

Il livello del mare quale riferimento altimetrico

S. POLLI

1. - PREMESSA

In questi ultimi anni è stato messo in evidenza (^{7, 9, 11}) come il livello di tutti i mari aumenti gradualmente di circa 1,1 cm per decennio. Il fenomeno è dovuto soprattutto alla progressiva fusione delle masse glaciali terrestri in dipendenza di un lentissimo aumento della temperatura alla superficie della Terra. Bastano infatti aumenti della temperatura dell'ordine di 0,1 °C per cinquantennio per produrre gli effetti attualmente e facilmente osservabili. Il fenomeno è stato possibile precisarne qualitativamente e quantitativamente appena in questi ultimi anni, prima non si aveva una sufficiente distribuzione di mareografi lungo tutte le coste, essi mancavano specialmente in quelle extraeuropee.

La seguente tabellina indica le variazioni medie decennali del livello marino dedotte da 110 stazioni mareografiche situate lungo le coste di tutti i mari (^{7, 9, 11}). Le medie dei primi tre decenni sono state dedotte da un numero minore di stazioni e pertanto i loro valori sono approssimativi.

Valori decennali dell'aumento del livello medio marino (innalzamenti in cm).

1891-1900	1901-1910	1911-1920	1921-1930	1931-1940
1,6	0,2	0,7	0,9	1,9

2. - LE ATTUALI SUPERFICI DI RIFERIMENTO.

Nelle determinazioni altimetriche sinora eseguite si assumeva quale superficie di riferimento il livello medio del mare, dedotto

dai rilievi mareografici; oppure, più semplicemente, ma più raramente per il suo valore relativo, la superficie del geoide passante per una dato punto della crosta terrestre.

Consideriamo il primo caso. La determinazione del livello medio marino si ottiene quale media di tutte le altezze orarie lette sui mareogrammi per un dato intervallo di tempo, che può essere di uno o più anni. Oppure quale media di tutte le alte e basse maree ricavate pure mediante il mareografo. Questi due procedimenti portano a risultati praticamente uguali, in quanto la differenza tra le due determinazioni è generalmente dell'ordine di 0,1 mm, come risulta dimostrato nella pubbl. (²).

Si riteneva allora che il livello medio marino si mantenesse praticamente costante. E pertanto: *a*) che la determinazione del livello medio fosse tanto più precisa quanto più lungo fosse l'intervallo di tempo esaminato; *b*) che la differenza fra i livelli medi di anni diversi fosse minima, dell'ordine del mm, e che perciò fosse praticamente sufficiente considerare quale livello medio marino quello di un anno meteorologicamente normale.

Considerando una lunga serie di anni si ha, per quanto si è detto nella Premessa, che i valori estremi della serie differiscono sempre più dal loro valore medio, che cade generalmente fra i valori centrali. Lo scostamento dalla media aumenta progressivamente con la lunghezza della serie e si può facilmente vedere che, in tal caso, aumenta anche l'errore medio della media. Si noti che in 10 anni lo scostamento dovuto al graduale aumento del livello marino è di oltre 1 cm, e ciò prescindendo da altre variazioni accidentali.

Indipendentemente dal progressivo au-

LIVELLI MEDI MARINI IN mm

Anno	Trieste	Marsiglia	Brest
1900	—	66	78
1	—	53	57
2	—	54	65
3	—	26	116
4	—	38	72
5	117	22	53
6	129	21	52
7	64	14	67
8	85	2	68
9	112	15	96
1910	208	44	133
11	100	35	115
12	121	19	155
13	116	25	196
14	149	24	208
15	216	58	194
16	205	96	200
17	167	24	111
18	103	46	131
19	152	64	99
1920	148	32	145
21	88	29	89
22	162	49	92
23	139	30	76
24	142	34	165
25	138	28	148
26	173	67	162
27	177	77	173
28	150	72	168
29	106	38	96
1930	177	68	168
31	178	51	156
32	133	45	157
33	150	86	140
34	160	72	118
35	163	68	139
36	221	105	186
37	238	—	177
38	133	35	124
39	188	94	144
1940	188	93	172
41	218	96	159
42	171	88	189
43	123	67	232
44	139	81	—
45	162	35	—
46	167	74	—
47	203	—	—
48	161	—	—
49	101	—	—
1950	160	—	—

mento eustatico, il livello marino, in un dato sito, varia di anno in anno, per cause soprattutto meteoriche, secondo dislivelli che vanno da qualche mm a diversi cm. Non

sono rare variazioni, tra due anni successivi, di 5-10 cm. Presentiamo come esempio le serie dei livelli medi annui determinati a Trieste, a Marsiglia e a Brest. Le altezze in mm sono riferite a caposaldi locali. È evidente in tutti i tre porti il graduale aumento del livello marino.

