Corso di Formazione
Materiali per la costruzione di condotte di scarico sottomarine

8 aprile 2016

La diffusione e dispersione degli effluenti di una condotta sottomarina. Inquadramento teorico e modellazione matematica

Michele Mossa

POLITECNICO DI BARI
DICATECh - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica
michele.mossa@poliba.it
www.michelemossa.it
www.iahrmedialibrary.net

IAHR AIRH
Supported by CEDEX

MORPHODYNAMIC EFFECTS
SEE PAGE 81

ICE LOAD MEASUREMENT
SEE PAGE 74

RESEARCH BETWEEN WATER AND SEDIMENT
SEE PAGE 84

THE GLOBAL PERSPECTIVE OF EXPERIMENTAL HYDRAULICS

EDITORIAL BY SIMONE VAN SCHIJNDEL AND MICHELE MOSSA

Simone van Schijndel
Deltares
Delft (The Netherlands)
e-mail: hydralab@deltares.nl

Prof. Michele Mossa
Politecnico di Bari (Italy)
Editor of Hydrolink
e-mail: m.mossa@poliba.it

It is well know that there are three ways to approach the solution of a problem in hydraulics and hydraulic engineering design, i.e. 1) theory and reasoning, 2) experience (for example derived from similar structures), and 3) investigating the problem and testing the design on a model. In any case, past experience may be inadequate due to the uniqueness of the design and circumstances. Furthermore, the complexity of many fluid flows and our still limited analytical abilities permit the strict application of theory and basic flow equations only in certain situations. Therefore, methods using models are needed to achieve a solution or to test the effect of simplifications. In any case, it must be emphasized that a purely experimental approach without any theoretical analysis could be a waste of effort. The term "model" is used in hydraulics to describe a physical or mathematical simulation of a prototype.

A hydraulic simulation may be direct by the use of physical models, semi-direct using analogues, or indirect by making use of theoretical and computer-based analysis. Generally, the basic distinction is between physical and mathematical models.

One of the first to use hydraulic models was Osborne Reynolds, who in 1885 designed and operated a tidal model of the Upper Mersey at Manchester University. In 1898, Hubert Engels established the first River Hydraulics Laboratory at Dresden. Then followed a gradual and, after 1920, an accelerating expansion of laboratories for the study of hydraulic engineering problems using scale models. The widespread use and role of hydraulic models may have changed somewhat in recent years, mainly due to advances in computational modelling, but they remain an important modelling tool, especially in the design of hydraulic structures, river and coastal engineering applications, environmental protection and in providing the physical input to mathematical modelling. An analogue model is a system reproducing a prototype situation in a physically different medium. This technique depends on the equations representing the prototype and model being mathematically identical. Thus, torsional vibrations of a bar may represent the water-level oscillations of a simple surge tank, and both can be simulated by the voltage changes in an electric circuit, i.e. by an electrical analogue. The electronic–hydraulic analogy is a widely used analogy for "electron fluid" in a metal conductor. In fact, electricity and heat were originally understood to be a kind of fluid, and the names of certain electric quantities, such as current, are derived from hydraulic equivalents. As with all analogies, it demands an intuitive and competent understanding of the baseline paradigms.

It is important to highlight that a physical model provides a continuous representation of the prototype but a computational model offers only a finite dimensional approximation; if a model does not reproduce observations accurately, it is necessary to assess the uncertainty in the results. Physical and computational modelling should not be viewed as conflicting methods of investigation. On the contrary, they have complementary strengths and weaknesses. Often a hydraulic engineering problem will require a combination of both methods. In this case, the method is known as hybrid modelling.

In this context in the last decades, many hydraulic large infrastructures have been developed, not always with an international coordination. Of course the lack of coordination causes many problems, since, for example, in the different countries, there are no funds available to support these infrastructures. In this context an important role in the hydraulic physical modelling and experimentation has been performed by HYDRALAB, which is a network of the major environmental hydraulic infrastructures in Europe and combines different disciplines within the EU experimental hydraulics community.

The co-ordinated and integrated approach of HYDRALAB aims at structuring access to unique and costly hydraulic and ice engineering research infrastructures in the European Research Area. The network of HYDRALAB is unique in the hydraulic research community and has large experience in co-operating since its start in 1997. It began by informing and co-ordinating the activities of the partners in HYDRALAB I and II, and via strong collaboration in HYDRALAB III the network now establishes further integration of the research services in Europe in HYDRALAB IV.

Reflecting international developments, progressively more research in experimental research infrastructures goes beyond just hydraulics and focuses on questions regarding the interaction of water with its environment, thus enlarging the complexity. By adopting the theme **More than water** HYDRALAB wants to emphasize the belief that especially for solving the many pressing environmental problems associated with the interaction of water (in ocean, coastal, estuarine, and river systems) with environmental elements, sediment structures and ice an integrated approach is required. Questions that society needs to answer deal with e.g. the development of adaptive strategies to climate change and sustainable measures against natural hazards, like floods.

A fully integrated and balanced ensemble of Networking Activities (5), Joint Research Activities (4) and Transnational Access Activities (10) enhances the operation of the infrastructures and their instrumentation facilities beyond the present state-of-the-art and identifies potential future developments. Further objectives of HYDRALAB are to improve access to experimental data, by providing researchers with a database on results of experiments, and bring young researchers and first time users from across Europe to the cutting edge of experimental research.

Future opportunities for HYDRALAB lie in preparing environmental hydraulic modelling for the upcoming challenges associated with adaptations for climate change and connecting research infrastructures globally. The consequences of climate change urge us to work on getting the infrastructures ready for modelling in interdisciplinary groups with key-members from the structural, morphodynamic, ice and ecohydraulic communities at the same table.

This special Hydrolink issue presents an introduction to HYDRALAB IV and gives an overview of the key projects that were carried out in the framework of HYDRALAB IV. The ensemble of the Joint Research Activities PISCES (**P**rotocols and **I**n**S**trumentation for **C**ombined hydraulic and **E**cological model**S**), WISE (**W**ater-**I**nterface-**S**ediment **E**xperiments) and HyReS (**H**ydraulic **Re**sponse of **S**tructures) is presented in separate articles. The special issue is completed with three examples of Transnational Access projects that were carried out in our research infrastructures.

We hope you enjoy this special issue and that it encourages hydraulic researchers across the globe to work together and share their experiences.

The global perspective of experimental hydraulics

Editorial Hydrolink n. 3 dell'anno 2014

(M. Mossa – Politecnico di Bari, Simone van Schijndel, Deltares - Delft Hydraulics Delft - The Netherlands)

It is well know that there are three ways to approach the solution of a problem in hydraulics and hydraulic engineering design, i.e.

1) theory and reasoning
2) experience (for example derived from similar structures)
3) investigating the problem and testing the design on a model.

The global perspective of experimental hydraulics

Editorial Hydrolink n. 3 dell'anno 2014
(M. Mossa – Politecnico di Bari, Simone van Schijndel, Deltares - Delft Hydraulics Delft - The Netherlands)

In any case, the past experience may be inadequate due to the uniqueness of the design and circumstance.

Furthermore, the complexity of many fluid flows and our still limited analytical abilities permit the strict application of theory and basic flow equations only in certain situations.

Therefore, methods using models are needed to achieve a solution or to test the effect of simplifications. In any case, it must be emphasized that a purely experimental approach without any theoretical analysis could be a waste of effort.

The term model is used in hydraulics to describe a physical or mathematical simulation of a prototype.

The global perspective of experimental hydraulics

Editorial Hydrolink n. 3 dell'anno 2014
(M. Mossa – Politecnico di Bari, Simone van Schijndel, Deltares - Delft Hydraulics
Delft - The Netherlands)

A hydraulic simulation may be direct by the use of models, semi-direct using analogues or indirect by making use of theoretical and computer-based analysis.

Generally, the basic distinction is between physical and mathematical models.

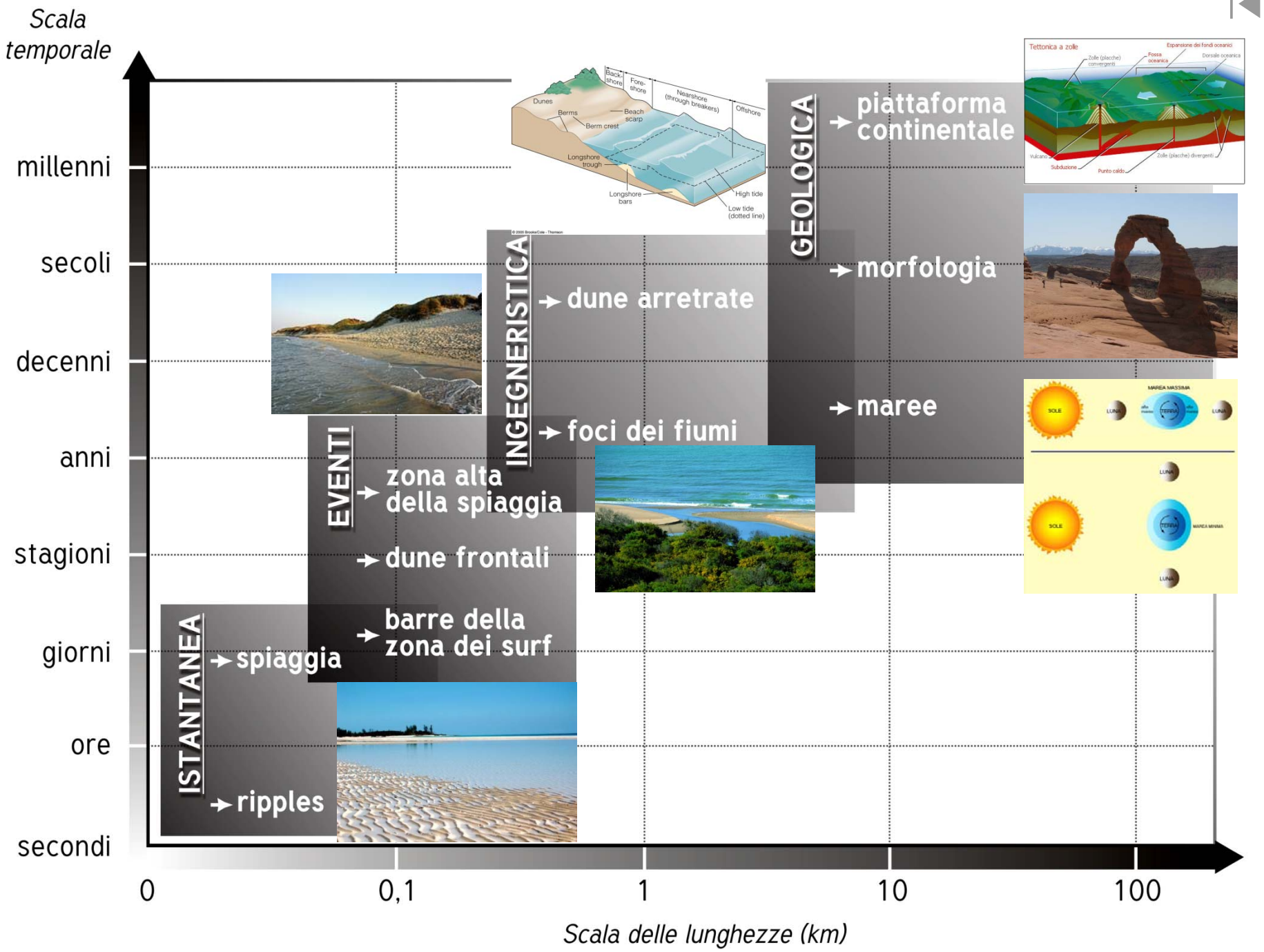
Physical and computational modelling should not be viewed as conflicting methods of investigation. On the contrary, they have complementary strengths and weaknesses. Often a hydraulic engineering problem will require a combination of both methods. In this case, the method is known as hybrid modelling.

