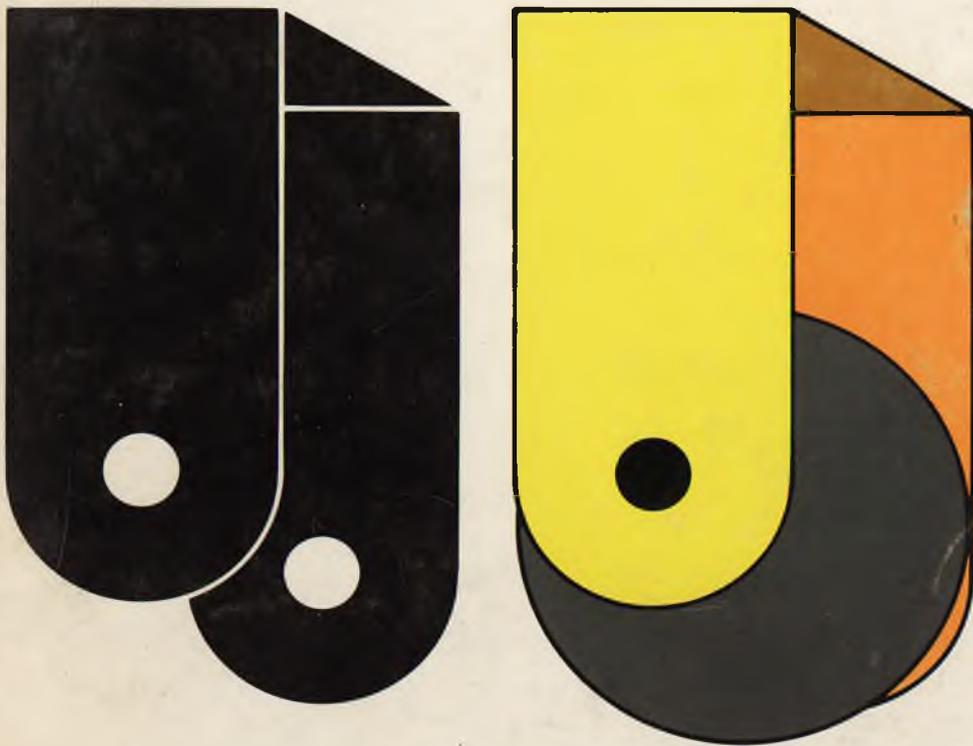


x *Stioleuti*

3

QUADERNI DELLA CASSA PER IL MEZZOGIORNO

7



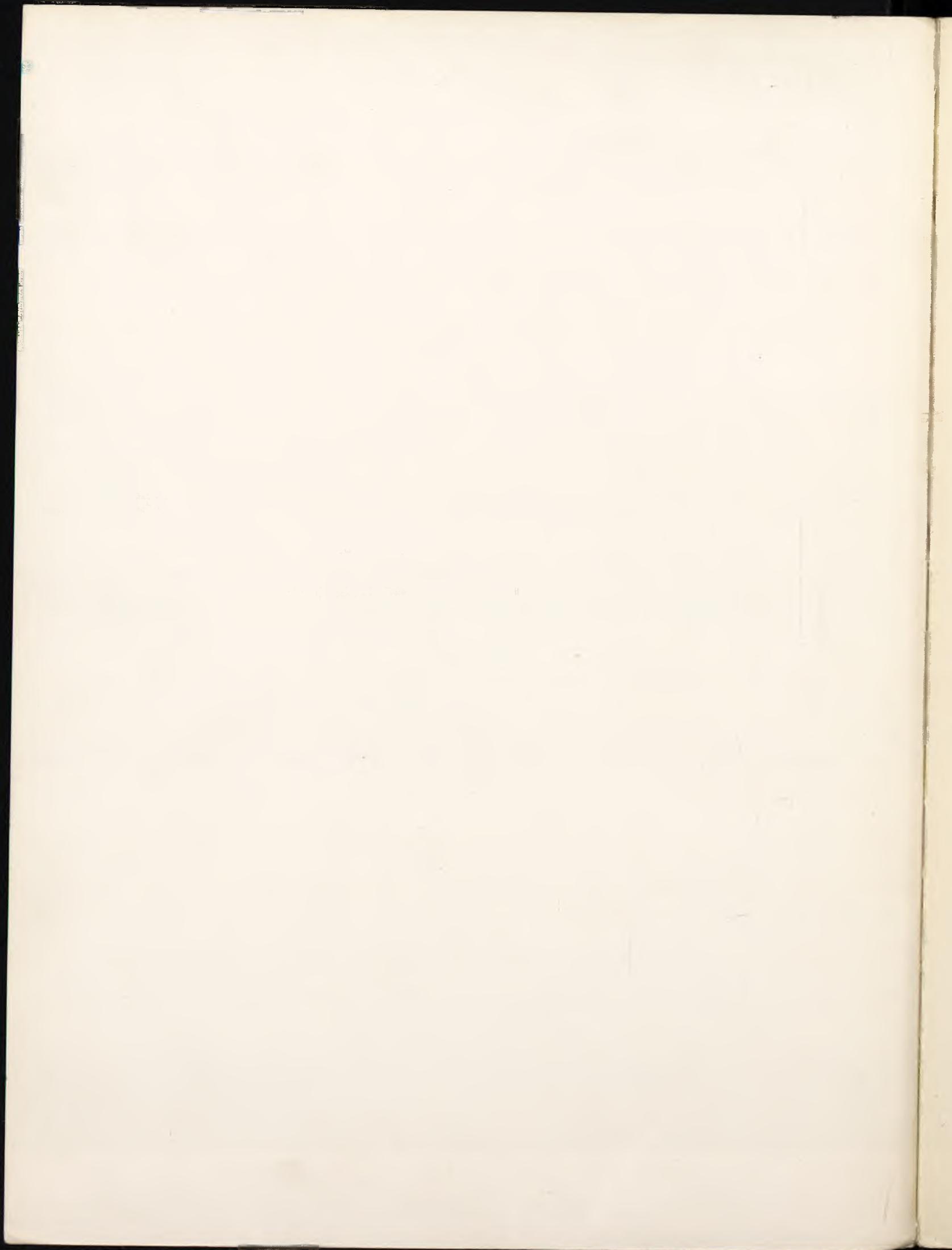
PROMOZIONE
GRUPPO
MEZZOGIORNO

MEZZOGIORNO

BIBLIOTECA

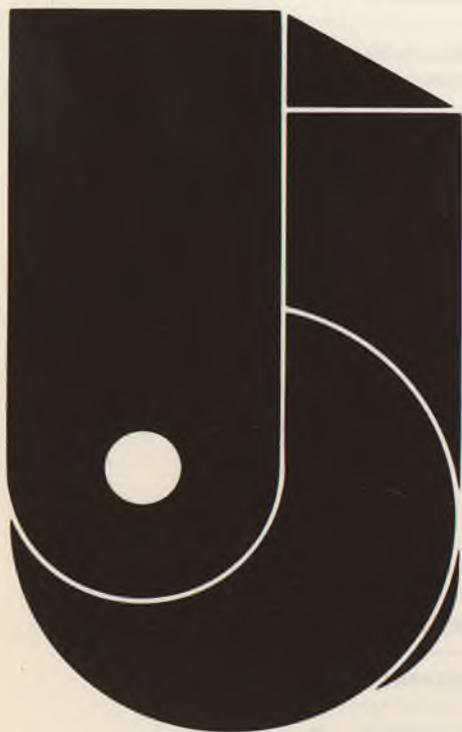
ESCLUSO DAL PRESTITO

BIBLIOTECA	COLLOCAZIONE	CASSA PER IL MEZZOGIORNO
	Inv. N. 51749	



Diluizione iniziale dei liquami immessi in mare

indagine sperimentale
lungo un tratto di costa
del Lazio meridionale



7

Collaborano ai «Quaderni»:

Gaetano Argento, Luigi Baj, Claudio Bartolomei, Elisa Bizzarri, Antonio Bossola,
Alberto Buonopane, Claudio Calvaruso, Alessandro Carena, Francesco Cavaliere,
Pietro Celico, Antonio Cenedese, Gino Ceriani, Giuliano Cesarini, Gerolamo Colavitti,
Giuseppe Consiglio, Leonardo Cuoco, Gastone Cuocolo, Filippo D'Ambrosio,
Francesco Maria de Falco, Angelo Del Treste, Mario D'Erme, Angelo Detragiache,
Giuseppe Di Nardi, Maurizio Di Palma, Carmelo Formica,
Francesco Forte, Giulio Cesare Gallo, Antonio Giolitti, Fabrizio Giovanale, Luigi Giusso,
Giorgio Gugliormella, John Higgs, Ercole Incalza, Roberto Incarnati, Gino Lo Giudice,
Giovanni Montemagno, Gianfranco Murzi, Calogero Muscarà,
Angelo Pecoraro, Luciano Piccioni, Ugo Possenti, Serenella Romeo,
Francesco Rossi, Manlio Rossi Doria, Domenico Russo, Renato Santelia, Gianfranco Saraca,
Alfonso Silipo, Giovanni Simonelli, Vincenzo Stanganelli, Francesco Tagliamonte,
Gianfranco Tartaglia, Francesco Vegna, Piergiorgio Vigliani, Alfonso Visconti

Copertina di Michele Spera

Edito dalla Cassa per il Mezzogiorno
Ufficio Documentazione - Divisione Stampa e P.R.
Piazza Kennedy, 20 - 00144 Roma - Tel. 59911

Stampa Grafiche Magliana - Roma - 1984

Diluzione iniziale dei liquami
immessi in mare

indagine sperimentale
lungo un tratto di costa
del Lazio meridionale



Indagine sperimentale sulla diluizione iniziale dei liquami immessi in mare lungo un tratto di costa del Lazio meridionale

di Alfonso Visconti, Gianfranco Tartaglia e Piergiorgio Vigliani

Alla realizzazione dell'indagine presentata nel Quaderno hanno collaborato anche l'Ufficio Circondariale Marittimo di Anzio, l'Ing. Giuseppe Ferranti, progettista della condotta e delle opere a terra utilizzate per le prove, e il Prof. Raffaello Olivotti, Ordinario nella facoltà di ingegneria dell'Università di Trieste, che ha curato la fase della messa a punto della metodica operativa e l'indagine bibliografica nonché l'Ing. Bruno Sclavi per le indagini in sito e le elaborazioni.

L'iniziativa è stata promossa dall'Ing. Francesco Vegna, Vice Direttore generale della Cassa per il Mezzogiorno e dall'Ing. Luigi Baj, Direttore centrale della Ripartizione per il Coordinamento Regionale.

sommario

presentazione	5
1 premessa	7
■ l'inquinamento marino	9
■ le finalità dell'indagine	13
2 riepilogo della letteratura tecnica e formule per il calcolo della diluizione iniziale	17
■ cenni sulle tecniche di smaltimento per dispersione e importanza dei fenomeni di diluizione iniziale	19
■ generalità sui metodi di calcolo inerenti la previsione del processo di diluizione iniziale	22
■ formule e grafici inerenti il caso di getto isolato (getto orizzontale, acqua dolce in acqua di mare)	27
■ rassegna della letteratura tecnica	31
3 scelta della condotta oggetto della sperimentazione	41
4 attrezzature, apparecchiature e natanti utilizzati	45
■ attrezzatura posata sul fondale	47
■ reticolo di riferimento e prelievo campioni	48
■ attrezzature varie	48
■ apparecchiature per determinazioni strumentali	49
5 operazioni preliminari	51
■ modifiche alla stazione di pompaggio	53
■ preparazione della condotta	53
■ controlli strumentali	54
6 articolazione dell'indagine e metodologia	55
■ getto unico	57
■ getti sovrapposti	58
■ misure	59
7 condizioni operative	61
■ modalità	63
■ programma	66
8 esame dei dati sperimentali	69
■ dati meteomarini	71

■ dati chimico-fisici	72
■ dati geometrici	73
9 confronto fra i valori di diluizione iniziale ottenuti sperimentalmente, le formule tecniche ed i diagrammi più usati	75
■ ugello singolo di diametro 100 millimetri	78
■ ugello singolo di diametro 70 millimetri	90
■ ugello singolo di diametro 50 millimetri	109
■ sovrapposizione di due getti immessi in mare con ugelli di diametro 50 millimetri	113
■ ugello singolo di diametro 20 millimetri	135
10 considerazioni conclusive	137
■ affidabilità dei grafici e delle formule	139
■ principali conseguenze di ordine progettuale	143
■ allegato 1: iniziative internazionali e nazionali per la protezione del mare	149
■ allegato 2: brevi richiami relativi alla problematica delle condotte di scarico sottomarine	153
11 riferimenti bibliografici	155
12 atlante	169

presentazione

L'esigenza di divulgazione dell'attività della Cassa per il Mezzogiorno, alla quale risponde la Collana dei Quaderni, non esclude che, a fianco dei contributi di carattere ampio e generale, come quelli riguardanti l'illustrazione dei progetti speciali e dei settori chiave dell'intervento straordinario, figurino anche apporti di natura più specialistica, che diano testimonianza dell'impegno tecnico e scientifico che ha sempre caratterizzato l'azione dell'Istituto.

Con questo tipo di iniziativa editoriale si intende anche mettere a disposizione degli ambienti specializzati e degli studiosi un patrimonio di esperienze originali, che può costituire un valido supporto, sia per ulteriori approfondimenti teorici e sperimentali, sia per applicazioni pratiche basate su nuove metodologie.

Il presente Quaderno si inserisce in questo secondo filone e intende dare un contributo alla diffusione delle tecniche di disinquinamento e di difesa dell'ambiente marino, con particolare attenzione ad alcune aree del litorale laziale che, per le loro caratteristiche naturali e socio-economiche, trovano nella qualità delle acque marine un essenziale fattore di sviluppo.

L'indagine sperimentale, illustrata nel Quaderno, è stata svolta presso impianti esistenti in Anzio, nell'ambito degli interventi fognari finanziati per la tutela delle acque dall'inquinamento, alla luce della vigente legislazione.

L'interesse dell'indagine travalica i riferimenti all'ambito locale costiero della Regione Lazio e costituisce un utile strumento di conoscenza per tutti coloro che saranno impegnati nella risoluzione di problemi connessi allo sversamento di scarichi in mare e quindi ad un corretto ricorso a tale sistema.

L'importanza di divulgazione dell'attività della Casa per la Ricerca	72
alla quale risponde la Collana dei Quaderni, non esclude che, a fianco dei contenuti di carattere ampio e generale, come quelli riguardanti l'attività di ricerca, si possano trovare anche studi di carattere più specifico, come quelli riguardanti la ricerca in campo sperimentale, o anche di carattere più generale, come quelli riguardanti la ricerca in campo teorico.	73
Con questo tipo di iniziativa editoriale si intende anche mettere a disposizione degli studiosi e degli studiosi un patrimonio di conoscenze che può costituire un valido supporto sia per ulteriori approfondimenti teorici e sperimentali, sia per la ricerca in campo metodologico.	75
Il presente Quaderno si divide in due parti: la prima, che ha per titolo "La ricerca in campo sperimentale", illustra le tecniche di indagine sperimentale, e di difesa dell'ambiente marino, con particolare attenzione ad alcune aree del territorio, come, per la loro caratteristiche naturali e socio-economiche, le zone di tutela delle acque marine un'essenziale fattore di sviluppo.	78
L'indagine sperimentale, illustrata nel capitolo "La ricerca in campo sperimentale", è un'attività che si svolge in un'area di tutela delle acque marine, e che ha per oggetto la tutela delle acque marine.	90
La ricerca in campo sperimentale, illustrata nel capitolo "La ricerca in campo sperimentale", è un'attività che si svolge in un'area di tutela delle acque marine, e che ha per oggetto la tutela delle acque marine.	109
L'interesse dell'indagine sperimentale è riferito all'ambito locale costiero della Regione Lazio e costituisce un utile strumento di conoscenza per tutti coloro che saranno impegnati nella risoluzione dei problemi.	113
La ricerca in campo sperimentale, illustrata nel capitolo "La ricerca in campo sperimentale", è un'attività che si svolge in un'area di tutela delle acque marine, e che ha per oggetto la tutela delle acque marine.	137
La ricerca in campo sperimentale, illustrata nel capitolo "La ricerca in campo sperimentale", è un'attività che si svolge in un'area di tutela delle acque marine, e che ha per oggetto la tutela delle acque marine.	139
La ricerca in campo sperimentale, illustrata nel capitolo "La ricerca in campo sperimentale", è un'attività che si svolge in un'area di tutela delle acque marine, e che ha per oggetto la tutela delle acque marine.	143
La ricerca in campo sperimentale, illustrata nel capitolo "La ricerca in campo sperimentale", è un'attività che si svolge in un'area di tutela delle acque marine, e che ha per oggetto la tutela delle acque marine.	149
La ricerca in campo sperimentale, illustrata nel capitolo "La ricerca in campo sperimentale", è un'attività che si svolge in un'area di tutela delle acque marine, e che ha per oggetto la tutela delle acque marine.	153
La ricerca in campo sperimentale, illustrata nel capitolo "La ricerca in campo sperimentale", è un'attività che si svolge in un'area di tutela delle acque marine, e che ha per oggetto la tutela delle acque marine.	155
La ricerca in campo sperimentale, illustrata nel capitolo "La ricerca in campo sperimentale", è un'attività che si svolge in un'area di tutela delle acque marine, e che ha per oggetto la tutela delle acque marine.	169

1 premessa

■ l'inquinamento marino

■ le finalità dell'indagine

Tra le attività svolte in occasione della visita presso l'Università di Palermo...

1. Il primo obiettivo di questa indagine è quello di verificare lo stato di inquinamento delle acque marine e di valutare l'impatto delle attività antropiche sul sistema marino. Per questo scopo è necessario adottare un approccio multidisciplinare che coinvolga diverse discipline scientifiche, tra cui la chimica, la biologia, la fisica e la geologia. L'indagine sarà condotta in modo sistematico e sistematico, con l'obiettivo di ottenere dati precisi e affidabili che possano essere utilizzati per la valutazione dell'inquinamento e per la pianificazione delle attività di tutela e di recupero.

2. La seconda finalità dell'indagine è quella di identificare le fonti di inquinamento e di valutare il contributo di ciascuna di esse al totale dell'inquinamento. Per questo scopo è necessario adottare un approccio sistematico e sistematico, con l'obiettivo di ottenere dati precisi e affidabili che possano essere utilizzati per la valutazione dell'inquinamento e per la pianificazione delle attività di tutela e di recupero.

3. La terza finalità dell'indagine è quella di valutare l'impatto dell'inquinamento sulle risorse marine e sulla salute umana. Per questo scopo è necessario adottare un approccio sistematico e sistematico, con l'obiettivo di ottenere dati precisi e affidabili che possano essere utilizzati per la valutazione dell'inquinamento e per la pianificazione delle attività di tutela e di recupero.

4. La quarta finalità dell'indagine è quella di valutare l'efficacia delle attività di tutela e di recupero. Per questo scopo è necessario adottare un approccio sistematico e sistematico, con l'obiettivo di ottenere dati precisi e affidabili che possano essere utilizzati per la valutazione dell'inquinamento e per la pianificazione delle attività di tutela e di recupero.

5. La quinta finalità dell'indagine è quella di valutare l'efficacia delle attività di tutela e di recupero. Per questo scopo è necessario adottare un approccio sistematico e sistematico, con l'obiettivo di ottenere dati precisi e affidabili che possano essere utilizzati per la valutazione dell'inquinamento e per la pianificazione delle attività di tutela e di recupero.

1. Premessa

- l'individuamento marino
- le finalità dell'indagine

L'inquinamento marino

Fra le molte definizioni che sono state formulate sul fenomeno dell'inquinamento marino, quella più esauriente può considerarsi la seguente: immissione volontaria o accidentale, da parte dell'uomo, di sostanze o di energia nell'ambiente marino capaci di provocare effetti deleteri, quali danni alle risorse biologiche, pericoli per la salute umana, ostacoli alle attività marittime, comprese quelle della pesca, deterioramento della qualità dell'acqua marina dal punto di vista della sua utilizzazione e riduzione delle possibilità nel campo dell'impiego del tempo libero.

L'inquinamento viene così ad essere individuato attraverso le varie configurazioni degli effetti dannosi prodotti da cause esterne, siano esse energia o sostanze, immesse artificialmente nell'ambiente marino naturale e qualitativamente compromissorie per quest'ultimo e per le sue possibili diverse utilizzazioni. Esso può essere individuato da vari tipi di «effetti», valutati in termini quantitativi, mediante soglie di sicurezza oltre le quali, a breve o a lungo termine, l'intensità degli stessi può, o si ritiene che possa, provocare danno o pericolo all'ambiente.

Tra le principali fonti di inquinamento delle acque marine sono certamente da menzionare le seguenti:

- a) il petrolio, immesso in mare con gli scarichi delle acque di lavaggio e di zavorra delle petroliere, con le perdite dei natanti, dei depositi, ecc. Si calcola che ogni anno, in tutto il mondo, siano scaricati in mare alcuni milioni di tonnellate di petrolio, di cui almeno 200.000 lungo le coste italiane. È noto inoltre che la superficie marina è così ricoperta da una pellicola translucida di petrolio, che impedisce alla luce solare ed all'ossigeno di penetrare oltre la superficie e quindi di assicurare la vita alla flora ed alla fauna sottomarina, mentre il fondo del mare e gli stessi litorali sono infestati dalla presenza di grumi bituminosi. La particolare pericolosità di questi prodotti consiste nel fatto che la loro neutralizzazione, da parte dell'ambiente marino, essendo un procedimento estremamente lento, appare del tutto inadeguata a contrastare gli effetti che tale consistente apporto arreca, per cui la situazione è in progressivo aggravamento;
- b) gli scarichi urbani, i quali, se immessi in mare senza un preventivo trattamento di depurazione, producono i ben noti effetti di alterazione dell'ambiente marino, intorbidamento dell'acqua, macchie oleose in superficie, cattivi odori, pericoli di epidemie o di infezioni intestinali e cutanee per i bagnanti e per i consumatori di molluschi e crostacei;
- c) gli scarichi industriali, molto più pericolosi degli scarichi urbani perché carichi di sostanze non biodegradabili e di prodotti tossici quali fenoli, pesticidi, cianuri, cromo, mercurio. Molte di queste sostanze si accumulano nei tessuti grassi dei pesci i quali si trasformano così in veicoli di veleno per l'uomo;
- d) gli scarichi di energia. È questa una forma meno nota, ma non per questo meno pericolosa. Nel mare vengono infatti scaricate le acque di raffreddamento delle industrie e in particolare di centrali elettriche termiche e nucleari; queste ultime convogliano inoltre sostanze radioattive anche se entro limiti di sicurezza prefissati, peraltro messi in discussione;
- e) le precipitazioni atmosferiche e le acque di scorrimento superficiale, infine, possono rappresentare ulteriori fattori di inquinamento perché le sostanze sopraccennate, oltre che essere scaricate direttamente lungo i litorali, possono essere trasportate attraverso i corsi d'acqua che in Italia, oggi, sono spesso delle vere e proprie fogne «scoperte»; basti pensare ai carichi inquinanti trasportati dal Tevere e dal Po. Questi due fiumi, che raccolgono gli scarichi non depurati di milioni di abitanti lungo le loro sponde e di migliaia di industrie ancora sprovviste di trattamento delle acque di lavazione, convogliano tonnellate di sostanze organiche, chimiche ed in generale tossiche, che avvelenano in modo preoccupante le acque dei mari Tirreno ed Adriatico. In particolare, gli agenti inquinanti, che risultano produrre maggiori danni all'ambiente marino, sono rappresentati dagli oli minerali, dai prodotti eutrofizzanti (anzitutto i composti dell'azoto e del fosforo e quindi i composti organici biodegradabili), dai prodotti dell'industria (metalli pesanti) e dalle acque di dilavamento dei terreni sottoposti

ad attività agricole, che contengono antiparassitari, fertilizzanti, ecc., dai prodotti delle attività domestiche (rifiuti plastici e tensio-attivi).

Gli effetti negativi dovuti a tali sostanze riguardano non solo e non tanto la salute e le attività ricreative dell'uomo quanto, soprattutto, lo squilibrio dell'intero ecosistema marino (pescosità, alghe, ecc.) e terrestre: infatti la pellicola di idrocarburi, che si deposita sulla superficie del mare impedendone l'evaporazione, può influire sul microclima delle zone rivierasche, mentre le piante costiere possono ricevere danni notevoli dagli aerosol trasportati dai venti, come è accaduto ai pini della Versilia ed alla pineta di Castelfusano. Particolarmente grave appare la situazione dei mari poco profondi e parzialmente chiusi le cui acque, di conseguenza, sono sottoposte ad un ricambio particolarmente lento. Basti pensare al mare Adriatico il cui corpo idrico si trova in una situazione di equilibrio instabile permanente, dovuto soprattutto all'afflusso massiccio di sostanze nutritive (composti dell'azoto e del fosforo), per cui è sufficiente che uno dei fattori che regolano questo equilibrio subisca una variazione (pressione atmosferica, temperatura e densità di diversi strati dell'acqua, afflusso di sostanze, regime dei venti, piogge estive) perché si verifichi il triste fenomeno delle «alghe rosse».

Come noto, si tratta di esplosive fioriture di alghe (per lo più dinoflagellati) che hanno carattere spesso stagionale e talora accidentale e che possono interessare più o meno vasti tratti di acque costiere. Questo fenomeno è frequente nella laguna Veneta, lungo la riviera romagnola, marchigiana ed abruzzese e talvolta si presenta lungo il litorale barese. Benché il mare più interessato da questi fenomeni sia l'Adriatico, episodi di questo tipo si registrano talvolta anche nel golfo di Genova e su alcuni tratti delle coste laziali e campane. La causa prima è generalmente un'eccessiva concentrazione delle sostanze nutrienti in zone circoscritte.

Ciò che è stato detto a proposito dell'Adriatico è altrettanto valido per il Mediterraneo il quale, benché su più grande scala, presenta problemi analoghi, dal momento che anche esso è un mare pressoché chiuso, con prospettive di inquinamento gravi in quanto il rinnovo delle acque si verifica in tempi lunghi, dell'ordine di molte decine d'anni.

Le notizie che si hanno sui movimenti di masse di acque nel Mediterraneo non sono ancora molto precise e dettagliate, specialmente per quanto concerne la circolazione profonda; è però possibile tracciare a grandi linee l'andamento delle correnti superficiali che sono quelle di più immediato interesse per il problema dell'inquinamento.

Attraverso lo stretto di Gibilterra penetra nel Mediterraneo un ininterrotto flusso d'acqua atlantica che si mantiene in superficie, in quanto meno salato e quindi meno denso e si dirige verso levante lungo la costa africana; un ramo di questa corrente penetra nel Tirreno dal canale di Sardegna, dirige ad est lambendo la costa siciliana, quindi gira a nord-ovest seguendo un andamento parallelo, ma resta distante rispetto alla costa italiana. In prossimità della costa esiste invece una controcorrente diretta a sud-est: si forma quindi nel Tirreno un movimento chiuso ellittico. Ciò inficia ulteriormente l'attuale ottimistica convinzione di poter affidare carichi inquinanti di qualunque tipo e qualunque entità al mare come se si trattasse di un impianto di depurazione naturale di potenzialità praticamente infinita.

Neanche sulle correnti di marea si può fare affidamento, in quanto la loro intensità non raggiunge mai, nel Mediterraneo, valori elevati a causa delle modeste oscillazioni verticali del mare (30 centimetri); questi valori di velocità di corrente sono dell'ordine di 0,2-0,3 nodi.

Tale stato di cose spiega in definitiva il lento ricambio delle acque lungo la fascia costiera. Le opinioni circa lo stato di salute del Mediterraneo sono molteplici, seppure pessimistiche in gradi diversi. Da un lato, abbiamo la visione maggiormente negativa di Jacques Yves Cousteau, secondo il quale questo mare si trova in condizioni molto critiche, soprattutto a causa degli scarichi di materiali tossici biodegradabili e non degradabili, di cui si dovrebbe rispettivamente limitare o evitare del tutto l'immissione (i principali responsabili di questa situazione sarebbero la Francia, la Spagna e l'Italia); dall'altro troviamo il parere più tranquillo di Maurice Aubert, direttore del Centro studi e ricerche di biologia e oceanografia medica di Nizza (CERBOM), secondo il quale la situazione non è ancora totalmente compromessa, in quanto il mare ha finora dimostrato di poter reagire positivamente alle molteplici immissioni di sostanze nocive ed inquinanti.

Per affrontare tali situazioni sono state intraprese numerose iniziative, sia di indagine che di tutela, a livello internazionale ed italiano. Tra queste possiamo ricordare il Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP), quale fu stabilito nel 1972 dall'assemblea generale per agire come elemento coordinatore all'interno della stessa organizza-

zione per occuparsi dei problemi ambientali più importanti nel mondo; il programma generale UNEP, cui fanno capo programmi specifici, quali quelli curati, ad esempio, dalla CIESM (Commissione Internazionale per l'esplorazione scientifica del Mare Mediterraneo) e dalla COI (Commissione Oceanografica Internazionale).

In generale, l'UNEP circo-scrive i problemi con programmi specifici riguardanti tratti di mare definiti «mari regionali». Il primo di questi è stato il Piano Blu per il Mediterraneo, messo a punto per raggiungere gli obiettivi che si prefiggeva la Convenzione di Barcellona, sottoscritta tra i paesi rivieraschi del bacino nel 1978.

La finalità principale del Piano consiste nello sviluppo organico delle condizioni sociali ed economiche dell'area mediterranea ed implicitamente della protezione della qualità dell'ambiente e dello sviluppo delle risorse naturali, mentre i singoli obiettivi sono peraltro costituiti da una serie di interventi interessanti le risorse idriche, l'erosione delle coste, l'acquacoltura, lo sviluppo dei centri turistici, le energie alternative.

Un obiettivo a sé stante è rappresentato dalla protezione contro l'inquinamento marino, che costituisce il programma di maggiore impegno: il cosiddetto MEDPOL.

Nell'ambito di questo programma si è proceduto ad avviare le seguenti fasi preliminari: acquisizione di dati sulla qualità dell'ambiente marino, formazione di ricercatori e costituzione di laboratori, definizione di metodiche analitiche di semplice strumentazione, elaborazione e raccolta di dati analitici ambientali, formulazione di normative e di criteri di qualità per gli usi degli ambienti costieri.

Queste diverse tematiche sono state affrontate e studiate promuovendo un'intensa azione di coordinamento, resa possibile utilizzando l'organizzazione centrale dell'UNEP e con la collaborazione delle altre Agenzie dell'ONU (OMS, FAO, UMM, UNESCO, AIA).

Per l'Italia, per quanto riguarda gli aspetti politici internazionali, tali attività sono coordinate dal Ministero degli Esteri, mentre, per ciò che concerne la parte operativa, dall'Istituto Superiore di Sanità e dal CNR attraverso il Progetto Finalizzato Oceanografia, nel cui ambito il tema dell'inquinamento marino costituisce uno specifico sub-progetto.

In particolare, il programma di ricerca ha affrontato i temi riguardanti il rilevamento della qualità dell'ambiente marino mediante indicatori biologici e lo stato e l'evoluzione delle manifestazioni di inquinamento in tre aree geografiche: mar Ligure, golfo di Napoli, alto Adriatico. Tra gli obiettivi raggiunti sono da menzionare la definizione di strategie per la lotta contro l'inquinamento e l'impostazione di una rete di impianti di osservazione della qualità dell'ambiente marino costiero. Va inoltre considerato che le competenze acquisite e le strutture attuate sono attualmente in grado, nell'ambito del detto programma, di svolgere funzioni di consulenza scientifica agli enti locali ed alle strutture centrali in materia di inquinamento marino.

Alcuni esempi, quali quello dell'Emilia e Romagna e del progetto speciale della Cassa per il Mezzogiorno per il disinquinamento del golfo di Napoli, costituiscono casi emblematici di una nuova concezione che intende affrontare globalmente la questione della lotta contro l'inquinamento marino, coinvolgendo in una più ampia visione anche i problemi relativi alla gestione del territorio.

Il problema, particolarmente sentito in Italia, è stato seguito con costante attenzione e rigore scientifico, sia promuovendo indagini «in situ», sia elaborando nuove formulazioni teoriche, alle quali la Cassa per il Mezzogiorno ha dato e continua a dare contributi apprezzati e spesso risolutivi sul piano della protezione ambientale o del disinquinamento (*).

È interessante citare, tra i tanti documenti elaborati in seminari e convegni, la mozione conclusiva scaturita dal Convegno dell'Elba del 1980, che sintetizza ed esprime nel modo più completo ed esauriente l'ampio ventaglio di contributi unificandoli in una proposta di lavoro in cui si ribadisce la necessità di «predisporre le iniziative più opportune ed efficaci affinché le Regioni costiere italiane siano invitate, nel quadro più generale di «una nuova crescita» ed in quello più particolare dei piani regionali di risanamento delle

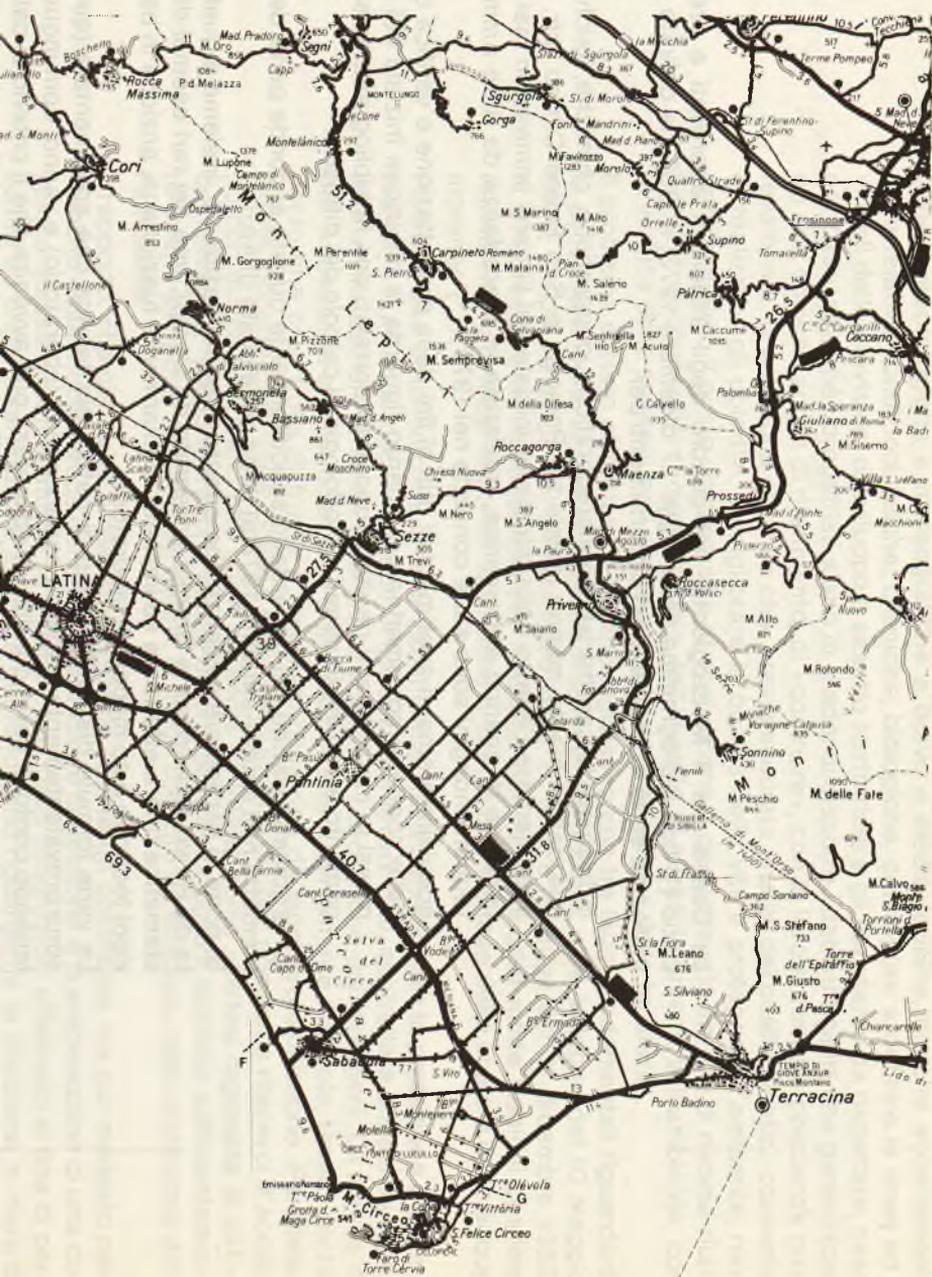
(*) Tra le iniziative italiane di particolare interesse sono da ricordare: i convegni FAO del 1970 e dell'Ufficio Studi della Camera dei Deputati (1972-1974-1975); i convegni ANDIS di Trieste (1955-1972), di San Remo (1974), di Sorrento (1976); il 1° convegno ANIAI del 1974 a Latina sulle coste italiane; il 2° analogo convegno ANIAI del 1980 all'Isola d'Elba; le giornate di studio sull'inquinamento marino del Mediterraneo tenute nell'ottobre 1980 a Cagliari; la conferenza nazionale del mare tenuta a Napoli nel novembre 1981; il convegno sulle coste del marzo 1982 a S. Benedetto del Tronto; il convegno del Rotary International nel maggio 1982 ad Erice; il seminario internazionale di studi sui fenomeni di eutrofizzazione lungo le coste dell'Emilia Romagna, tenuto a Bologna nel febbraio 1977; il convegno sull'eutrofizzazione dell'Adriatico, tenuto a Bologna nel maggio 1983.

Figura 1 - Il litorale pontino

14



- A Condotta di Torvaianica
- B Condotta di Anzio Bottaccio
- C Condotta di Anzio Capoluogo
- D Condotta di Nettuno
- E Condotta di Sant'Anastasio
- F Condotta di Sabaudia
- G Condotta di San Felice Circeo
- Opera esistente



particolare riguardo all'aggiudicazione di gare) e, soprattutto, può comportare non trascurabili conseguenze negative, sia sul piano ambientale che su quello strettamente economico, per i rilevanti costi connessi ad interventi correttivi su opere già realizzate. L'ampio sviluppo delle coste nel nostro paese (e, in particolare, nelle zone di competenza della Cassa per il Mezzogiorno) e la portata dei problemi ambientali e igienico-sanitari, nonché degli interventi di risanamento connessi, conferiscono alle difficoltà appena menzionate una dimensione considerevole.

Considerata dunque la complessità dell'argomento e la carenza, anche in ambito internazionale, di verifiche sperimentali *in situ* dirette e approfondite, è stato ritenuto opportuno effettuare alcuni approfondimenti e chiarimenti sperimentali sull'argomento: ciò non per produrre nuovi contributi di carattere teorico alla già ampia letteratura disponibile, quanto per delineare, in modo chiaro e pratico, il significato, le modalità di impiego e l'affidabilità dei principali metodi analitici (che si prefiggono, appunto, la previsione di tali fenomeni) nonché, al tempo stesso, i fondamentali principi di progettazione.

I risultati ottenuti consentono, tra l'altro, di definire con chiarezza, in sede di progettazione e di appalto delle opere, le debite garanzie sul grado di mescolamento iniziale da conseguire, sui criteri di calcolo da adottare a tali fini, sull'entità delle indagini preliminari, imprescindibili per acquisire una conoscenza sufficientemente circostanziata delle condizioni locali. In correlazione poi con il tipo di garanzie richieste, risulta importante poter stabilire con chiarezza le modalità di prelievo dei vari campioni in sede di collaudo. Tali modalità possono appunto essere meglio definite utilizzando i risultati di questa indagine.

Un punto focale per lo studio del processo di diluizione iniziale in genere è rappresentato dal caso di un getto isolato, e orizzontale, che versa in mare acqua dolce (o acqua di fogna, che ha, a parità di temperatura, all'incirca la medesima densità dell'acqua di approvvigionamento).

Il processo di diluizione iniziale è influenzato da vari fattori, dei quali lo studio sperimentale eseguito ha tenuto debito conto.

Il lavoro svolto ha riguardato la sperimentazione:

- a) su getti di diverso diametro;
- b) con diverse velocità di uscita;
- c) su getti singoli oppure disposti in serie, in modo da potere interferire o no tra di loro;
- d) su getti orizzontali;
- e) rivolti verso l'alto;
- f) rivolti verso il basso;
- g) in diverse condizioni (velocità) di corrente marina.

Il lavoro sperimentale è stato preceduto da una ricerca bibliografica particolarmente approfondita. La campagna di rilevamenti si è protratta per oltre quattro mesi su un impianto di dispersione esistente.

In allegato al presente volume si riportano brevi richiami sulla problematica delle condotte di scarico sottomarine.

2 riepilogo della letteratura tecnica e formule per il calcolo della diluizione iniziale

- cenni sulle tecniche di smaltimento per dispersione e importanza dei fenomeni di diluizione iniziale
- generalità sui metodi di calcolo inerenti la previsione del processo di diluizione iniziale
- formule e grafici inerenti il caso di getto isolato (getto orizzontale, acqua dolce in acqua di mare)
- rassegna della letteratura tecnica

2 neptologo della letteratura tecnica e formule per il calcolo della diluizione iniziale

■ cenni sulle tecniche di smaltimento
per dispersione e importanza dei
fenomeni di diluizione iniziale

■ generalità sui metodi di calcolo
inerenti la previsione del processo
di diluizione iniziale

■ formule e grafici inerenti il caso
di getto isolato (getto orizzontale,
acqua dolce in acqua di mare)

■ rassegna della letteratura tecnica

Riepilogo della letteratura tecnica e formule per il calcolo della diluizione iniziale

2.1. Cenni sulle tecniche di smaltimento per dispersione e importanza dei fenomeni di diluizione iniziale

Come è noto, in misura maggiore o minore secondo i diversi paesi e le diverse legislazioni, lo smaltimento finale in mare degli effluenti (in particolare urbani), più o meno depurati, viene effettuato ad una certa distanza dalla riva, mediante condotta sottomarina e diffusore, al fine di facilitare la dispersione finale degli effluenti in zone di mare fisicamente e biologicamente più idonee della fascia costiera.

Le finalità di queste tecniche di dispersione risiedono eminentemente a) nel consentire la protezione igienica delle rive senza necessità di fare ricorso a processi di disinfezione (evitando quindi la spesa per il reagente, nonché la tossicità indotta dal processo medesimo); b) nella possibilità di evitare fenomeni di eutrofizzazione di acque costiere soggette a scarso ricambio; c) nella possibilità di smaltire direttamente – in condizioni di fuori servizio dell'impianto – un effluente urbano semplicemente pretrattato, mantenendo però condizioni ambientali ed estetiche soddisfacenti già nei dintorni del punto di scarico medesimo.

L'orientamento tecnico attuale prevalente in ambito internazionale prevede prima dello smaltimento almeno la staccatura e la disoleatura dei liquami: per i centri di qualche importanza è poi prevista una forma di trattamento che va, secondo le diverse legislazioni e le circostanze locali, dal trattamento primario ai trattamenti di terzo stadio.

Con riferimento alla situazione italiana e alle leggi 10 maggio 1976, n. 319, e 24 dicembre 1979, n. 650 (1), che regolano le condizioni di depurazione e di smaltimento degli effluenti, le possibilità di impiego degli emissari sottomarini (2) paiono localizzate nei seguenti punti:

(1) Per gli impianti adibiti al trattamento di scarichi di insediamenti produttivi i limiti di accettabilità dell'effluente sono quelli indicati nelle tabelle A e C della legge 10 maggio 1976, n. 319, contenente «Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento», poi integrata e modificata con legge 24 dicembre 1979, n. 650; per gli impianti che trattano scarichi di insediamenti civili tali limiti debbono essere indicati dalle Regioni con leggi specifiche o nell'ambito dei piani regionali di risanamento delle acque, tenuto anche conto che fino al 1986 è prevista una gradualità per il raggiungimento dei limiti massimi (tali limiti «regionali» potranno essere anche diversi dalla tabella A sopradetta).

D'altra parte la legge 24 luglio 1977, n. 616, attribuisce alle Regioni le funzioni in materia di protezione ambientale con particolare riguardo a «la disciplina degli scarichi e la programmazione degli interventi di conservazione e depurazione delle acque e di smaltimento dei rifiuti liquidi ed idrosolubili».

Quindi le Regioni elaborano il piano di risanamento delle acque fissando opportuni obiettivi di qualità, da raggiungere gradualmente nel tempo nei diversi ambiti territoriali, previa verifica della compatibilità delle previsioni operative e finanziarie con la programmazione economica e con l'assetto del territorio, tenuto conto del ricorso ai mezzi tecnici più avanzati disponibili nel settore. La definizione degli obiettivi scaturirà dalla individuazione delle zone più compromesse dal punto di vista dell'inquinamento e delle cause di tale stato di fatto; saranno successivamente definiti gli interventi prioritari e la loro gradualità nel tempo e nello spazio, previa valutazione della capacità ricettiva dei recipienti finali, con particolare riferimento a quelli costituiti da corpi idrici della terraferma o da acque costiere.

La Regione Lazio in particolare – approvato il piano regionale di risanamento delle acque con deliberazione del Consiglio regionale 3 agosto 1982, n. 334 – ha regolamentato con legge 15 ottobre 1982, n. 41 (modificata con la legge 19 maggio 1983, n. 34), la disciplina delle acque di scarico provenienti da fognature pubbliche e da insediamenti civili; dette norme, per quanto riguarda lo scarico in mare, precisano che gli scarichi delle pubbliche fognature *esistenti* dovranno essere adeguati, entro tre anni dall'entrata in vigore della legge, alla tabella A della legge 10 maggio 1976, n. 319, quando i corpi ricettori sono corpi idrici sedi di banchi naturali di molluschi eduli lamellibranchi nonché destinati alla mitilicoltura, oppure sono situati in comprensori soggetti a tutela e particolarmente inquinati individuati dal piano di risanamento delle acque; oppure quando derivano da insediamenti con popolazione superiore a 10.000 abitanti; alla tabella C della stessa legge n. 319 del 1976, quando derivano da insediamenti con popolazione compresa tra 3.000 e 10.000 abitanti; alla detta tabella C, limitatamente a solidi sedimentabili e COD, quando derivano da insediamenti con popolazione inferiore a 3.000 abitanti.

(2) La realizzazione della condotta sottomarina coinvolge, in definitiva, due diverse competenze rispettivamente legate l'una al demanio marittimo e alla sicurezza della navigazione e l'altra connessa ai problemi fisico-igienici dell'ambiente.

- a) per quanto attiene lo smaltimento delle acque nere (e cioè degli effluenti in tempo secco), lo scarico finale ad una certa distanza dalla riva e ad una certa profondità consente di rispettare gli standards igienici più restrittivi per la molluschicoltura e la balneazione, senza necessità di ricorrere ai menzionati trattamenti di disinfezione, anche in condizioni di fuori servizio dell'impianto di depurazione.

Come già ricordato lo standard italiano, che è tra i più restrittivi, se non il più restrittivo del mondo, necessita una riduzione di 6 logaritmi rispetto alla concentrazione di coliformi fecali inizialmente presenti nel liquame.

Come ordine di grandezza i fenomeni di scomparsa batterica consentono una riduzione che va da 3 a 4 logaritmi, i fenomeni di diluizione iniziale consentono una riduzione generalmente superiore a due logaritmi, mentre i fenomeni di diluizione di seconda fase, o diluizione superficiale o susseguente, consentono una ulteriore riduzione (sempre in condizioni di funzionamento critico e cioè di corrente veloce e rivolta verso riva) che è generalmente inferiore a un logaritmo. Da quanto detto, emerge la rilevanza del fenomeno di diluizione iniziale ai fini della tutela igienica delle acque. Maggiore importanza ancora è conferita al fenomeno medesimo dalla possibilità, frequente lungo le rive del nostro paese, di mantenere sommersi i getti di scarico sfruttando, mediante un razionale dimensionamento del diffusore, la differenza di densità esistente naturalmente (in particolare nel periodo estivo) tra gli strati superficiali e quelli profondi. Mescolando intensamente l'effluente versato con le acque marine più profonde e più dense si può ottenere, infatti, un miscuglio la cui densità è così prossima a quella delle stesse acque profonde da essere superiore a quella propria degli strati marini superiori; in tal modo il campo di propagazione dell'effluente scaricato dal diffusore rimane sommerso e, quindi, sottratto a quelle correnti particolarmente veloci rivolte verso riva originiate da vento.

Questi fenomeni di intrappolamento si conseguono appunto solo quando il mescolamento iniziale è sufficientemente intenso;

- b) laddove non sia previsto il trattamento terziario degli effluenti, la dispersione al largo in acque aperte e oligotrofiche consente di raggiungere rapporti di diluizione (totale o complessiva) centinaia o migliaia di volte superiori a quelli altrimenti connessi a un versamento sulla riva (3); e quindi, anche in relazione alla minore concentrazione iniziale delle sostanze nutrienti e della biomassa fitoplanctonica, porta a risolvere eventuali fenomeni di eutrofizzazione costiera, senza con ciò produrre apprezzabili intorbidamenti delle acque al largo o influire negativamente sull'ambiente marino.

È da dire però che, sotto questo profilo, il beneficio di un elevato rapporto di diluizione iniziale è meno considerevole rispetto a quanto è stato già messo in evidenza al punto a) o sarà esposto al punto c), riguardo cioè gli aspetti igienici, lo smaltimento del carico organico e le quantità estetiche delle acque marine circostanti il diffusore.

Prendendo infatti a riferimento un nutriente che svolge un ruolo spesso importante nei fenomeni di eutrofizzazione, e cioè il fosforo, si supponga che il grado di diluizione iniziale conseguibile sia considerevole, e cioè dell'ordine di 1 a 100 - 1 a 200; il contenuto in fosforo di un liquame urbano trattato biologicamente (nel quale il fosforo solubile si trova in buona parte sotto forma di ortofosfato inorganico), può poi essere assunto come pari a 6-8 parti per milione di fosfati, cioè 2 milligrammi per litro di fosforo.

Diluendo 200 volte tale effluente si giunge ad un incremento (rispetto ai tenori di fondo) di $(6.000 : 200) = 30$ milligrammi per metro cubo di fosfato come PO_4 ; tale incremento è di per sé insufficiente al controllo dei fenomeni di arricchimento o eutrofizzazione (sia pure non massiva) se si tiene presente che la concentrazione dell'ortofosfato, naturalmente presente nelle acque costiere italiane (lontano cioè dagli scarichi di fognatura, o qualche chilometro al largo dalle rive), è circa fra 5 e 10 volte inferiore al valore detto (esso raggiunge nella parte superiore dell'Adriatico, che è la zona più ricca di sali nutritivi e più pescosa di tutto il Mediterraneo, valori medi di circa 6 milligrammi per metro cubo e cioè sempre considerevolmente inferiori all'incremento considerato).

Il controllo dei fenomeni di eutrofizzazione richiede quindi che il rapporto di diluizione complessivamente raggiunto sia dell'ordine di alcune migliaia di volte e ciò può esse-

(3) Soprattutto quando le acque costiere sono basse e caratterizzate da un limitato scambio con le acque al largo: ciò in relazione alla conformazione della costa, o alla presenza di opere di ingegneria generalmente adibite a tutelare le spiagge dalle erosioni che contribuiscono però, al tempo stesso, a rallentare lo scambio tra le acque costiere e le acque più al largo.

re conseguito solo grazie a processi di dispersione e diluizione totale (iniziale più susseguente) sufficientemente ampi, che interessano periodi temporali dell'ordine di vari giorni e, in genere, superfici marine corrispondentemente ampie (dell'ordine di decine di chilometri).

Si osserverà poi che un elevato grado di diluizione iniziale – generalmente conseguibile solo attraverso un lungo diffusore – favorisce il processo di diluizione susseguente in senso verticale (grazie alla riduzione del gradiente verticale di densità tra campo di mescolamento e acqua marina sottostante: tale gradiente tende a smorzare, come è noto, gli scambi turbolenti). Al tempo stesso, però, per quanto riguarda la diluizione susseguente in senso orizzontale, essa si svolge, a valle del luogo di scarico, assai più lentamente nella zona centrale del campo di mescolamento quando questo è inizialmente molto largo.

È possibile quindi affermare che il grado di diluizione complessivamente conseguito a distanza di alcuni giorni non risente in maniera determinante del grado di diluizione iniziale; risulta viceversa determinante, ai fini del controllo del processo di eutrofizzazione, il posizionamento del luogo di scarico in acque sufficientemente aperte, distanti dalle rive, che favoriscono il successivo trasporto verso il largo (o, almeno, la più ampia dispersione totale dell'effluente versato) in acque relativamente povere di nutrienti.

Si può dire dunque che, sotto il profilo menzionato, è certamente utile una lunga condotta di scarico, ma non è altrettanto utile realizzare un intenso processo di diluizione iniziale (con un lungo diffusore) in quanto la scala spaziale e temporale dei fenomeni di eutrofizzazione va largamente al di là della zona immediatamente circostante lo scarico.

Fa eccezione, in questa impostazione piuttosto generale, il caso di scarico in acque profonde e prossimo alle rive. Può accadere, infatti, che il fondale marino scenda molto rapidamente e renda non fattibile la realizzazione di un emissario a considerevole distanza dalla riva, al di fuori di eventuali baie o insenature. In questo caso la tutela dei fenomeni di arricchimento o eutrofizzazione può avvalersi del meccanismo di intrappolamento dei getti negli strati più profondi, sia perché la circolazione nelle acque profonde – fatta eccezione di fenomeni di *upwelling* – rimane distinta da quella propria delle acque superficiali, sia perché gli strati più profondi sono interessati da un flusso di energia luminosa inferiore rispetto agli strati superiori e quindi da una rallentata utilizzazione delle sostanze nutritive versate;

- c) un elevato processo di diluizione iniziale è determinante e insostituibile, ai fini di mantenere in condizioni soddisfacenti la zona di scarico anche in caso di fuori servizio dell'impianto di depurazione.

Partendo, infatti, da un rapporto di diluizione iniziale dell'ordine di 1 a 200 e da un liquame caratterizzato da un BOD₅ di 400 parti per milione, da 0 parti per milione di ossigeno disciolto e da un contenuto di solidi sospesi di 500 parti per milione, nonché da tensioattivi per 15 parti per milione, e N-NH₄ (4) per 40 parti per milione, il rapporto di diluizione considerato, facilmente raggiungibile nella maggior parte dei casi mediante un opportuno dimensionamento e posizionamento del diffusore finale, assicura concentrazioni di BOD, ossigeno disciolto, tensioattivi, ammoniaca, nella zona ricoperta circostante lo scarico compatibili con gli standards più restrittivi inerenti la tutela dell'ambiente acquatico.

Sotto il profilo estetico un adeguato processo di mescolamento iniziale consente di rendere affatto irriconoscibile il luogo di scarico, sempre che sia in funzione, come è stato accennato in precedenza, almeno un adeguato pretrattamento a terra (grigliatura molto fine o, meglio, staccatura, seguita da disoleazione) per trattenere particelle e sostanze galleggianti che affiorerebbero comunque.

Un insufficiente dimensionamento delle opere di pretrattamento comporta, al tempo stesso, un eccessivo dimensionamento dei fori di uscita e, come confermano i risultati di questa indagine, un rapporto di diluizione iniziale considerevolmente inferiore a quello, altrimenti raggiungibile con diffusore sufficientemente lungo e fori abbastanza piccoli.

L'insoddisfacente aspetto di zone di mare sovrastanti vari diffusori va generalmente addebitato, per l'appunto, alle carenze delle opere di pretrattamento. A tali carenze corrisponde non solo lo smaltimento in mare di sostanze particellate e gal-

(4) Azoto ammoniacale.

leggianti, che compromettono l'aspetto della superficie marina, ma anche, al tempo stesso, l'adozione di sistemi di diffusione alquanto inefficaci al fine di evitare le frequenti occlusioni che, altrimenti, si produrrebbero nel caso di impiego di fori di ridotte dimensioni.

Sarà opportuno, per completezza, rammentare che un elevato processo di diluizione iniziale non risolve gli eventuali problemi creati dall'accumulo di sostanze sedimentabili nei dintorni del luogo di scarico in quanto, in assenza di un trattamento di sedimentazione a terra, banchi di fango, di consistenza più o meno considerevole, vengono comunque a crearsi nei dintorni dello scarico: fatto che può costituire, in acque basse, causa di risospensione di tali sedimenti in concomitanza a mareggiate.

Viene qui sviluppata in modo relativamente ampio la tematica inerente l'importanza e i limiti del conseguimento di un elevato rapporto di diluizione iniziale nel contesto generale del risanamento delle acque costiere, in quanto si ritiene di porre così nella giusta luce l'utilità dell'indagine svolta. Parallelamente è importante prendere atto delle notevoli diversità di impostazioni progettuali, di teorie e di formulazioni inerenti lo studio e la previsione dei fenomeni di diluizione iniziale; tali incertezze emergono con chiarezza dalla breve disamina della letteratura disponibile di cui si riferisce più avanti.

2.2. Generalità sui metodi di calcolo inerenti la previsione del processo di diluizione iniziale

In questa sede si tratta essenzialmente la valutazione del grado di diluizione iniziale raggiungibile da un getto di scarico orizzontale immesso in un ambiente fluido di densità omogenea maggiore di quella propria del getto, animato da velocità trascurabile rispetto alla velocità di efflusso del getto medesimo.

Il caso considerato riguarda lo smaltimento in mare di acque residue mediante scarichi sommersi; esso costituisce un momento fondamentale, anche se non l'unico, del calcolo di progettazione inerente il grado di diluizione iniziale conseguibile attraverso un certo sistema di diffusione.

Si ritiene opportuno far breve cenno, qui di seguito, ai criteri che informano in genere tali calcoli, in modo da mettere meglio in luce il ruolo che riveste il fenomeno della diluizione di un getto unico nel contesto del funzionamento dell'intera opera di scarico (generalmente un diffusore, versante in acque marine caratterizzate da una certa velocità di corrente e da una certa struttura verticale di densità non omogenea).

Nell'illustrare tali criteri non si intende presentare un sommario della materia pertinente tale argomento, quanto unicamente facilitare una adeguata utilizzazione dei risultati della presente indagine collocando, come detto, il particolare argomento trattato in un ambito tecnico sufficientemente significativo.

Un getto sommerso di acqua dolce in acqua di mare (5) segue, come noto, una traiettoria curva rivolta progressivamente sempre più verso l'alto, a motivo del gioco concomitante delle forze di inerzia (queste sono connesse alla velocità di efflusso del getto e tendono a spostare verso l'avanti la traiettoria) e le forze di galleggiamento (che tendono a trasportare verso l'alto la massa liquida scaricata, la cui densità è inferiore di circa 25-28 chilogrammi per metro cubo a quella dell'acqua di mare circostante, con una spinta quindi pari a circa 25-28 chilogrammi per metro cubo).

È anche noto che, nel corso della sua traiettoria (la quale per un getto isolato di considerevoli dimensioni e, comunque, in ambiente fluido omogeneo, ha esito in corrispondenza della superficie liquida), il getto subisce una progressiva diluizione con l'acqua marina circostante, a motivo della turbolenza propria del getto all'uscita dall'ugello, nonché della turbolenza generata dalla differenza di velocità tra il getto e l'acqua marina.

Con riferimento a tale fenomeno, è naturale che il progettista di un sistema di smaltimento abbia bisogno di formule che gli consentano di valutare, in funzione dei parametri fondamentali (dimensione e velocità del getto, profondità del luogo di scarico) il grado di diluizione iniziale conseguibile. Questo tipo di valutazione è infatti essenziale, pur non essendo l'unico, ai fini delle previsioni del grado di efficienza di un sistema di smaltimento

(5) La densità dell'acqua dolce o di approvvigionamento e dell'acqua residua più o meno depurata è sostanzialmente la medesima, a prescindere dalle variazioni di temperatura che intercorrono tra il momento del prelievo dell'acqua di utilizzazione e il momento in cui l'effluente viene versato in mare.

più complesso, operante in situazioni ambientali diversificate (diffusore composto da più fori, versante come si è detto in presenza di corrente marina di intensità non nulla e di struttura verticale di densità non omogenea).

Per quanto attiene la previsione del grado di diluizione effettivamente conseguito con un getto unico isolato (per esempio, condotta di scarico aperta all'estremità finale) è necessario valutare non solo il grado di diluizione che si sviluppa in esso progressivamente, in funzione della quota di risalita, ma anche lo spessore della zona di mescolamento che si forma al di sopra dello scarico medesimo (tale zona – o strato – di mescolamento è detta anche «nube»). Risulta infatti, che quando l'intensità della corrente marina è di scarsa entità, gli ingenti volumi di acqua mista trasportati in superficie dal getto vengono a costituire uno strato leggero, sovrastante il luogo di scarico. Tale strato riduce in tal modo l'altezza utile di risalita del getto, e cioè il tratto di risalita lungo il quale il getto si trova immerso in acque pulite. Lo spessore di tale nube, o campo di mescolamento, deve essere quindi valutato. Ciò può essere fatto in modo molto approssimativo assegnando a questo strato, secondo i diversi autori, uno spessore pari a 1/2, 1/3 o 1/4 dell'altezza di risalita del getto. Oppure, assai più convenientemente e senza particolari complicazioni di calcolo, questo spessore può essere valutato mediante una equazione di continuità che eguaglia il volume d'acqua creato nell'unità di tempo dal fenomeno di diluizione (e pari al rapporto di diluizione per la portata del getto) al flusso di allontanamento connesso prevalentemente alla corrente marina presente (tale flusso è correlato alla velocità della corrente, alla profondità del campo di mescolamento o nube, alla sua dimensione trasversale, in senso normale alla direzione della corrente).

Nelle figure 2a e 2b sono rappresentate schematicamente due diverse ipotesi di scarico: tali figure mettono in evidenza come, allorché la corrente marina sia molto debole, il processo di diluizione iniziale conseguito risulti considerevolmente meno sviluppato a motivo, appunto, della minore altezza di risalita utile.

Accanto alla definizione delle correnti marine che attraversano il luogo di scarico, la conoscenza della distribuzione verticale di densità nella medesima zona costituisce un altro importante elemento per la corretta previsione del fenomeno di diluizione. Infatti un adeguato gradiente verticale di densità può consentire l'«intrappolamento» dei getti di scarico, con i benefici di cui precedentemente si è detto.

Per la verità, considerate le normali profondità di scarico e la dimensione dei gradienti di densità riscontrabili in periodo estivo, tale fenomeno di «intrappolamento» non sembra si possa conseguire con un getto unico di diametro superiore a valori compresi tra 100 e 200 millimetri, ma piuttosto, come i risultati della presente indagine dimostrano, con getti di dimensioni molto ridotte (inferiori a 50 millimetri). È, quindi, alquanto improbabile che con uno scarico costituito da un unico getto, fuoriuscente dalla estremità della condotta, si possa sfruttare tale gradiente di densità e creare un campo di mescolamento non affiorante.

Fatte tali premesse risulta, in ogni caso, che la previsione dei fenomeni di «intrappolamento» del getto (circa cioè la quota di risalita del medesimo e la diluizione in corrispondenza acquisita) presuppone sia la conoscenza della densità dell'acqua di mare alle varie quote, sia la conoscenza delle correnti marine, sia infine la valutazione del grado di diluizione progressivamente raggiunto dal pennacchio di diffusione del getto nel suo moto di risalita, in modo tale da rendere possibile calcolare per ogni quota di risalita la densità propria del getto, e paragonare la medesima a quella delle acque circostanti.

La figura n. 3 illustra schematicamente il fenomeno di cui si è detto. In essa la distribuzione verticale di densità è indicata da due diagrammi 3b e 3c: il diagramma 3b presenta un solo «scalino» ed ha valore più che altro dimostrativo (sebbene certe condizioni, soprattutto nei laghi e in certi periodi dell'anno, approssimino tale andamento in misura considerevole). Il diagramma 3c rappresenta un andamento tipico (tratto continuo). Tale andamento di solito viene schematizzato, ai fini dei calcoli, mediante una successione di piccoli gradini in tratteggio.

Un altro parametro che potrebbe condizionare il comportamento di un getto di scarico isolato potrebbe essere rinvenuto nella particolare conformazione dell'orifizio di scarico o in apparecchi (tipo ugelli aspiranti Venturi, turbinette, ecc.), predisposti per accelerare il processo di diluizione. Non si ritiene però opportuno soffermarsi su questo punto in quanto nessuno di tali artifici è riuscito di qualche interesse pratico comportando, viceversa, maggiori rischi di intasamento rispetto al caso di un getto libero. L'aumento del grado di diluizione iniziale – come attestano anche i risultati di questa indagine, effettuata in loco su impianti reali – va cercato nell'opportuna riduzione della dimensione dei fori e nella realizzazione di diffusori di sufficiente lunghezza.

Figura 2 - Influenza della corrente marina sullo spessore della «nube», sull'altezza di risalita e quindi sul grado di diluizione iniziale

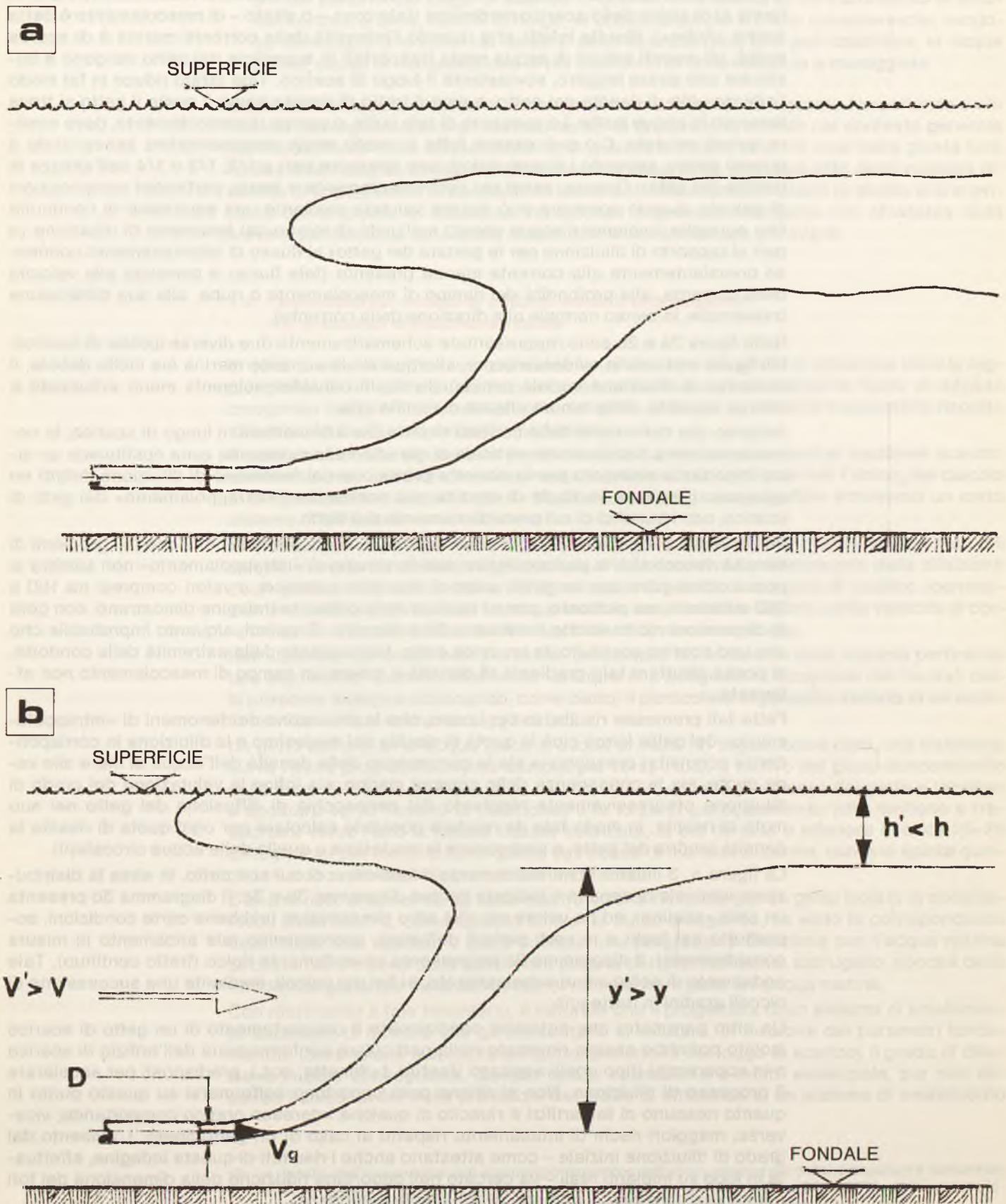
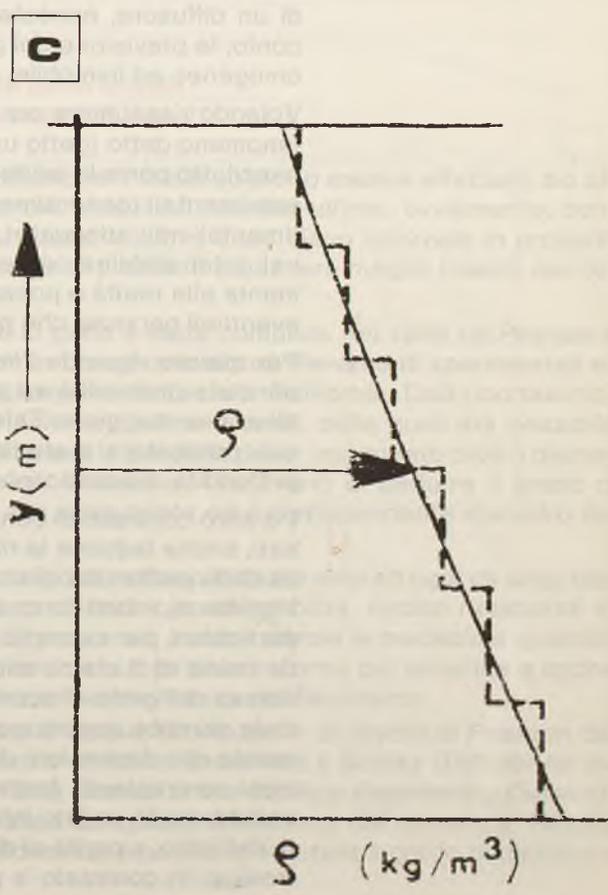
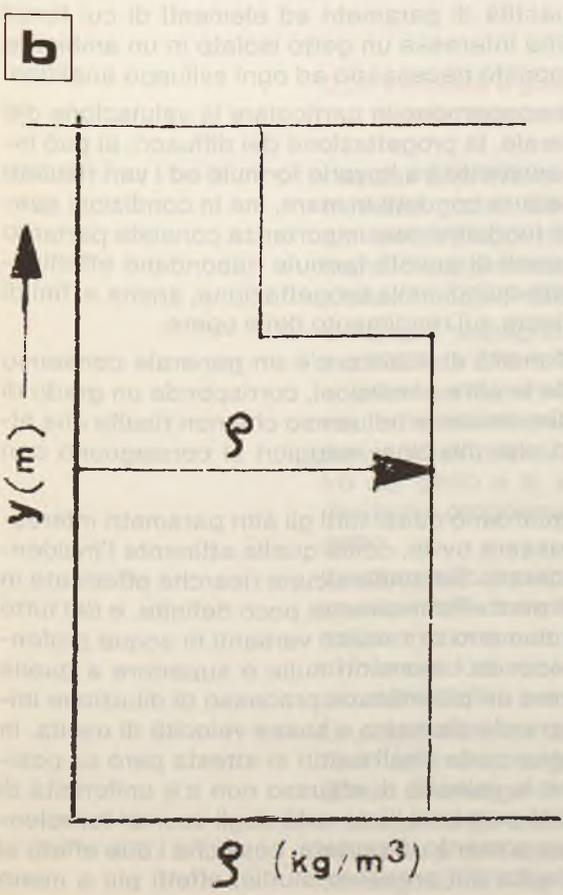
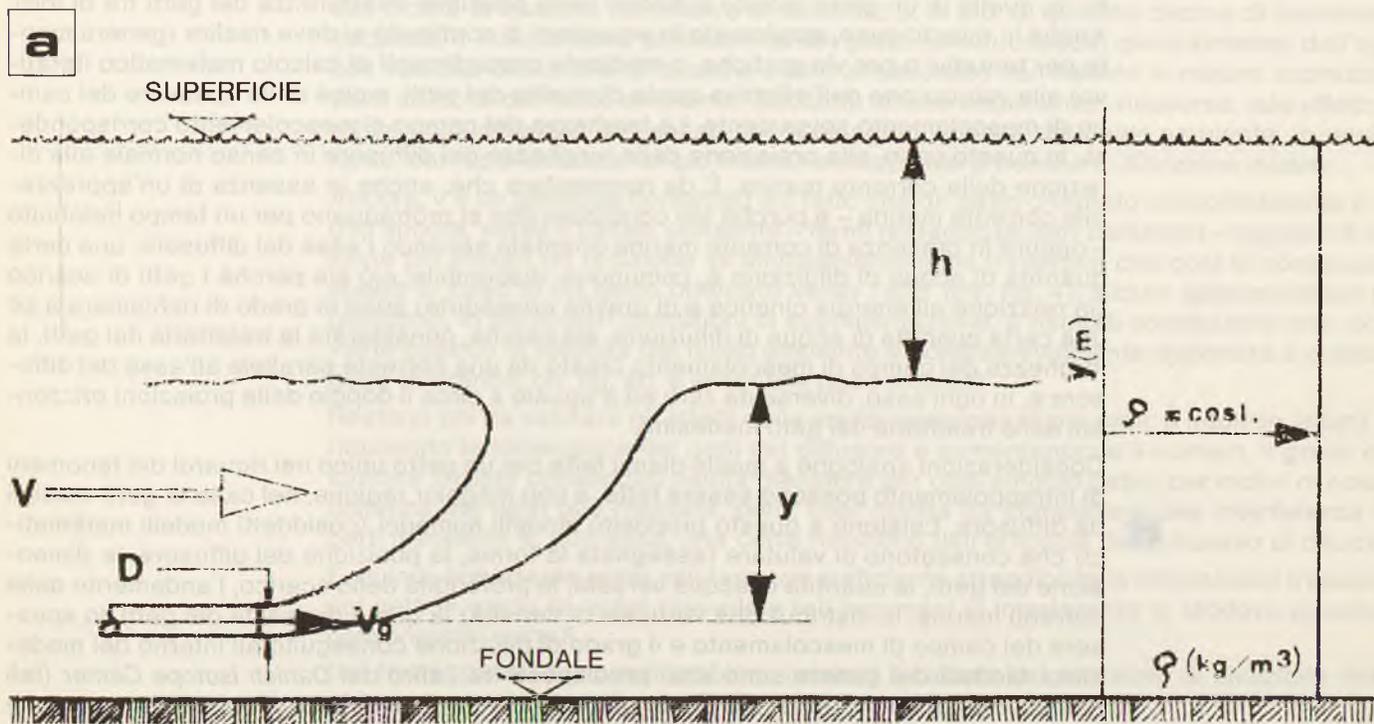


Figura 3 - Schematizzazione del getto in condizioni di intrappolamento



In definitiva, risulta in ogni caso che le formule che consentono la valutazione del grado di diluizione di un getto unico in ambiente fermo e non stratificato, costituiscono, sia pure tenuto conto della presenza di vari parametri come la direzione e l'intensità della corrente marina e la struttura verticale di densità, la base necessaria per ogni sviluppo progettuale.

