

# IL PROGRESSIVO AUMENTO DEL LIVELLO MARINO LUNGO LE COSTE DEL MEDITERRANEO

per Silvio POLLI

## I. — *Premesse.*

E' noto che attualmente il livello medio di tutti della Terra aumenta progressivamente col tempo. In lavori precedenti, indicati nella bibliografia, questo aumento è stato determinato, per i vari porti e periodi, sino all'anno 1945. In questa nota la ricerca viene estesa, per il mare Mediterraneo, per altri dieci anni. Risulta notevole il fatto che in quest'ultimo decennio il valore dell'aumento ha subito una leggera diminuzione.

Il livello del mare in un dato posto può essere determinato con grande precisione dalle registrazioni di un mareografo. Questo traccia con continuità l'altezza del livello marino rispetto ad un dato caposaldo della costa. La media di tutte le altezze orarie o di tutte quelle delle alte e basse maree (la differenza tra le due medie è generalmente trascurabile) dà il livello medio rispetto a quel caposaldo e per l'intervallo di tempo considerato.

Esaminando i valori dei successivi livelli medi annui di tutte le stazioni mareografiche della Terra si osserva che, in questo ultimo secolo, da quando cioè si dispongono di dati mareografici, i livelli aumentano progressivamente rispetto ai corrispondenti punti fissi costieri. L'aumento medio dedotto da tutti i mari è attualmente dell'ordine di 1,1 cm/decennio. Tale aumento varia secondo i posti e secondo i decenni che si considerano; appare maggiore dove la costa subisce un contemporaneo abbassamento, appare minore dove le zone costiere si innalzano.

Nella presente comunicazione si presentano, per il periodo 1886-1955, i valori dei successivi aumenti decennali dei livelli marini determinati per 37 porti del Mediterraneo. Dal loro esame risulta che negli ultimi 70 anni il livello di questo mare ha subito un graduale aumento corrispondente al valore medio di 1,5 cm/decennio. Il fatto che tale valore sia più alto di quello medio di tutti i mari indica che alcune coste mediterranee hanno subito, nello stesso periodo di tempo, un abbassamento effettivo.

Nelle tabelle che si presentano in questo lavoro, qualche dato, relativo ai decenni precedenti all'anno 1940, appare leggermente diverso da quello pubblicato in lavori meno recenti. Ciò è dovuto al motivo che in questi ultimi anni si è avuta la possibilità di completare, correggere e perfezionare i dati mareografici adoperati. Per ciò, e per una evidente necessità di confronto immediato, nelle tabelle allegate figurano tutti i dati decennali attualmente disponibili.

## II. — *Procedimento di ricerca.*

Nel Mare mediterraneo sono in funzione circa un centinaio di stazioni mareografiche. Di queste solamente una ventina sono attive da oltre 70 anni, le altre sono in gran parte di sistemazione recente. Dall'esame di tutti i dati disponibili risulta che soltanto 37 stazioni possiedono attualmente delle serie di livelli medi annui utilizzabili per questa ricerca. Non è stato possibile tenere conto delle altre soprattutto per la brevità del periodo di registrazione, che spesso si riduceva a pochissimi anni.

Quasi tutti i dati presi in considerazione sono stati ricavati dalle pubblicazioni dell'Association d'Océanographie physique « Monthly and annual heights of sea-level »; i dati recenti

delle stazioni dell'Africa settentrionale sono stati gentilmente forniti dalla « Section du nivellement de précision » dell'Istituto geografico nazionale francese; quelli dell'Adriatico sono stati ricavati dai « Bollettini Mensili » dell'Ufficio idrografico del magistarto alle acque di Venezia.