Tipici problemi ambientali in cui la conoscenza del territorio, il monitoraggio e la modellistica fisica e numerica sono di grande ausilio:

- Progettazione, costruzione e manutenzione delle opere di ingegneria idraulica
- Diffusione di inquinanti in corpi idrici recettori
- Sversamento di petrolio in mare
- Erosione costiera e problemi di trasporto solido
- Molti altri ancora…

Tipico approccio scientifico al problema

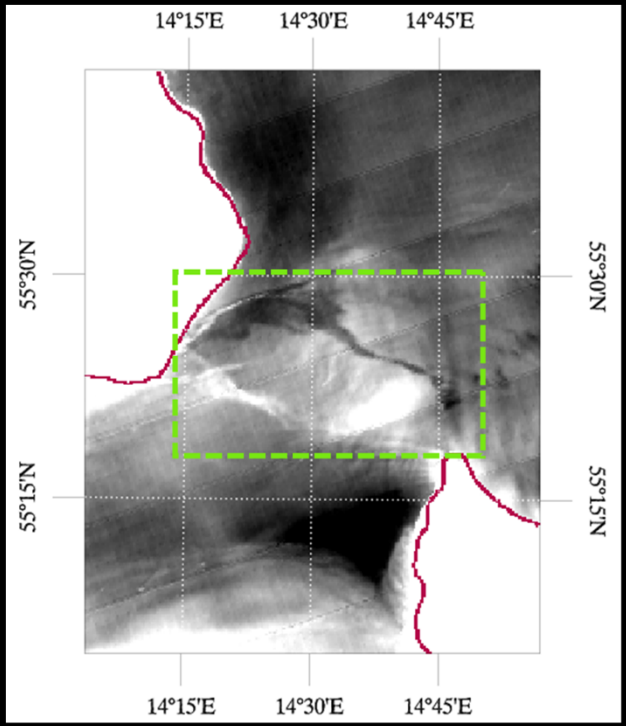
- Misurazioni di campo e monitoraggio
- Modelli fisici
- Modelli numerici
- Modelli ibridi

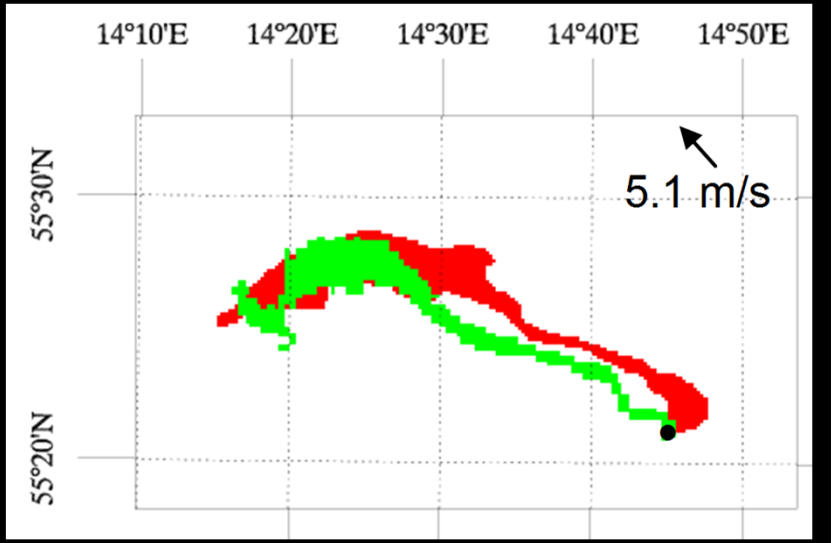

Scala temporale
millenni
secoli
decenni
anni
stagioni
giorni
ore
secondi
0
0,1
1
10
100
Scala delle lunghezze (km)
GEOLOGICA
piattaforma continentale
morfologia
maree
INGEGNERISTICA
dune arretrate
foci dei fiumi
EVENTI
zona alta della spiaggia
dune frontali
barre della zona dei surf
ISTANTANEA
spiaggia
ripples
Back-shore
Fore-shore
Nearshore (through breakers)
Offshore
Dunes
Berms
Beach scarp
Berm crest
Longshore trough
Longshore bars
High tide
Low tide (dotted line)
Tettonica a zolle
Zolle (placche) convergenti
Fossa oceanica
Espansione dei fondi oceanici
Dorsale oceanica
Vulcano
Subduzione
Punto caldo
Zolle (placche) divergenti
MAREA MASSIMA
SOLE
LUNA
TERRA
MAREA MINIMA

MONITORAGGIO SATELLITARE DELLO SVERSAMENTO DI PETROLIO

Su questo tema, si sta affermando un'attività di ricerca che vede il coinvolgimento della comunità scientifica degli Idraulici e quella dei Fisici esperti in rilievi satellitari. In particolare, il lavoro di De Carolis et al. (2012)* riporta un confronto tra immagini satellitari nell'infrarosso vicino (NIR) e quelle ottenute da simulazioni numeriche riferite all'affondamento della petroliera Fu Shan Hai avvenuto il 31 maggio 2003 al largo delle coste svedesi e danesi.

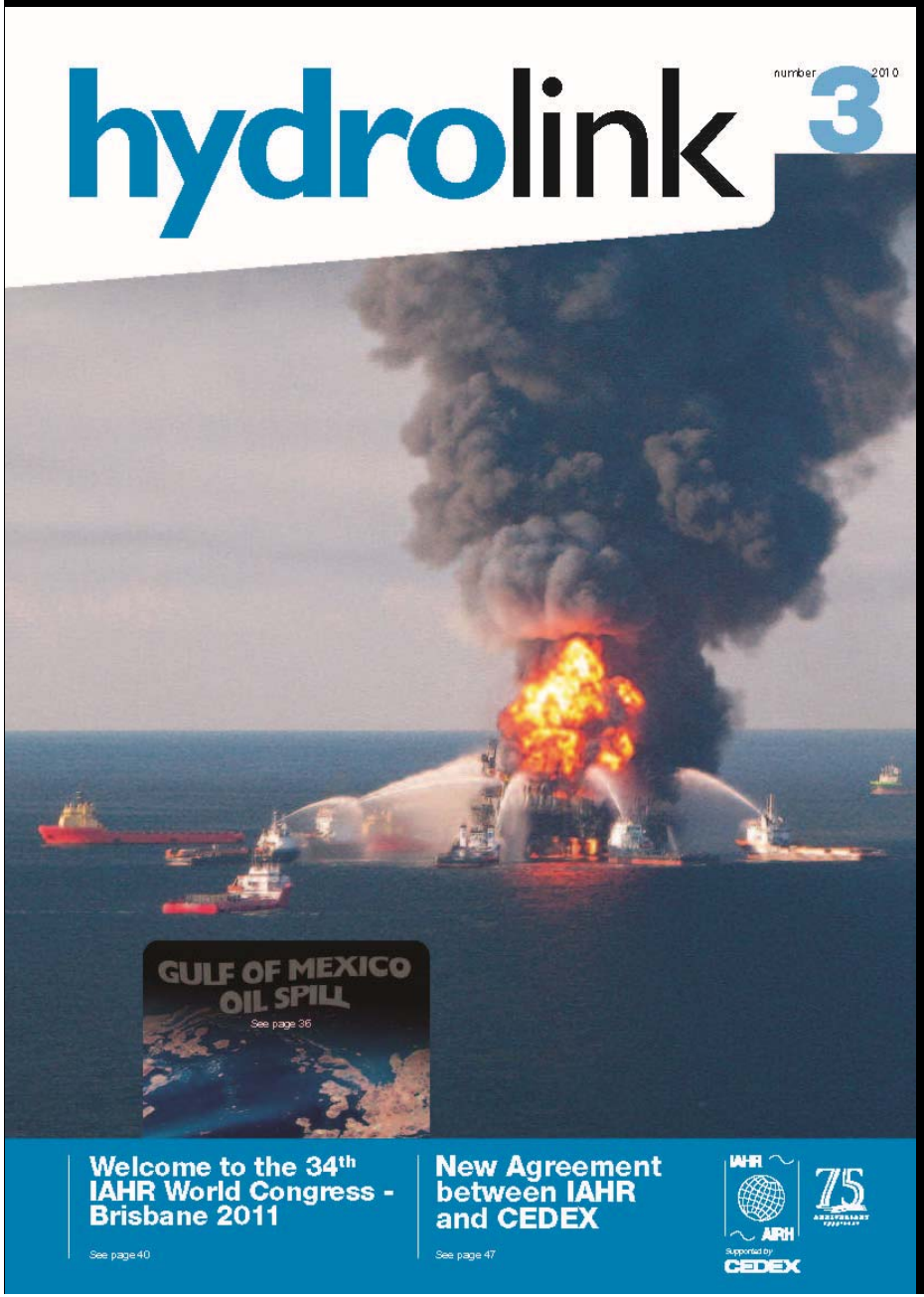
(*) De Carolis, G., Adamo, M., Pasquariello, G., De Padova, D. & Mossa, M. (2012), «Quantitative characterization of marine oil slick by satellite near-infrared imagery and oil drift modelling: the Fun Shai Hai case study», *International Journal of Remote Sensing*, 34:5, 1838-1854.





Confronto tra chiazza osservata (rosso) e chiazza ottenuta da simulazione numerica (verde) il 3 giugno 2003

Problema dello sversamento di petrolio in mare



Editorial by **Michele Mossa**

Scraping the bottom of the barrel: What are the risks?