Nel secondo caso, del caposaldo scelto arbitrariamente sulla costa e indipendente dal livello marino, si può osservare che esso, quale punto della crosta terrestre, è soggetto a spostamenti verticali più o meno lenti (si prescinde in questa nota dagli spostamenti orizzontali) molto difficilmente determinabili (quando non si intenda riferirsi al livello del mare). Tale caposaldo presenta evidentemente un maggior grado di relatività rispetto al precedente e pertanto non sarà conveniente usarlo quale base altimetrica.

In tutti i due casi, ripetendo la livellazione a distanza di molti anni, non si ritroveranno più le quote della prima livellazione. Si tratterà di errori di misura, di variazione del livello medio marino o di spostamenti verticali del caposaldo fondamentale? La questione nei termini considerati risulta indeterminata. Occorre evidentemente conoscere qualche altro elemento. Vedremo subito che è possibile determinare il moto verticale del livello medio marino rispetto ad un livello origine, indipendentemente da riferimenti costieri.

Ci proponiamo pertanto di definire un *livello medio generale*, che diremo *livello medio origine*, determinabile su tutta la Terra, in corrispondenza ad un dato istante T_0 , e di precisare rispetto ad esso, mediante coordinata verticale in funzione del tempo, la posizione del livello medio generale variabile.

Rispetto al livello origine (o al livello generale all'istante T) la posizione di ogni punto della Terra risulta definita solamente quando alla sua coordinata verticale si abbini l'istante t della sua determinazione. Solamente in questo modo esso risulta precisato nello spazio e nel tempo e la sua posizione potrà essere confrontata con quella di ogni altro punto sia contemporaneo (cioè con determinazione altimetrica eseguita allo stesso istante) sia di altra epoca. La superficie di livello origine converrà sceglierla sotto determinate condizioni che ora esporremo.

3. — IL LIVELLO MEDIO ORIGINE.

Le variazioni del livello medio marino dipendono sostanzialmente da quelle climatiche. L'andamento del clima, sia in una regione che su tutta la Terra, presenta fluttuazioni complesse che è possibile scomporre in oscillazioni più semplici aventi determinati periodi. I principali periodi climatici sono quelli di anni 5,6; 11,2; 22,5; 35 e quelli di anni 4, 8 e 16. Occorrerà pertanto che l'intervallo di deduzione del livello medio marino comprenda questi periodi e non risulti eccessivamente lungo, sia per eliminare gli inconvenienti del suo progressivo aumento, sia per questioni pratiche di determinazione strumentale e di calcolo. Un intervallo di 20 anni risulta idoneo e sufficiente. Il livello medio così determinato si attribuisce all'anno centrale del ventennio, o meglio, all'istante centrale, che potrebbe essere l'istante zero del 1° gennaio dell'anno centrale. Si potrebbero prendere in considerazione i successivi ventenni di un secolo, per esempio del secolo 1901-2000. Essi sono gli intervalli 1901-1920; 1921-1940; ... 1981-2000. Gli istanti centrali cadono all'ora zero del 1° gennaio 1911, 1931, ... 1991. Considerando invece i ventenni 1891-1910; 1911-1930; ... 1991-2010, gli istanti centrali si avrebbero alle ore zero dei giorni 1° gennaio 1901, 1921, ... 1981, 2001.

La posizione del livello medio di un dato ventennio, per una data stazione, si fissa ad un punto della costa. La posizione del livello medio del successivo ventennio figurerà, attualmente e nel maggior numero di stazioni, più alta della precedente. Il dislivello tra le due posizioni ventennali non sarà generalmente uguale in tutte le stazioni e ciò per i diversi spostamenti verticali che le singole zone costiere potranno subire.

La media dei dislivelli misurati in tutte le stazioni mareografiche darà l'aumento medio del livello di tutti i mari nel ventennio esaminato. Se in una stazione il dislivello locale risulterà superiore alla *media generale*, ciò indicherà che quel caposaldo (o quella zona costiera) ha subito nel ventennio un abbassamento uguale alla differenza fra il valore locale e quello generale. Se invece il dislivello della stazione figurerà inferiore alla

media generale, si avrà avuto un'innalzamento costiero.