Stazione mareografica	Lat. nord	Long. E.Gr.	Periodo
Port-Vendres .....	42°31'	03°07'	1888-1955
Sète .....	43°24'	03°42'	1888-1955
Port-de-Bouc .....	43°24'	04°59'	1894-1955
Martigues .....	43°24'	05°03'	1894-1955
Marsiglia, Mareografo .....	43°18'	05°21'	1886-1955
Marsiglia, Porto Vecchio .....	43°18'	05°21'	1890-1935
La Ciotat .....	43°10'	05°37'	1896-1952
Nizza .....	43°41'	07°17'	1888-1909
Porto Maurizio .....	43°52'	08°01'	1897-1921
Genova .....	44°25'	08°55'	1884-1951
Livorno .....	43°32'	10°18'	1896-1915
Civitavecchia .....	42°03'	11°49'	1896-1925
Napoli, Arsenale .....	40°52'	14°16'	1896-1925
Napoli, Mandracchio .....	40°52'	14°16'	1896-1925
Aiaccio .....	41°55'	08°44'	1916-1935
Bastia .....	42°41'	09°26'	1925-1935
Cagliari .....	39°12'	09°10'	1896-1935
La Maddalena .....	41°44'	09°22'	1896-1915
Palermo .....	38°08'	13°20'	1896-1925
Catania .....	37°30'	15°08'	1896-1915
Ancona .....	43°35'	13°29'	1896-1915
Porto Corsini .....	44°30'	12°17'	1896-1951
Venezia, S. Stefano .....	45°26'	12°20'	1896-1915
Venezia, Arsenale .....	45°26'	12°21'	1889-1913
Venezia, S. Marco .....	45°26'	12°20'	1876-1945
Venezia, Diga Sud Lido .....	45°25'	12°26'	1917-1954
Trieste .....	45°39'	13°46'	1888-1955
Pola .....	44°52'	13°51'	1896-1925
Porto Said .....	31°15'	32°18'	1923-1945
Kabret .....	30°16'	32°30'	1923-1941
Sfax .....	34°44'	10°46'	1910-1955
Sousse .....	35°49'	10°37'	1910-1955
La Goletta .....	36°49'	10°18'	1886-1955
Bona .....	36°54'	07°46'	1886-1955
Algeri .....	36°47'	03°04'	1886-1955
Orano .....	35°43'	W00°39'	1890-1955
Alicante .....	38°20'	W00°29'	1886-1945

TABELLA I. — *Stazioni mareografiche.*

Le stazioni considerate dispongono di successioni di valori medi annui comprendenti almeno 20 anni di registrazioni. Periodi minori non sono stati presi in considerazione per non alterare la regolarità del procedimento. Tentativi vari sono stati eseguiti per valorizzare anche brevi periodi di livelli medi annui, ma non hanno dato risultati soddisfacenti.

La serie dei livelli medi annui di ciascuna stazione è stata divisa in periodi di 10 anni e precisamente secondo i decenni 1886-1895, 1896-1905, 1946-1955. Calcolato il livello medio

Stazione mareografica	1891 1900 cm	1901 1910 cm	1911 1920 cm	1921 1930 cm	1931 1940 cm	1941 1950 cm	Media cm
Port-Vendres .....	0,8	— 0,6	0,8	1,5	2,2	1,8	1,1
Sète .....	1,1	— 1,2	0,3	1,0	0,5	0,7	0,4
Port-de-Bouc .....	2,8	— 1,2	2,9	4,4	4,6		2,7
Martigues .....	1,4	2,7	— 1,6	— 2,5	0,5	0,5	0,2
Marsiglia, Mareografo .....	2,7	— 0,7	1,7	2,1	1,8	2,1	1,6
Marsiglia, Porto Vecchio ..	3,8	2,4	0,6	4,4			2,8
La Ciotat .....	1,0	— 2,0	0,2	6,9	1,9	0,6	1,4
Nizza .....	1,2	1,9					1,6
Porto Maurizio .....		0,9	0,9				0,9
Genova .....	1,8	— 0,2	1,6	2,0	1,3	0,9	1,2
Livorno .....		1,0					1,0
Civitavecchia .....		— 1,0	2,0				0,5
Napoli, Arsenale .....		2,1	2,3				2,2
Napoli, Mandracchio .....		1,1	2,6				1,9
Ajaccio .....				0,8			0,8
Bastia .....				2,6			2,6
Cagliari .....		1,9	0,7	3,0			1,9
La Maddalena .....		0,3					0,3
Palermo .....		— 0,4	1,2				0,4
Catania .....		— 0,5	0,9				0,2
Ancona .....		0,8					0,8
Porto Corsini .....		1,8	2,6	3,9	5,0	1,0	2,9
Venezia, S. Stefano .....		3,6					3,6
Venezia, Arsenale .....	3,6	1,0					2,3
Venezia, S. Marco .....	1,9	3,1	0,7	1,7	4,9		2,5
Venezia, Diga Sud .....				3,3	4,6	1,7	3,2
Trieste .....	3,4	1,8	1,5	1,2	2,1	— 0,3	1,6
Pola .....		0,6	0,9				0,8
Porto Said .....					8,1		8,1
Kabret .....					0,7		0,7
Sfax .....			— 1,6	10,7	3,4	10,5	5,8
Sousse .....			— 0,6	7,0	4,4	0,9	2,9
La Goletta .....	1,0	— 2,7	— 0,9	3,4	— 0,3	6,9	1,2
Bona .....	2,6	3,3	— 2,7	4,7	— 2,3	5,0	1,8
Algeri .....			0,6	2,0	— 1,6	0,4	0,4
Orano .....	— 1,1	2,6	— 0,3	12,4	3,8	10,0	1,2
Alicante .....	0,5	— 2,7	3,1	— 2,6	2,8		0,2
Media .....	1,8	0,7	0,8	3,4	2,4	1,5	1,7