Prof. Michele Mossa
Technical University of Bari, Italy
m.mossa@poliba.it

In my first editorial of two months ago, I highlighted the reasons why Hydrolink must increase the number of articles devoted to up-to-date news regarding different aspects of research and engineering in hydraulics, hydrology, fluid mechanics and water engineering, focusing on world news. Unfortunately the latest news which has recently appeared in newspapers and magazines and has been broadcasted on radio and television has been devoted to the disaster in the Gulf of Mexico. A oil well blow has created an environmental catastrophe. An oil slick has formed on the sea surface growning daily and drifting inexorably towards the coast of Louisiana, which had already been devastated by hurricane Katrina some years ago.
At the time of writing, the latest news was that after days of reporting failures, BP had made some progress in containing the ruptured oil well, being able to sever a damaged riser pipe. The success, however, was tempered by the grim reality that oil could continue gushing into the Gulf of Mexico at least until August, when BP hopes to have a relief well in place.
The leak will most likely cost BP billions. The USA National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) has banned fishing in much of the Gulf and the oil had made its way to within miles of Louisiana shrimpers' home on the Mississippi delta. Oil is toxic to fish, shrimp and oysters and shorebirds that come into contact with the crude oil can end up smothered.
The damage will be measured in environmental and economic costs and it could even be political. Not just because President Obama's administration will surely be judged on its response to this new Louisiana disaster, but mainly because the USA President announced support for expanded offshore drilling as part of his energy policy.

The disaster in the Gulf of Mexico could rival those major incidents in the past (such as that of the Exxon Valdez in 1989, with an oil spilling of 41.3 million L, and the Santa Barbara, California, with an oil spilling of 15.9 million L). Many other disasters of this type have happened and, unfortunately, continue to happen around the world.

But the accident could at last improve the impetus to craft an energy policy that must be smart, pragmatic and green. It imposes many questions since steadily increasing oil and gas exploration and production from deepwater locations (water depths in excess of 300 m) are present in several other regions around the world, for example the North Sea, off shore West Africa, and off shore Brazil, which therefore are threatened by a disaster similar to that in the Gulf of Mexico.

The scientific community believe that soon the peak of oil production will be reached. The best scientific estimates show that this peak will occur between 2010 and 2020. In any case, it is difficult to have accurate estimates on this point. In fact, even if oil reserves are twice or triple the value which they are estimated to be, this will not have any practical relevance since the worldwide economic crises (also due to worldwide imbalance, like global warming, the exhaustion of fossil energy resources, overexploitation of other resources) mainly depends on the grim awareness that this peak exists, not on when it will appear. In other words the strategies and ideologies of the recent past implied the hypothesis that fossil energy was endless and growth was unlimited. Now our scenario is like that of the period when humanity realized that our planet is not flat nor infinite. In any case, while hoping that new energy sources may one day completely replace fossil fuels, all oil companies are "scraping the bottom of the barrel" with deeper and more environmentally dangerous offshore drilling. In 2007 it was estimated that the production from installations deeper than 800 m was about 70% of the total production. The oil industry plans to extend the exploration and production to as deep as 3000 m allowing the potential for an oil/gas spill to increase. But, as the recent disaster in the Gulf of Mexico has shown, concerns from a deepwater oil/gas spill should be taken into account.
In other words we must consider the matter from every angle.

The pressing questions linked to the before mentioned problems surely involve our hydraulic scientific and engineering community. In fact, for example, an environmental concern is whether oil will surface and if so, where, when, and what the oil slick thickness will be. To meet these new challenges, spill response plans need to be upgraded. An important component of such a plan would be models able to simulate the behaviour of oil and gasses, if accidentally released, in deepwater. On this interesting topic this issue of Hydrolink presents an article by Prof. Poojitha D.Yapa, expert of oil spilling modelling, and advisor to NOAA on deep oil spill.

The pressing questions are of interest for all branches of environmental engineering. In fact, in order to contain the spill the oil can be corralled and ignited (but this is a smoky solution that is viable only in calm water and light wind), or floating barriers could be laid to surround and redirect surface oil, or chemicals could be applied on the surface and directly at the leak site to break up slicks (but the dispersants can be toxic for wildlife). We must remember that the topic of oil spilling is one of many in a wide branch of hydro-environmental engineering and in order to solve these problems there is still much work to do for hydraulic engineers and scientists. We asked prof. Heidi Nepf of MIT for her opinions and our article "10 questions to..." will reveal her thoughts on this intricate situation.

34 hydrolink number 3/2010

Problema dello sversamento di petrolio in mare

DAL MERCANTILE PANAMENSE «EAST CASTLE» ORMEGGIATO IN PORTO SONO FUORIUSCITE 30 TONNELLATE DI CARBURANTE

Chiazza di nafta in Mar Grande Paura a Taranto

«Per un errore». Cozze a rischio

GIGANTE CON ALTRI SERVIZI ALLE PAGINE 2 E 3 >>

Nicastro: il disastro è stato scongiurato

RIZZO A PAGINA 3 >>

LA GAZZETTA DEL MEZZOGIORNO
Sabato 14 aprile 2012

I lavori potrebbero essere completati quest'oggi. Le operazioni vanno avanti ininterrottamente da mercoledì sera quando è scattato l'allarme

«Ecco cosa accade dopo uno sversamento»

Mossa (Politecnico) parla dei rischi del petrolio in acqua Ma pesano anche errori umani e navi troppo vecchie

sporca di più il mare a differenza di un prodotto petrolifero raffinato che, essendo di consistenza più leggera, tende a disperdersi più facilmente. E comunque la tempestività delle operazioni ha scongiurato il peggio». A sua volta, il comandante in seconda della Capitaneria, Francesco Russo, ha parlato di «danni ingenti» che dovranno essere risarciti «e che riguardano non solo la bonifica ma anche il blocco della banchina destinata all'Ilva, dal momento che la navigazione nell'area interessata è interdetta». Il fermo della East Castle nel porto, in caso di definitivo accertamento dei danni provocati, proseguirà - dice Russo - «fino a che l'armatore non abbia provveduto a risarcire i danni».

● I precedenti - dagli incidenti presso le Scilly Island nel 1967 a quello davanti alla costa spagnola della Galizia nel 2002 - sono da brivido. E così pure il calcolo dei danni provocati ai diversi ambienti marini e costieri. Ma quando si parla di grossi sversamenti di petrolio in mare, la responsabilità è in genere in capo a mezzi e strumenti di trasporto del petrolio greggio dai luoghi di estrazione ai luoghi di raffinazione e consumo. In genere grandi navi petroliere (tankers) e, in misura minore, oleodotti superficiali (pipe-line) o sottomarini (sea-line).

Quello che è accaduto a Taranto assume, invece, connotati di altrea natura proprio per la tipologia di incidente verificatosi e che gli enti di controllo stanno appurando. Tuttavia, il rischio di inquinamento è sempre in agguato pur in riferimento a proporzioni assolutamente diverse.

Che cosa succede, tuttavia, quando il petrolio finisce in mare? A rispondere è il prof. Michele Mossa, docente di Idraulica del Politecnico

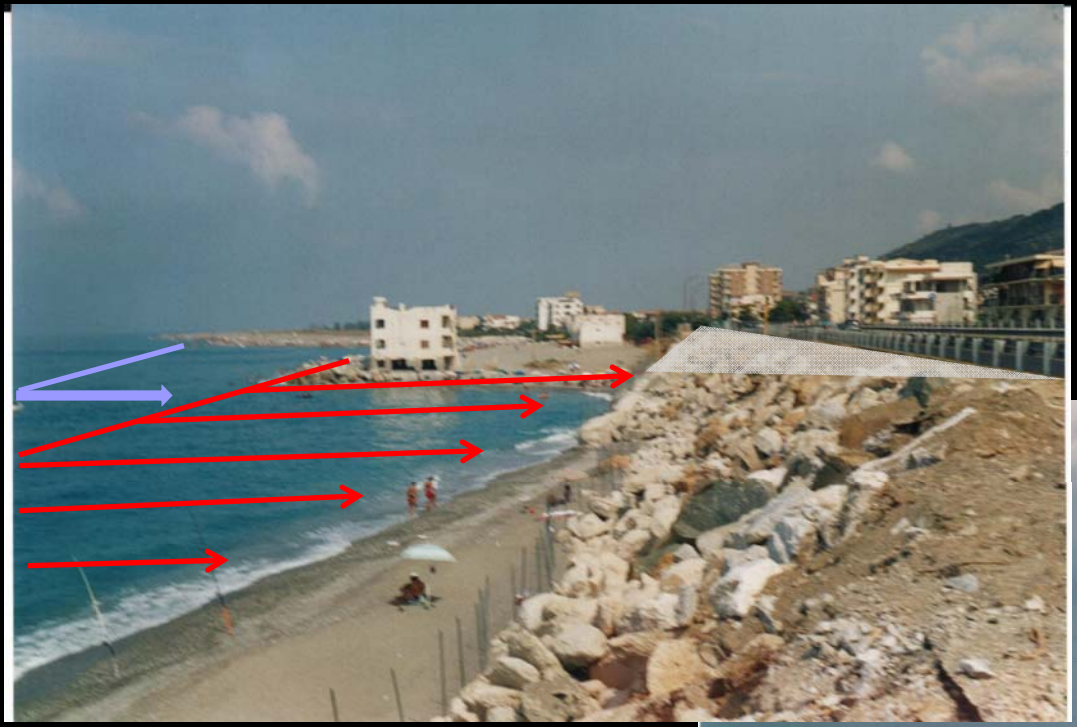
a scivolare lentamente verso il fondo. Cosicché le carni dei molluschi e dei pesci sopravvissuti alla fase iniziale ne restano impregnate e diventano immangiabili. Gli organismi vegetali e animali che vivono in prossimità dei fondali vengono gravemente danneggiati e uccisi dai residui di greggio che si depositano sul fondo».

