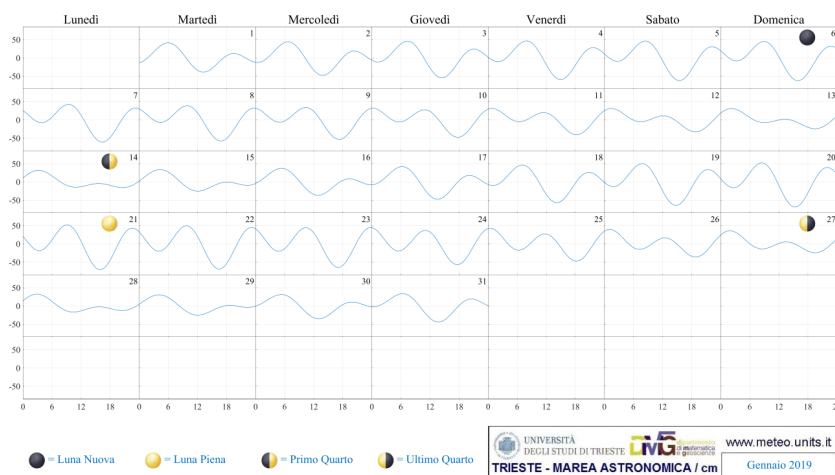




Stefano Cirilli  
Bussi Mauro

# Previsioni di marea per il Golfo di Trieste 2019



---

Trieste, 2019

## INDICE

	pag.
1. IL LIVELLO DEL MARE E LE SUE VARIAZIONI	3
2. LA MAREA ASTRONOMICA A TRIESTE	4
3. LE TABELLE E I GRAFICI	5
4. USO DELLE TABELLE IN LOCALITA' DIVERSE DA TRIESTE	5
BIBLIOGRAFIA	7
Tabelle mensili (alte e basse maree)	8
Tabelle mensili (valori orari)	11
Grafici mensili	17

## PREVISIONI DI MAREA PER IL GOLFO DI TRIESTE 2019

Stefano Cirilli\*  
Bussi Mauro\*

(\*) *Università di Trieste, Dipartimento di Matematica e Geoscienze,  
Oceanografia e Meteorologia*

### 1. IL LIVELLO DEL MARE E LE SUE VARIAZIONI

**Il livello del mare.** In oceanografia si definisce *livello del mare* la differenza tra l'altezza della superficie marina e un piano di riferimento convenzionale, generalmente quotato rispetto alla rete altimetrica nazionale. Il livello del mare, misurato in un luogo prefissato, varia continuamente nel tempo. La mareografia studia il livello marino trascurando le variazioni con periodo molto breve, di pochi secondi, dovute alle onde di superficie.

Moto ondoso a parte, il livello del mare è determinato dalla somma del livello medio, delle variazioni climatiche, della marea meteorologica e della marea astronomica.

**Il livello medio.** Il *livello medio del mare* in un punto è quello che si ottiene, con il calcolo, dai dati delle registrazioni mareografiche in un intervallo di tempo prefissato. Vengono normalmente calcolati i livelli medi giornalieri, mensili e annuali. Il valore assoluto del livello medio dipende dal piano di riferimento usato.

**Le variazioni climatiche.** Le variazioni del livello del mare a lungo periodo sono dovute a cause climatiche e a eventuali movimenti verticali locali della crosta terrestre. A Trieste il livello del mare varia in media, da un anno all'altro, di circa 5 cm. Negli ultimi 120 anni si è verificato un aumento complessivo di 15.5 cm (1.3 mm/anno), leggermente inferiore all'aumento del livello medio globale degli oceani.

**La marea meteorologica.** È l'insieme delle variazioni del livello marino, con periodi compresi tra pochi giorni e poche ore, causate dal vento e dalle differenze della pressione dell'aria sul mare durante il transito delle perturbazioni atmosferiche. Esistono modelli matematici per il calcolo della marea meteorologica capaci di fornire previsioni a breve scadenza, con un'accuratezza che dipende da quella degli analoghi modelli usati per le previsioni del tempo. La marea meteorologica, formata da variazioni irregolari e da oscillazioni smorzate, non è quindi prevedibile a lungo termine.