TABELLA 2. — *Aumento decennale del livello medio marino.*

per ciascuno di questi decenni lo si assegnò all'istante zero del 1° gennaio degli anni 1890, 1900, 1940, 1950. La differenza fra due di questi livelli medi consecutivi dà la variazione corri-

spondente agli intervalli 1891-1900, 1901-1910, 1930-1940, 1940-1950. Risultano così eliminati i riferimenti ai capisaldi costieri e si ha inoltre la possibilità di poter confrontare immediatamente le variazioni avvenute in tutte le stazioni considerate e in tutti i decenni precedenti e seguenti. La tabella 2 presenta, per ogni stazione mareografica e per ogni decennio, le corrispondenti variazioni d'altezza del livello medio marino. Esse sono espresse in cm per decennio. I valori positivi indicano aumenti verso l'alto, quelli negativi indicano abbassamenti del livello medio marino.

### III. — *Esame critico dei dati considerati.*

I livelli medi corrispondenti alle stazioni mareografiche italiane sono stati ricavati tutti da registrazioni mareografiche. Le medie annue sono state calcolate dai valori delle alte e basse maree; queste medie sono praticamente uguali a quelle determinate dai valori delle altezze orarie. Diverse stazioni mancano di alcune medie mensili; questi valori sono stati determinati, mediante opportuno procedimento comparativo, da quelli delle stazioni più vicine e aventi caratteri geofisici simili. In questo modo sono stati inseriti alcuni valori mensili mancanti nella serie di Catania dopo il 1915. Per i porti di Trieste e di Venezia, data la variazione molto simile dei loro livelli medi, è stato possibile completare, con ottima approssimazione, alcuni valori mancanti. Non si è potuto invece prendere in considerazione, perchè troppo brevi, le serie dei livelli medi dei porti di Mazzara del Vallo (6 anni disponibili) e di Taranto (7 anni).

A Messina, causa il terremoto del 28 dicembre 1908, si ebbe un abbassamento del caposaldo mareografico di circa  $\frac{1}{2}$  metro. Occorre perciò distinguere due periodi di registrazione: uno dal 1897 al 1908, l'altro dal 1910 al 1922. Al primo corrisponde un innalzamento del livello marino di 0,8 cm per decennio, al secondo di 16 cm per decennio, dovuto, quest'ultimo, quasi tutto ad un abbassamento della costa. Questi sono valori evidentemente anormali, causati da sismi violenti e da bradisimi conseguenti, di carattere relativamente locale e perciò non vennero considerati in questo tipo di ricerca.

I dati delle stazioni francesi, e quelle dei porti tunisini et algerini, sono stati ricavati da letture eseguite una volta al giorno al mediomarimetro. Solamente a Marsiglia funzionavano due mareografi; la determinazione del livello medio è stata eseguita, in questi casi, mediante integrazione continua dei mareogrammi. Gli andamenti delle altezze dei livelli medi annui nelle stazioni ora citate, tranne Marsiglia-Mareografo, appaiono spesso poco regolari. I dati delle stazioni Port de Bouc, Martigues, Marsiglia, Porto Vecchio e La Ciotat della costa francese, e Sfax, Sousse, Bona et Orano dell'Africa settentrionale, presentano, specialmente negli ultimi decenni, variazioni brusche nella continuità dell'andamento. Esse sono difficilmente spiegabili quali movimenti costieri. Dovrebbero dipendere da irregolarità di altra specie. I valori di Sfax e di Sousse sono dati, nella citata pubblicazione « Monthly and annual heights of sea-level », come incerti; sono stati presi ugualmente in considerazione, sia perchè non sembrano più incerti degli altri, sia perchè il loro andamento parallelo denota l'esistenza di una effettiva realtà, tranne che per gli anni 1934-36, dei quali non si tenne conto nel calcolo delle medie.