Fra i tanti fattori di sversamento di petrolio in mare, quello di maggiore criticità è costituito dall'età delle petroliere, mediamente di 15 anni. Il 25% delle «carrette dei mari» ha però più di 20 anni (età massima consentita) e per esse non esiste più alcun margine di sicurezza. Attualmente sono ben 66 le navi appartenenti alla cosiddetta «lista nera» redatta dall'Unione Europea a Bruxelles. «Ma la causa più comune che contribuisce ad aumentare il rischio di sversamenti di petrolio in mare - precisa Mossa -, è "l'errore umano", spesso dovuto alla presenza di equipaggi male addestrati e con scarse competenze professionali, scarsa manutenzione della navi e

GRAVI CARENZE

«Ci troviamo con equipaggi poco addestrati e unità prive di manutenzione»

Erosione costiera (foto di M. Mossa)



Falerna (CZ), August 2000

Misurazioni di campo delle correnti su imbarcazione

DATI ACQUISITI

CORRENTOMETRIA, mediante campagne condotte dall'U.O. nell'area in esame nell'ambito di precedenti progetti e convenzioni

Strumentazioni utilizzate

Sonda CTD (Idronaut Srl)

Profilatore acustico Doppler (VM-ADCP) montato su una barca (Nortek AWAC e RDI)

NUOVE STRUMENTAZIONI E MISURAZIONI NELL'AMBITO DEL PROGETTO RITMARE

Stazione METEO-OCEANOGRAFICA (RD), fissa, comprensiva di: ondametro/correntometro, CTD, stazione meteo, torbidimetro, fluorimetro e sistema di trasmissione dati (Progetto RITMARE e fondi PON R&C 2007-2013)

- Installato su una meda gestita dall'Autorità Portuale di Taranto con cui è stata stipulata apposita convenzione (Meda n. 2; 40°27,6' N ; 17°12,9' E)
- Operativo dal 20 dicembre 2013

www.michelemossa.it/stazionemeteo.php

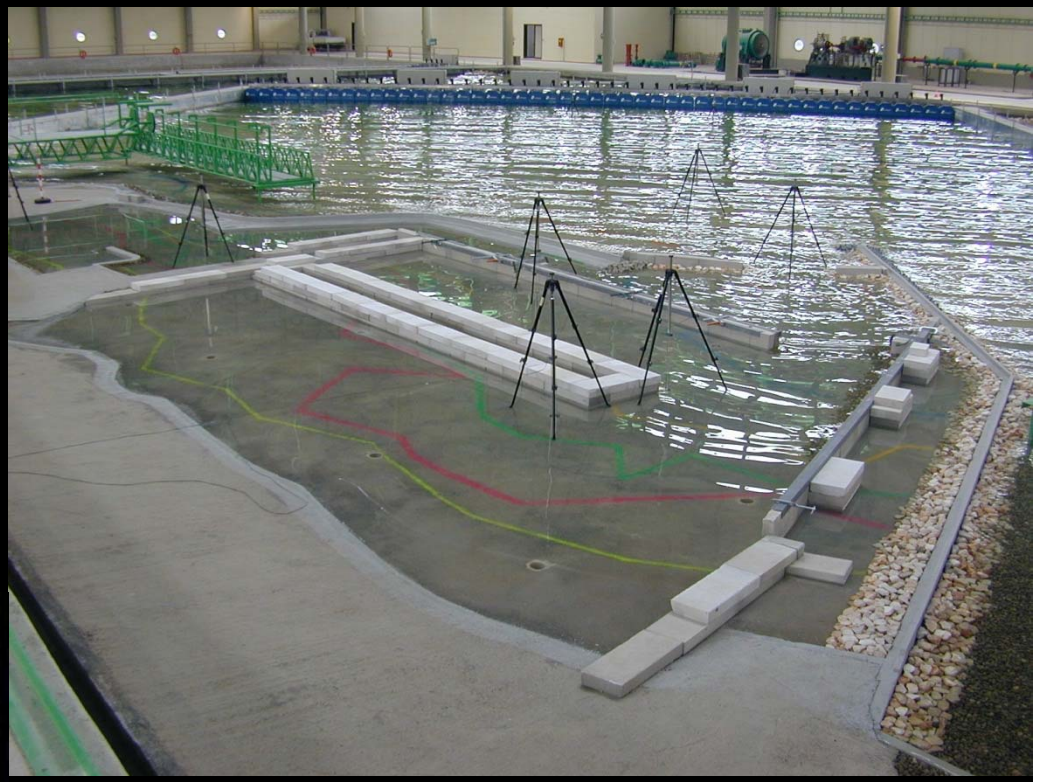
Diffusione di acque reflue in mare

Ugello del tratto terminale della diffusore di Bari orientale

Canale di sezione rettangolare molto larga per lo studio di getti di densità, presso il LIC di Bari, in cooperazione col prof. Peter Davies (University of Dundee, UK)

Vasca con generatore di onde 3D

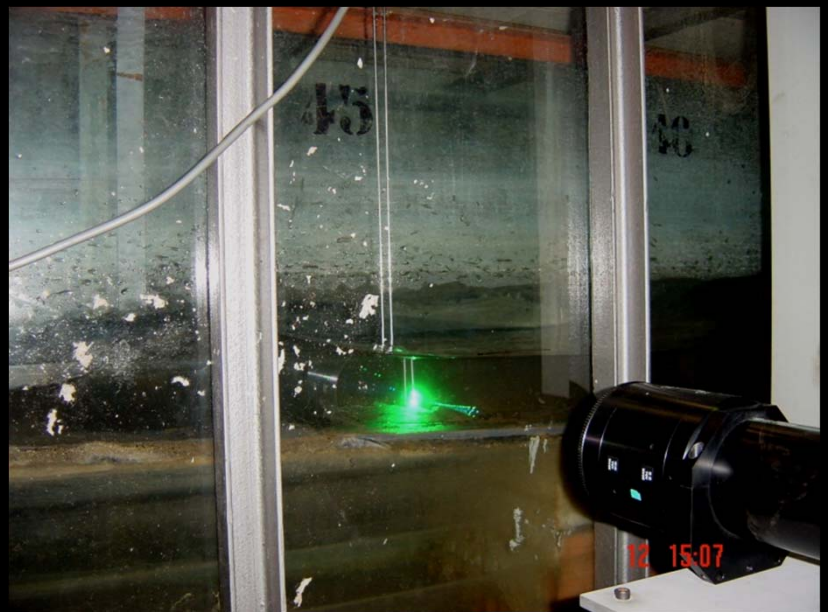
Modelli fisici (2D and 3D) al LIC del Politecnico di Bari (Valenzano, Bari)

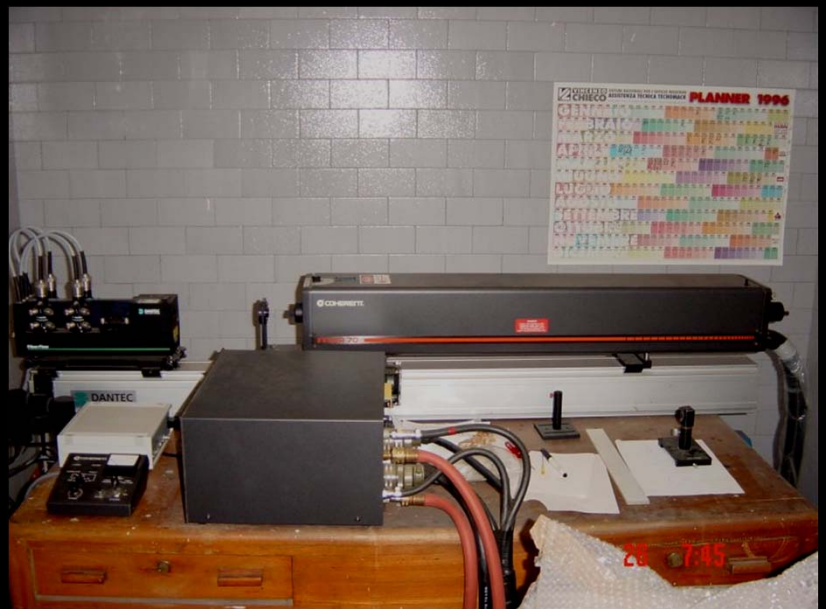


De Serio F., Mossa M., 2006, Experimental study on the hydrodynamics of regular breaking waves, *Coastal Engineering*, 53, pp. 99-113.

Una sonda resistiva, per l'acquisizione dei profili di elevazione

Un sistema anemometrico laser Doppler (LDA) per il contemporaneo rilievo delle componenti di velocità orizzontali *u* e verticali *w*.





CANALE ONDOGENO 2D del LIC

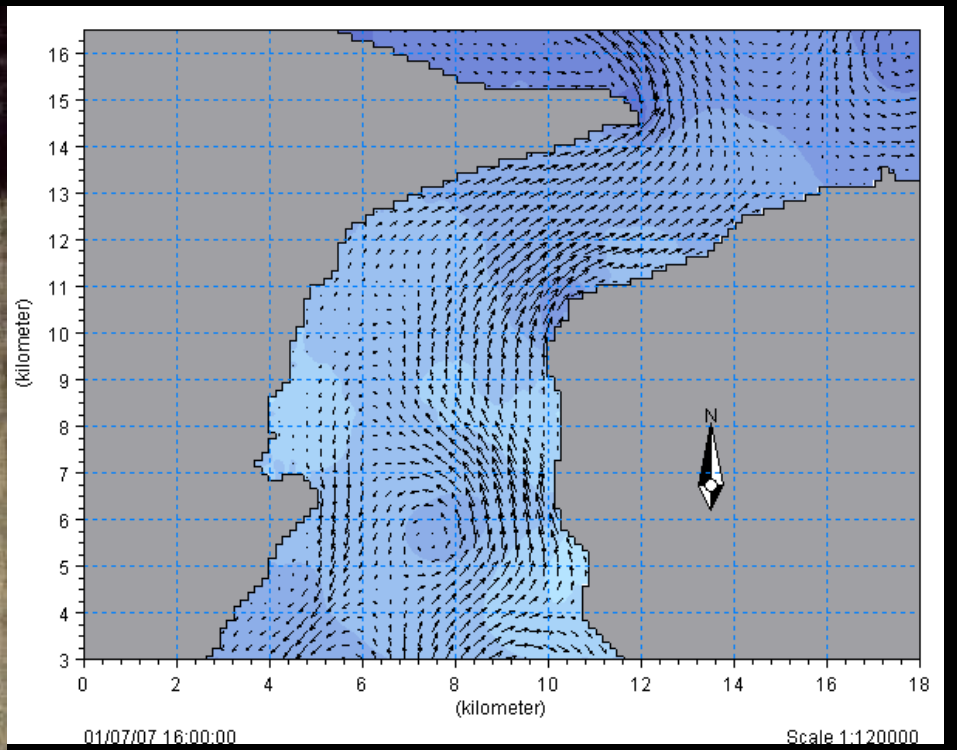
Le misure delle onde irregolari sono state eseguite in un canale di dimensioni: lunghezza di 30m, larghezza di 2.4m, altezza massima di acqua ferma di 0.93 m.

Il fondo del canale presenta un tratto orizzontale per una lunghezza di circa 15 m ed un successivo tratto di inclinato. Tutto il fondale inclinato è ricoperto di sabbia con una pendenza media di 1:14.