Per calcolare con breve anticipo la marea meteorologica nel Golfo di Trieste con un'approssimazione sufficiente agli scopi nautici ci si può attenere alle indicazioni seguenti. Il livello del mare si innalza (o si abbassa) di circa 2 cm per un abbassamento (un aumento) di 1 hPa (un ettopascal, pari a un millibar) della pressione atmosferica. Venti sciroccali persistenti per alcune ore sul bacino Adriatico causano un innalzamento del livello marino, mentre la bora produce un abbassamento, pari a circa 15 cm per una velocità media del vento di 10 m/s (36 km/h). Le perturbazioni meteorologiche inoltre producono delle oscillazioni del livello marino chiamate *sesse*: i venti meridionali innescano la *sessa* fondamentale del Mare Adriatico, che ha un periodo di 21.5 ore e un'ampiezza che può raggiungere, a Trieste, 50 cm nei casi più intensi. Il fatto che la *sessa* sia un fenomeno periodico vuol dire che, per esempio, se essa raggiunge il suo massimo oggi alle ore 12:00, avrà un minimo alle 22:45, un secondo massimo domani alle 9:30 e così via: il fenomeno può durare, attenuandosi nel tempo, per più giorni di seguito. La bora

produce una sessa con periodo di tre-quattro ore tra Trieste e Venezia; il Golfo di Trieste può oscillare, tra Trieste e Duino, con un periodo di circa un'ora.

L'effetto combinato di una bassa pressione atmosferica sul Golfo e di forti venti meridionali può dunque produrre a Trieste un innalzamento del livello del mare sino a circa 130 cm sopra il livello medio; viceversa un'alta pressione con forte bora può produrre un abbassamento sino a circa 60 cm sotto il livello medio.

**La marea astronomica.** La marea astronomica lunisolare è causata dalle forze gravitazionali e centrifughe esistenti nei sistemi terra-luna e terra-sole in rotazione attorno ai rispettivi centri di massa. La conoscenza delle leggi che regolano il moto di questi tre corpi celesti rende possibile una descrizione accurata della forza di marea lunare e solare e delle conseguenti variazioni del livello marino in ogni punto dell'oceano. La marea astronomica viene comunemente calcolata mediante il cosiddetto metodo armonico, ovvero sommando un certo numero di componenti di marea rappresentate da onde sinusoidali: sette componenti (quattro con periodo semidiurno e tre con periodo diurno) sono sufficienti per avere a Trieste l'approssimazione di un centimetro. I periodi e le variazioni di ampiezza e fase delle componenti di marea sono noti per via teorica, mentre le ampiezze e le fasi medie, dette costanti armoniche, sono ricavate dall'analisi dei dati mareografici.

Il metodo armonico e i programmi per il calcolo dei valori orari della marea astronomica e delle alte e basse maree sono descritti da Stravisi (1983, 1989). Le costanti armoniche impiegate, riportate nella tabella seguente, sono la media dei valori ottenuti analizzando, col metodo dei minimi quadrati, gli anni 1941-1961 e 1975-1996 (Stravisi e Purga, 1997).

componente	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>
periodo /h	12.4206	12	12.6583	11.9672	23.9345	25.8193	24.0659
ampiezza H/cm	26.7	15.9	4.5	4.8	18.0	5.3	6.0
fase g / °	277.0	284.9	275.7	280.2	71.3	60.8	67.3

**L'acqua alta.** Il fenomeno dell'acqua alta nell'Adriatico settentrionale avviene quando il massimo della marea meteorologica (bassa pressione, ingorgo da forti venti sciroccali, massima elevazione della sessa adriatica) coincide con un'alta marea astronomica: l'elevazione complessiva del mare può superare, nei casi più vistosi, i due metri sopra il livello medio.