Considerazioni affatto analoghe possono essere svolte per quanto riguarda il dimensionamento dei diffusori a più getti. Il funzionamento di questi ultimi si differenzia ovviamente da quello di un getto isolato a motivo della possibile interferenza dei getti tra di loro. Anche in questo caso, applicando le equazioni di continuità si deve risalire (generalmente per tentativi o per vie grafiche, o mediante procedimenti di calcolo matematico iterativo) alla valutazione dell'effettiva quota di risalita dei getti, e cioè dello spessore del campo di mescolamento sovrastante. La larghezza del campo di mescolamento corrisponderà, in questo caso, alla proiezione della lunghezza del diffusore in senso normale alla direzione della corrente marina. È da rammentare che, anche in assenza di un'apprezzabile corrente marina – e purché tali condizioni non si protraggano per un tempo indefinito – oppure in presenza di corrente marina orientata secondo l'asse del diffusore, una certa quantità di acqua di diluizione è, comunque, disponibile: ciò sia perché i getti di scarico (in relazione all'energia cinetica e di gravità posseduta) sono in grado di richiamare a sé una certa quantità di acqua di diluizione, sia perché, considerata la traiettoria dei getti, la larghezza del campo di mescolamento creato da una corrente parallela all'asse del diffusore è, in ogni caso, diversa da zero ed è uguale a circa il doppio delle proiezioni orizzontali delle traiettorie dei getti medesimi.

Considerazioni analoghe a quelle dianzi fatte per un getto unico nei riguardi dei fenomeni di intrappolamento possono essere fatte, e con maggior ragione, nel caso di getti multipli da diffusore. Esistono a questo proposito modelli numerici (cosiddetti modelli matematici) che consentono di valutare (assegnata la forma, la posizione del diffusore, la dimensione dei getti, la quantità di acqua versata, la profondità dello scarico, l'andamento delle correnti marine, la distribuzione verticale di densità) la quota di risalita dei getti, lo spessore del campo di mescolamento e il grado di diluizione conseguito all'interno del medesimo. Modelli del genere sono stati predisposti fra l'altro dal *Danish Isotope Center* (tali modelli riguardano getti isolati e non tengono conto della direzione e dell'intensità della corrente marina) e dall'Istituto di Idraulica dell'Università di Trieste (in tali modelli si tiene conto anche dei parametri menzionati). Anche per quanto riguarda dunque lo scarico di un diffusore, nonostante la maggiore quantità di parametri ed elementi di cui tener conto, la previsione del grado di diluizione che interessa un getto isolato in un ambiente omogeneo ed immobile, costituisce il presupposto necessario ad ogni sviluppo analitico.

Volendo riassumere ora gli interrogativi che concernono in particolare la valutazione del fenomeno detto (getto unico, ecc.) e, in generale, la progettazione dei diffusori, si può innanzitutto porre in evidenza la discrepanza esistente tra le varie formule ed i vari risultati sperimentali (generalmente di laboratorio, oppure condotti in mare, ma in condizioni sperimentali non adeguate). Un primo quesito di fondamentale importanza consiste pertanto nel poter stabilire con sufficiente certezza quali di queste formule rispondano effettivamente alla realtà e possano essere adoperate quindi nella progettazione, anche ai fini di eventuali garanzie che possono essere richieste sul rendimento delle opere.

Per quanto riguarda l'importanza della profondità di scarico c'è un generale consenso per cui a profondità maggiori, ferme restando le altre condizioni, corrisponde un grado di diluizione maggiore. Tale consenso si può dire unanime nel senso che non risulta che alcun ricercatore o studioso abbia affermato che diluizioni maggiori si conseguono con profondità di scarico inferiori.

Peraltro contrasti di considerevole rilievo riguardano quasi tutti gli altri parametri interessati, anche laddove le risposte parrebbero essere ovvie, come quella attinente l'incidenza della profondità di scarico appena considerata. Secondo alcune ricerche effettuate in Inghilterra, infatti (in condizioni sperimentali però effettivamente poco definite, e del tutto particolari, per esempio getti di scarico del diametro di 1 metro versanti in acque profonde meno di 5 metri, animate da velocità secondo i momenti nulla o superiore a quella stessa del getto di scarico), al fine di ottenere un più efficace processo di diluizione iniziale sarebbe opportuno impiegare getti di grande diametro e basse velocità di uscita. In merito alle dimensioni del diametro, la maggior parte degli autori si attesta però su posizioni contrastanti. Anche per quanto attiene la velocità di efflusso non c'è uniformità di vedute; se da un lato infatti un'elevata velocità aumenta l'intensità degli scambi turbolenti, dall'altro, a parità di diametro, comporta un aumento di portata, cosicché i due effetti si trovano in contrasto e producono, come risulta dal presente studio, effetti più o meno

sfavorevoli allo sviluppo del processo di diluizione, secondo i diversi campi di funzionamento considerati.

La maggior parte degli studiosi, poi, assegna trascurabile importanza alla velocità del fluido ambiente in relazione allo sviluppo del fenomeno di diluizione iniziale nel tratto di libera risalita (a prescindere cioè dalla formazione di una nube che si forma al di sopra del diffusore e che riduce, quindi, l'ampiezza di tale tratto).

Secondo la maggior parte degli autori, infatti, essendo la velocità delle correnti marine dell'ordine di qualche centimetro al secondo o, al più, di qualche decina di centimetri al secondo, il meccanismo di diluizione del getto (che fuoriesce, generalmente, dall'ugello con velocità dell'ordine di qualche metro al secondo) non risente in misura apprezzabile della velocità del fluido ambiente. Secondo alcune esperienze, viceversa, tale effetto sarebbe considerevole, nel senso che a maggiori velocità del fluido ambiente, in equicorrente, corrisponderebbe un più intenso sviluppo del processo di diluizione iniziale.

Ancora, v'è un generale consenso sul fatto che un getto orientato orizzontalmente o, meglio ancora, verso il basso, consente – fermi restando gli altri parametri – rapporti di diluizione più elevati (in relazione all'allungamento della traiettoria che così si consegue) rispetto al caso di un getto orientato verso l'alto (cfr. fig. 4). Alcuni sperimentatori però giungono, in particolari condizioni di sperimentazione, a risultati contrastanti (ma ciò avviene quando la velocità del fluido ambiente è considerevolmente superiore a quella del getto di scarico, cfr. fig. 4b, e le densità poco diverse).

Restano poi da valutare gli effetti della sovrapposizione di più getti; è intuitivo, infatti, che riducendo la dimensione dei getti del diffusore e aumentandone il numero, il grado di diluizione iniziale conseguito risulta maggiore per ogni singolo getto; per motivi di costo la distanza dei getti può risultare, però, così ridotta da comportare una interferenza tra i getti medesimi e, con essa, una certa riduzione dell'efficacia del processo di diluizione.

È, quindi, importante poter valutare con sufficiente attendibilità la dimensione trasversale dei getti in modo da poter prevedere tali fenomeni di interferenza e, laddove possibile e conveniente, evitarli.

Nel tratteggiare i principali problemi inerenti il calcolo del processo di diluizione iniziale si è avuto così modo di porre in luce alcune carenze conoscitive e controversie che la presente indagine si è proposta appunto di risolvere, per quanto possibile, sul piano della diretta utilizzazione pratica.

2.3. Formule e grafici inerenti il caso di getto isolato (getto orizzontale, acqua dolce in acqua di mare)

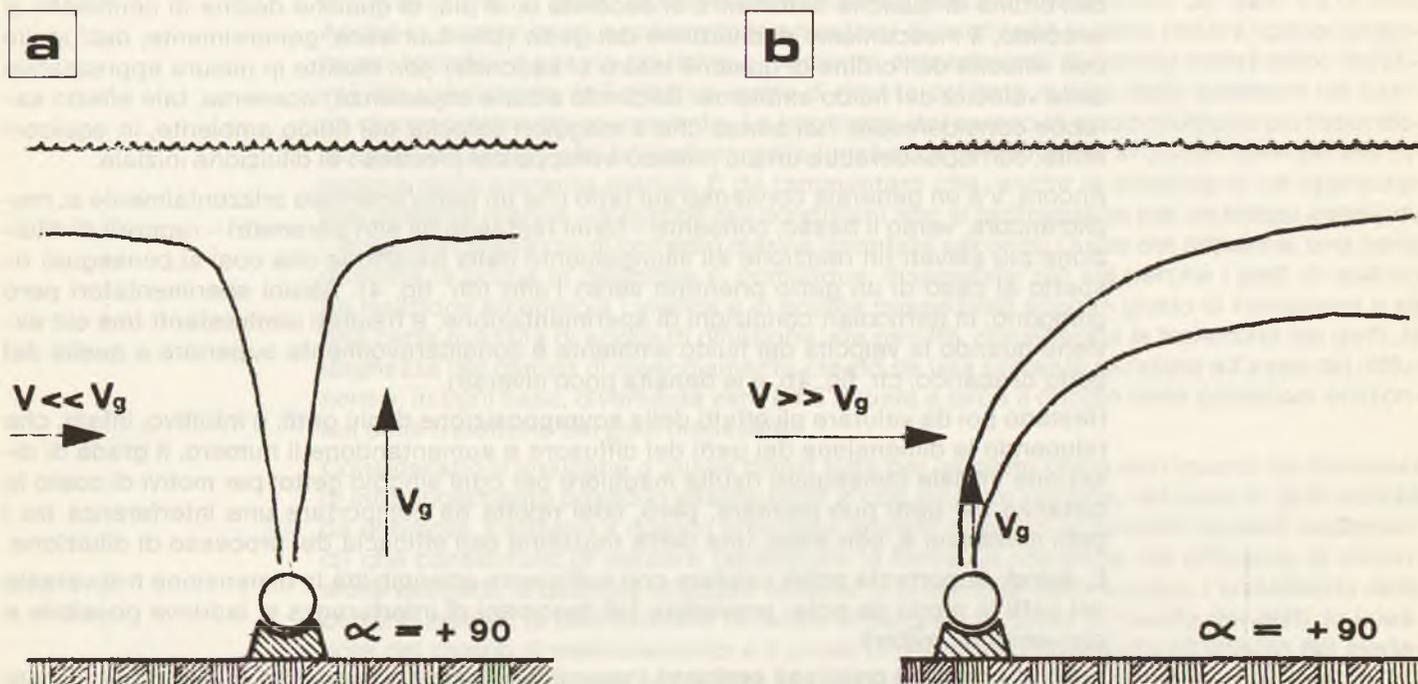
I calcoli di previsione del processo di diluizione iniziale possono essere effettuati sia attraverso grafici sia attraverso formulazioni analitiche: queste ultime, ovviamente, consentono sviluppi molto più agevoli soprattutto laddove esse siano utilizzate in procedimenti di calcolo automatico (in altre parole si prestano ad essere meglio inseriti nei cosiddetti modelli matematici).

Un'ampia rassegna delle formule di cui si parla è stata compiuta nel 1956 da *Pearson* e nel 1957 da *Liseth*. Nel 1960 *Rawn e Palmer* compivano alcuni rilevamenti sperimentali su scarichi sottomarini, già allora esistenti lungo le coste della California. Essi riportavano i risultati così ottenuti sotto forma di formule non adimensionali, dalle quali era possibile derivare i principali parametri che interessano la progettazione; assegnato cioè il diametro del getto e la velocità di efflusso, tali formule consentivano di dedurre il grado di diluizione progressivamente raggiunto alle varie quote ed il corrispondente diametro del getto.

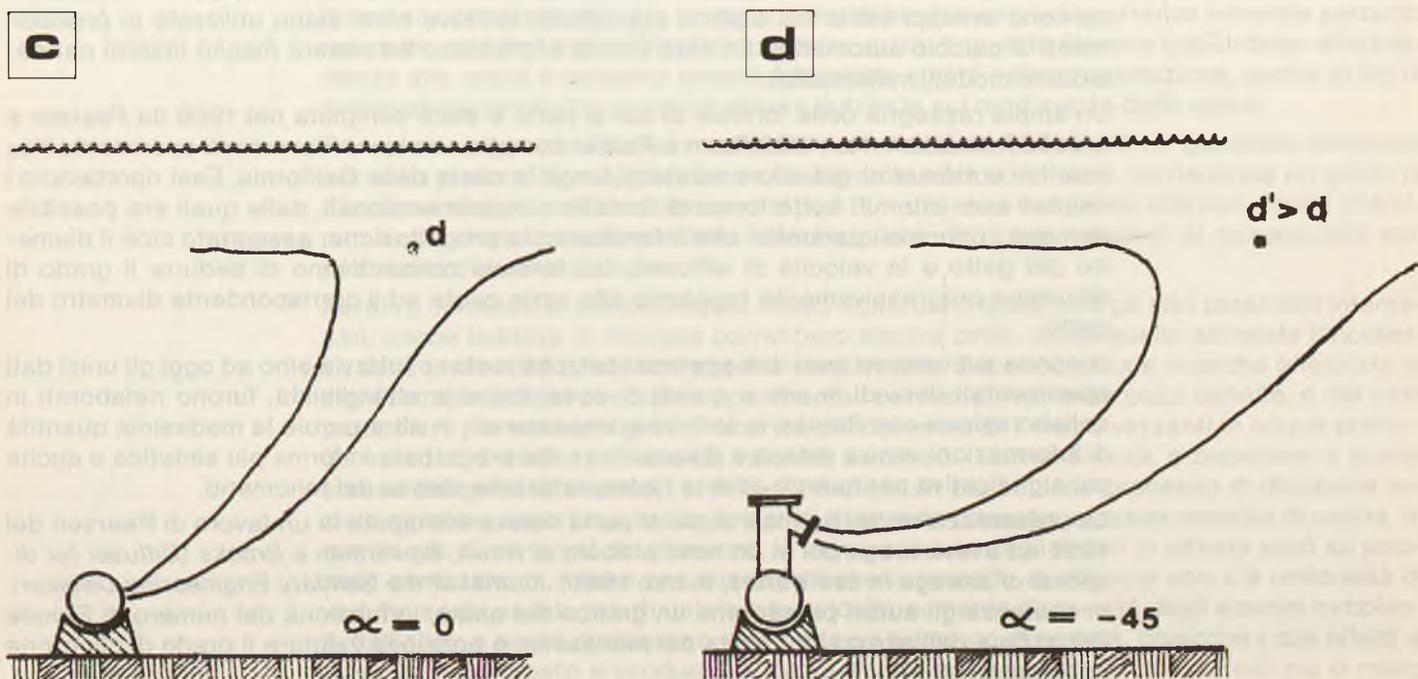
In epoca successiva quei dati sperimentali, che restano tuttavia sino ad oggi gli unici dati sperimentali derivati *in situ* e quindi di considerevole attendibilità, furono rielaborati in collaborazione con *Brooks*, in termini adimensionali. In altre parole la medesima quantità di informazioni veniva messa a disposizione del progettista in forma più sintetica e anche più significativa per quanto attiene l'interpretazione stessa del fenomeno.

La presentazione dei risultati di cui si parla veniva anticipata in un lavoro di *Pearson* del 1956 ed aveva luogo poi in un noto articolo di *Rawn, Bowerman e Brooks* (*Diffuser for disposal of sewage in sea waters*, marzo 1960, *Journal of the Sanitary Engineering Division*). In sostanza gli autori presentano un grafico dal quale, in funzione del numero di Froude del getto e dell'altezza di risalita del medesimo, è possibile valutare il grado di diluizione conseguito (cfr. fig. 5).

Figura 4 - Schematizzazione dell'andamento del pennacchio di diffusione del getto per diverse condizioni di inclinazione dell'ugello rispetto all'orizzontale ($\alpha = +90^\circ$, $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = -45^\circ$)



$d, d' =$ DILUIZIONE INIZIALE



La precisione di tale grafico risente dell'accuratezza con cui sono stati effettuati i campionamenti. È infatti noto che, a mano a mano che ci si allontana dal centro del getto verso la periferia, il grado di diluizione corrispondentemente rilevato cresce gradualmente, secondo un andamento che approssima una curva di Gauss.

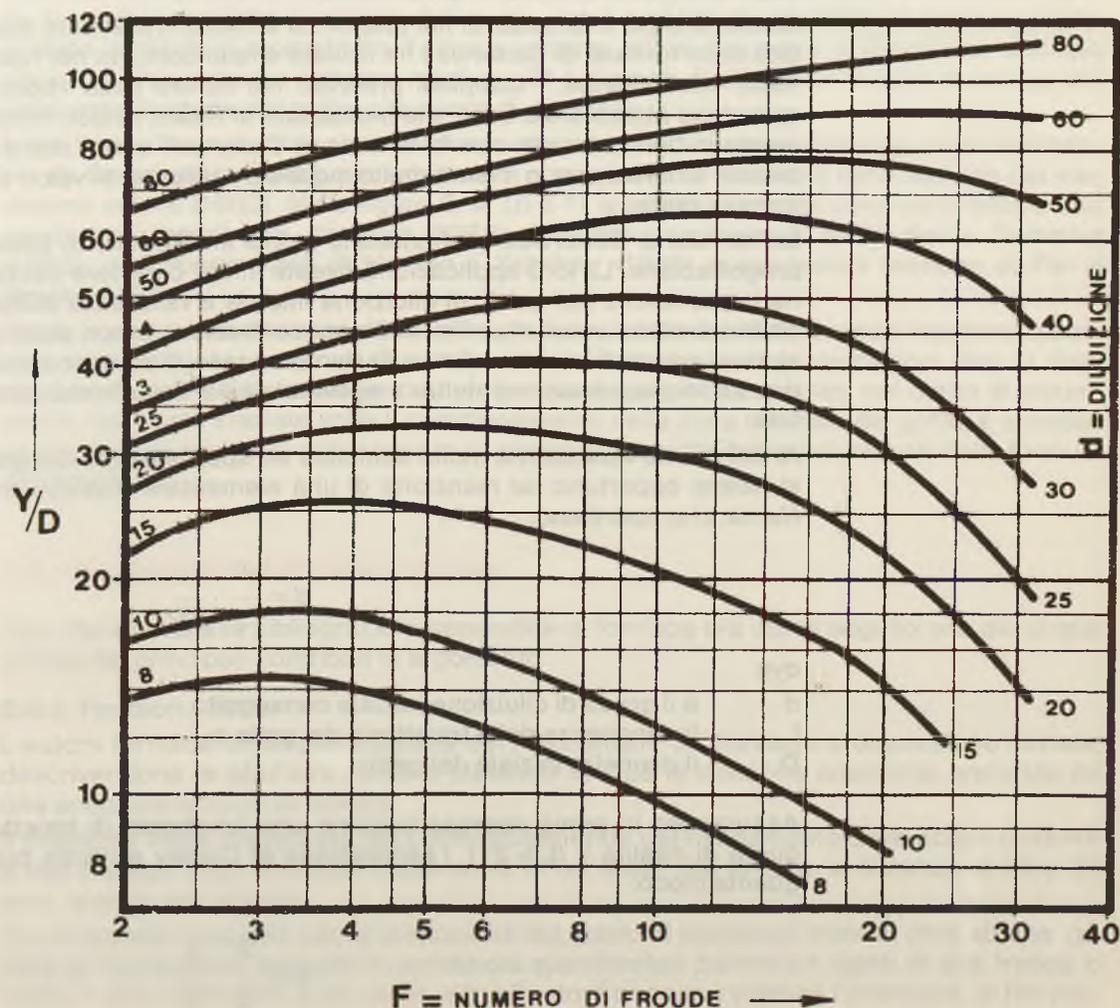
Considerato il fatto che i campioni non sono stati prelevati, per evidenti difficoltà operative, nei punti in cui la diluizione era minima in assoluto, e cioè esattamente in corrispondenza all'asse del pennacchio di diffusione o al centro della cosiddetta «bolla di affioramento», ne discende che i valori di diluizione (correlati a certi valori del numero di Froude ed all'altezza di risalita relativa) sono da considerarsi più valori medi della parte centrale del getto, che valori tipici del suo asse vero e proprio.

In effetti, le nostre indagini hanno posto in evidenza che buona parte dei campioni raccolti nella parte centrale dei getti confermano i classici diagrammi presentati da Rawn e collaboratori, che vengono così ulteriormente accreditati, al di là di varie critiche e soluzioni diverse che erano state successivamente prospettate.

Per quanto attiene alle discrepanze riscontrate con vari autori, facendo riferimento alle poche altre indagini effettuate *in situ*, è da porre in luce che le condizioni sperimentali in cui queste ultime indagini sono state svolte erano alquanto abnormi (per esempio, come si è detto, getti del diametro di 1 metro, profondità di scarico di 5 metri, presenza di una «nube» sovrastante di altezza indefinita e comunque variabile con l'intensità delle correnti marine, ecc.).

Alcuni autori hanno ritenuto opportuno effettuare anche una media dei dati derivati dai vari campionamenti effettuati nella zona di affioramento dei getti, ma, come è emerso con evidenza nel corso dell'indagine di cui si dà ora notizia, i valori medi così derivati non rivestono significato fisico, in quanto campionamenti effettuati ai bordi o anche legger-

Figura 5 - Grafico di Rawn, Bowerman e Brooks (1960)



mente al di fuori del getto, portano a valori di diluizione elevatissimi, tendenti all'infinito. Questi ultimi pertanto se vengono introdotti nel computo del valore medio lo spostano apparentemente verso valori molto alti, che risultano così fittizi.

Una certa limitazione nell'uso del grafico proposto da *Rawn* proviene dal fatto che per getti di piccolo diametro (sotto i 50 millimetri) e per profondità di scarico relativamente elevate (sopra i 20 metri) i valori della profondità relativa (che diviene così considerevole) non rientrano nel campo coperto dal grafico. A ciò può sopperire una estensione del grafico detto, elaborata da *Camp* (*Water and its impurities*, 1963).

Accanto ai diagrammi forniti da *Rawn*, si pongono per praticità d'uso e aderenza ai dati sperimentali da noi rilevati, le formule teorico-sperimentali di *Cederwall* (1962). Queste consentono di valutare il grado di diluizione iniziale conseguito (d) ad una certa quota (y) al di sopra dello scarico, sempre in funzione dei parametri adimensionali « F » (numero di Froude) e « y/D » (quota di risalita relativa, uguale al rapporto tra la quota al di sopra dello scarico alla quale viene calcolata la diluizione y ed il diametro iniziale del getto D).

Si riportano qui di seguito le formule menzionate:

$$d = 0,54 F \left(0,38 \frac{y}{D} \cdot \frac{1}{F} + 0,66 \right)^{5/3} \text{ valida per } \frac{y}{D} \geq 0,5 F$$

$$d = 0,54 F \left(\frac{y}{D} \cdot \frac{1}{F} \right)^{7/16} \text{ valida per } \frac{y}{D} < 0,5 F$$

Queste formule consentono di calcolare il valore della diluizione minima del getto e cioè della diluizione propria della sua parte centrale (asse del getto). Altri autori hanno successivamente proposto formule equivalenti a quelle di *Cederwall*, senza citare però espressamente il lavoro di quest'ultimo.

Quello che più interessa, ai fini pratici cui è rivolto il presente studio, è il fatto che la validità delle formule di *Cederwall* ha trovato ampio conforto nei risultati delle indagini effettuate. Mediamente, i campioni prelevati nel centro della «bolla» di affioramento corrispondono abbastanza bene alle indicazioni di *Rawn*; i valori minimi sono però frequentemente in buon accordo con le formule di *Cederwall* senza mai essere – tranne in tre eccezioni e comunque in misura molto modesta – inferiori ai valori di diluizione indicati dalle formule dette.

Le formule di *Cederwall* costituiscono quindi un riferimento assai importante ai fini della progettazione. La loro applicazione riveste infatti carattere cautelativo, per quanto attiene la previsione del grado di diluizione iniziale a valle della prima zona di mescolamento (laddove cioè i valori massimi delle concentrazioni, propri della parte centrale del getto, si sono smorzati in virtù del successivo processo di omogeneizzazione della massa liquida). La loro applicazione inoltre è agevole sia nel calcolo manuale che in quello strumentale.

Ai fini di una valutazione molto semplice ed approssimata del grado di diluizione iniziale, si ritiene opportuno far menzione di una elementare espressione proposta da *Cooley* e *Harris*, che riportiamo:

$$d = \frac{1}{3} \frac{L}{D}$$

ove

d è il grado di diluizione iniziale conseguito
 L la lunghezza della traiettoria del getto e
 D il diametro iniziale del getto.

Assumendo in prima approssimazione una lunghezza di traiettoria pari al doppio della quota di risalita y ($L = 2y$), l'espressione di *Cooley* e *Harris* può essere scritta nel seguente modo:

$$d = \frac{2}{3} \frac{y}{D}$$

Alcuni confronti tra le indicazioni derivate dall'uso di questa formula, quelle più precise fornite dalla formula di Cederwall e i dati sperimentali, assegnano considerevole interesse a questa semplice espressione; essa venne menzionata inizialmente da *Pearson* nel 1956, ed è stata indipendentemente riscoperta da *Liseth* nel 1977.

L'espressione di Cooley e Harris si discosta da quella di Cederwall in misura considerevole solo per valori di diluizione molto alti (superiori a 500-1.000): questi sono però valori alquanto improbabili nella realtà, e propri di campi di funzionamento mai indagati sperimentalmente e in modo soddisfacente.

Nel campo di valori di diluizione normalmente incontrati (fino a 300) l'espressione di Cooley e Harris risulta sempre cautelativa rispetto a quella già cautelativa di Cederwall, ma porta a risultati dello stesso ordine di grandezza.

Mentre una corretta applicazione della formula di Cederwall richiede un'adeguata valutazione dell'altezza di risalita libera dei getti (quest'ultima è pari alla profondità della zona di scarico meno lo spessore della nube sovrastante), per l'espressione di Cooley e Harris l'altezza di risalita può essere assunta come pari alla profondità dello scarico, essendo tale approssimazione a sfavore, largamente compensata dal carattere cautelativo insito nell'espressione in questione.

La formula di Cederwall rappresenta molto da vicino l'effettivo valore minimo di diluizione proprio della parte centrale del getto: si è ritenuto interessante un confronto con i principali risultati teorici e sperimentali forniti da altri autori al fine di verificare se, nei confronti di queste ultime valutazioni, l'espressione di Cederwall riusciva di carattere cautelativo oppure no. Tale confronto è fatto mediante grafici - in parte non originali - le cui coordinate sono state studiate in modo da fornire, anziché un insieme di curve, una curva unica che rappresenti l'insieme delle informazioni e consenta, per la sua unicità, un più agevole confronto con altre curve derivate in maniera analoga, utilizzando però formule e risultati sperimentali di altri autori. L'impiego di un tale sistema di coordinate è stato effettuato in precedenza sia da Cederwall che da Liseth.

La figura 6 si riferisce alla formula di Cederwall (1962), di cui le prove *in situ* hanno dimostrato la buona rispondenza alle condizioni reali di diluizione della parte centrale del getto. In ascisse, anziché il numero di Froude, come è consueto in grafici di questo genere, è stato riportato il rapporto tra l'altezza relativa y/D e il numero di Froude. In ordinata riappare il rapporto tra l'altezza relativa y/D e il grado di diluizione iniziale d conseguito nella zona centrale del getto, alla quota di risalita y .

Nella figura 7 vengono messi a confronto alcuni risultati sperimentali ottenuti in laboratorio da *Cederwall* nel 1963 con valutazioni corrispondenti derivabili dalla formula del medesimo autore (1962). Nelle figure 8, 9, 10 e 11 analoghi confronti sono stati istituiti con valutazioni teoriche di *Abraham* (1963), con dati sperimentali di *Frankel* e *Cumming* (1965), dati sperimentali di *Hansen* e *Schröder* (1966) e valutazioni teoriche di *Fan* e *Brooks* (1966).

Come si vede, le indicazioni derivabili dalla formula teorica di Cederwall rivestono carattere cautelativo nei confronti di queste altre formulazioni e sperimentazioni. Non si ritiene, peraltro, che tale carattere cautelativo sia eccessivo in quanto, nel corso di alcune prove, ripetendo svariate volte il campionamento nella zona centrale del getto, è accaduto che i valori minimi si collocassero in stretta prossimità dei valori indicati dalle formule di Cederwall.

2.4. Rassegna della letteratura tecnica

Con riferimento alla bibliografia in appendice si fornisce ora qui di seguito una più ampia sintesi dei principali contributi in argomento.

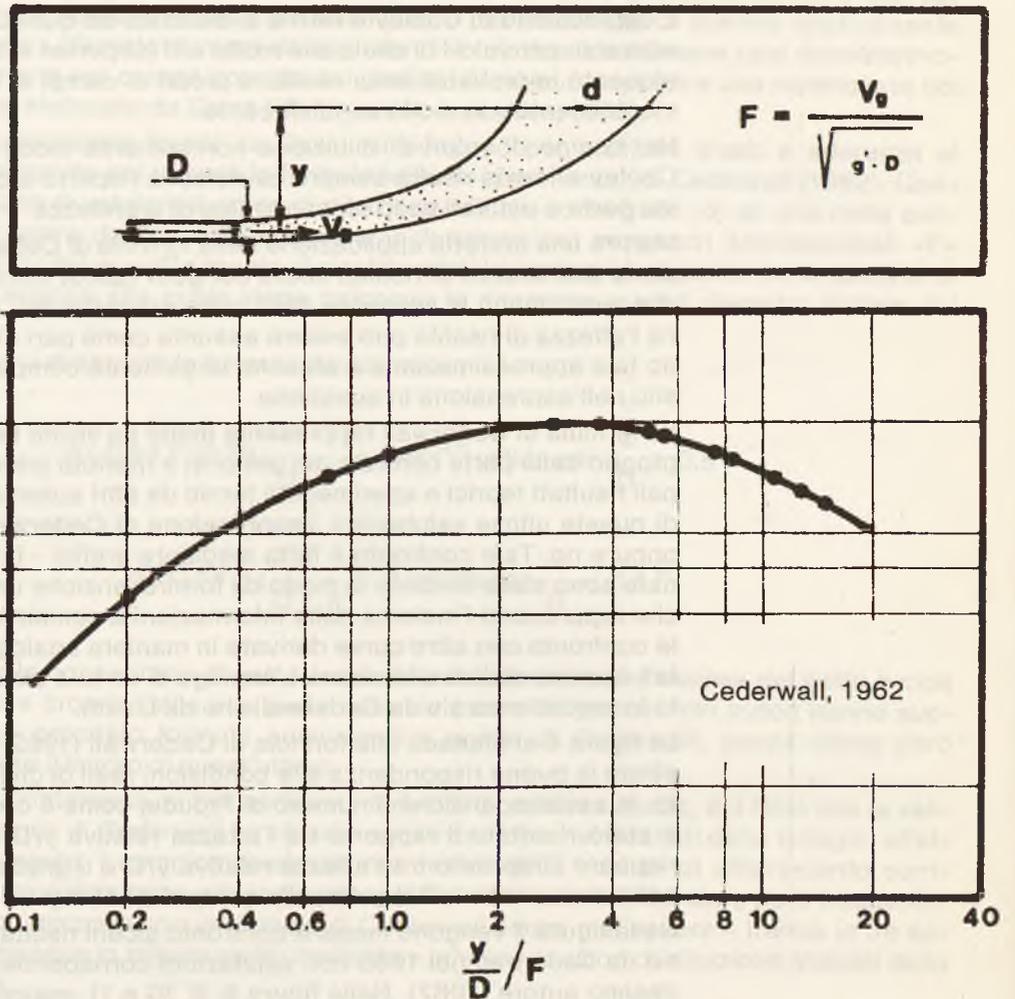
2.4.1. Pearson - 1956

L'autore fornisce un'ampia disamina dei meccanismi di diluizione e dispersione iniziale, descrivendone la struttura fisica e ponendo in luce le difficoltà analitiche preposte ad una adeguata soluzione teorica.

Il problema viene inquadrato nel contesto generale del risanamento delle acque costiere e dell'impiego degli emissari sottomarini, in un testo che rimane, a distanza di oltre 25 anni, quanto mai attuale.

Tra le formule proposte per la valutazione del grado di diluizione iniziale, oltre ad una varietà di espressioni derivate in condizioni sperimentali particolari (getti di aria fredda o calda in aria più fredda o più calda, ecc.) l'autore pone in evidenza l'interesse, ai fini pra-

Figura 6 - Valutazione teorica del grado di diluizione iniziale - Getto orizzontale in un mezzo fluido più pesante ed omogeneo: curva ricavata con i valori della formula di Cederwall (1962)



tici, dei grafici adimensionali derivati dai dati di Rawn e Palmer ed indica con chiarezza gli altri parametri essenziali (valutazione della quantità di acqua di diluizione, ecc.) afferenti il corretto calcolo della diluizione iniziale.

Il medesimo autore fa menzione, tra l'altro, della formula di Cooley e Harris, già ricordata e che consente un'approssimata e rapida valutazione del grado di diluizione iniziale conseguito con un getto isolato.

Nonostante alcuni contributi essenziali, come quelli forniti da Cederwall e da Abraham, l'ampia letteratura tecnica successiva (a carattere prevalentemente matematico e accademico), ha portato talora a complicare ed a confondere le idee sull'argomento più che a migliorare le informazioni fornite dal rapporto di Pearson.

Si può dire qui che l'interesse della presente sperimentazione consiste non tanto nell'aver messo in evidenza nuovi meccanismi fisici, quanto nell'aver fornito una conferma diretta (che fino ad oggi mancava) della validità di alcuni orientamenti tecnico-scientifici, già prospettati da scuole accreditate.

A questi orientamenti è stato opposto, in tempi recenti, il confronto con contrastanti risultati di esperienze condotte in maniera scarsamente accurata o con sviluppi teorici avulsi dalla realtà fisica, con conseguente grave disorientamento circa il migliore indirizzo tecnico da assumere.

2.4.2. Rawn, Bowerman e Brooks - 1960

Si tratta di un classico e fondamentale lavoro sull'argomento, nel quale vengono presentati, in un grafico adimensionale, i risultati della sperimentazione condotta da Rawn e Palmer; la validità di tali grafici è stata confermata.

2.4.3. Camp - 1963

L'interesse di questo estratto dal libro di Camp (*Water and its impurities*, 1963) risiede nelle lineari esemplificazioni numeriche e nella forma sintetica con cui viene trattato l'intero argomento. Particolarmente interessante è poi l'estensione dei diagrammi presentati da Rawn, Bowerman e Brooks a quote di risalita del getto superiori a quelle originariamente considerate.

2.4.4. Pearson - 1966

Si tratta di un ulteriore contributo di Pearson il quale riconferma l'importanza di una corretta valutazione dello spessore del campo di mescolamento, ai fini della determinazione dell'altezza di risalita effettiva del getto.

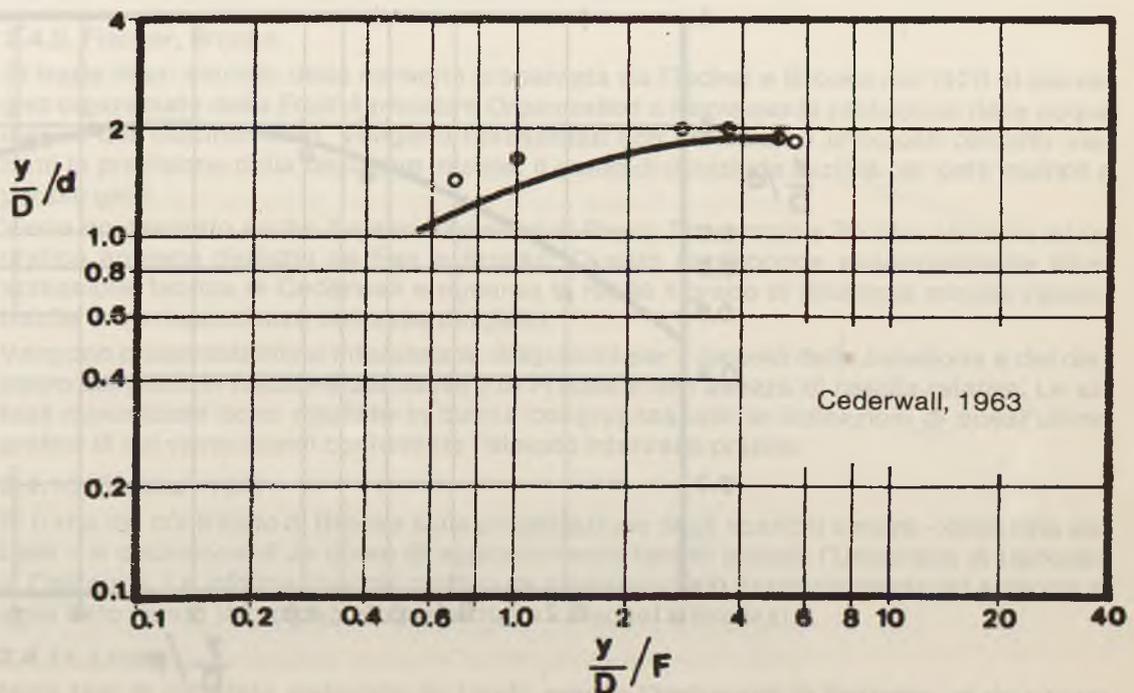
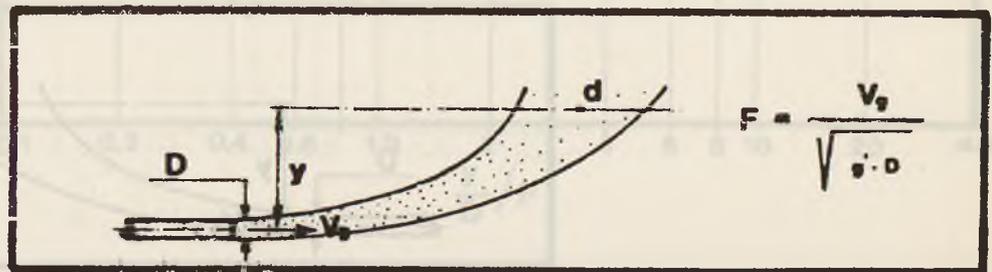
L'autore riporta anche, per quanto è qui di particolare interesse, una formula di Abraham inerente un getto governato essenzialmente dalle forze di gravità.

2.4.5. Snook - 1968

Nel suo lavoro apparso nel 1968 su *Chemistry and Industries*, Snook presenta alcuni diagrammi tratti da Abraham (1963); dalle analisi comparative ora effettuate risulta che l'andamento di tali grafici corrisponde abbastanza da presso a quello della formula di Cederwall (ved. tabella 11), dal che si deduce che essi si riferiscono alla parte centrale del getto (diluizione minima). Non c'è corrispondenza invece fra i grafici e la formula di

Abraham ($\frac{1}{d} = 9,7 \cdot F^{2/3} (y/D + 2)^{5/3}$ valida per $F > 3$ e $y/D > 6 \div 7$).

Figura 7 - Valutazione sperimentale del grado di diluizione iniziale - Getto orizzontale in un mezzo fluido più pesante ed omogeneo: confronto fra la curva dei dati sperimentali ottenuti da Cederwall nel 1963 ed i dati teorici calcolati con la formula di Cederwall (1962)



2.4.6. Cederwall

Si tratta di un estratto dell'ampia monografia di Cederwall sugli aspetti idraulici degli scarichi a mare; tra l'altro viene presentata la formula inerente la diluizione minima, propria della parte centrale del getto, di cui si è già fatto ampio cenno.

L'autore propone anche un interessante grafico per il calcolo delle traiettorie dei getti in funzione del numero di Froude dei medesimi; il grafico consente la valutazione del diametro del getto alle varie quote.

2.4.7. Olivotti - 1970

Si tratta di un estratto della monografia di Olivotti: «Condotte di scarico sottomarine», nella quale si raccolgono alcune lezioni tenute per il corso di aggiornamento di Ingegneria Sanitaria presso il Politecnico di Milano. Sono qui esposti vari concetti già espressi in lavori precedenti e sono presentate e illustrate le principali espressioni analitiche inerenti la previsione del grado di diluizione iniziale.

2.4.8. Hansen, Harremöes - 1970

Si tratta di due contributi, il primo di Hansen, il secondo di Harremöes al seminario *Control of pollution in coastal waters* organizzato nel 1976 dall'Organizzazione mondiale della Sanità.

Viene posto in evidenza l'interesse della formula di Cederwall e il problema della diluizione iniziale viene inserito nel più ampio contesto del risanamento marino.

Figura 8 - Valutazione teorica del grado di diluizione iniziale - Getto orizzontale in un mezzo fluido più pesante ed omogeneo: confronto fra la curva tracciata con i valori teorici della formula di Abraham (1963) e i dati teorici calcolati con la formula di Cederwall (1962)

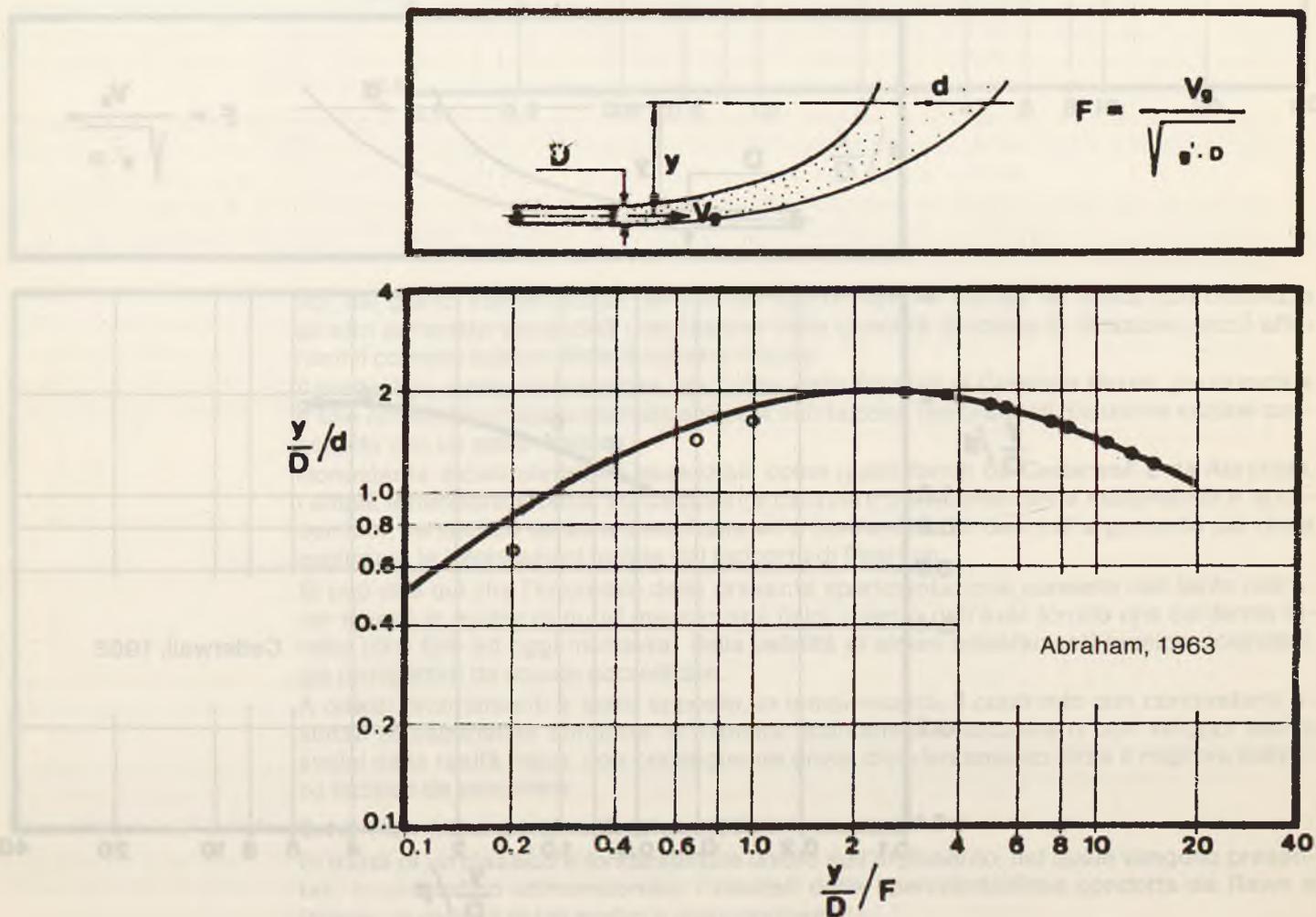
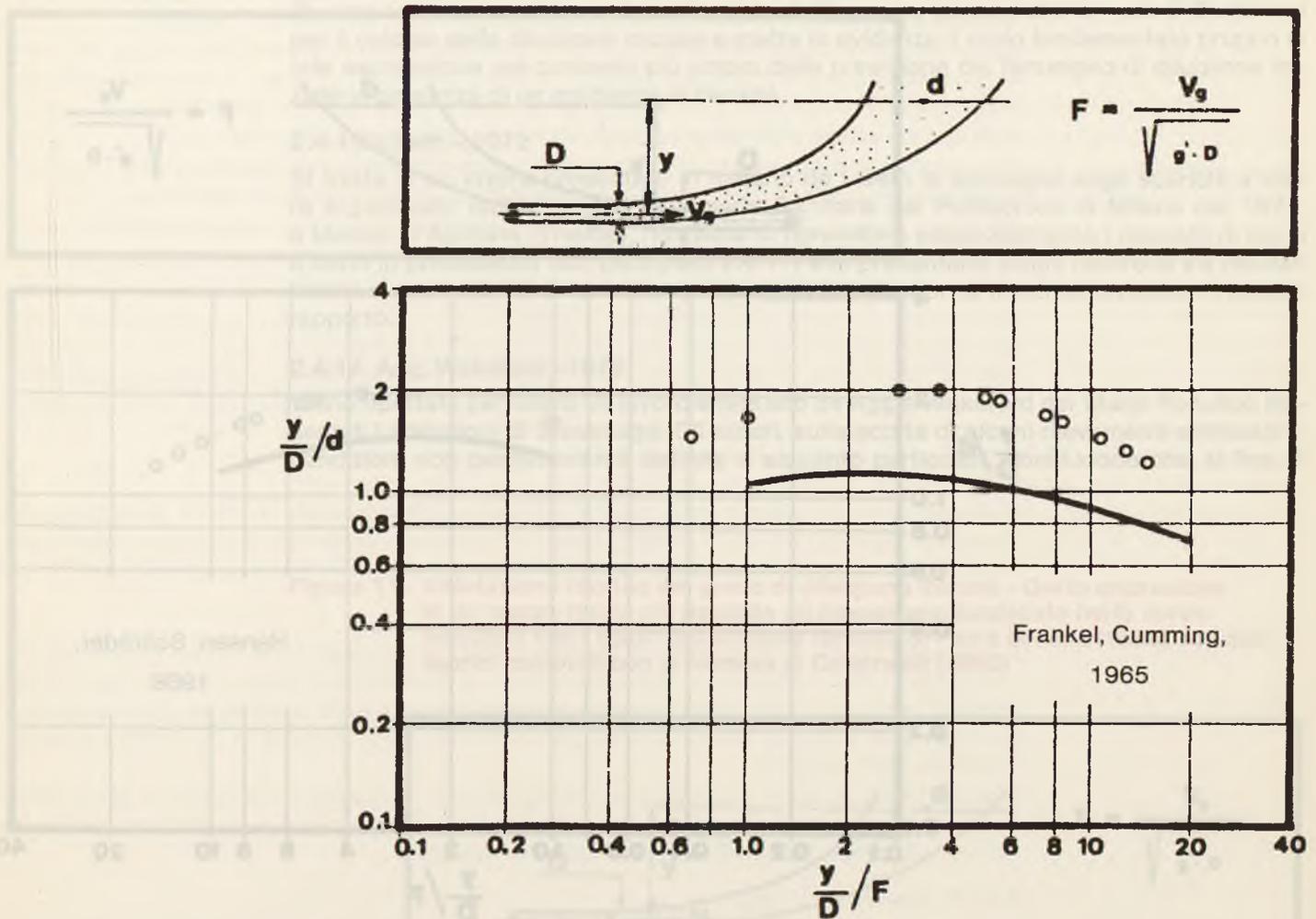


Figura 9 - Valutazione sperimentale del grado di diluizione iniziale - Getto orizzontale in un mezzo fluido più pesante ed omogeneo: confronto fra la curva sperimentale ricavata da Frankel e Cumming (1965) ed i dati teorici calcolati con la formula di Cederwall (1962)



2.4.9. Fischer, Brooks

Si tratta di un estratto della memoria presentata da Fischer e Brooks nel 1970 al convegno organizzato dalla *Food Agriculture Organization* a Roma per la protezione delle acque marine dall'inquinamento. Vengono ripresentati con chiarezza i principali concetti inerenti la previsione della diluizione iniziale, il grado di diluizione iniziale per getti multipli e per più getti.

Viene ripresentato anche il classico grafico di Rawn, Bowerman e Brooks assieme ad un grafico analogo derivato da Fan e Brooks. Questo corrisponde essenzialmente all'espressione teorica di Cederwall e riguarda in realtà il grado di diluizione minima riscontrabile in corrispondenza dell'asse del getto.

Vengono presentati infine interessanti diagrammi per il calcolo della traiettoria e del diametro del getto in funzione del numero di Froude e dell'altezza di risalita relativa. Le attuali misurazioni sono risultate in buona congruenza con le indicazioni di quest'ultimo grafico di cui viene quindi confermato l'elevato interesse pratico.

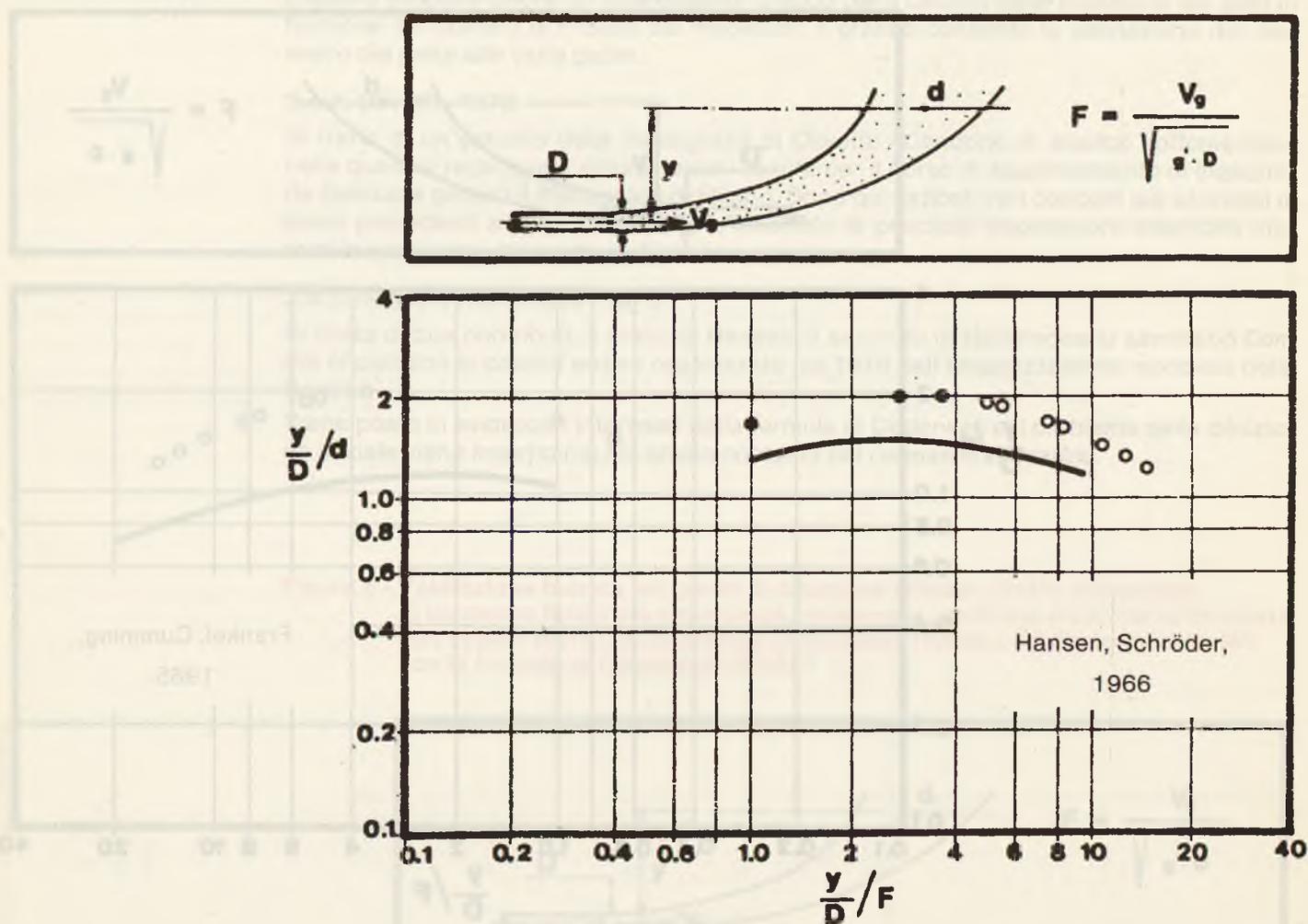
2.4.10. Brooks - 1971

Si tratta del contributo di Brooks sulla progettazione degli scarichi a mare - diluizione iniziale - in occasione di un corso di aggiornamento tenuto presso l'Università di Berkeley in California. Le informazioni qui contenute corrispondono essenzialmente ad altre cui si è già fatto cenno (cfr. paragrafo precedente - Fischer e Brooks).

2.4.11. Liseth

Nella tesi di dottorato elaborata da Liseth presso l'Università di Berkeley, si dà notizia

Figura 10 - Valutazione sperimentale del grado di diluizione iniziale - Getto orizzontale in un mezzo fluido più pesante ed omogeneo: confronto fra la curva sperimentale ricavata da Hansen e Schröder (1966) ed i dati teorici calcolati con la formula di Cederwall (1962)



sommatoria delle ricerche effettuate dall'autore sul problema dell'interferenza tra getti e della riduzione del grado di diluizione iniziale che in tali condizioni si produce, rispetto al caso di getto isolato.

Nonostante l'elevato interesse che per vari aspetti questo studio riveste, l'assunto fondamentale, e cioè che il diametro del getto sia correlabile con sufficiente esattezza alla sola quota di risalita secondo la seguente espressione:

$$w = y/5$$

(dove w è il diametro del pennacchio di risalita alla quota y), non si trova in buon accordo col risultato delle attuali esperienze. Secondo accurate misure, più volte ripetute, tale diametro è in funzione, infatti, in misura non irrilevante, anche del diametro iniziale del getto e della velocità di efflusso.

Lo studio di Liseth fa capò ad una sperimentazione in laboratorio, effettuata mediante ugelli del diametro di qualche millimetro che versavano acqua salata in acqua dolce.

In un altro lavoro, effettuato per il governo norvegese, e inerente le più idonee tecniche per lo smaltimento a mare mediante condotta di scarico, Liseth si trova in buon accordo con vari concetti confermati dal presente studio. In particolare viene messa in evidenza la carenza di dati sperimentali effettivamente attendibili che suffraghino formule teoriche, a loro volta di derivazione alquanto incerta (caso del getto orizzontale in un ambiente fluido più pesante).

Nel medesimo studio vengono messe in evidenza anche le considerevoli discrepanze sussistenti tra formule teoriche di vari autori, nonché tra risultati sperimentali derivati in laboratorio da autori diversi.

2.4.12. Hansen - 1971

Questo contributo conferma il credito dato dalla scuola danese alla formula di Cederwall per il calcolo della diluizione iniziale e mette in evidenza il ruolo fondamentale proprio di tale espressione nel contesto più ampio della previsione del fenomeno di diluizione iniziale in presenza di un gradiente di densità.

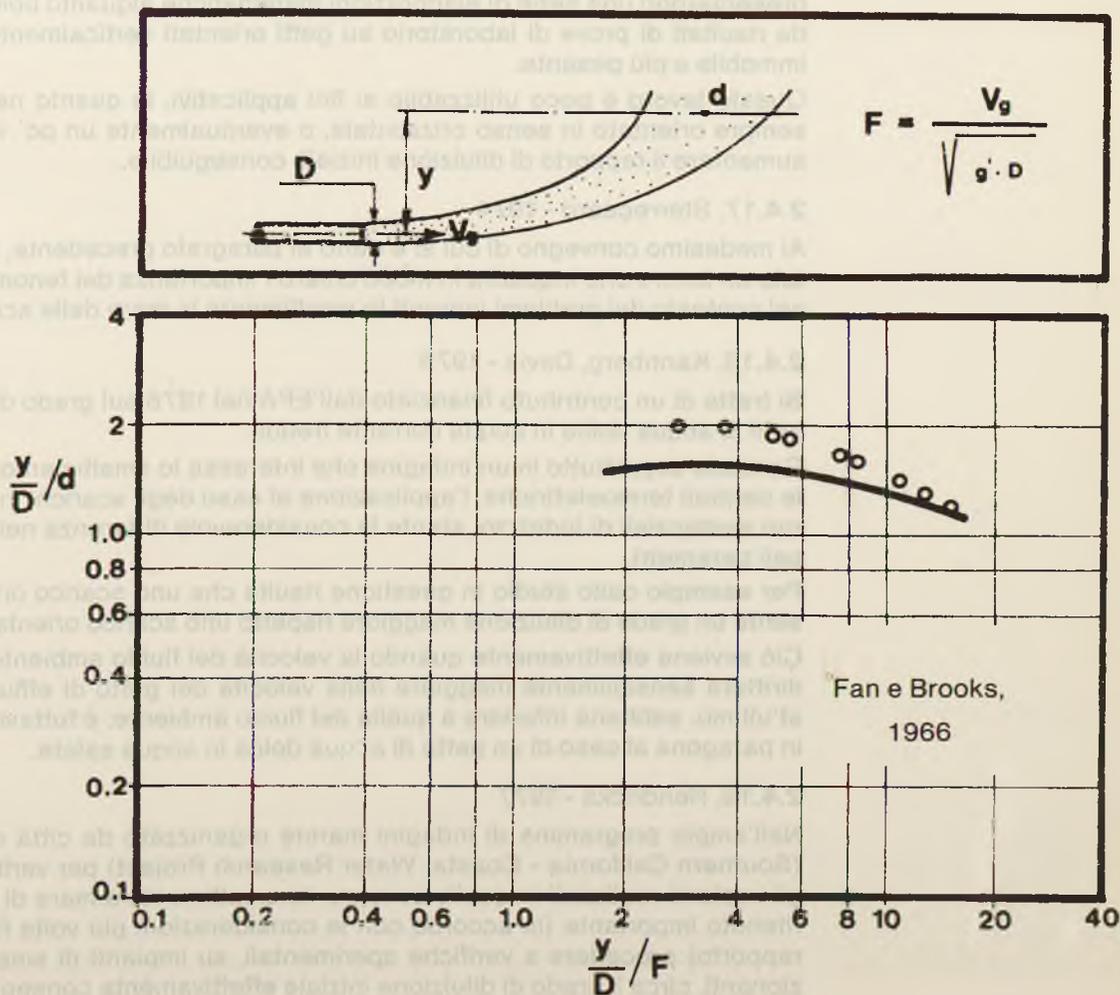
2.4.13. Liseth - 1972

Si tratta di un lavoro presentato in italiano da Liseth al convegno sugli scarichi a mare organizzato dall'Istituto di Ingegneria Sanitaria del Politecnico di Milano nel 1972, a Marina di Aurisina (Trieste), nel quale si riprendono essenzialmente i concetti di cui si è detto in precedenza (cfr. paragrafo 2.4.11) e si presentano alcuni confronti tra risultati teorici e sperimentali di vari autori, che sono stati pure presi in considerazione in questo rapporto.

2.4.14. Agg, Wakeford - 1972

Viene riportato per intero un lavoro effettuato da Agg e Wakeford del Water Pollution Research Laboratory di Stevenage. Gli autori, sulla scorta di alcuni rilevamenti effettuati in condizioni non perfettamente definite e alquanto particolari, concludono che al fine di

Figura 11 - Valutazione teorica del grado di diluizione iniziale - Getto orizzontale in un mezzo fluido più pesante ed omogeneo: confronto fra la curva tracciata con i valori teorici della formula di Fan e Brooks (1966) ed i dati teorici calcolati con la formula di Cederwall (1962)



conseguire un elevato rapporto di diluizione è importante trovarsi in presenza di una corrente marina di una certa intensità (ciò non tanto per quanto riguarda la formazione di una nube sovrastante, che può limitare l'altezza di risalita, ma proprio per quanto attiene allo sviluppo del processo di diluizione iniziale stesso).

Gli autori sostengono inoltre che getti di diametro più grande, a parità di portata e di velocità di efflusso, consentono di raggiungere rapporti di diluizione più elevati.

Considerato il prestigio di cui gode l'illustre laboratorio di ricerca di Stevenage, tali conclusioni hanno trovato ampia risonanza ed hanno portato a criteri progettuali (diffusori con luci di efflusso molto grandi), che si trovano in contrasto con gli orientamenti prevalenti di altre scuole (California, Svezia, Norvegia, Danimarca, Olanda).

Le esperienze ora condotte mostrano peraltro che l'aumentare, a parità di altre condizioni, del diametro del getto di scarico riduce e non aumenta il grado di diluizione.

Gli autori hanno operato su scarichi particolari (dimensioni dell'ordine di 50/100 centimetri in profondità variabili tra 5-15 metri e in condizioni di corrente comprese tra completa assenza ed alcuni nodi).

Essi hanno poi ritenuto significativo stabilire valori medi tra tutti i campionamenti effettuati (laddove campionamenti «fuori bolla» portano a valori pressoché infiniti di diluizione che non hanno significato fisico) e non tengono conto del diverso spessore del campo di mescolamento, a sua volta profondamente influenzato da condizioni di corrente fortemente variabili.

2.4.15. E.P.A. - 1973

Notevoli contributi sono anche derivati da uno studio effettuato dall'EPA (*Environmental Protection Agency*) nel 1973 relativo a getti di acqua più calda orientati verticalmente; tali studi di laboratorio non sono di pratica utilizzazione ai fini del presente studio.

2.4.16. Hayashi, Ito - 1974

Al convegno sullo smaltimento di liquami mediante emissari sottomarini, organizzato a Londra nel 1974 da Gameson del Laboratorio di Stevenage, i giapponesi Hayashi e Ito, presentarono una serie di elaborazioni matematiche alquanto complesse, accompagnate da risultati di prove di laboratorio su getti orientati verticalmente in un fluido ambiente immobile e più pesante.

Questo lavoro è poco utilizzabile ai fini applicativi, in quanto nella realtà il getto viene sempre orientato in senso orizzontale, o eventualmente un po' verso il basso, al fine di aumentare il rapporto di diluizione iniziale conseguibile.

2.4.17. Sterregaard - 1974

Al medesimo convegno di cui si è detto al paragrafo precedente, Sterregaard ha presentato un lavoro che inquadra in modo chiaro l'importanza dei fenomeni di diluizione iniziale nel contesto dei problemi inerenti lo smaltimento in mare delle acque residue.

2.4.18. Kannberg, Davis - 1976

Si tratta di un contributo finanziato dall'EPA nel 1976 sul grado di diluizione raggiunto da getti di acqua dolce in acqua corrente fredda.

Consiste soprattutto in un'indagine che interessa lo smaltimento degli effluenti caldi delle centrali termoelettriche; l'applicazione al caso degli scarichi in mare porterebbe ad errori sostanziali di indirizzo, stante la considerevole differenza nelle dimensioni dei principali parametri.

Per esempio dallo studio in questione risulta che uno scarico orientato verso l'alto consente un grado di diluizione maggiore rispetto uno scarico orientato orizzontalmente.

Ciò avviene effettivamente quando la velocità del fluido ambiente è considerevole o, addirittura sensibilmente maggiore della velocità del getto di efflusso. La densità di quest'ultimo, sebbene inferiore a quella del fluido ambiente, è tuttavia nettamente superiore, in paragone al caso di un getto di acqua dolce in acqua salata.

2.4.19. Hendricks - 1977

Nell'ampio programma di indagini marine organizzato da città costiere della California (Southern California - Coastal Water Research Project) per verificare l'adeguatezza degli impianti realizzati in quelle zone per lo smaltimento a mare di effluenti primari, è stato ritenuto importante (in accordo con le considerazioni più volte fatte nel corso di questo rapporto) procedere a verifiche sperimentali, su impianti di smaltimento realmente funzionanti, circa il grado di diluizione iniziale effettivamente conseguito.

Nonostante l'elevato impegno di lavoro effettuato, pare che i risultati, sia pure interessanti per quanto concerne il grado medio di diluizione conseguito al di fuori della prima zona di mescolamento, siano purtroppo di scarso interesse per quanto riguarda il grado di diluizione conseguito all'interno dei singoli getti. Considerata l'elevata profondità di scarico e la modesta spaziatura tra i getti (così come appunto consiglia la miglior tecnica, che prevede, per una assegnata ed adeguata lunghezza di diffusore, il maggior frazionamento possibile della portata in un elevato numero di getti di ridotto diametro) il campo di mescolamento formato risultava «intrappolato» e alimentato da getti completamente interferenti, che venivano così a formare un solo getto bidimensionale.

Il grado di diluizione riscontrato è stato ampiamente superiore a quello valutabile colle formule comunemente adoperate. Ciò era probabilmente prevedibile, soprattutto a causa della difficile identificazione delle zone centrali e meno diluite in un campo di mescolamento sommerso.

È risultato infatti evidente dalle indagini ora effettuate con queste prove sperimentali, che pure sono state svolte coll'ausilio di sommozzatori ed in profondità ridotte (8-9 metri), in modo da consentire un controllo diretto del fenomeno, che la parte centrale del getto può essere identificata solo mediante ripetuti campionamenti effettuati in profondità, lungo le traiettorie del getto, o in superficie, laddove la zona di affioramento del getto sia effettivamente evidente.

Campionamenti effettuati su getti «intrappolati», non hanno mai consentito di giungere a quei valori minimi caratteristici dell'asse centrale del getto (e che viceversa, in certe condizioni, sono stati riscontrati, come si è detto, in corrispondenza alla parte centrale del getto, in profondità e nella zona di affioramento) calcolabili con le formule di Cederwall.

... di cui si è parlato in precedenza. I risultati, sia pure interessanti, sono stati ottenuti in un'indagine di campo che ha riguardato il getto di acqua dolce in acqua corrente fredda. L'indagine è stata condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata.

... di cui si è parlato in precedenza. I risultati, sia pure interessanti, sono stati ottenuti in un'indagine di campo che ha riguardato il getto di acqua dolce in acqua corrente fredda. L'indagine è stata condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata.

... di cui si è parlato in precedenza. I risultati, sia pure interessanti, sono stati ottenuti in un'indagine di campo che ha riguardato il getto di acqua dolce in acqua corrente fredda. L'indagine è stata condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata.

2.4.16. Hayashi, 1974

Al convegno sulla "Qualità dell'Acqua" tenutosi a Londra nel 1974, Hayashi e i suoi colleghi presentarono una serie di risultati di prove condotte in un campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata.

Quali che sono i risultati di questa indagine? In questa realtà il getto viene sempre più in basso, e si è visto che il getto si muove verso il basso, al fine di aumentare il rapporto di diluizione. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata.

2.4.17. Sterregaard - 1974

Al medesimo convegno di cui si è detto al paragrafo precedente, Sterregaard ha presentato un lavoro che inquadra in modo chiaro l'importanza dei fenomeni di diluizione indotta nel contesto dei problemi inerenti lo smaltimento in mare.

2.4.18. Kannberg, Davis - 1976

Si tratta di un contributo finanziato dall'EPA nel 1976 sul grado di diluizione raggiunto da getti di acqua dolce in acqua corrente fredda.

Consiste soprattutto in un'indagine che interessa lo smaltimento di effluenti caldi dalle centrali termoelettriche, in particolare al caso degli scarichi in mare. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata.

Per esempio dallo studio in questione risulta che uno scarico di effluente verso l'alto consente un grado di diluizione maggiore rispetto ad uno scarico di effluente verso il basso.

Con il passare del tempo, quando la velocità del fluido è maggiore della velocità del getto, il getto si muove verso il basso, e si è visto che il getto si muove verso il basso, al fine di aumentare il rapporto di diluizione. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata.

2.4.19. Southern California

Nell'ambito del programma di ricerca marina organizzato in California (Southern California Coastal Water Research Project) per studiare l'adeguatezza delle misure di diluizione in quelle zone per lo smaltimento di effluenti caldi, sono stati condotti studi di diluizione in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti in un'indagine di campo condotta in un'area di campo di prova dove si è creato un campo di mescolanza di acqua dolce e acqua salata.

3 scelta della condotta oggetto della sperimentazione

La scelta della condotta da sottoporre al test della sperimentazione è valida in quanto è
 stata scelta, nel momento che si è documentata, per le condizioni di attuazione
 (tempo, luogo, numero, ecc.) e per le condizioni di attuazione (modalità generali
 e particolari) da sottoporre la sperimentazione stessa e per tutte
 le altre condizioni di attuazione da essa determinate.

Tali risultati possono essere così sintetizzati:

1. La condotta si svolge in un ambiente e si è portati a pensare che sia possibile
 anche senza non conosciute, i risultati sono stati ottenuti in modo
 da non poter.
2. I risultati sono buoni e probabili di 2 mesi, con una probabilità almeno sufficiente a
 ritenere, in caso di esperimento, il perfezionamento delle strutture con il prevalere
 di quella del momento per la promozione di una nuova struttura.

La profondità dei risultati tende a diminuire ed aumentare la significatività dei dati
 riportati in tavola.

3. La scelta di condurre il test si è basata su dati di natura empirica e
 sulla quantità di dati e sulla loro natura (analisi di dati e analisi di dati) e
 sulla possibilità di essere a portata di mano e di essere, in sostanza, di portata
 anche utile di attuazione di buona parte dei risultati di portata
 per i problemi attuali e nuovi.
4. Il test si è svolto in un ambiente di portabilità e di attuazione su una base di dati
 da parte di una struttura.
5. La data di attuazione è stata scelta sulla base della condotta presunta e dei dati
 ottenuti dall'analisi di dati e di dati di natura empirica.

La documentazione empirica delle condizioni di attuazione di una condotta sono riportate
 nella tavola 3 mentre la documentazione della struttura e dei dati empirici e delle
 condizioni di attuazione sono riportate nella tavola 2.

Tavola 3. Condizioni empiriche di attuazione di una condotta e dati di natura empirica.

Condizioni empiriche di attuazione di una condotta			Dati di natura empirica				
Condizioni empiriche di attuazione di una condotta							
1200	300	300	300	300	300	300	300

Scelta della condotta e
oggetto della sperimentazione

Scelta della condotta oggetto della sperimentazione

Le prove sperimentali che si sono effettuate per questa indagine sono state eseguite utilizzando il liquame di una fognatura civile scaricato a mare da una condotta sottomarina esistente ed in funzione.

Metodi operativi alternativi, consistenti nel portare il liquame sul fondale prescelto mediante la posa di una condotta provvisoria di piccolo diametro collegata alla rete fognaria di terra, oppure mediante una bettolina, sono stati scartati per ragioni economiche ed anche perché di minore affidabilità.