CENTRALINA DI ACQUISIZIONE DATI DI VELOCITA', ELVAZIONI DELLE ONDE

Due computer collegati ad una centralina che permette l'acquisizione simultanea delle tre componenti di velocità e dell'elevazione del moto ondoso.

Stretto di Messina



- Simulazioni numeriche con maree semidiurne e diurne, in cui la serie storica è ricostruita dalla misurazioni condotte in termini di ampiezze, periodi e fasi.
- I livelli medi del Mar Ionio e del Mar Tirreno sono responsabili di alcune componenti di correnti.

Johann Heinrich Füssli, *Odisseo tra Scilla e Cariddi*, 1794-1796

Buon lavoro

www.michelemossa.it
www.iahrmedialibrary.net

Corso di formazione

“Materiali per la costruzione di condotte di scarico sottomarine”

Venerdì, 8 Aprile 2016

La diffusione e dispersione degli effluenti di una condotta sottomarina. Inquadramento teorico

Daniela Malcangio

DICATECh, Politecnico di Bari – Bari
e-mail: daniela.malcangio@poliba.it

SOMMARIO

La **tutela dell'ecosistema marino** è uno dei problemi ambientali del nostro tempo.

È infatti ormai consuetudine sottoporre il corpo idrico ad una costante immissione di **scarichi**, molti dei quali di natura inquinante.

Nella presente esposizione si riporta uno stato dell'arte sullo smaltimento delle acque reflue in mare con condotte sottomarine e alcune buone norme di progettazione e gestione dell'impianto atte a minimizzare l'impatto dello scarico sull'ambiente ricettore.

Inoltre si commenteranno in modo sommario gli argomenti trattati in diversi lavori scientifici, soffermandosi su alcuni aspetti specifici, anche alla luce di recenti ricerche sperimentali.

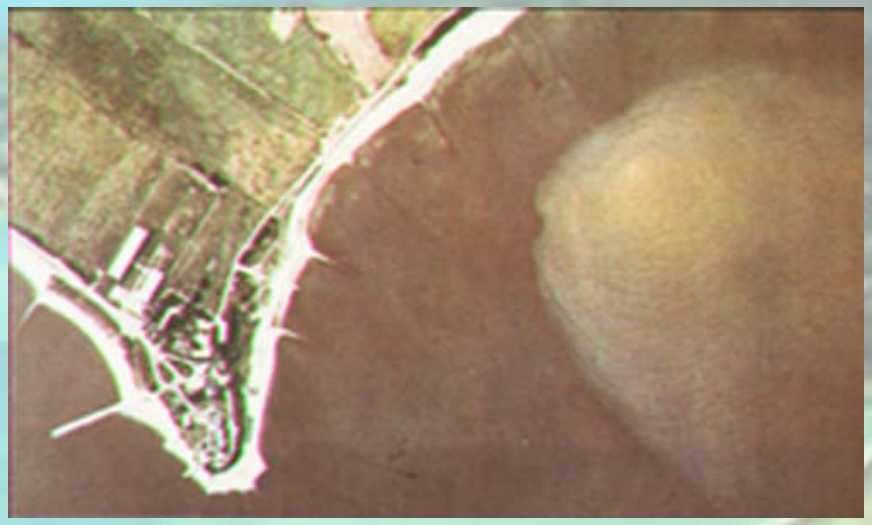
INTRODUZIONE

Con la crescita dell'urbanizzazione, dell'industrializzazione e dell'agricoltura intensiva, **tutti i corpi idrici superficiali e sotterranei, interni e marini, sono diventati il recapito di grandi quantità di sostanze di ogni tipo, estranee all'ambiente naturale acquatico.**

Da alcuni decenni sempre più spesso, anche per effetto della normativa nazionale vigente sugli scarichi superficiali o profondi, si scaricano a mare acque reflue depurate.

La capacità autodepurativa del mare va però costantemente controllata e non sopravvalutata, al fine di tutelare l'ambiente marino.

A surface brine discharge on the freshwater Onondaga lake in upstate New York



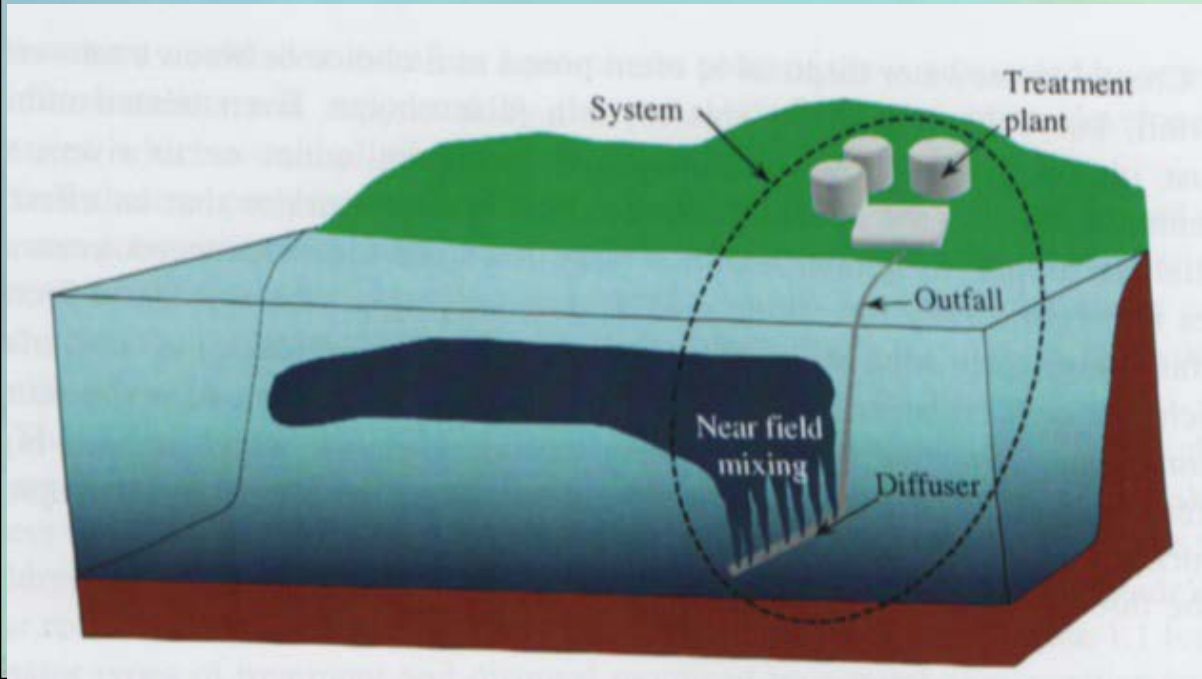
A slaughterhouse wastewater discharge (freshwater density) creates a surface density current with upstream intrusion and stagnation point.

(Photo: I. Wood, Univ. of Canterbury)

A coastal wastewater discharge.

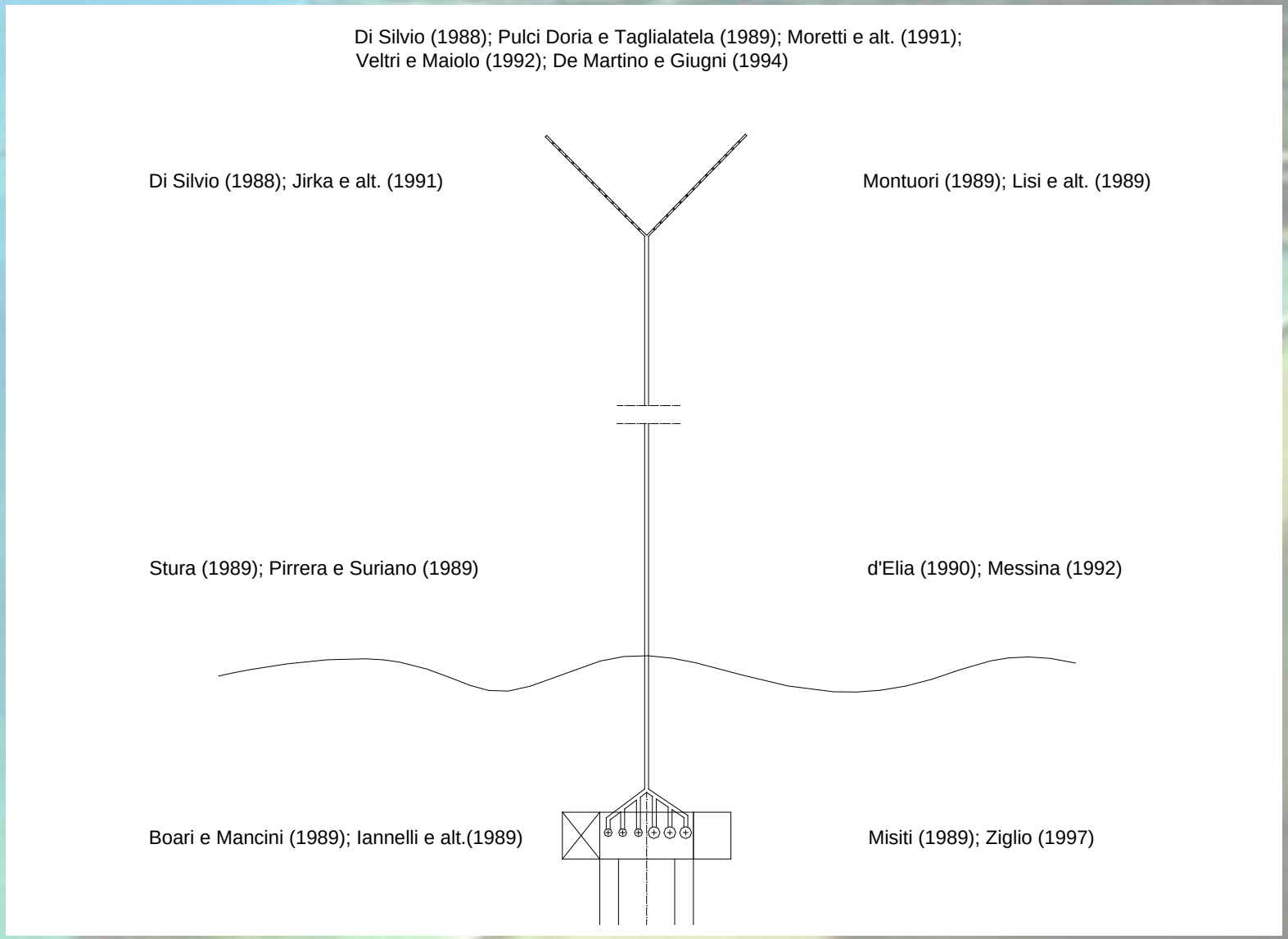
Di qui nasce l'intento di sintetizzare il complesso fenomeno della diffusione degli scarichi in mare, retto dalle condizioni idrodinamiche di fluidi miscibili di diversa densità, **e dipendente in buona parte da condizioni ambientali tipiche e spesso poco indagate.**

Percorrendo il moto del fluido, condotta–distributore–mare, e focalizzando l'attenzione sullo scarico di acque reflue urbane pretrattate, il suddetto fenomeno può essere scomposto nei processi di seguito riportati e schematizzati nella figura in basso



1. **Impianto di trattamento**
2. Convogliamento del refluo nella **condotta sottomarina**
3. Rilascio in mare del refluo per efflusso dal **diffusore**, che costituisce la parte terminale della condotta, previa eventuale premiscelazione
4. **Diluizione iniziale**, durante la risalita del getto fino alla superficie del mare
5. **Diluizione susseguente** e **Decadimento batterico**

D. Malcangio & A.F. Petrillo (2007) “Smaltimento dei reflui a mare con condotte sottomarine”, Tecniche per la Difesa dall’Inquinamento, 27° Corso di Aggiornamento, Editore G. Frega, Nuova Editoriale Bios



(Benfratello G., 1989, “Scarichi sottomarini; aspetti idraulici: fenomeni di diffusione.” Associazione Idrotecnica Italiana – Sezione Campana, Convegno sul tema “Immissione di acque reflue in mare”, Ischia, 10-11-12 maggio 1989).

