

---

ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

# RENDICONTI

---

ARTURO DE MAIO, MAURO MORETTI

## Sopra un indice statistico della variabilità del mare

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,  
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 40 (1966), n.1, p. 73–79.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<[http://www.bdim.eu/item?id=RLINA\\_1966\\_8\\_40\\_1\\_73\\_0](http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1966_8_40_1_73_0)>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

---

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma  
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)  
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>



**Oceanografia.** — *Sopra un indice statistico della variabilità del mare.* Nota di ARTURO DE MAIO e MAURO MORETTI (\*), presentata (\*\*)  
dal Corrisp. G. ALIVERTI.

SUMMARY. — The results of the correlation coefficient  $r$  computation, between temperature  $T$  and salinity  $S$  on the *standard* sea surfaces are reported. The coefficient  $r$  appears to be a good index revealing the phenomena of sinking surface water, made denser by intensive cooling and evaporation. This is clearly seen through the elaboration: of the I.G.Y. 1957-58 measurements in the central South Tyrrhenian Sea, of the "Meteor" (1925-27) in the Atlantic, and for the NORPAC 1955 in the Pacific Ocean.

In oceanografia, dalla distribuzione della temperatura  $T$  e della salinità  $S$  osservate, si deduce la distribuzione della densità dell'acqua e, dalla conoscenza di questa, si ricava la topografia delle superfici isobariche nonché, mediante l'applicazione di un teorema di Bjerknes, le correnti geostrofiche fluenti su queste superfici del mare. La tecnica che si applica nella misura di  $T$  e di  $S$ , detta *quasi-sinottica*, è la seguente: una o diverse navi, che hanno scelto a oggetto di studio una data porzione di mare, eseguono, nel più breve tempo possibile, un certo numero di stazioni idrologiche, che consistono nel misurare in diversi punti, situati lungo la verticale di quelle stazioni, la temperatura e la salinità dell'acqua marina.

Basandosi su queste misure, gli sperimentatori, una volta a terra e dopo elaborazioni piuttosto lunghe dei dati sperimentali, sono in grado di costruire per ciascuna stazione le curve di temperatura e di salinità in funzione della profondità. Su tali curve si possono allora leggere le coppie di valori  $T$  ed  $S$  corrispondenti alle *superfici standard* cioè alle profondità di metri: 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1000, ecc.

Da questi dati, con altri calcoli, si arriva poi alle altre grandezze più sopra indicate. Le superfici di riferimento standard sono più fitte presso la superficie e vanno poi distanziandosi sempre più al crescere della profondità. Questa scelta è dovuta al fatto che lo strato superficiale del mare è il più perturbato a causa dei diversi fenomeni fisici che si verificano alla sua superficie; infatti il riscaldamento da parte della radiazione solare, il raffreddamento a causa di aria fredda scorrente sopra la superficie, l'evaporazione, le precipitazioni, le onde provocate dal vento, contribuiscono a rendere continuamente variabili le condizioni fisiche dello strato d'acqua superficiale e di quello prossimo alla superficie. Di preminente importanza ai fini della circolazione delle acque è la conseguenza di due azioni concomitanti alla superficie di certe zone e cioè: raffreddamento intenso dell'acqua ed evaporazione, dovute ad

(\*) Istituto di Meteorologia e Oceanografia dell'Ist. Universitario Navale di Napoli.

(\*\*) Nella seduta dell'8 gennaio 1966.

aria fredda e secca fluente sulla superficie; a causa di ciò vi sono intervalli di tempo più o meno lunghi durante i quali su porzioni degli oceani e dei mari si produce alla superficie, nelle dette condizioni, acqua di elevata densità che discende diventando quindi acqua profonda o addirittura acqua di fondo [1].