La scelta della condotta da utilizzare ai fini della sperimentazione è caduta su quella di Anzio Bottaccio, dal momento che essa rappresentava, fra le condotte già studiate nelle precedenti fasi di intervento, quella che possedeva il maggior numero di requisiti generali indispensabili per consentire la realizzazione della sperimentazione stessa e per dare pratica applicazione ai risultati da essa ottenuti.

Tali requisiti possono essere così sintetizzati:

- la condotta è fornita di un diffusore a V e pertanto avrebbe potuto permettere, attraverso il ramo non operativo, l'eventuale sfogo della portata eccedente quella utilizzata per le prove;
- i diffusori sono posti a profondità di 9 metri, cioè alla profondità minima sufficiente a ridurre, in caso di mareggiata, il danneggiamento delle attrezzature che si prevedeva di posare sul fondo del mare in prossimità di una testata del diffusore.
La profondità dei diffusori inoltre è sufficiente ad assicurare la significatività dei dati sperimentali ottenuti;
- la stazione di pompaggio a cui la condotta è allacciata avrebbe potuto permettere, con opportuna modifica, il riciclo del liquame nella stazione stessa e pertanto avrebbe consentito di operare a portata costante e continua; la stazione di pompaggio è inoltre dotata di tubazione di troppo pieno per lo scarico di eventuali portate di punta non altrimenti smaltibili a mare;
- il liquame a monte della stazione di pompaggio è sottoposto ad una fase di grigliatura anche se solo grossolana;
- la zona di mare interessata dallo scarico della condotta presenta andamenti correntometrici piuttosto costanti sia in superficie che in profondità.

Le caratteristiche tecniche della condotta di scarico di Anzio Bottaccio sono riportate nella tabella 1 mentre le caratteristiche della fognatura ad essa allacciata e della stazione di pompaggio sono riassunte nella tabella 2.

Tabella 1 - Anzio Bottaccio. Dati caratteristici della condotta di scarico a mare.

Condotta			Diffusore				
lunghezza (m)	diametro (mm)	portata media estiva (l/sec.)	numero rami	lunghezza ogni ramo (m)	diametro rami (mm)	apertura rami (°)	profondità testate (m)
1200	300	26	2	50	150	120°	9

**Tabella 2 - Anzio Bottaccio.
Caratteristiche della fognatura e della stazione di pompaggio**

Fognatura

tipo	mista
popolazione servita	15.000 abitanti
pretrattamenti installati	grigliatura grossolana
pretrattamenti previsti	grigliatura fine, dissabbiatura, disoleazione

Stazione di pompaggio

numero pompe installate	2
tipo di pompe installate	elettropompe sommerse (Flygt 3200)

Tubazione di troppo pieno

lunghezza (metri)	200 circa
diametro (millimetri)	500

La condotta è formata da un diffusore a V a gradino esistente dotato di camera di sabbia e fango, verso il mare. L'eventuale sfogo delle acque reflue deve avvenire a mare.

I diffusori sono posti a profondità di 2 metri, così alla profondità minima sufficiente a fornire il caso di emergenza. Il danneggiamento delle strutture che si prevedeva di essere sul fondo del mare in presenza di una testata del diffusore.

La profondità del diffusore è sufficiente ad assicurare la spingenza dei dati sperimentali.

La stazione di pompaggio è una in condotta è allacciata a doppia pompa gestibile con comando modulare. Il tipo del motore è a motore diesel a portata variabile e consente di fornire a portata costante e continua la stazione di pompaggio. Inoltre totale di tubazione di troppo pieno per lo sfogo di eventuali portate di acqua per allineamenti sabbiosi a mare.

Il sistema a monte della stazione di pompaggio è articolato ad un caso di progetto in ampiezza di sezione.

La zona di mare interessata dallo sfogo della condotta presenta condizioni costanti, pertanto il sistema è in superficie che in profondità.

Le caratteristiche tecniche della condotta di scarico di Anzio Bottaccio sono riportate nella Tabella 1 mentre la disposizione della fognatura ed una sezione e della stazione di pompaggio sono riportate nella Tabella 2.

Condotta					Stazione di pompaggio		
Sezione (mm)	Profondità (m)	Velocità (m/s)	Portata (m³/s)	Numero	Modello	Portata (m³/s)	Profondità (m)
500	2,0	1,5	0,5	2	Flygt 3200	0,5	2,0

Tabella 2 Anziò Bottaccio.

Caratteristiche della fognatura e della rete di distribuzione

Fognatura

tipo	mista
popolazione servita	15.000 abitanti
capacità massima (litri/secondo)	origine grossolana
profondità (metri)	dislocazione
numero di rampe installate	1 (con 3200)
lunghezza (metri)	200 circa
diametro (millimetri)	500

- reticolo di riferimento e prelievo campioni
- attrezzature varie
- apparecchiature per determinazioni strumentali

Attrezzature, apparecchiature e natanti utilizzati

Per rendere possibile la esecuzione delle indagini sulla diluizione iniziale è stato necessario progettare e costruire attrezzature speciali da utilizzare allo scopo. Nella scelta dei materiali e nel dimensionamento delle attrezzature si è tenuto conto sia dell'ambiente in cui dovevano essere utilizzate che delle sollecitazioni a cui sarebbero state soggette.

Sono stati pertanto utilizzati materiali leggeri, per consentire una discreta maneggevolezza delle attrezzature, e resistenti per sopportare, soprattutto nel caso di attrezzature posate sul fondo del mare, gli sforzi indotti dal moto ondoso.

Le attrezzature utilizzate sul fondo del mare hanno richiesto nel corso della sperimentazione alcuni interventi di consolidamento a seguito di mareggiate di particolare intensità. Altri interventi sono stati invece effettuati allo scopo di migliorare le attrezzature stesse sulla base di indicazioni emerse in sede operativa.

La scelta delle apparecchiature scientifiche da utilizzare sul campo è stata fatta anch'essa avendo riguardo alle condizioni di impiego. In relazione a ciò sono state considerate sia la precisione dei dati forniti che l'esistenza e maneggevolezza delle apparecchiature stesse.

Anche l'impiego delle apparecchiature scientifiche ha dato luogo ad alcuni inconvenienti pratici per altro superati sia modificando il programma di lavoro che variando le modalità di impiego. I risultati finali sono stati indubbiamente soddisfacenti e dopo una prima fase di messa a punto le attrezzature e la strumentazione usate hanno dimostrato un ottimo grado di affidabilità.

4.1. Attrezzatura posata sul fondale

Per intercettare, alla testata di uno dei due rami del diffusore, la portata di liquame necessaria alla esecuzione delle prove è stato effettuato un collegamento, mediante tubo flessibile, fra la testata stessa ed una speciale apparecchiatura sistemata sul fondo del mare. L'apparecchiatura (cfr. fig. 12 e 13) era costituita da una tubazione in moplen del diametro di 100 millimetri (tubazione principale) portata da due tralicci pure in moplen, il tutto opportunamente controventato con profilati di acciaio tenuti da fasce metalliche (*). Ad una estremità della tubazione era sistemata una valvola di regolazione della portata, mentre all'altra estremità la tubazione era predisposta per il collegamento mediante ghiera filettata con un tronchetto di tubazione di pari diametro e dello stesso materiale sul quale era montata la scatola stagna contenente l'elettrodo sensore dello strumento utilizzato per misurare la velocità di passaggio del liquame (Sonaflo) e la valvola di regolazione dell'immissione della sostanza tracciante (fluorescina).

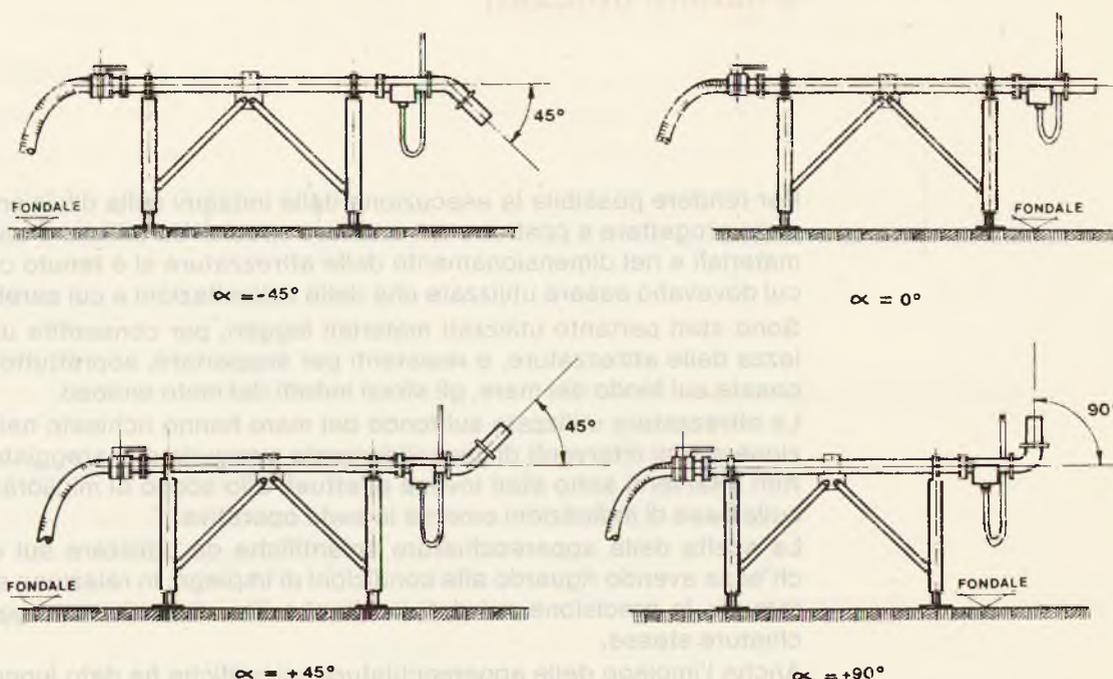
Al tronchetto di tubazione era possibile collegare, sempre mediante ghiera filettata, gli ugelli di diametro 100 millimetri, 70 millimetri e 50 millimetri, preceduti o meno da curve a 45° a 90° (figure 14 e 15), oppure anche un raccordo a TE flangiato per il collegamento con la tubazione da utilizzare per le prove di sovrapposizione dei getti (tubazione secondaria). Tale tubazione del diametro di 77 millimetri era sostenuta da quattro tralicci in moplen zavorrati (2 per parte rispetto al raccordo a TE) ed era dotata di 8 ugelli (4 per parte) del diametro ognuno di 50 millimetri.

Per le prove con l'ugello di diametro 20 millimetri la tubazione principale era collegata, mediante ghiera filettata, con un tronchetto di tubazione del diametro di 20 millimetri sul quale era stata montata la scatola stagna contenente un secondo elettrodo sensore dello strumento utilizzato per misurare la velocità di passaggio del liquame (Sonaflo).

Ciò si è reso necessario per ovviare alle bassissime velocità operative che si sarebbero ottenute, per prove con un ugello del diametro di 20 millimetri, in corrispondenza del sensore, nel caso in cui fosse stato utilizzato quello montato sul tronchetto di tubo di diametro 100 millimetri.

(*) Le figure 13-14-15-16-17-18-19-20-21 sono riportate nel capitolo 12.

Figura 12 - Inclinazioni sperimentate con l'ugello di diametro 100 millimetri



Si sarebbe cioè dovuto operare con velocità, al sensore, più basse del limite nominale inferiore di sensibilità dello strumento che era fissato in 0,2 metri al secondo.

Il tronchetto di tubazione, nella parte iniziale, era realizzato con profilo tronco-conico per raccordare il diametro 100 millimetri con quello 20 millimetri e nella parte finale era dotato di attacco filettato per il montaggio della valvola di regolazione dell'immissione della sostanza tracciante (fluorescina). Non era previsto a valle del tronchetto il montaggio di un ugello, dal momento che il tronchetto stesso fungeva già da ugello essendo stato realizzato con diametro interno di 20 millimetri.

I tralicci di sostegno della tubazione principale erano dotati di gambe metalliche telescopiche che hanno consentito sia di superare le disuniformità del fondo marino che di alzare il complesso per effettuare le prove con la curva di raggio 45° diretta verso il basso. Originariamente essi erano fissati su due galleggianti cilindrici che sono serviti per il trasporto via mare di tutta l'apparecchiatura dal porto di Anzio al punto di affondamento.

Anche i tralicci di sostegno della tubazione secondaria infine erano in grado di fornire una piccola escursione in altezza per far fronte alle disuniformità del fondo marino.

4.2. Reticolo di riferimento e prelievo campioni

L'individuazione del percorso del pennacchio di diffusione del getto è stato effettuato mediante un reticolo di riferimento costituito da sagole graduate zavorrate al fondo e dotate di gavitelli galleggianti. I punti in cui le sagole tagliavano i bordi e l'asse del getto, venivano individuati con pinzette, mentre il prelievo di campioni veniva effettuato con pompa aspirante e a membrana del tipo a doppio effetto con comando manuale. Le misure in orizzontale sono state eseguite con doppio metro (o dicometro) e goniometro.

4.3. Attrezzature varie

Oltre alle apparecchiature sopra descritte sono state utilizzate anche le seguenti altre attrezzature:

- n. 1 boa galleggiante luminosa fissata, mediante cavo di acciaio, alla parte terminale del diffusore alla bocca di scarico del quale era collegata l'attrezzatura descritta al punto 4.1.

La boa, oltre a segnalare alle barche in navigazione nella zona la presenza di attrezzature sul fondo, costituiva il punto di attracco della imbarcazione utilizzata per le operazioni a mare;

- n. 1 croce di deriva impiegata nelle operazioni di misura delle correnti superficiali ad 1 metro sotto il pelo libero dell'acqua;
- n. 2 cestelli sgrigliatori impiegati alternativamente sull'influente della fognatura alla stazione di pompaggio. I cestelli realizzati con profilati metallici e rete metallica zincata con maglia di 5 millimetri avevano il compito di eliminare dal liquame immesso nella condotta di scarico a mare particelle solide di dimensioni tali da poter disturbare le prove di diluizione iniziale o di ostruire gli ugelli, soprattutto nel caso di prove con ugello di diametro 20 millimetri.

4.4. Apparecchiature per determinazioni strumentali

I parametri tenuti sotto controllo strumentale sono stati: la salinità dell'acqua di mare e del pennacchio di diffusione, la temperatura dell'acqua di mare e dei liquami, la velocità di efflusso del liquame, la velocità e la direzione del vento nella zona delle operazioni, la velocità e la direzione della corrente marina. Le misure di salinità e di temperatura di mare sono state effettuate mediante l'impiego di un salinometro di precisione Beckman mod. R S 5-3.

Le misure di temperatura nei liquami sono state effettuate con termometro di precisione. Le misure della velocità di efflusso del liquame dagli ugelli sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonaflo SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro NBA modello DNC3 fissato un metro sopra la tubazione principale dell'attrezzatura già descritta. Le misure di velocità e direzione del vento infine sono state effettuate mediante un anemometro portatile Sims.

oltre a essere impiegata per la navigazione nella zona la presenza di attrezzature sul fondo, costituiva il punto di attacco della imbarcazione utilizzata per le operazioni a mare;

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure di temperatura nel liquido sono state effettuate con termometro di precisione. Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

Le misure della velocità di efflusso del liquido sono state effettuate mediante l'impiego di un misuratore elettronico di portata del tipo Sonatlow SB 1.000, le misure di velocità e di direzione della corrente profonda mediante l'impiego di un correntometro a corrente profonda.

2 operazioni preliminari

- analisi alla stazione
di controllo
- preparazione della condotta
- controlli strumentali

Operazioni preliminari

Per poter effettuare le prove sperimentali di diluizione iniziale è stato necessario predisporre una serie di modifiche agli impianti esistenti ed alcuni controlli sulla strumentazione impiegata. Tali operazioni preliminari, la cui durata era prevista in un paio di settimane, si sono invece protratte, per varie cause, per circa quattro mesi, compresa una interruzione di oltre un mese e mezzo. Tale situazione anomala ha determinato purtroppo la necessità di ripetere molti dei controlli già effettuati e di rifare alcuni lavori di preparazione della condotta.

5.1. Modifiche alla stazione di pompaggio

La stazione di pompaggio è costituita da una camera di pescaggio rettangolare al fondo della quale erano installate due pompe sommerse. Le tubazioni di mandata delle stesse risalgono per un tratto in verticale, successivamente piegano in orizzontale e confluiscono in una unica tubazione che esce dalla stazione di pompaggio e va verso il mare.

Nel tratto orizzontale di ognuna delle due tubazioni di mandata è inserita una valvola di non ritorno. Il liquame affluisce alla stazione di pompaggio mediante una condotta interrata che si immette nella camera di pescaggio al centro del lato opposto a quello da cui esce la tubazione di scarico a mare.

Il liquame, prima di cadere sul fondo della camera, passa su una griglia orizzontale a pulizia manuale a barre larghe.

Allo schema sopra descritto sono state apportate le seguenti modifiche:

- a) inserimento di una tubazione di ricircolo liquame;
- b) inserimento di una fase di grigliatura fine.

La prima modifica è consistita nel saldare sul tratto verticale della tubazione di mandata di una delle due pompe, un tronchetto di tubo flangiato, al quale è stata fissata una saracinesca di regolazione a sua volta collegata ad un altro tratto di tubazione piegata di 90° verso il basso.

La modifica trovava giustificazione nell'esigenza di avviare alla condotta di scarico a mare durante le prove sperimentali una portata continua e costante. Ciò si sarebbe ottenuto facendo circolare nuovamente all'interno della camera di pescaggio, mediante regolazione della saracinesca installata, l'eccesso di portata, rispetto a quella utilizzata per le prove sperimentali, sollevata dalla pompa la cui tubazione di mandata era stata modificata.

In tal modo la camera di pescaggio della pompa sarebbe rimasta sempre piena e di conseguenza la portata avviata nella condotta di scarico, oltre ad essere costantemente uguale a quella utilizzata per le prove, sarebbe stata anche continua.

La eventuale differenza di portata fra quella avviata in condotta e quella affluita alla stazione di pompaggio avrebbe dovuto essere smaltita dalla condotta di troppo pieno.

La seconda modifica è consistita nell'inserire sopra la griglia orizzontale, sulla quale passa il liquame prima di cadere nella camera di pescaggio, un cestello di rete metallica con maglie di 5 millimetri di lato. La modifica è stata attuata solo durante le prove con ugelli di diametro 20 millimetri ed ha consentito di evitare eventuali ostruzioni dell'ugello stesso causate dalla presenza, nei liquami, di materiale grossolano. I cestelli venivano puliti continuamente da un operatore.

5.2. Preparazione della condotta

I fori del ramo nord del diffusore sono stati chiusi mediante tappi di legno in modo tale che l'intera portata di scarico fluisse attraverso la testata. Alla bocca di scarico terminale è stata quindi applicata una flangia con manicotto per l'attacco rapido del tubo flessibile destinato a collegare la condotta di scarico all'attrezzatura descritta.

5.3. Controlli strumentali

Controlli di taratura e per la verifica del corretto funzionamento sono stati effettuati per il sallnometro di precisione e per il misuratore di portata.

Per quanto riguarda il salinometro, sono state effettuate misure di salinità a diversa profondità contemporaneamente al prelievo di campioni, in quattro occasioni distinte.

Per la verifica del funzionamento del sallnometro di precisione sono state effettuate anche misure di temperatura con il salinometro e con un termometro di precisione. I dati rilevati sono risultati coincidenti.

Sempre con il salinometro, infine, sono stati effettuati una serie di controlli per individuare l'errore a cui è soggetta una misura strumentale di salinità effettuata in un secchio rispetto ad una prova effettuata nel mare. Allo scopo sono stati prelevati circa 60 litri di acqua di mare e messi in una bacinella di plastica dopo aver verificato che il valore di salinità misurato direttamente in mare e quello misurato nella bacinella fosse identico. Si è proceduto quindi a prelevare dalla bacinella un secchio di acqua da 20 litri e ad effettuare sullo stesso la misura della salinità. L'acqua contenuta nel secchio è stata quindi versata di nuovo nella bacinella. Al contenuto delle bacinella è stata fatta un'aggiunta di acqua potabile e dopo opportuna omogeneizzazione si è nuovamente proceduto alla misura della salinità. Si è passati quindi a prelevare un secchio d'acqua dalla bacinella e ad effettuare sullo stesso la misura della salinità. Si è riportato poi il contenuto del secchio nella bacinella e si è proceduto ad un'ulteriore aggiunta di acqua potabile. Sul contenuto della bacinella è stata effettuata la misura della salinità e lo stesso si è fatto sul contenuto del secchio prelevato dalla bacinella. La stessa procedura si è ripetuta per 37 prove passando da una salinità iniziale di 37,88 grammi per chilo, a quella finale di 25,32 grammi per chilo inferiore al valore minimo riscontrato nel pennacchio durante tutte le prove sperimentali.

Per la verifica del funzionamento del misuratore di portata sono state effettuate prove di misura di portata collegando l'attrezzatura descritta al punto 4.1. con la mandata di una motopompa. Si è verificato poi che la portata teorica ricavata in base al valore di velocità riportato dallo strumento indicatore coincidesse con la portata reale, misurata prelevando con un recipiente di volume noto l'intera portata di prova per un tempo prefissato.

La prova è stata ripetuta tre volte sia nel caso di sensore montato sul tronchetto di tubazione di diametro 100 millimetri che nel caso di sensore montato su tronchetto di tubazione di diametro 20 millimetri. I dati teorici e quelli misurati dallo strumento sono risultati sempre coincidenti.

6 articolazione dell'indagine e metodologia

- getto unico
- getti sovrapposti
- misure

$$F = \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \frac{2gF}{v^2} = 0,27$$

- 1. - collezione di getti = 88 metri al secondo costante
- 2. - velocità dell'acqua di mare = 1,228 m/s (velocità per il momento)
- 3. - velocità iniziale del getto = 1,228 m/s (velocità per il momento)

$$F = \frac{v^2}{2g}$$

- 3.1. - getti sovrapposti
- 3.2. - getti sovrapposti
- 3.3. - getti sovrapposti
- 3.4. - getti sovrapposti
- 3.5. - getti sovrapposti
- 3.6. - getti sovrapposti
- 3.7. - getti sovrapposti
- 3.8. - getti sovrapposti
- 3.9. - getti sovrapposti
- 3.10. - getti sovrapposti
- 3.11. - getti sovrapposti
- 3.12. - getti sovrapposti
- 3.13. - getti sovrapposti
- 3.14. - getti sovrapposti
- 3.15. - getti sovrapposti
- 3.16. - getti sovrapposti
- 3.17. - getti sovrapposti
- 3.18. - getti sovrapposti
- 3.19. - getti sovrapposti
- 3.20. - getti sovrapposti
- 3.21. - getti sovrapposti
- 3.22. - getti sovrapposti
- 3.23. - getti sovrapposti
- 3.24. - getti sovrapposti
- 3.25. - getti sovrapposti
- 3.26. - getti sovrapposti
- 3.27. - getti sovrapposti
- 3.28. - getti sovrapposti
- 3.29. - getti sovrapposti
- 3.30. - getti sovrapposti
- 3.31. - getti sovrapposti
- 3.32. - getti sovrapposti
- 3.33. - getti sovrapposti
- 3.34. - getti sovrapposti
- 3.35. - getti sovrapposti
- 3.36. - getti sovrapposti
- 3.37. - getti sovrapposti
- 3.38. - getti sovrapposti
- 3.39. - getti sovrapposti
- 3.40. - getti sovrapposti
- 3.41. - getti sovrapposti
- 3.42. - getti sovrapposti
- 3.43. - getti sovrapposti
- 3.44. - getti sovrapposti
- 3.45. - getti sovrapposti
- 3.46. - getti sovrapposti
- 3.47. - getti sovrapposti
- 3.48. - getti sovrapposti
- 3.49. - getti sovrapposti
- 3.50. - getti sovrapposti
- 3.51. - getti sovrapposti
- 3.52. - getti sovrapposti
- 3.53. - getti sovrapposti
- 3.54. - getti sovrapposti
- 3.55. - getti sovrapposti
- 3.56. - getti sovrapposti
- 3.57. - getti sovrapposti
- 3.58. - getti sovrapposti
- 3.59. - getti sovrapposti
- 3.60. - getti sovrapposti
- 3.61. - getti sovrapposti
- 3.62. - getti sovrapposti
- 3.63. - getti sovrapposti
- 3.64. - getti sovrapposti
- 3.65. - getti sovrapposti
- 3.66. - getti sovrapposti
- 3.67. - getti sovrapposti
- 3.68. - getti sovrapposti
- 3.69. - getti sovrapposti
- 3.70. - getti sovrapposti
- 3.71. - getti sovrapposti
- 3.72. - getti sovrapposti
- 3.73. - getti sovrapposti
- 3.74. - getti sovrapposti
- 3.75. - getti sovrapposti
- 3.76. - getti sovrapposti
- 3.77. - getti sovrapposti
- 3.78. - getti sovrapposti
- 3.79. - getti sovrapposti
- 3.80. - getti sovrapposti
- 3.81. - getti sovrapposti
- 3.82. - getti sovrapposti
- 3.83. - getti sovrapposti
- 3.84. - getti sovrapposti
- 3.85. - getti sovrapposti
- 3.86. - getti sovrapposti
- 3.87. - getti sovrapposti
- 3.88. - getti sovrapposti
- 3.89. - getti sovrapposti
- 3.90. - getti sovrapposti
- 3.91. - getti sovrapposti
- 3.92. - getti sovrapposti
- 3.93. - getti sovrapposti
- 3.94. - getti sovrapposti
- 3.95. - getti sovrapposti
- 3.96. - getti sovrapposti
- 3.97. - getti sovrapposti
- 3.98. - getti sovrapposti
- 3.99. - getti sovrapposti
- 3.100. - getti sovrapposti

1.1. - getti sovrapposti

Articolazione dell'indagine e metodologia

Le prove sperimentali di diluizione iniziale sono state effettuate rilevando indirettamente, mediante misure della salinità e dei silicati, la diluizione subita dal getto di liquame immesso in mare in funzione della quota di risalita del getto stesso, per una serie di condizioni operative diverse.

Si è provveduto a studiare sia il caso di getto unico che il caso di sovrapposizione di due getti. In particolare le condizioni dinamiche iniziali del getto sono state fissate mediante l'imposizione di tre valori fissi di un parametro convenzionale adimensionale costituito dal numero di Froude. Tale parametro è funzione della velocità di efflusso del liquame dell'ugello (V_g) e del diametro iniziale del getto (D), che nel nostro caso coincideva con il diametro dell'ugello (7), secondo la seguente espressione:

$$F = \frac{V_g}{\sqrt{g' \cdot D}}$$

dove

$$g' = \frac{g(\rho_s - \rho_{go})}{\rho_{go}} \approx 0,27$$

con

g = accelerazione di gravità = 9,8 metri al secondo quadrato

ρ_s = densità dell'acqua di mare \approx 1,028 chilogrammi per decimetro cubo

ρ_{go} = densità iniziale del getto \approx 1,000 chilogrammi per decimetro cubo

Nel nostro caso quindi:

$$F = \frac{V_g}{\sqrt{0,27 \cdot D}}$$

6.1. Getto unico

Nel caso di getto unico sono state sperimentate le seguenti condizioni operative (cfr. tab. 3 e 4):

■ *diametro dell'ugello di scarico variabile*

Si sono sperimentati quattro diametri diversi (100 millimetri, 70 millimetri, 50 millimetri e 20 millimetri) che con buona approssimazione coprono la gamma degli ugelli applicabili in pratica;

■ *numero di Froude variabile*

Per ognuno dei quattro diametri utilizzati si sono sperimentate tre velocità di efflusso del liquame corrispondenti ai numeri di Froude 5, 10 e 30, per l'ugello con diametro 100 millimetri, e ai numeri di Froude 10, 20, 30, per gli ugelli di diametro 70 millimetri, 50 millimetri e 20 millimetri.

In questo modo per ogni diametro di ugello si è spaziato il campo delle velocità di efflusso, da quelle operativamente più basse a quelle notevolmente elevate (cfr.

(7) Per evitare il fenomeno idraulico della vena contratta allo sbocco degli ugelli, ogni ugello è stato prolungato con un tronchetto di tubo di pari diametro e di lunghezza uguale a 10 diametri.

Tabella 3 - Condizioni operative sperimentate nel caso di getto unico posto orizzontalmente

Diametro del getto (millimetri)	Numero di Froude			
	5	10	20	30
100	x	x		x
70		x	x	x
50		x	x	x
20		x	x	x

Tabella 4 - Condizioni operative sperimentate nel caso di getto unico di diametro costante (D = 100 millimetri) ed inclinazione variabile rispetto all'orizzontale

Inclinazione (gradi)	Numero di Froude		
	5	10	30
- 45°	x	x	x
+ 45°	x	x	x
+ 90°	x	x	x

tab. 5) coprendo in pratica tutto il campo delle velocità di efflusso applicabili nei casi reali (8);

■ **inclinazione del getto variabile**

È stato studiato sperimentalmente l'effetto dell'inclinazione del getto rispetto all'orizzontale per un determinato valore di diametro dell'ugello (D = 100 millimetri) nelle diverse condizioni di velocità di efflusso corrispondenti ai tre valori fissati per il numero di Froude. Le inclinazioni del getto sperimentate sono state le seguenti (fig. 21): orizzontale ($\alpha = 0^\circ$); inclinazione verso il fondo del mare di 45° ($\alpha = -45^\circ$); inclinazione verso la superficie del mare di 45° e 90° ($\alpha = +45^\circ$ e $\alpha = +90^\circ$);

■ **condizioni di corrente marina variabile**

Tutte le prove sono state effettuate nelle condizioni meteomarine reali che si verificavano durante le prove. Per rendere paragonabili i dati raccolti si è operato sempre in regime di equicorrente a livello dell'ugello, cioè si è diretto il getto nella medesima direzione della corrente di fondo.

6.2. Getti sovrapposti

Nel caso di sovrapposizione di due getti sono state sperimentate le seguenti condizioni operative (cfr. tab. 6):

(8) L'adozione di numeri di Froude diversi nel caso di diametri inferiori a 100 millimetri è dovuta a motivi strumentali. La misura della velocità di efflusso dei liquami dall'ugello è infatti stata eseguita mediante uno strumento (Sonaflo) operante sul principio dell'effetto Doppler il cui limite operativo nominale inferiore avrebbe dovuto essere di 0,2 metri al secondo. In pratica però il limite operativo inferiore è risultato essere di 0,5 ÷ 0,6 metri al secondo. Ciò ha determinato la pratica impossibilità di operare con numero di Froude uguale a 5 per ugelli di diametro 70, 50 e 20 millimetri, poiché si sarebbe dovuto operare con velocità, rilevate in corrispondenza del sensore, di 0,33; 0,15 e 0,27 metri al secondo. Il valore di velocità al sensore più alto nel caso di prova con ugello di 20 millimetri si spiega col fatto che le prove con tale ugello vennero eseguite con sensore montato su un tronchetto di tubazione del diametro 20 millimetri invece che su tronchetto di tubazione del diametro 100 millimetri come nel caso di prove con ugello di diametro 70 e 50 millimetri.

■ **diametro degli ugelli costante**

Sono stati utilizzati ugelli di diametro 50 millimetri;

■ **distanza fra gli ugelli variabile**

Sono state sperimentate le seguenti quattro diverse distanze fra gli ugelli: 0,60 metri; 2 metri; 4 metri e 8 metri, che sono comprese tra il valore minimo, corrispondente alla sovrapposizione iniziale dei getti ed un valore massimo pari alla dimensione trasversale del pennacchio in superficie (pennacchi separati nella fascia di diluizione iniziale);

■ **numero di Froude variabile**

Le prove sono state condotte in tre diverse condizioni di velocità di efflusso, corrispondente ai tre valori fissati per il numero di Froude (10, 20, 30);

■ **condizioni di corrente marina variabile**

Tutte le prove sono state condotte nelle condizioni meteomarine reali che si verificavano durante le prove. Per rendere paragonabili i dati raccolti anche per queste prove si è operato sempre in regime di equicorrente al livello degli ugelli.

6.3. Misure

Per ognuna delle diverse condizioni sperimentali sopra descritte (getto unico e sovrapposizione di due getti) sono stati effettuati i seguenti controlli e rilevazioni strumentali:

■ nel liquame di fogna:

a) prelievo di uno o più campioni e determinazione sugli stessi di temperatura, salinità, silicati e saltuariamente metalli pesanti;

Tabella 5 - Velocità di efflusso del liquame dagli ugelli (V_g) sperimentate e relative portate di scarico (Q_g)

Diametro getto (mm)	N. di Froude	V_g (m/s)	Q_g (l/s)	Caratteristiche getto					
				N. di Froude	V_g (m/s)	Q_g (l/s)	N. di Froude	V_g (m/s)	Q_g (l/s)
100	5	0,80	6,28	10	1,60	12,56	30	4,80	37,68
70	10	1,37	5,18	20	2,74	10,36	30	4,11	15,54
50	10	1,16	2,28	20	2,32	4,56	30	3,48	6,84
20	10	0,74	0,24	20	1,48	0,48	30	2,22	0,72

Tabella 6 - Condizioni operative sperimentate nel caso di sovrapposizione di due getti di diametro costante ($D = 50$ millimetri)

Distanza fra gli ugelli (m)	Numero di Froude		
	10	20	30
0,60	x	x	x
2,00	x	x	x
4,00	x	x	x
8,00	x	x	x

- sull'acqua di mare lungo una verticale non interessata da presenza di liquami (bianco):
 - a) misura strumentale della salinità e della temperatura alle diverse profondità;
 - b) determinazione della trasparenza;
 - c) prelievo saltuario di campioni per misure di controllo della salinità;
- sul pennacchio di diffusione del getto:
 - a) misura strumentale della salinità alle diverse quote di risalita del pennacchio;
 - b) prelievo di campioni, alle stesse quote di risalita del pennacchio in cui si è misurata la salinità, per la determinazione analitica sugli stessi di salinità e silicati;
 - c) misure delle dimensioni orizzontali e verticali del pennacchio di diffusione in funzione della quota di risalita del getto;
- sulla bolla di affioramento del getto:
 - a) misura strumentale della salinità;
 - b) prelievo di campioni per la determinazione analitica della salinità e dei silicati;
 - c) stima del diametro della bolla;
 - d) misura dello spessore della bolla.

Durante ognuna delle prove effettuate sono state inoltre effettuate, con frequenza di 15 minuti, le seguenti rilevazioni meteomarine:

- direzione e velocità della corrente sia sul fondo (- 7 metri) che in superficie (- 1 metro);
- direzione e velocità del vento;
- stato di copertura del cielo;
- stato del mare.

Tavola 1

Rilevazioni meteorologiche e mareografiche effettuate durante le prove di controllo della salinità e della trasparenza nell'acqua di mare lungo una verticale non interessata da presenza di liquami (bianco) e sul pennacchio di diffusione del getto.

ORA	TEMPERATURA DELL'ARIA (°C)	TEMPERATURA DELL'ACQUA SUPERFICIALE (°C)	TEMPERATURA DELL'ACQUA A 1 METRO DI PROFONDITÀ (°C)	TEMPERATURA DELL'ACQUA A 7 METRI DI PROFONDITÀ (°C)	UMIDITÀ RELATIVA (%)	VELOCITÀ DEL VENTO (km/h)	DIREZIONE DEL VENTO	STATO DEL CIELO	STATO DEL MARE
08.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1
09.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1
10.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1
11.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1
12.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1

Tavola 2

Rilevazioni meteorologiche e mareografiche effettuate durante le prove di controllo della salinità e della trasparenza nell'acqua di mare lungo una verticale non interessata da presenza di liquami (bianco) e sul pennacchio di diffusione del getto.

ORA	TEMPERATURA DELL'ARIA (°C)	TEMPERATURA DELL'ACQUA SUPERFICIALE (°C)	TEMPERATURA DELL'ACQUA A 1 METRO DI PROFONDITÀ (°C)	TEMPERATURA DELL'ACQUA A 7 METRI DI PROFONDITÀ (°C)	UMIDITÀ RELATIVA (%)	VELOCITÀ DEL VENTO (km/h)	DIREZIONE DEL VENTO	STATO DEL CIELO	STATO DEL MARE
13.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1
14.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1
15.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1
16.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1
17.00	18.5	18.5	18.5	18.5	75	15	NE	3/8	1

7 condizioni operative

- 1. Qualificazione della persona incaricata nella direzione di progetto in base al suo profilo professionale nelle prove sperimentali. Tale qualifica viene il collaudo di performance finalizzato alla misura della prova di mare (prova di mare) svolta come parte integrante di un progetto di ricerca e sviluppo.
- 2. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 3. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 4. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 5. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 6. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 7. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 8. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 9. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 10. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 11. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 12. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 13. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 14. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 15. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 16. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 17. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 18. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 19. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.
- 20. Modalità di lavoro e di studio e di lavoro di un progetto di ricerca e sviluppo, in relazione alla natura delle attività e alla complessità delle attività, in modo da garantire la massima efficienza e la massima qualità del lavoro.

La presente relazione è stata redatta in conformità con le norme tecniche di riferimento e con le norme di riferimento in materia di progettazione e di esecuzione delle opere. La presente relazione è stata redatta in conformità con le norme tecniche di riferimento e con le norme di riferimento in materia di progettazione e di esecuzione delle opere.

- sull'acqua di mare (area non interessata da presenza di liquori (bivalvi, co):
 - a) misura strumentale della salinità e della temperatura;
 - b) determinazione della trasparenza;
 - c) prelievo saltuario di campioni per analisi di controllo della salinità;

- sul pennacchio di diffusione del liquido:
 - a) misure strumentali della salinità alle diverse quote del pennacchio;
 - b) misure strumentali della temperatura e della trasparenza;
 - c) misure delle salinità e delle temperature verticali del pennacchio di diffusione in funzione della quota di estrazione;

- sulla bolla di vetro (se presente):
 - a) misura strumentale della salinità;
 - b) misura della temperatura e della trasparenza;
 - c) misura del diametro della bolla;
 - d) misura dell'altezza della bolla;

Le misure strumentali sono effettuate con l'ausilio di un goniometro meteorologico.

- direzione e velocità della corrente sia sul fondo (7 metri) che in superficie;
- direzione e velocità del vento;
- stato di copertura del cielo;
- stato del mare;

Condizioni operative

7.1. Modalità

Lo schema operativo seguito prevedeva le seguenti fasi:

- disattivazione delle pompe installate nella stazione di pompaggio un paio di ore prima dell'inizio delle prove sperimentali. Tale manovra aveva il compito di permettere l'esecuzione delle misure sull'acqua di mare (bianco) nella stessa zona nella quale si svolgevano le prove sperimentali.
Per tutto il periodo in cui le pompe rimanevano disattivate il liquame che affluiva alla stazione di pompaggio veniva avviato a mare attraverso la tubazione di troppopieno;
- trasferimento, con il natante, degli operatori, delle attrezzature e degli strumenti dal porto di Anzio alla zona delle operazioni ed ormeggio del natante stesso alla boa fissa;
- determinazione sulla verticale dei parametri chimico-fisici (salinità, temperatura e trasparenza) delle acque di mare (bianco); saltuariamente prelievo dei campioni in superficie ed in profondità per la determinazione analitica di confronto della salinità;
- montaggio da parte degli operatori subacquei dell'attrezzatura posata sul fondale del mare (9), e del correntometro;
- orientamento dell'attrezzatura posata sul fondale del mare nella stessa direzione della corrente di fondo rilevata dal correntometro;
- montaggio del tronchetto di tubazione sul quale era fissata la scatola stagna del sensore del Sonaflo e dell'ugello che si prevedeva di sperimentare (preceduto o meno dalle curve);
- preparazione della soluzione di fluorescina, montaggio della tubazione di adduzione della soluzione stessa e collegamento della tubazione con la valvola di regolazione della portata;
- misura e registrazione dei parametri meteomarini ad intervalli di 15 minuti;
- attivazione di una pompa della stazione di sollevamento;
- prelievo di un campione di liquame di fognatura e misura della temperatura del liquame stesso (10);
- regolazione della velocità di efflusso del liquame dall'ugello fino al valore corrispondente al numero di Froude della prova che si prevedeva di effettuare. La regolazione era effettuata mediante la chiusura o l'apertura della valvola posta nella parte iniziale della tubazione principale dell'attrezzatura posata sul fondo del mare.

(9) L'attrezzatura posata sul fondale del mare veniva smontata e portata a terra al termine dei lavori ogni qualvolta si avevano dubbi in merito allo stato del mare. In questo caso, rimanevano sul fondo del mare solo i tralici di sostegno della tubazione principale comprese le gambe telescopiche, per altro vincolate mediante cime alla tubazione del diffusore, ed in alcuni casi rimaneva anche il tubo flessibile impiegato per il collegamento dell'attrezzatura posata sul fondale con la testata del diffusore. Nelle altre occasioni, sul fondo del mare rimaneva l'attrezzatura completa con esclusione del tronchetto di tubazione sul quale era fissata la scatola stagna contenente il sensore del Sonaflo e di tutto quanto veniva montato a valle di tale tronchetto.

(10) Il prelievo del campione di liquame di fognatura è stato effettuato a diverse ore del giorno.

- b) distanza dal fondo del mare delle pinzette poste sulle sagole nel punto in cui queste tagliavano l'asse del pennacchio di risalita del getto (13);
- c) distanza dal fondo del mare della pinzetta che individuava il bordo inferiore del pennacchio sulla sagola posta al centro della bolla di affioramento (sagola n. 4) (fig. 24) (14);
- d) distanza dall'ugello di tutte le sagole posate e angolo di divaricazione del getto rispetto alla direzione dell'ugello (cfr. fig. 24) (15);
- e) distanza fra le due pinzette che delimitavano, su ogni sagola, il bordo inferiore e superiore del pennacchio (cfr. fig. 25);
- f) dimensione orizzontale del pennacchio in corrispondenza delle pinzette centrali di ogni sagola (diametro getto);

■ stima del raggio della bolla di affioramento.

7.2. Programma operativo

Per avere un quadro riassuntivo della cronologia della campagna di prove sperimentali effettuate e per offrire una visione globale dell'articolazione delle prove stesse sono state compilate le seguenti tabelle 7, 8 e 9.

Tabella 7 - Programma operativo relativo alle prove sperimentali effettuate con getto unico in posizione orizzontale

Diametro ugello (millimetri)	Numero di Froude			
	5	10	20	30
100	13/10*	12/10*		11/10*
	16/10	15/10		15/10
70		14/10*		14/10*
		29/10	4/11	29/10
50		4/11		
		17/11	4/11	16/10
20		13/11	13/11	13/11
		20/11	20/11	20/11

* Prove preliminari.

Nelle tabelle sono riportate sia le date di esecuzione delle prove che le date di ripetizione di alcune di esse. In questo ultimo caso, la casella relativa alla prova riporta due date. Il calendario delle prove è stato interrotto due volte per effettuare un primo esame dei dati raccolti e per decidere eventuali ripetizioni di prove.

- (13) Il livello di risalita del pennacchio si ottiene sottraendo da questa misura quella relativa alla voce precedente.
- (14) Lo spessore del pennacchio di risalita del getto in corrispondenza del centro della bolla di affioramento si ricava sottraendo dalla profondità del mare in quel punto (9 metri) questa distanza.
- (15) Questi valori sono stati determinati misurando al suolo sia la distanza fra la proiezione del punto di uscita del liquame dall'ugello e le sagole, che l'angolo di divaricazione delle sagole stesse dalla direzione dell'ugello.

La prima interruzione, dopo otto prove, è coincisa con un periodo di mare perturbato dal 19 ottobre al 24 dello stesso mese, mentre la seconda interruzione è stata effettuata il giorno 7 novembre.

Tabella 8 - Programma operativo relativo alle prove sperimentali effettuate con il getto di diametro 100 millimetri a diversa inclinazione

Angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale	Numero di Froude		
	5	10	30
- 45°	1/11	1/11	2/11
0°	16/10	15/10	15/10
+ 45°	25/10 10/11	17/10	17/10
+ 90°	25/10 10/11	25/10	27/10

Tabella 9 - Programma operativo relativo alle prove sperimentali di sovrapposizione dei getti effettuate con due ugelli di diametro 50 millimetri posti a diverse distanze fra di loro

Distanza fra gli ugelli (metri)	Numero di Froude		
	10	20	30
0,60	31/10	3/11	31/10
	17/11		
2,00	31/10	3/11	31/10
	17/11		
4,00	30/10	3/11	30/10
	17/11		
8,00	3/11	3/11	3/11

Figura 24 - Misura della distanza delle sagole dall'ugello e dell'angolo di divaricazione del getto (proiezione orizzontale)

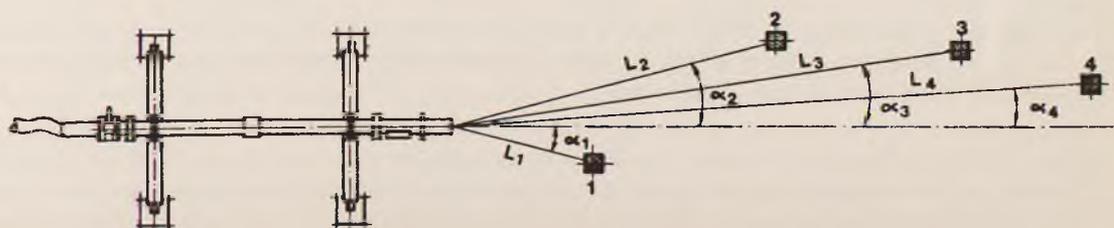
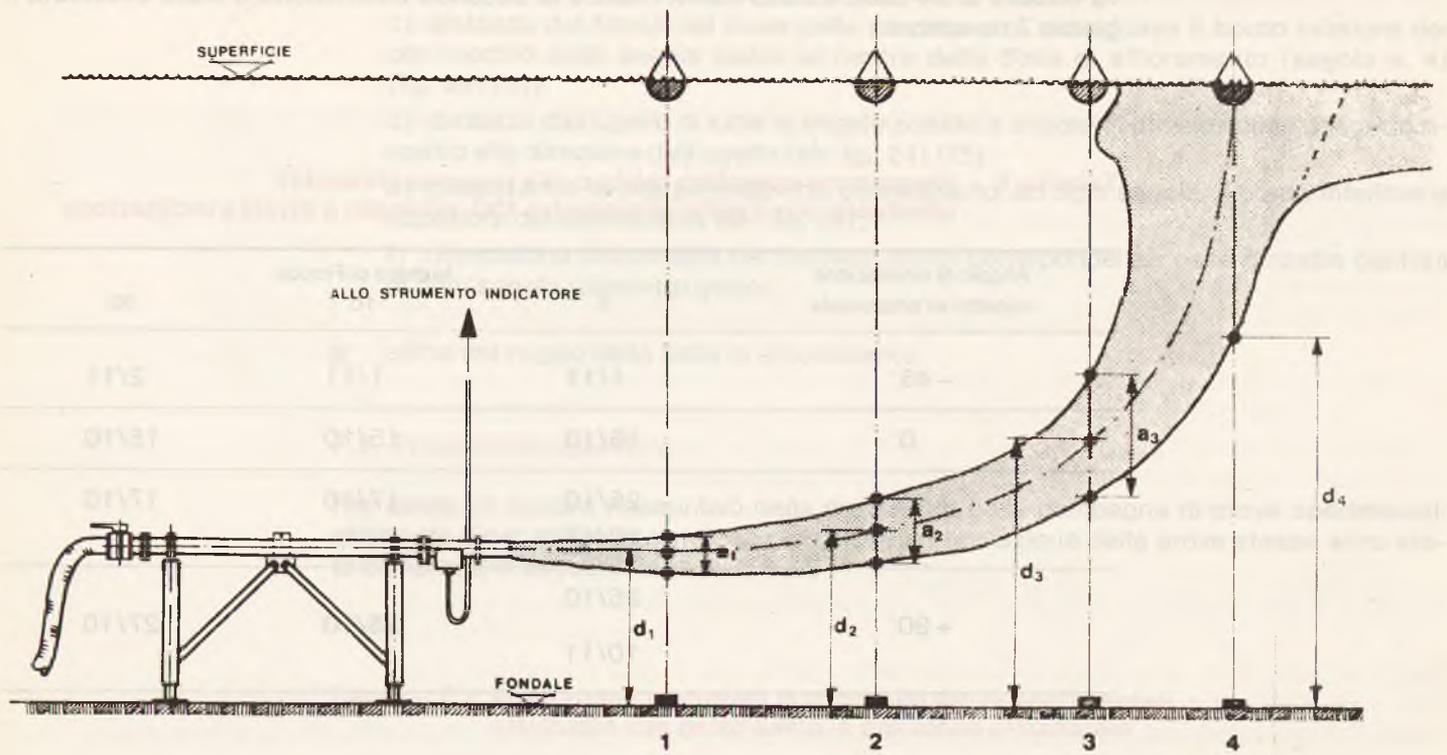
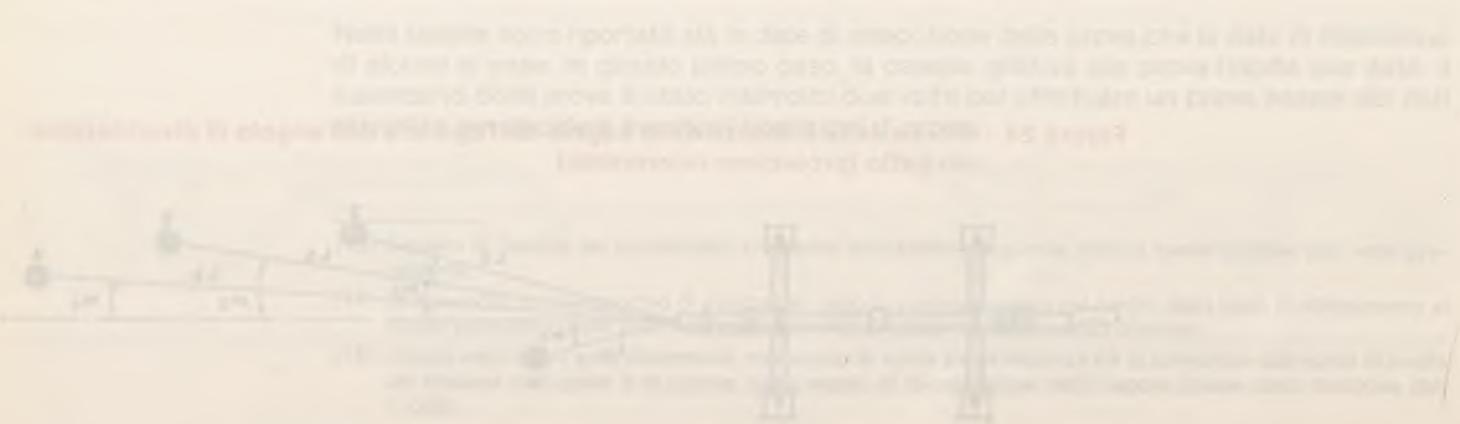


Figura 25 - Misure verticali effettuate sulle sagole



Faint, illegible text and a table structure are visible in the background of the page, likely bleed-through from the reverse side.



8 esame dei dati sperimentali

■ dati meteomarini

■ dati chimico-fisici

■ dati geometrici

Figure 25 - Misure verticali effettuate



Esame dei dati sperimentali

8.1. Dati meteomarini

Le prove sperimentali vere e proprie si sono svolte in un periodo di tempo che va dall'11 ottobre al 21 novembre 1978 caratterizzato da condizioni meteomarine assai favorevoli (mare calmo e regime di brezze). In tali condizioni si sono riscontrati valori di velocità di corrente, sia al fondo che in superficie, assai bassi se non addirittura assenza di correnti.

Ciò ha favorito il buon esito delle prove effettuate, anche se in alcuni casi ha dato origine a fenomeni di intrappolamento del pennacchio di diffusione non giustificabili in base alle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua di mare.

Le buone condizioni meteomarine hanno anche, in qualche misura, facilitato il lavoro degli operatori subacquei, consentendo di effettuare tutte le prove entro il tempo previsto per questa fase di lavoro.

Il perdurare delle favorevoli condizioni meteorologiche ha permesso inoltre di ripetere alcune prove i cui risultati sembravano non allineati con le indicazioni generali emesse dal complesso dei dati ottenuti.

Sono stati rilevati in totale n. 1.808 dati meteomarini, di cui 440 relativi alle correnti profonde (- 7 metri); 456 relativi alle correnti superficiali (- 1 metro), 684 relativi all'atmosfera e 228 relativi allo stato del mare, il 40% dei dati correntometrici misurati su correnti profonde hanno rilevato assenza di corrente, il 52% correnti con velocità inferiori a 5 centimetri al secondo e il restante 8% correnti con velocità superiori a 5 centimetri al secondo con un punta massima di 9 centimetri al secondo. I corrispondenti valori riscontrati sulle correnti superficiali sono: 27% assenza di corrente, 49% correnti inferiori a 5 centimetri al secondo, 24% correnti superiori a 5 centimetri al secondo con una punta massima di 15 centimetri al secondo.

La direzione di moto della corrente profonda è risultata nel 3% dei casi orientata verso il 1° quadrante, nel 17% dei casi orientata verso il 2° quadrante, nel 3% dei casi orientata verso il 3° quadrante e nel 37% dei casi orientata verso il 4° quadrante; le corrispondenti percentuali relative alle correnti superficiali sono: 16% verso il 1° quadrante, 17% verso il 2° quadrante, 1% verso il 3° quadrante e 39% verso il 4° quadrante.

Risulta evidente una discreta concordanza fra l'andamento delle direzioni delle correnti superficiali e profonde; esse sono orientate prevalentemente (39% e 37% dei casi) verso il quarto quadrante e cioè seguono una direzione all'incirca parallela alla linea di costa.

Una discreta percentuale, pari al 33%, delle direzioni rilevate nelle correnti superficiali, è però anche orientata verso il primo e secondo quadrante, cioè ha un andamento dal largo verso la costa. Ciò va considerato con molta attenzione ai fini della salvaguardia igienico-sanitaria delle coste soprattutto per quanto riguarda gli aspetti balneari.

Risulta palese, proprio in questi casi di corrente sfavorevole, la necessità di raggiungere il massimo rapporto di diluizione già nella fase di risalita in superficie del liquame (che si ottiene con un corretto dimensionamento del diffusore), non potendo contare in modo determinante sulla diluizione susseguente che si produce in superficie nella fase di trasporto dei liquami.

L'esame dei dati correntometrici infine non ha messo in evidenza l'effetto rotatorio in senso orario delle correnti profonde rispetto a quelle superficiali (spirale di Ekman).

La causa di tale anomalia va sicuramente ricercata nella limitata profondità dei fondali esaminati (9 metri), per cui il fenomeno in causa è stato, nella maggior parte dei casi, annullato dalla presenza di altre componenti di moto più attive in zone costiere.

Per quanto riguarda il vento si può dire che nel 29% delle rilevazioni è stata riscontrata assenza di vento, nel 15% è stato rilevato vento con velocità inferiore ad 1 metro al secondo, nel 51% vento con velocità compresa fra 1 e 5 metri al secondo e nel 5% vento con velocità superiore a 5 metri al secondo. La suddivisione percentuale dell'andamento della direzione del vento è la seguente: nel 3% dei casi i venti provenivano dal 1° qua-

drante, nel 41% dei casi spirante dal 2° quadrante, nel 7% dei casi dal 3° quadrante e nel 20% dei casi spirante dal 4° quadrante.

Infine le condizioni del mare si sono mantenute calme o quasi calme nell'86% delle rilevazioni effettuate, mentre nel restante 14% del tempo di lavoro le condizioni del mare sono state di forza 1-2. Occorre rilevare che data la delicatezza del lavoro sperimentale *in situ*, la sperimentazione non poteva essere effettuata con mare oltre forza 2 della scala Beaufort.

8.2. Dati chimico-fisici

8.2.1. Temperatura

Rilevamenti di temperatura sono stati effettuati sulle acque del mare (bianco) e sui liquami grezzi di fognatura.

Per quanto riguarda le acque del mare si rileva che i valori di temperatura si sono mantenuti attorno a 18-20 °Celsius, con punta massima di 21,60 °C in superficie e minima di 17,85 °C al fondo. La massima variazione di temperatura riscontrata fra la superficie del mare ed il fondo è stata di 0,95 °C (da 19,25 °C a 18,30 °C), mentre nella maggioranza dei casi la stessa variazione è oscillata fra gli 0,2 ÷ 0,3 °C quando addirittura non è stata riscontrata omotermia. La temperatura dei liquami grezzi è risultata variabile tra il valore minimo di 18 °C ed il valore massimo di 19,7 °C; cioè la temperatura dei liquami si è mantenuta all'interno del campo di temperature riscontrate nelle acque di mare.

In totale sono stati effettuati 168 rilievi di temperatura di cui 15 sui liquami grezzi.

8.2.2. Salinità

Le determinazioni del contenuto salino sono state effettuate sulle acque del mare (bianco), sulla miscela di acque di mare e liquame di fognatura costituente il pennacchio di diffusione del getto compresa la bolla di affioramento, e sui liquami di fognatura grezzi. Nelle acque di mare la determinazione della salinità è stata effettuata mediante salinometro di precisione e il valore si è mantenuto attorno ai 38 grammi per chilo; saltuariamente sono stati prelevati alle diverse profondità campioni, inviati successivamente all'Istituto Talassografico di Trieste, per un riscontro analitico sui dati del salinometro. La differenza media fra i valori di salinità rilevati con il salinometro e quelli determinati dall'Istituto Talassografico è risultata di - 0,140 grammi per chilo con una differenza massima di - 0,206 grammi per chilo ed una differenza minima di - 0,035 grammi per chilo. La salinità del miscuglio del pennacchio di diffusione e della bolla di affioramento è stata sia misurata direttamente con il salinometro di precisione che determinata dall'Istituto Talassografico su campioni prelevati dai secchi sul contenuto dei quali era stata effettuata la misura strumentale della salinità. Lo scostamento medio (16) fra le due serie di valori (salinometro - Talassografico) relativi al pennacchio di diffusione è risultato di - 0,351 grammi per chilo mentre quello relativo alla bolla di affioramento è risultato di - 0,042 grammi per chilo, cioè del tutto trascurabile.

La salinità dei liquami di fogna grezzi, determinata analiticamente su campioni prelevati alla stazione di pompaggio, è risultata variabile fra 0,13 e 0,18 grammi per chilo.

Nel complesso sono riportate, nel presente lavoro, complessivamente 286 misure dirette di salinità con salinometro di precisione, e 168 determinazioni di salinità.

8.2.3. Silicati

Come verifica dei valori di diluizione calcolati con i dati di salinità è stato previsto il calcolo della diluizione mediante i dati dei silicati. Sono stati pertanto rilevati i silicati sia nel pennacchio di diffusione, compresa la bolla di affioramento, che nei liquami grezzi. Purtroppo l'errore tipico della metodica analitica impiegata ($\pm 0,1 \div 0,2$ milligrammi per litro) è stato in più occasioni tale da rendere poco significativo il dato dei silicati ricavato. Ciò è risultato più evidente dove il valore dei silicati era molto basso (bolla di affioramento) e di conseguenza l'errore di analisi ha potuto incidere maggiormente.

In totale sono state effettuate 152 analisi di silicati di cui 18 sui liquami grezzi.

(16) Sono stati trascurati, nel calcolo dello scostamento medio, sia la massima differenza negativa e positiva fra i valori rilevati con il salinometro e quelli determinati dall'Istituto Talassografico di Trieste, che i dati di salinità relativi alle prove iniziali (D = 100 millimetri, $\alpha = 0^\circ$, F = 5 ÷ 10 ÷ 30; D = 100, $\alpha = +45^\circ$; F = 10 ÷ 30; D = 50 millimetri; $\alpha = 0^\circ$; F = 30), dal momento che gli scostamenti relativi a queste prove, almeno nel pennacchio di diffusione, sono risultati rilevanti a motivo del non corretto impiego del salinometro di precisione.

8.3. Dati geometrici

Per individuare in modo preciso l'andamento del pennacchio di diffusione sono state effettuate da parte degli operatori subacquei misure relative alla geometria del pennacchio stesso. In particolare, sono state rilevate l'altezza dell'ugello dal fondo del mare, la quota di risalita dei punti di campionamento, la dimensione verticale del pennacchio in corrispondenza dei punti di campionamento, la distanza in orizzontale dall'ugello delle sagole costituenti il reticolo di riferimento e l'angolo di divaricazione delle sagole medesime dalla direzione dell'ugello.

Il raggio della bolla di affioramento veniva misurato dalla imbarcazione.

In caso di getto intrappolato era prevista anche la misura della profondità di intrappolamento e dello spessore del getto. In totale sono state effettuate 671 misure relative alla geometria dei pennacchi di diffusione.

- ugello singolo di diametro 100 millimetri
- ugello singolo di diametro 70 millimetri
- ugello singolo di diametro 50 millimetri
- sovrapposizione di due getti immessi in mare con ugelli di diametro 50 millimetri
- ugello singolo di diametro 20 millimetri

9 confronto fra i valori di diluizione iniziale ottenuti sperimentalmente e le formule tecniche ed i diagrammi più usati

- ugello singolo di diametro 100 millimetri
- ugello singolo di diametro 70 millimetri
- ugello singolo di diametro 50 millimetri
- sovrapposizione di due getti immessi in mare con ugelli di diametro 50 millimetri
- ugello singolo di diametro 20 millimetri

è confronto tra i valori di diluizione
iniziale ottenuti sperimentalmente
e le formule tecniche
ed i diagrammi più usati

■ ugello singolo di diametro
100 millimetri

■ ugello singolo di diametro
70 millimetri

■ ugello singolo di diametro
50 millimetri

■ sovrapposizione di due getti
immessi in mare con ugelli di
diametro 50 millimetri

■ ugello singolo di diametro
50 millimetri

Confronto fra i valori di diluizione iniziale ottenuti sperimentalmente e le formule tecniche ed i diagrammi più usati

La determinazione della diluizione iniziale dei liquami immessi in mare, come ricordato in precedenza, è stata effettuata mediante il controllo del valore di salinità alle diverse quote di risalita del pennacchio. Tale procedura è giustificata dal fatto che la salinità, fra tutti i parametri conservativi il cui andamento è soggetto prevalentemente alle leggi della diluizione, è di determinazione rapida e relativamente semplice sia per la lettura diretta (salinometro Beckman) che in laboratorio.

Come controllo della diluizione determinata mediante la salinità è stata prevista la determinazione della diluizione anche mediante un altro parametro conservativo e cioè i silicati. Con tale procedura si è voluto eliminare o ridurre al minimo eventuali errori legati alle difficoltà operative specifiche dell'ambiente di lavoro.

I dati di diluizione sono stati quindi correlati alle caratteristiche chimico-fisiche delle acque del mare (determinazioni sul bianco) ed alle condizioni meteomarine esistenti.

In tale modo è stato possibile valutare l'influenza delle variazioni di densità delle acque del mare, delle variazioni di velocità della corrente e del moto ondoso sulla diluizione iniziale riscontrata.

I valori di diluizione sono stati calcolati sia con i dati di salinità misurati con il salinometro di precisione, che con i dati di salinità riscontrati su campioni prelevati con le modalità in precedenza descritte dall'Istituto Talassografico di Trieste adottando la seguente formula:

$$dy = \frac{S}{S - S_y}$$

dove

dy = diluizione sperimentale alla quota «y» di risalita del getto

S = valore di salinità delle acque del mare (bianco)

S_y = valore di salinità misurata alla quota «y» di risalita del getto.

Nel caso di impiego della formula sopra riportata con i dati di salinità rilevati dall'Istituto Talassografico si sono riscontrate alcune imprecisioni dovute alla carenza di misure di salinità da parte dell'Istituto Talassografico stesso su campioni di acque di mare (bianco). Sono stati, infatti, prelevati in tutto 12 campioni di acque di mare sui quali l'Istituto menzionato ha effettuato la determinazione della salinità.

Per ovviare a tale carenza di dati è stato calcolato il valore medio della differenza fra i dati forniti dal salinometro di precisione impiegato per le misure dirette della salinità in campagna e i dati rilevati sul bianco dall'Istituto Talassografico (- 0,140 grammi per chilo) e tale valore medio è stato sottratto al dato di salinità rilevato in campagna sul bianco con salinometro, in tutti i casi in cui mancava il riscontro del predetto Istituto. Con tale procedura tuttavia sono stati ottenuti in alcune prove valori di diluizione non attendibili.

Anche nel caso di calcolo del rapporto di diluizione con l'impiego dei dati relativi ai silicati sono stati rilevati in alcuni casi valori non corretti. Purtroppo anche in questo caso le cause di tali anomalie vanno ricercate nella carenza di dati disponibili oltre che nella precisione insita nella metodica di analisi impiegata nella determinazione dei silicati (17).

La formula usata per il calcolo del rapporto di diluizione è la seguente:

$$d_y = \frac{S_i - S_i}{S_{iy} - S_i}$$

(17) Per la determinazione dei silicati è stata adottata la metodica d'analisi riportata dal *Marine Chemistry 1968* la quale garantisce una precisione di $\pm 0,1 \div 0,2$ milligrammi per litro.

dove

d_y = diluizione sperimentale alla quota «y» di risalita del getto

Si_l = valore dei silicati nel liquame di fogna

Si = valore dei silicati nelle acque del mare (bianco)

Si_y = valore dei silicati alla quota «y» di risalita del getto.

Non essendo stata effettuata alcuna analisi di silicati sulle acque del mare, si è introdotto nella formula sopra citata il valore medio dei silicati riscontrati sul bianco in precedenti campagne di indagini ($Si = 0,05$ milligrammi per litro). Inoltre il valore dei silicati nei liquami di fogna utilizzato ai fini del calcolo della diluizione è stato quello determinato, nella quasi totalità dei casi, un'unica volta durante la giornata ad un certo istante. Tale valore però, come dimostrato anche dall'insieme di tutti i dati rilevati, relativi ai campioni prelevati giorno per giorno in orari diversi, non è costante su tutto l'arco delle 24 ore e di conseguenza è possibile che il liquame impiegato in un certo istante nelle prove sperimentali avesse un tenore di silicati diverso da quello rilevato sui liquami ma in un diverso periodo della giornata.

Infine l'analisi dei silicati determina i sali di Si solubili e pertanto un'eventuale precipitazione di questi sali immessi in mare con lo scarico, può condurre a valori di diluizione superiori al reale.

Nelle pagine che seguono vengono confrontate le curve di diluizione riscontrate sperimentalmente prova per prova con quelle teoriche valutate con le formule di Cederwall e con quelle sperimentali ricavate dal grafico di Rawn e collaboratori.

Per quanto riguarda i valori di diluizione ricavati con i dati di salinità rilevati dall'Istituto Talassografico di Trieste e con i dati dei silicati, il confronto viene effettuato con il solo valore relativo alla bolla di affioramento e per le sole prove in cui questi dati sono stati ritenuti, per le cause sopra menzionate, attendibili.

9.1. Ugello singolo di diametro 100 millimetri

9.1.1. $D = 100$ millimetri: $\alpha = 0^\circ$; $F = 5$; $V_g = 0,80$ metri al secondo

La curva sperimentale eseguita con i valori di diluizione calcolati in base ai dati di salinità riscontrati con il salinometro interpola nella parte finale la analoga curva tracciata con i dati ricavati dal grafico sperimentale di Rawn e collaboratori (cfr. fig. 26).

In corrispondenza della bolla di affioramento, essendo risultata facile la identificazione del centro della bolla stessa, si riscontra un'ottima correlazione fra il valore sperimentale ed il corrispondente valore della curva teorica (curva tracciata con i valori di diluizione calcolati con la formula di Cederwall). La parte iniziale della curva sperimentale non è attendibile a causa della difficoltà riscontrata dall'operatore subacqueo nella misura della salinità mediante impiego diretto del salinometro. Essendo infatti le dimensioni del pennacchio di risalita, nella parte iniziale, assai ridotte, l'inserimento nel pennacchio stesso dell'elettrodo del salinometro (diametro 20 centimetri), determinava uno spandimento del pennacchio stesso e, di conseguenza, l'impossibilità di rilevare la salinità sull'asse centrale del pennacchio. Inoltre il pennacchio nella parte iniziale, risultando costituito, a causa della notevole turbolenza del getto, da filetti fluidi di liquame e di acqua di mare accostati ma separati, non consentiva un'utilizzazione corretta del salinometro.

Tali difficoltà pratiche, riscontrate durante le prime prove, sono state poi eliminate totalmente mediante l'adozione di un sistema diverso di campionamento e di misura della salinità messo a punto dopo la prima interruzione dei lavori, cioè dopo che erano state eseguite le prime sei prove sperimentali ($D = 100$ millimetri, $\alpha = 0^\circ$, $F = 5 \div 5 \div 10 \div 30$; $D = 100$ millimetri, $\alpha = 45^\circ$, $F = 10 \div 30$ e $D = 50$ millimetri, $\alpha = 0^\circ$, $F = 30$).

9.1.2. $D = 100$ millimetri: $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$; $V_g = 1,60$ metri al secondo

Il valore di diluizione calcolato con il dato di salinità, rilevato mediante salinometro al centro della bolla di affioramento, è del tutto inspiegabile e certamente deve essere intervenuto qualche fenomeno esterno non individuato a determinare un valore di diluizione tanto basso ($d = 25,3$). Ciò è per altro evidenziato, seppure in minor misura, dalle analisi effettuate sul campione prelevato al centro della bolla di affioramento, che fissano la diluizione al valore 36,8, assai inferiore comunque al valore teorico uguale a 49,4 e ancor di più al valore sperimentale di Rawn e collaboratori uguale a circa 58 (cfr. fig. 27).

Diluizione corretta, compresa fra il dato teorico e quello sperimentale di Rawn, si riscontra invece al centro della bolla di affioramento utilizzando, per il calcolo della diluizione, il

Figura 26 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 100 millimetri e numero di Froude 5

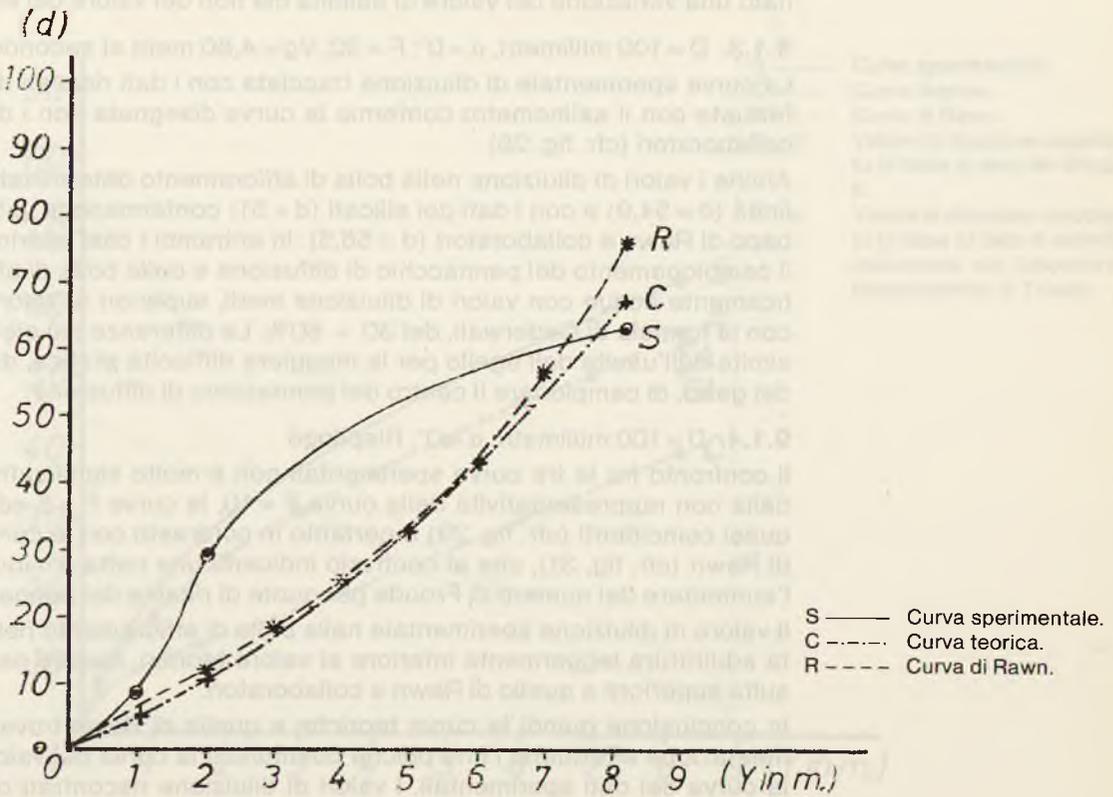
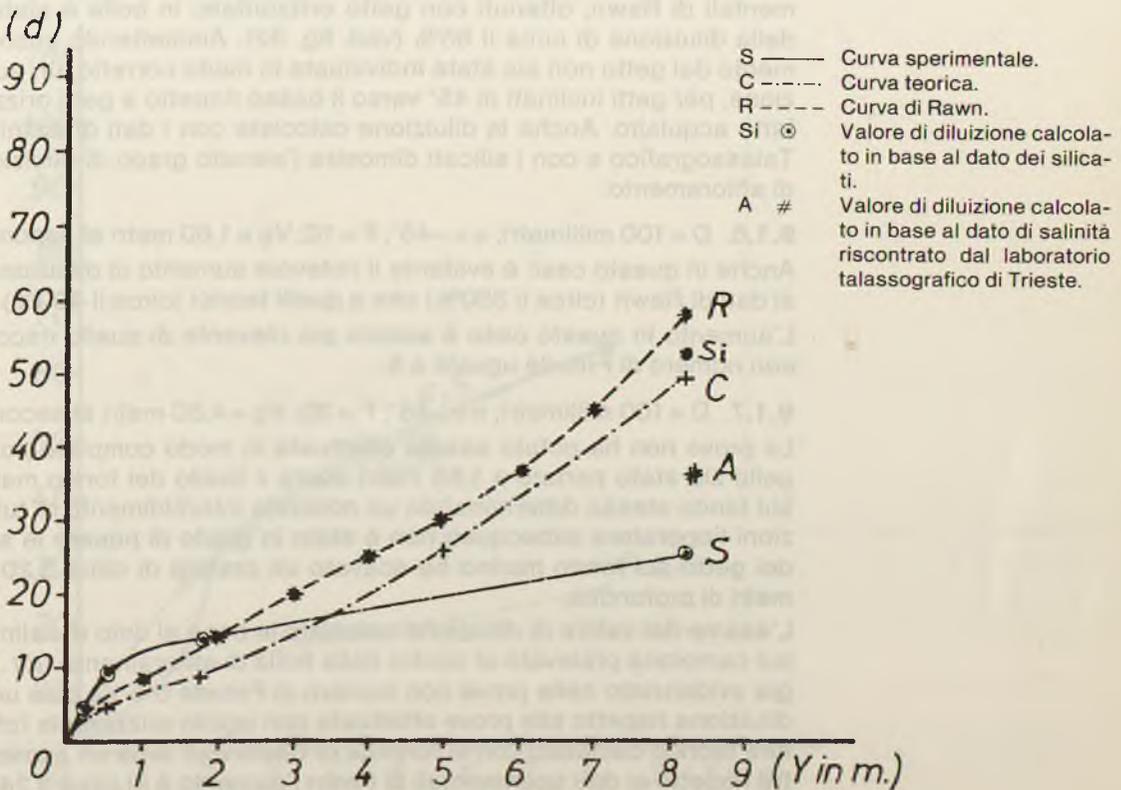


Figura 27 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 100 millimetri e numero di Froude 10



valore relativo ai silicati ($d = 52$). Dal che sembrerebbe possibile affermare che il fenomeno esterno evidenziato solo sulla superficie del mare ma non in profondità, dove i valori di diluizione riscontrati sono risultati superiori ed uguali a quelli di Rawn, avrebbe determinato una variazione del valore di salinità ma non del valore dei silicati.