Quale superficie di riferimento per le determinazioni altimetriche converrà considerare quella del livello medio generale del ventennio nel quale si eseguisce la livellazione. Essa risulta riferita al livello medio del ventennio *origine* mediante *l'innalzamento medio generale*. Naturalmente se un caposaldo costiero non ha subito spostamenti verticali in un ventennio o nei successivi ventenni, le due variazioni di livello (locale e generale) ventennali e pluriventennali, saranno uguali.

Con questo metodo la superficie di riferimento presa in considerazione per una data livellazione risulta indipendente dai singoli movimenti verticali della costa. Questi anzi potranno essere messi in evidenza con una precisione non raggiungibile con altri mezzi o procedimenti. La stessa superficie, o livello di riferimento, rimane definita e determinata in ogni posto della Terra e in ogni epoca. Per cui, quando ad un'ordinata altimetrica, riferita ad una di queste superfici, si colleghi l'istante della sua determinazione, la posizione altimetrica del punto rimane fissata nello spazio e nel tempo, ed è indipendente dai successivi spostamenti verticali sia del punto stesso che del caposaldo.

4. — MODALITÀ PER L'APPLICAZIONE DEL PROCEDIMENTO.

La determinazione del sistema di riferimento indicato richiede una rete di mareografi distribuiti uniformemente lungo tutte le coste della Terra. Una rete mareografica attiva esiste già, ma la distribuzione degli strumenti non è, dal punto di vista di questa ricerca, nè uniforme nè razionale. I singoli mareografi sono stati sistemati, dai vari Stati, nei posti di immediata necessità. Si addensano sulle coste europee mentre son rari lungo le coste oceaniche dell'Africa, dell'America meridionale, delle isole australiane e lungo le coste artiche. Colmare le lacune col mettere mareografi anche nei porti di queste zone sarebbe molto semplice e poco dispendioso. Mentre molto utili risulterebbero i dati da essi ottenuti.

La determinazione del livello medio annuo rispetto ad un qualsiasi caposaldo locale, che potrebbe essere anche la piastrina del mareografo, può esser fatta con uno dei due procedimenti già indicati. Il calcolo si riduce ad una semplice media aritmetica.

Si noti che la piastrina del mareografo, o il caposaldo di riferimento, può essere un punto qualunque fisso con la costa e che, almeno per lo scopo considerato in questa nota, non è necessario che sia collegato ad una rete di livellazione. E ciò perchè l'applicazione del procedimento richiede solamente la conoscenza, per ciascuna stazione mareografica, della variazione del livello marino tra gli anni successivi. Dislivello che si ottiene quale differenza dei livelli medi contati da un piano locale del tutto arbitrario. Nella scelta delle stazioni, che daranno i valori delle variazioni ventennali, occorrerà prendere in considerazione e dare ugual peso a quelle stazioni che disposte uniformemente lungo tutte le coste della Terra, non siano soggette a notevoli bradisismi o terremoti. Così per esempio converrà non considerare le stazioni della Scandinavia, soggetta a notevole movimento verticale.

In ogni caso tutti i valori dei livelli medi annui (e possibilmente mensili) dovranno essere pubblicati. La qual cosa avviene già in modo esemplare nel « Monthly and Annual mean heights of sea-level » dell'Associazione d'Océanographie Physique. Basterebbe che tutti i Comitati nazionali inviassero i dati alla Segreteria dell'Associazione attenendosi agli schemi già pubblicati. Il calcolo della variazione ventennale media di tutti i mari potrebbe esser fatto dalla stessa Associazione, od anche, basandosi su dati pubblicati, dai singoli Comitati nazionali. Il risultato, anche tenendo conto che la scelta delle stazioni potrebbe essere diversa, risulterà praticamente il medesimo almeno sino ad un decimo di millimetro.

RIASSUNTO

Nelle determinazioni altimetriche si considera quale superficie di riferimento il livello medio del mare locale supposto costante, oppure la superficie del geoido passante

per un punto fisso della crosta terrestre. Dato che il livello medio marino varia col tempo (attualmente esso aumenta di 1,1 cm per decennio), il riferimento perde ogni significato se non si precisa l'intervallo di tempo dal quale è stato dedotto il livello medio, l'istante centrale e il moto verticale del livello medio generale (cioè di tutti i mari). Anche il caposaldo terrestre è soggetto a lenti spostamenti verticali, per cui le altezze ad esso riferite variano pure col tempo.