Lo studio diretto di questi importanti fenomeni è però non tanto agevole per diverse ragioni. Una possibilità di chiarimento, almeno qualitativo, di essi, l'abbiamo constatata attraverso calcoli statistici. Precisamente nel *calcolo del coefficiente di correlazione fra i valori di temperatura e salinità sui piani standard*. Poiché durante l'anno geofisico internazionale del 1957-58, su iniziativa e finanziamento del C.N.R., è stato fatto in Italia un rilievo *quasi-sinottico* del Mare Tirreno, al quale ha partecipato l'Istituto di Meteorologia e Oceanografia dell'I.U.N. (Istituto Universitario Navale), abbiamo preso in considerazione le misure da noi fatte lungo le linee 6, 7, 8 del piano italiano ora detto durante le *cinque crociere* compiute sempre su quei tragitti nelle varie stagioni dell'anno geofisico, e ideate per conoscere le condizioni fisiche del Tirreno nelle varie stagioni dell'anno e per calcolarne le correnti geostrofiche. Le linee 6, 7, 8 si svolgono sul Tirreno centro-meridionale.

A proposito della legittimità di calcoli statistici su dati interpolati, è da notare che da qualche decina di anni il rilievo della temperatura oceanografica è migliorato per l'introduzione dell'uso, accanto ai termometri a rovesciamento, del batitermografo, strumento che *registra* la curva della temperatura in funzione della profondità per i primi 300 metri. Attualmente è quindi possibile procedere alla descrizione della curva  $T(h)$  con notevole sicurezza; inoltre da ciò deriva anche la possibilità di controllare i valori di  $S$  interpolati, poiché la curva della densità  $\rho$  con la profondità, descrivibile con i dati delle misure dirette di  $T$  ed  $S$ , è ad andamento molto regolare, e permette, essendo sicura la determinazione di  $T$  di controllare l'attendibilità del valore di  $S$  corrispondente. Noi pure abbiamo sempre usato il batitermografo in mare e il batitermogramma nella elaborazione dei dati osservati con i termometri.

I coefficienti di correlazione  $r$ , calcolati sui nostri dati delle cinque crociere tirreniche, hanno dato i risultati rappresentati graficamente nelle figg. 1 e 2; si vede dalle figure come varia  $r$  al variare della profondità  $h$ . Tutte le cinque curve presentano due singolarità di andamento, una corrispondente a piccole profondità, intorno ai 20 m, nel quale strato  $r$  aumenta, l'altra fra 50 e 100 m, dove  $r$  è negativo per quattro curve e positivo ma minimo per la quinta. Oltre i 150 m le curve del semestre estivo (cioè I, II e V crociera, fig. 1) tendono a portarsi su di un alto valore positivo di  $r$ ; quelle del semestre invernale (III e IV crociera, fig. 2) vanno ai valori positivi a maggiore profondità, dopo i 200-300 m.

Come si vede, per le quote profonde c'è fra  $T$  ed  $S$  correlazione positiva, e così pure in un piccolo spessore presso la superficie; ma fra questi due andamenti, è interposto *un tratto dove la correlazione diventa negativa*.

Visto il risultato ottenuto per le osservazioni nel mare Tirreno, mare come tutto il Mediterraneo a caratteristiche particolari, causa l'esistenza della soglia di Gibilterra, è nata in noi la curiosità di vedere quello che il calcolo