NELLA PROGETTAZIONE E GESTIONE DEGLI SCARICHI SOTTOMARINI OCCORRE AVERE UN INSIEME DI CONOSCENZE

- **Occorre avere il quadro legislativo e normativo di riferimento**

Direttive comunitarie	Leggi nazionali	Titolo
	L. 319 del 10/5/76	Norma per la tutela delle acque dall'inquinamento
91/271/CEE 91/676/CEE	D.Lgs.152 del 11/5/99	Disposizioni sulla tutela dall'inquinamento
76/160/CEE	D.P.R. 470 del 8/6/82	Attuazione della direttiva CEE n. 76/160 relativa alla qualità delle acque di balneazione
2006/60/CE	D.Lgs.152 del 3/4/06	Norme in materia ambientale

❖ Occorre conoscere le caratteristiche dell'ecosistema mare

Per comprendere il peso delle possibili alterazioni sull'ecosistema mare a causa dei carichi inquinanti in esso immessi occorre innanzitutto fare un attento studio sotto l'**aspetto ecologico.**

I **danni ambientali** che possono derivare da inquinamento del corpo idrico ricettore sono alle volte irreparabili, in funzione anche della durata delle ripercussioni.

- ✓ **Danni alle risorse naturali marine,** in particolare si ricordi la morte di organismi per effetto di eutrofizzazione delle acque a causa dell'eccesso di nutrienti apportati a mare dagli scarichi fluviali e/o urbani
- ✓ **Pericoli per la salute pubblica**, conseguenti alla balneazione in acque inquinate, alla ingestione di frutti di mare crudi contaminati, e, anche se in minor modo, alla inalazione di aerosoli marini in presenza di alte concentrazioni microbiche
- ✓ **Compromissione delle attività marittime**, in primis della pesca e mitilicultura
- ✓ **Condizionamento dei diversi usi dell'acqua di mare,** ad esempio come refrigerante o per scopo potabile previa dissalazione

❖ Occorre uno studio accurato della batimetria, della morfologia, del clima meteomarino e delle correnti e delle caratteristiche chimico – fisiche dell'acqua

- **rilievi batimetrici di dettaglio,** non solo nella zona di posa ma anche in quelle adiacenti, e reperimento della batimetria su larga scala da dati disponibili in letteratura (IIM o altri) – dati indispensabili sia per la progettazione della condotta che per la definizione del moto ondoso sotto costa;

- **caratterizzazione morfologica dei fondali** – dati indispensabili per la progettazione del tipo di posa della condotta;

- **determinazione dello stato ondoso a largo** e, quindi, mediante i dati batimetrici **di quello sotto costa** – dati indispensabili sia per il posizionamento della condotta che per determinare le sollecitazioni che il moto ondoso può esercitare su di essa;

- **determinazione delle caratteristiche chimico - fisiche** dell'acqua di mare nelle varie stagioni - dati indispensabili per il progetto della condotta e del diffusore.

- **determinazione delle correnti** generate da altre forzanti – dati indispensabili per il posizionamento e il proporzionamento della condotta e del diffusore;

Le **correnti** sono molto importanti per la vita dell'ecosistema marino in quanto concorrono al rimescolamento delle acque.

Esistono differenti tipologie di correnti, a seconda delle condizioni meteomarine che le originano:

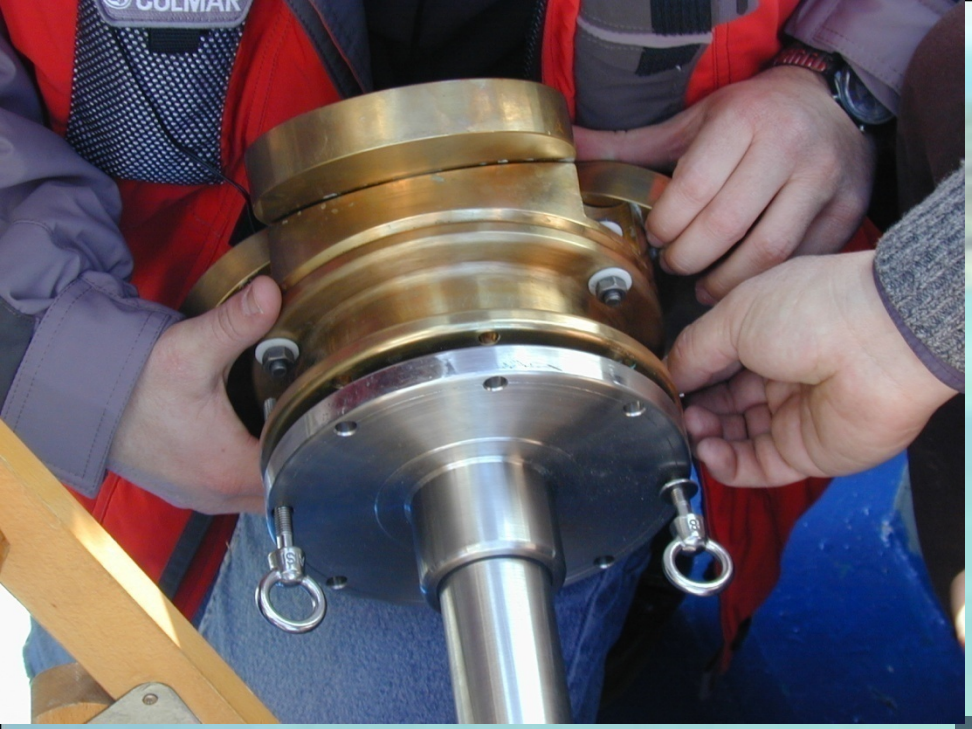
- **correnti determinate dall'azione tangenziale del vento** sulla superficie del mare;
- **correnti ai bassi fondali determinate dal moto ondoso**;
- **correnti di gradiente originate dalle differenze di pressione atmosferica**;
- **correnti di marea**, generate dagli spostamenti verticali della superficie marina, per effetto di forze astronomiche;
- **correnti di densità** sono dovute alle variazioni di temperatura e/o salinità dell'acqua.

Lo studio delle **correnti del paraggio** è importante sia per stabilire la posizione del diffusore, da scegliere in modo che il refluo sia prevalentemente allontanato dalla costa, sia per la progettazione idraulica, in quanto le correnti intervengono molto nelle fasi della diffusione.

Oggi, oltre ai tradizionali misuratori (mulinelli, catene correntometriche, traccianti ecc.), vi sono delle strumentazioni a ultrasuoni che si possono posizionare in punti del fondale o altre che consentono di effettuare rilievi in tempo reale in più sezioni.

Queste misure sono indispensabili anche per calibrare i modelli matematici di correntometria, a cui sempre più spesso si fa ricorso.