Della costa mediterranea spagnola sono disponibili solo i dati di Alicante. I relativi valori medi annui risultano dedotti spesso da annate incomplete. Inoltre il funzionamento dello strumento è stato interrotto nei periodi 1912-15, 1924-26 e 1939-42. Nel calcolo delle medie decennali si sono dovute omettere alcune annate aventi insufficiente numero di registrazioni giornaliere. Complessivamente i valori decennali così dedotti sono da considerarsi poco sicuri e questo occorre tenere presente nell'esaminare i dati delle tabelle 2 e 3.

Del Mediterraneo orientale l'unica stazione mareografica utilizzabile è quella di Porto Said. Le medie annue sono state dedotte da letture eseguite al mediomarimetro. L'andamento dei valori annui presenta un rapido spostamento verso l'alto in corrispondenza all'anno 1935, a ciò si deve l'alto valore della variazione decennale. Per un confronto si è ritenuto opportuno di considerare anche i dati della stazione di Kabret, situata nel canale e i cui valori medi sono stati pure ricavati dal mediomarimetro. Essa figura con un andamento delle medie annue più regolare. Nel complesso anche i dati di queste due stazioni non possono considerarsi molto sicuri.

Delle due stazioni mareografiche della Siria, Alexandrette e Beyrouth, pure non è stato possibile prenderle in considerazione; sia perchè le serie annue sono troppo brevi, sia perchè le medie annue sono alquanto incerte. Si può facilmente vedere da queste considerazioni la necessità di avere in questa parte del Mediterraneo delle stazioni mareografiche regolarmente funzionanti.

IV. — *Risultati e conclusioni.*

I risultati di questa ricerca e le conclusioni che da essi si possono ricavare si deducono immediatamente dalle due ultime tabelle allegate. Nella tabella 2 figurano, in cm, i successivi aumenti decennali per ciascuno dei 37 porti esaminati. Nella tabella 3 le località sono state

Zona costiera	1891 1900 cm	1901 1910 cm	1911 1920 cm	1921 1930 cm	1931 1940 cm	1941 1950 cm	Media cm
Coste francesi .....	1,9	0,2	0,7	2,5	1,9	1,1	1,4
Coste ital. tirren .....	1,8	0,7	1,9	2,0	1,3	0,9	1,5
Corsica .....				1,7			1,7
Sardegna .....		1,1	0,7	3,0			1,6
Sicilia .....		— 0,5	1,1				0,3
Adriatico sett. e occ. ....	3,0	1,8	1,4	2,5	4,1	0,8	2,3
Port Said, Kabret .....					4,4		4,4
Tunisia e Algeria .....	0,8	— 1,1	— 0,9	6,7	1,2	2,3	1,9
Alicante .....	0,5	— 2,7	3,1	— 2,6	2,8		0,2
Media .....	1,6	0,2	1,1	2,3	2,6	1,3	1,5

TABELLA 3. — *Aumento decennale del medio livello marino.*

raggruppate per zone costiere. Questa tabella rispecchia meglio e più realisticamente il fenomeno complessivo. In ogni caso è evidente che le medie complessive, relative ai porti, alle zone costiere ed ai successivi decenni, hanno valore puramente informativo, in quanto i singoli termini appaiono con lo stesso peso, e ciò evidentemente non è ortodosso. Dato però che anche nelle medie ponderate sarebbero intervenute considerazioni arbitrarie, si è preferito attenersi a quella più semplice, lasciando allo studioso la possibilità di arrivare a medie più precise mediante quei procedimenti che riterrà più opportuni ai suoi scopi.

Dalla tabella 3 risulta che l'aumento complessivo nel periodo 1891-1950 è stato di 9,1 cm, corrispondente ad una media decennale di 1,5 cm. Nei successivi decenni del periodo considerato l'aumento non è stato regolare. Nel periodo 1901-10 si è avuto un rallentamento rispetto al ritmo precedente, dopo il 1910 l'aumento decennale è andato progressivamente crescendo sino al 1940; nell'ultimo decennio considerato (1941-1950), l'aumento medio appare minore, risulta anzi inferiore, di poco, alla media del cinquantennio precedente. Questo fatto dovrebbe essere reale in quanto si presenta notevole proprio nelle stazioni delle coste francesi e italiane, che sono quelle che danno i valori più attendibili.