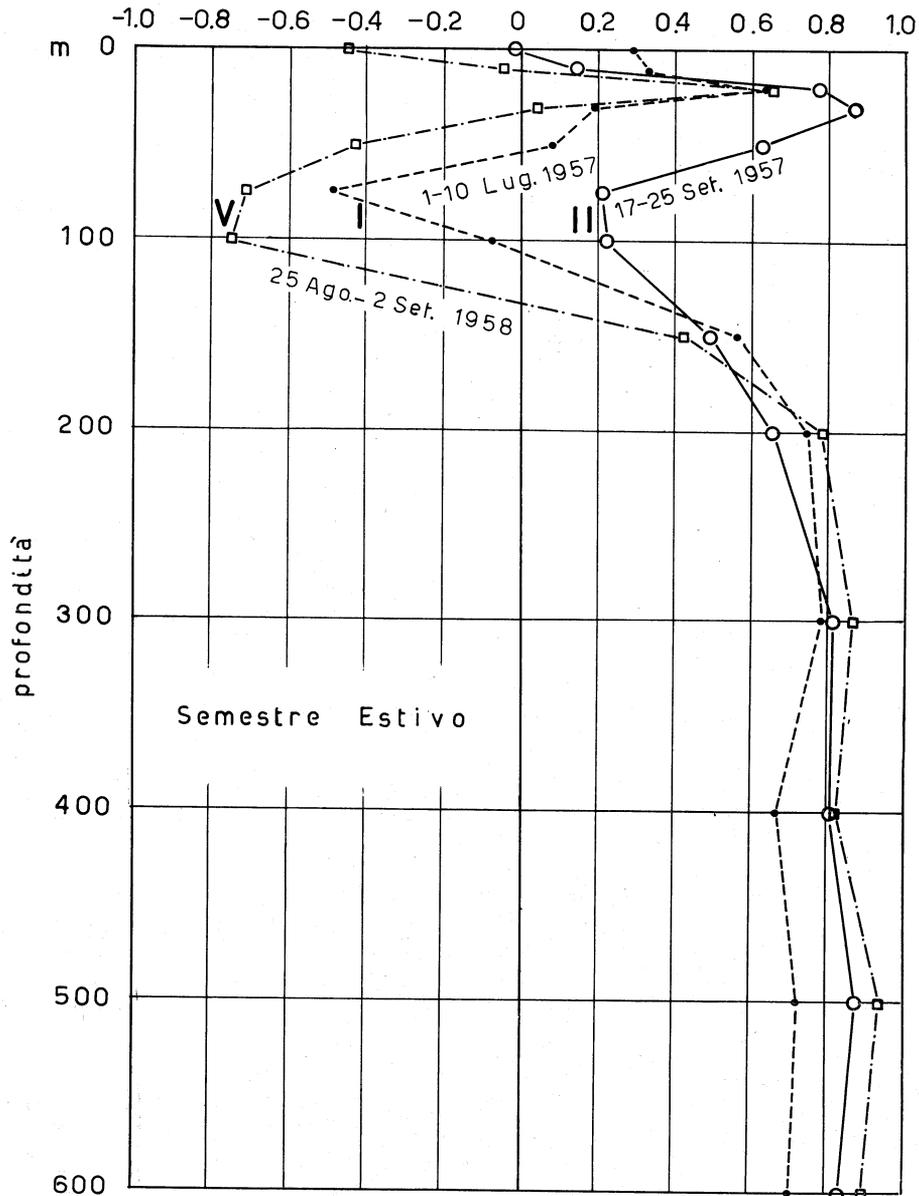


Fig. 1. - Coefficiente di correlazione  $r$  fra T e S (Crociere AGI 1957-58, Tirreno centro-meridionale).

statistico in questione dava per osservazioni idrologiche di zone di mare oceaniche. Ci siamo giovati perciò dei dati pubblicati dai diversi sperimentatori: per l'Atlantico delle misure della «Meteor» (1925-1927) [2] e per il Pacifico delle crociere NORPAC 1955 [3].

I risultati si sono riprodotti anche per queste misure, in scala più ampia come era da attendersi, dato il maggiore sviluppo dei fenomeni fisici verifi-