MISURATORI DOPPLER ACUSTICI



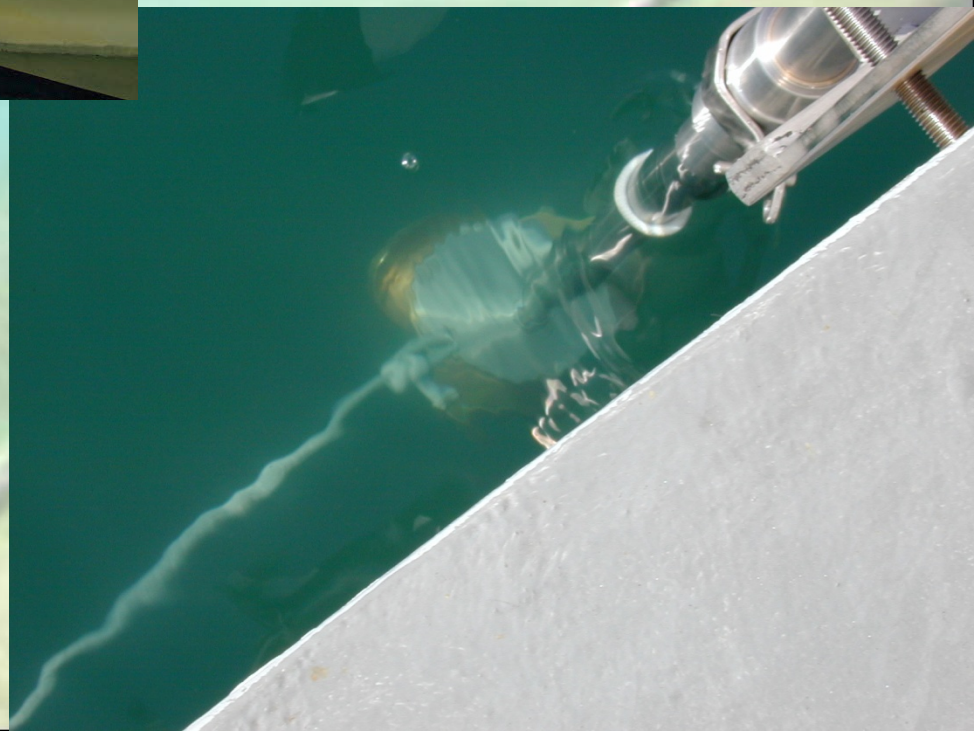
NORTEK Vessel Mounted ADPs

Sensore

Asta collega al sensore per il fissaggio alla barca

Sensore fissato alla
imbarcazione

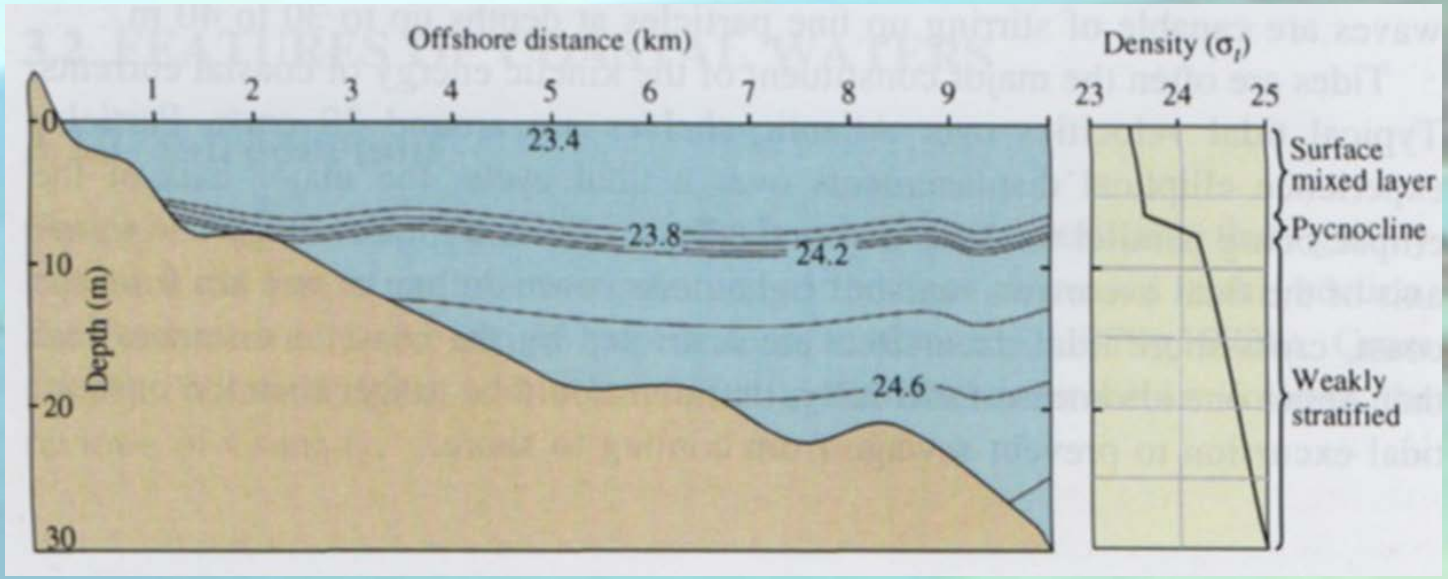
Dettaglio del sensore
immerso in acqua

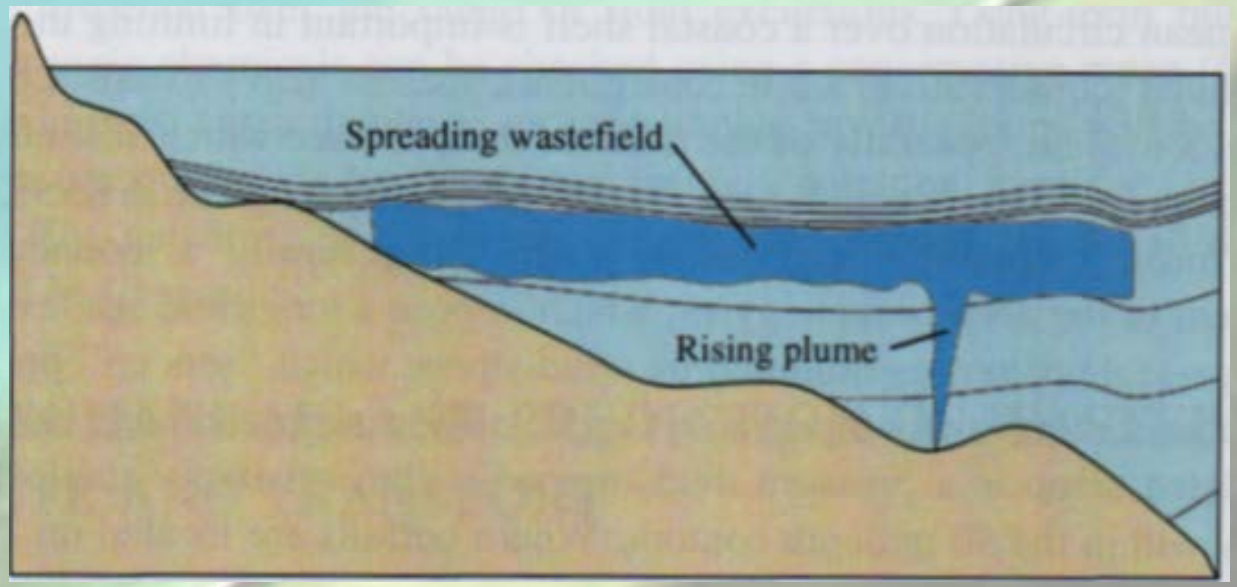


Anemometro per il rilievo della velocità del vento e GPS per determinare la posizione di misura

Computer per l’acquisizione dei dati

Stazioni metereologiche a terra (sulla sinistra) o al largo (sulla destra)





Effetto della stratificazione densimetrica

LA DILUIZIONE

Il tema della **diluizione**, ***S***, che può essere definita come la “riduzione della concentrazione rispetto a quella iniziale di un determinato refluo immesso in un corpo idrico recettore”, è un argomento quanto mai complesso e ha ormai alle spalle un consolidato passato in termini di ricerca e analisi teorica e sperimentale ai fini della buona pratica di progettazione.

$$S = \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho - \rho_a}$$

In letteratura è riportata tutta una serie di formule con cui determinare *S*, che dipende essenzialmente dalle varie **fasi** in cui si suole suddividere il processo di diluizione

1) diluizione di prima fase o iniziale, in prossimità dello sbocco nell'ambiente marino

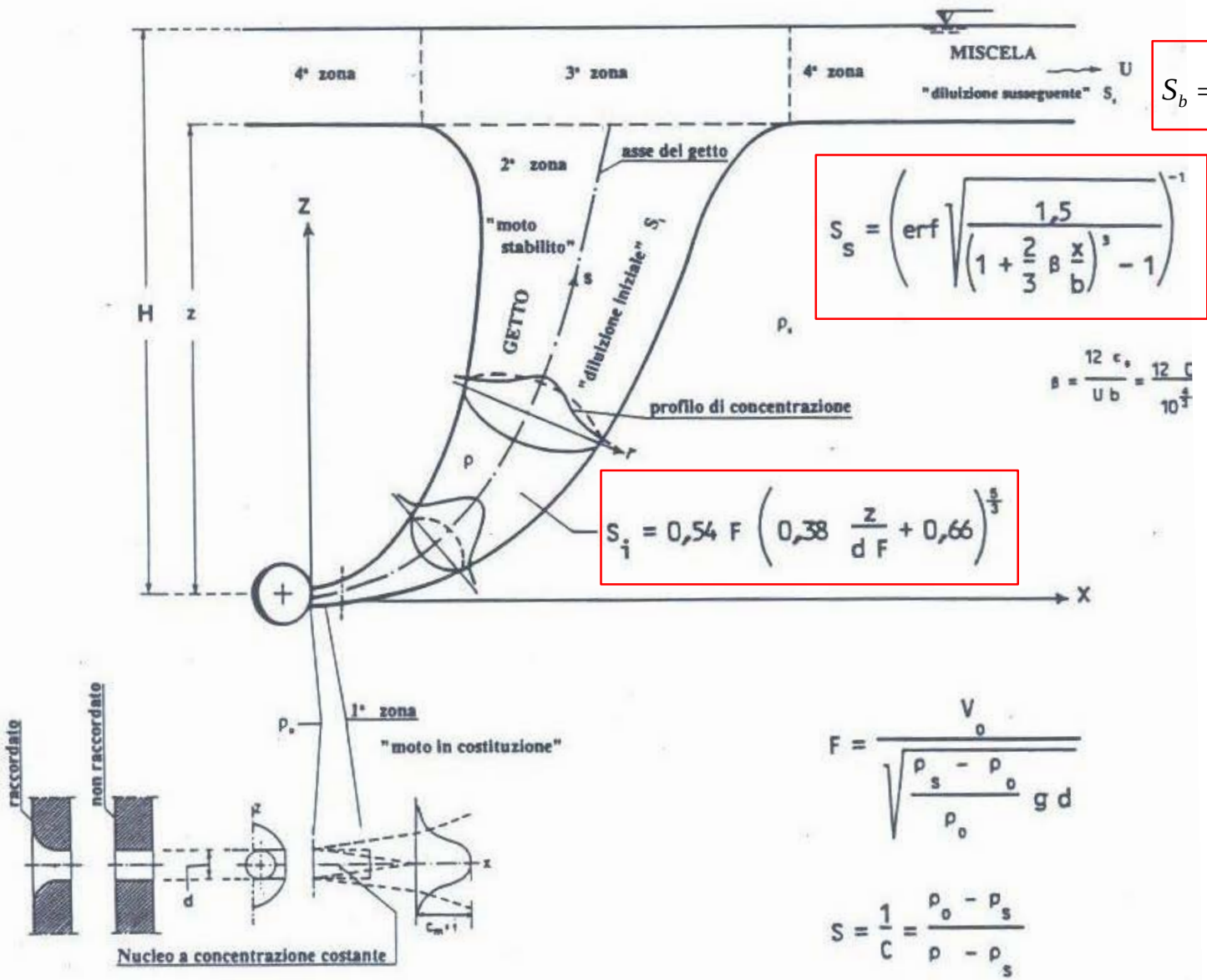
2) diluizione di seconda fase o susseguente, in prossimità della superficie libera

3) decadimento batterico, lungo la superficie libera

Le tre fasi avvengono a loro volta in due distinte zone:

- la prima si presenta nel cosiddetto **campo vicino**, presenta uno sviluppo prevalentemente verticale, in cui trasporto e mescolamento dipendono dalle grandezze intensive in corrispondenza della bocca di uscita (densità, velocità del fluido, geometria ugello, ecc.)