## 2. LA MAREA ASTRONOMICA A TRIESTE

La marea astronomica a Trieste è di tipo prevalentemente semidiurno: si verificano cioè normalmente due alte e due basse maree al giorno. Le escursioni sono massime in fase di luna nuova e di luna piena, quando sole, luna e terra sono pressoché allineati; durante le quadrature (primo e ultimo quarto di luna) le escursioni sono minime e la marea tende a diventare diurna. La massima ampiezza della marea astronomica possibile a Trieste è di 81 cm sopra o sotto il livello medio.

Nel Mare Adriatico la marea si propaga ruotando in senso antiorario: l'onda di marea viaggia verso nord lungo la costa orientale, raggiunge il Golfo di Trieste, si dirige a sud lungo la costa italiana e così via, completando il giro in poco più di dodici ore. La velocità media di propagazione è quindi di circa 120 km/h : in base a tale velocità si può calcolare

la differenza di tempo con la quale l'alta o la bassa marea si manifesta in punti diversi lungo la costa.

### 3. LE TABELLE E I GRAFICI

Le tabelle e i grafici con le previsioni di marea si riferiscono, in base a quanto sopra descritto, alla *componente astronomica* della variazione complessiva del livello marino. Le altezze sono espresse in centimetri: i valori positivi indicano un innalzamento, quelli negativi un abbassamento rispetto al livello del mare determinato in quel momento dai fattori climatici e meteorologici. È adottata l'ora dell'Europa Centrale (CET: *Central Europe Time*, già TMEC: Tempo Medio dell'Europa Centrale), corrispondente al tempo coordinato universale o di Greenwich (UTC = GMT) più 1 ora, ovvero la cosiddetta *ora solare* locale. Bisogna quindi tener presente, quando è in vigore l'ora legale (*Central Europe Summer Time*: CEST), che gli orologi indicano un'ora in più rispetto alle tabelle. Quindi, per esempio, l'altezza della marea astronomica alle ore legali 13 si trova sulle tabelle dei valori orari o sui grafici in corrispondenza delle ore 12 CET; una alta o bassa marea astronomica prevista alle 12:05 CET avviene alle 13:05 legali (CEST).

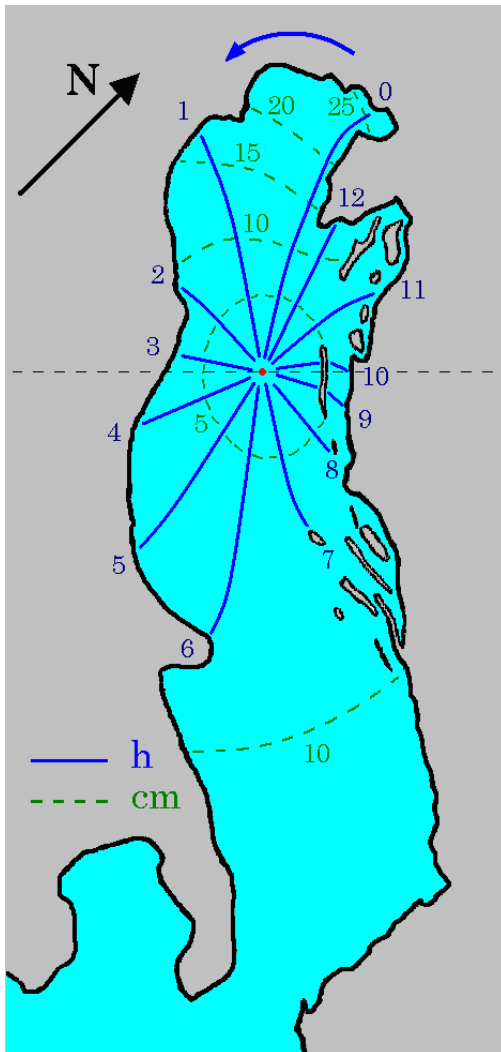
**Tabelle mensili con le alte e basse maree.** Ogni riga riporta la data, il giorno della settimana, gli istanti in ore e minuti (CET) e le altezze in centimetri delle alte e basse maree astronomiche successive della giornata. Le fasi lunari sono indicate con le sigle LN (luna nuova), PQ (primo quarto), LP (luna piena) e UQ (ultimo quarto).