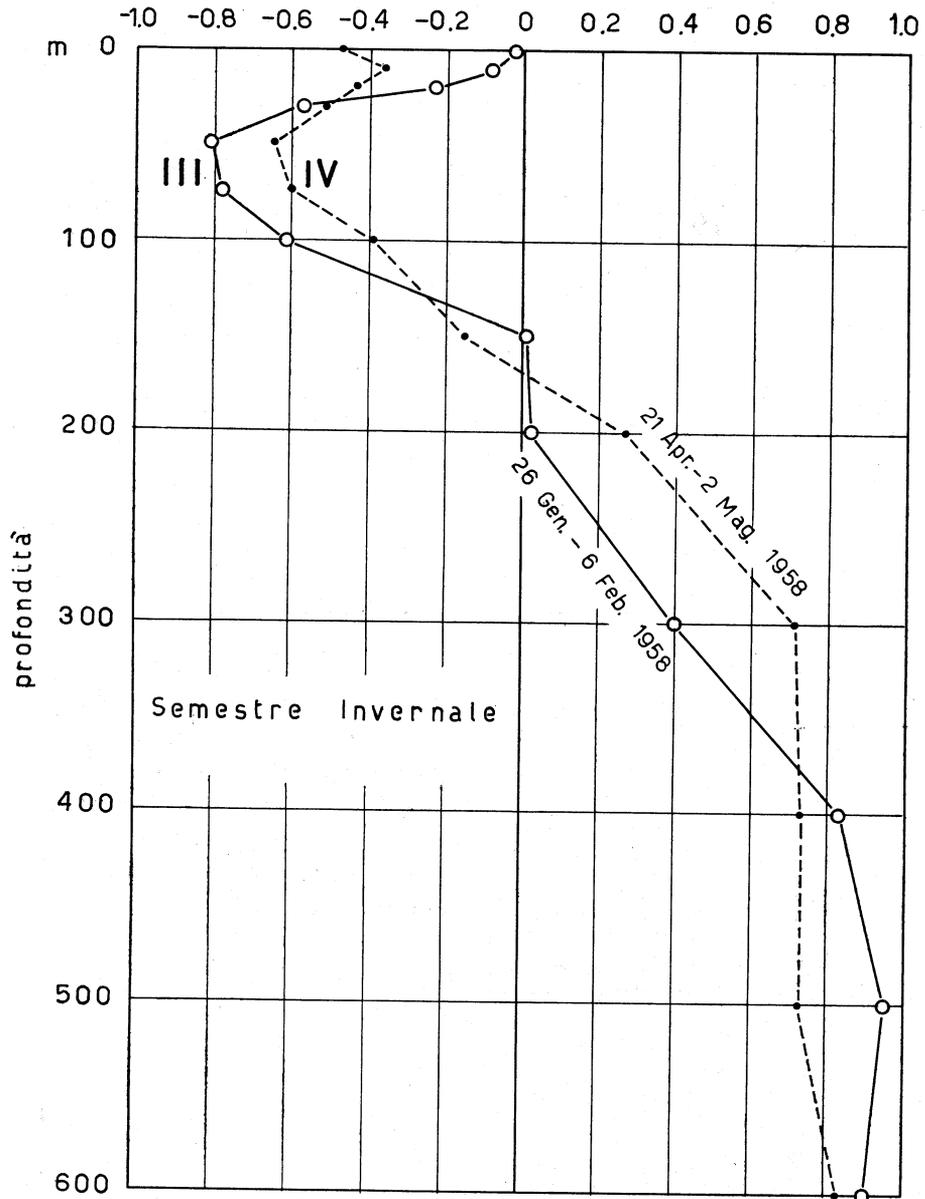


Fig. 2. - Coefficiente di correlazione  $r$  fra T e S (Crociere AGI 1957-58, Tirreno centro-meridionale).

cantisi negli oceani; poiché il fatto curioso trova, a nostro parere, interpretazione nei fenomeni fisici superficiali di intenso raffreddamento e contemporanea forte evaporazione.

Per l'Atlantico abbiamo considerato gruppi di stazioni eseguite in diverse epoche dell'anno e a diverse latitudini. La fig. 3 raggruppa i risultati ottenuti; delle quattro curve calcolate per  $r$  soltanto quella della zona equatoriale sta