9.1.3. $D = 100$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 30$; $V_g = 4,80$ metri al secondo

La curva sperimentale di diluizione tracciata con i dati ricavati dalle misure di salinità effettuate con il salinometro conferma la curva disegnata con i dati dell'abaco di Rawn e collaboratori (cfr. fig. 28).

Anche i valori di diluizione nella bolla di affioramento determinati con i dati analitici di salinità ($d = 54,9$) e con i dati dei silicati ($d = 51$) confermano la validità sperimentale dell'abaco di Rawn e collaboratori ($d = 56,5$). In entrambi i casi sperimentali si evidenzia come il campionamento del pennacchio di diffusione e della bolla di affioramento interessi praticamente acque con valori di diluizione medi, superiori ai valori minimi teorici, ricavabili con la formula di Cederwall, del $30 \div 60\%$. Le differenze più elevate si verificano in prossimità dell'uscita dell'ugello per la maggiore difficoltà pratica, date le limitate dimensioni del getto, di campionare il centro del pennacchio di diffusione.

9.1.4. $D = 100$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$. Riepilogo

Il confronto fra le tre curve sperimentali non è molto significativo perché, a prescindere dalla non rappresentatività della curva $F = 10$, le curve $F = 5$ ed $F = 30$, risultano essere quasi coincidenti (cfr. fig. 29) e pertanto in contrasto con le curve teoriche (cfr. fig. 30) e di Rawn (cfr. fig. 31), che al contrario indicano una netta diminuzione della diluizione all'aumentare del numero di Froude per quote di risalita del pennacchio di 8 metri.

Il valore di diluizione sperimentale nella bolla di affioramento nel caso di curva $F = 5$ risulta addirittura leggermente inferiore al valore teorico, mentre nel caso di curva $F = 30$ risulta superiore a quello di Rawn e collaboratori.

In conclusione quindi le curve teoriche e quelle di Rawn trovano conferma nella sperimentazione effettuata; l'una poiché costituisce la curva dei valori minimi, l'altra perché è la curva dei dati sperimentali. I valori di diluizione riscontrati oscillano infatti tra le due curve con leggeri scostamenti al di fuori del campo intermedio.

9.1.5. $D = 100$ millimetri; $\alpha = -45^\circ$; $F = 5$; $V_g = 0,80$ metri al secondo

I valori di diluizione calcolati con i dati di salinità rilevati mediante salinometro dimostrano un vistoso miglioramento nel grado di diluizione riscontrato su tutto l'asse del pennacchio di diffusione del getto rispetto alla prova effettuata con getto orizzontale (aumento della diluizione nella bolla di affioramento di circa il 100%). Rispetto ai valori sperimentali di Rawn, ottenuti con getto orizzontale, in bolla è stato rilevato un incremento della diluizione di circa il 65% (ved. fig. 32). Ammettendo anche che la bolla di affioramento del getto non sia stata individuata in modo corretto, un aumento del grado di diluizione, per getti inclinati di 45° verso il basso rispetto a getti orizzontali, è sicuramente un fatto acquisito. Anche la diluizione calcolata con i dati di salinità riscontrati dall'Istituto Talassografico e con i silicati dimostra l'elevato grado di diluizione raggiunto nella bolla di affioramento.

9.1.6. $D = 100$ millimetri; $\alpha = -45^\circ$; $F = 10$; $V_g = 1,60$ metri al secondo

Anche in questo caso è evidente il notevole aumento di diluizione riscontrato sia rispetto ai dati di Rawn (circa il 350%) che a quelli teorici (circa il 400%) (cfr. fig. 33).

L'aumento in questo caso è ancora più rilevante di quello riscontrato nel caso di prova con numero di Froude uguale a 5.

9.1.7. $D = 100$ millimetri; $\alpha = -45^\circ$; $F = 30$; $V_g = 4,80$ metri al secondo

La prova non ha potuto essere effettuata in modo completo poiché il getto, benché l'ugello sia stato portato a 1,65 metri sopra il livello del fondo marino, urtava con violenza sul fondo stesso determinando un notevole intorbidimento di tutta l'acqua. In tale condizioni l'operatore subacqueo non è stato in grado di posare le sagole n. 2 e 3. L'impatto del getto sul fondo marino ha scavato un cratere di circa 5,20 metri di diametro e 1,20 metri di profondità.

L'esame del valore di diluizione calcolato in base al dato di salinità fornito da salinometro sul campione prelevato al centro della bolla di affioramento (cfr. fig. 34) conferma quanto già evidenziato nelle prove con numero di Froude 5 e 10, cioè un notevole aumento della diluizione rispetto alle prove effettuate con ugello orizzontale (cfr. fig. 35). Rispetto al valore teorico calcolato con la formula di Cederwall si ha un aumento di circa il 360% mentre rispetto ai dati sperimentali di Rawn l'aumento è di circa il 240%.

Figura 28 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 100 millimetri e numero di Froude 30

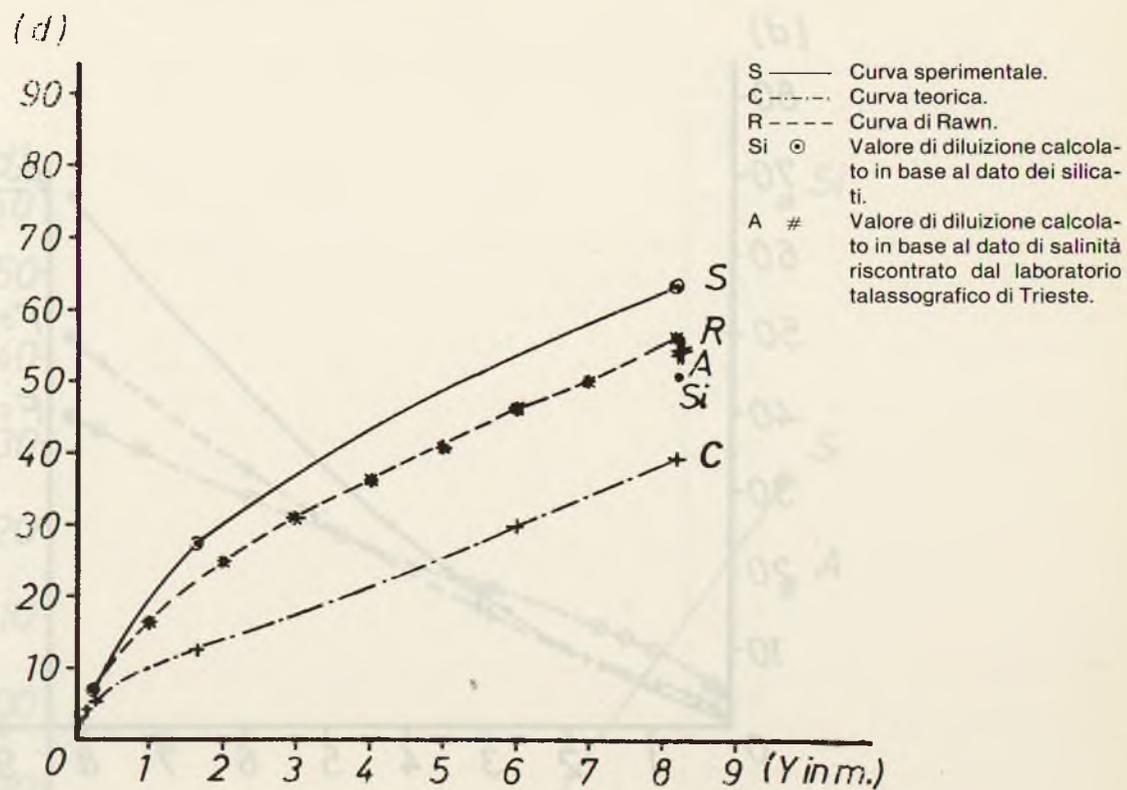


Figura 29 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 100 millimetri, di direzione orizzontale

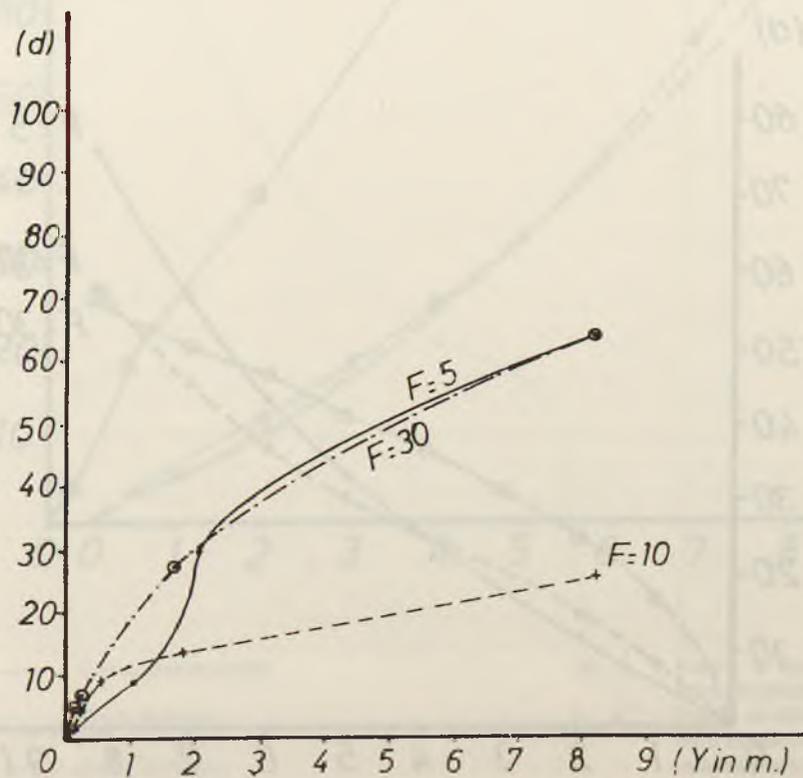


Figura 30 - Curve di diluizione teorica calcolate con la formula di Cederwall per ugelli di diametro 100 millimetri, di direzione orizzontale

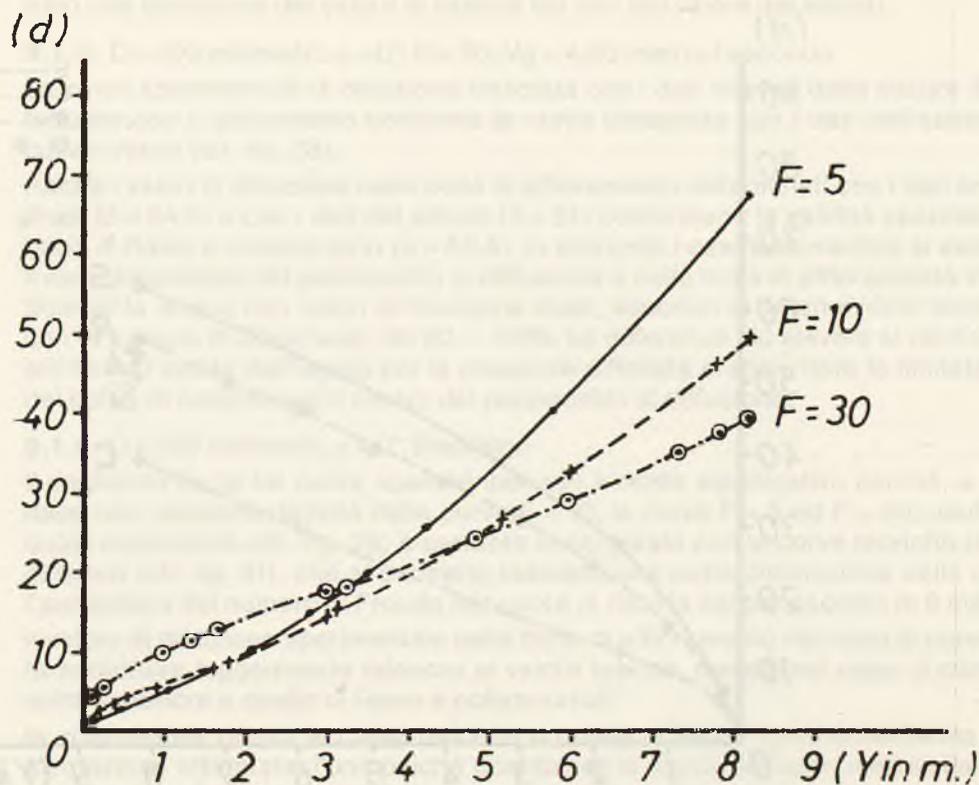


Figura 31 - Curve di diluizione sperimentale calcolate con i dati del grafico di Rawn, Bowerman e Brooks per ugelli di diametro 100 millimetri, di direzione orizzontale

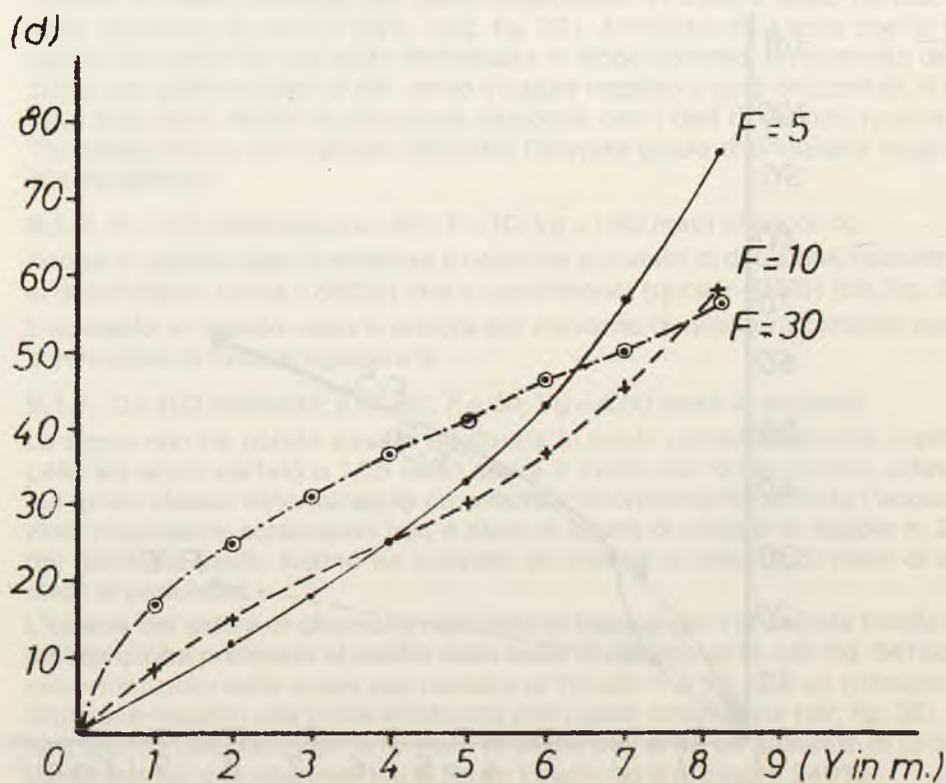
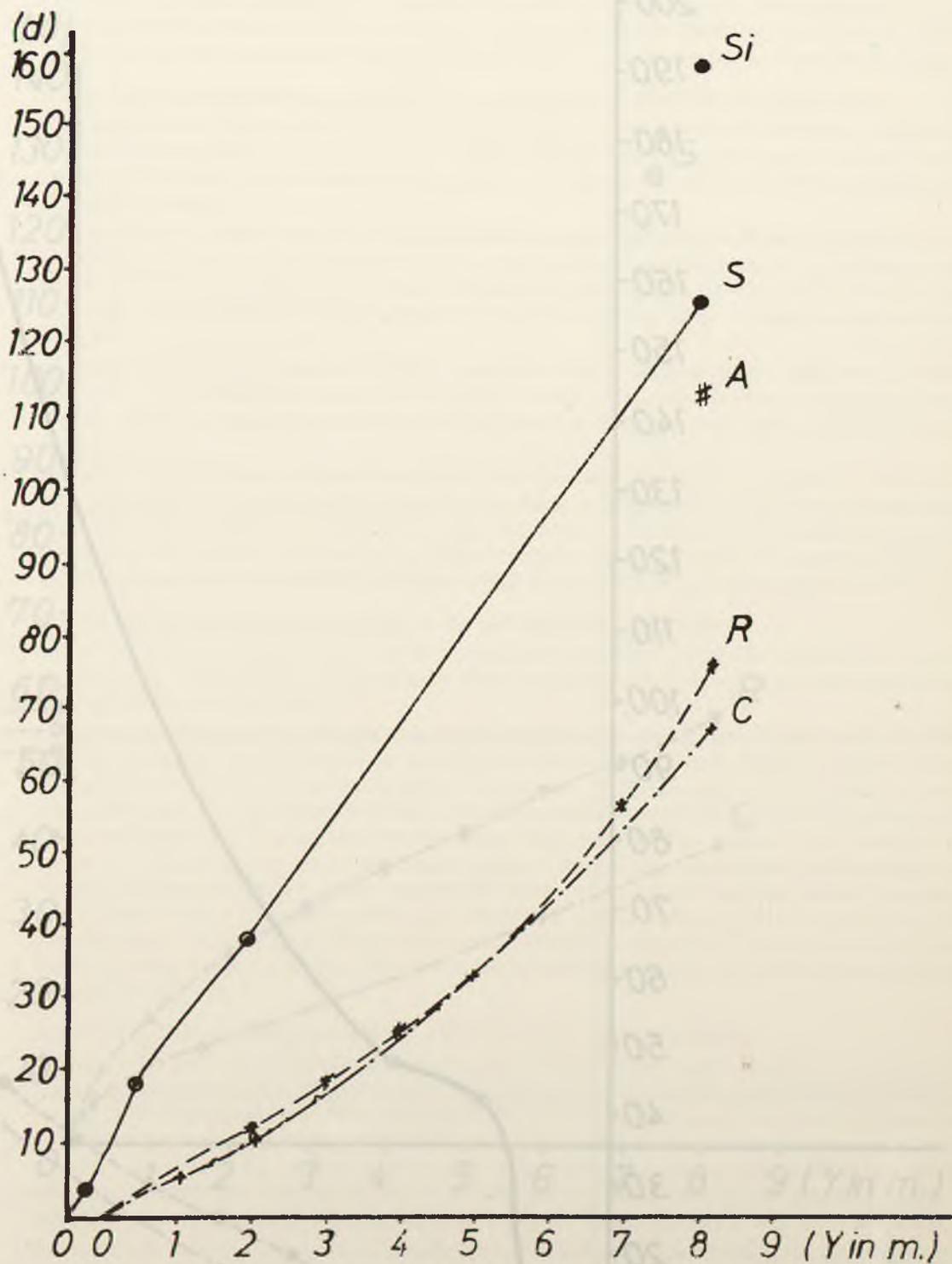


Figura 32 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello di diametro 100 millimetri, inclinato di 45° verso il basso e numero di Froude 5



S — Curva sperimentale.

C - - - Curva teorica.

R - · - Curva di Rawn.

Si ⊙ Valore di diluizione calcolato in base al dato dei silicati.

A # Valore di diluizione calcolato in base al dato di salinità riscontrato dal laboratorio talassografico di Trieste.

Figura 33 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello di diametro 100 millimetri, inclinato di 45° verso il basso e numero di Froude 10

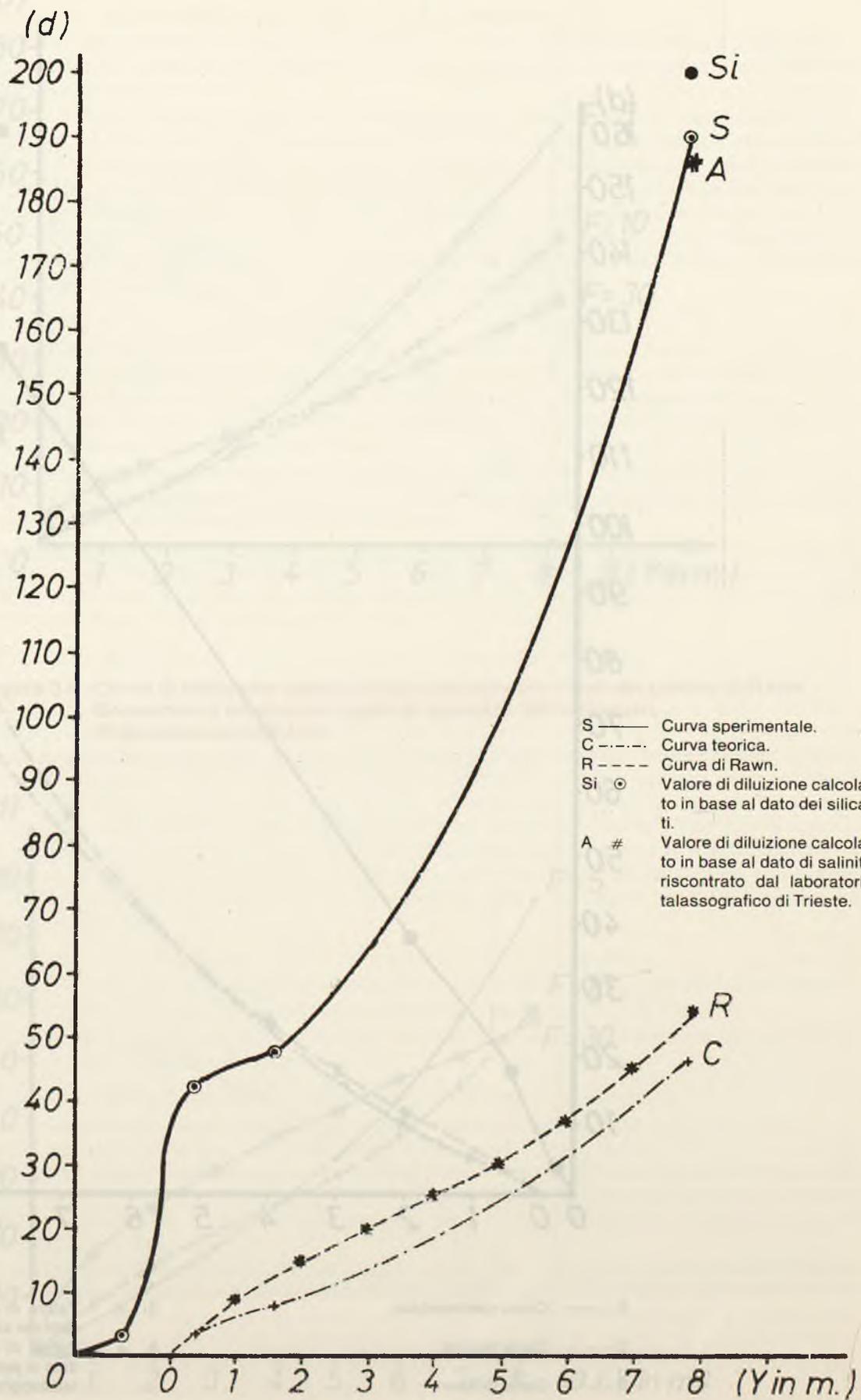
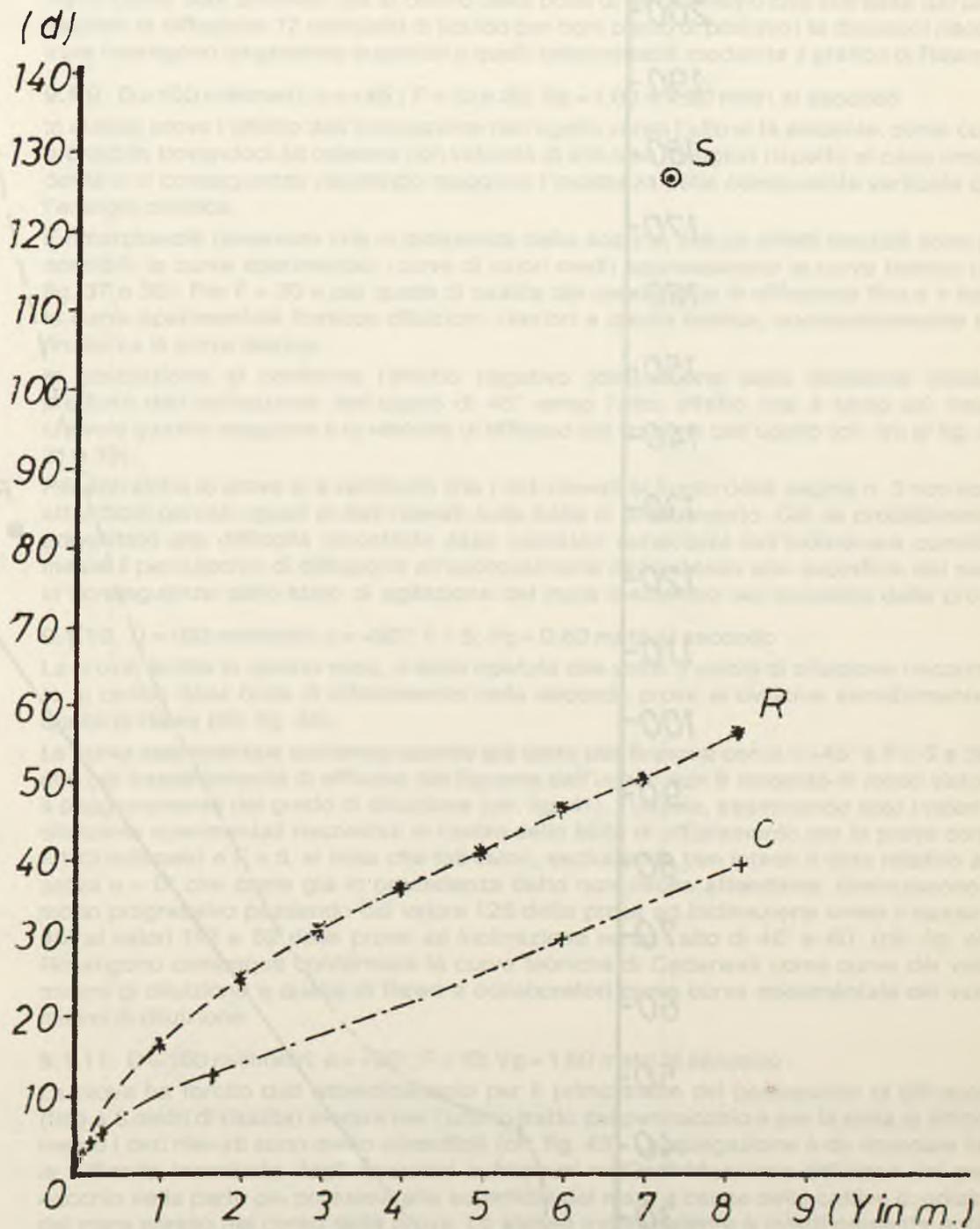


Figura 34 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello di diametro 100 millimetri, inclinato di 45° verso il basso e numero di Froude 30

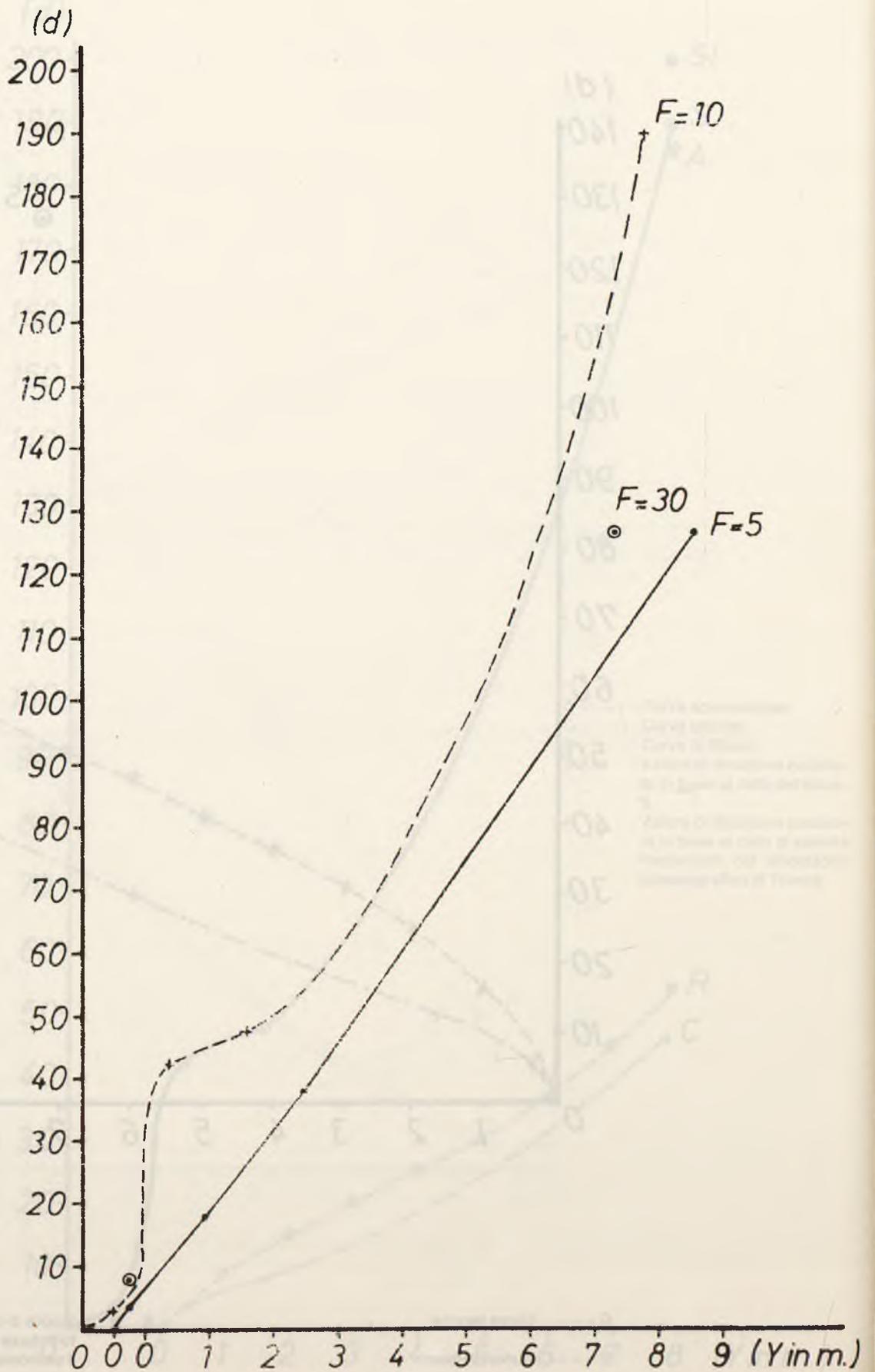


C - - - - - Curva teorica.

R - - - - - Curva di Rawn.

S ● Valore di diluizione sperimentale calcolato in base al dato di salinità misurato con il salinometro sulla bolla di affioramento.

Figura 35 - Curve sperimentali di diluizione relative alle prove effettuate con ugello di diametro 100 millimetri inclinato verso il basso di 45°



9.1.8. $D = 100$ millimetri; $\alpha = +45^\circ$; $F = 5$; $V_g = 0,80$ metri al secondo

La prova sperimentale è stata rifatta, poiché dalla prima prova effettuata il giorno 25 ottobre '78 risultava che il grado di diluizione riscontrabile nel pennacchio di diffusione e sulla bolla di affioramento era superiore rispetto al caso di getto orizzontale (cfr. fig. 36). Pur dando per scontato che l'inclinazione del getto di 45° verso l'alto in caso di basse velocità di efflusso del liquame dall'ugello abbia un effetto limitato, restava la perplessità sull'aumento di diluizione. Rifatta la prova, si osserva che nonostante ripetuti campionamenti (sono stati prelevati sia al centro della bolla di affioramento che sull'asse del pennacchio di diffusione 12 campioni di liquido per ogni punto di prelievo) le diluizioni riscontrate rimangono largamente superiori a quelli determinabili mediante il grafico di Rawn.

9.1.9. $D = 100$ millimetri; $\alpha = +45^\circ$; $F = 10$ e 30 ; $V_g = 1,60$ e $4,80$ metri al secondo

In queste prove l'effetto dell'inclinazione dell'ugello verso l'alto si fa evidente, come comprensibile trovandoci ad operare con velocità di efflusso maggiori rispetto al caso precedente e di conseguenza risultando maggiore l'incidenza della componente verticale dell'energia cinetica.

È rimarchevole osservare che in prossimità dello scarico, ove gli effetti inerziali sono più sensibili, le curve sperimentali (curve di valori medi) approssimano la curva teorica (cfr. fig. 37 e 38). Per $F = 30$ e per quote di risalita del pennacchio di diffusione fino a 4 metri la curva sperimentale fornisce diluizioni inferiori a quella teorica; successivamente approssima la curva teorica.

In conclusione si conferma l'effetto negativo (diminuzione della diluizione iniziale) prodotto dall'inclinazione dell'ugello di 45° verso l'alto, effetto che è tanto più rimarchevole quanto maggiore è la velocità di efflusso del liquame dall'ugello (cfr. fra le fig. 30, 31 e 39).

Per entrambe le prove si è verificato che i dati rilevati al livello della sagola n. 3 non sono attendibili perché uguali ai dati rilevati sulla bolla di affioramento. Ciò va probabilmente addebitato alle difficoltà incontrate dagli operatori subacquei nell'individuare correttamente il pennacchio di diffusione all'approssimarsi dello stesso alla superficie del mare in conseguenza dello stato di agitazione del mare medesimo nel momento delle prove.

9.1.10. $D = 100$ millimetri; $\alpha = +90^\circ$; $F = 5$; $V_g = 0,80$ metri al secondo

La prova, anche in questo caso, è stata ripetuta due volte. Il valore di diluizione riscontrato al centro della bolla di affioramento nella seconda prova si avvicina sensibilmente a quello di Rawn (cfr. fig. 40).

La curva sperimentale conferma quanto già detto per la prova con $\alpha = +45^\circ$ e $F = 5$ e cioè che per basse velocità di efflusso del liquame dall'ugello non è evidente in modo vistoso il peggioramento del grado di diluizione (cfr. fig. 41). Tuttavia, esaminando solo i valori di diluizione sperimentali riscontrati al centro della bolla di affioramento per le prove con $D = 100$ millimetri e $F = 5$, si nota che tali valori, escludendo ben inteso il dato relativo alla prova $\alpha = 0^\circ$ che come già in precedenza detto non risulta attendibile, diminuiscono in modo progressivo passando dal valore 128 della prova ad inclinazione verso il basso di 45° ai valori 112 e 82 delle prove ad inclinazione verso l'alto di 45° e 90° (cfr. fig. 42). Rimangono comunque confermate le curve teoriche di Cederwall come curve dei valori minimi di diluizione e quella di Rawn e collaboratori come curva sperimentale dei valori minimi di diluizione.

9.1.11. $D = 100$ millimetri; $\alpha = +90^\circ$; $F = 10$; $V_g = 1,60$ metri al secondo

La prova ha fornito dati attendibili solo per il primo tratto del pennacchio di diffusione (fino a 3 metri di risalita) mentre per l'ultimo tratto del pennacchio e per la bolla di affioramento i dati rilevati sono meno attendibili (cfr. fig. 43). La spiegazione è da ricercare nelle difficoltà incontrate dagli operatori subacquei nell'individuazione dell'asse del pennacchio nella parte più prossima alla superficie del mare a causa delle cattive condizioni del mare stesso nel corso della prova. Lo stesso inconveniente è infatti presente anche nelle altre prove effettuate il giorno 25 ottobre '78 ($D = 100$ millimetri; $F = 5$; $\alpha = +45^\circ$ e $+90^\circ$). Esaminando inoltre tutte le curve sperimentali relative a prove effettuate con numero di Froude 10 (cfr. fig. 44) si evidenzia in modo ancora più palese come la curva relativa alla prova con $\alpha = +90^\circ$ abbia un andamento anomalo rispetto alle altre a partire dalla quota di risalita del pennacchio $y = 3$ metri.

9.1.12. $D = 100$ millimetri; $\alpha = +90^\circ$; $F = 30$; $V_g = 4,80$ metri al secondo

La prova sperimentale ha confermato la vistosa diminuzione di efficacia per quanto riguarda il livello di diluizione iniziale, già vista nelle prove con ugello inclinato di $+45^\circ$. La

Figura 36 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello di diametro 100 millimetri inclinato di 45° verso l'alto e numero di Froude 5

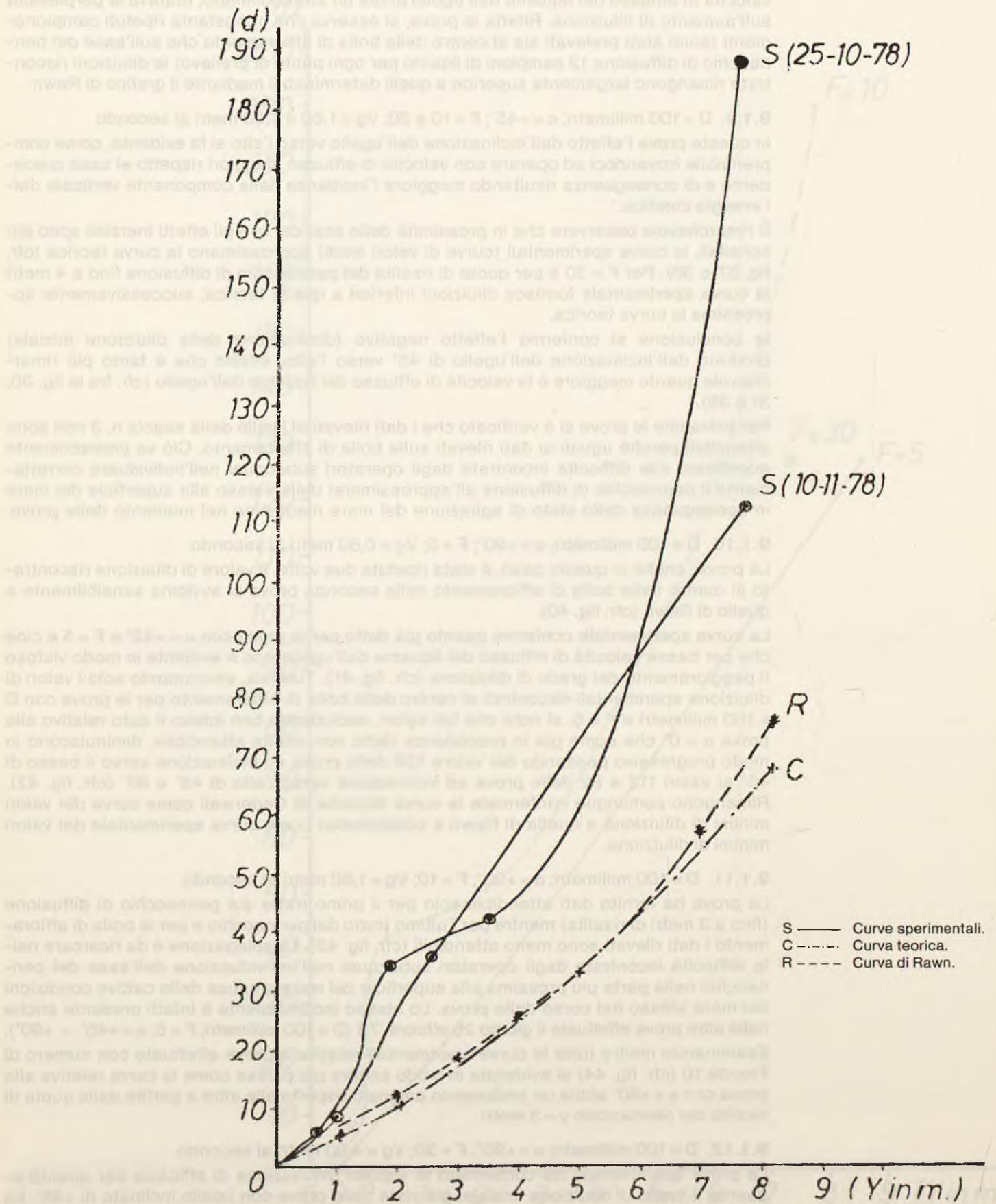
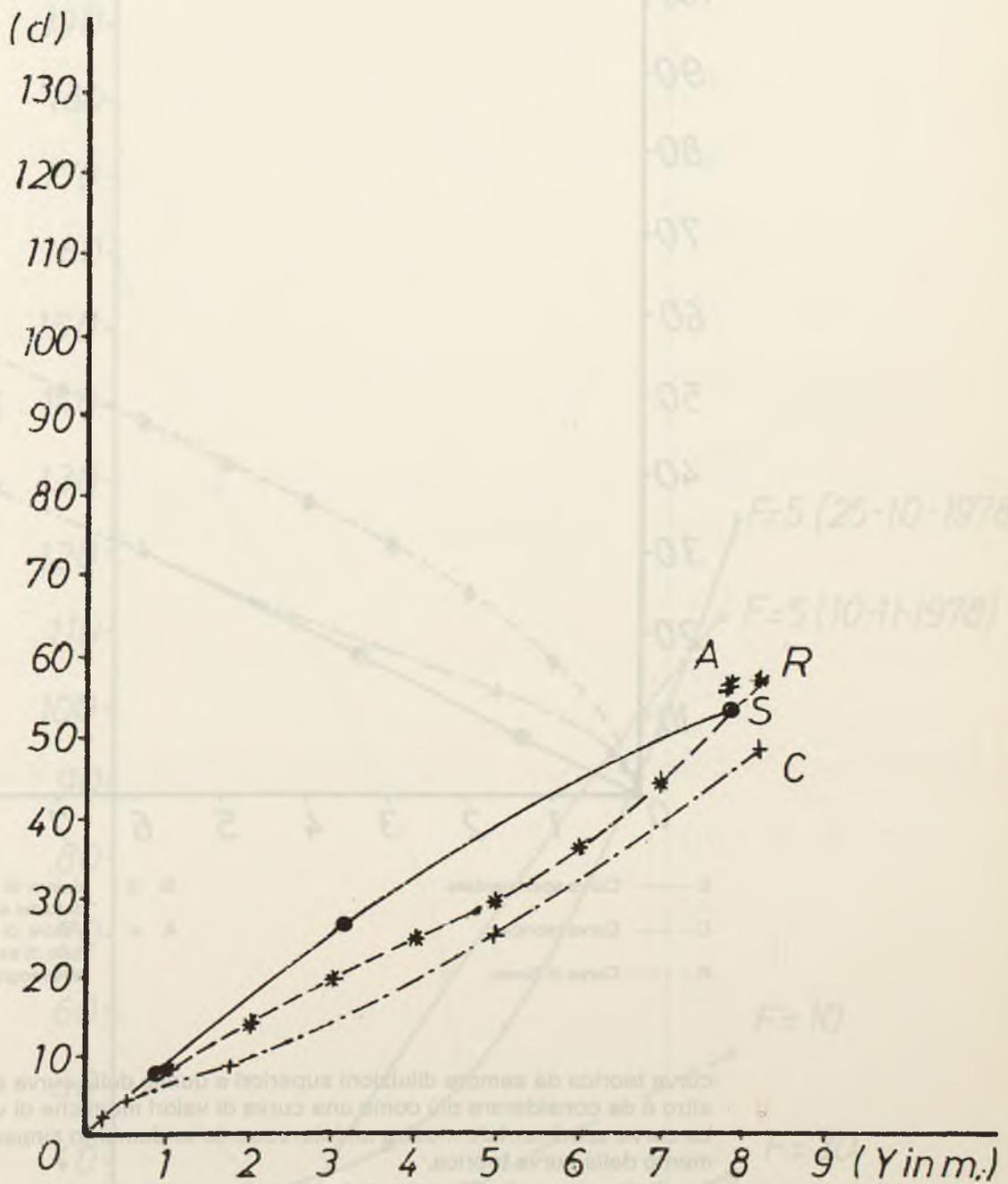


Figura 37 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello di diametro 100 millimetri, inclinato di 45° verso l'alto e numero di Froude 10



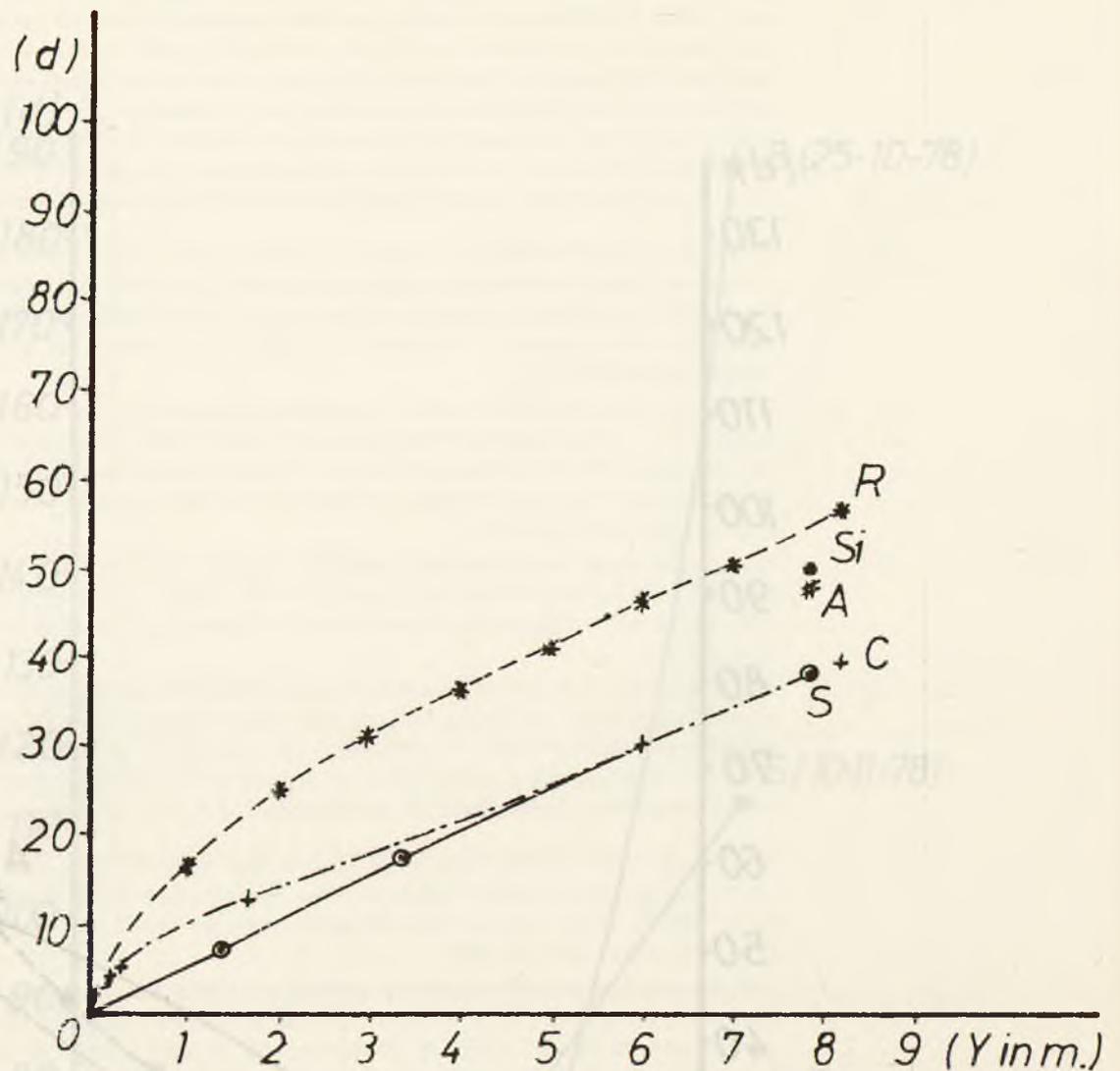
S — Curva sperimentale.

C - - - Curva teorica.

R . . . Curva di Rawn.

A # Valore di diluizione calcolato in base al dato di salinità riscontrato dal laboratorio talassografico di Trieste.

Figura 38 - Curve di diluizione relative alla prova eseguita con ugello di diametro 100 millimetri, inclinato di 45° verso l'alto e numero di Froude 30



S — Curva sperimentale.

C - - - Curva teorica.

R - - - Curva di Rawn.

Si ⊙ Valore di diluizione calcolato in base al dato dei silicati.

A # Valore di diluizione calcolato in base al dato di salinità riscontrato dal laboratorio talassografico di Trieste.

curva teorica dà sempre diluizioni superiori a quelle della curva sperimentale la quale per altro è da considerare più come una curva di valori medi che di valori minimi (cfr. fig. 45). La curva sperimentale mostra un interessante andamento sinusoidale che riflette l'andamento della curva teorica.

La diminuzione di efficacia, nel caso di ugelli inclinati verso l'alto, è notevole (cfr. fig. 46): si passa infatti da valori di diluizione in bolla di 63 per $\alpha = 0^\circ$ a valori di 37,8 per $\alpha = +45^\circ$ e 32,8 per $\alpha = +90^\circ$, con una diminuzione percentuale che sfiora il 50%.

9.2. Ugello singolo di diametro 70 millimetri

9.2.1. $D = 70$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$; $V_g = 1,37$ metri al secondo

In questa prova si deve supporre che i campioni non sono stati prelevati in modo corretto, cioè al centro del pennacchio di diffusione e al centro della bolla di affioramento. Le diluizioni riscontrate sono infatti troppe elevate sia rispetto a quelle teoriche che a quelle ricavabili dal grafico di Rawn e collaboratori (cfr. fig. 47).

Figura 39 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 100 millimetri, inclinati di 45° verso l'alto

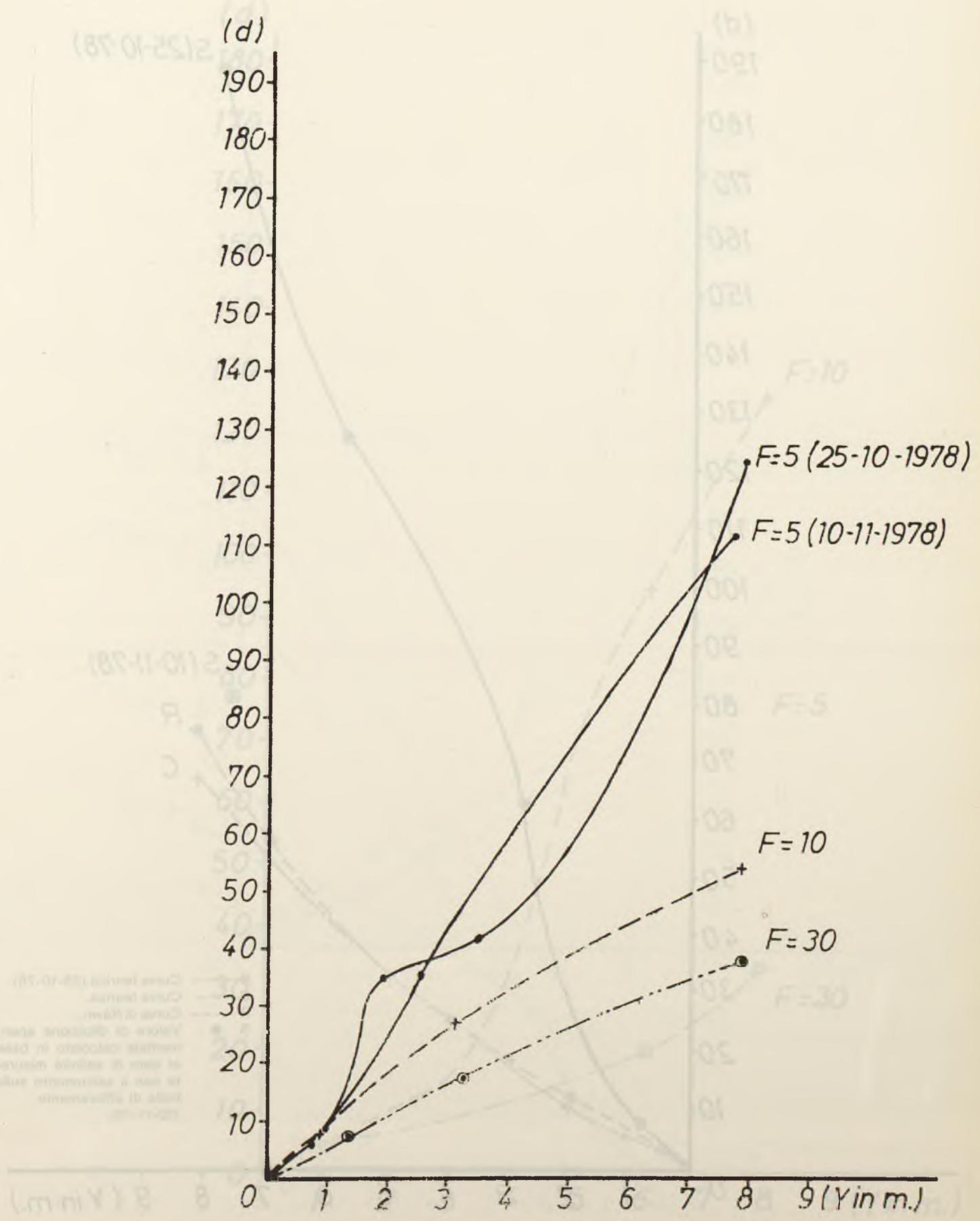


Figura 40 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello di diametro 100 millimetri, inclinato di 90° verso l'alto e numero di Froude 5

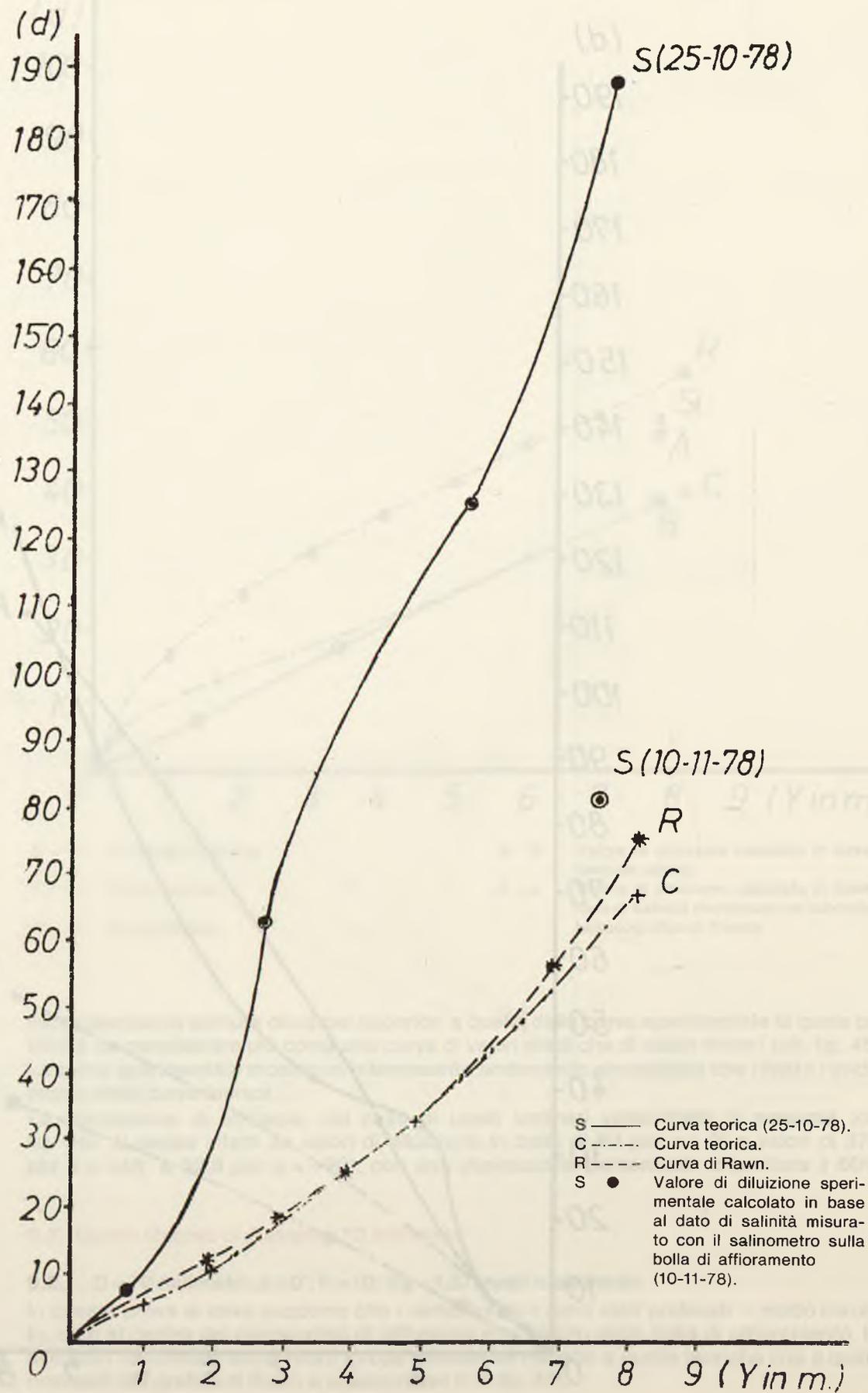


Figura 41 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 100 millimetri inclinati di 90° verso l'alto

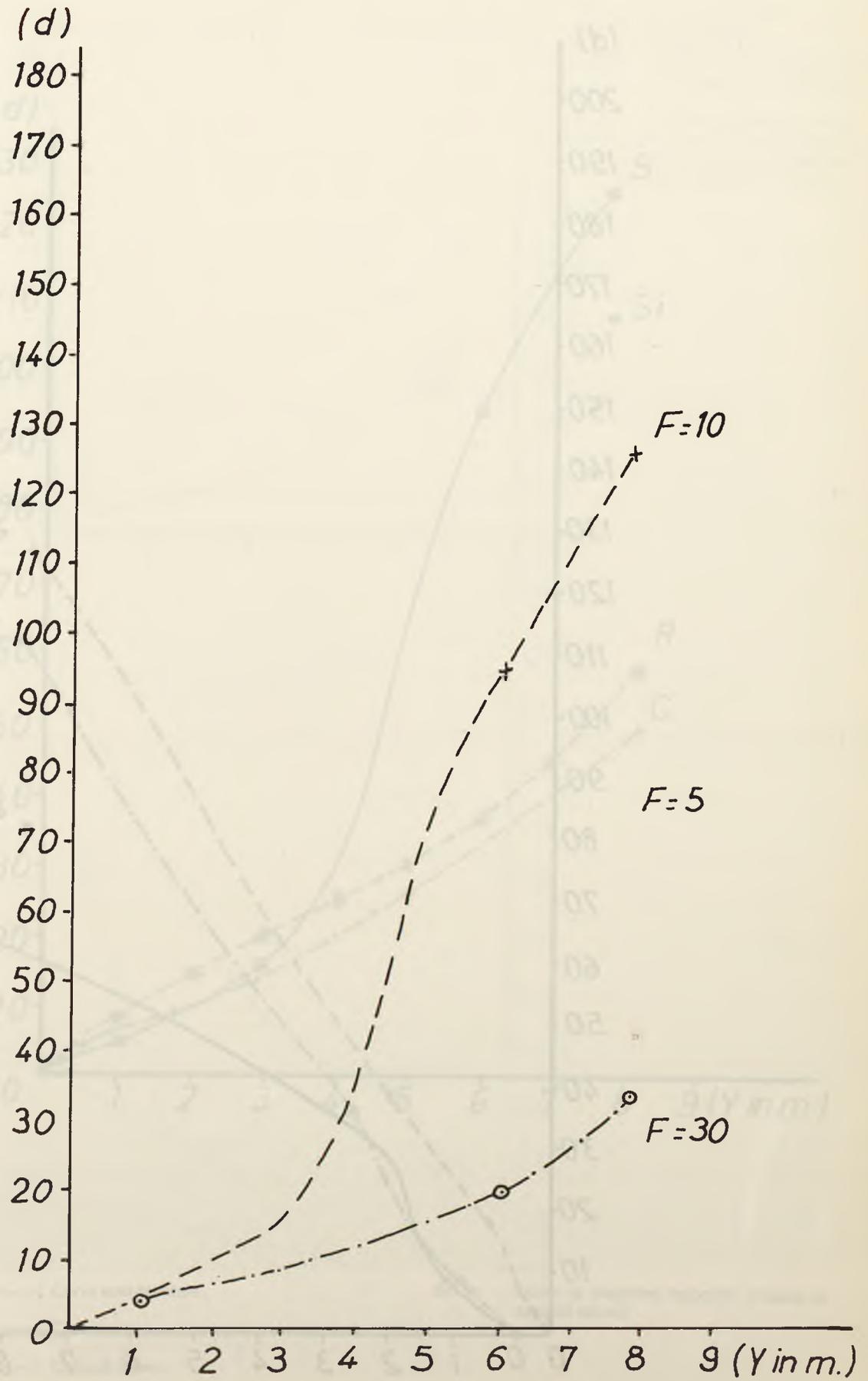


Figura 42 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 100 millimetri e numero di Froude 5

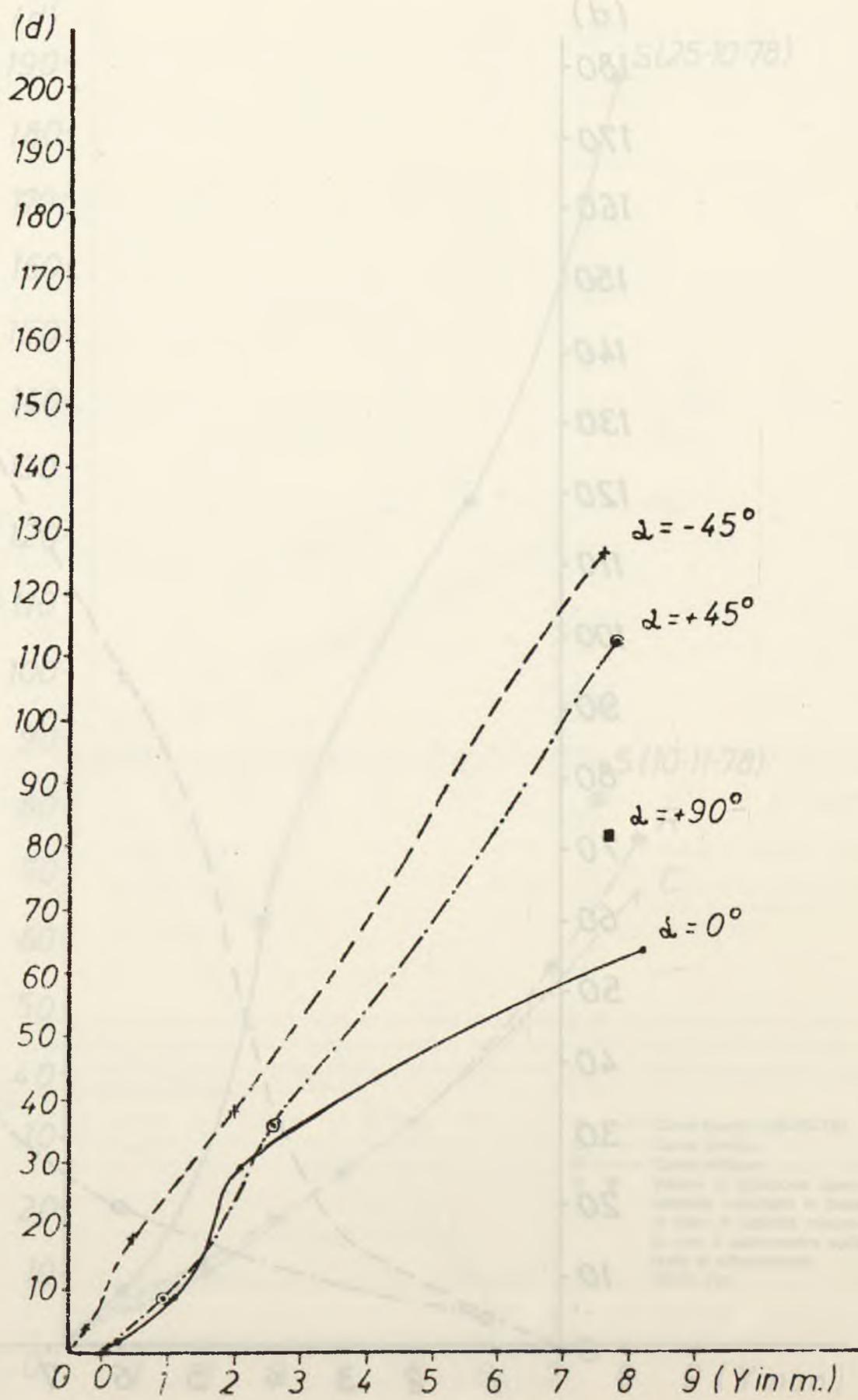
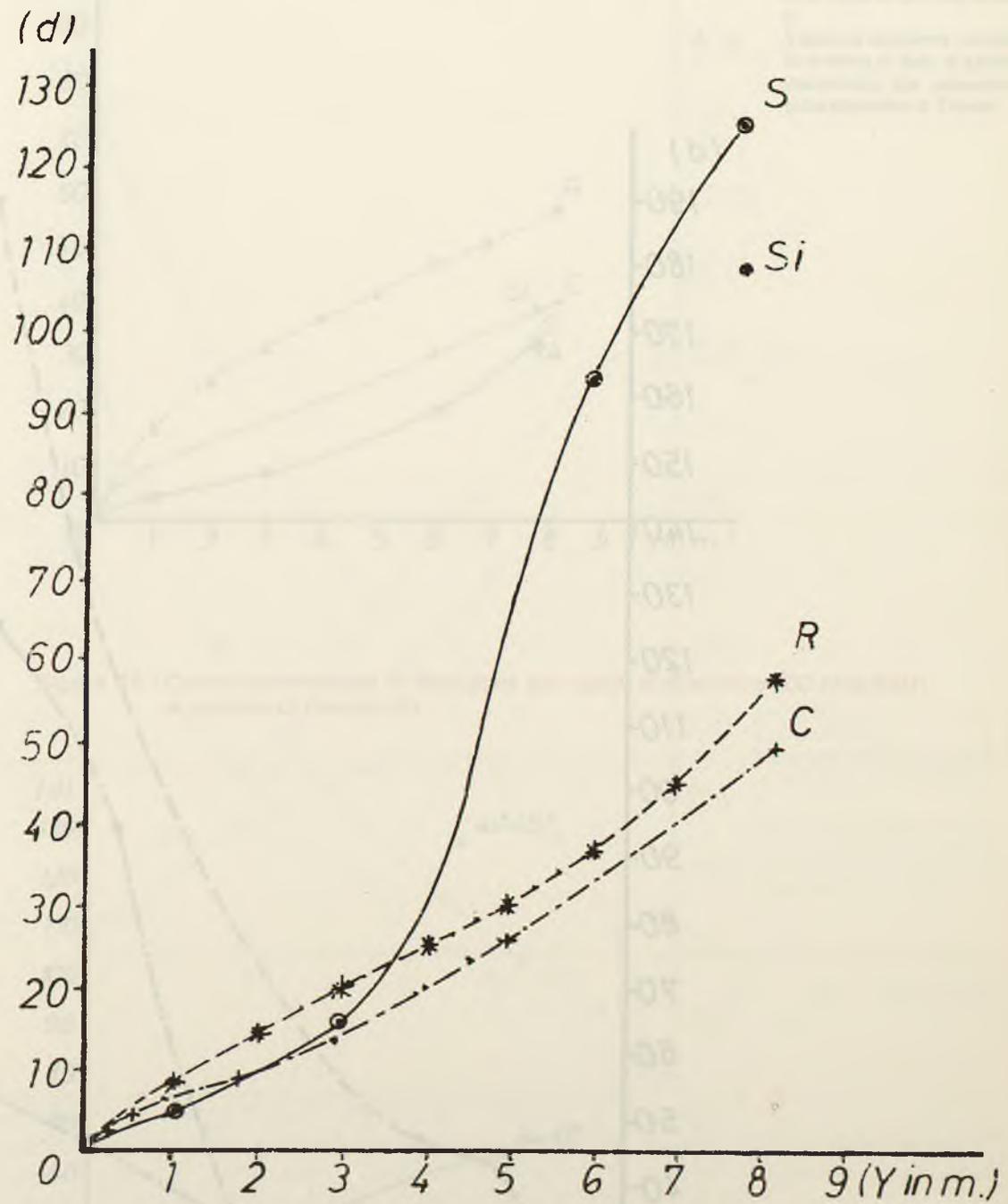


Figura 43 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello di diametro 100 millimetri, inclinato di 90° verso l'alto e numero di Froude 10



S — Curva sperimentale.

C - - - Curva teorica.

R - - - Curva di Rawn.

Si ○ Valore di diluizione calcolato in base al dato dei silicati.