**Tabelle mensili con i valori orari.** Per ogni giorno del mese sono riportate le altezze in centimetri della marea astronomica calcolate alle ore 1, ..., 24 (CET).

**Grafici mensili.** Le curve rappresentano l'andamento della marea astronomica nel tempo; sono ricavate dalla serie dei valori orari riportati nelle rispettive tabelle. L'asse orizzontale è marcato ogni sei ore a partire dalla mezzanotte (CET). Le suddivisioni dell'asse verticale corrispondono a un dislivello di 40 centimetri. Sono indicate le fasi lunari (il disco nero rappresenta la luna nuova).

### 4. USO DELLE TABELLE IN LOCALITÀ DIVERSE DA TRIESTE

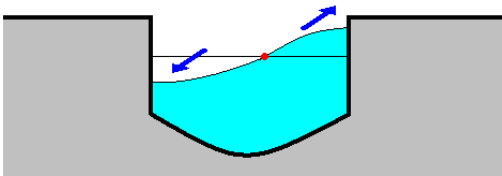
Le tabelle e i grafici si riferiscono alla marea astronomica calcolata per Trieste. Tenendo però presente che l'onda di marea viaggia in senso antiorario lungo le coste adriatiche alla velocità di circa 2 chilometri al minuto si possono facilmente calcolare l'anticipo della marea lungo le coste istriane e il ritardo lungo la costa occidentale. Nelle zone lagunari, causa la bassa profondità dei canali, la marea si propaga dal mare verso l'interno a una velocità inferiore (pochi chilometri all'ora). L'ampiezza della marea si riduce con la distanza da Trieste e all'interno delle lagune. La tabella seguente (Stravisi, Ferraro, Luca, 1985) riporta l'anticipo o il ritardo in minuti della fase di marea e la percentuale dell'altezza, con riferimento alle previsioni di Trieste, per alcune località di maggiore interesse. Per esempio, un'alta marea prevista a Trieste alle 12:39 (corrispondenti alle ore 13:39 legali) con 60 cm sopra il livello medio avviene a Rovigno alle 12:20 con  $60 \times 0.70 = 42$  cm, al porto di Grado alle 13:04 con 54 cm e così via.



Località	anticipo (minuti)	altezza
Pirano, Capodistria	5	100 %
Muggia	0	100 %
Rovigno	19	70 %

Località	ritardo (minuti)	altezza
Duino	3	100 %
Monfalcone, Grado (secche)	5	100 %
Grado (porto)	25	90 %
Porto Buso (interno laguna)	30	100 %
Belvedere	50	90 %
Foce Aussa e Corno	52	100 %
Porto Nogaro	55	100 %
Torviscosa (Darsena Snia)	60	100 %
Foce Stella (idrometro Fraida)	55	100 %
Precenicco (fiume Stella)	96	97 %
Lignano Sabbiadoro	12	100 %

La figura si riferisce alla componente di marea semidiurna principale  $M_2$ . L'alta marea si propaga in senso antiorario lungo le coste dell'Adriatico, completando il giro in circa 12 ore e mezza. Le linee radiali blu (linee cotidali) uniscono i punti di ugual fase di marea (esempio: alta marea); i cerchi tratteggiati uniscono i punti di uguale ampiezza di marea. Nel centro di rotazione (nodo anfidromico) la marea è nulla.