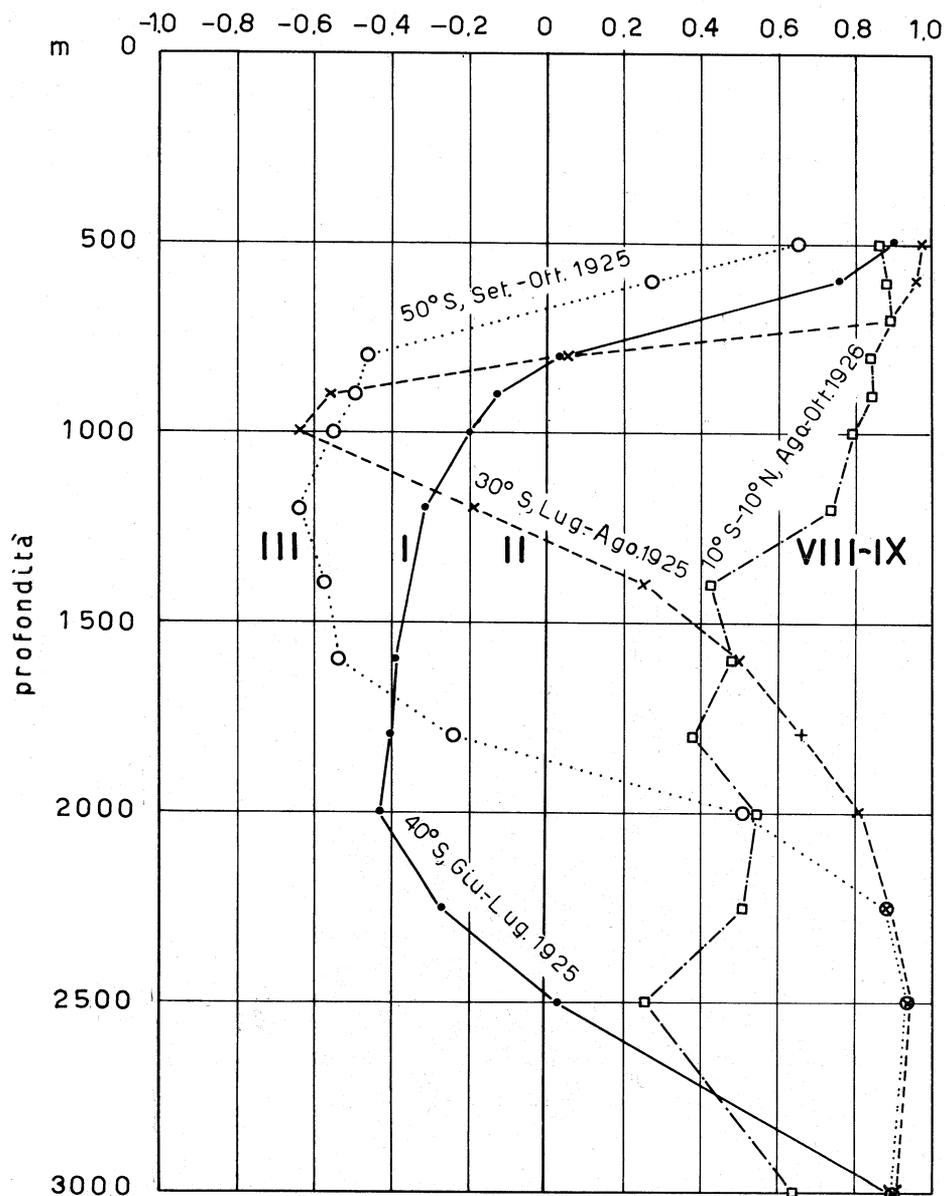


Fig. 3. - Coefficiente di correlazione  $r$  fra T e S («Meteor», Atlantico 1925-27).

tutta nel settore positivo, le altre presentano tutte dei tratti a coefficiente di correlazione negativo; esse passano ai valori negativi intorno ai 700-800 m e ritornano ai valori positivi a varie profondità; quella invernale e a 40° di latitudine Sud passa ai valori positivi a circa 2500 m di profondità.

Per il Pacifico abbiamo calcolato soltanto una curva, relativa ad esperienze eseguite sui primi 1200 m di profondità nel mese di agosto 1955 nell'emisfero nord a circa 40° di latitudine; la curva passa ai valori negativi dopo

i 600 m di profondità e rimane nel settore negativo, con valore elevato, fino alla massima profondità esplorata, cioè ai 1200 m.

Come abbiamo già accennato, l'interpretazione del coefficiente di correlazione negativo si trova nei fenomeni fisici, già più volte citati, di intensa evaporazione e contemporaneo forte raffreddamento superficiali. Questi due fenomeni, abbassamento di temperatura e innalzamento di salinità, localizzati su una data porzione di mare, cooperano nell'aumentare la densità dell'acqua superficiale su quella porzione che è costretta a discendere e, durando i due fenomeni, gli scambi di acqua fra lo strato superficiale e quelli sottoposti, si diffondono penetrando sempre più profondamente, con un meccanismo