Ciò premesso si fa la proposta di considerare quali superfici di riferimento, per le determinazioni altimetriche, i livelli medi marini generali dedotti dai successivi ventenni di ciascun secolo e di attribuire i corrispondenti livelli medi generali agli anni centrali degli intervalli considerati. Si avrebbero in tal modo i seguenti fondamentali vantaggi: 1) il livello di riferimento e le quote altimetriche risulterebbero esattamente determinate nello spazio e nel tempo; 2) il collegamento con tutti gli altri capisaldi e punti della superficie terrestre risulterebbe esattamente determinato; 3) i livelli medi risulterebbero abbinati con le determinazioni climatiche che sono eseguite su tutta la terra negli stessi intervalli di tempo.

ABSTRACT

In altimetric determinations we take as a surface of reference the mean level of the local sea thought as constant, or the surface of the geoid passing through a fixed point on the crust of Earth. As the mean sea-level varies in the course of time (at present it increases at the rate of 1,1 cm each ten years), the reference becomes meaningless if we do not state: the interval of time out of which we obtained the mean level, the central instant and the vertical movement (i. e. its velocity) of the general mean level (i. e. of all the seas). The terrestrial levelling-mark too is liable to slow vertical variation, and for this reason the altitudes connected with it also vary in the course of time.

Taking this for granted, we suggest to consider as reference-surfaces, for altimetric determinations, the general mean sea-levels obtained from the successive periods of twenty years for each century, and to attribute the

corresponding general mean levels to the central years of the intervals under study. In this way we could achieve the following fundamental advantages: 1) Have the level of reference and the altimetric cotes exactly determined in space and time. 2) Have the connection with all the other levelling-marks and points of the terrestrial surface exactly determined. 3) Have the mean levels coupled with the climatic measurements which are made on all the Earth and in the same intervals of time.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Assoc. Ocean. Phys., *Monthly and annual mean heights of sea-level*. « Union Geod. Geoph. Intern. Publ. Scient. » n. 5, Liverpool, 1940 e n. 10, Oslo, 1950.
- (2) POLLI, S., *Livelli medi, capisaldi di livellazione e ampiezza della marea nel porto di Trieste*. Comit. Talass. It., Mem. 253, Venezia, 1938.
- (3) — *Il graduale aumento del livello del mare a Venezia, Trieste e Pola*. « Geofisica pura e applicata », Milano, Vol. IX, 1946, F. 1-2.
- (4) — *Il graduale aumento del livello marino determinato per 30 porti del Mediterraneo*. « Boll. Soc. Adr. Sc. Nat. », Vol. XLII, Trieste, 1946.
- (5) — *Gli attuali movimenti verticali delle coste italiane*. « Tecnica Italiana », Trieste, maggio-giugno 1947.
- (6) — *Registrazione dei bradisismi costieri*. « Geof. pura e applicata », Vol. XII, 3/4, Milano, 1948.
- (7) — *Misura dei lenti movimenti verticali della superficie terrestre*. « Annali di Geofisica », Vol. V, n. 3, 433-439, 1952.
- (8) — *Gli attuali movimenti verticali delle coste continentali*. « Annali di Geofisica », Vol. V, n. 4, 597-602, Roma, 1952.
- (9) — *Il graduale aumento del livello del mare lungo le coste italiane*. « Geofisica pura e applicata », Vol. XXV, 123-129, Milano, 1953.
- (10) — *L'attuale deformazione della crosta terrestre*. « Annali di Geofisica ». Vol. VI, n. 4, 555-560, Roma, 1953.
- (11) — *L'attuale aumento del livello del mare lungo le coste del Mediterraneo*. « Geofisica e Meteorologia », Vol. II, n. 1-2, 13-16, Genova, 1954.
- (12) — *Variazioni delle costanti armoniche delle maree col livello del mare*. « Annali di Geofisica », Vol. VIII, n. 2, 201-207, Roma, 1955.
- (13) — *I cicli climatici di 5,6 e 8,0 anni e la loro realtà fisica*. « Meteorologia Aeronautica », n. 2, Roma, 1955.