Figura 44 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 100 millimetri e numero di Froude 10

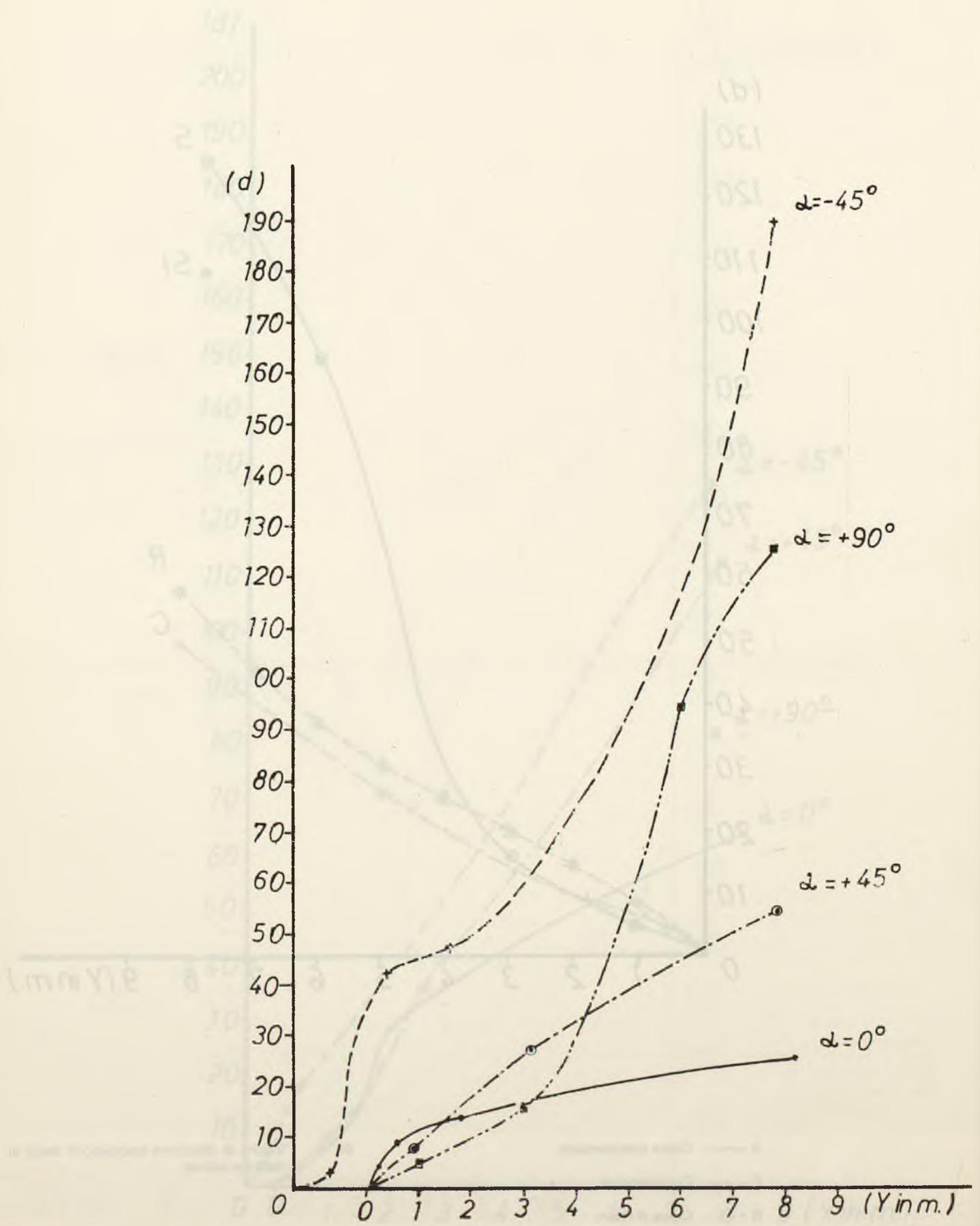


Figura 45 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello di diametro 100 millimetri, inclinato di 90° verso l'alto e numero di Froude 30

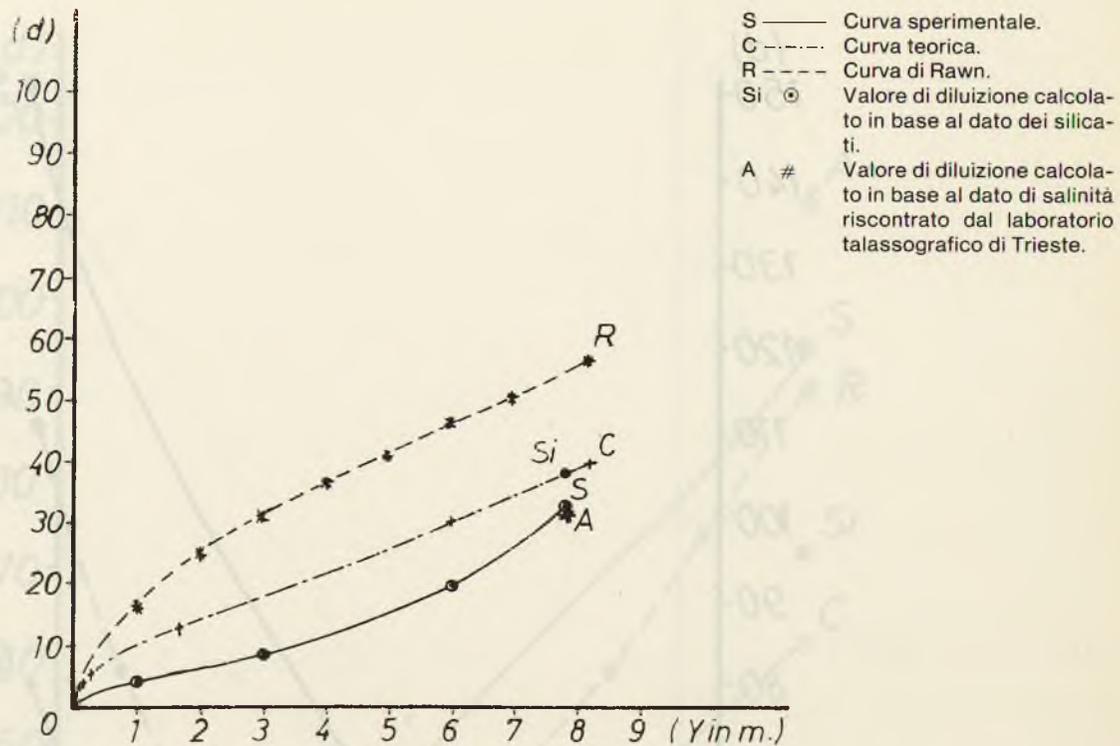


Figura 46 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 100 millimetri e numero di Froude 50

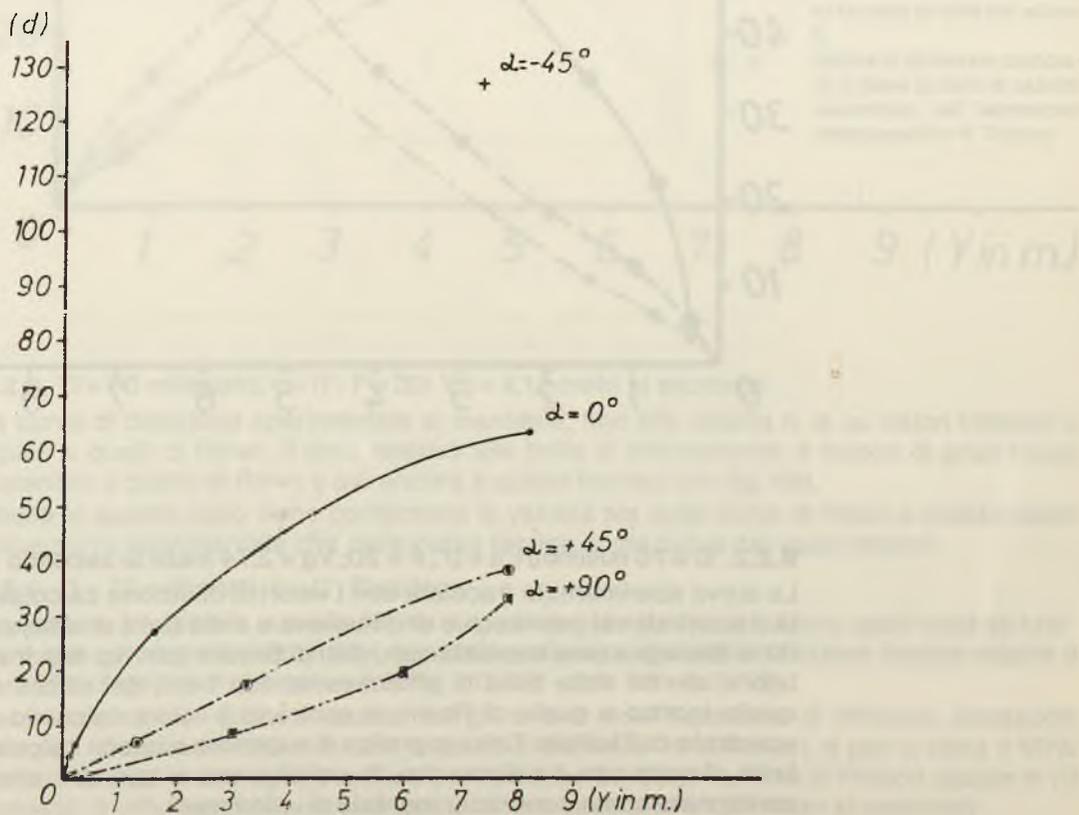
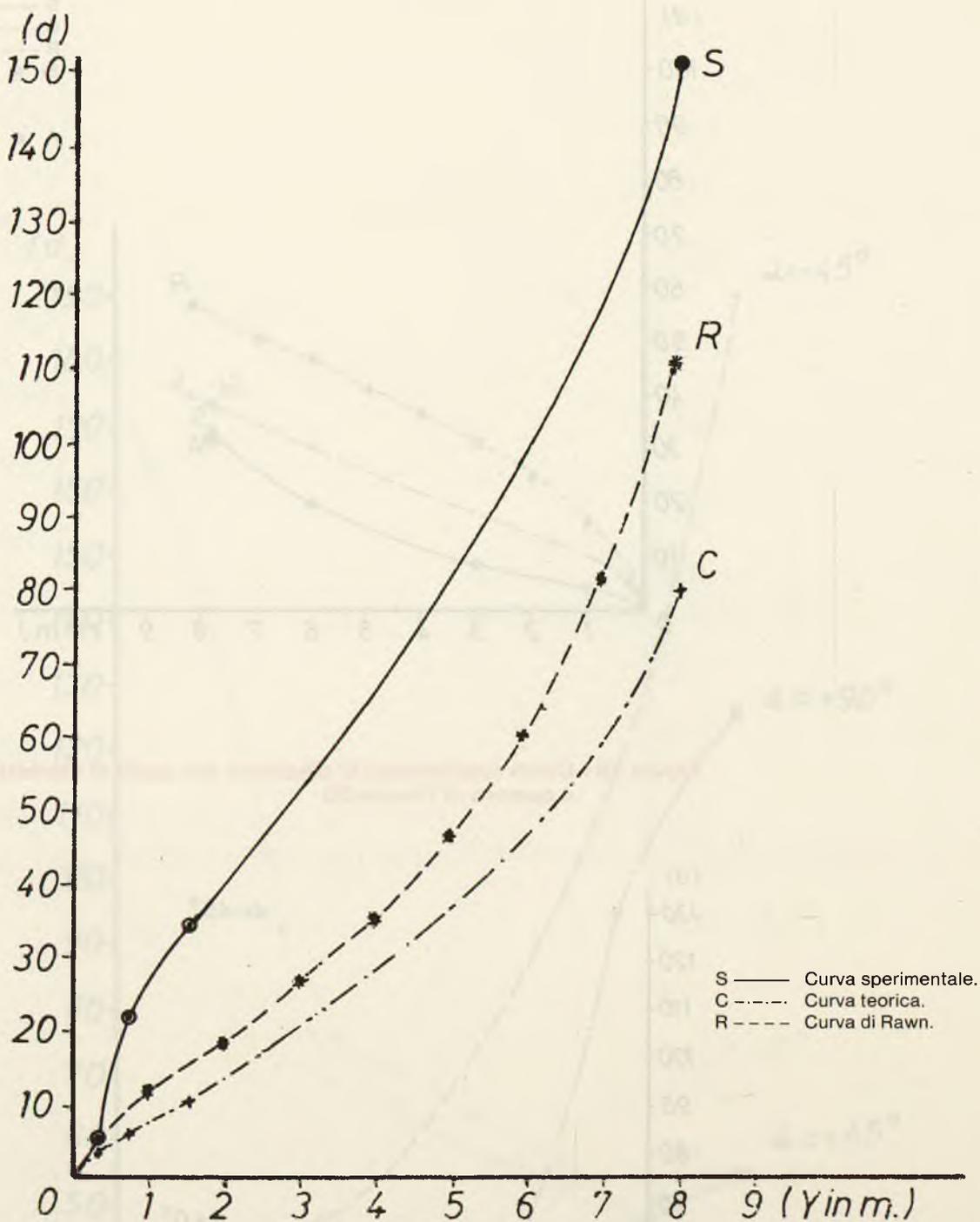


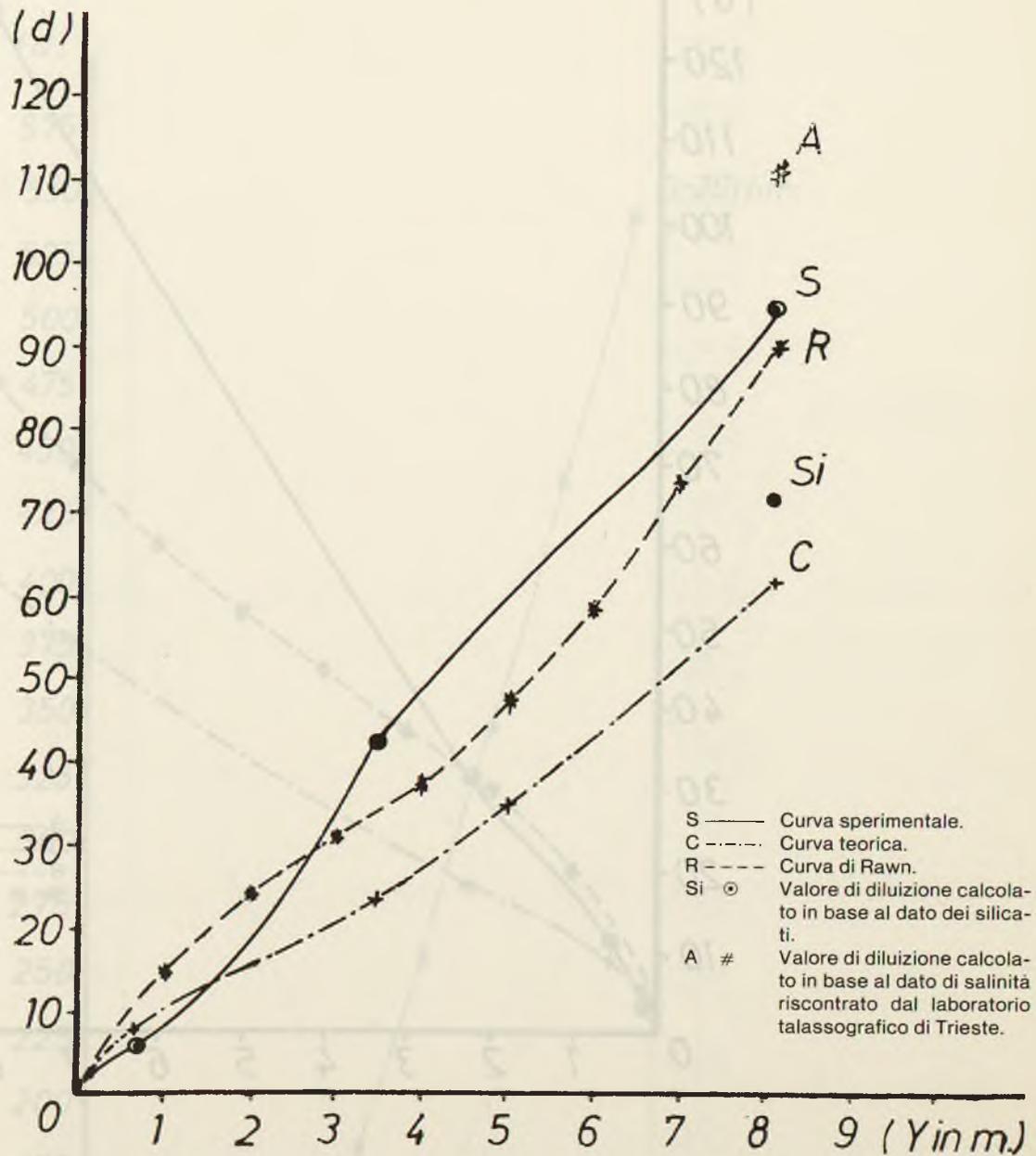
Figura 47 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 70 millimetri e numero di Froude 10



9.2.2. $D = 70$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 20$; $V_g = 2,74$ metri al secondo

La curva sperimentale tracciata con i valori di diluizione calcolati in base ai dati di salinità riscontrati nel pennacchio di diffusione e nella bolla di affioramento interpola medianamente la analoga curva tracciata con i dati di Brooks (cfr. fig. 48). Il valore di diluizione calcolato al centro della bolla di affioramento con i dati dei silicati si colloca addirittura fra quello teorico e quello di Rawn; al contrario il valore calcolato con il dato di salinità riscontrato dall'Istituto Talassografico è superiore a quello calcolato in base al dato di salinità rilevato con il salinometro. In conclusione si può dire che la curva di Rawn viene confermata come curva sperimentale di valori medi.

Figura 48 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 70 millimetri e numero di Froude 20



9.2.3. $D = 70$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 30$; $V_g = 4,12$ metri al secondo

La curva di diluizione sperimentale si mantiene, fino alla sagola n. 3, su valori inferiori o eguali a quelli di Rawn, il dato relativo alla bolla di affioramento è invece di gran lunga superiore a quello di Rawn e più ancora a quello teorico (cfr. fig. 49).

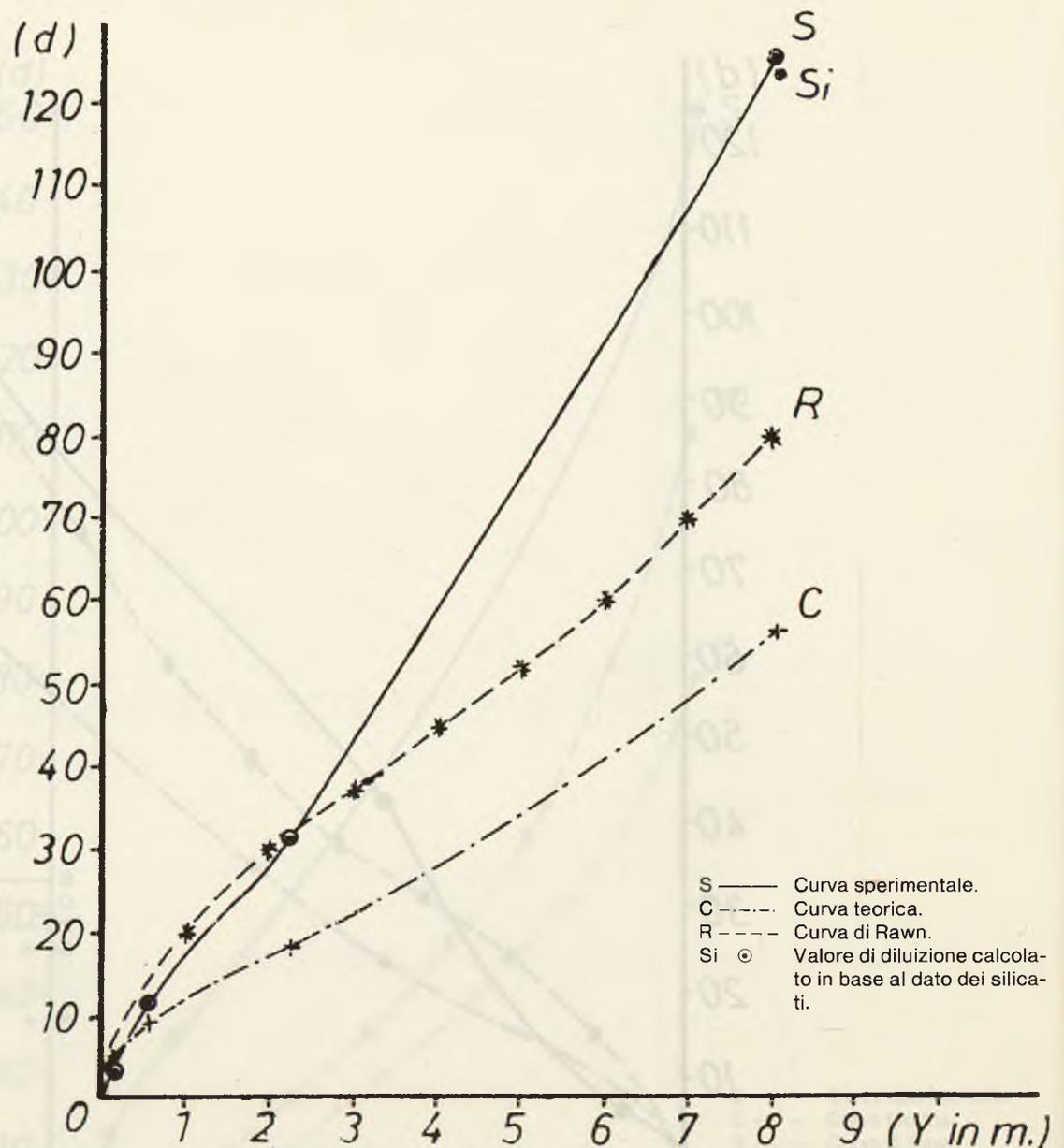
Anche in questo caso viene confermata la validità sia della curva di Rawn e collaboratori come curva sperimentale che della curva teorica come curva dei valori minimi.

9.2.4. $D = 70$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$. Riepilogo

Il confronto fra tutte le curve teoriche e sperimentali relative ai quattro ugelli studiati indica che, a parità di numero di Froude, è conveniente ai fini della diluizione iniziale ridurre il diametro degli ugelli di scarico (cfr. fig. 50 - 51 - 52 - 53 - 54 - 55).

Teoricamente, per quote di risalita del getto di 8 metri l'aumento di efficacia, passando da ugelli di diametro 100 millimetri a quelli di diametro 70 millimetri, è pari a circa il 50% per numero di Froude uguale a 30, e pari a circa l'80% per numero di Froude uguale a 10 (velocità di efflusso del liquame in quest'ultimo caso pari a 1,37 metri al secondo).

Figura 49 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 70 millimetri e numero di Froude 30



L'andamento delle curve sperimentali confermerebbe per eccesso tale conclusione, eccesso dovuto più che altro alle difficoltà più volte menzionate incontrate dagli operatori subacquei nel campionare l'asse del pennacchio di diffusione ed il centro della bolla di affioramento.

Le curve tecniche per l'ugello di diametro 70 millimetri mettono in luce una diminuzione del grado di diluizione iniziale pari a circa il 25% passando dal numero di Froude 10 (velocità di efflusso 1,37 metri al secondo) al numero di Froude 20 (velocità di efflusso 2,74 metri al secondo); per numeri di Froude superiori il grado di diluizione rimane invece abbastanza costante (cfr. fig. 56). Analogo andamento caratterizza anche le curve tracciate con i dati del grafico di Rawn (nelle quali si passa, per quote di risalita di 8 metri, da valori di diluizione di 110 a diluizioni di 80 - cfr. fig. 57). Viceversa tale andamento non si presenta per le curve sperimentali (cfr. fig. 58) che forniscono, almeno in due casi ($F = 10$ ed $F = 30$), dati non soddisfacenti ed in ogni caso valori superiori a quelli di Rawn.

In conclusione per ugelli di diametro 70 millimetri, considerate le velocità di efflusso normali (2 ÷ 4 metri al secondo), non ha importanza la portata scaricata, a parità di diametro, in quanto l'aumento di portata - sfavorevole ad un'elevata diluizione - è compensato dal più energetico mescolamento indotto dalla maggior velocità di efflusso.

Figura 50 - Curve di diluizione teorica calcolate con la formula di Cederwall per ugelli orizzontali e numero di Froude 10

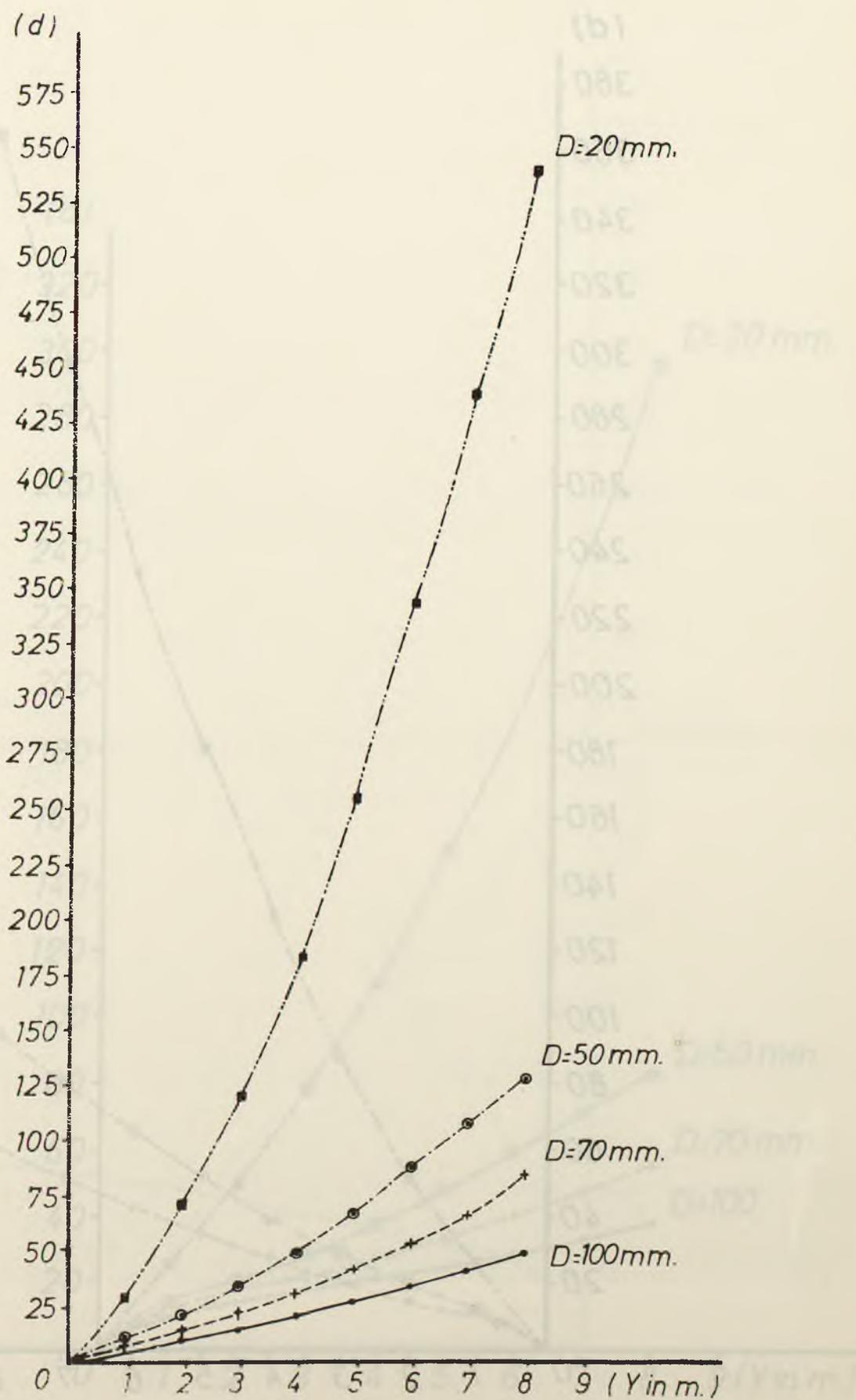


Figura 51 - Curve di diluizione teorica calcolate con la formula di Cederwall per ugelli orizzontali e numero di Froude 20

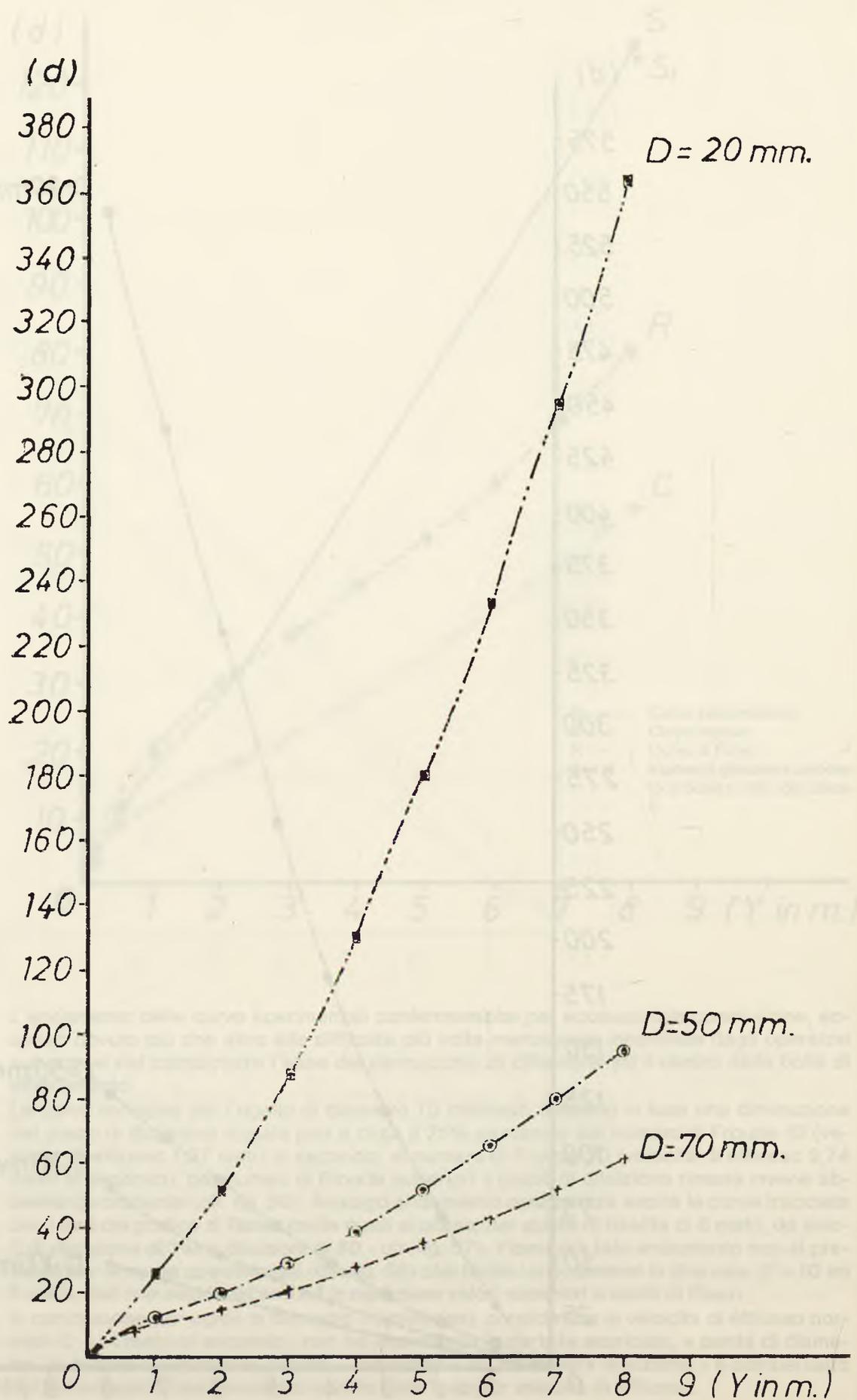


Figura 52 - Curve di diluizione teorica calcolate con la formula di Cederwall per ugelli orizzontali e numero di Froude 30

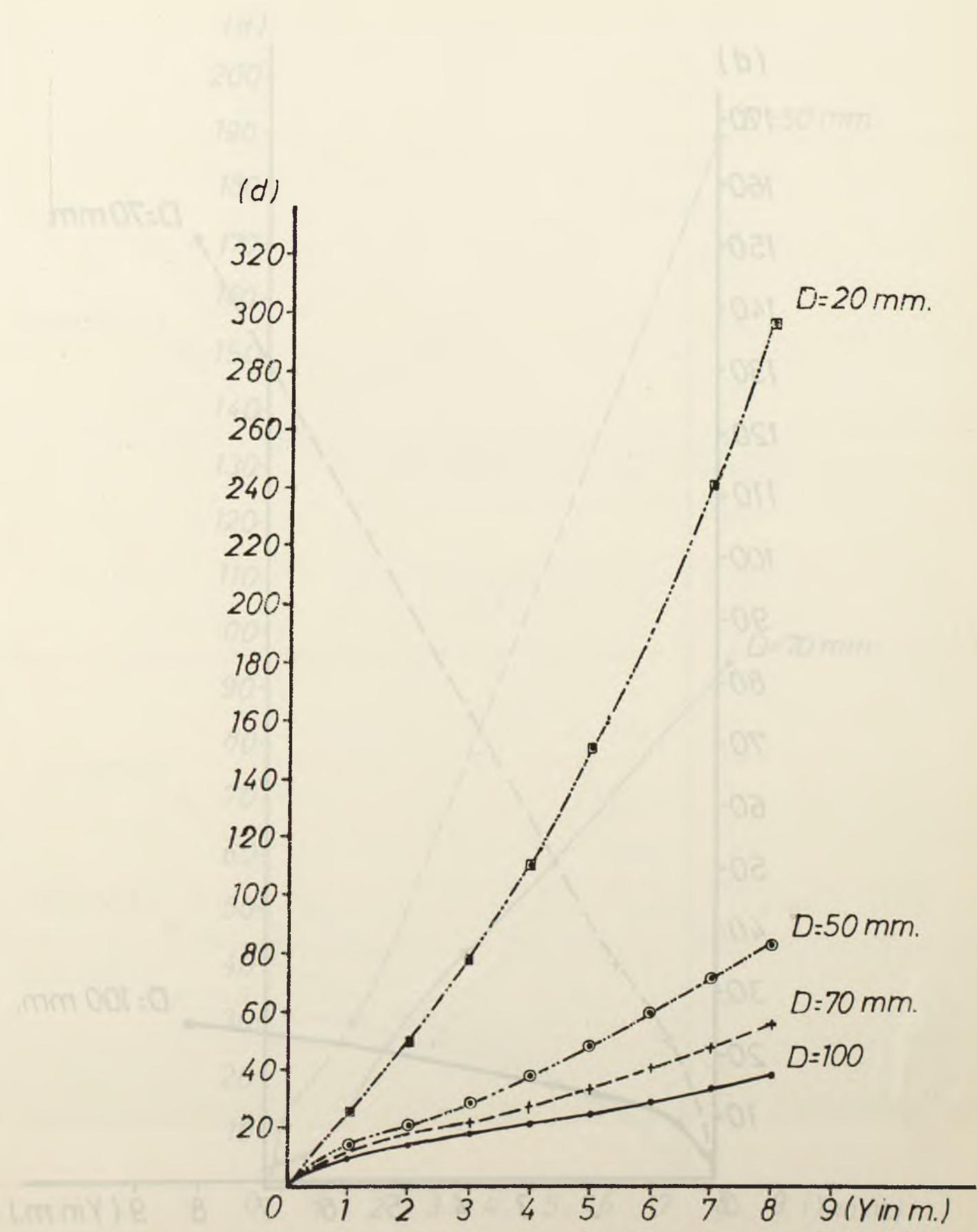


Figura 53 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli orizzontali e numero di Froude 10

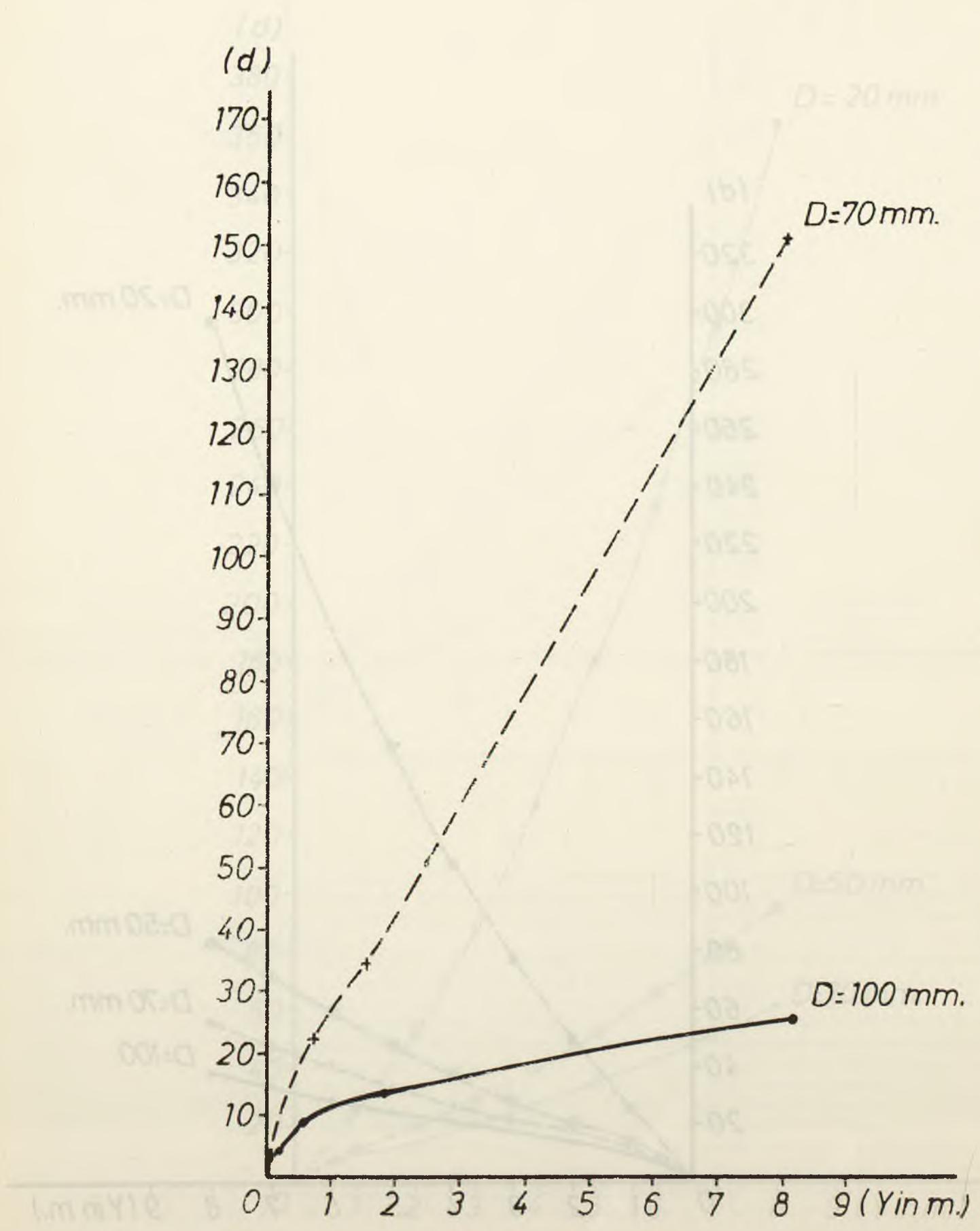


Figura 54 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli orizzontali e numero di Froude 20

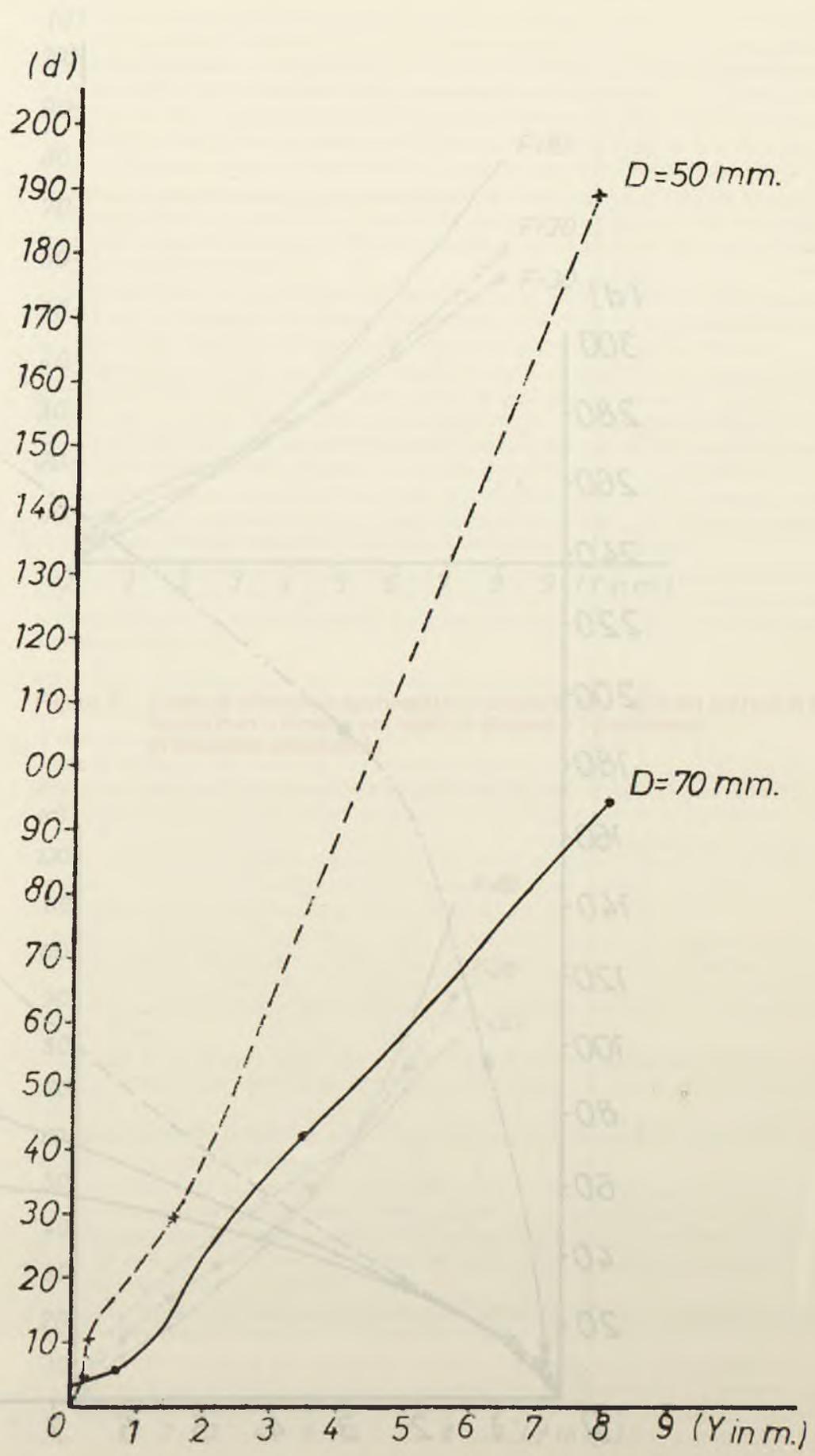


Figura 55 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli orizzontali e numero di Froude 30

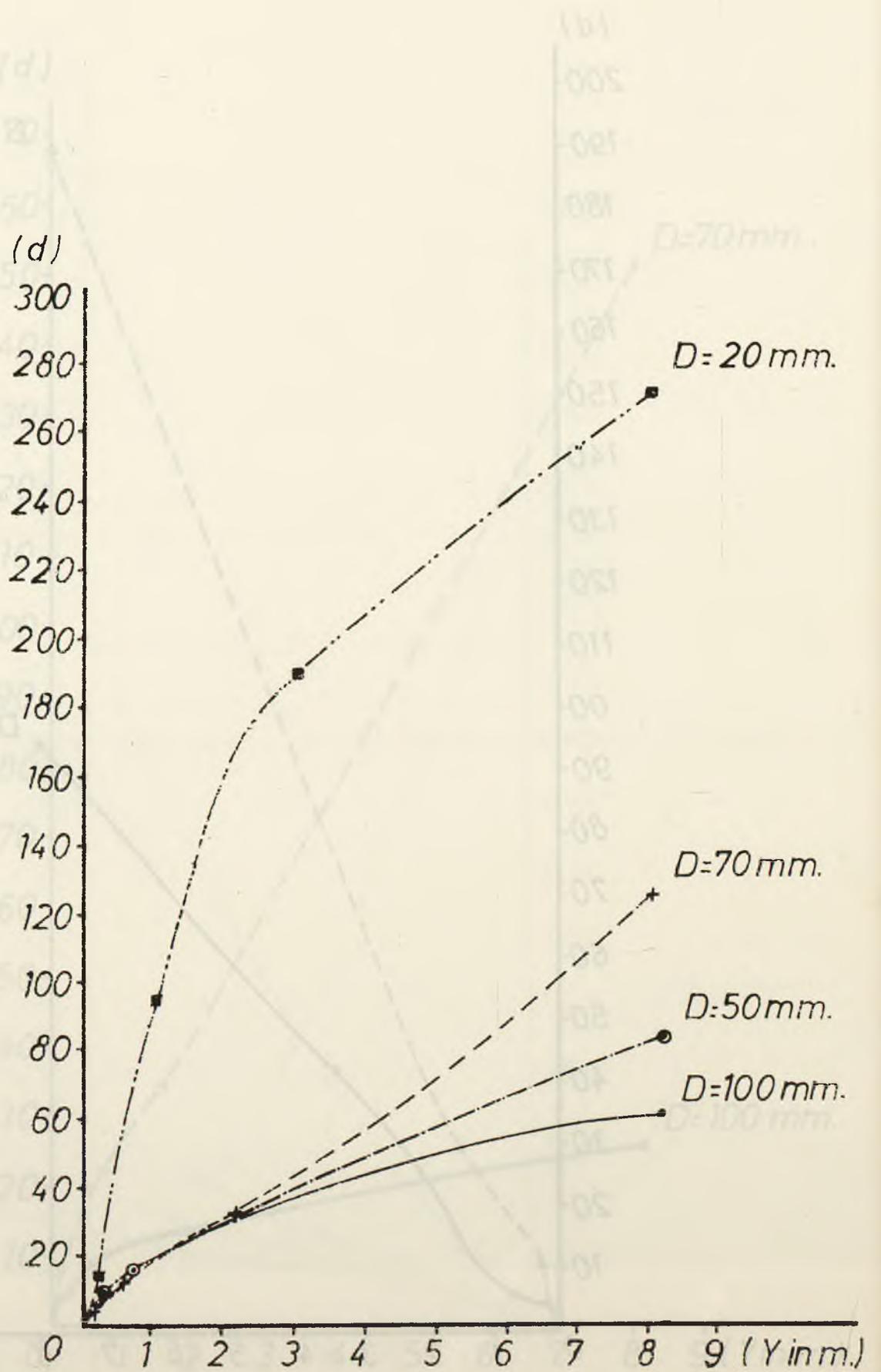


Figura 56 - Curve di diluizione teorica calcolate con la formula di Cederwall per ugelli di diametro 70 millimetri, di direzione orizzontale

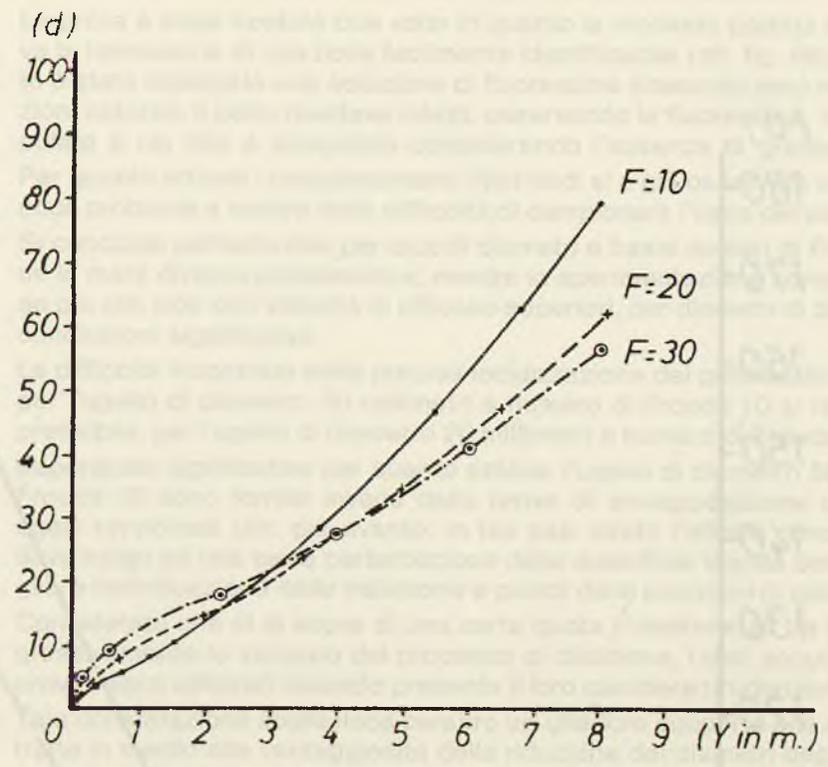


Figura 57 - Curve di diluizione sperimentale calcolate con i dati del grafico di Rawn, Bowerman e Brooks per ugelli di diametro 70 millimetri, di direzione orizzontale

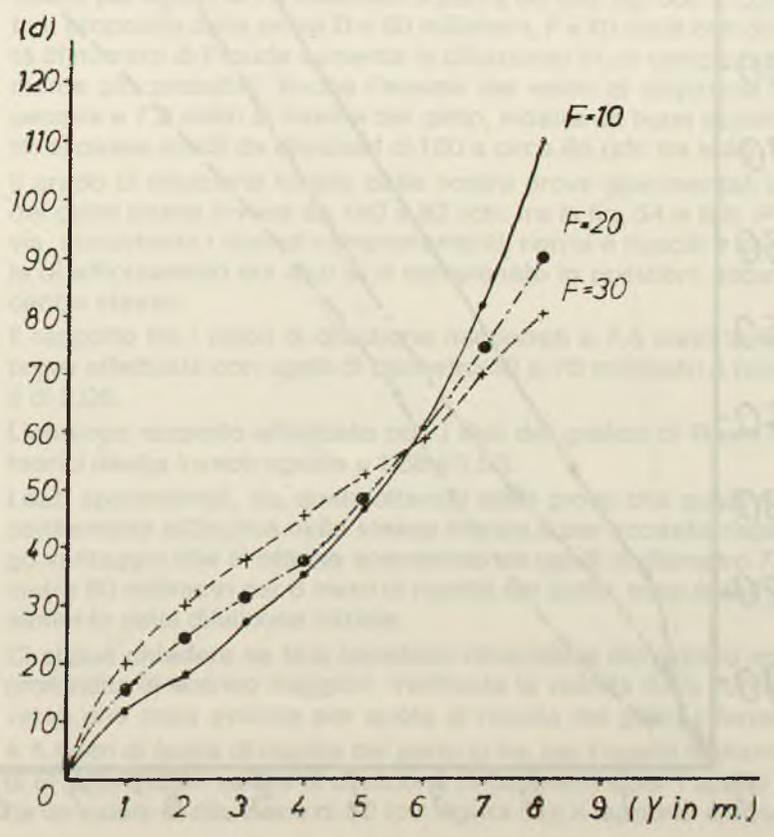
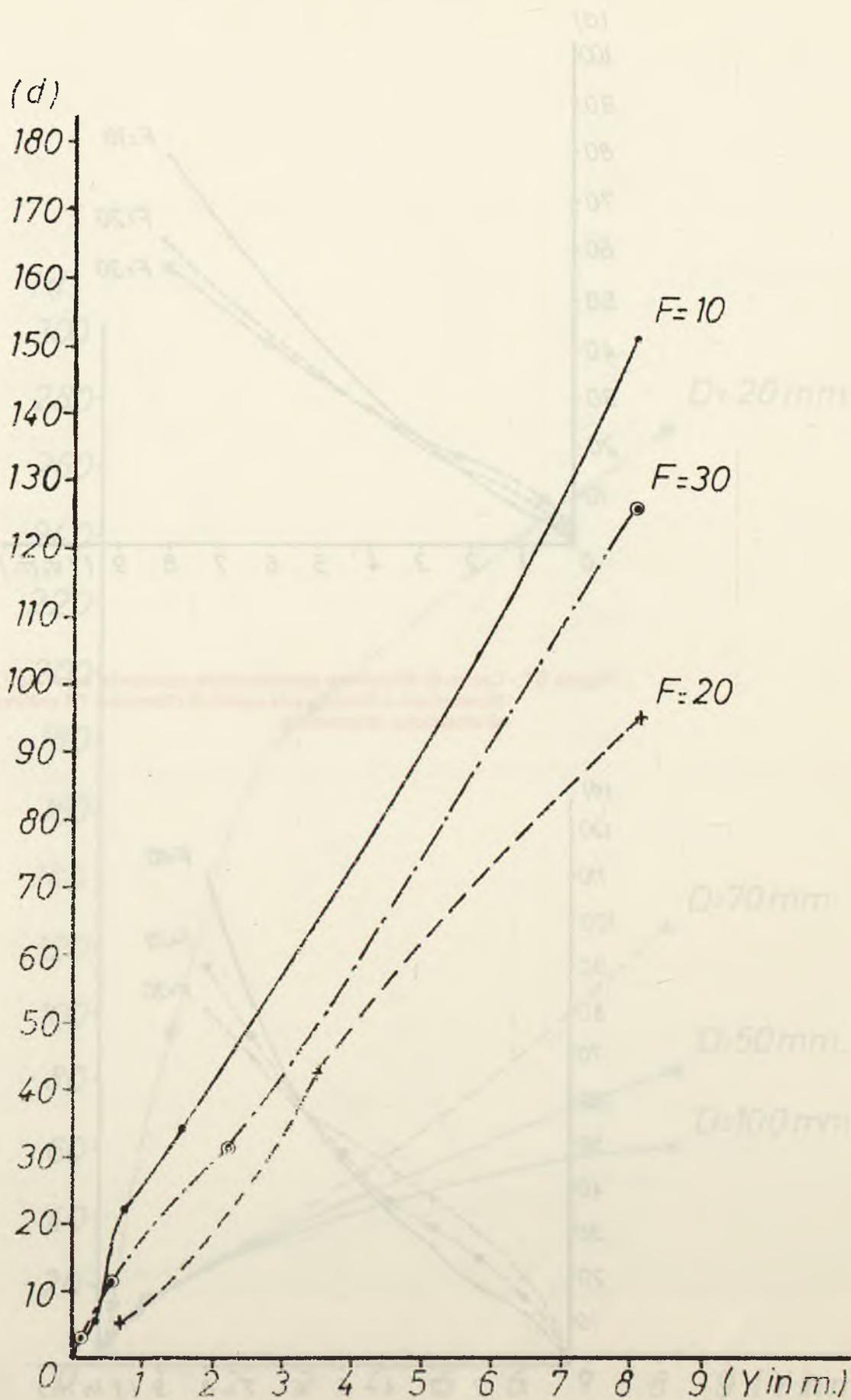


Figura 58 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 70 millimetri, di direzione orizzontale



9.3. Ugello singolo di diametro 50 millimetri

9.3.1. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$; $V_g = 1,16$ metri al secondo

La prova è stata ripetuta due volte in quanto la modesta portata scaricata non consentiva la formazione di una bolla facilmente identificabile (cfr. fig. 59). Per visualizzare il getto è stata impiegata una soluzione di fluorescina alterando però in questo modo le condizioni naturali; il getto risultava infatti, osservando la fluorescina, in entrambi i casi intrappolato e ciò non è spiegabile considerando l'assenza di gradienti verticali di densità. Per quanto attiene i campionamenti intermedi si è già osservato che la loro attendibilità è poco probante a motivo della difficoltà di campionare l'asse del pennacchio di diffusione. Si conclude pertanto che per piccoli diametri e bassi numeri di Froude la sperimentazione in mare diventa problematica; mentre la sperimentazione compiuta con valori di Froude più alti, cioè con velocità di efflusso superiori, per diametri di 50 e 20 millimetri porta a conclusioni significative.

Le difficoltà incontrate nella precisa localizzazione del pennacchio di diffusione del getto per l'ugello di diametro 50 millimetri e numero di Froude 10 si riproducono, come comprensibile, per l'ugello di diametro 20 millimetri e numero di Froude 10 e 20.

Esperienze significative per quanto attiene l'ugello di diametro 50 millimetri e numero di Froude 10 sono fornite invece dalle prove di sovrapposizione dei getti effettuate con ugelli ravvicinati (cfr. più avanti); in tali casi infatti l'effetto concomitante dei due getti dava luogo ad una certa perturbazione della superficie liquida consentendo così una migliore individuazione delle traiettorie e quindi delle posizioni di campionamento.

Considerato che al di sopra di una certa quota l'interferenza fra i due getti inibisce progressivamente lo sviluppo del processo di diluizione, i dati acquisiti nel corso di queste prove vanno utilizzati tenendo presente il loro carattere prudenziale.

Tale constatazione costituisce peraltro un ulteriore supporto alle conclusioni che si sono tratte in merito alla vantaggiosità della riduzione dei diametri degli ugelli in quanto i dati di diluizione per l'ugello di diametro 50 millimetri sono derivati da prove con getti parzialmente sovrapposti.

9.3.2. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 20$; $V_g = 2,32$ metri al secondo

L'esame della curva sperimentale conferma quanto si è già avuto occasione di mettere in risalto e cioè che essa costituisce una curva di valori medi (cfr. fig. 60).

Il valore teorico di diluizione, a 7,80 metri di risalita del getto, è pari a 92 mentre lo stesso valore per ugello di 70 millimetri è pari a 60 (cfr. fig. 56). È confermato quindi quanto detto a proposito della prova $D = 50$ millimetri, $F = 10$ (cioè che diminuendo il diametro a parità di numero di Froude aumenta la diluizione) in un campo di velocità di efflusso tecnicamente più probabili. Anche l'esame dei valori di diluizione forniti dal grafico di Rawn, sempre a 7,8 metri di risalita del getto, mostra un buon accordo con quanto appena detto: si passa infatti da diluizioni di 150 a circa 85 (cfr. fra le fig. 61 e 57).

Il grado di diluizione fornito dalle nostre prove sperimentali alla stessa quota di risalita del getto passa invece da 190 a 92 (cfr. fra le fig. 54 e 60). Per entrambe le prove tuttavia, nonostante i ripetuti campionamenti, non si è riusciti a campionare il centro della bolla di affioramento ma anzi si è campionato in posizioni abbastanza scostate rispetto al centro stesso.

Il rapporto fra i valori di diluizione riscontrati a 7,8 metri di risalita del getto relativi alle prove effettuate con ugelli di diametro 50 e 70 millimetri e numero di Froude uguale a 20 è di 2,06.

L'analogo rapporto effettuato con i dati del grafico di Rawn e collaboratori e con quelli teorici risulta invece uguale a 1,86 e 1,53.

I dati sperimentali, sia quelli ottenuti dalle prove che quelli ricavati dal grafico di Rawn, confermano all'incirca nella stessa misura e per eccesso rispetto al minimo teorico il largo vantaggio che si ottiene scendendo da ugelli di diametro 70 millimetri ad ugelli di diametro 50 millimetri per 8 metri di risalita del getto: esso è dell'ordine del 50% in termini di aumento della diluizione iniziale.

Ci si può chiedere se tale beneficio rimarrebbe dimostrato sperimentalmente anche per profondità di scarico maggiori. Verificata la validità delle curve teoriche si consideri viceversa che cosa avviene per quote di risalita del getto inferiori, ad esempio 5 e 2 metri. A 5 metri di quota di risalita del getto si ha, per l'ugello di diametro 70 millimetri e numero di Froude 20, un valore di diluizione di 35, mentre per l'ugello di diametro 50 millimetri si ha un valore di diluizione di 52 (cfr. figura 51); il rapporto è uguale a circa 1,49.

Figura 59 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 50 millimetri, e numero di Froude 10

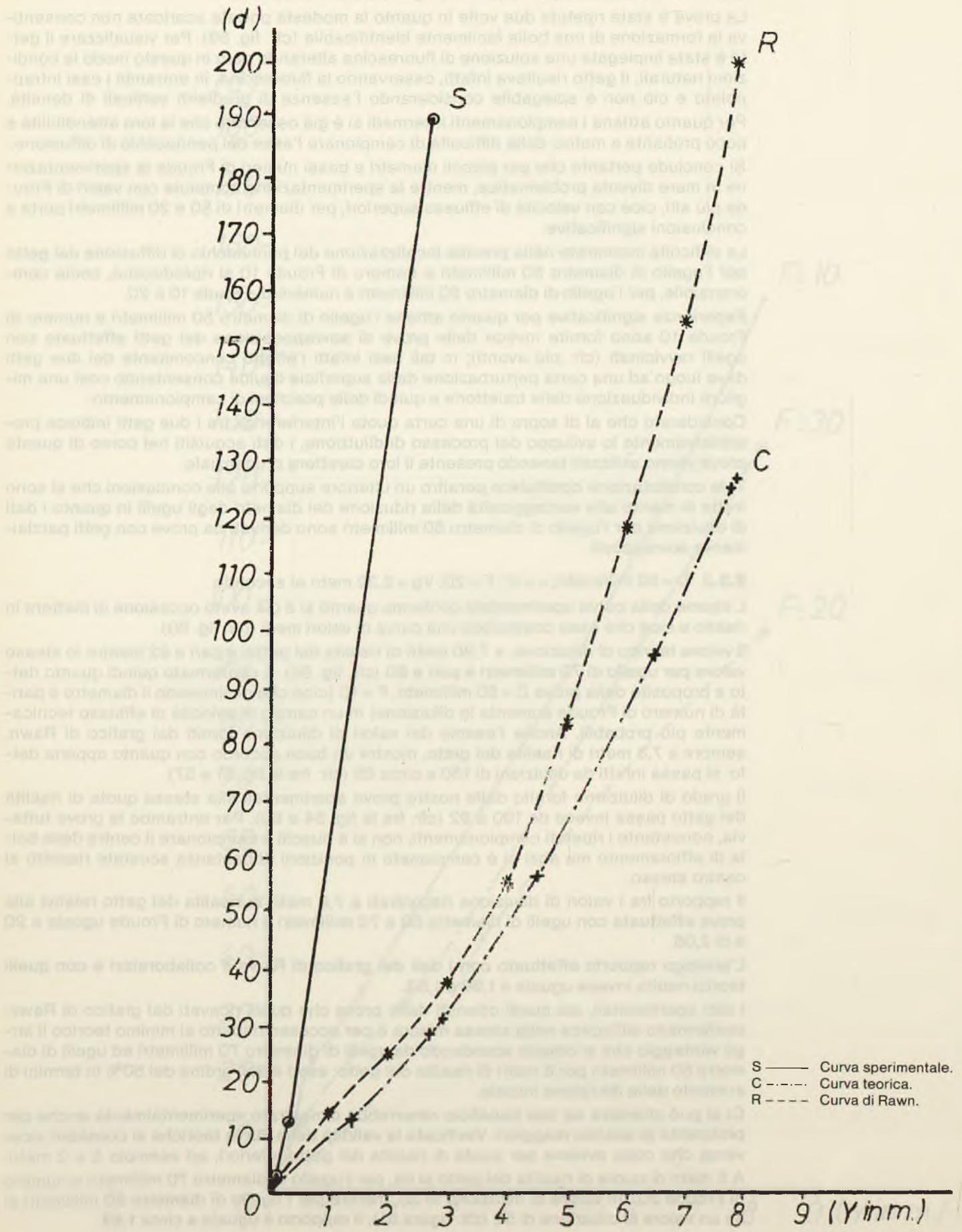


Figura 60 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 50 millimetri e numero di Froude 20

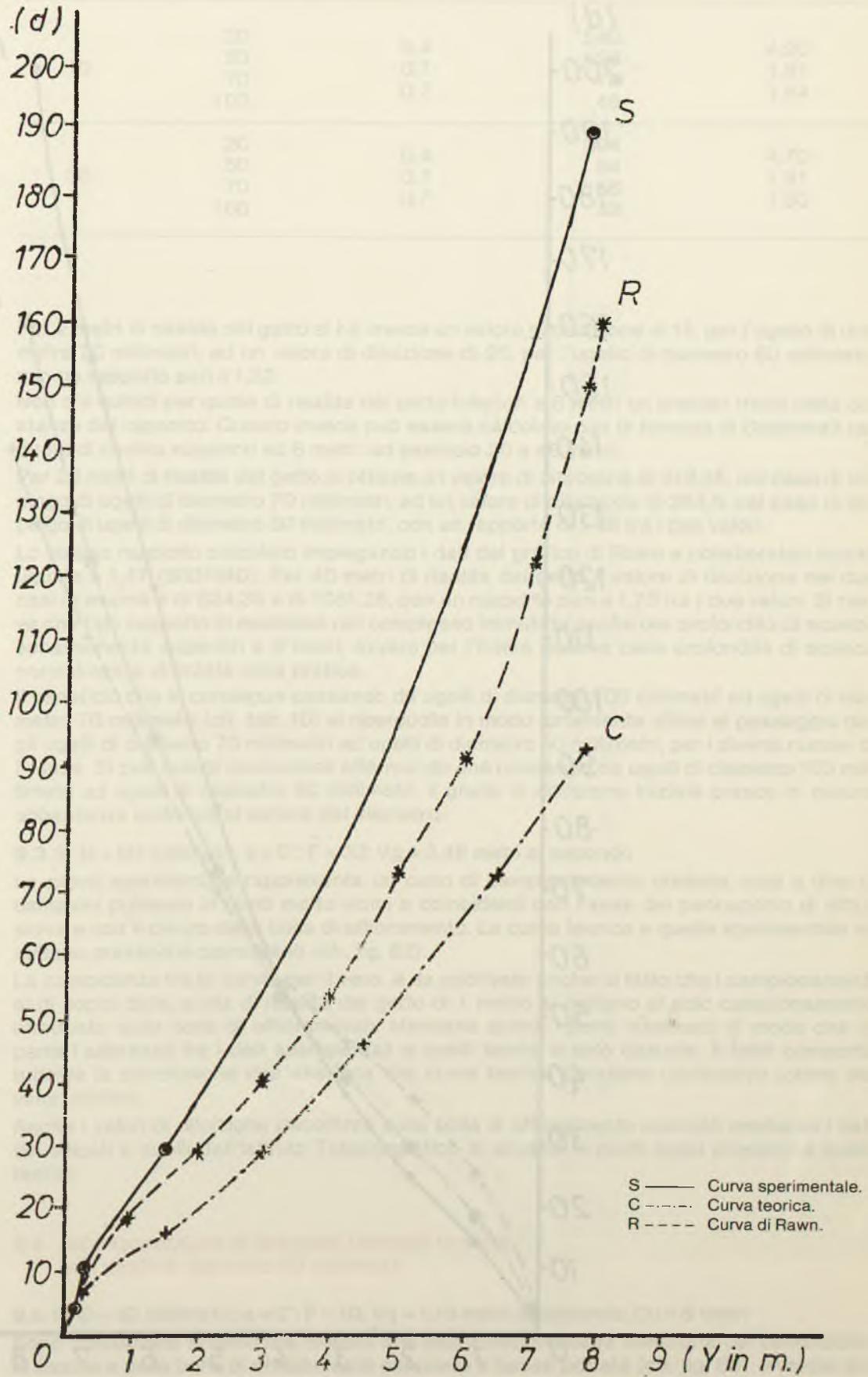


Figura 61 - Curve di diluizione sperimentale calcolate con i dati del grafico di Rawn, Bowerman e Brooks per ugelli di diametro 50 millimetri, di direzione orizzontale

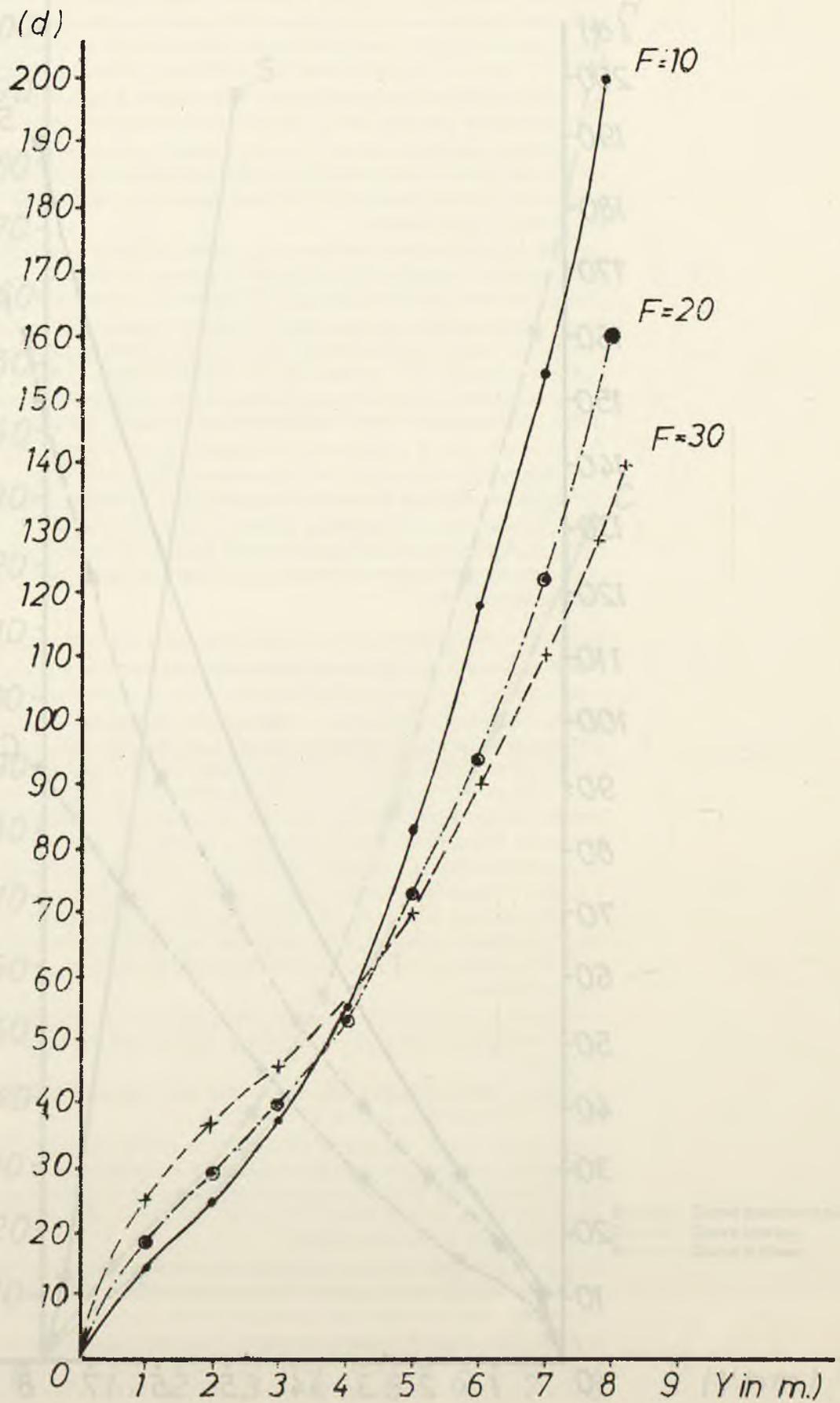


Tabella 10 - Confronto fra i rapporti di diluizione teorici per una quota di 8 metri di risalita del getto

Numero di Froude	Diametro ugello (mm)	Rapporto fra i diametri	Grado di diluizione	Rapporto fra i gradi di diluizione
10	20	0,4	540	4,20
	50		128	
	70		79	
	100		48	
30	20	0,4	394	4,70
	50		84	
	70		56	
	100		38	

Per 2 metri di risalita del getto si ha invece un valore di diluizione di 15, per l'ugello di diametro 70 millimetri, ed un valore di diluizione di 20, per l'ugello di diametro 50 millimetri, con un rapporto pari a 1,33.

Non c'è quindi per quote di risalita del getto inferiori a 8 metri un preciso trend nella costanza del rapporto. Questo invece può essere calcolato con la formula di Cederwall per quote di risalita superiori ad 8 metri: ad esempio 20 e 40 metri.

Per 20 metri di risalita del getto si ottiene un valore di diluizione di 219,25, nel caso di impiego di ugelli di diametro 70 millimetri, ed un valore di diluizione di 364,5, nel caso di impiego di ugelli di diametro 50 millimetri, con un rapporto di 1,66 tra i due valori.

Lo stesso rapporto calcolato impiegando i dati del grafico di Rawn e collaboratori risulta uguale a 1,47 (500/340). Per 40 metri di risalita del getto il valore di diluizione nei due casi in esame è di 634,35 e di 1081,25, con un rapporto pari a 1,70 tra i due valori. Si rileva che tale rapporto si mantiene nel complesso immutato anche per profondità di scarico sensibilmente superiori a 8 metri, ovvero per l'intera gamma delle profondità di scarico normalmente utilizzate nella pratica.

Il beneficio che si consegue passando da ugelli di diametro 100 millimetri ad ugelli di diametro 70 millimetri (cfr. tab. 10) si ripercuote in modo fortemente affine al passaggio dagli ugelli di diametro 70 millimetri ad ugelli di diametro 50 millimetri, per i diversi numeri di Froude. Si può quindi concludere affermando che passando da ugelli di diametro 100 millimetri ad ugelli di diametro 50 millimetri, il grado di diluizione iniziale cresce in misura abbastanza uniforme al variare del diametro.

9.3.3. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 30$; $V_g = 3,48$ metri al secondo

La prova sperimentale rappresenta un caso di campionamento ottimale, cioè a dire di campioni prelevati in punti molto vicini o coincidenti con l'asse del pennacchio di diffusione e con il centro della bolla di affioramento. La curva teorica e quella sperimentale risultano pressoché coincidenti (cfr. fig. 62).

La coincidenza fra le curve, per il vero, è da ascrivere anche al fatto che i campionamenti al di sopra della quota di risalita del getto di 1 metro si limitano al solo campionamento effettuato sulla bolla di affioramento. Mancano quindi i punti intermedi di modo che in parte l'aderenza fra i dati sperimentali e quelli teorici è solo casuale. Il fatto comporta tuttavia la conclusione che assegna alla curva teorica carattere cautelativo (curva dei valori minimi).

Anche i valori di diluizione riscontrati sulla bolla di affioramento calcolati mediante i dati dei silicati e quelli dell'Istituto Talassografico si situano in punti assai prossimi a quelli teorici.

