in metri, **il dislivello del MSL (livello medio marino) locale rispetto al CD**

In questo modo il navigante ha la possibilità sia di una **prima valutazione quantitativa del fenomeno della marea (rispetto al riferimento costituito dal MSL locale)**, sia di **riferire i valori batimetrici al livello medio marino locale**.

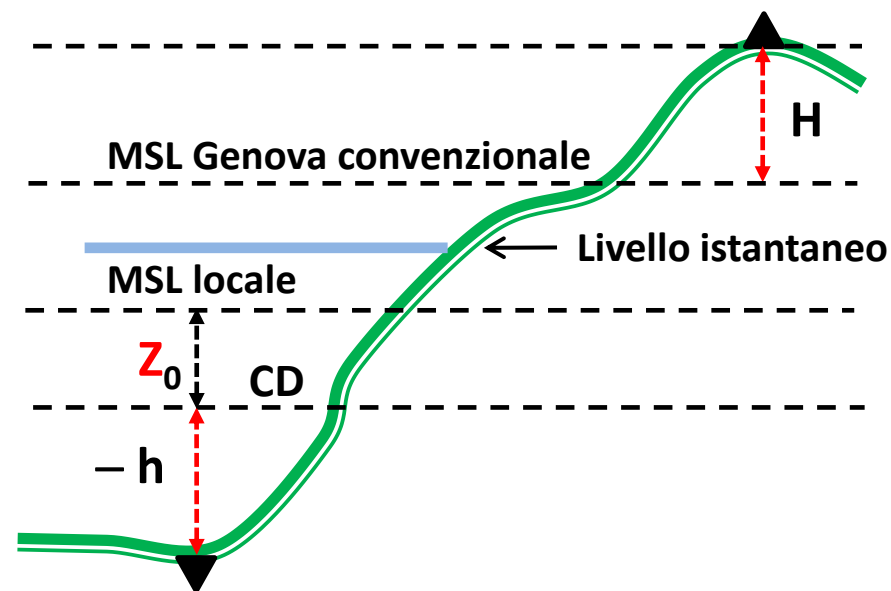


## MSL Genova e MSL locale

Le quote  $H$  sulla terraferma provengono dalla rete di livellazione geometrica e, come tali, sono riferite al MSL Genova convenzionale.

I valori di profondità  $-h$  sono invece riferibili, tramite il valore  $Z_0$  (costante nell'ambito di ciascuna carta nautica), al MSL locale.

Stante la non coincidenza, in generale, dei due riferimenti MSL Genova ed MSL locale, la sola conoscenza della costante  $Z_0$  non è sufficiente per mettere in rigorosa correlazione l'altimetria della zona costiera con la batimetria.



E' pertanto sempre opportuno, nelle operazioni di misura che coinvolgono la mareometria, realizzare anche un collegamento altimetrico ad hoc con la rete di livellazione a terra.

Tali operazioni sono oggi in parte facilitate dalla disponibilità di apparati GNSS (purché utilizzati in modalità geodetica differenziale e su corte distanze).

La conoscenza della differenza tra i due MSL diviene poi necessaria in tutti i casi in cui i rilievi geotopografici si interfacciano con quelli batimetrici per la realizzazione di grandi infrastrutture portuali o altre grandi infrastrutture semisommerse (si pensi, ad esempio, al progettato ponte sullo Stretto di Messina).

## Quale zero idrografico ?

Naturalmente, poiché le opere infrastrutturali in ambito costiero o portuale si realizzano nel tempo, oltre che nello spazio, non è a rigore sufficiente il mero riferimento al MSL locale quale zero idrografico, dato il suo carattere in parte convenzionale, ma è necessario anche rilevare, in modo regolare e sistematico, l'escursione del livello marino sia all'epoca dell'impianto dell'infrastruttura che nella fase operativa della stessa.



Questo rende necessaria la stima dell'andamento delle maree in ambito locale, non solo in relazione alle componenti fondamentali astronomiche che caratterizzano il fenomeno, ma anche in riferimento alle componenti più propriamente meteorologiche e locali che, soprattutto nel bacino del Mediterraneo, spesso ne costituiscono parte rilevante, della quale occorre tenere conto per la realizzazione ed il corretto impiego dell'opera infrastrutturale.



Per la sicurezza della navigazione, infine, è evidente la necessità di un monitoraggio costante dell'escursione dei livelli locali di marea in tutti i siti costieri su cui insistono opere portuali significative.