L'aumento del livello medio rispetto ai singoli caposaldi costieri può essere considerato anche da un punto di vista relativistico. Si confrontino i singoli aumenti decennali con i corrispondenti valori medi generali. Se l'aumento del libello marino nella stazione considerata è notevolmente superiore al valore medio di tutto il mare, vi deve essere un contemporaneo abbassamento della zona costiera locale o almeno del caposaldo mareografico. Si avrà invece

un innalzamento costiero nel caso contrario. Dalle tabelle presentate si potrà così facilmente ricavare i valori dei movimenti verticali costieri.

Lungo le coste francesi, italiane tirreniche, della Corsica e della Sardegna l'aumento medio del livello marino risulta quasi normale; non si avrebbero perciò, complessivamente, apprezzabili spostamenti verticali costieri. Innalzamenti del livello marino superiori al valore medio si notano specialmente nell'Adriatico settentrionale e occidentale, e lungo le coste africane settentrionali. Nel primo caso si ha un effettivo abbassamento della zona costiera, dovuto in parte al costipamento del suolo per depositi fluviali; nel secondo caso il fenomeno è invece meno chiaro, ma, almeno in questo ultimo decennio, esso dovrebbe essersi verificato in forma probabilmente leggera.

Per le altre zone costiere i pochi dati disponibili non permettono di fare deduzioni estensive, bisogna limitarsi ad accettare il dato come valore, per ora, localizzato.

Il graduale aumento del livello del mare Mediterraneo fa parte di un fenomeno più generale, in quanto l'innalzamento si osserva lungo tutte le coste continentali. Essenzialmente si tratta di un effettivo aumento del livello di tutti i mari dovuto in gran parte ad una progressiva fusione delle masse glaciali terrestri.

#### RIASSUNTO

E' noto che il livello medio marino aumenta progressivamente col tempo in tutti i mari della Terra. In questo lavoro si metterà in evidenza quale sia questo aumento lungo le coste del mare Mediterraneo e come esso, nell'ultimo decennio, sia stato inferiore agli aumenti decennali immediatamente precedenti.

Sulla base di lunghe serie di livelli medi annui relativi ai principali porti del Mediterraneo, si calcolarono le variazioni dei livelli medi avvenute, in ciascun porto, nei successivi decenni 1891-1900, 1901-1910, 1941-1950. Con il procedimento adottato le singole variazioni decennali sono direttamente confrontabili con quelle precedenti, seguenti e con quelle di ogni altro porto. Raggruppate le stazioni mareografiche secondo coste e mari si ottengono per questi i valori medi degli aumenti decennali. Per il Mediterraneo l'aumento medio è di 1,5 cm per decennio; risulta minimo nel decennio 1901-10 e massimo nel decennio 1931-40.

L'aumento varia pure secondo le coste; dove queste si abbassano risulta maggiore, dove si sollevano appare minore. I valori degli aumenti decennali sono presentati per 37 porti del Mediterraneo e per ciascuno decennio degli ultimi 70 anni.

#### BIBLIOGRAPHY

- ASSOC. D'OCEAN OGR. PHYSIQUE. — Monthly and annual mean heights of sea-level, *Publ. sci.*, n° 5, 10, 12.
- MAGISTRATO ALLE ACQUE, UFF. IDROGR., 1917-1955. — *Boll. mensile, Venezia*.
- POLLI (S.), 1946. — Livello del mare nella livellazione di precisione. — *Boll. Soc. Adr. Sci. nat., Trieste*, 42.
- 1947. — Gli attuali movimenti verticali delle coste italiane. — *Tecnica ital., Trieste*, n.s., 4.
- 1948. — Registrazione dei bradisismi costieri. — *Geof. pura e appl., Milano*, 12 (3-4).
- 1952. — Misura dei lenti movimenti verticali della superficie terrestre. — *Ann. geof., Roma*, 5 (3).
- 1952. — Gli attuali movimenti verticali delle coste continentali. — *Ann. geof., Roma*, 5 (4).
- 1953. — Il graduale aumento del livello del mare lungo le coste italiane. — *Geof. pura e appl., Milano*, 25.
- 1954. — L'attuale aumento del livello del mare lungo le coste del Mediterraneo. — *Geof. e Meteorol., Genova*, 2 (1-2).
- 1957. — Il livello del mare quale riferimento altimetrico. — *Ann. geof., Roma*, 10 (1).