9.4. Sovrapposizione di due getti immessi in mare con ugelli di diametro 50 millimetri

9.4.1. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$; $V_g = 1,16$ metri al secondo; $D_u = 8$ metri

Sono confermate le difficoltà relative alla localizzazione della traiettoria del pennacchio di risalita e della bolla di affioramento per prove a bassa portata (cfr. fig. 63). Il valore mi-

Figura 62 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 50 millimetri e numero di Froude 30

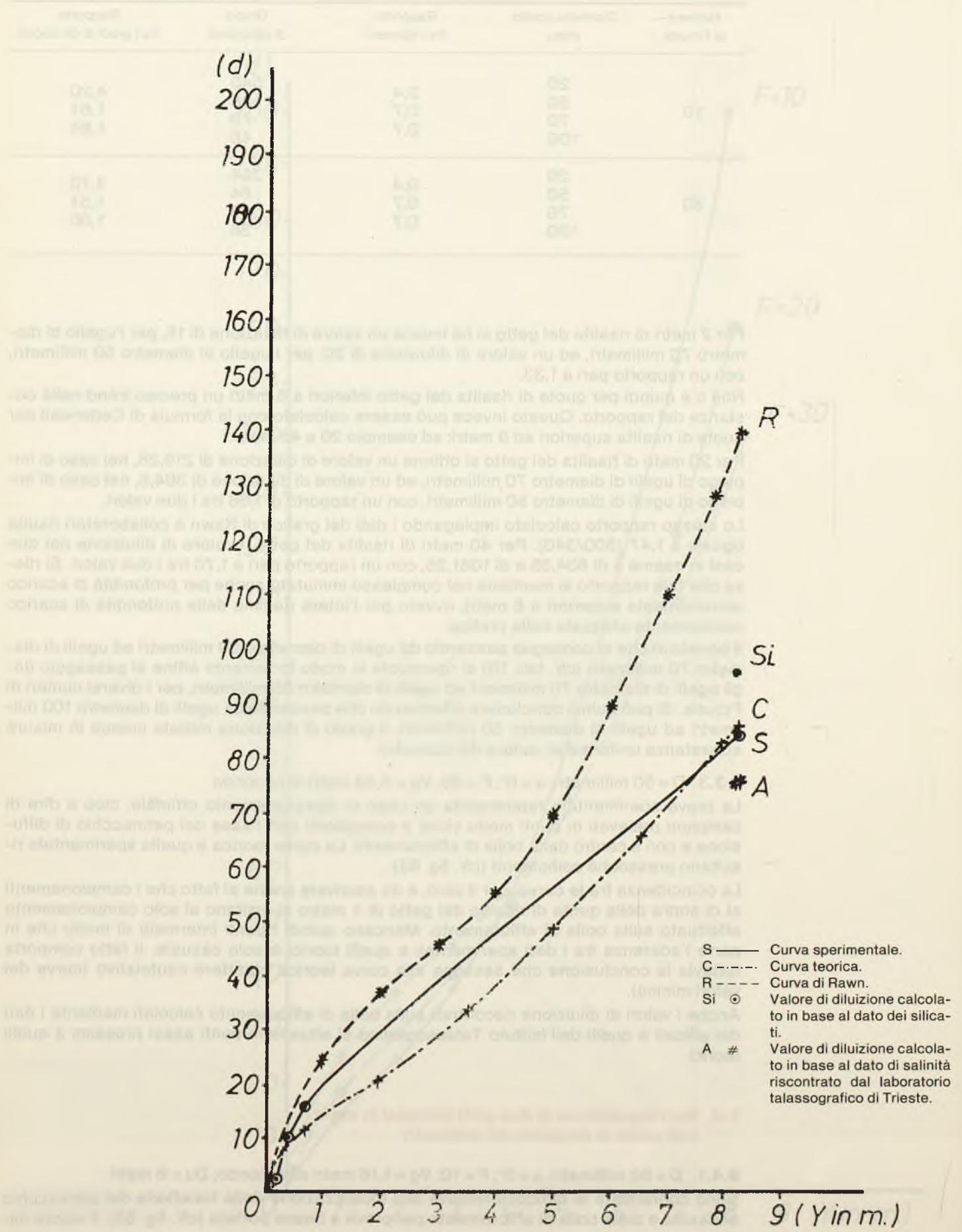
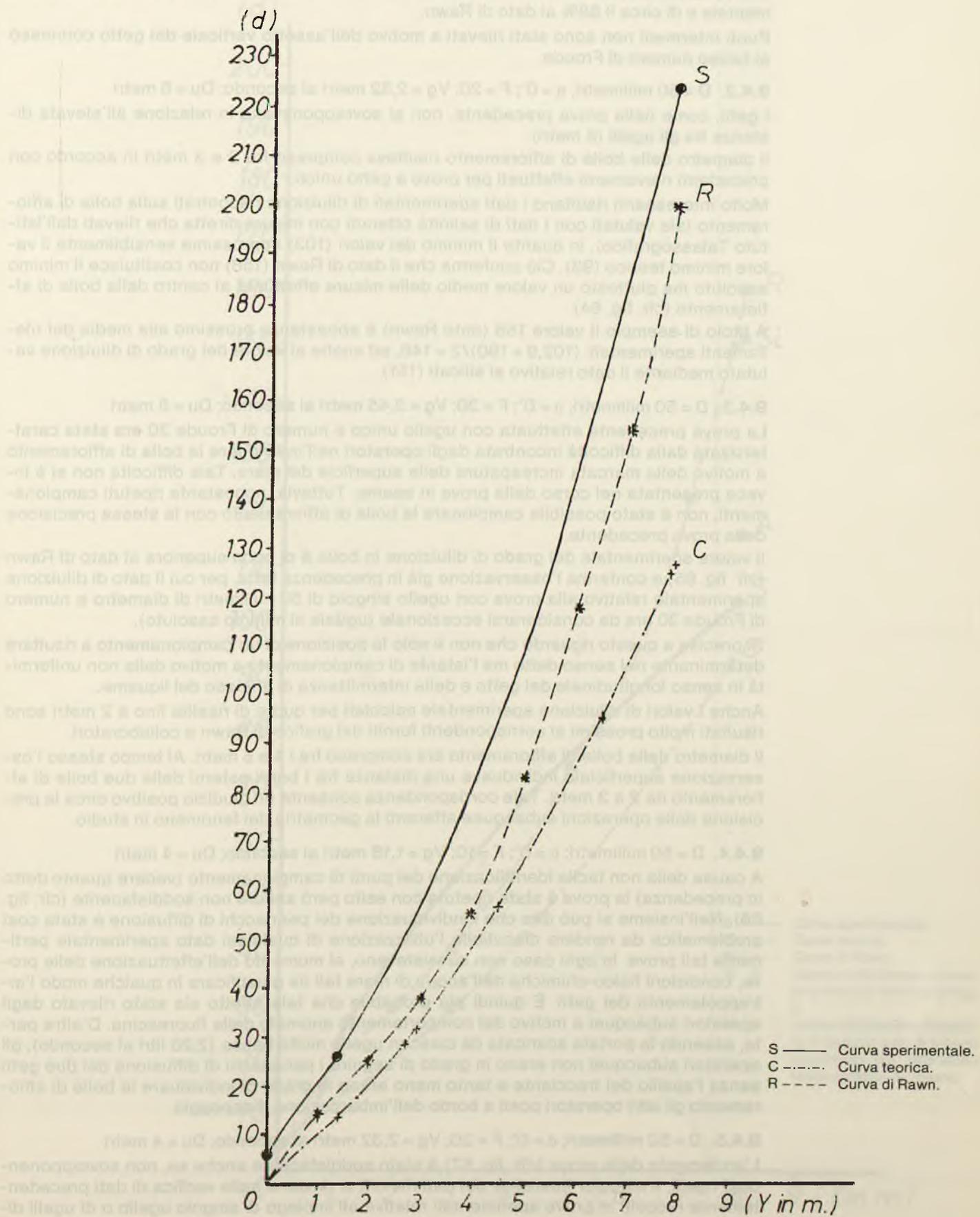


Figura 63 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 10 e distanza fra gli ugelli di 8 metri



nimo riscontrato sulla bolla di affioramento (minimo valore di tre campioni) è comunque appena del 10% discosto dal dato ricavato dal grafico di Rawn, confermando in tal modo la fortuita individuazione della posizione centrale della bolla di affioramento e al tempo stesso la validità del grafico di Rawn e collaboratori. Il valore teorico si conferma ancora una volta come valore minimo e a *fortiori*, in quanto risulta inferiore del 76% al dato sperimentale e di circa il 58% al dato di Rawn.

Punti intermedi non sono stati rilevati a motivo dell'assetto verticale del getto connesso al basso numero di Froude.

9.4.2. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 20$; $V_g = 2,32$ metri al secondo; $D_u = 8$ metri

I getti, come nella prova precedente, non si sovrapponevano in relazione all'elevata distanza fra gli ugelli (8 metri).

Il diametro delle bolle di affioramento risultava compreso fra 2 e 3 metri in accordo con precedenti rilevamenti effettuati per prove a getto unico.

Molto interessanti risultano i dati sperimentali di diluizione riscontrati sulla bolla di affioramento (sia valutati con i dati di salinità ottenuti con misura diretta che rilevati dall'Istituto Talassografico), in quanto il minimo dei valori (103) approssima sensibilmente il valore minimo teorico (93). Ciò conferma che il dato di Rawn (158) non costituisce il minimo assoluto ma piuttosto un valore medio delle misure effettuate al centro della bolla di affioramento (cfr. fig. 64).

A titolo di esempio il valore 158 (dato Rawn) è abbastanza prossimo alla media dei rilevamenti sperimentali: $(102,9 + 190)/2 = 146$, ed anche al valore del grado di diluizione valutato mediante il dato relativo ai silicati (151).

9.4.3. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 30$; $V_g = 3,45$ metri al secondo; $D_u = 8$ metri

La prova precedente effettuata con ugello unico e numero di Froude 30 era stata caratterizzata dalla difficoltà incontrata dagli operatori nell'individuare la bolla di affioramento a motivo della marcata increspatura della superficie del mare. Tale difficoltà non si è invece presentata nel corso della prova in esame. Tuttavia, nonostante ripetuti campionamenti, non è stato possibile campionare la bolla di affioramento con la stessa precisione della prova precedente.

Il valore sperimentale del grado di diluizione in bolla è di poco superiore al dato di Rawn (cfr. fig. 65) e conferma l'osservazione già in precedenza fatta, per cui il dato di diluizione sperimentale relativo alla prova con ugello singolo di 50 millimetri di diametro e numero di Froude 30 era da considerarsi eccezionale (uguale al minimo assoluto).

Si precisa a questo riguardo che non è solo la posizione di un campionamento a risultare determinante nel senso detto ma l'istante di campionamento a motivo della non uniformità in senso longitudinale del getto e della intermittenza di afflusso del liquame.

Anche i valori di diluizione sperimentale calcolati per quote di risalita fino a 2 metri sono risultati molto prossimi ai corrispondenti forniti dal grafico di Rawn e collaboratori.

Il diametro delle bolle di affioramento era compreso fra i 4 e 5 metri. Al tempo stesso l'osservazione superficiale individuava una distanza fra i bordi esterni delle due bolle di affioramento da 2 a 3 metri. Tale corrispondenza consente un giudizio positivo circa la precisione delle operazioni subacquee afferenti la geometria del fenomeno in studio.

9.4.4. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$; $V_g = 1,16$ metri al secondo; $D_u = 4$ metri

A causa della non facile identificazione dei punti di campionamento (vedere quanto detto in precedenza) la prova è stata ripetuta con esito però ancora non soddisfacente (cfr. fig. 66). Nell'insieme si può dire che l'individuazione dei pennacchi di diffusione è stata così problematica da rendere discutibile l'utilizzazione di qualsiasi dato sperimentale pertinente tali prove. In ogni caso non sussistevano, al momento dell'effettuazione delle prove, condizioni fisico-chimiche dell'acqua di mare tali da giustificare in qualche modo l'intrappolamento dei getti. È quindi più probabile che tale effetto sia stato rilevato dagli operatori subacquei a motivo del comportamento anomalo della fluorescina. D'altra parte, essendo la portata scaricata da ciascun ugello molto bassa (2,28 litri al secondo), gli operatori subacquei non erano in grado di seguire i pennacchi di diffusione dei due getti senza l'ausilio del tracciante e tanto meno erano in grado di individuare le bolle di affioramento gli altri operatori posti a bordo dell'imbarcazione d'appoggio.

9.4.5. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 20$; $V_g = 2,32$ metri al secondo; $D_u = 4$ metri

L'andamento della prova (cfr. fig. 67) è stato soddisfacente anche se, non sovrapponendosi i getti, il maggior interesse dei dati rilevati si rinviene nella verifica di dati precedentemente raccolti in prove sperimentali relative all'impiego di singolo ugello o di ugelli di-

Figura 64 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 20 e distanza fra gli ugelli di 8 metri

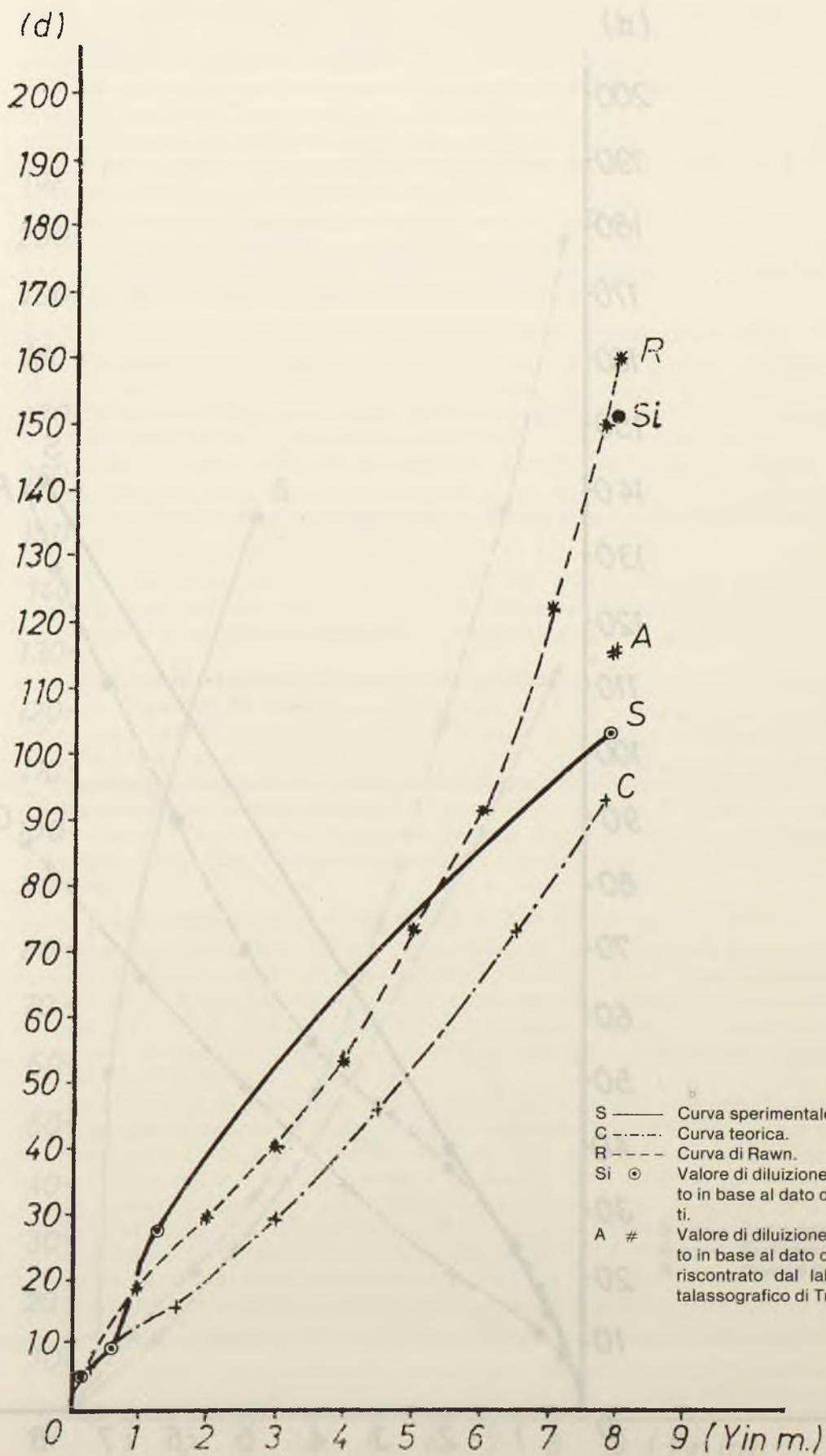


Figura 65 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 30 e distanza fra gli ugelli di 8 metri

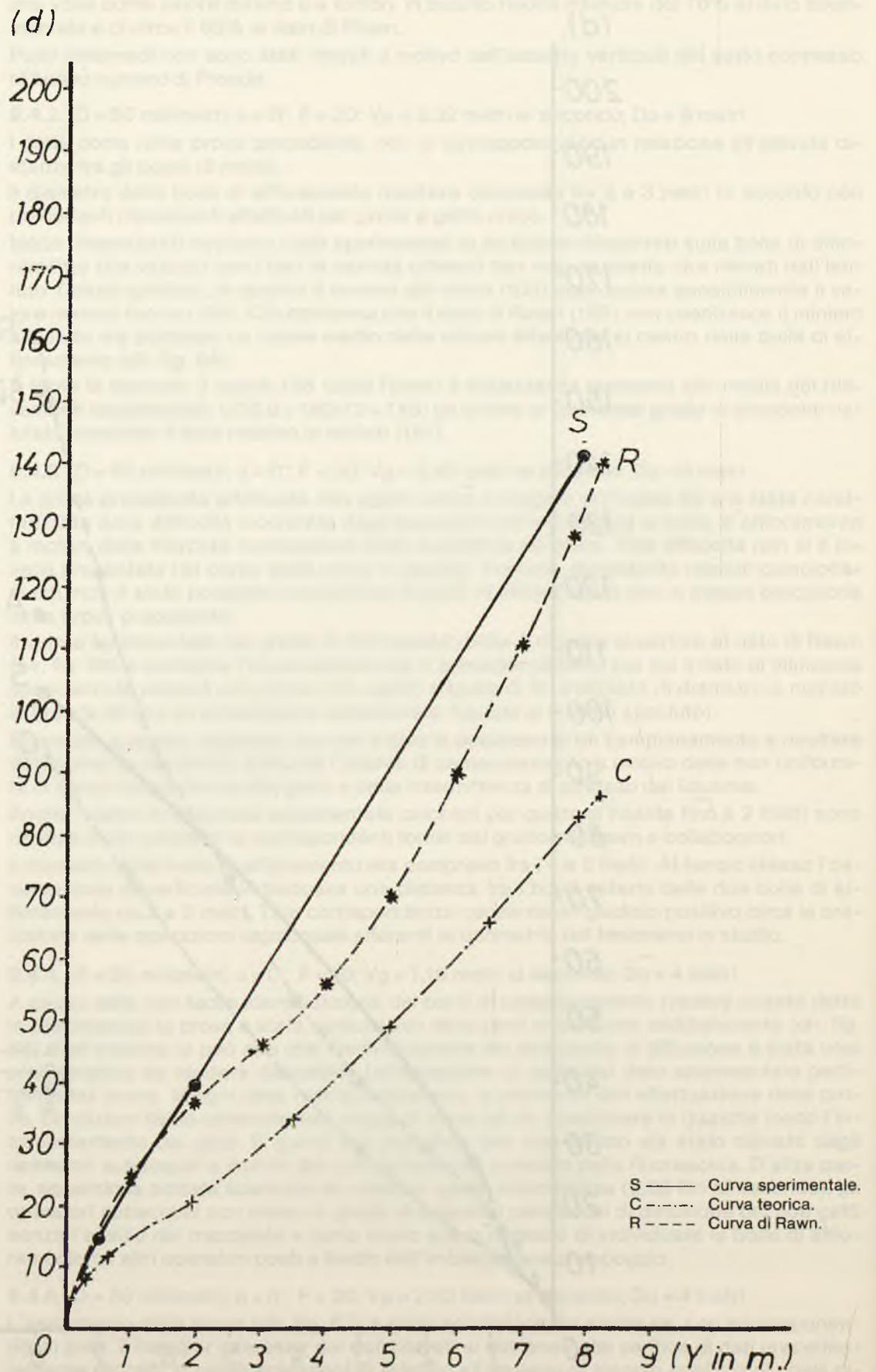


Figura 66 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 10 e distanza fra gli ugelli di 4 metri

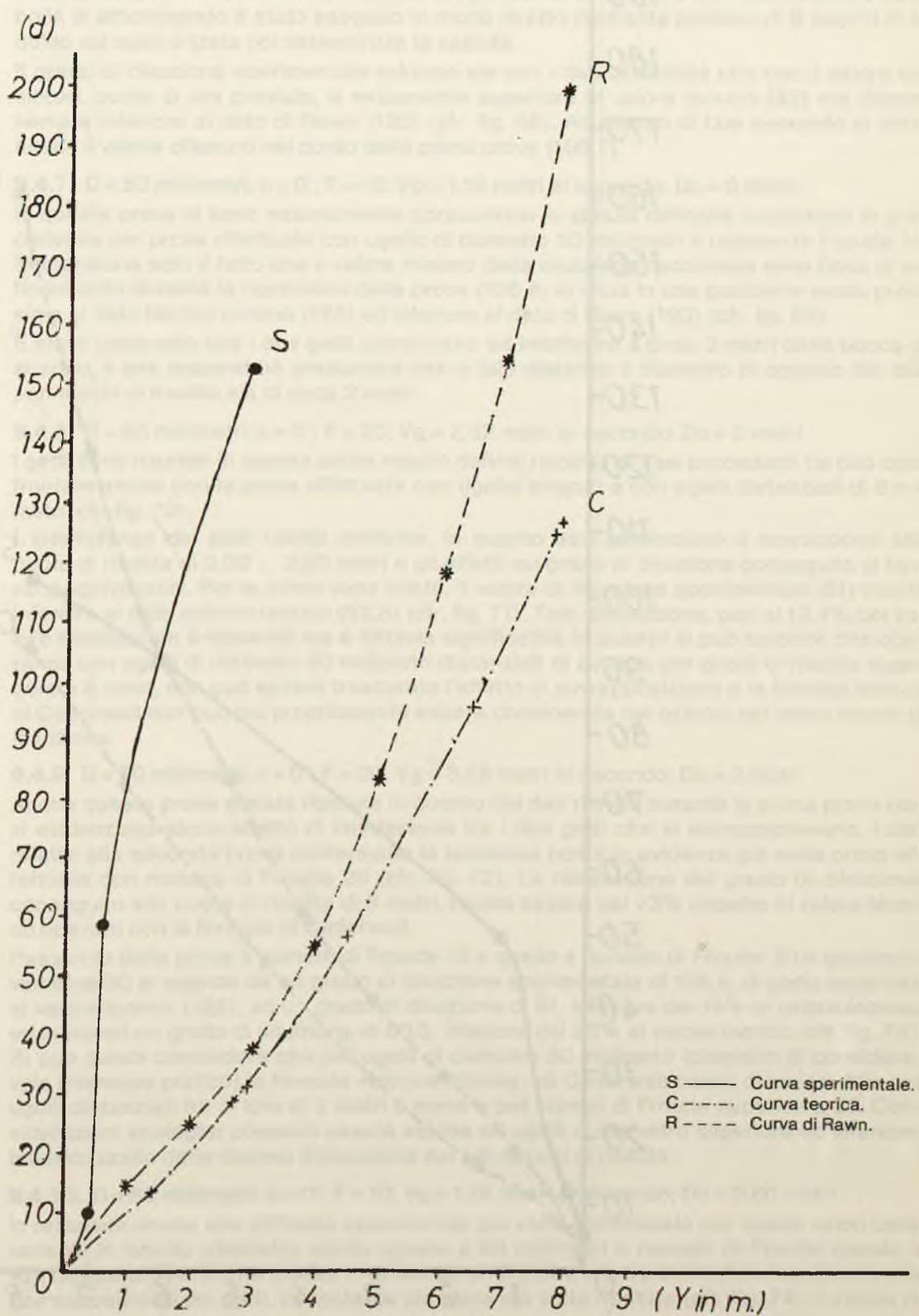
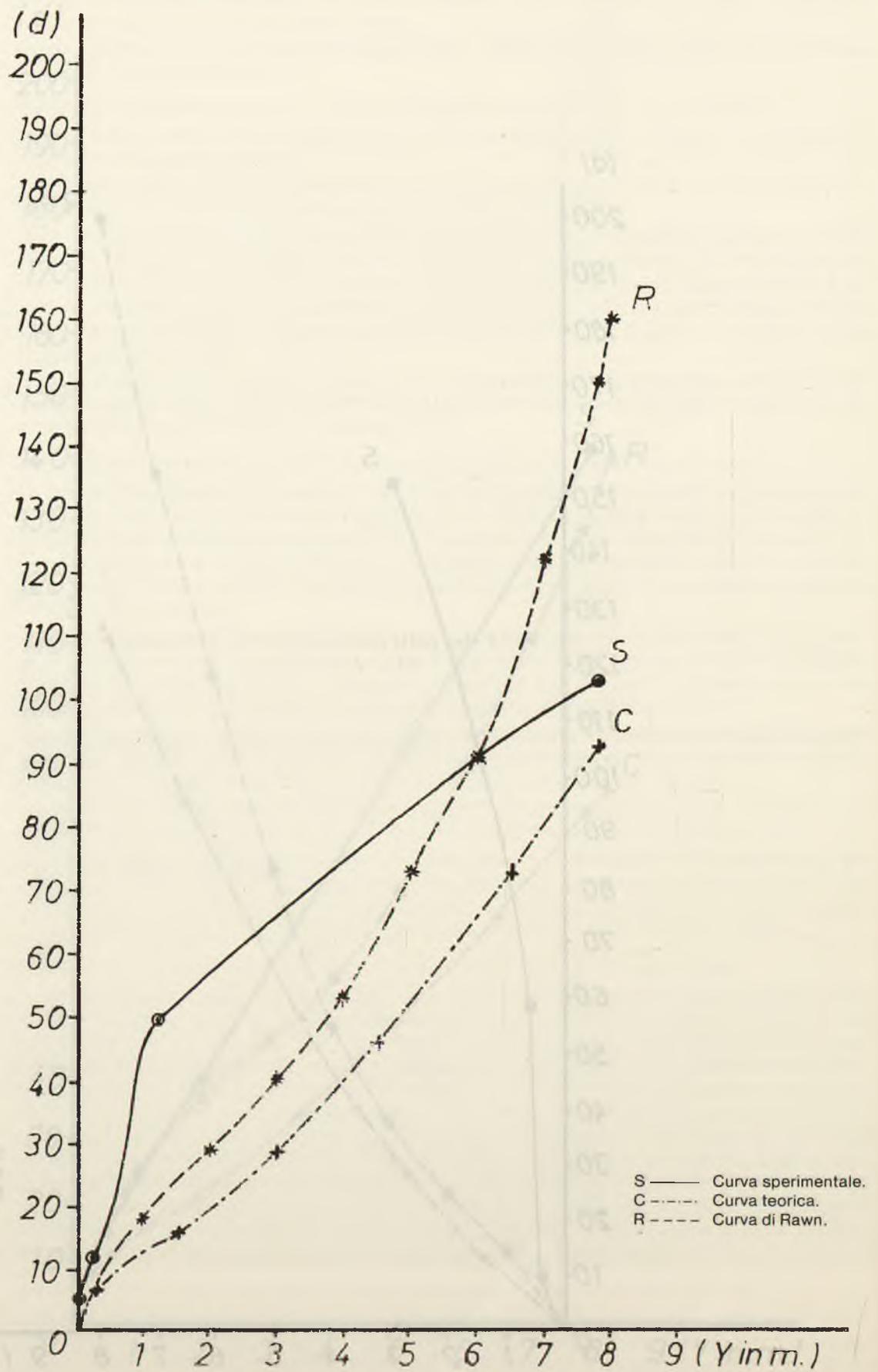


Figura 67 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 20 e distanza fra gli ugelli di 4 metri



stanziati di 8 metri (e cioè ancora su singolo ugello). Il dato di diluizione sperimentale rilevato al centro della bolla di affioramento corrisponde infatti esattamente a quello rilevato nella prova con ugelli distanziati di 8 metri, suffragando quindi ulteriormente le conclusioni relative.

9.4.6. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 30$; $V_g = 3,48$ metri al secondo; $D_u = 4$ metri

La prova è stata ripetuta a causa di alcune incongruenze emerse dall'insieme degli elementi raccolti (i valori della diluizione risultavano sproporzionati alla quota di $2 \div 3$ metri di risalita cioè alla stessa quota dove i due getti iniziavano a sovrapporsi).

In queste condizioni non si sapeva quale attendibilità affidare al rilevamento più importante effettuato sulla bolla. Nel corso della ripetizione della prova il campionamento sulla bolla di affioramento è stato eseguito in modo diretto mediante prelievo di 9 secchi di liquido sui quali è stata poi determinata la salinità.

Il grado di diluizione sperimentale valutato sia con i dati di salinità che con il valore dei silicati, come si era previsto, è nettamente superiore al valore teorico (82) ma rimane sempre inferiore al dato di Rawn (128) (cfr. fig. 68). All'interno di tale intervallo si situa anche il valore ottenuto nel corso della prima prova (108,7).

9.4.7. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$; $V_g = 1,16$ metri al secondo; $D_u = 2$ metri

In questa prova si sono naturalmente ripresentate le stesse difficoltà riscontrate in precedenza per prove effettuate con ugello di diametro 50 millimetri e numero di Froude 10. Si menziona solo il fatto che il valore minimo della diluizione riscontrata sulla bolla di affioramento durante la ripetizione della prova (136,4) si situa in una posizione assai prossima al dato teorico minimo (125) ed inferiore al dato di Rawn (190) (cfr. fig. 69).

È stato osservato che i due getti cominciano ad interferire a circa 3 metri dalla bocca di scarico, il che lascerebbe presumere che a tale distanza il diametro di ognuno dei due pennacchi di risalita sia di circa 2 metri.

9.4.8. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 20$; $V_g = 2,32$ metri al secondo; $D_u = 2$ metri

I getti sono risultati in questa prova meglio definiti rispetto ai casi precedenti (si può confrontare anche con le prove effettuate con ugello singolo e con ugelli distanziati di 8 e 4 metri, cfr. fig. 70).

L'interferenza dei getti risulta evidente, in quanto essi cominciano a sovrapporsi alla quota di risalita di $2,00 \div 2,50$ metri e gli effetti sul grado di diluizione conseguito si fanno inequivocabili. Per la prima volta infatti, il valore di diluizione sperimentale (81) risulta inferiore al dato minimo teorico (92,5) (cfr. fig. 71). Tale diminuzione, pari al 12,4% del valore teorico, non è rilevante ma è tuttavia significativa in quanto si può stabilire che operando con ugelli di diametro 50 millimetri distanziati di 2 metri, per quote di risalita superiore a 8 metri, non può essere trascurato l'effetto di sovrapposizione e la formula teorica di Cederwall non può più propriamente essere considerata nel calcolo dei valori minimi di diluizione.

9.4.9. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 30$; $V_g = 3,48$ metri al secondo; $D_u = 2$ metri

Anche questa prova è stata ripetuta in quanto dai dati rilevati durante la prima prova non si evidenziava alcun effetto di interferenza fra i due getti che si sovrapponevano. I dati relativi alla seconda prova confermano la tendenza posta in evidenza già nella prova effettuata con numero di Froude 20 (cfr. fig. 72). La diminuzione del grado di diluizione, conseguito alla quota di risalita di 8 metri, risulta essere del 23% rispetto al valore teorico ricavato con la formula di Cederwall.

Passando dalla prova a numero di Froude 10 a quello a numero di Froude 20 e successivamente 30 si scende da un grado di diluizione sperimentale di 136,4, di poco superiore al valore teorico (125), ad un grado di diluizione di 81, inferiore del 14% al valore teorico, ed infine ad un grado di diluizione di 63,5, inferiore del 23% al valore teorico (cfr. fig. 73). Si può quindi concludere che per ugelli di diametro 50 millimetri (diametro di considerevole interesse pratico) la formula «teorica minima» di Cederwall cessa di essere tale per ugelli distanziati fra di loro di 2 metri o meno e per numeri di Froude superiori a 20. Considerazioni analoghe possono essere estese ad ugelli di diametro superiore ed inferiore, tenendo conto della diversa dimensione dei pennacchi di risalita.

9.4.10. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$; $V_g = 1,16$ metri al secondo; $D_u = 0,60$ metri

In relazione anche alle difficoltà sperimentali più volte sottolineate per questi valori delle variabili in istudio (diametro ugello uguale a 50 millimetri e numero di Froude uguale a 10), questa prova non ha messo in evidenza un preciso effetto di interferenza dovuto alla sovrapposizione dei getti, nonostante sia stata più volte ripetuta (cfr. fig. 74). Il valore di

Figura 68 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 30 e distanza fra gli ugelli di 4 metri

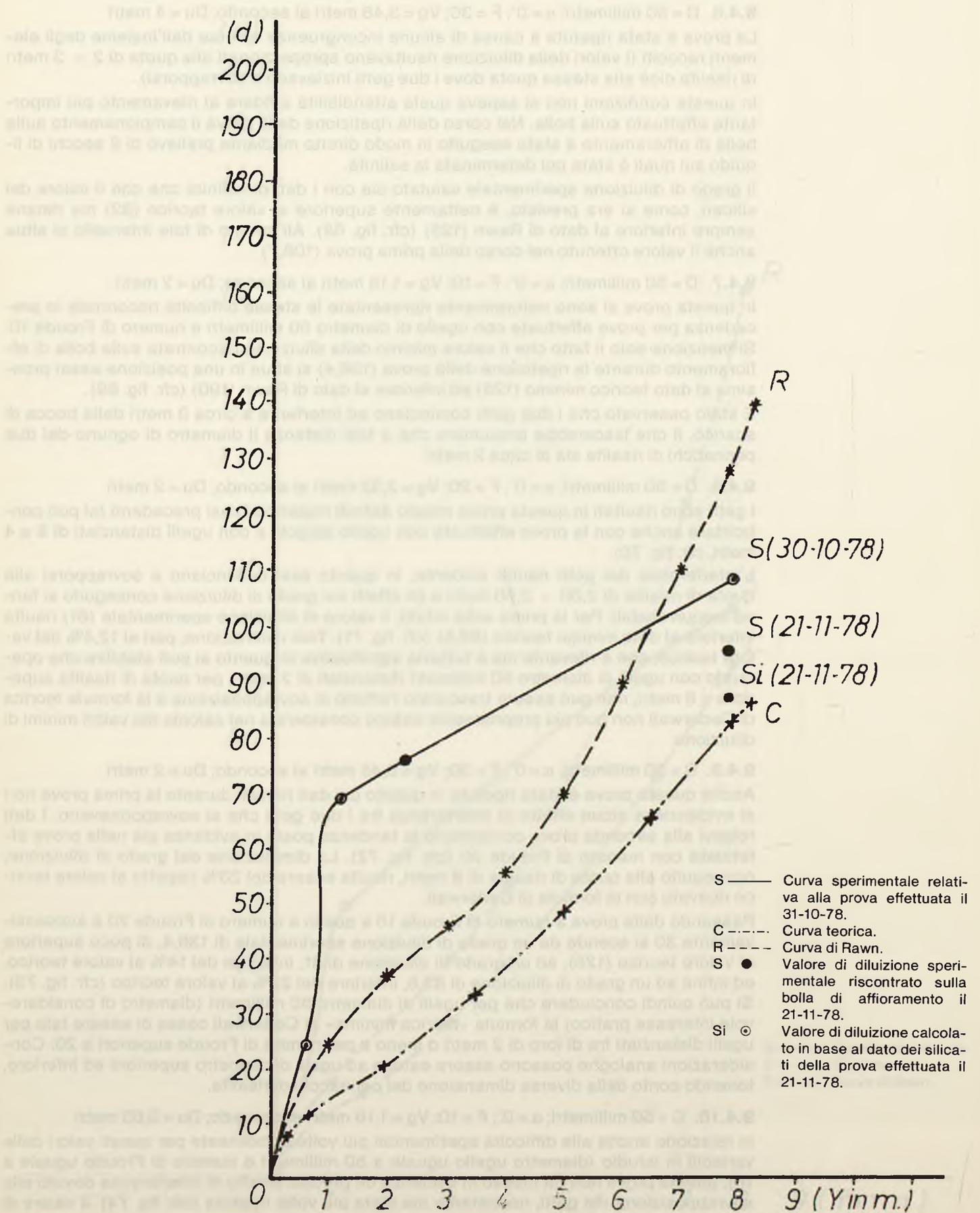


Figura 69 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 10 e distanza fra gli ugelli di 2 metri

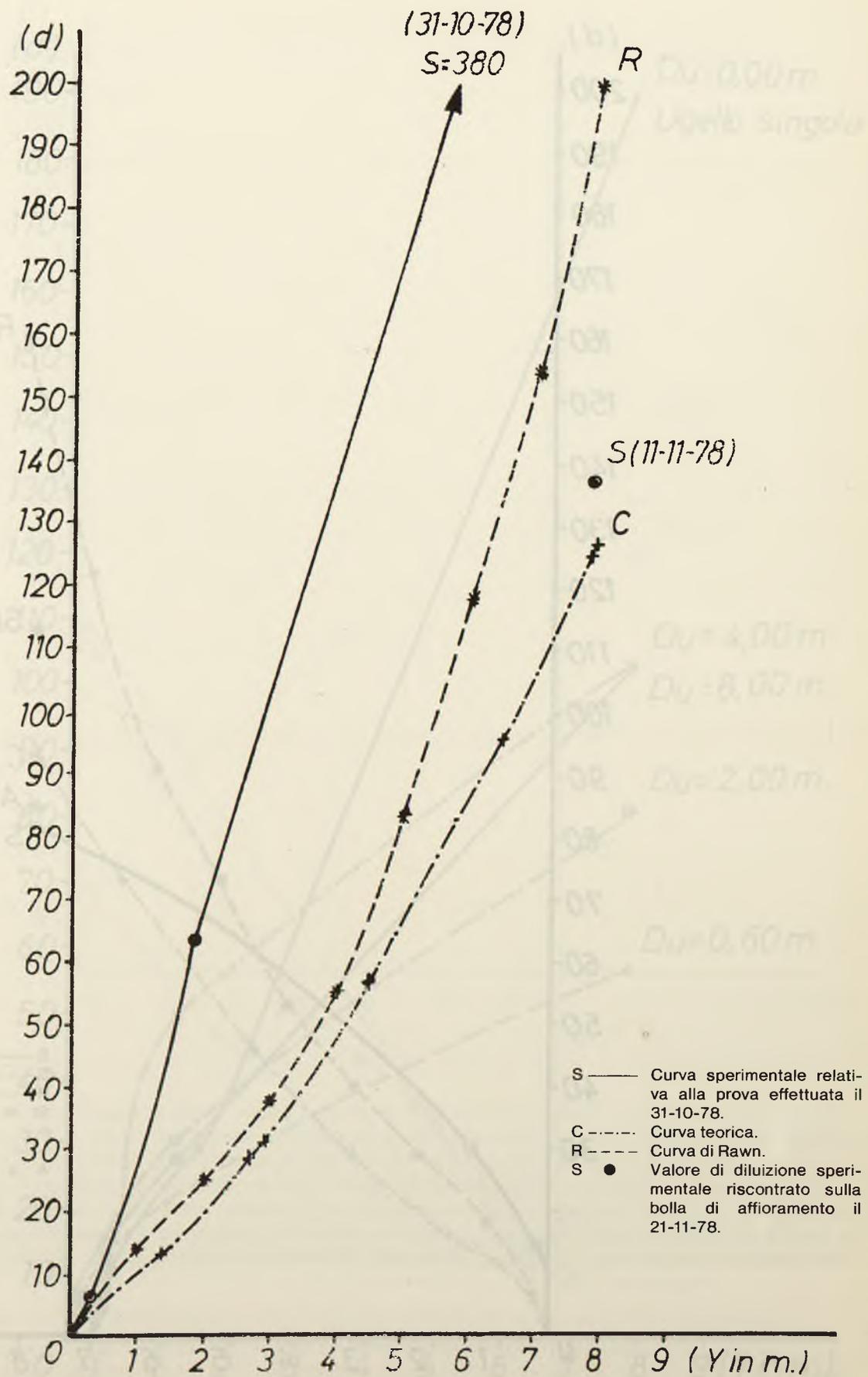


Figura 70 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 20 e distanza fra gli ugelli di 2 metri

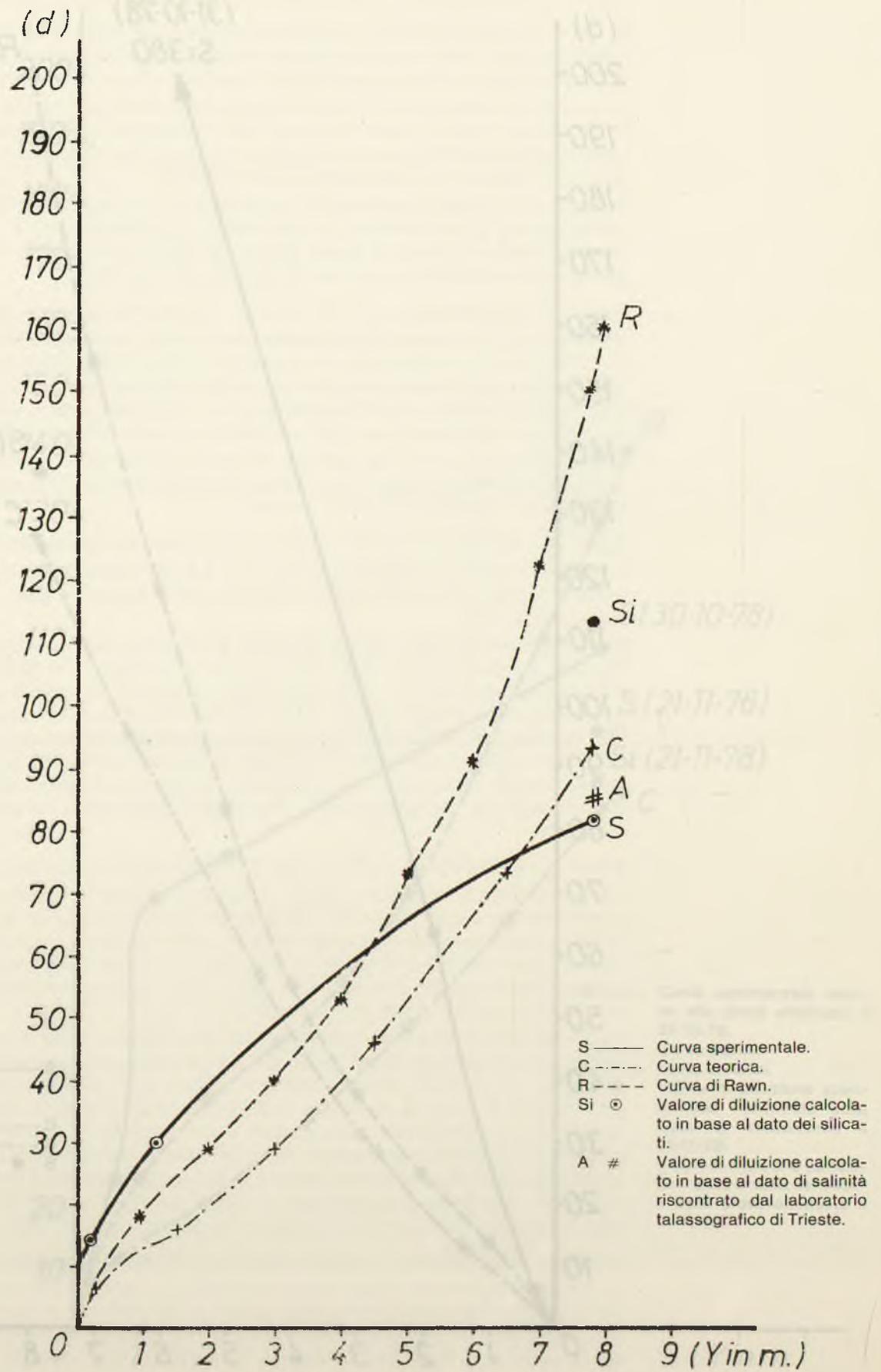


Figura 71 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 50 millimetri, direzione orizzontale e numero di Froude 20

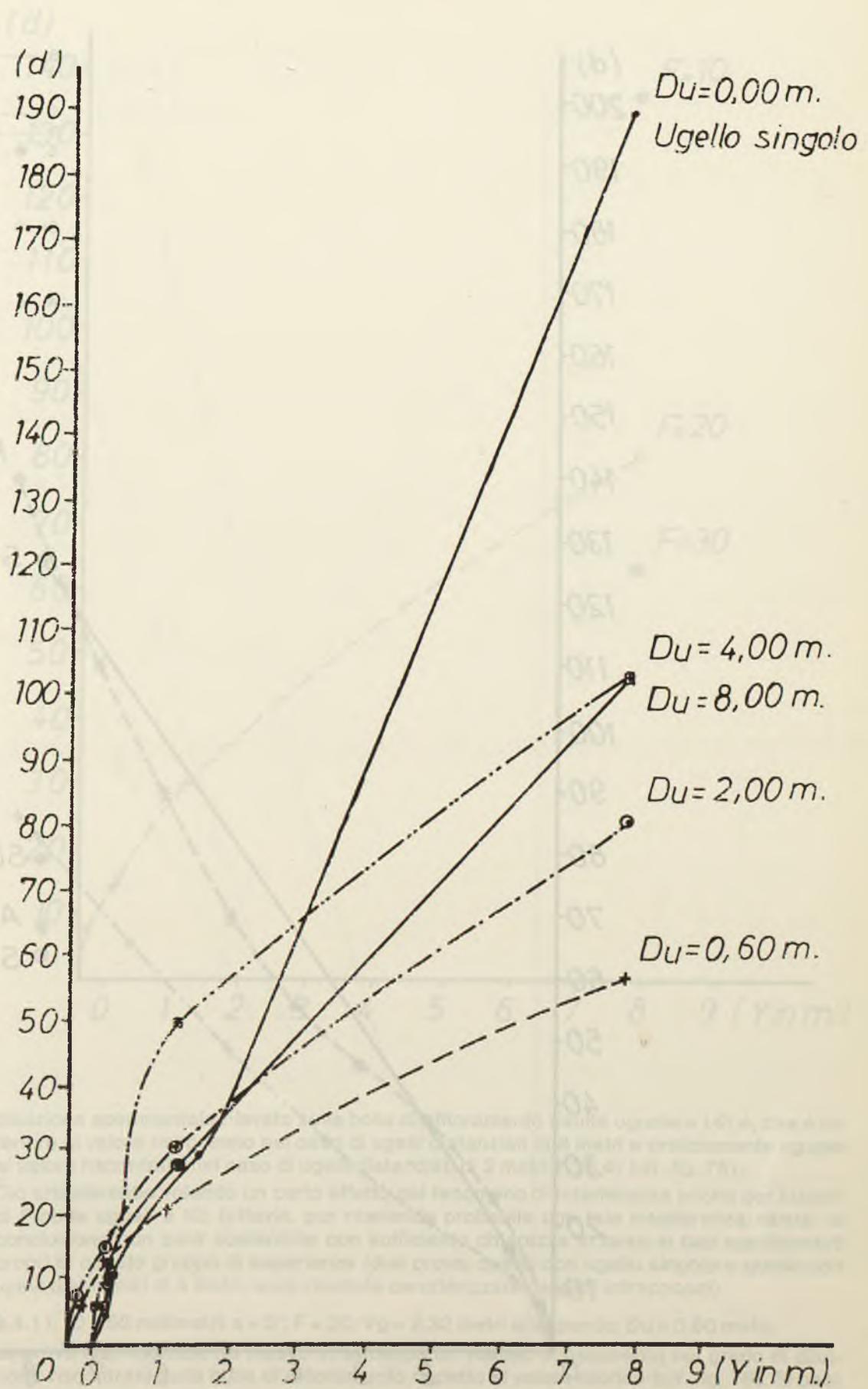


Figura 72 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 30 e distanza fra gli ugelli 2 metri

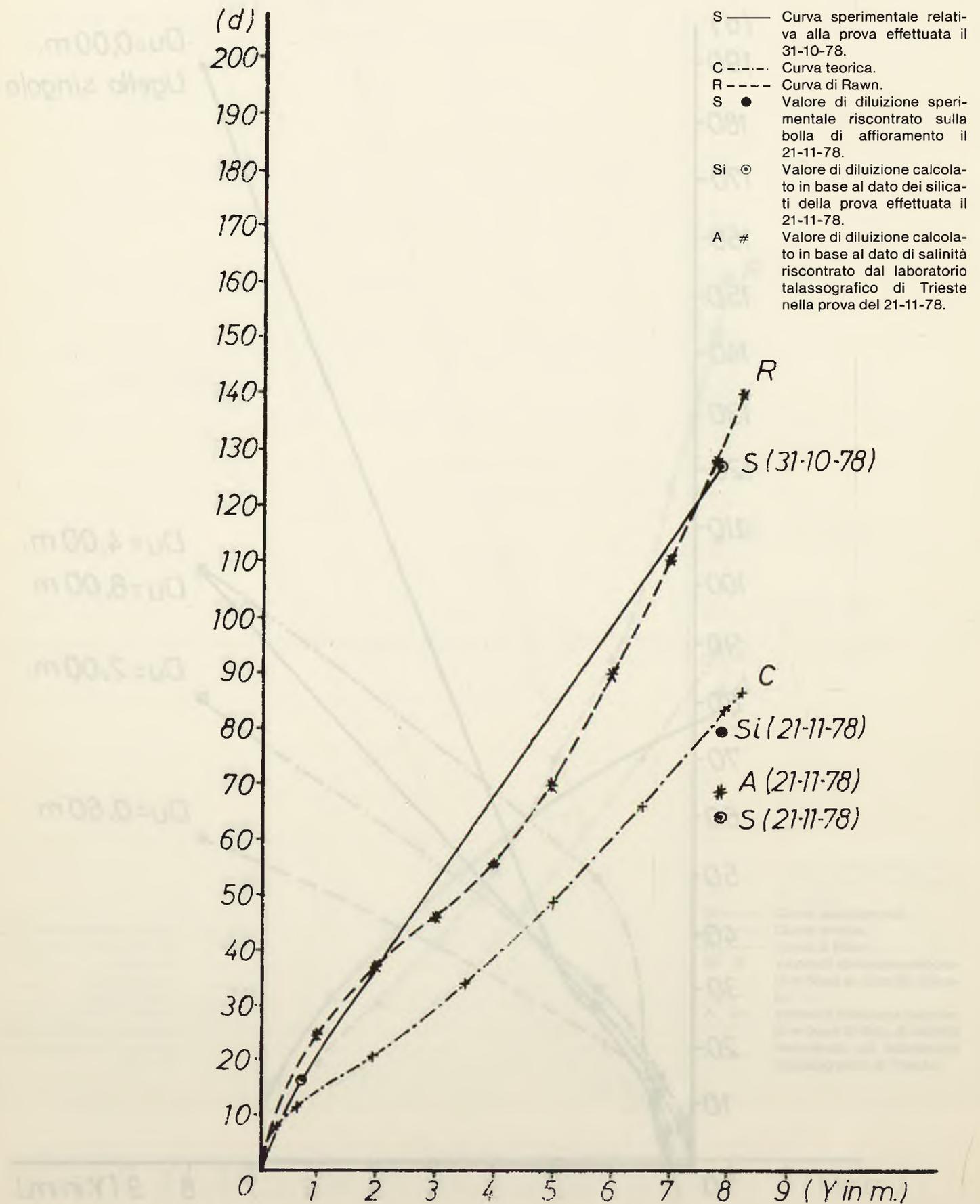
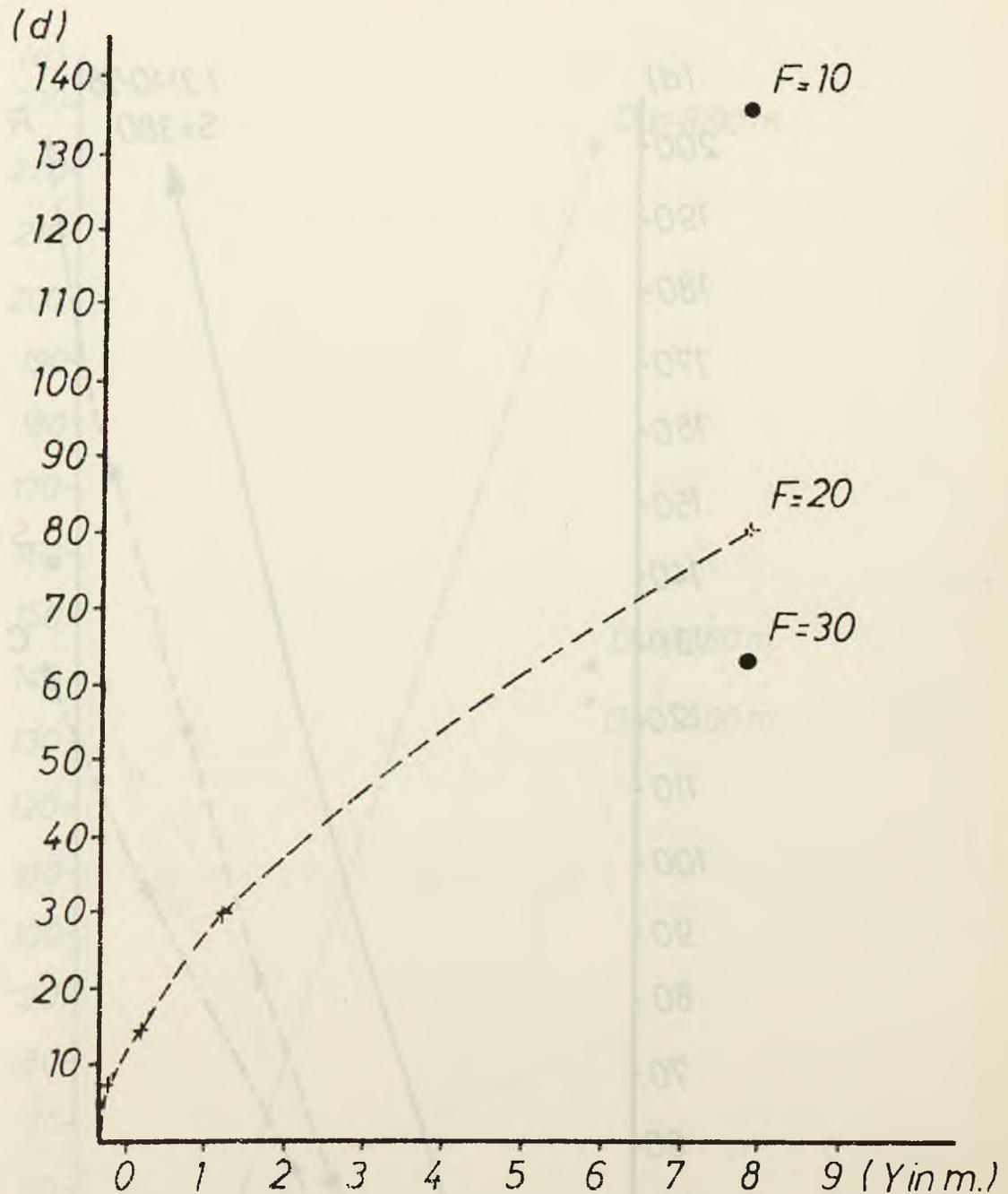


Figura 73 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 50 millimetri, direzione orizzontale e distanze fra gli ugelli di 2 metri



diluizione sperimentale rilevato sulla bolla di affioramento risulta uguale a 141,4, che è inferiore al valore riscontrato nel caso di ugelli distanziati di 8 metri e praticamente uguale al valore riscontrato nel caso di ugelli distanziati di 2 metri (136,4) (cfr. fig. 75).

Ciò attesterebbe volendo un certo effetto del fenomeno di interferenza anche per numeri di Froude uguali a 10; tuttavia, pur ritenendo probabile che tale interferenza esista, la conclusione non pare sostenibile con sufficiente chiarezza in base ai dati sperimentati propri di questo gruppo di esperienze (due prove, quella con ugello singolo e quello con ugelli distanziati di 4 metri, sono risultate caratterizzate da getti intrappolati).

9.4.11. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 20$; $V_g = 2,32$ metri al secondo; $D_u = 0,60$ metri

La prova sperimentale ha messo in evidenza un vistoso scostamento nel grado di diluizione riscontrato sulla bolla di affioramento rispetto al valore teorico (cfr. fig. 76). Si pas-

Figura 74 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 10, e distanza fra gli ugelli di 0,60 metri

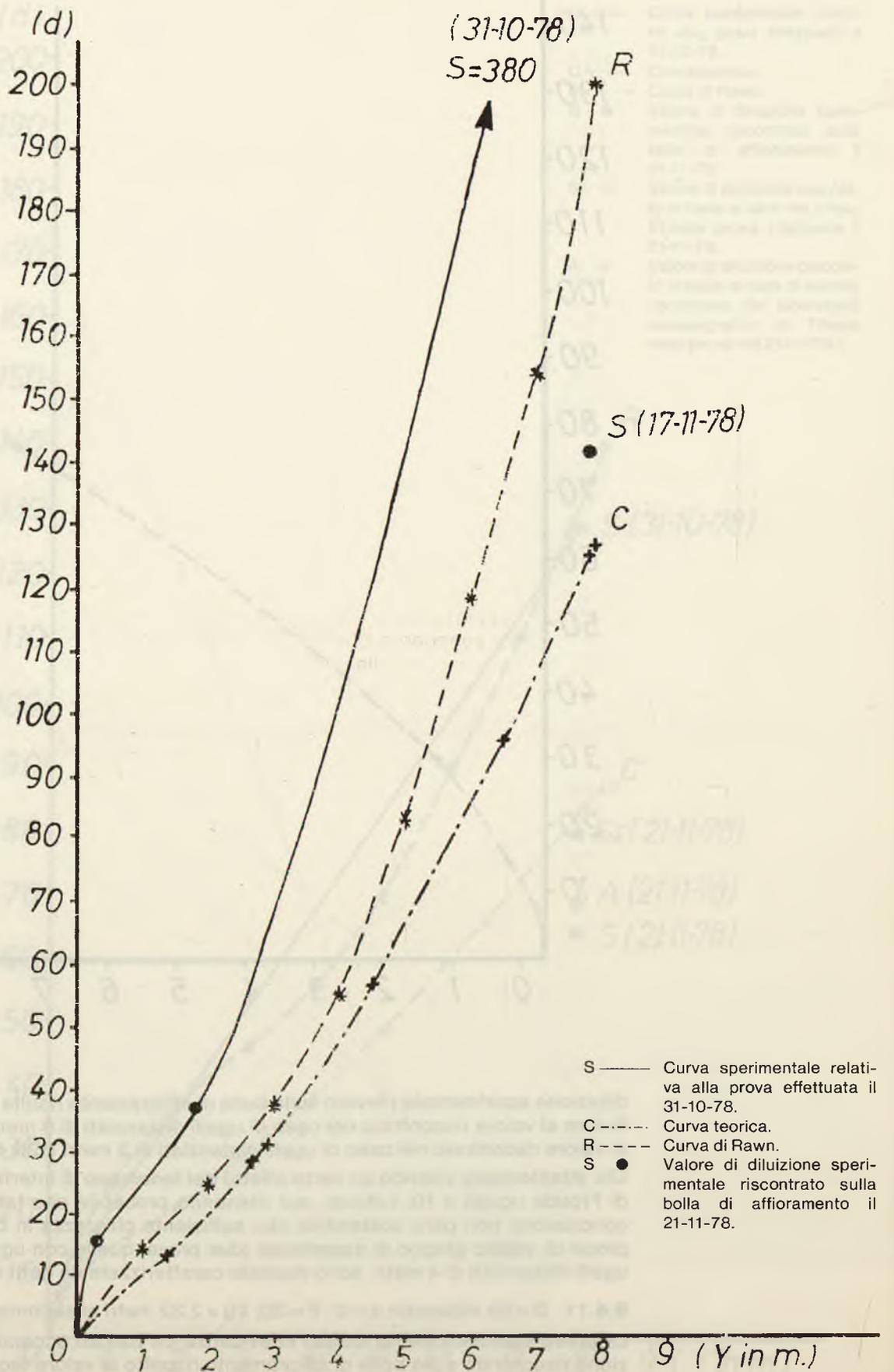


Figura 75 - Curve sperimentali di diluizione per ugelli di diametro 50 millimetri, direzione orizzontale e numero di Froude 10

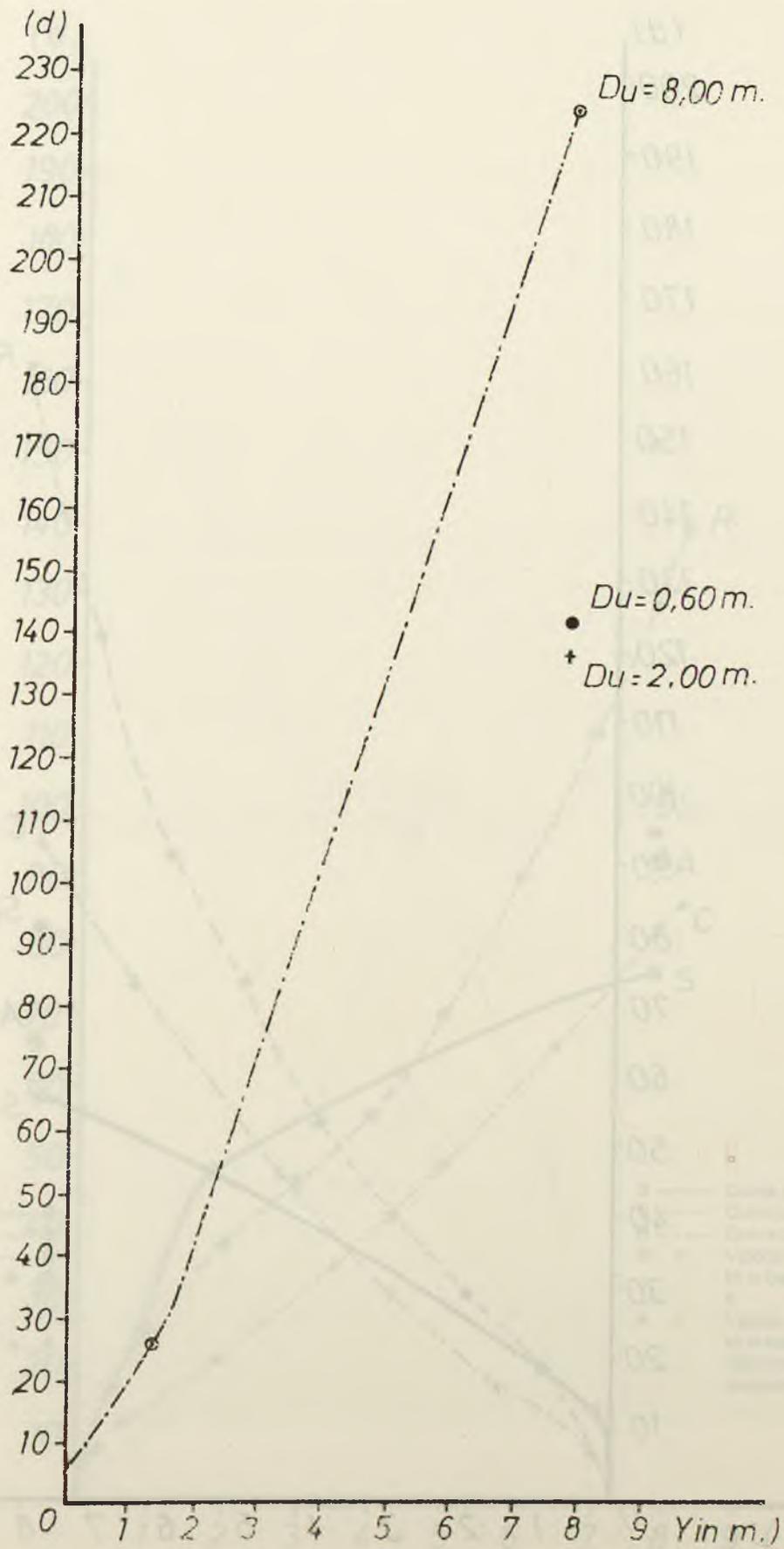


Figura 76 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 20 e distanza fra gli ugelli di 0,60 metri

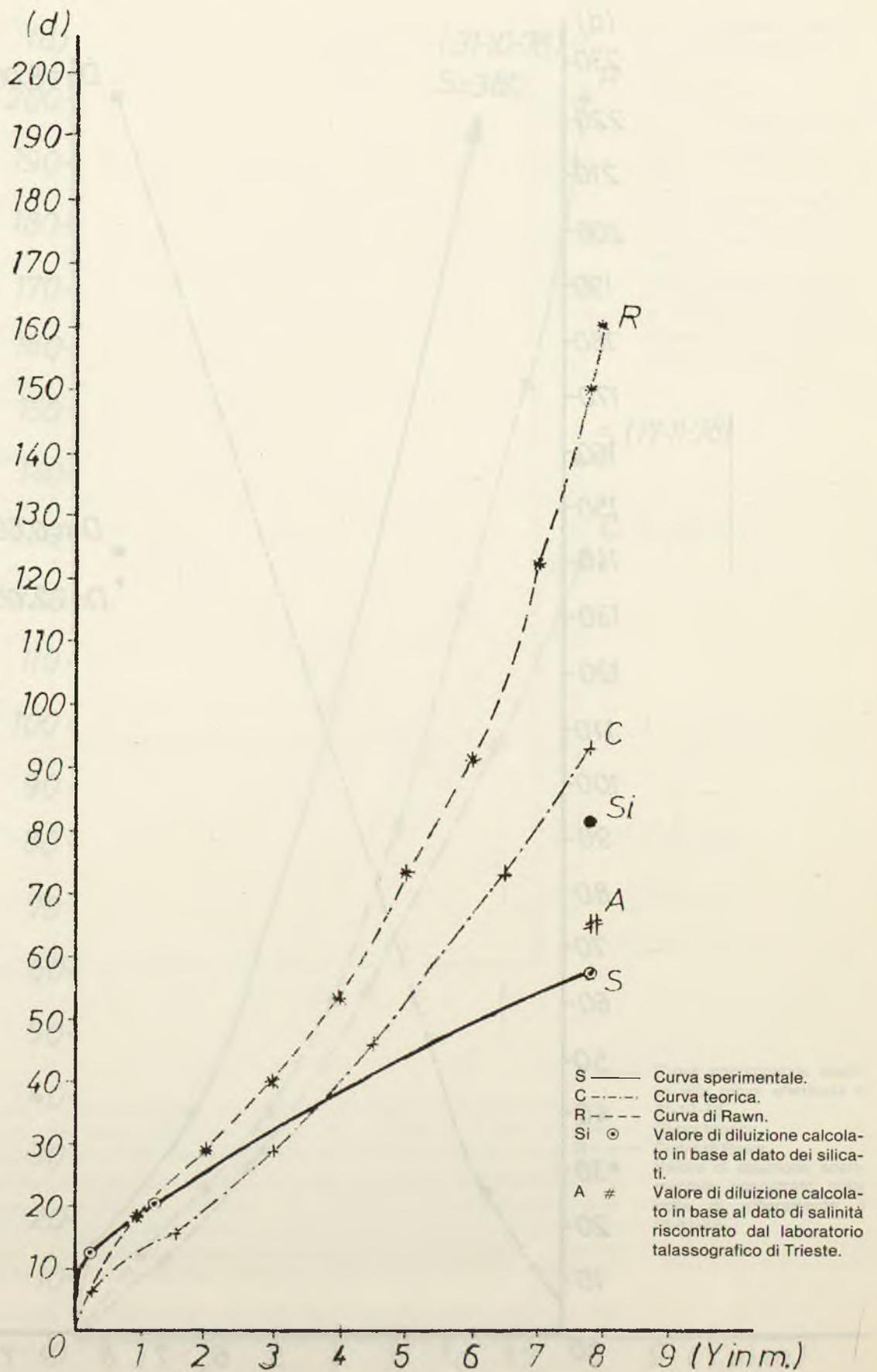


Figura 77 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugelli orizzontali di diametro 50 millimetri, numero di Froude 30 e distanza fra gli ugelli di 0,60 metri

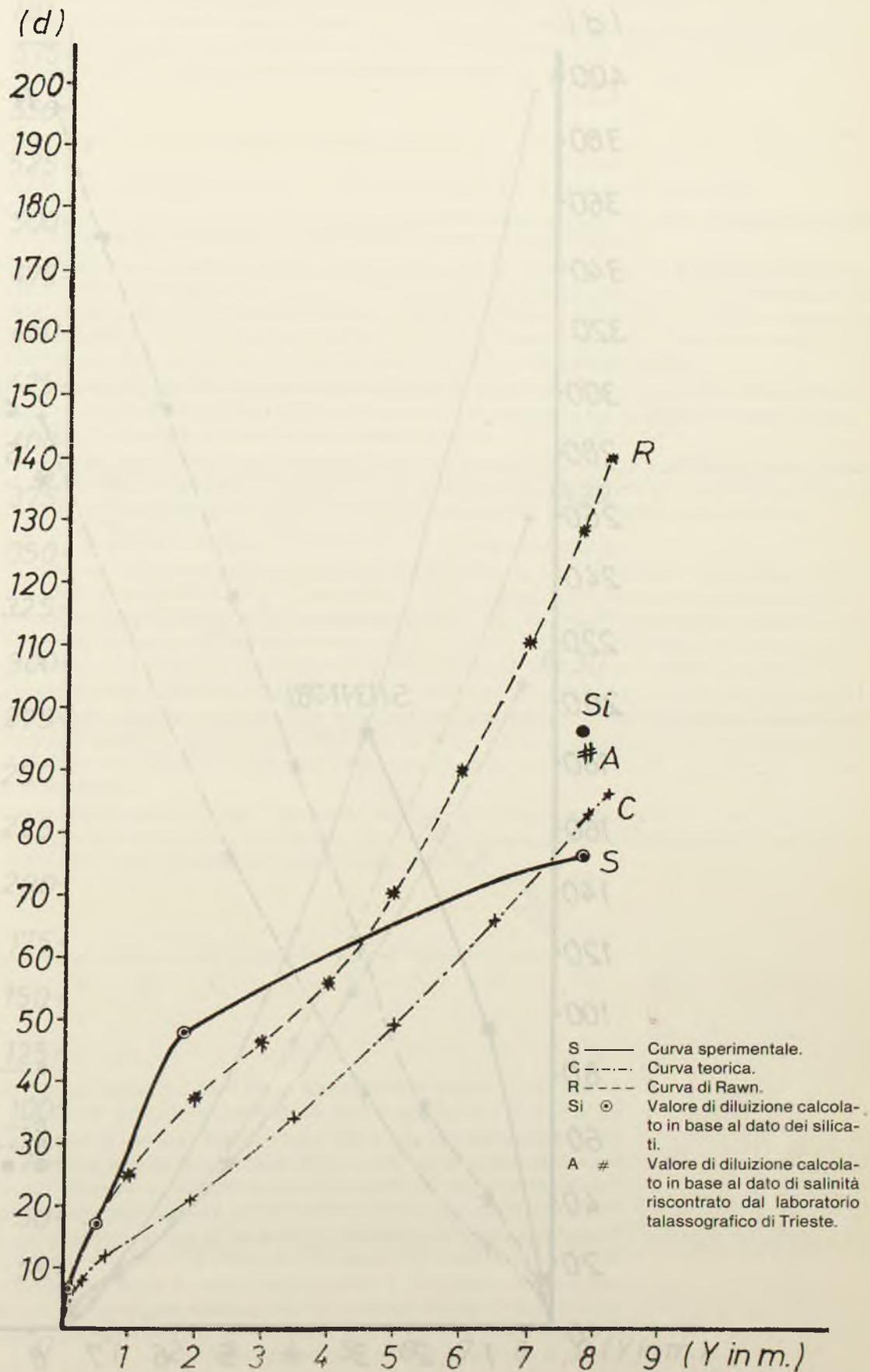


Figura 78 - Curve di diluizione relative alla prova sperimentale eseguita con ugello orizzontale di diametro 20 millimetri, e numero di Froude 30

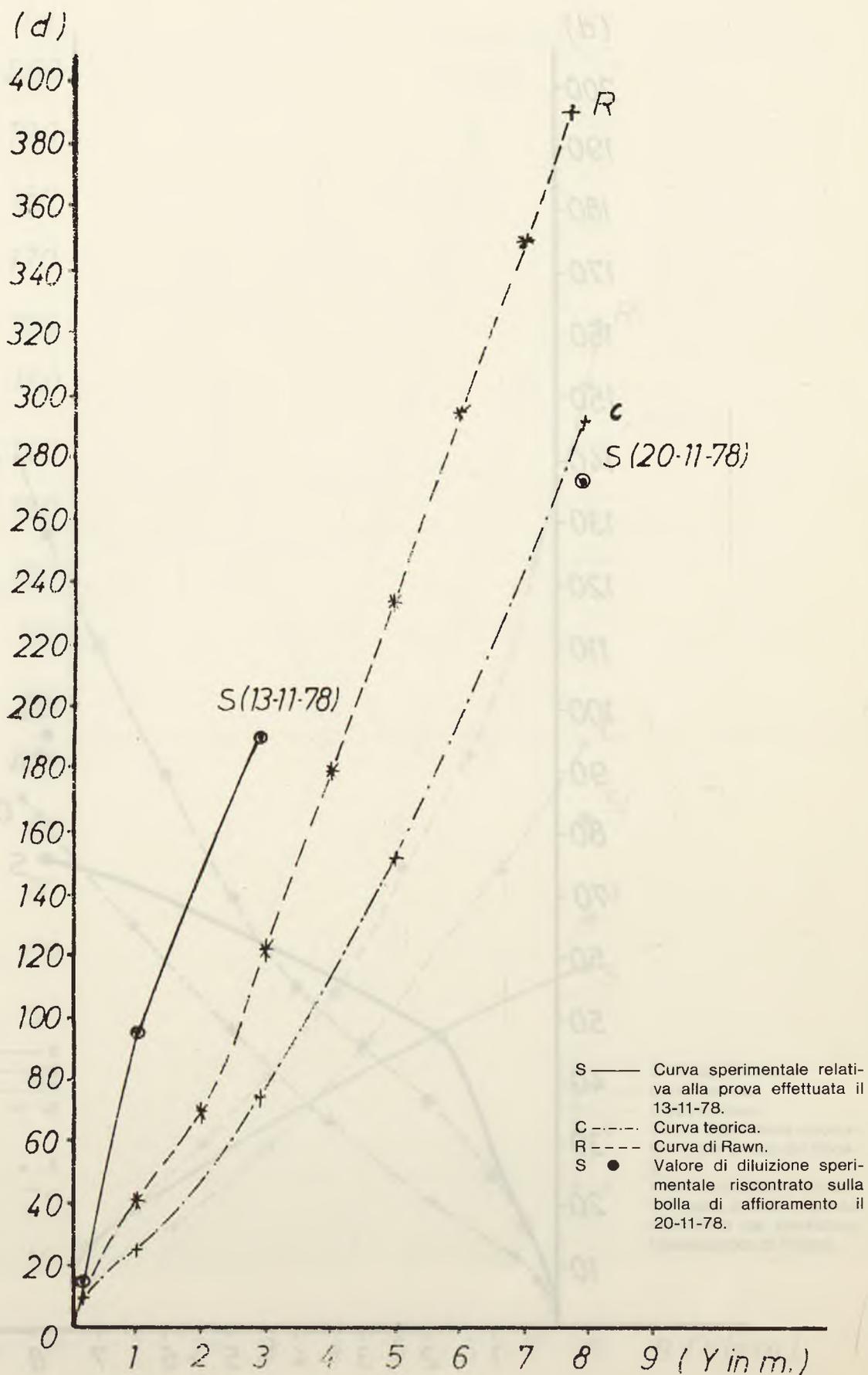


Figura 79 - Diluizione teorica calcolata con la formula di Cederwall per ugelli di diametro 20 millimetri, di direzione orizzontale

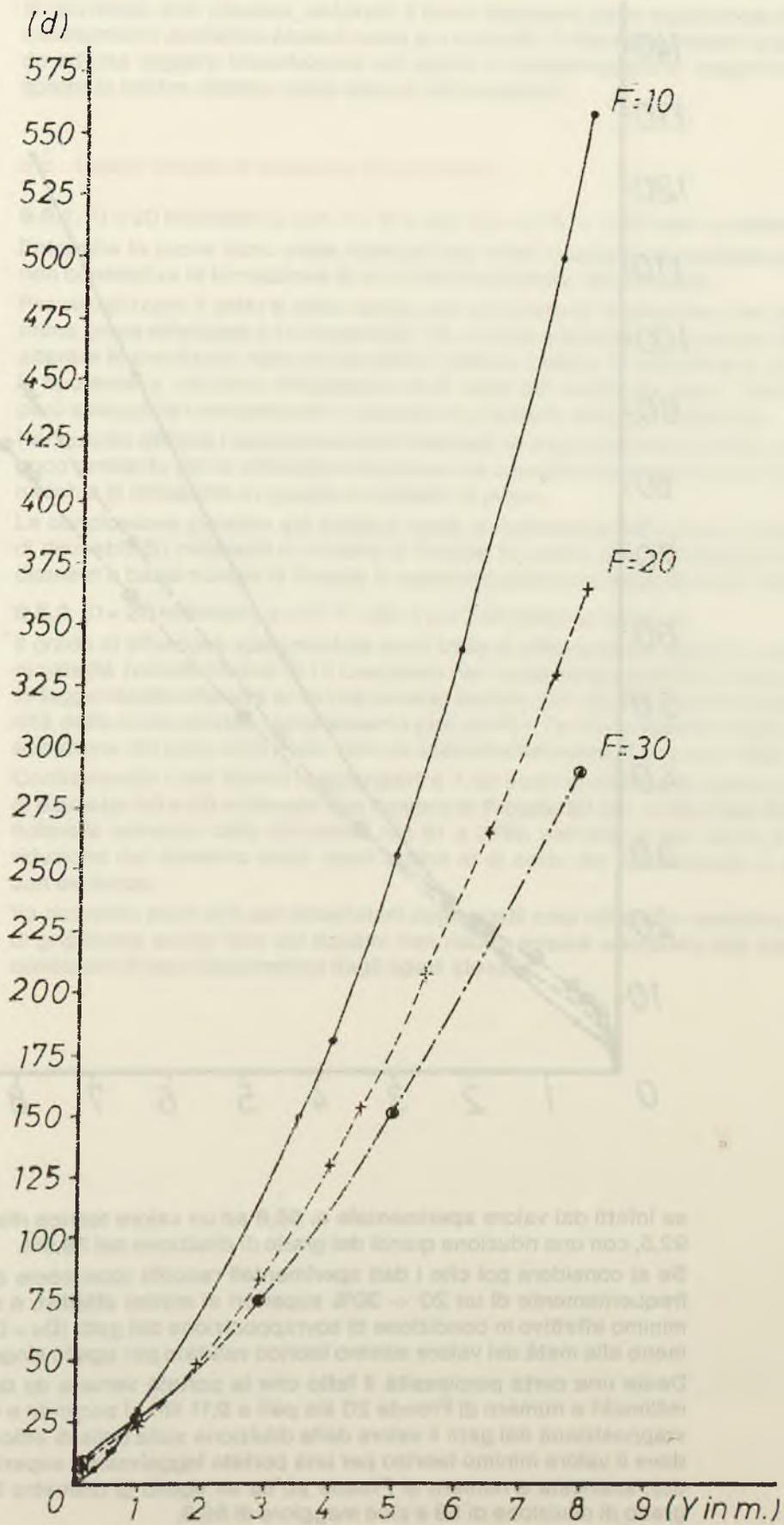
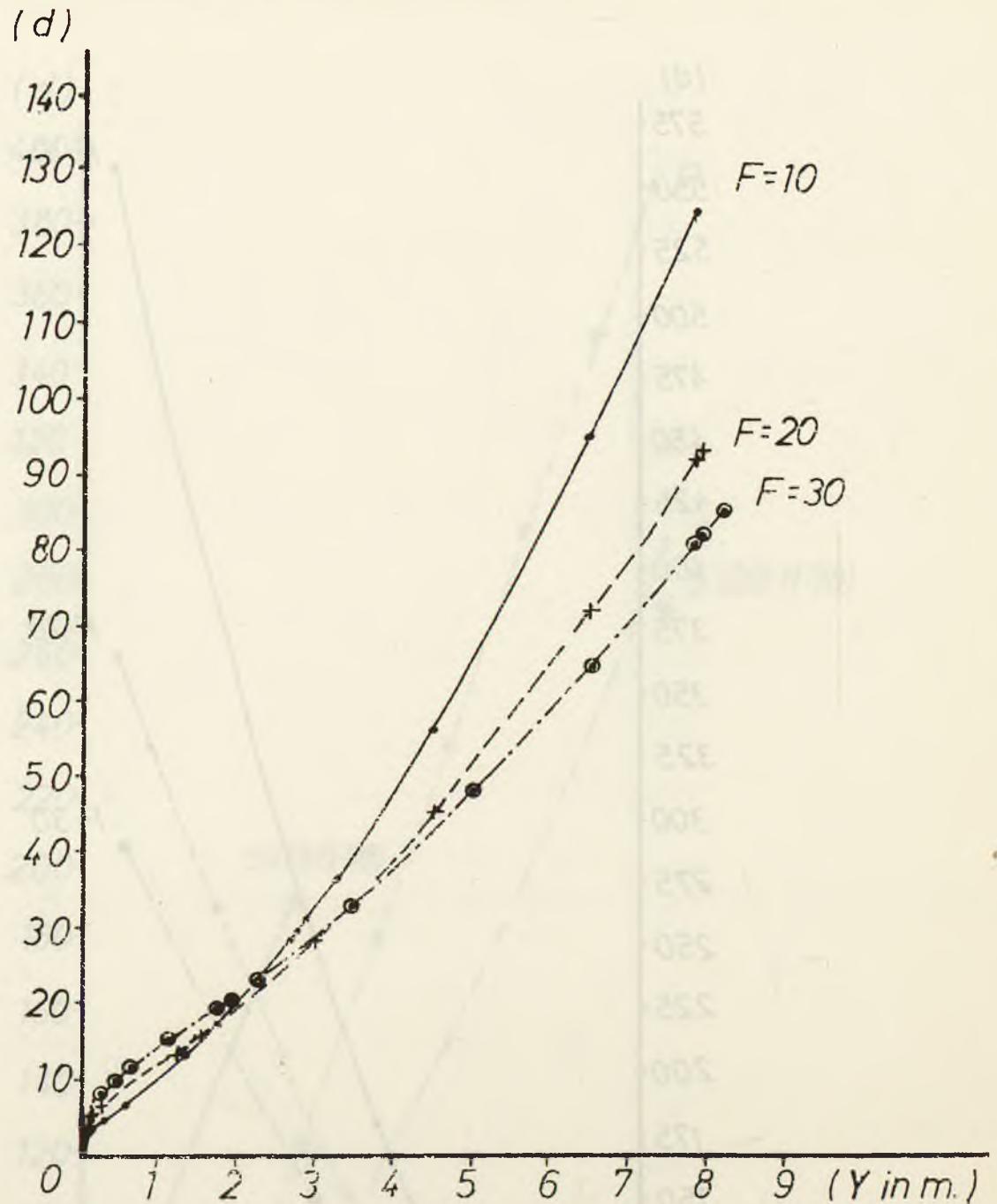


Figura 80 - Curve di diluizione teorica calcolate con la formula di Cederwall per ugelli di diametro 50 millimetri di direzione orizzontale



sa infatti dal valore sperimentale di 56,8 ad un valore teorico riferito all'ugello singolo di 92,5, con una riduzione quindi del grado di diluizione del 38,5%.