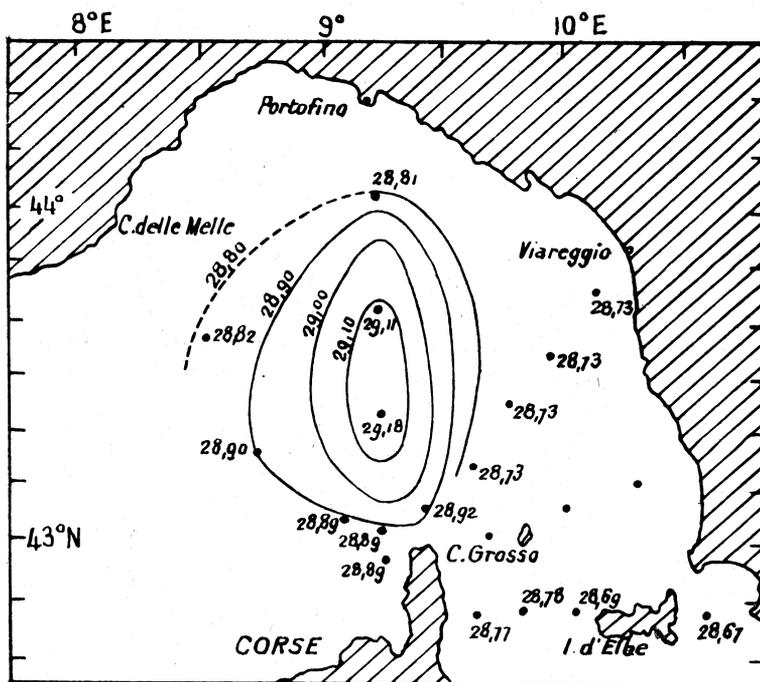


Fig. 4. - Isolince superficiali del  $\sigma_t$  (marzo 1952).

complesso evidentemente difficile da spiegare, ma reale come dimostra l'andamento di  $r$  con la profondità. Difatti finché è in atto l'affondamento di acqua, se si considera un piano orizzontale, attraverso il quale avviene il passaggio, bisogna ammettere che su di esso si può stabilire in senso orizzontale un gradiente di temperatura diretto verso l'acqua più fredda discendente e un gradiente di salinità diretto, in senso inverso al precedente, cioè dall'acqua più salata discendente verso quella meno salata; l'opposizione dei due gradienti porta al coefficiente  $r$  negativo.

Che questo fatto possa avvenire è chiaramente indicato dalla fig. 4 tolta dal lavoro già citato di De Maio e Trotti relativo alla idrologia del mar Ligure; essa rappresenta le isolinee superficiali del  $\sigma_t$  fra la Corsica e la costa Ligure

nel marzo 1952, durante il quale la densità  $\rho$  nel mezzo della zona raggiunse persino l'elevato valore di 1,02918 dando luogo a isolinee chiuse in sé stesse che delimitano un'area di intensa densificazione dell'acqua. Fenomeni di questo tipo sono molto diffusi e intensi soprattutto durante la stagione invernale e alle alte latitudini.

Concludendo, a nostro parere il coefficiente di correlazione fra T ed S su piano isobarico, praticamente su piano orizzontale, può dare indicazioni qualitative sulla presenza, in vari orizzonti, di acqua in discesa e proveniente dalla superficie in seguito a contemporanea diminuzione della temperatura e aumento della salinità. Si può anche trarre un'altra conclusione dal fatto messo in evidenza e cioè che è utile infittire le superfici standard presso la superficie e molto utile rilevare sempre, per le prime centinaia di metri, la curva di temperatura col batitermografo; ciò potrà contribuire a far vedere in modo più particolareggiato le conseguenze dei fenomeni dello strato superficiale.

Si ringrazia vivamente il prof. R. Vinciguerra, del Centro di Calcolo Elettronico della Facoltà di Scienze della Università di Napoli, che ha reso possibile l'elaborazione statistica dei dati considerati con l'ausilio del Calcolatore IBM 1620.

#### BIBLIOGRAFIA.

- [1] A. DE MAIO e L. TROTTI, *Sur la formation d'eau de fond, et d'eau profonde dans la mer ligurienne*, « Cahiers Océanographiques, C. O. E. C. Paris », XIII<sup>e</sup>, n. 4, avril 1961.  
GEORG WÜST, *Considerazioni sulla circolazione di masse d'acqua intermedia e profonda nel mare Mediterraneo e i metodi per ulteriori ricerche*, « Ann. Ist. Univ. Nav. », vol. XXVIII, Napoli 1959.
- [2] GEORG WÜST, *Das Ozeanographische Beobachtungsmaterial. Deutsche Atlantische Exped. «Meteor» 1925-27*, « Wiss. Erg. », Bd. IV, Teil II, 1932.
- [3] *Oceanic observation of the Pacific. 1955. The Norpac Data*. Univ. of California Press 1960.