## BIBLIOGRAFIA

- CIRILLI S., BUSSI M. (2019):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido: dati 2018*, Università di Trieste, DMG, 188.
- CIRILLI S., QUAIA T., BUSSI M. (2018):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido: dati 2017*, Università di Trieste, DMG, 181, 31 pag.
- CIRILLI S., QUAIA T. (2017b):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2016*, Università di Trieste, DMG, 167, 31 pag.
- CIRILLI S., QUAIA T. (2017a):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2015*, Università di Trieste, DMG, 166, 31 pag.
- CIRILLI S., QUAIA T. (2016):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2014*, Università di Trieste, DMG, 164, 35 pag.
- CIRILLI S., QUAIA T., STRAVISI F.† (2016):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2013*, Università di Trieste, DMG, 157, 39 pag.
- STRAVISI F. (1983):** *The IT method for the harmonic tidal prediction*, Boll. Oceanol. Teor. Appl., 1, 3, 193-204.
- STRAVISI F. (1989):** *Fortran and BASIC programs for computing and plotting the astronomic tide*, Università di Trieste, FTC 89/4, 23 pp.
- STRAVISI F., CIRILLI S. (2011):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2010*, Università di Trieste, DST, 142, (11/3), 63 pag.
- STRAVISI F., CIRILLI S. (2012):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2011*, Università di Trieste, DIGE, 150, 45 pag.
- STRAVISI F., CIRILLI S. (2013):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2012*, Università di Trieste, DMG, 156, 39 pag.
- STRAVISI F., FERRARO S. (1986):** *Monthly and annual mean sea levels at Trieste, 1890-1984*, Boll. Oceanol. Teor. Appl., 4, 2, 97-104.
- STRAVISI F., FERRARO S., LUCA I. (1985):** *Golfo di Trieste: previsioni di marea per il 1986*, Nova Thalassia, 7 suppl.
- STRAVISI F., PURGA N. (1997):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 1996*, Università di Trieste, DST, 61, (97/8), 63 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (1998):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 1997*, Università di Trieste, DST, 66, (98/4), 63 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (1999):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 1998*, Università di Trieste, DST, 73, (99/4), 63 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2000):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 1999*, Università di Trieste, DST, 76, (00/1), 63 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2001):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2000*, Università di Trieste, DST, 76, (01/1), 63 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2002):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2001*, Università di Trieste, DST, 88, (02/1), 63 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2003):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2002*, Università di Trieste, DST, 92, (03/1), 64 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2004):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2003*, Università di Trieste, DST, 100, (04/2), 64 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2005):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2004*, Università di Trieste, DST, 110, (05/4), 64 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2006):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2005*, Università di Trieste, DST, 116, (06/4), 64 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2007):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2006*, Università di Trieste, DST, 120, (07/1), 64 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2008):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2007*, Università di Trieste, DST, 126, (08/2), 64 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2009):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2008*, Università di Trieste, DST, 131, (09/2), 63 pag.
- STRAVISI F., PURGA N. (2010):** *Stazione mareografica di Trieste - Porto Lido : dati 2009*, Università di Trieste, DST, 136, (10/2), 63 pag.









**TRIESTE - Alte e basse maree SETTEMBRE 2019**

Table with 9 columns: Day, Tide Type (D/L/S/M/G), Time (ora/cm), and Height (cm). Rows include tide data for days 1-30.



**TRIESTE - Alte e basse maree OTTOBRE 2019**

Table with 9 columns: Day, Tide Type (M/G/V/S/D/L), Time (ora/cm), and Height (cm). Rows include tide data for days 1-31.



**TRIESTE - Alte e basse maree NOVEMBRE 2019**

Table with 9 columns: Day, Tide Type (V/S/D/L/M/G), Time (ora/cm), and Height (cm). Rows include tide data for days 1-30.



**TRIESTE - Alte e basse maree DICEMBRE 2019**

Table with 9 columns: Day, Tide Type (D/L/M/G/V/S/D/L/M/G), Time (ora/cm), and Height (cm). Rows include tide data for days 1-31.

Altezze riferite al livello medio del mare
Tempo Europa Centrale (GET = UTC + 1h)