Se si considera poi che i dati sperimentali raccolti (così come quelli di Rawn) risultano frequentemente di un 20 ÷ 30% superiori ai minimi effettivi, è da ritenere che il valore minimo effettivo in condizione di sovrapposizione dei getti ($D_u = 0,60$ metri) risulti pari almeno alla metà del valore minimo teorico valutato per ugello singolo.

Desta una certa perplessità il fatto che la portata versata da due ugelli di diametro 50 millimetri e numero di Froude 20 sia pari a 9,11 litri al secondo e che per effetto della sovrapposizione dei getti il valore della diluizione sulla bolla di affioramento sia di 56,8, laddove il valore minimo teorico per una portata leggermente superiore (10,36 litri al secondo), scaricata a numero di Froude 20 da un ugello di diametro 70 millimetri porta ad un grado di diluizione di 59 e cioè maggiore di 56,8.

9.4.12. $D = 50$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 30$; $V_g = 3,48$ metri al secondo; $D_u = 0,60$ metri

Anche in questa prova l'effetto di interferenza dovuto alla sovrapposizione dei getti risulta evidente in quanto il dato sperimentale è inferiore al valore minimo teorico, seppure in misura modesta (cfr. fig. 77).

Si dovrebbe anzi ritenere, secondo il trend delineato dalle esperienze precedenti, che lo scostamento dovrebbe essere assai più marcato. Il fatto può essere giustificato pensando ad una leggera imperfezione nel punto di campionamento (leggermente scostato rispetto al centro effettivo della bolla di affioramento).

9.5. Ugello singolo di diametro 20 millimetri

9.5.1. $D = 20$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$ e 20 ; $V_g = 0,74 \div 1,48$ metri al secondo

Entrambe le prove sono state ripetute due volte in quanto la modesta portata scaricata non consentiva la formazione di una bolla facilmente identificabile.

Per visualizzare il getto è stata usata una soluzione di fluorescina che, relativamente alle prime prove effettuate il 13 novembre '78, è stata preparata con acqua dolce ad evitare di alterare le condizioni naturali del getto; tuttavia il getto, in entrambe le prove, osservando la fluorescina, risultava intrappolato al di sotto del livello del mare. Tale fenomeno non è però spiegabile considerando l'assenza di gradienti verticali di densità.

Per quanto attiene i campionamenti intermedi si è già osservato che la loro attendibilità è poco probante per le difficoltà incontrate nel campionare in modo preciso l'asse del pennacchio di diffusione in queste condizioni di prova.

La conclusione, peraltro già tratta in sede di commento della prova effettuata con ugello di diametro 50 millimetri e numero di Froude 10, porta alla constatazione che per piccoli diametri e bassi numeri di Froude la sperimentazione in mare diventa problematica.

9.5.2. $D = 20$ millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 30$; $V_g = 2,22$ metri al secondo

Il grado di diluizione sperimentale sulla bolla di affioramento, valutato sulla base dei dati di salinità (valore minimo di 12 campioni) nel corso della ripetizione della prova, è risultato leggermente inferiore al valore minimo teorico (cfr. fig. 78), confermando quindi la validità della curva teorica (scostamento pari al 4%). La curva sperimentale in ogni caso, ad eccezione del dato sulla bolla, rimane abbondantemente al di sopra della curva teorica.

Confrontando i dati teorici raggiungibili a 7,80 metri di risalita del getto impiegando ugelli di diametro 50 e 20 millimetri con numero di Froude 30 (cfr. le fig. 79 e 80), si osserva un notevole aumento della diluizione (da 81 a 276), dell'ordine del 240%. I vantaggi di una riduzione del diametro degli ugelli anche al di sotto dei 50 millimetri si palesano quindi con evidenza.

Va ricordato però che per dimensioni degli ugelli così ridotte un semplice pretrattamento di grigliatura anche fine sui liquami non risulta essere adeguato allo scopo di garantire condizioni di non intasamento degli ugelli stessi.

9.4.12. D = 50 millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$; $V_g = 2,48$ metri al secondo; $D_u = 0,60$ metri
 Anche in questa prova l'effetto di interferenza dovuto alla sovrapposizione dei getti risultò
 fa evidente in quanto il dato sperimentale è inferiore al valore minimo teorico, seppure in
 misura modesta (cfr. fig. 77).

Si dovrebbe anzi ritenere, secondo il trend delineato dalle esperienze precedenti, che lo
 scostamento dovrebbe essere assai più marcato. Il fatto di essere giustificato pensan-
 do ad una leggera impedenza nel punto di campionamento (leggermente scostato ti-
 spetto al centro effettivo della dotta di affioramento).

9.5.1. D = 50 millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 10$ e 20 ; $V_g = 0,74$ e $1,48$ metri al secondo
 Entrambe le prove sono state ripetute due volte in ciascuna di esse, la modesta portata scaricata
 non consentiva la formazione di una dotta ben distinta e identica alle

Per visualizzare il getto è stata usata una soluzione di fluorescina che, relativamente alle
 prime prove effettuate il 13 novembre '78, è stata preparata con acqua dolce ad evitare di
 alterare le condizioni naturali del getto; tuttavia il getto, in entrambe le prove, osservando
 la fluorescina, risultava intrappolato al di sotto del livello del mare. Tale fenomeno non è
 però riconducibile all'assenza di gradienti verticali di densità.

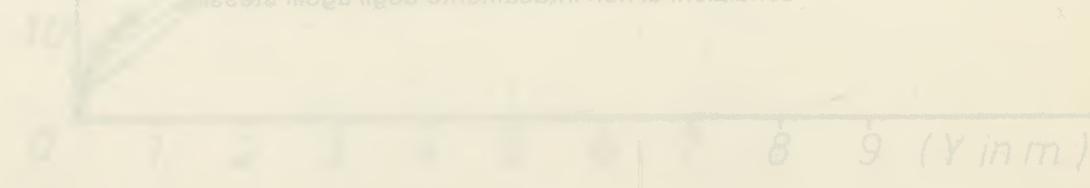
Per quanto riguarda le difficoltà incontrate nel campionare in modo preciso l'asse del getto
 nascono di diffusione in queste condizioni di prova.

La conclusione, peraltro già tratta in sede di commento della prova effettuata con ugelli
 di diametro 50 millimetri e numero di Froude 10, porta alla constatazione che per piccoli
 diametri e bassi numeri di Froude la sperimentazione in mare diventa problematica.

9.5.2. D = 50 millimetri; $\alpha = 0^\circ$; $F = 30$; $V_g = 2,22$ metri al secondo
 Il grado di divisione sperimentale sulla dotta di affioramento, valutato sulla base dei dati
 di esatimità (valore minimo di 12 campioni) nel corso della ripetizione delle prove, è risulta-
 to leggermente inferiore al valore minimo teorico (cfr. fig. 78), consentendo quindi la vali-
 dità della curva teorica (accertamento pari a 12). La curva sperimentale in ogni caso, ad
 eccezione del dato sulla dotta, risulta abbondantemente al di sopra della curva teorica.

Confrontando i dati sperimentali a 7,80 metri di risalita del getto impiegando ugelli
 di diametro 50 e 20 millimetri, con numero di Froude 30 (cfr. le fig. 78 e 80), si osserva un
 notevole aumento della diluizione (da 81 a 278), dell'ordine del 240%. I vantaggi di una
 riduzione del diametro degli ugelli anche al di sotto dei 50 millimetri si palesano quindi
 con evidenza.

Va ricordato però che per dimensioni così ridotte un semplice prettamento
 di inglitura anche fine sui lipuzmi non neppure essere adeguato allo scopo di garantire
 condizioni di non intasamento degli ugelli stessi.



di otorgo riferito all'ugello singolo di
 38,5%
 risultano
 il valore
 almeno
 50
 di che per effetto della so-
 di 56,8, lad-
 superiore (10,36 litri al secon-
 70 millimetri porta ad un

10 considerazioni conclusive

- affidabilità dei grafici e delle formule
- principali conseguenze di ordine progettuale
- iniziative internazionali e nazionali per la protezione del mare
- brevi richiami relativi alla problematica delle condotte di scarico sottomarine

10 considerazioni conclusive

- affidabilità dei grafici e delle formule
- principali conseguenze di ordine progettuale
- iniziative internazionali e nazionali per la protezione del mare
- brevi richiami relativi alla problematica delle condotte di scarico sottomarine

Considerazioni conclusive

10.1. Affidabilità dei grafici e delle formule

10.1.1. Grafico di Rawn, Bowerman e Brooks

Tale grafico mette in relazione il grado di diluizione «d» conseguito in un getto singolo di diametro iniziale «D» coll'altezza di risalita «y» e col numero di Froude del getto stesso «F»:

$$d = f(y/D, F)$$

Esso è stato discusso al paragrafo 2.3 (cfr. fig. 81 - grafico ampliato secondo Camp).

I valori sperimentali si accordano abbastanza bene con le indicazioni di tale grafico, nel senso che il grado di diluizione minimo riscontrato è risultato essere, secondo i casi, alcune volte superiore e alcune volte inferiore ai valori corrispondenti. Gli scostamenti vanno da un minimo del 2-3% fino a un massimo del 30-40%.

Risulta così confermato che le indicazioni fornite dal grafico di Rawn, Bowerman e Brooks non possono essere assunte a titolo di garanzia, in quanto campionamenti effettuati nella zona centrale del getto possono mettere in evidenza gradi di diluizione anche sensibilmente inferiori a quelli calcolati, appunto con il grafico di Rawn, Bowerman e Brooks. È da porre in luce che non ha significato paragonare le indicazioni del grafico in questione con valori sperimentali medi ottenuti tenendo conto di tutti i campionamenti effettuati: taluni di questi campioni possono essere stati prelevati anche al di fuori del getto, in relazione alla non facile identificazione del medesimo, e possono comportare quindi valori di diluizione pressoché infiniti, che vengono in tal modo a sfalsare il valore medio.

Ai fini della prescrizione di determinate garanzie funzionali o di determinate modalità di collaudo, sarà più opportuno riferirsi ai valori minimi tratti da un certo numero di campionamenti, anziché ai valori medi; sarà anche opportuno, sempre per quanto attiene la formulazione di determinate garanzie e le verifiche ai fini del collaudo, prendere piuttosto a riferimento le formule di Cederwall (cfr. più avanti) che riguardano i valori minimi di diluizione.

È risultato altresì evidente che campionamenti realmente significativi possono praticamente essere effettuati, per quanto attiene i valori minimi di diluizione, solo in superficie e in presenza di zone di affioramento (dette anche «bolle»), ben evidenti all'occhio.

Anche in questo caso sono comunque consigliabili ripetuti campionamenti (da 4 a 10) al fine di cogliere con maggiore probabilità le zone centrali del getto.

Garanzie e verifiche, per quanto attiene il grado di diluizione proprio di campi di mescolamento sommersi (in relazione al fenomeno di «intrappolamento» dei getti) sono alquanto problematiche, nel senso che le verifiche sperimentali, generalmente, individuano valori di diluizione alquanto superiori ai valori minimi.

A maggior ragione, quindi, utilizzando le formule di Cederwall si può essere sicuri che campionamenti effettuati al di sotto della superficie porteranno a risultati in eccesso rispetto alle indicazioni di tali formule (e cioè a dati di diluizione maggiore).

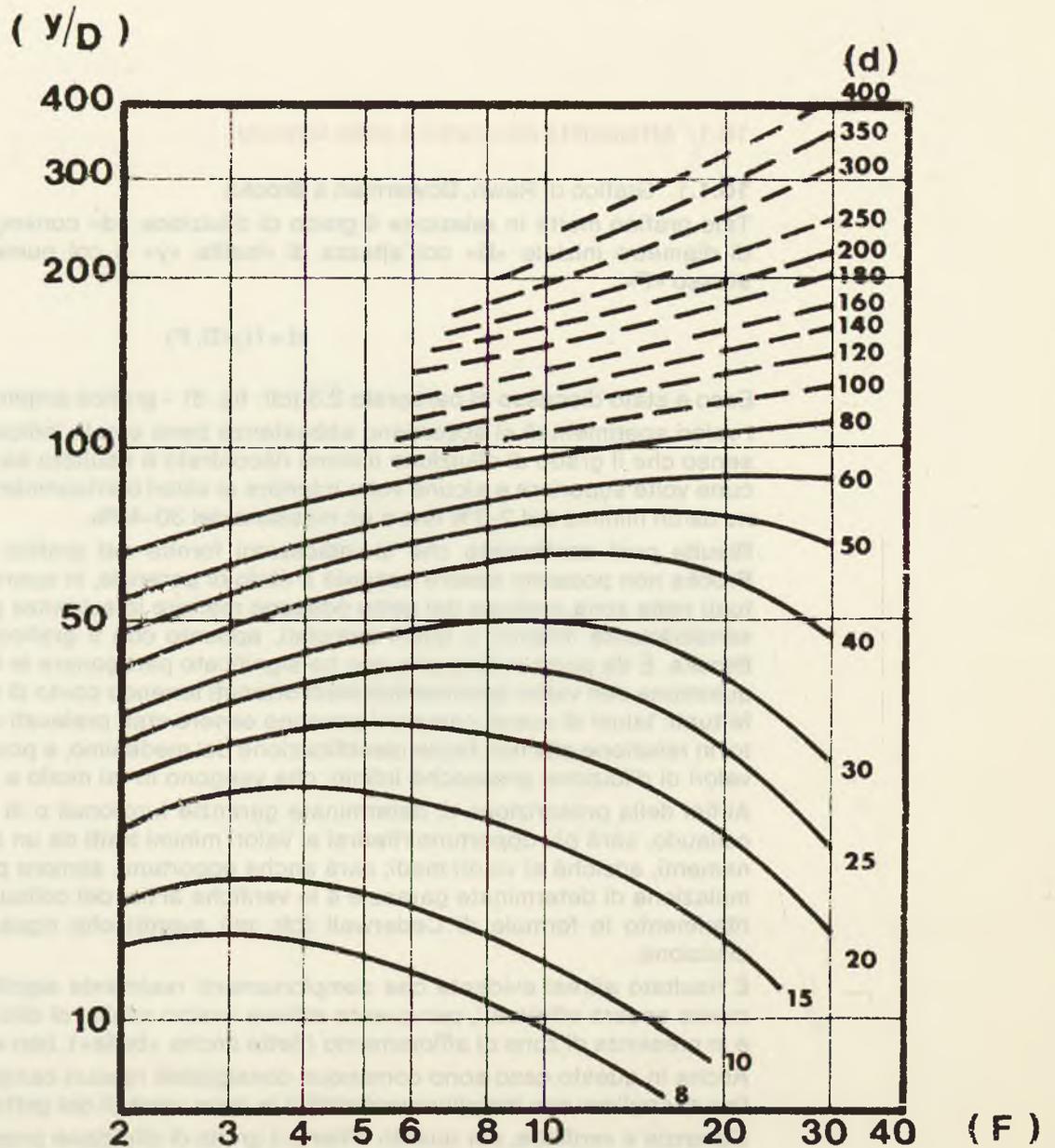
Questa discreta concordanza tra le indicazioni fornite da Rawn, Bowerman e Brooks ed i risultati delle prove sperimentali può essere spiegata anche con il fatto che si tratta delle uniche due sistematiche ricerche sinora effettuate su impianti regolarmente funzionanti, anziché in base a deduzioni teoriche o modelli di laboratorio.

10.1.2. Formule di Cederwall

Queste formule, pure presentate in altra parte del rapporto, consentono di calcolare il valore minimo di diluizione (corrispondente all'asse del getto) in funzione del numero di Froude densimetrico «F» e dell'altezza di risalita relativa «y/D».

$$d = 0,54 F \left(0,38 \frac{y}{D} \cdot \frac{1}{F} + 0,66 \right)^{5/3} \text{ per } y/D \geq 0,5 F$$

Figura 81 - Grafico di Rawn, Bowerman e Brooks nella versione ampliata proposta da Camp



$$d = 0,54 F \left(\frac{y}{D} \cdot \frac{1}{F} \right)^{7/16} \text{ per } y/D < 0,5 F$$

Tutti i dati sperimentali ricavati confermano la validità delle formule di Cederwall, nel senso che solo tre volte, e in misura molto modesta, il valore di diluizione riscontrato è stato inferiore alle corrispondenti indicazioni delle formule di cui si parla (tale scostamento in meno è stato dell'ordine del 3-5%).

Si ritiene dunque che assumendo al più un coefficiente cautelativo pari a 0,9, le diluizioni calcolate sulla scorta delle formule di Cederwall possono essere effettivamente assunte a base di garanzia di un calcolo cautelativo di progettazione.

10.1.3. Formula di Cooley e Harris

Questa formula mette in relazione il grado di diluizione iniziale «d» semplicemente con l'altezza di risalita «y» e con il diametro iniziale del getto «D».

$$d = \frac{1}{3} \frac{L}{D};$$

$$d = \frac{2}{3} \frac{y}{D} \text{ per } y = \frac{L}{2}$$

Questa semplicissima espressione risulta sorprendentemente aderente ai dati sperimentali. L'interesse del suo impiego è connesso anche al fatto che tale espressione, sostituendo in luogo di «L» (lunghezza della traiettoria) l'altezza di risalita «y» moltiplicata per due, porta a valori di diluizione sempre cautelativi.

Tali errori non sono rilevanti per velocità di efflusso superiori a 2 metri al secondo, valori di diluizione inferiori a 300-400 e profondità di scarico inferiori ai 30-40 metri. Per valori di diluizione e profondità superiori e per velocità di efflusso inferiori, tale espressione porta a gradi di diluizione considerevolmente inferiori a quelli derivati mediante le formule di Cederwall; è però anche da dire che valori di diluizione di 1.000-2.000 volte non hanno trovato, per quanto risulta, sempre parlando di diluizione iniziale, adeguate conferme sperimentali. Non vi è sicurezza quindi che le formule di riferimento mantengano piena validità anche in questo campo di diluizioni molto elevate.

In sede di progettazione dunque, e nel campo di valori dianzi definito, l'impiego della semplice espressione di Cooley e Harris rimane quindi ben giustificato.

Con riferimento alle esperienze effettuate è da dire anzi che tale semplice espressione risulta quella più aderente, con errori medi dell'ordine del 10%, all'espressione di Cederwall.

10.1.4. Grafico di Fischer e Brooks

Per quanto attiene la definizione della traiettoria dei getti ed il diametro da essi assunto alle varie quote, il grafico presentato da Fischer e Brooks (fig. 82) è risultato essere abbastanza aderente ai dati sperimentali; non si può dire con sicurezza se gli scostamenti riscontrati siano da addebitarsi ad insufficienze del grafico o a un grado di precisione non del tutto soddisfacente nelle misure che sono state effettuate (certe misure sono risultate in eccesso e certe in difetto rispetto alle indicazioni del grafico di cui si parla).

Figura 82 - Grafico di Fischer e Brooks

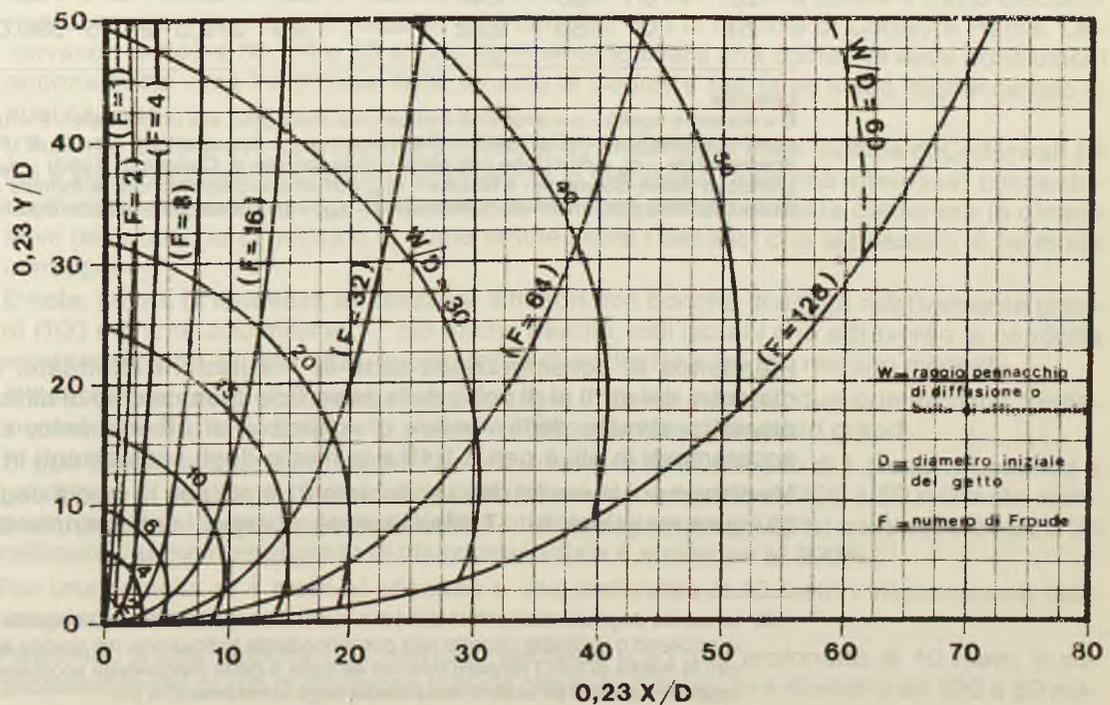


Tabella 11 - Valori di diluizione iniziale riscontrati sperimentalmente (d_s) nella zona di affioramento del getto confrontati con valori di diluizione calcolati con formule teoriche o con grafici

D (mm)	α (°)	F	Vg (m/s)	Du (m)	Y (m)	d_s	dc	d_{RBB}	d_{CH}	d_{AF}	d_{AG}
100	0°	5	0,80	—	8,20	63,2	67,4	76,0	54,6	57,7	62
100	0°	10	1,60	—	8,20	25,3	49,4	58,0	54,6	36,0	50
100	0°	30	4,80	—	8,20	63,3	39,2	56,5	54,6	17,3	43
100	-45°	5	0,80	—	8,05	126,7	65,5	76,0	53,6	56,0	60
100	-45°	10	1,60	—	7,80	190,0	46,2	54,0	52,0	33,2	45
100	-45°	30	4,30	—	7,35	126,7	35,1	52,0	49,0	14,4	38
100	+45°	5	0,80	—	7,75	112,2	61,9	70,0	51,6	52,7	55
100	+45°	10	1,60	—	7,85	54,0	46,6	54,5	52,4	33,5	47
100	+45°	30	4,80	—	7,85	37,8	37,5	55,0	52,4	16,1	42
100	+90°	5	0,80	—	7,65	81,2	60,7	69,0	51,0	51,6	55
100	+90°	10	1,60	—	7,80	125,6	46,2	54,0	52,0	33,2	47
100	+90°	30	4,80	—	7,80	32,8	37,2	55,0	52,0	15,9	42
70	0°	10	1,37	—	8,05	151,2	79,7	110,0	76,6	62,6	65 ÷ 70
70	0°	20	2,74	—	8,10	95,0	62,2	90,0	77,2	39,8	57 ÷ 60
70	0°	30	4,12	—	8,05	126,0	56,5	80,0	76,6	30,0	50 ÷ 55
50	0°	10	1,16	—	—	—	—	—	—	—	—
50	0°	20	2,32	—	7,80	190,0	92,3	150,0	104,0	65,1	80
50	0°	30	3,48	—	8,20	84,2	86,0	140,0	109,4	53,9	70 ÷ 75
50	0°	10	1,16	8,00	7,87	223,9	126,7	200,0	105,0	105,0	110
50	0°	20	2,32	8,00	7,87	102,9	93,5	158,0	105,0	66,0	80
50	0°	30	3,48	8,00	7,87	141,0	82,0	131,0	105,0	50,3	70 ÷ 75
50	0°	10	1,16	4,00	—	—	—	—	—	—	—
50	0°	20	2,32	4,00	7,81	102,9	92,5	150,0	104,2	65,2	80
50	0°	30	3,48	4,00	7,80	95,2	81,5	128,0	104,0	49,6	70 ÷ 75
50	0°	10	1,16	2,00	7,80	136,4	125,0	190,0	104,0	103,5	110
50	0°	20	2,32	2,00	7,81	81,0	92,5	150,0	104,2	65,2	80
50	0°	30	3,48	2,00	7,80	63,5	81,5	128,0	104,0	49,6	70 ÷ 75
50	0°	10	1,16	0,60	7,80	141,4	125,0	190,0	104,0	103,5	110
50	0°	20	2,32	0,60	7,81	56,8	92,5	150,0	104,2	65,2	80
50	0°	30	3,48	0,60	7,80	76,0	81,5	128,0	104,0	49,6	70 ÷ 75
20	0°	10	0,74	—	—	—	—	—	—	—	—
20	0°	20	1,48	—	—	—	—	—	—	—	—
20	0°	30	2,22	—	7,90	272,5	291,5	390,0	263,4	231,1	—

Legenda

D = diametro ugello - α = angolo di inclinazione dell'ugello sull'orizzontale - F = numero di Froude - Vg = velocità di efflusso del liquame dall'ugello - Du = distanza fra due ugelli - Y = quota di risalita del getto - d_s = diluizione sperimentalmente - d_c = diluizione calcolata con le formule di Cederwall (1962) - d_{RBB} = diluizione calcolata con il grafico di Rawn, Bowerman e Brooks - d_{CH} = diluizione calcolata con le formule di Cooley e Harris - d_{AF} = diluizione calcolata con la formula di Abrahams - d_{AG} = diluizione calcolata con il grafico di Abrahams.

Prendendo in considerazione tutte le misurazioni effettuate, e cioè quelle inerenti il diametro dei getti al di sotto della superficie (pennacchio di diffusione) e quelle inerenti il diametro stimato delle «bolle» o «chiazze» di affioramento, si ha che la media degli scostamenti in più è pari a 1,49 e la media degli scostamenti in meno è pari a 0,86 (18). Mediando poi la media degli scostamenti in più con la media degli scostamenti in meno si giunge a un valore di 1,17. Mediamente, dunque, i dati sperimentalmente sarebbero risultati del

(18) La media degli scostamenti in più ed in meno è stata derivata nel seguente modo: per ogni valore misurato in eccesso o in difetto rispetto alla corrispondente indicazione del grafico si è fatto il rapporto tra i due valori; la media di tutti i rapporti inferiori all'unità è detta media degli scostamenti in meno e la media di tutti i rapporti superiori all'unità è detta media degli scostamenti in più.

17% superiori rispetto ai dati teorici. Va rilevato però che l'aver introdotto nel computo anche le dimensioni delle chiazze di affioramento, e cioè di zone in espansione, non facilmente determinabili, può avere influito su tali scostamenti.

La possibilità di pratica utilizzazione del grafico di Fischer e Brooks riveste una considerevole importanza, in quanto è possibile in tal modo prevedere con discreta precisione in quali condizioni i getti fuoriuscenti da un diffusore vengano ad interferire tra di loro e giungere alla definizione della più conveniente spaziatura. È stato infatti chiaramente dimostrato, come è ovvio, che la sovrapposizione dei getti induce un peggioramento nel grado di diluizione conseguibile in superficie.

10.2. Principali conseguenze di ordine progettuale

Si è ritenuto utile raccogliere in una tabella riassuntiva (tab. 11) i dati più significativi emersi dalla sperimentazione; tali dati vengono confrontati con le indicazioni fornite dai vari grafici e dalle varie formule in corrispondenza ai rispettivi parametri (numero di Froude, altezza di risalita relativa).

In funzione del diametro dell'ugello «D» (uguale nel nostro caso al diametro iniziale del getto), dell'angolo del medesimo sull'orizzontale « α », del numero di Froude «F» (e quindi della velocità di uscita «Vg»), dell'eventuale distanza da altri ugelli «Du», dell'altezza di risalita «y» (questa ultima corrisponde alla zona di affioramento in quanto i numerosi valori ottenuti campionando sotto la superficie sono risultati poco attendibili per quanto riguarda il grado di diluizione minimo) sono stati riportati:

- il grado di diluizione iniziale da noi riscontrato in «bolla» (d_s), utilizzando per il calcolo della diluizione i valori di salinità rilevati con il salinometro di precisione;
- il grado di diluizione teorico calcolato con le formule di Cederwall del 1962 (d_c);
- il grado di diluizione sperimentale calcolato con il grafico di Rawn, Bowerman e Brooks (d_{RBB});
- il grado di diluizione teorico calcolato con la formula di Cooley e Harris (d_{CH});
- il grado di diluizione teorico calcolato con la formula di Abrahams (d_{AF});
- il grado di diluizione calcolato con il grafico di Abrahams (d_{AG}).

L'andamento del grado di diluizione iniziale in funzione della velocità del getto, del suo diametro iniziale e dell'altezza di risalita è illustrato anche nei diagrammi riportati nelle figure 83, 84 e 85. In ognuno di tali diagrammi viene rappresentato l'andamento della diluizione in funzione della quota di risalita del getto ad una certa velocità di efflusso costante; per esempio il diagramma 84 fa riferimento a una velocità di efflusso di 2 metri al secondo. Su questi diagrammi sono rappresentate varie curve, ognuna delle quali è relativa a un certo diametro iniziale del getto. Le curve, a tratto continuo, sono state tracciate in base ai dati calcolati con le formule di Cederwall (1962), mentre quelle a tratto discontinuo sono state tracciate in base ai dati calcolati con la formula di Cooley e Harris. Osservando le figure 83, 84 e 85 si può agevolmente avere una conferma delle conclusioni appena tratte circa l'interesse della formula di Cooley e Harris ed il suo miglior campo di applicazione.

L'insieme delle prove sperimentali effettuate e l'andamento delle formule di Cederwall (di cui è stata dimostrata l'effettiva rispondenza al fenomeno reale che interessa) consentono di rispondere all'importante quesito se convenga effettivamente contenere le dimensioni delle bocche di uscita e di quale ordine siano i benefici che si possono in tal modo conseguire.

È nota, infatti, la tendenza a realizzare diffusori con bocche di uscita relativamente grandi (100 e anche 200 millimetri); ciò anche perché, nell'ipotesi che attraverso la condotta vengano smaltiti liquami bruti, le possibilità di occlusione dei fori restano modeste.

A questo proposito sono stati messi in luce, in tempi recenti, due orientamenti fondamentali: uno a favore di diametri piccoli e l'altro a favore di diametri grandi.

Si può dire, in termini quantitativi, che per una velocità di efflusso di 1 metro al secondo e un'altezza di risalita di 10 metri il ridurre il diametro del getto da 100 a 50 millimetri comporta un aumento del grado di diluizione iniziale superiore al 100%; passando da 50 a 20 millimetri l'aumento del grado di diluizione iniziale è superiore al 200%.

Per una velocità di 4 metri al secondo e una profondità di 10 metri i miglioramenti detti vengono confermati.

Passando a una velocità di 1 metro al secondo e ad una profondità di 40 metri, il miglioramento del grado di diluizione iniziale ottenuto riducendo il diametro da 100 a 50 mil-

Figura 83 - Andamento della diluizione in funzione della quota di risalita del getto a velocità di efflusso costante, pari a 1 metro al secondo per diametri iniziali del getto (D) uguali a 200, 100, 50 e 20 millimetri

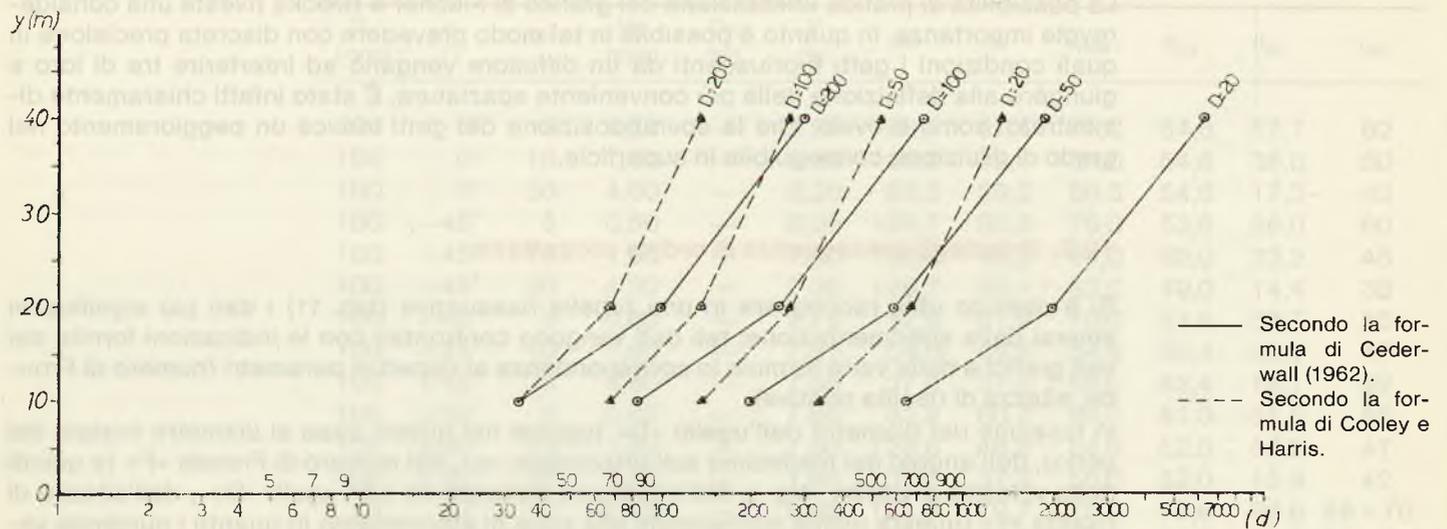


Figura 84 - Andamento della diluizione in funzione della quota di risalita del getto a velocità di efflusso costante, pari a 2 metri al secondo per diametri iniziali del getto (D) uguali a 200, 100, 50 e 20 millimetri

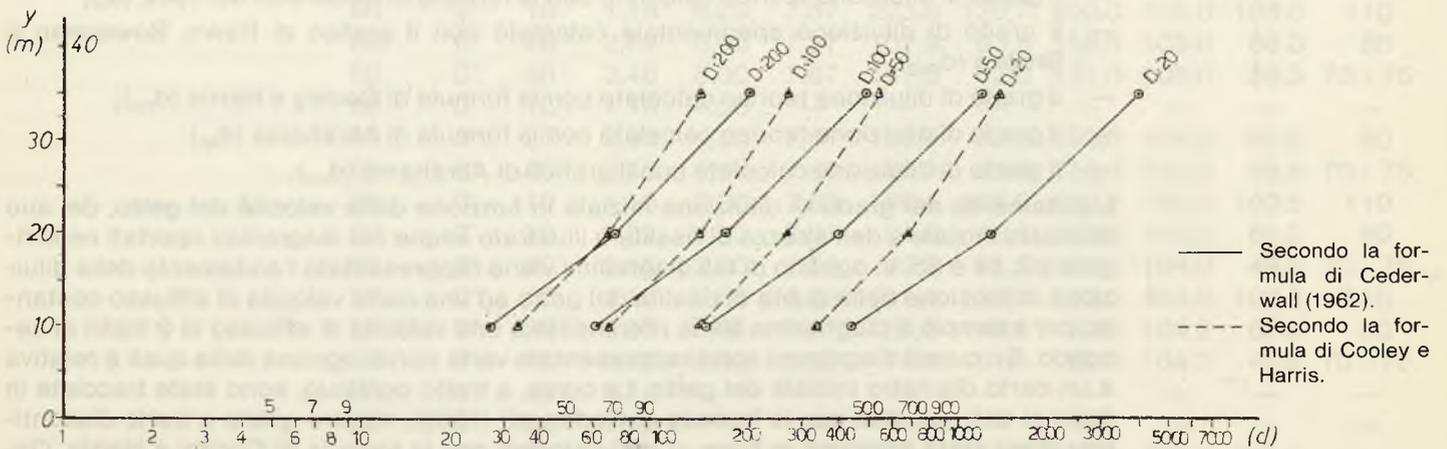
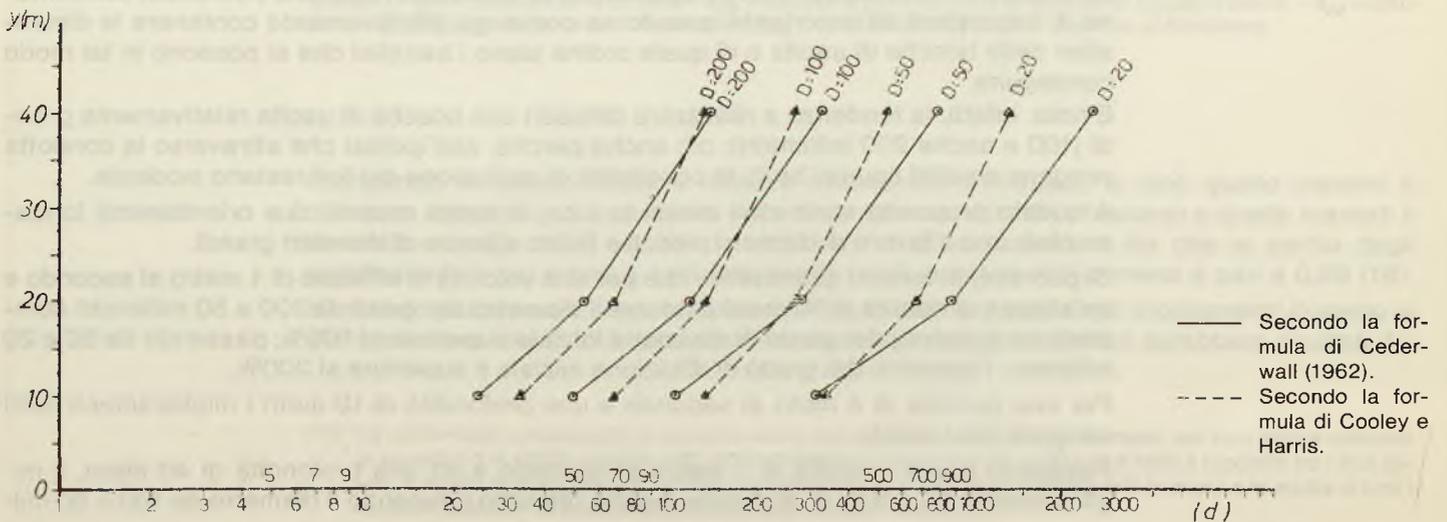


Figura 85 - Andamento della diluizione in funzione della quota di risalita del getto a velocità di efflusso costante, pari a 4 metri al secondo per diametri iniziali del getto (D) uguali a 200, 100, 50 e 20 millimetri



limetri è del 140%; passando da 50 a 20 millimetri il miglioramento è superiore al 200%; questo andamento viene confermato anche per velocità di uscita dell'ordine di 4 metri al secondo.

Non c'è dubbio che una forte diminuzione del diametro di efflusso comporti un corrispondente notevole incremento del grado di diluizione conseguito; il fatto è importante anche per quanto attiene la possibilità di sfruttare il fenomeno di intrappolamento del getto che dipende, come noto, oltre che dalla presenza di certi gradienti verticali di densità, anche dal raggiungimento di un sufficiente grado di diluizione iniziale negli strati inferiori.

Va detto però che tale riduzione nei diametri richiede notoriamente la predisposizione di un minimo di pretrattamento a terra, che può andare da una grigliatura molto fine alla stacciatura.

Sotto questo profilo, peraltro, l'adozione di diffusori con fori molto piccoli (D da 20 a 50 millimetri) verrebbe a costituire un deterrente contro la tendenza a versare, sia pure accidentalmente, liquami bruti in mare.

Un interessante esempio di benefici conseguiti riducendo il diametro dei fori è fornito dalla condotta sottomarina di Trieste. Il diametro dei fori, come riferiscono gli autori (Fabiani e Olivotti, 1976) era inizialmente di 20 millimetri; non essendo però ancora stato approntato il previsto impianto di grigliatura fine, i getti furono soggetti a frequenti intasamenti.

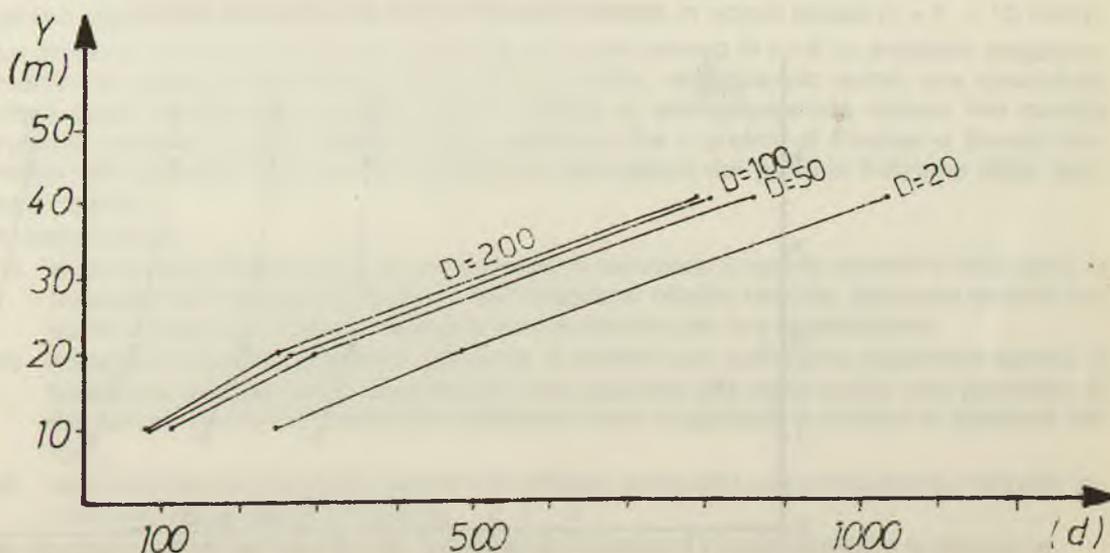
Contrariamente a quanto previsto dal progetto la dimensione dei fori venne portata, rimuovendo le corrispondenti flangie, a 100 millimetri con conseguente affioramento di liquame e, considerato l'andamento sfavorevole delle correnti, con episodici fenomeni di inquinamento batterico delle acque costiere adibite a balneazione.

Non appena vennero ripristinate le luci iniziali di 20 millimetri, a seguito dell'entrata in funzione dei pretrattamenti a terra, il campo di mescolamento restò stabilmente sommerso, generalmente ad una quota di non oltre 5-10 metri al di sopra del fondo, consentendo la normale apertura delle spiagge alla balneazione.

Nel diagramma della figura 86 è stato messo a confronto il grado di diluizione conseguito, a portata costante in funzione dell'altezza di risalita, per getti compresi tra 20 e 200 millimetri; risulta che, anche in questo caso, la riduzione del diametro comporta un beneficio. Tale beneficio è tuttavia inferiore a quello altrimenti conseguito riducendo il diametro, ma mantenendo costante, anziché la portata, la velocità di efflusso.

È interessante anche valutare quale è l'effetto della velocità di efflusso sul grado di diluizione iniziale conseguito, a parità di risalita e per un certo diametro.

Figura 86 - Andamento della diluizione in funzione della quota di risalita del getto a portata costante, pari a 6,84 litri al secondo per diametri iniziali del getto uguali a 200, 100, 50 e 20 millimetri (diluizione calcolata applicando le formule di Cederwall 1962)



Con riferimento ai grafici di cui alla figura 87, inerenti ad una altezza di risalita di 10 metri, si può dire che la velocità di efflusso intervenga sensibilmente sul grado di diluizione conseguito al di sotto di 2 metri al secondo; si tratta però di un campo di velocità poco interessante dal punto di vista applicativo. Al di sopra di tale velocità la variazione di velocità comporta una leggera variazione, nel senso che passando da 4 a 2 metri al secondo si ha un aumento di diluizione dell'ordine del 20-30%.

Considerazioni analoghe possono essere fatte anche per altezze di risalita pari a 20 e a 40 metri (cfr. fig. 88 e 89).

In conclusione, l'aumento della velocità di efflusso comporta una diminuzione del grado di diluizione iniziale dovuto al corrispondente aumento di portata.

Tale diminuzione è più sensibile per le altezze di risalita maggiori, mentre per altezze di risalita inferiori lo svantaggio è in parte compensato dalla maggiore intensità del mescolamento creato dalla differenza di velocità tra getto e fluido ambiente.

Secondo un interessante lavoro di Liseth, il diametro di un getto a una certa quota dipende essenzialmente dalla quota di risalita medesima e non dipende in misura sostanziale

Figura 87 - Andamento della diluizione (d) in funzione della velocità di efflusso (Vg) ad altezza di risalita (y) costante, pari a 10 metri per diametri iniziali del getto (D) uguali a 200, 100, 50 e 20 millimetri (diluizione calcolata applicando la formula di Cederwall 1962)

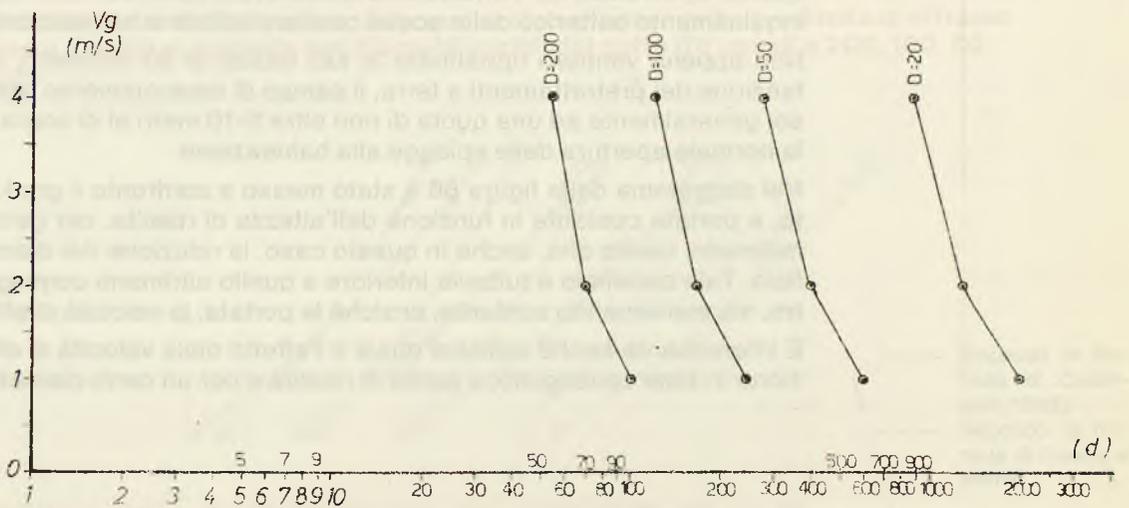


Figura 88 - Andamento della diluizione (d) in funzione della velocità di efflusso (Vg) ad altezza di risalita (y) costante, pari a 20 metri per diametri iniziali del getto (D) uguali a 200, 100, 50 e 20 millimetri (diluizione calcolata applicando la formula di Cederwall 1962)

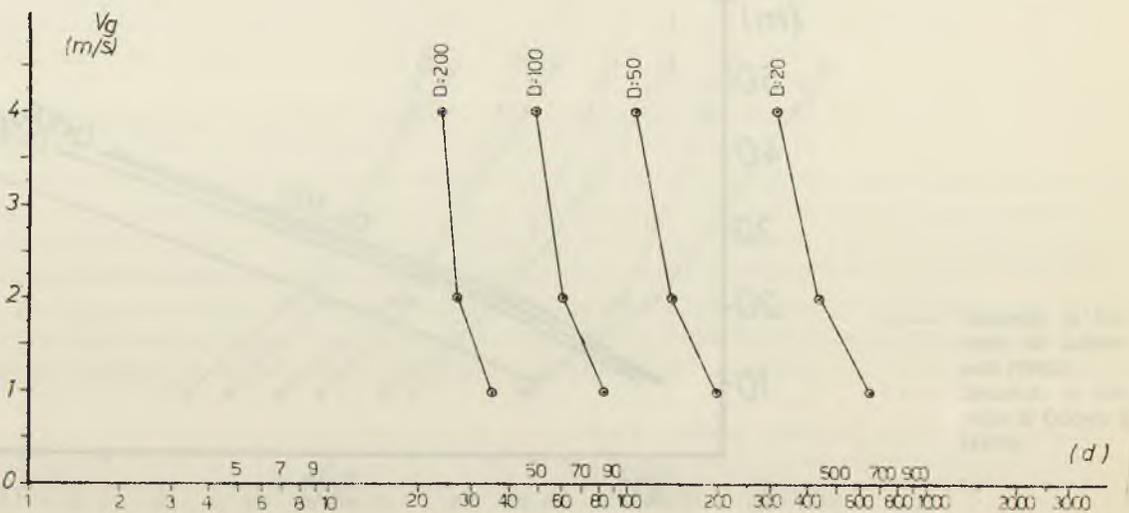
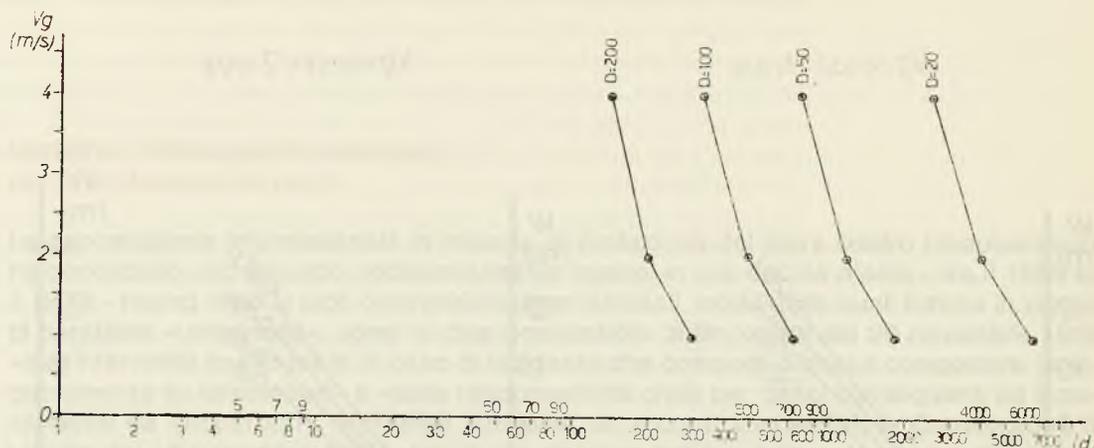


Figura 89 - Andamento della diluizione (d) in funzione della velocità di efflusso (V_g) ad altezza di risalita (y) costante, pari a 40 metri per diametri iniziali del getto (D) uguali a 200, 100, 50 e 20 millimetri



dalla velocità di efflusso e dal diametro iniziale. Purtroppo tale approssimazione, che scaturisce da prove effettuate in laboratorio su getti di diametro costante, risulta essere abbastanza considerevole osservando i grafici riportati nelle figure 90 e 91. Da questi grafici si rileva come, passando da un diametro di 20 millimetri a un diametro di 200 millimetri (alla quota di 10 metri e con una velocità di uscita di 4 metri al secondo), il diametro del getto passa da circa 3 a circa 5 metri; alla quota di 20 metri il diametro del getto passa da circa 9,5 metri a circa 13 metri.

A parità di profondità (per esempio 20 metri) una variazione di velocità da 4 a 1 metro al secondo comporta una variazione nel diametro del getto da 8 a 6 metri.

Si può, quindi, dire che l'approssimazione proposta da Liseth, pur non essendo per molti versi ragionevole, considerato l'ampio ordine di approssimazione connesso a tale tipo di valutazioni, dovrebbe essere utilizzata più che altro per valutazioni preliminari.

Per quanto attiene l'orientamento dei getti di scarico è risultato confermato che nei campi di valori che realmente interessano il caso degli scarichi a mare, un marcato orientamento verso il basso favorisce la diluizione; per un getto di 100 millimetri e una profondità di 8 metri l'aumento di diluizione riscontrato rispetto all'orientamento orizzontale è stato dell'ordine del 100%.

Pur potendosi ipotizzare che, considerato il numero ridotto di prove effettuate, tale beneficio possa essere nella realtà più modesto, si ritiene, comunque, sufficientemente confermato dai risultati l'interesse di un simile assetto di scarico, soprattutto laddove si vogliono raggiungere buoni rapporti di diluizione iniziale in acque basse ($y = 5 \div 10$ metri).

Le prove di sovrapposizione dei getti, infine, hanno messo in luce un evidente peggioramento nel grado di diluizione conseguibile in bolla, consigliando quindi una spaziatura degli ugelli sul diffusore tale da evitare l'effetto di sovrapposizione stesso. Per questa ragione sembra di molto rilievo l'aver verificato che il grafico di Fischer e Brooks fornisce dati attendibili per quanto riguarda le dimensioni del getto in funzione della quota di risalita.

In conclusione:

- 1) le formule di Cederwall, che consentono di calcolare il valore minimo di diluizione in funzione del numero di Froude e dell'altezza di risalita relativa, possono essere assunte a base di un calcolo abbastanza cautelativo per la progettazione;
- 2) il grafico di Fischer e Brooks consente di definire con sufficiente approssimazione la traiettoria dei getti ed il diametro da essi assunto alle varie quote (ciò permette di progettare convenientemente il diffusore come lunghezza e numero e distanza dei fori);
- 3) una forte diminuzione del diametro di efflusso comporta un conseguente notevole incremento del grado di diluizione;
- 4) un marcato orientamento dei getti di scarico verso il basso favorisce la diluizione.

Figura 90 - Andamento del diametro del getto (w) in funzione della quota di risalita (y) a velocità di efflusso (V_g) costante, pari a 1,2 e 4 metri al secondo per diametri iniziali del getto (D) uguali a 200, 100, 50 e 20 millimetri

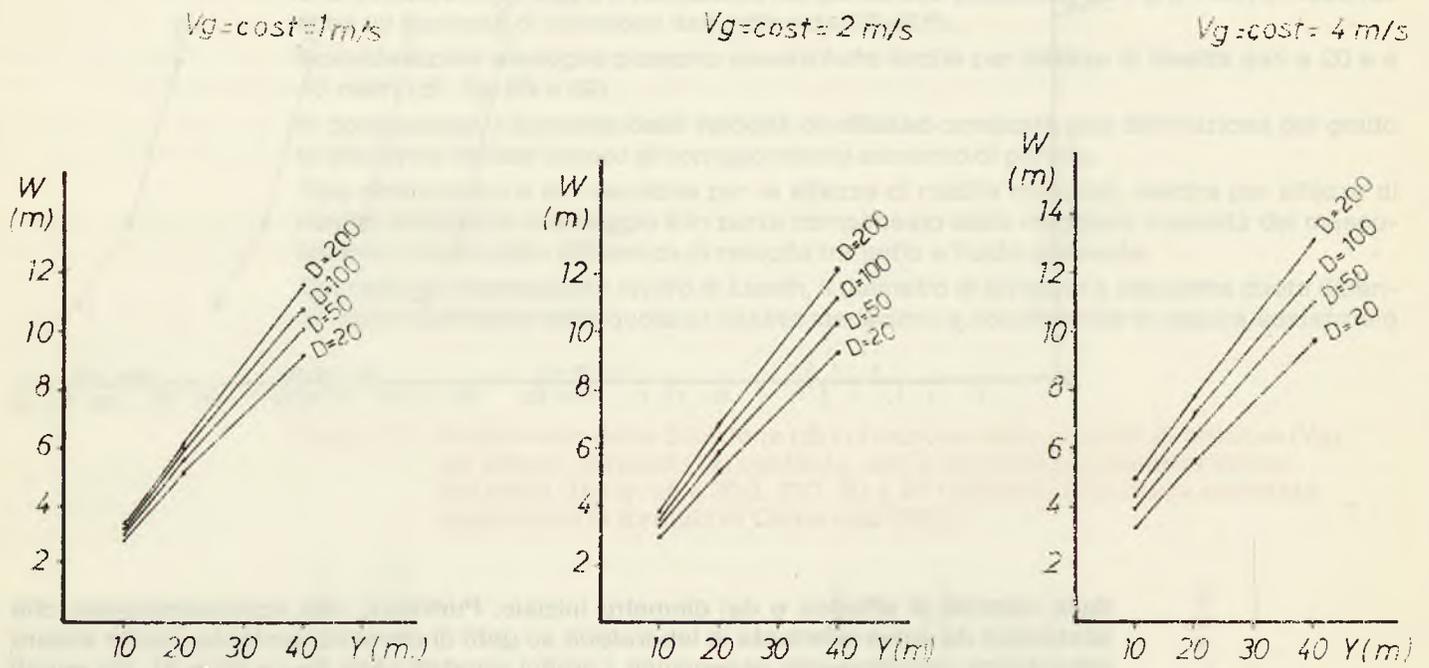
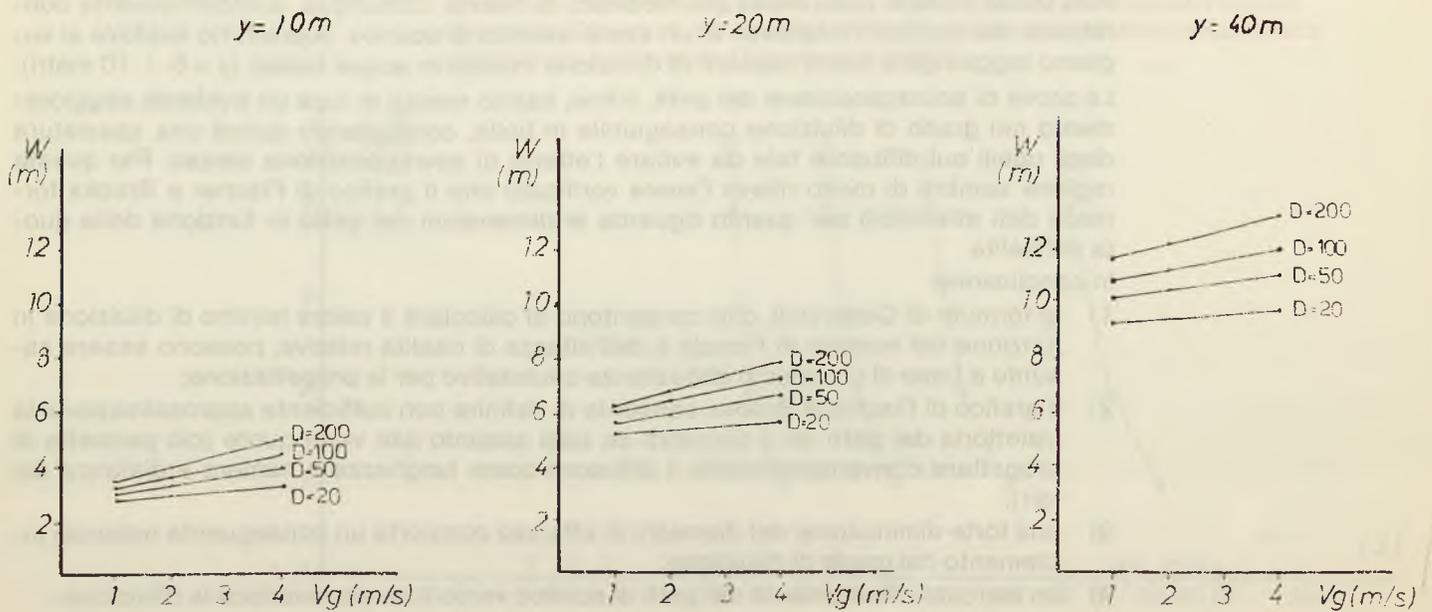


Figura 91 - Andamento del diametro del getto (w) in funzione della velocità di efflusso (V_g) ad altezza di risalita (y) costanti, pari a 10, 20 e 40 metri per diametri iniziali del getto (D) uguali a 200, 100, 50 e 20 millimetri



Allegato 1

Iniziative internazionali e nazionali per la protezione del mare

La cooperazione internazionale in materia di protezione del mare contro l'inquinamento ha conosciuto uno sviluppo eccezionalmente rapido: in una decina d'anni – tra il 1969 ed il 1978 – hanno visto la luce convenzioni internazionali, molte delle quali tuttora in vigore, di carattere «universale», come le due Convenzioni di Bruxelles del 29 novembre 1969 «sull'intervento in alto mare in caso di incidente che comporti o possa comportare un inquinamento da idrocarburi» e «sulla responsabilità civile per danni conseguenti ad inquinamento da idrocarburi», entrambe integrate da accordi successivi, la Convenzione di Londra del 13 novembre 1972 «per la prevenzione dell'inquinamento marino da scarico di rifiuti e di altre sostanze» e la Convenzione del 2 novembre 1973 «per la prevenzione dell'inquinamento marino causato da navi» (ampliata e parzialmente modificata nel 1978). Oltre a quelle sopra menzionate sono state stipulate anche convenzioni cosiddette regionali, in quanto riguardanti zone circoscritte dell'ambiente marino come la Convenzione di Stoccolma del 19 febbraio 1974 «sulla protezione dell'ambiente», la Convenzione di Helsinki del 22 marzo 1974 «per la protezione dell'ambiente marino del Mar Baltico», la Convenzione di Parigi del 4 giugno 1974 «per la prevenzione dell'inquinamento marino di provenienza terrestre», la Convenzione di Barcellona del 16 febbraio 1976 «per la protezione del Mar Mediterraneo contro l'inquinamento» (accompagnata da due Protocolli) e la Convenzione di Kuwait del 24 aprile 1978 «sulla cooperazione per la protezione dell'ambiente marino dall'inquinamento» con relativo Protocollo. Alle convenzioni considerate va altresì ad aggiungersi il rilevante numero di dichiarazioni, programmi, raccomandazioni, risoluzioni adottati da organizzazioni o da conferenze internazionali.

Tra le altre, di particolare valore ideale e politico appaiono la dichiarazione e le raccomandazioni adottate dalla Conferenza sull'ambiente umano svoltasi a Stoccolma dal 5 al 16 giugno 1972 per iniziativa delle Nazioni Unite. Importanti sono anche le direttive, aventi carattere di obbligatorietà, emanate dal Consiglio delle Comunità europee l'8 dicembre 1975, il 6 aprile 1976, il 4 maggio 1976 e il 20 febbraio 1978, rispettivamente concernenti: la qualità delle acque di balneazione, lo smaltimento dei policlorobifenili, l'inquinamento da sostanze pericolose, i rifiuti provenienti dall'industria del biossido di titanio.

Per alcune aree geografiche con particolari caratteristiche è stato adottato il principio delle «aree speciali», particolarmente sostenuto anche dall'Italia, in relazione al quale è prescritta per dette aree l'«adozione di sistemi di prevenzione più efficaci ed immediati quali, ad esempio, le installazioni di depurazione a terra». In pratica si è stabilito che i porti in cui vengono effettuate operazioni di carico e scarico degli idrocarburi siano provvisti di idonei impianti di trattamento delle acque di zavorra delle petroliere, usualmente scaricate in mare così come sono. L'istituzione delle aree speciali, tra le quali è stato inserito il Mediterraneo, è chiaramente di notevole importanza, in quanto il divieto assoluto di immettere idrocarburi in mare rende più semplice ed efficace la tutela di queste zone, che per natura sono più soggette alla degradazione ambientale.

Altra Convenzione internazionale in vigore, e alla cui formulazione l'Italia ha partecipato attivamente, è quella di Barcellona, ratificata dagli Stati rivieraschi del Mediterraneo. Nata nel 1975 sotto l'egida dell'UNEP, organismo delle Nazioni Unite per la protezione ambientale, è entrata in vigore nel 1978. Tale convenzione articolata inizialmente su cinque protocolli mira a prevenire le forme d'inquinamento conseguenti a:

- a) operazioni di versamento deliberato di sostanze da navi ed aeromobili;
- b) attività di navigazione;
- c) esplorazione e sfruttamento del suolo e sottosuolo marino;
- d) flusso di materiali inquinanti che provengono al mare da ogni fonte terrestre;
- e) assistenza in caso di incidenti.

Inoltre l'Italia si è particolarmente adoperata per l'individuazione nel Mediterraneo di «zone particolarmente protette».

Anche la CEE nel suo «programma ambientale» ha preso in considerazione l'inquinamento del mare e prevede l'emanazione di direttive comunitarie.

Le iniziative a carattere nazionale, oltre che di adesione alle succitate Convenzioni, sono state: la redazione di un «piano di pronto intervento» che diventa operativo nel caso di emergenza conseguente a spandimenti accidentali in mare da idrocarburi; la stipula di accordi bilaterali di mutua assistenza e di cooperazione, con la Francia, la Jugoslavia e la Grecia, sia per la lotta all'inquinamento che per le attività di ricerca e prevenzione; le leggi del 10 maggio 1976, n. 319 e del 24 dicembre 1979, n. 650, per la tutela delle acque dall'inquinamento, la legge 31 dicembre 1982, n. 979, contenente le «disposizioni per la difesa del mare».

Si può sottolineare che la normativa nazionale italiana, in accordo con quella internazionale, si fonda sui seguenti principi fondamentali: definizione di standards rigidi, sanzioni penali stringenti, funzione supplente del giudice nei confronti dell'Amministrazione. È questa una fase necessaria, più o meno lunga, verso una razionale e positiva politica legislativa ed amministrativa di tutela complessiva dell'ambiente, che nel nostro paese è costituito in misura notevole dall'ambiente marino.

La normativa contenuta nelle leggi n. 319 e n. 650, tuttavia, pur avendo carattere prevalentemente sanzionatorio, racchiude i presupposti teorici della fase successiva, che dovrebbe essere caratterizzata da una serie di norme positive per la tutela e lo sviluppo dell'ambiente.

Si ricorda infine che le «Disposizioni per la difesa del mare», tra l'altro, prevedono l'istituzione di un sistema centralizzato per il coordinamento delle comunicazioni, l'istituzione di un'unica centrale operativa per la disciplina degli interventi e per la tutela e la sicurezza del mare, l'istituzione di sei centri operativi, localizzati nell'alto e basso Tirreno, nell'alto e basso Adriatico e nelle Isole, per far fronte a grandi emergenze, il potenziamento delle strutture delle Capitanerie di Porto allo scopo di costituire una rete di presidi per i piccoli interventi, la costituzione di riserve marine.

Contemporaneamente la Consulta del Mare opera attivamente affinché immediati provvedimenti di attuazione delle leggi citate vengano adottati con la massima urgenza, assicurando contemporaneamente la costante presenza italiana nelle commissioni internazionali preposte allo studio di questi problemi.

Allegato 2

Brevi richiami relativi alla problematica delle condotte di scarico sottomarine

Per l'impiego delle condotte sottomarine a valle di impianti di depurazione urbani ha sostanziale rilevanza lo studio della localizzazione dello scarico e del problema tecnologico; dal punto di vista del contributo alla depurazione dei liquami l'esistenza o meno della condotta non è essenziale perchè i limiti di accettabilità della tabella A sono riferiti, come noto, all'effluente (prescritti dalla legge 10 maggio 1976, n. 319 per gli scarichi d'impianti produttivi e generalmente prescritti dalle leggi regionali per quelli civili).

Poichè i limiti prescritti debbono essere raggiunti con il ciclo depurativo dell'impianto, la condotta ha soprattutto funzione di trasporto del liquame depurato entro il mare, ad una distanza più o meno rilevante dalla riva.

Tuttavia è necessario considerare che la concentrazione massima accettabile di coliformi fecali in Italia nelle zone di balneazione corrisponde a non più di 100/100 millilitri almeno nell'80% dei campioni raccolti in un punto (per le acque adibite a molluschicoltura, il limite scende a 7 coliformi fecali/100 millilitri); d'altra parte la tabella A della legge 10 maggio 1976, n. 319, prescrive nell'effluente che i coliformi fecali siano non più di 12.000 MPN/100 millilitri.

Pertanto con la condotta di scarico sottomarino si cerca di ottenere i seguenti fini:

- allontanare convenientemente dalla battigia i liquami depurati (per ovvi motivi oltre che in previsione di eventuali disservizi);
- ridurre i coliformi fecali nel rapporto 12.000/100 MPN/100 millilitri (ove non si voglia ricorrere alla clorazione e alla successiva dechlorazione).

L'immissione del liquame con condotta sottomarina nell'ambiente marino comporta una sequenza di fenomeni che può così schematizzarsi:

- a) *diluizione iniziale*: avviene nel percorso tra la bocca di scarico e la superficie marina durante il moto ascensionale del miscuglio e viene evidenziato dalla formazione del caratteristico pennacchio;
- b) *diluizione susseguente*: è quella che si produce durante il trasporto della miscela dalla zona del pennacchio, a causa delle correnti;
- c) *scomparsa batterica*: consiste nella riduzione progressiva del contenuto batterico presente nel liquame dopo il miscelamento con l'acqua di mare.

La diluizione iniziale e la diluizione susseguente dei liquami immessi in mare mediante le condotte sono dovute, la prima, a sistemi di diffusione inseriti nel tratto terminale delle condotte stesse; la seconda, al trascinarsi del miscuglio ad opera delle correnti ed alla turbolenza del mare. L'entità e l'andamento dei fenomeni di diffusione possono essere studiati mettendo a confronto, in caso di sperimentazione su una condotta esistente, i risultati delle analisi effettuate sul liquame grezzo, sul miscuglio e sull'acqua di mare al largo (bianco). Utilizzando i dati delle analisi relative ad ogni terna di campioni si ricava la diluizione dalla formula:

$$d = \frac{C_1 - C_b}{C_m - C_h}$$

ove:

d = rapporto di diluizione

$C_1 \cdot C_m \cdot C_b$ = concentrazione del parametro in esame rispettivamente nel liquame, nel miscuglio liquame-acqua di mare, nell'acqua di mare fuori della zona interessata dallo scarico (bianco).

I parametri presi in considerazione per lo studio della diffusione sono i cosiddetti parametri «conservativi», il cui andamento è soggetto prevalentemente alle leggi della diluizione.

I parametri conservativi sono anzitutto la salinità, come pure le sostanze chimiche non soggette ad utilizzazione da parte del plancton o a processi di precipitazione, oppure che lo sono con tale lentezza da non incidere sensibilmente sulla linearità del fenomeno (possono essere annoverati tra queste il silicio, il fosforo, l'azoto, tutti presenti nei liquami di fogna urbani ed anche, come oligoelementi, nelle acque di mare). Teoricamente si possono determinare anche diluizioni molto elevate; in pratica, però, la massima diluizione valutabile con sicurezza è limitata dall'errore di analisi e da eventuali situazioni locali.

Con la salinità l'approssimazione dell'analisi ($\pm 0,1$ grammi per litro di sali) limita a circa 1 a 300 il massimo rapporto di diluizione determinabile. Con azoto, acido silicico ed acido fosforico i rapporti di diluizione ancora rilevabili, con una certa attendibilità, sono dell'ordine di 1 a 1000.

L'azoto presente come ammoniaca può evaporare passando nell'atmosfera e le diluizioni stimate in base a questo parametro possono risultare più elevate del reale.

Per i fosfati ed i silicati si determinano i sali solubili; peraltro l'eventuale precipitazione di questi sali, immessi in mare con lo scarico, può condurre a stimare diluizioni superiori al reale.

I coliformi rappresentano un indice della possibile presenza di organismi patogeni più difficilmente riconoscibili (1). Sulla base di questo metodo di valutazione delle acque sono stati proposti degli standards di riferimento. Gli standard fissati variano da valori intorno ai 50 fino ai 3000 coliformi per 100 millilitri con una maggior frequenza per valori dai 1.000 ai 2.500 coliformi per 100 millilitri, a seconda che si tratti di limiti per la balneazione o per aree destinate ad acquacultura.

La legislazione italiana, notevolmente restrittiva in relazione a quanto mediamente accettato in campo internazionale, fissa, come detto, il limite per la balneazione al valore di 100 coliformi fecali per 100 millilitri.

Nei liquami di fognatura i coliformi sono il parametro che richiede, per scendere ai valori ammessi dalla normativa per le acque adibite a balneazione, una diluizione di gran lunga superiore rispetto a quella sufficiente per tutti gli altri inquinanti. Ne segue che l'indice colimetrico è uno dei parametri più importanti nella progettazione di sistemi di scarico marini, poiché, quando i colibatteri sono sufficientemente ridotti in numero (per diluizione e scomparsa), tutti gli altri parametri e specialmente quelli che descrivono il carico organico hanno, in generale, concentrazioni ormai trascurabili.

I coliformi costituiscono un gruppo di batteri con caratteristiche morfologiche e fisiologiche simili, i più tipici dei quali sono gli Escherichia, batteri intestinali, facilmente riconoscibili con vari test di comune esecuzione e che si trovano in proporzione di circa 1 a 10 rispetto al numero di coliformi totali. Questi batteri non sono organismi patogeni, ma alla

(1) Considerato che non è facile isolare con le analisi di routine i germi patogeni non tanto per difficoltà tecniche, quanto per la loro presenza saltuaria (essi sono dispersi nel mezzo liquido), si ricorre principalmente alla ricerca degli E. coli (o coliformi fecali), o colobatteri fecali, che sono facilmente isolabili in terreni di coltura relativamente semplici.

La validità della ricerca degli E. coli ha tuttavia dei limiti; la loro assenza in un'acqua può garantire l'assenza dei batteri patogeni ma non dei virus, quali quelli dell'epatite. Inoltre la sempre più diffusa utilizzazione a scopo potabile di acque di fiume, per il continuo aumento della richiesta d'acqua, fa aggravare la situazione sia perché i virus possono essere più numerosi nei corsi d'acqua che sono principale recapito di liquami domestici, sia perché gli impianti di potabilizzazione garantiscono la purezza batteriologica dell'acqua trattata non quella virologica. Esiste, perciò, la possibilità che un'acqua esente da E. coli possa contenere virus d'origine intestinale. Mancano purtroppo metodiche ufficiali grazie alle quali si potrebbe effettuare il riconoscimento dei virus. Qui di seguito sono riportati, a titolo indicativo, i limiti di E. coli ammissibili secondo l'uso cui l'acqua è destinata:

- acque potabili: assenza in 100 ml. d'acqua (circolare n. 33 del 27 aprile 1977);
- acque da sottoporre a trattamento potabile: 3.000 in 100 ml. (circolare n. 33 del 27 aprile 1977);
- acque minerali: assenza in 250 ml. d'acqua (circolare n. 61 del 9 agosto 1976);
- acque destinate alla molluschicoltura: 2 in 100 ml.; oppure 34 in 100 ml. ma a condizioni che i molluschi siano destinati agli stabilimenti per la conservazione previa cottura (legge n. 162 del 2 maggio 1977 e D.M. 27 aprile 1978);
- acque marine destinate alla balneazione: 100 in 100 ml. (circolare dell'1 giugno 1971);
- acque di piscina: assenti in 100 ml. (circolare n. 86 del 15 giugno 1980);
- acque di scarico da smaltire su terreni adibiti ad uso agricolo: 2 E. coli/100 ml., in caso di raccolti destinati ad essere consumati crudi dall'uomo; 20 E. coli/100 ml., in caso di raccolti destinati ad essere consumati dopo trattamento fisico o chimico o in caso di pascoli per bestie da latte (delibera del Comitato dei Ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento 4 febbraio 1977, allegato 5);
- acque di scarico: 12.000 in 100 ml. (legge n. 319 del 10 maggio 1976).

loro presenza è associata quella di altri batteri patogeni quali Salmonella, Schighelle, Vibriani, ecc. in proporzioni molto inferiori.

La popolazione batterica che si riversa in mare con gli scarichi di origine domestica non trova generalmente nel mezzo acquoso salino un ambiente favorevole al proprio sviluppo; va soggetta alla dispersione fisica, alla sedimentazione e all'assorbimento nei sedimenti bentonici, oltre all'azione sfavorevole di tutta una serie di fattori chimici, fisici e biologici il cui effetto complessivo si concreta in quello che si può definire «potere autodepurante» del mare.

Tra i fattori fisici che possono esercitare un'azione sfavorevole sulla popolazione batterica si ricorda la salinità, la quale può creare problemi di osmosi. Analogamente dicasi per gli sbalzi di temperatura. Comunque l'azione più energica cui è dovuto l'abbattimento è esercitata dalla radiazione solare incidente sugli strati superficiali dove il liquame viene scaricato o affiora dallo sbocco di una condotta.

Tra i fattori chimici è stata spesso studiata l'azione tossica dei metalli pesanti presenti in mare nei confronti della popolazione batterica.

Tra i fattori cui è legata l'autodepurazione dell'acqua di mare sono rilevanti i fenomeni biologici; diversi organismi si cibano direttamente di batteri e fungono da micro predatori (ad esempio alcuni protozoi); così pure agiscono i batteriofagi o i vibriani parassiti dei batteri. Nell'ambiente marino, oltre alla azione predatrice dei piccoli crostacei planctonici, è stata messa in evidenza una forte azione antibatterica da parte del phytoplankton e soprattutto di alghe, specialmente diatomee e crisoficee, che emettono sostanze nocive (vale a dire tossine o antibiotici), alcune delle quali sono già state determinate chimicamente; a questa azione, infine, sono da sommare anche gli effetti antagonisti della flora batterica propriamente marina nei confronti degli organismi estranei.

Tutti questi fenomeni costituiscono un insieme di reazioni di fronte all'introduzione di nuovi organismi nell'ambiente dove esiste un preciso equilibrio biologico; disturbare eccessivamente questo equilibrio può portare all'estinzione delle specie presenti nella zona intorno allo sbocco di uno scarico tramite condotta.

Lo studio della scomparsa batterica in mare si effettua valutando la diminuzione della concentrazione batterica dovuto alla diluizione fisica e a tutti gli altri fenomeni sopra descritti e ricavando il valore di un parametro, il T_{90} , che indica il tempo necessario perché la carica batterica riversata in mare si riduca del 90% rispetto al suo valore iniziale, per la sola azione di decadimento naturale senza il fattore di dispersione e diluizione fisica in mare. Questo parametro tiene conto di tutti i fattori sopra richiamati. In particolare si vuole ribadire l'influenza particolare dell'insolazione. Si può osservare infatti che i valori di T_{90} più bassi si misurano nelle ore del giorno corrispondenti alla maggiore radiazione solare; i tempi di abbattimento aumentano poi nelle ore pomeridiane e serali e tendono ad un valore costante nelle ore notturne quando viene a mancare la luce solare.

La variazione nell'arco della giornata può essere molto forte, passando da un minimo di 1-2 ore a un massimo di molte ore.

La correlazione tra i valori di T_{90} e l'intensità della radiazione solare è avvalorata anche da studi, che esaminano il decadimento batterico in mare a varie profondità, e non solo in superficie, e in acque più o meno limpide, per cui viene a variare la penetrazione della luce ed in particolare delle radiazioni più letali.

In assenza di luce, la riduzione della popolazione batterica è dovuta, come già accennato, a problemi di sopravvivenza per diversità di pressione osmotica in acqua di mare, di mancanza di sostanze nutritive e di predazione da parte di microcarnivori.

Allo scopo pertanto di evidenziare l'importanza del fattore radiazione solare nello studio del decadimento batterico (le radiazioni più efficaci a questo fine, secondo vari autori, sono quelle a breve lunghezza d'onda), è opportuno correlare le prove di T_{90} con le rispettive radiazioni solari incidenti misurate con piranografo.

Il progetto della condotta (lunghezza, materiale, diametro, tipo di giunti e di ancoraggio, direzione rispetto alla linea di costa, eventuale protezione da corrosioni interne ed esterne per i materiali metallici) investe, per quanto fin qui rapidamente accennato, aspetti più propriamente idrodinamici legati alla quantità e alle caratteristiche del fluido trasportato, nonché aspetti strettamente legati all'ambiente ricettore (caratteristiche fisiche, chimiche, biologiche) e anche all'atmosfera (venti, temperatura dell'aria, insolazione etc.).

Qui ci interessiamo in particolare degli aspetti legati all'ambiente; a tal fine è necessario definire nel tempo, nello spazio e nella loro entità l'evoluzione di questi fenomeni mediante la determinazione di numerosi parametri e l'applicazione di specifiche formulazioni matematiche.

Le indagini dovranno consentire di disporre di una notevole quantità di dati e informazioni da desumere per la gran parte in loco, secondo il seguente schema:

A) *Indagini a largo raggio* volte a definire le caratteristiche mareografiche generali (correnti, venti e moto ondoso) del tratto di acque costiere nell'area di intervento. La misurazione oraria, anche con anemometri portatili, delle caratteristiche del vento (direzione e intensità), ha lo scopo di individuare la possibile correlazione tra il regime delle correnti ed il regime dei venti. Il quadro è completato dai dati meteorologici relativi alla condizione del mare, allo stato di copertura del cielo, alla temperatura dell'aria, al grado di umidità e di pressione atmosferica.

L'azione del vento in quanto generatrice di corrente, in relazione alla sua direzione, intensità e durata, riveste notevole importanza, soprattutto per il comportamento degli strati superficiali, direttamente interessati ai fenomeni di deriva (correnti di deriva). L'influenza del vento, in relazione ancora alla sua velocità, temperatura e durata, è particolarmente sensibile sulle caratteristiche idrologiche ed ambientali delle masse d'acqua.

Particolarmente significative si configurano azioni con conseguenza di *upwelling* (affioramento costiero di acque profonde più fredde), o, al contrario, di affondamento di acque superficiali, fenomeno che assume particolare importanza per il Mediterraneo.

B) *Indagini circoscritte* in corrispondenza delle zone ove sono previsti o esistono scarichi a mare, volte a definire:

— caratteristiche del liquame grezzo con determinazioni dei seguenti parametri: pH, temperatura, solidi sedimentabili, BOD₅, COD, ossigeno disciolto, azoto (ammoniacale, nitroso, nitrico), fosfati, oli e grassi, silicati, coliformi (totali e fecali);

— valori dei principali parametri fisici (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, torbidità) dell'ambiente marino interessato dallo scarico. I valori determinati per la temperatura e la salinità, o meglio le loro variazioni rispetto ai livelli normali dell'ambiente marino, permettono, unitamente alla correntometria, di individuare con una certa approssimazione la zona interessata dalla diffusione del miscuglio liquame-acqua di mare, ovvero il campo di dispersione del liquame in mare; possono anche essere evidenziate stratificazioni suscettibili di rallentare o anche interrompere la risalita dei liquami.

La determinazione dell'ossigeno disciolto consente di valutare se la richiesta biochimica di ossigeno degli eventuali scarichi è sopportabile dalla capacità di ossidazione dell'ambiente.

Ciò consente, anche, di «indirizzare» il prelevamento dei campioni di acqua di mare nelle zone caratterizzate da valori significativi delle grandezze anzidette.

Il valore della torbidità, determinato con l'impiego del disco Secchi, permette, attraverso la stima visiva del grado di trasparenza dell'acqua, di ottenere un altro importante parametro fisico legato al fenomeno di diffusione del liquame.

— tipo di conformazione generale del pennacchio di diffusione ed eventuali fenomeni di intrappolamento.

— diluizione dei liquami, per effetto della dispersione in acqua di mare, completata, per quanto riguarda i batteri, anche dalla determinazione della degradazione spontanea indotta dall'ambiente marino.

— condizioni del fondale nelle zone dei previsti scarichi e previsioni delle influenze degli scarichi sull'habitat marino, a breve termine (studio del plancton) ed a lungo termine (studio delle popolazioni bentoniche), con prelievi di sedimenti di fondo marino e di campioni di acqua di mare in prossimità della superficie.

Si ribadisce ancora che è necessario arrivare ad acquisire un elevato numero di misurazioni meteo-marine, di analisi dei liquami grezzi e delle acque di mare, di rilievi correntometrici ed anemometrici successivi affinché tale *massa di rilievi abbia validità statistica*, tanto più se riferiti ad un arco di tempo abbastanza esteso e comprensivo del periodo estivo caratterizzato dal massimo carico inquinante, con diverse condizioni di portata dei liquami; si dovrà quindi rilevare la fluttuazione estiva del carico inquinante versato in mare, le variazioni stagionali del regime dei venti e gli effetti da ciò derivanti sull'andamento delle correnti sottocosta, le variazioni stagionali dello sviluppo della popolazione fitoplanctonica, ecc..

Le indagini dovranno consentire di disporre di una notevole quantità di dati e informazioni da desumere per la gran parte in loco, secondo il seguente schema:

A) *Indagini a largo raggio* volte a definire le caratteristiche mareografiche generali (correnti, venti e moto ondoso) del tratto di acque costiere nell'area di intervento. La misurazione oraria, anche con anemometri portatili, delle caratteristiche del vento (direzione e intensità), ha lo scopo di individuare la possibile correlazione tra il regime delle correnti ed il regime dei venti. Il quadro è completato dai dati meteorologici relativi alla condizione del mare, allo stato di copertura del cielo, alla temperatura dell'aria, al rapporto tra precipitazioni e evaporazione.

Il rapporto generatrice di corrente, in relazione alla sua direzione, intensità e durata, riveste notevole importanza, soprattutto per il comportamento degli strati superficiali, direttamente interessati al fenomeno di deriva (correnti di deriva). L'influenza del vento in relazione ancora alla sua intensità, temperatura e durata, è particolarmente sensibile alle caratteristiche idrologiche ed ambientali delle masse d'acqua.

Particolarmente significative si configurano azioni con conseguenza di *upwelling* (affioramento costiero di acque profonde più fredde), o al contrario, di affondamento di acque superficiali, fenomeno che si manifesta periodicamente per il Mediterraneo.

Le indagini, trascritte in corrispondenza delle stazioni, sono previste o esistono scarchi a mare volte a definire:

- le caratteristiche del liquido (ossia le caratteristiche dei seguenti parametri: pH, temperatura, solidi sedimentabili, SPM, ossigeno disciolto, azoto ammoniacale, nitrico), fosfati, oli e grasso, batteri totali e fecali);

- i valori dei principali parametri chimici (salinità, ossigeno disciolto, torbidità) dell'ambiente marino, e dei valori determinati per la temperatura e la salinità, o meglio, il rapporto ai livelli normali dell'ambiente marino, permettendo, in tal modo,

di individuare con una certa approssimazione la zona di origine del miscuglio liquido-acqua di mare, ovvero il campo di provenienza delle acque in mare; possono anche essere evidenziate stratificazioni verticali, o anche interrompere la risalita del liquido.

Le determinazioni per i seguenti parametri servono a valutare se la richiesta biocinetica di ossigeno è superiore alla capacità di ossidazione naturale.

Le determinazioni di pH, temperatura e salinità dei campioni di acqua di mare sono da considerarsi come grandezze anzidette.

È opportuno, inoltre, prevedere, dal momento del disco Secchi, la messa in atto di una serie viva del genere di organismi per ottenere un altro importante elemento di riferimento, il contenuto di fitoplancton.

Le indagini di morfologia costiera servono a rilevare ed eventuali fenomeni di frangimento.

Le indagini sul fondo del mare, con riferimento alla dispersione in acqua di mare, completata, con l'osservazione, l'analisi e la determinazione della degradazione spontanea delle acque di mare.

Le indagini sul fondo del mare, con riferimento ai previsti scarchi e previsioni delle influenze degli organismi e animali (fitoplancton, zooplancton, bivalvi, molluschi, plancton) ed a lungo termine, con riferimento ai sedimenti, sono previste di fondo marino e di superficie di acque di mare in corrispondenza delle stazioni.

Le indagini sul fondo del mare, con riferimento ai previsti scarchi e previsioni delle influenze degli organismi e animali (fitoplancton, zooplancton, bivalvi, molluschi, plancton) ed a lungo termine, con riferimento ai sedimenti, sono previste di fondo marino e di superficie di acque di mare in corrispondenza delle stazioni.

Le indagini sul fondo del mare, con riferimento ai previsti scarchi e previsioni delle influenze degli organismi e animali (fitoplancton, zooplancton, bivalvi, molluschi, plancton) ed a lungo termine, con riferimento ai sedimenti, sono previste di fondo marino e di superficie di acque di mare in corrispondenza delle stazioni.

Riferimenti bibliografici

- Abbot M.B.: *On the spreading of one fluid over another*; La Houille Blanche; n. 5, pagg. 622-827 (1961).
- Abraham G.: *Horizontal jets in stagnant fluid of other density*; Proceeding Association Civil Engineering (A.S.C.E.) (1965).
- Abraham G., Brolsma A.A.: *Diffuser for disposal of sewage in shallow tidal water*; Delft Hydraulic Laboratory, publ. n. 37 (1965).
- Abraham G.: *Jet diffusion in stagnant ambient fluid*; Delft Hydraulic Laboratory; publ. n. 29 (1963).
- Agg A.R., Wakeford A.C.: *Field studies of jet dilution of sewage at sea outfalls*; Sessional meeting of the Royal Institute - London (1971).
- Aitsam A.: *A stochastic model of marine waste disposal*; IV International Conference Water Pollution Research, Praga (v. riassunto in «Water Research», vol. 2, n. 1) (1968).
- Albertson O.E., Sherwood R.J.: *Phosphate Extraction Process*; Journal Water Pollution Control Federation, vol. 41, n. 8 (1969).
- Albertson M.L., Day Y.B., Jensen R.A. e Rouse H.: *Diffusion of submerged jets*; A.S.C.E., vol. 115 (1950).
- Anon.: *W. Hartlepool Scheme to end coastal pollution*; Surveyor and Municipal and County Engineering (1960).
- Anon.: *Nuovi tipi di rivestimento in resina*; Dalmine S.p.A., Bollettino C 29.
- Anon.: *Outfall line - Hailebury, Ontario*; Water and pollution control (dicembre 1969).
- Anon.: *Rivestimenti in polietilene per tubi in acciaio*; Dalmine S.p.A., Bollettino tecnico.
- Anon.: *Largest submarine outfall in the U.K.*; Dock and harbour authority (maggio 1955).
- Anon.: *Sewage contamination of coastal bathing waters in England and Wales*; Committee Report, Journal of Hygiene, vol. 37, n. 4 (1959).
- Anon.: *Valutazione di massima del prezzo degli impianti di protezione catodica*; Dalmine S.p.A. - Bollettino Tecnico (1968).
- Anon.: *Water pollution research*; The report of the water pollution laboratory Steering Committee with the report of the Director of Water Pollution, Londra (1967).
- Anon.: *The World's biggest pollution problems*; Engineering New Record (1° maggio 1969).
- Anon.: *An investigation on the fate of organic and inorganic wastes discharge into the marine environment and their effects on biological productivity*; California State Water Control Board, publ. n. 29, Sacramento, California (1965).
- Armangau M.: *De la valeur des détergents anioniques comme traceurs de la pollution bactérienne*; Revue internationale d'océanographie médicale, Centre d'Etudes et de Recherches de biologie ed d'océanographie médicale (CERBOM), Nizza, Tomo IX (Comunicazione presentata al III° Colloque international d'océanographie médicale, 19-21 settembre 1967 - Nizza).
- Associazione ingegneri della provincia di Bologna: *Atti del convegno sullo smaltimento delle acque luride nelle località marine (1966)*.
- Aubert D., Koch P. e Garancher M.: *Research on the diffusivity of bacterial pollution in the marine environment technical studies and result*; IVth. International Conference Water Pollution Research, Praga (v. riassunto in «Water Research», vol. 2, n. 1 1968).
- Aubert J., Daniel S.: *Les traceurs biologiques des eaux résiduaires*; Revue internationale d'océanographie médicale, Nizza, Tomo IX (Comunicazione presentata al III° Colloque international d'océanographie médicale, 19-21 settembre 1967 - Nizza).
- Aubert M.: *Traité d'océanographie médicale*; ed. Gauthier Villars, Parigi (1969).
- Aubert M., Desirotte N.: *Théorie formalisée de la diffusion bactérienne*; Revue internationale d'océanographie médicale, Tomo XII (1968).
- Aubert M., Aubert J., Frucharta A., Daniel S., Ramey A.: *Etat actuel des pollutions bactériennes le long des côtes méditerranéennes françaises*; Revue internationale

d'océanographie medicale, Nizza, Tomo IX (Comunicazione presentata al III^e Colloque international d'océanographie medicale, 19-21 settembre 1967, Nizza).

Aubert R.: *Rejets en mer des eaux résiduelles faiblement radioactives du Centre de la Hague*; La Houille Blanche, anno 24, n. 4 (Compte rendu de la session organisée les 21 et 22 novembre 1968 par la Société Hydrologique de France).

Aubert R., Farges L.: *Utilisation de la Rhodamine dans l'étude des caractéristiques hydrologiques d'un site marin de rejet d'effluents radioactifs*; Revue internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza (1968).

Baalsrud K.: *Influence of nutrient concentrations on primary production*; Proceeding conference on pollution problems in the marine environment, Galveston, marzo 24-26, 1966. Ed. Interscience.

Barr D.I.H.: *Some observations of small scale thermal density currents*; International Association Hydrogeologists Research (I.A.H.R.), Montreal (1959).

Barr D.I.H.: *Density currents and public health Engineering*; Water and Water Engineering (dicembre 1966).

Barrett M.J., Munro D., Agg. A.R.: *Radiotracer dispersion studies in the vicinity of a sea outfall*; IV International Conference Water Pollution Research, Praga (v. anche riassunto in «Water research», vol. 2, n. 1 1968).

Batchelor G.K.: *Diffusion in a Field of Homogeneous Turbulence. The relative motion of Particles* (1952).

Bettolo G.B.M., Paladino S., Scarafoni G.S., Villa L., Visitin B.: *Researches on water supply and pollution by the Istituto Superiore di Sanità*; International Conference Water Peace, Washington (1967).

Bianucci G.: *L'inquinamento delle acque costiere ed estuariali: cause, conseguenze e rimedi*; comunicazione presentata alla IV Inchiesta Internazionale su «Acqua per il domani - La difesa del mare» (18-19 aprile 1969, Milano).

Blum R.: *Considerations techniques sur la réalisation d'émissaires d'eaux résiduelles en mer*; Revue internationale d'océanographie medicale, (CERBOM), Nizza, Tomo IX (comunicazione presentata al III^e Colloque international d'océanographie medicale, 19-21 settembre 1967, Nizza).

Bo G.: *Intervento - Atti del seminario di studi sulle acque in Sardegna*; Istituto di Idraulica, Università di Cagliari (1968).

Bolomey's I.G.W.: *Pollution of Rhine and its influence on Netherlands Beaches*; Proceeding First international conference on Waste disposal in the Marine Environment, Berkeley California, Pergamon Press (1959).

Bonde G.J.: *Pollution of a marine environment*; Journal Water Pollution Control Federation, vol. 39, n. 10 (ottobre 1967).

Bonde G.J.: *Study on the dispersion and disappearance phenomena in the marine environment*; III^e Colloque international d'océanographie medicale, Nizza (settembre 1967).

Bonde G.J.: *Studies on the dispersion of enteric bacteria in the marine environment*; Revue internationale d'océanographie medicale, (CERBOM), Nizza Tomo IX (comunicazione presentata al III^e Colloque international d'océanographie medicale, 19-21 settembre 1968 - Nizza).

Borchardt J.A.: *Eutrophication - Causes and effects*; Water Works Association, Voi. 61, n. 6 (giugno 1969).

Bosanquet C.H. Horn G. e Thring M.W.: *Effetti della differenza di densità sui percorsi di getti*; Proceeding Royal Society London, Vol. 263 (settembre 1961).

Bosset R.E.: *Eliminazione dei fosfati come terzo stadio della depurazione delle acque di rifiuto*; il^o Corso aggiornamento in Ingegneria Sanitaria, Politecnico di Milano; (v. anche: Ingegneria Sanitaria, anno XVII, n. 1 - gennaio-febbraio 1968).

Brooks N.H.: *Methods of analysis of the performance of ocean outfall diffusers with application to the proposed Hyperion outfall*; report to Hyperion Engineers, Pasadena, California, (5 aprile 1956).

Brooks N.H.: *Diffusion of sewage effluent in an Ocean Current*; Proceeding First International Conference on Waste Disposal in the marine environment, Pergamon Press (1959).

Brooks N.H.: *Disegno concettuale di bocche di scarico sottomarine, diffusione di getto, disegni idraulici di diffusori*; Water resources Engineering Educational Series, San Francisco (gennaio 1970).

- Brooks N.H. e Koh R.C.Y.: *Discharge of sewage effluent from a line source into a stratified ocean*; XIth International Association Hydrogeologists (I.A.H.R.) Congress, vol. 2, p. 19 (1965).
- Buttiaux R.: *Pollutions marine et santé publique*; Revue internationale d'océanographie medicale, (CERBOM), Nizza, Tomo XI (Comunicazione presentata al III^e Colloque international d'océanographie medicale, 19-21 settembre 1967 - Nizza).
- Camp T.R.: *Chlorination of mixed sewage and storm water (ASCE) (1961)*.
- Camp T.R.: *Water and its Impurities*; Reinhold Book Co., New York (1963).
- Camp R.T.: *Dispersal of wastes into receiving waters*; Water and its impurities, Reinhold Publishing Corporation, New York (1963).
- Carlsaw H.S., Jager J.C.: *Conduction of heat in solids*; Clarendon Press, Oxford (1959).
- Carson R.: *Silent spring*; ed. Houghton Mifflin Co., Boston (1962).
- Carter L.: *Industrial Aspect of Coastal Pollution*; Convegno dell'Institute of Water Pollution Control su «Water Pollution Control in Coastal Areas», Town Hall, Bournemouth (19-21 maggio 1970).
- Cassa per il Mezzogiorno - *Studi ed indagini preliminari lungo la zona costiera compresa tra Pomezia e San Felice Circeo; 1^a e 2^a fase; Relazioni Società Tecniche Eliminazione Inquinamento (T.E.I.) (1977)*.
- Cederwall K.: *The initial Mixing on jet disposal into a recipient*; Chalmers Institute of technology publ. n. 14, 15 (1953).
- Cederwall K., Rahm L.: *Submarine disposal of Sewage*; IAH - XI Congresso - Leningrado - memoria 2.17 (1965).
- Cederwall K.: *Hydraulics of marine waste water disposal*; Chalmers Institute of Technology (1968).
- CERBOM: *Côtes de France: Inventaire national de la pollution bactérienne des eaux littorales*; suppl. Revue internationale d'océanographie medicale (1968).
- Chick H.: *Investigation of the laws of disinfection (1908)*.
- Citrini D.: *Ricerca sperimentale sulla diffusione di una vena liquida effluente in un campo di liquido in quiete*; L'Energia Elettrica (agosto 1964).
- Citrini D.: *Diffusione di una vena liquida in un campo di fluido in quiete*; L'Energia Elettrica, n. 4, (1964).
- Citrini D.: *Correnti in pressione con portata variabile lungo il percorso*; L'Energia Elettrica, n. 5 (1952).
- Citrini D.: *Nuove ricerche sulla diffusione di una vena liquida in un campo di liquido in quiete*; L'Energia Elettrica (aprile 1947).
- Collins S.V.S.: *Submersibles pipelines round the world*; The Surveyor, and Municipal and Country Engineering (24 dicembre 1960).
- Committee on sewage and sewage treatment: *Marine disposal of wastes*; Progress report, Subcommittee on Specialized Subjects (A.S.C.E.) (1961).
- Committee on water quality criteria: *Report on the National Technical Advisory Committee to the Secretary of the Interior*; Federation Water Pollution Control Administration, Washington.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche: *Programma di ricerca sull'approvvigionamento idrico; Ricerche sull'inquinamento delle acque - piano di attività*; la Ricerca Scientifica, n. 2 (1968).
- Cooley P., Harris S.L.: *The prevention of stratification in reservoirs*; Journal of the Institute Water Engineering, Londra, voi. 8, n. 7 (novembre 1954).
- Curto J.: *Sulla diffusione di una vena liquida verticale effluente verso l'alto nella massa ferma di un liquido più pesante*; XI Convegno Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova (1968).
- Dainty S.H., Pearson R.F. and Thompson L.H.: *A regional scheme for the disposal of London's Sludge to sea*; Convegno dell'Institute of Water Pollution Control su «Water Pollution Control in Coastal Areas» Town Hall, Bournemouth (19-21 maggio 1970).
- Daymond J.R.: *The hydraulic problem concerning the Design of Sewage Storage Tanks and Sea-Outfalls-Variable Inflow*; Journal Institute Civil Engineering (1959).
- Daniel S., Cours d'océanographie biologique et medicale: *Etude des moyens analytiques des bacteries telluriques en mer*; (CERBOM) (4-13 settembre 1969).

- Da Silva P.C.M.: *Formal discussion - Proceeding 3rd international conference water pollution research, Monaco*; p. 66 (publ. Water Pollution Control Federation, Washington (1966).
- Dechigi M., Rio G.R.: *Inquinamento e difesa igienica delle acque superficiali, delle lagune, delle spiagge e utilizzazione dei liquami*; Atti della riunione annuale dell'Associazione Nazionale d'Ingegneria Sanitaria (ANDIS), Trieste (1955).
- de Fraja Frangipane E.: *Stato attuale e previsione degli interventi nella lotta contro l'inquinamento delle acque*; 4° Congresso Nazionale ANDIS, Milano (10-13 marzo 1969).
- Desirotte N.: *Etude de la dynamique des rejets bactériens et chimiques en mer*; lezione tenuta al corso di oceanografia biologica e medica, presso il CERBOM, Nizza (4-13 settembre 1969).
- Dinchisin A.N.: *Dye dispersion Studies*; ASCE (1963).
- Downing A.L.: *Water pollution research 1967*; London.
- Dronkers J.J.: *Tidal computation*; North Holland publ. Amsterdam (1964).
- ENI-ISVET: *L'intervento pubblico contro l'inquinamento*; rapporto di sintesi, a cura di Gianni Scaiola, Roma (18-19 giugno 1970).
- E.P.A.: *Jets in a cross flow*; U.S. Environmental protection agency, Office of research and development, Washington (ottobre 1973).
- Escritti L.B.: *Sewerage and sewage disposal*; capitolo *The sewerage of coastal towns*; Books Ltd., Londra (1964).
- Fair G.M., Geyer J.C., Okun D.A.: *Water and waste-water Engineering*; J. Wiley and Sons, New York (1968).
- Fan L. e Brooks N.H.: *Getti orizzontali in fluido stagnante di diversa densità, discussione*; Proceeding ASCE, Journal Hydrology (1966).
- Fan L.N. e Brooks N.H.: *Soluzioni numeriche di problemi di getti galleggianti turbolenti*; California Institute of Technology, Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resorces, Report No, KH-R-18 (1969).
- Fara M.G.: *Il comportamento dei microorganismi patogeni nei processi di depurazione dei liquami*; 3° Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria, Politecnico di Milano (1968).
- Ferranti G., Grappelli R., Tartaglia G.F.: *La costa laziale da Pomezia a S. Felice Circeo*; Ingegneria Sanitaria 6 (1975).
- Fin E.: *Chemical and biological aspects of sewage disposal in inner Oslofjord*; Proceeding First International Conference on Waste Disposal in the marine environment, University of California, Berkeley. Pergamon Press (22-25 luglio 1959).
- Fischer, Brooks: *Technical aspects of waste disposal in the sea through submarine outlets*; FAO, Technical conference on marine pollution and its effects on living resources and fishing; Roma (9-18 dicembre 1970).
- Flynn M.J., Thistlethwayte D.K.B.: *Sewage pollution and sea bathing*; Advances in Water Pollution Research, Proceeding Second International Conference, Tokyo, Pergamon Press (1964).
- Foxworthy J.E., Tibby R.B., Barson G.M.: *Dispersion of a surface waste field in the sea*; Journal Water Control Federation, vol. 38, n. 7, (1966).
- Frankel R.I., Cumming I.D.: *Turbulent mixing phenomena of ocean outfalls*; Proceeding ASCE (1965).
- Frankel R.I.: *Formal discussion a Harremoës P. - advances in Water pollution research*; 3d international conference IAWPR, Monaco - editore: Water pollution control federation, Washington (1966).
- Fukudo M., Itoh N., Sakagishi S.: *Diffusion phenomena in coastal areas*; Advances in Water Pollution Research, Proceeding Second International Conference, Tokyo. Pergamon Press (agosto 1964).
- Gameson A.L.H., Barrett M.J. e Freddy W.S.: *Predicting the condition of a polluted estuary*; Advances in Water Pollution Research, Proceeding Second International Conference, Tokyo. Pergamon Press (agosto 1964).
- Gameson A.L.H., Davidson R.N. e Threlfall J.M.: Institute publ. Health Engineering, vol. 64, (1), p. 182 (1965).
- Gameson A.L.H., Davidson R.N.: *Storm water investigations at Northampton, Londra* (1963).

- Gameson A.L.H., Pike E.B., Barret M.J.: *Somme factors influencing the concentration of California bacteria on beaches*; Revue internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza, Tomo IX Comunicazione presentata al III^e Colloque internationale d'océanographie medicale, Nizza (19-21 settembre 1967).
- Gameson A.L.H., Bufton A.W.J. e Gould D.J.: *Studies of the coastal distribution of coliform bacteria in the vicinity of sea outfalls*; Institute of Water Pollution Control (IWPC) (gennaio 1967).
- Gameson A.L.H., Pike E.B., Munzo D.: *Studies of dispersion from two sea outfalls*; Chemical Industry (1968).
- Gameson A.L.H., Mauro D. and Pike E.B.: *Effects of certain parameters on bacteria pollution at a coastal site*; Convegno dell'Institute of Water Pollution Control su «Water Pollution Control in Coastal Areas», Town Hall, Bournemouth; (19-21 maggio 1970).
- Garancher J.: *Interêts des études bacteriologiques et hydrologiques pour l'aménagement des côtes*; Revue d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza, Tomo XI (Comunicazione presentata al III^e Colloque internationale d'océanographie medicale, Nizza 19-21 settembre 1967).
- Garancher J.: *L'assainissement des agglomerations littorales*; Techniques et sciences municipales, anno 64, n. 4 (aprile 1969).
- Gilath C.X., Furer Y.Y., Cohen N., Shuval H.L.: *Dispersion and inactivation of bacteria in waste water discharged into the coastal waters of Israel*; Comunicazione presentata alla IV Inchiesta internazionale «Acqua per il domani» - «La difesa del mare»; Federazione Associazioni Scientifiche e Tecniche, Milano (aprile 1969).
- Grosso E.: *Ricerche sull'inquinamento marino da liquami domestici*; Atti del Convegno sullo smaltimento delle acque luride in località marine; Associazioni Ingegneri Provincia di Bologna (9-10 ottobre 1966).
- Guizerix J.: *Etude des phénomènes de dispersion d'eaux usées par traceurs radioactifs et colorés*; Revue internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza, Tomo IX (Comunicazione presentata al III^e Colloque internationale d'océanographie medicale, Nizza 19-21 settembre 1967).
- Gunnerson C.G.: *Sewage disposal in Santa Monica Bay, California*; Proceeding ASCE (1958).
- Guzman R.M.: *Seer outfalls to Caribbean*; Journal Water Pollution Control Federation, vol. 37, n. 11 (novembre 1963)
- Haldane W.P.: *Problems of sewage disposal at coastal towns*; Surveyor, vol. 120 (1961).
- Hansen J.: *Computer calculations on jet diffusion and dispersion in stratified receiving water*; Danish Isotope Center, Copenhagen (giugno 1967).
- Hansen J., Schröder H.: *Studi sulla diluizione orizzontale del getto mediante isotopi radioattivi*; Acta Polytechnica Scandinavia, n. 49, Copenhagen (1968).
- Hansen J.: *Jet diffusion*; The control of pollution in coastal waters. Summary of the lectures given at an inter-regional training course held at Copenhagen and Aarhus, Denmark; World Health Organization (2-29 agosto 1970).
- Hansen J.A.A.: *Predetermining trapping of sewage in straitfield receiving waters*; Nuclear techniques in environmental pollutions, International Atomic Energy Agency; Vienna (1971).
- Harremoës P.: *Prediction of pollution from planned Sewage outlets*; Teknillisen Kemian Aikakauslehti, vol. 21, n. 6 (1964).
- Harremoës P.: *Tracer studies on jet diffusion and stratified dispersion*; Advances in Water pollution research; Atti III International Conference Water Pollution Control Federation, Monaco (settembre 1966).
- Harremoës P.: *Diffuser design for discharge to a stratified water*, Water Research, voi. 2, n. 11 (1968).
- Harremoës P.: *Waste treatment for marine disposal*; The control of pollution in coastal waters. Summary of the lectures given at an inter-regional training course held at Copenhagen an Aarhus, Denmark, World Health Organization (2-29 agosto 1970).
- Hart W.E.: *Jet discharge into a fluid with a density gradient* (1961).
- Hayashi, I.: *Initial dilution of effluent discharging into stagnant sea water*; proceedings of international symposium on discharge of sewage from outfalls, London Paper n. 26 (27 august - 2 september 1974).

- Heaney F.L.: *Design, construction and operations of sewer outfalls in estuarine and tidal waters*; Journal Water Pollution Control Federation, vol. 32, n. 6 (Comunicazione presentata al 32nd Annual Meeting. Federation of Sewage and Industrial Wastes, Dallas, 12-15 ottobre 1959).
- Hemens J.: *Biological systems for the removal of nitrogen and phosphorus from sewage effluents*; IVth International Conference Water Pollution Research, Praga (v. riassunto in «Water Research», vol. 2, n. 1, 1968).
- Hendricks T.J.: *In situ measurements of initial dilution*; Coastal water research projet, Annual report (1977).
- Hinze J.O.: *Turbulence*; McGraw-Hill, series in Mechanical Engineering (1959).
- Hyperion engineers: *Outfall design*; Holmes e Narver, inc. 828 South Figueroa, Los Angeles (1957).
- Hood D.W.: *Waste disposal in marine waters*; Proceeding 6th Conference Coastal Engineering, Barkeley, California (1957).
- Hume N.B., Garber W.F.: *Marine disposal of digested screened wastewater solids*; Advances in water pollution research; atti IIIth international conference, Monaco, publ. Water Pollution Control Federation (1966).
- Imhoff K. e Koch P.: *Manuel de l'assainissement urbain*. Éd. Dunod 1955.
- Imhoff H. e Fair G.M.: *Sewage treatment*, Wiley & Sons, New York (1956).
- Ippen A.T.: *Estuary and coastline hydroynamics*; McGraw Hill, New York (1966).
- Ippolito G.: *Inquinamento e difesa igienica delle acque superficiali, delle lagune, delle spiagge ed utilizzazione dei liquami*; riunione annuale ANDIS, Trieste (1955).
- Ippolito G.: *Appunti di costruzioni idrauliche*, capitolo sulla *Destinazione ultima ed epurazione delle acque di rifiuto*; Ed. Liguori, Napoli (1966).
- Iwai S., Inque Y. e Higuchi H.: *On the survey and prediction of pollution at the industrial harbour*; IVth international conference water pollution research, Praga (v. anche riassunto in «Water research», vol. 2, n. 1 1968).
- Jenkins S.H.: *Summary report*; adv. Water pollution research, Tokyo, Pergamon Press (1964).
- Johnson J.W.: *The effect of wind and wave action on the mixing and dispersion of wastes*; proceeding first international conference on waste disposal in the marine environment, Pergamon Press (1959).
- Jones R., Stewart R.E.: *Diffusion des eaux d'égout émanant d'un émissaire océanique*; Comunicazione presentata al IV Colloque International d'océanographie medicale, Napoli (2-5 ottobre 1969).
- Jones H., Puntnam H.D., Stewart R.E.: *Diffusion of sewage effluent from an ocean outfall*; (sommario), IV Colloque international d'océanographie medicale, Association méditerranéenne de biologie marine et d'océanographie, Napoli, 2-5 ottobre 1969.
- Josa F.: *Bases for outfall design on the Mediterranean coast*; Advances in water pollution research; atti III international conference, Monaco, settembre. Publ. Water Pollution control Federation (1966).
- Key A.: *Water pollution control in coastal Areas: Where do we go from here*; Convegno dell'Institute of water pollution control su «Water Pollution Control in Coastal Areas», Bournemouth (19-21 maggio 1970).
- Ketchum B.H., Ford W.L.: *Rate of dispersion in the Wake of a barge at sea* (1952).
- Ketchum B.H.: *Man's Resources in the Marine Environment*; Key note address, Proceeding conference on Water pollution Problems in the marine Environment (1967).
- Klein L.: *River pollution*; capitolo «Pollution of Tidal and coastal waters»; Butterworths, Londra (1966).
- Koch P.: *Discharge of wastes into the Sea in European Coastal Areas*; Proceeding first international conference on Waste disposal in the marine environment, University of California, Berkeley, Pergamon Press. (22-25 luglio 1959).
- Koch P.: *Le rejet en mer de déchets littoraux*; L'Eau, 55, n. 5, (1968).
- Koch P.: *Les modifications de la vie marine au débouché des émissaires d'eux residuaires urbaines*; Revue internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza Tomo X (Comunicazione presentata al III^e Colloque internationale d'océanographie medicale, Nizza 19-21 settembre 1967).
- Lawrence M.: *Sanitary considerations of five-mile ocean outfall*; proceeding ASCE (1961).

- Lerolle V., Chapellon S., Remondet A.: *La construction du centre de la Hague du commissariat à l'énergie atomique*; Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics, (1966).
- Liseth P.: *Miscelazione di getti galleggianti scaricati in acqua di densità uniforme*; University of California, Berkeley, Hydro Engineering Laboratory. Report No. HEL 23-I. (1970).
- Liseth P.: *Smaltimento delle acque di rifiuto - Diluizione per mescolamento di getti interferenti che fuoriescono da un diffusore in un ricettore stagnante di densità uniforme*; Atti del convegno internazionale di studio, Marina Aurisina, Trieste (1972).
- Liseth P.: *Progetto di depurazione dell'acqua di scarico*; Dispositivo di diffusione e diluizione iniziale dell'acqua di scarico - Informasjon, Oslo (1977).
- Livinstone D.J.: *An appraisal of sewage pollution along a section of the Natal coast (1969)*.
- Ludwig H.F., Onodera B.: *Scientific parameters of marine waste discharge*; Advances in water pollution research, proceeding international conference, London, Pergamon Press (1962).
- Ludwig H.F. e coll.: *Determination and Removal of floatable Material from Waste Water*; Report to Division of Water supply and pollution control, U.S. - Public Health Service, Engineering Science, Arcadia, California (1965).
- Majori L.: *Ricerche sull'inquinamento delle acque del mare dell'Alto Adriatico*; C.N.R., Commissione di studio per la oceanografia e la limnologia, servizio di raccolta di dati oceanografici (1969).
- Maschi F.D.: *Mixing and dispersion of wastes by wind and wave action*; Advances in water pollution research, proceeding International conference, London, Pergamon Press (1962).
- McGauhey P.H.: *Engineering management of Water quality*, capitolo, *Marine and estuarine disposal of wastes*, McGraw-Hill, New York (1968).
- McKee J.E.: *Parameters of marine pollution: an over all Evaluation*; proceeding conference on Water pollution problems in the marine environment; University Marine Laboratory, Galveston, Texas, ed. Interscience publishers (1967).
- Mendia L., Buonincontro E.: *Un particolare trattamento delle acque di rifiuto cittadine*. Acqua industriale, n. 718 (maggio-agosto 1960).
- Mendia L.: *Trattamento delle acque di rifiuto da versarsi in mare*; Atti del convegno nazionale su problemi attuali di Igiene e Medicina sociale, Napoli (1963).
- Mendia L.: *Intervento*; Atti del convegno sullo smaltimento delle acque luride nelle località marine; Associazione Ingegneri Provincia di Bologna, 9-10 ottobre 1966.
- Mendia L.: *Protezione delle acque superficiali dalle acque inquinate*; Atti del seminario sulle acque in Sardegna - Assessorato ai lavori pubblici e Istituto di idraulica dell'Università di Cagliari (22-25 febbraio 1968).
- Metcalf L., Eddy H.P.: *American sewerage practice*; vol. 3, *Disposal of sewage*, McGraw Hill (1935).
- Mitchell R.: *Factors affecting the decline of non marine micro-organism in sea water*; Water research, vol. 2, n. 8 (settembre 1968).
- Moore B.: *The risk of infection through bathing in sewage polluted water*; proceeding first international conference on waste disposal in the marine environment, University of California, Berkeley (22-25 luglio 1959).
- Moore B.: *Water pollution control in Coastal Areas; Public health aspects*; Convegno dell'Institute of Water Pollution Control su «Water pollution control in Coastal Areas», Town Hall, Bournemouth (19-21 maggio 1970).
- Mosetti F.: *Su alcuni criteri ed esperienze per misurazioni idrologiche mediante sostanze traccianti*; L'Energia Elettrica n. 9 (1960).
- Mosetti F.: *Oceanografia*; ed. Dal Bianco, Udine (1964).
- Mosetti F.: *Considerazioni preliminari sulla dinamica dell'Adriatico settentrionale*; archivi di oceanografia e limnologia; Suppl. al vol. 15; Centro Nazionale di Studi Talassografici, Venezia (1968).
- Nece R.E., Goldstern P.P. e Black J.L.: *Single port suction manifold* (1966).
- Neumann G., Pierson Jr W.J.: *Principles of Physical Oceanography*; Prentice-Hall (1966).
- Neri E.: *Controllo della corrosione su tubazioni metalliche interrato*; rassegna tecnica Dalmine, Milano (1966).

- Neri E.: *Tubazioni per gli sbocchi in mare*; Atti del convegno sullo smaltimento delle acque luride in località marine; Associazione Ingegneri Provincia di Bologna, Bologna (1966).
- Neri E.: *Nuovi rivestimenti in resina per tubi d'acciaio*; XI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova (ottobre 1968).
- Nesbitt J.B.: *Phosphorus removal - The state of the art*; Journal Water Pollution Control Federation, vol. 41, n. 5 (maggio 1969).
- Novelli G., Olivotti R.: *Possibilità associative nel trattamento delle acque di rifiuto urbane. Elementi di confronto per la scelta*. Convegno «Problemi idraulici delle Venezia», Trieste (24-25 ottobre 1969).
- Oakley H.R.: *A study of beach pollution in tidal waters*; Advance in water pollution research, proceeding second international conference, Tokyo, Pergamon Press (agosto 1964).
- Oakley R. and Cripps T.: *Water Pollution Control in Coastal Areas Investigation and Design*; Convegno dell'Institute of Water Pollution Control su «Water Pollution Control in Coastal Areas», Town Hall, Bournemouth (19-21 maggio 1970).
- Okubo A.: *A revue of theoretical models of turbulent diffusion in the Sea*; John Hopkins University (1962).
- Olivotti R.: *Estensione della formula di Aubert-Desirotte al dimensionamento di diffusori - nota preliminare* - Convegno «Problemi Idraulici delle Venezia», Trieste, Istituto di Idraulica, Università di Trieste (ottobre 1969).
- Olivotti R.: *Condotte di scarico sottomarine; parte prima: indagini preliminari - parte seconda: criteri di dimensionamento*; IV Corso di aggiornamento di Ingegneria Sanitaria, Politecnico di Milano (1970).
- Olivotti R.: *Estensione della formula di Aubert-Desirotte al dimensionamento dei diffusori per lo scarico a mare delle acque di fogna*; Ingegneria Sanitaria, n. 2 (1970).
- Olivotti R.: *Extension de la théorie de Aubert-Desirotte au dimensionnement des diffuseurs*; Revue internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza (1970).
- Oppenheimer C.H.: *Symposium on marine microbiology*, Thomas (1963).
- Orlob G.T.: *Viability of sewage bacteria in sea water*; Sewage and Industrial Wastes, vol. 28, p. 1147 (1956).
- Orlob G.T.: *Eddy diffusion in Homogeneous turbulence* (1959).
- Palausi G.: *Etude du mode de dispersion de flotteurs colorés dans la baie de Cannes*; Revue internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza, Tomo IX (Comunicazione presentata al III^e Colloque international d'océanographie medicale, Nizza 19-21 settembre 1967).
- Paoletti A.: *Microorganismes pathogènes dans le milieu marin*; Pollution marine par Microorganismes (1964).
- Paoletti A.: *Les Detergents: Nouvel indice chimique de la pollution fécale des eaux de surface*; Revue internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza, Tomo III (1966).
- Paoletti A.: *Biologia delle acque marine contaminate*; 3^o Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria, Istituto di Ingegneria Sanitaria, Politecnico di Milano (1968).
- Paoletti A., Parrella A., Melluso G. De Fusco R.: *Gli autoanalyzer su piccolo battello per lo studio della diluizione e diffusione degli effluenti urbani in mare*; Nuovi Annali Igiene e Microbiologia, XXIV, 4 (1973).
- Paoletti A.: *Oceanografia medica ed inquinamento*; Ed. Liguori (1975).
- Parkhurst J.D.: *Ocean outfall design for economy of construction*; 39th Annual Conference Water Pollution Control Federation, Kansas City, september 1966 (V. anche Journal Water Pollution Control Federation, 1967).
- Parkhurst J.D., Garrison W.E. e Whitt M.L.: *Effect of wind, tide and weather on nearshore ocean conditions*; Advances in water pollution research, proceeding international conference, London (1962).
- Pastors W.C.B., Haagsma S.C.: *Sewage outfalls into the north sea for the municipality of the Hague*, Holland (1968).
- Pearson E.A.: *An investigation of the efficiency of Submarine Outfall Disposal of Sewage and Sludge*; State Water Control Board Pollution Board, Sacramento, California (1956).

- Pearson E.A.: *Trace methodology and Pollution Analyses of Estuaries*; proceeding first international conference waste disposal in the marine environment, Pergamon Press (1959).
- Pearson E.A.: *Recommended Waste Discharge Water and sediment quality Requirements and Monitoring Program for City of San Diego Waste Discharge*; Report to regional Water Pollution Control Board (1960).
- Pearson E.A. (1966): *Some developments in Marine Waste disposal* (1966).
- Pearson E.A., Storrs P.N., Selleck R.E.: *Some physical Parameters and their Significance in Marine Waste disposal*; proceeding conference on Water pollutions Problems in the marine Environment, Galveston, Texas, marzo 24-26, 1966 - ed. Interscencias publishers (1967).
- Pearson C.R.: *Quelques aspects techniques de la décharge des effluents industriels dans les eaux de mer*; La tribune du CEBEDEAU, vol. 21 n. 297-298, (Comunicazione presentata alle 21 journées internationales d'étude des eaux, Liège, 13-17 maggio 1968).
- Piatier A.: *Economie marine et santé publique*; Revue internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza, Tomo XI. (Comunicazione presentata al III^e Colloque internationale d'océanographie medicale, Nizza 19-21 settembre 1967).
- Piety J.: *Predicting the course of an effluent discharge*; Ocean industry, vol. 3, n. 6 (1968).
- Pistilli G.: *Acquedotti sottomarini per le isole di Capri, Procida ed Ischia*; Ingegneria Sanitaria (1954).
- Politecnico di Milano - Istituto di Ingegneria Sanitaria: *Scarichi a mare*; Atti del convegno internazionale di studio - Marina Aurisina Trieste (3-7 luglio 1972).
- Politecnico di Milano - Istituto di Ingegneria Sanitaria: *Inquinamento marino e scarichi in mare*; Atti del 2° convegno internazionale di studio - Città di Sanremo (17-21 dicembre 1973).
- Politecnico di Milano - Istituto di Ingegneria Sanitaria: *Smaltimento a mare delle acque di fogna e degli scarichi industriali*; Atti del 3° convegno internazionale di studio - Sorrento (23-27 giugno 1975).
- Pollution 72: *Inquinamenti delle acque - Inquinamenti atmosferici - Inquinamenti del suolo*; Atti delle Giornate di Studio (14-17 giugno 1972).
- Pomeroy R.D.: *The empirical approach for determining the required length of an Ocean outfall*; proceeding first international conference on waste disposal in the marine environment, University of California, Berkeley, Pergamon Press (22-25 luglio 1959).
- Postma H.: *Marine pollution and sedimentology*; proceeding conference on water pollution problems in the marine environment, Texas University Marine Laboratory, Galveston, Texas, marzo 24-26, 1966 - ed. Interscencias publishers (1967).
- Powell R.M., Van Henit R.E.: *Ocean outfall maintenance and repair*; Journal Water pollution control federation, vol. 40, n. 11, (1968).
- Public health activities committee: *Coliform standards for recreative water*; proceeding ASCE, (agosto 1963).
- Ram S.L., Cederwall K.: *Submarine disposal of sewage* (1965).
- Rambow C.A., Hennessy P.V.: *Oceanographic studies for a small wastewater outfall*; Journal Water pollution control federation, vol. 37, n. 11 (novembre 1965).
- Rawn A.M., Bowerman F.R. e Brooks N.H.: *Diffuser for disposal of sewage in Sea Water*; proceeding ASCE (1960).
- Rawn A.M., Palmer H.K.: *Pre-determining the Extent of Sewage field in Sea Water*; ASCE (1930).
- Rawn A.M.: *Fixed and changing values in Ocean disposal of sewage and Wastes*; proceeding first international conference on waste disposal in the marine environment, University of California, Berkeley (22-25 luglio 1959).
- Reish D.J.: *The Use of Marine Invertebrates as Indicators of Water quality*; proceeding first international conference on waste disposal in the marine environment, University of California, Berkeley (22-25 luglio 1959).
- Revelle R.: *Welcoming Address*; proceeding first international conference on waste disposal in the marine environment, University of California, Berkeley (22-25 luglio 1959).

- Rittenberg S.A.: *Studies on coliform bacteria discharged from the Hyperion Outfall*; Allan Hancock Foundation University, Los Angeles (1956).
- Roberts D.G.M., Palman A.: *North Wirral long sea outfall*; Institute Civil Engineering Proceeding (1972).
- Rouse H.: *Elementary mechanics of fluids*; J. Wiley and Sons, New York (1956).
- Romita P.L.: *Provvedimenti tecnico-amministrativi adottati in alcuni paesi per porre rimedio all'inquinamento delle acque superficiali da parte di scarichi industriali e urbani*; Riunione annuale ANDIS (Trieste, 26-29 giugno 1955).
- Sothgate B.A. e Freddy W.S.: *Discharge of sewage and industrial wastes to estuaries*. ASCE (1952).
- Southgate B.A.: *Water Pollution Control in Coastal Areas, the Nature of the Problem*; Convegno dell'Institute of Water Pollution Control su «Water Pollution Control in Coastal Areas», Town Hall, Bournemouth (19-21 maggio 1970).
- Sharifi J., Stierman K.A.: *How underwater pipeline is laid in the Persian Gulf*; World Petroleum (novembre 1956).
- Scherfig J., Ludwig H.F.: *Determination of floatables and extractables in sewage*; Water pollution research, Monaco (1966).
- Sharp J.J.: *Physical Interpretation of jet dilution parameters*; proceeding ASCE (1968).
- Shuval H.J., Cohen H., Purer Y.: *The dispersion of bacterial pollution along the Tel Aviv shore*; revue internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza, Tomo XI (Comunicazione presentata al III^e Colloque international d'océanographie medicale, Nizza 19-21 settembre 1967).
- Snook W.G.G.: *Utilising submarine pipelines techniques for sea outfalls* (1961).
- Snook W.G.G.: *Marine disposal of trade wastes*; Chemistry and Industry (novembre 1968) (v. anche Inquinamento - n. 1, marzo 1970).
- Snook W.G.G.: *Submarine pipelines - a retrospective, current and prophetic view of their contribution to acceptable disposal of wastes in the Marine Environment* (aprile 1968).
- Stein J.E., Denison J.G.: *Limitations of Indicators Organism*; proceeding conference on Water pollution Problems in the marine Environment Galveston, Texas, marzo 24-26, 1966 - ed. Interscience publishers (1967).
- Sterregaard B.: *The revance of initial dispersion*; International Symposium on discharge of sewage from sea outfalls, London Paper n. 29 (2 september 1974).
- Stirn J.: *Eutrophication of the sea by organic pollution*; Technical Paper n. 38, pubbl. FAO, Roma (1965).
- Stirn J.: *The consequences of increased sea bioproduction caused by organic pollution and possibilities for the protection*; Revue Internationale d'océanographie medicale, CERBOM, Nizza, Tomo X (Comunicazione presentata al III^e Colloque international d'océanographie medicale, Nizza 19-21 settembre 1967).
- Theroux R.I., Lawrence C.H., Hume N.B.: *Removal of floatables from digested sludge*; proceeding ASCE (1961).
- Thomas R.H.: *Marine dilution and inactivation of sewage*; Advances in water pollution research, proceeding international conference, London, Pergamon Press (1962).
- Tibby R.B.: *Inshore circulation patterns and the Oceanic Disposal of Waste*; proceeding first international conference on waste disposal in the marine environment, University of California, Berkeley, Pergamon Press (22-25 luglio 1959).
- Veley V.F.C.: *The relationship between local Wind and Water movement in coastal Waters of the British Isles*; proceeding first international conference on waste disposai in the marine environment, University of California, Berkeley, Pergamon Press (22-25 luglio 1959).
- Vigliani P.G., Sclavi B., Visconti A., Tartaglia G.F.: *Indagine marina su un tratto di costa del Lazio Meridionale*; IAWPR Palma di Maiorca (1979).
- Vigliani P.G., Sclavi B., Olivotti R., Visconti A., Tartaglia G.F.: *Indagine sperimentale sulla diluizione iniziale di liquami versati in mare da un diffusore*; IAWPR Palma di Maiorca (1979).
- Vigliani P.G., Zurlo N.: *Dispersione in mare degli effluenti liquidi - Un modello matematico*; Atti del 3° congresso internazionale sullo «Smaltimento a mare delle acque di fogna e degli scarichi industriali», Sorrento (23-27 giugno 1975).

- Vigliani P.G., Zurlo N.: *Valutazione dell'inquinamento causato da scarichi a mare a differenti distanze dalla costa*; Atti del convegno internazionale sull'antiquamento, Milano (1974).
- Wakefield J.A.: *Water Pollution Control in Coastal Areas the Layman's Viewpoint*; Convegno dell'Institute of Water Pollution Control su «Water Pollution Control in Coastal Areas», Town Hall, Bournemouth (19-21 maggio 1970).
- Waldichuck M.: *Currents from aerial photography in coastal pollution studies*; Advances in water pollution research; atti IIIth international conference, Monaco, Publ. Water Pollution Control Federation, Washington (1966).
- Warriner R.: *Discussion* - proceeding III^e international conference water pollution research, Monaco, Publ. Water Pollution Control Federation, Washington (1966).

...azione le figure
...n. 12 al n. 21
...nato nel testo

12 atlante

- contiene le figure dal n. 13 al n. 21 richiamate nel testo

15 giugno

contiene le figure
dal n. 13 al n. 24
richiamate nel testo

15 giugno

Figura 13 - Attrezzatura di scarico posata sul fondale



Figura 14 - Ugello di scarico orientato a 90° verso l'alto



Figura 15 - Ugello di scarico orientato a 45° verso il basso



Figura 16 - Ugelli orizzontali in azione



Figura 17 - Il sommozzatore effettua un controllo



Figura 18 - Posizionamento di una sagola



Figura 19 - Rilevamento delle dimensioni del getto



Figura 20 - Rilevamento nel caso di due getti

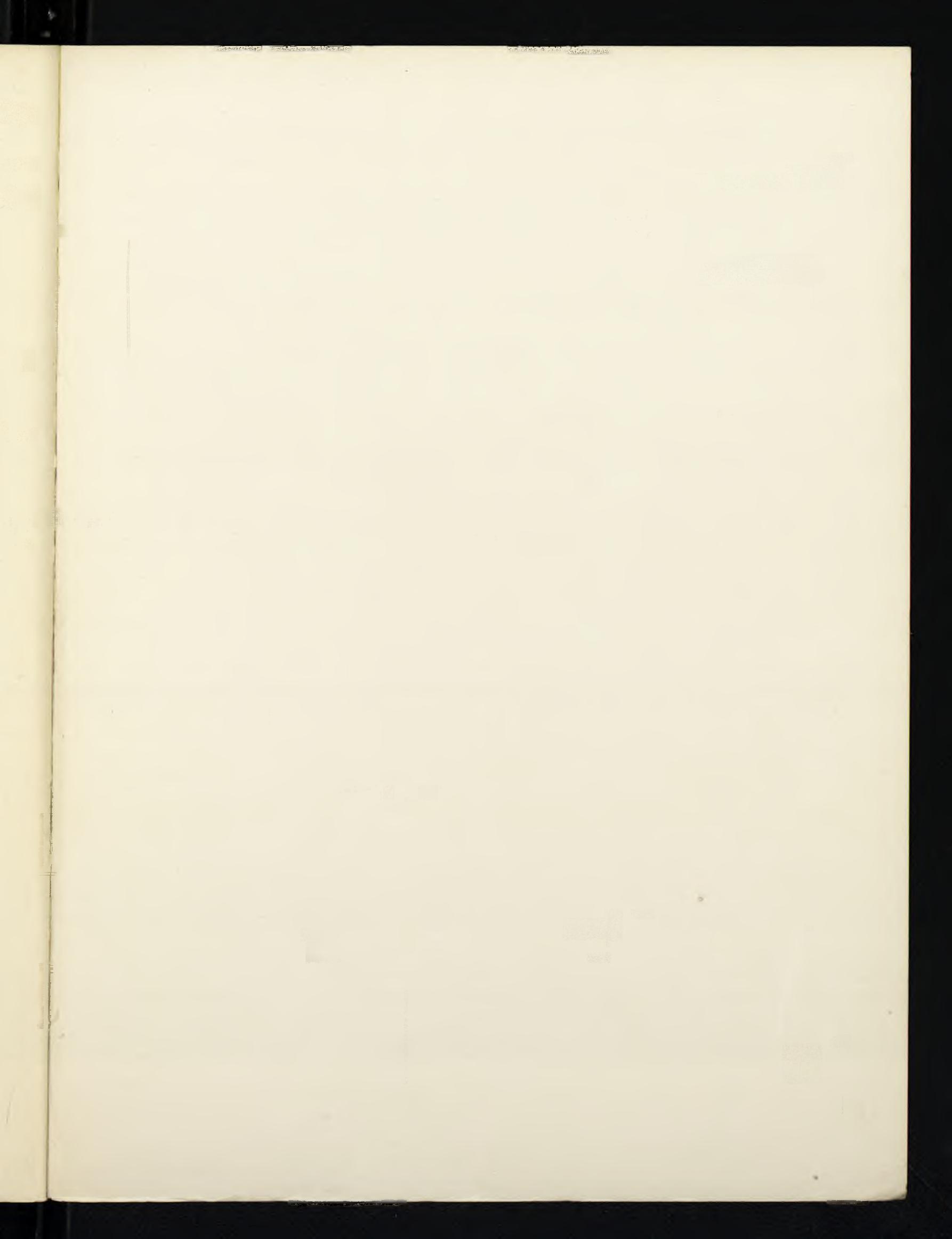


Figura 21 - I mezzi nautici di superficie con le apparecchiature di rilevamento automatico



Il sistema di rilevamento automatico (AR) è un sistema di rilevamento automatico che consente di rilevare automaticamente le navi in avvicinamento e di emettere segnali di allarme. Il sistema è composto da un sensore di rilevamento automatico (AR) e da un sistema di allarme. Il sensore di rilevamento automatico (AR) è un sensore che rileva automaticamente le navi in avvicinamento e emette segnali di allarme. Il sistema di allarme è un sistema che emette segnali di allarme quando il sensore di rilevamento automatico (AR) rileva una nave in avvicinamento.

Edito a cura
dell'Ufficio Documentazione
della Divisione Stampa e Pubbliche Relazioni
della Cassa per il Mezzogiorno
Roma - 1984



La collana dei «Quaderni» si propone di corrispondere, in forma organica e sistematica, ad una esigenza avvertita e segnalata da più parti: quella di offrire periodicamente all'opinione pubblica ed agli ambienti culturali, politici ed economici, un mezzo per approfondire e completare la conoscenza del patrimonio di esperienze amministrative, scientifiche e tecniche accumulato dalla Cassa per il Mezzogiorno, nel corso della sua attività.

I «Quaderni» ospitano, di volta in volta, studi, ricerche, progetti, dibattiti, consuntivi ed ogni altro contributo scientifico e culturale, direttamente od anche indirettamente connesso agli interventi della Cassa. Con ciò intendendo soddisfare sia le esigenze divulgative, che quelle degli ambienti più specializzati.

In tale quadro, un posto di rilievo è occupato dai «Quaderni» sui progetti speciali, destinati ad offrire al lettore, in forma cronologica, gli elementi più significativi per seguire l'iter programmatico e di attuazione di ciascun progetto.

Gli argomenti vengono preliminarmente illustrati, nel loro complesso, in forma semplice e accessibile a tutti.

Segue una seconda parte dove sono riprodotti, nei loro aspetti essenziali, i provvedimenti adottati in sede governativa per indirizzare gli interventi e la documentazione amministrativa e tecnica predisposta dalla Cassa.

In alcuni casi, vengono anche presentati, sotto forma di schede, i dati relativi ai singoli programmi annuali e al loro andamento.

A completamento della documentazione pubblicata, i «Quaderni» contengono, infine, materiale fotografico, cartografie, grafici e tabelle riferiti agli argomenti trattati.

L'allestimento e la diffusione della «Collana» avviene a cura dell'Ufficio Documentazione della Divisione Stampa e P.R. della Cassa per il Mezzogiorno.

7