- le altre due fasi hanno luogo nel **campo lontano**, in direzione pressoché orizzontale, lungo cui trasporto e mescolamento dipendono dal campo di moto circostante (correnti) e dalle grandezze integrali dello scarico (portata, diluizione media).



$$S_b = 10^{\frac{x}{UT_{90}}}$$

$$S_s = \left(\mathrm{erf} \sqrt{\frac{1{,}5}{\left(1 + \frac{2}{3}\beta \frac{x}{b}\right)^3 - 1}} \right)^{-1}$$

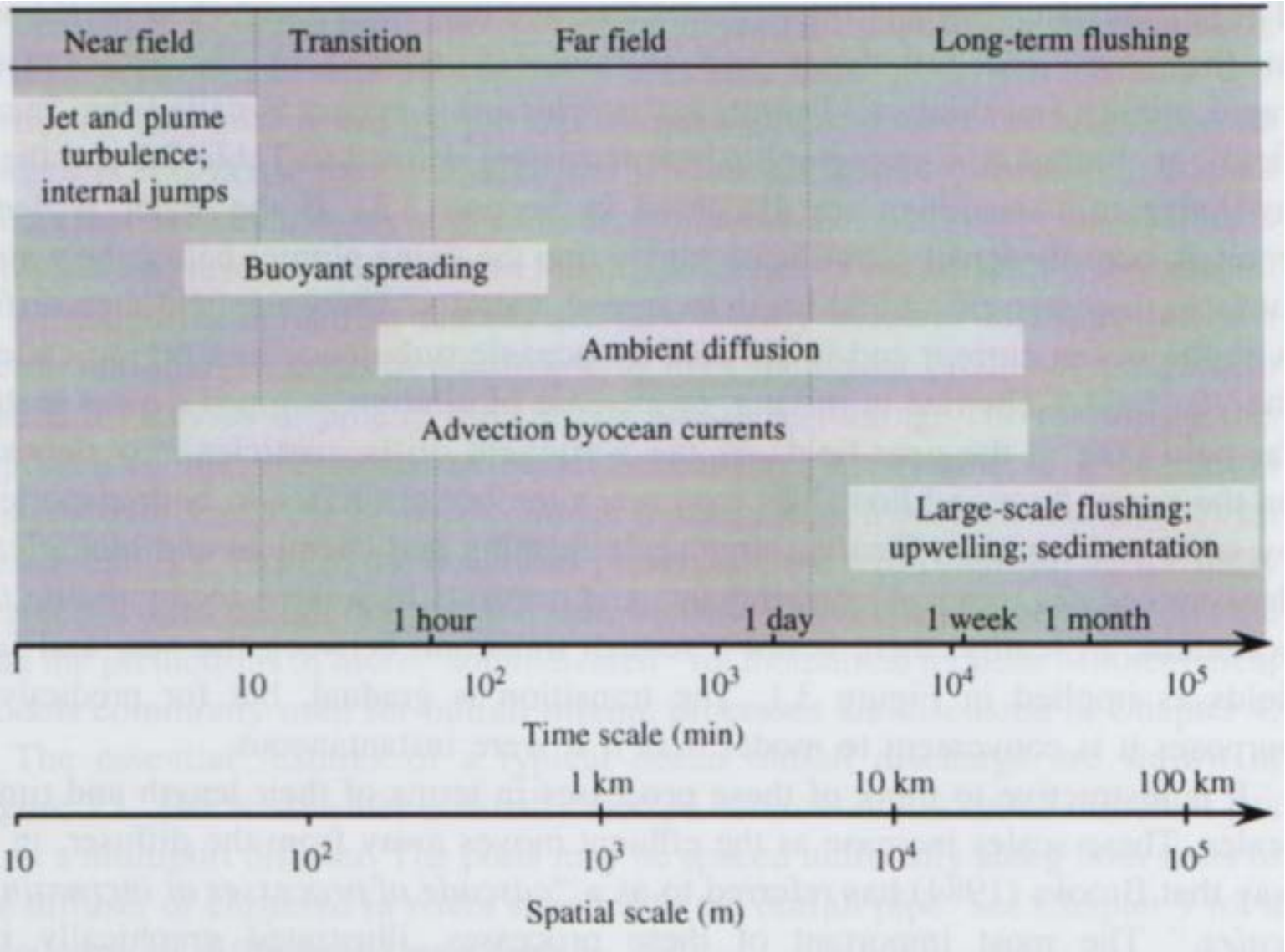
$$\beta = \frac{12\,\varepsilon_s}{U\,b} = \frac{12\,C}{10^{\frac{4}{3}}}$$

$$S_i = 0{,}54\,F \left(0{,}38\,\frac{z}{d\,F} + 0{,}66\right)^{\frac{5}{3}}$$

$$F = \frac{V_o}{\sqrt{\frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_o}\,g\,d}}$$

$$S = \frac{1}{C} = \frac{\rho_o - \rho_s}{\rho - \rho_s}$$

Diluizione totale: $S = S\,(S_i\,S_s\,S_b)$



Scale approssimate dei tempi e delle distanze dei principali processi che interessano gli scarichi da condotte sottomarine

Si suole indicare la corrente di risalita/discesa del refluo sversato in mare, a densità minore/maggiore di quest'ultimo, con il termine **GETTO DI DENSITÀ**, perché a tale struttura fluidodinamica appartengono tutte le caratteristiche della stessa corrente.

- **GETTI DI QUANTITA' DI MOTO (GETTI PURI)**
- Stessa densità tra fluido ambiente circostante e fluido del getto ($\rho_0 = \rho_a$)
- Conservazione del flusso di quantità di moto nella direzione assiale ($M = Q\,U = cost$)

- **PIUME**
- Differente densità tra fluido ambiente circostante e fluido del getto ($\rho_0 \neq \rho_a$)
- Assenza di flusso di quantità di moto o di volume iniziale ($M = Q\,U = 0$)

- **GETTI DI DENSITA'**
- Differente densità tra fluido ambiente circostante e fluido del getto ($\rho_0 \neq \rho_a$)
- Conservazione del flusso di quantità di moto nella direzione assiale ($M = Q\,U = cost$)

CLASSIFICAZIONE DEI GETTI

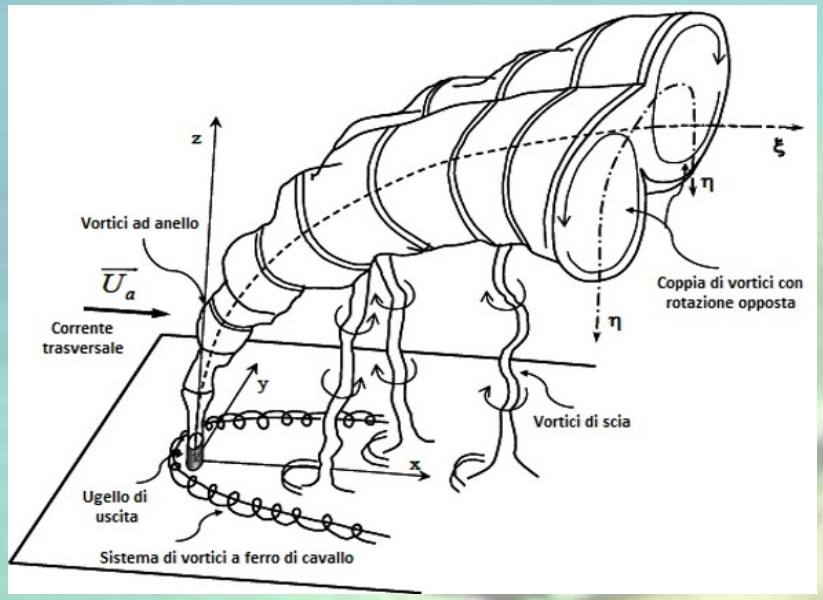
- MOMENTUM JETS (PURE JETS)

- PLUMES

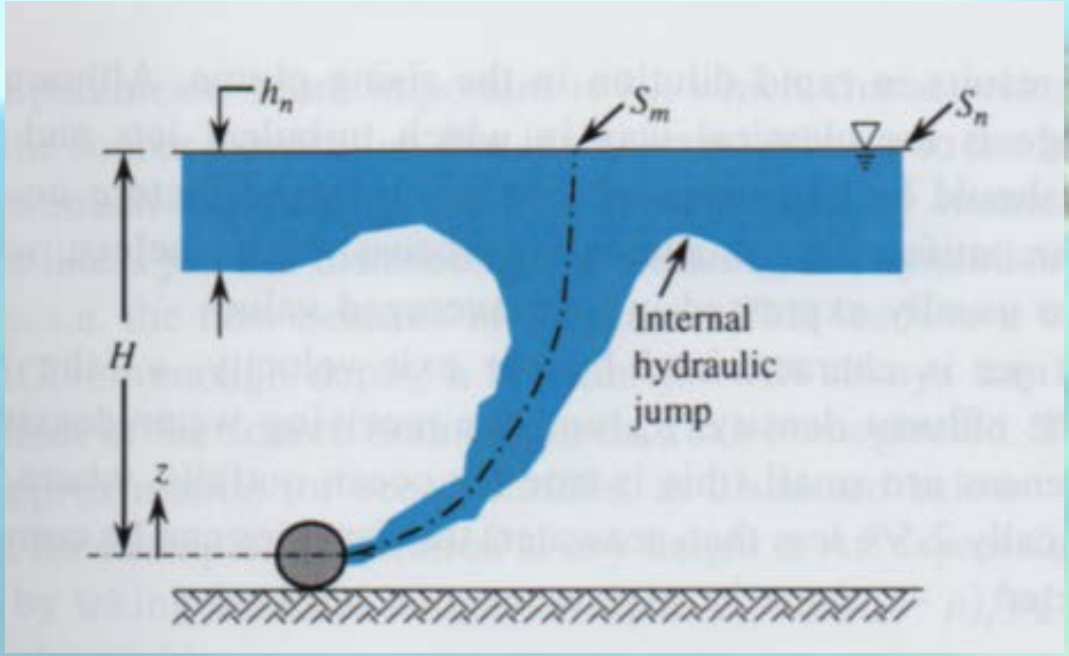
- **BUOYANT JETS**

Nel suo movimento permanente ritardato, il getto esercita un'azione di cattura nei confronti dell'acqua di mare circostante, dando luogo al fenomeno detto di intrusione (entrainment), che Pedersen (1986) definisce come "*la diffusione di un fluido caratterizzato da un campo di moto turbolento all'interno di un fluido ambiente in moto non turbolento*".

Pertanto, in condizioni di equilibrio dinamico, alle forze di inerzia e di galleggiamento si oppongono le forze resistenti che agiscono sulla superficie di separazione tra il getto e il corpo idrico ricettore e danno origine ad elevati gradienti di velocità nelle direzioni trasversali a quella principale del moto.



GETTI DI DENSITA' POSITIVI (REFLUO URBANO)

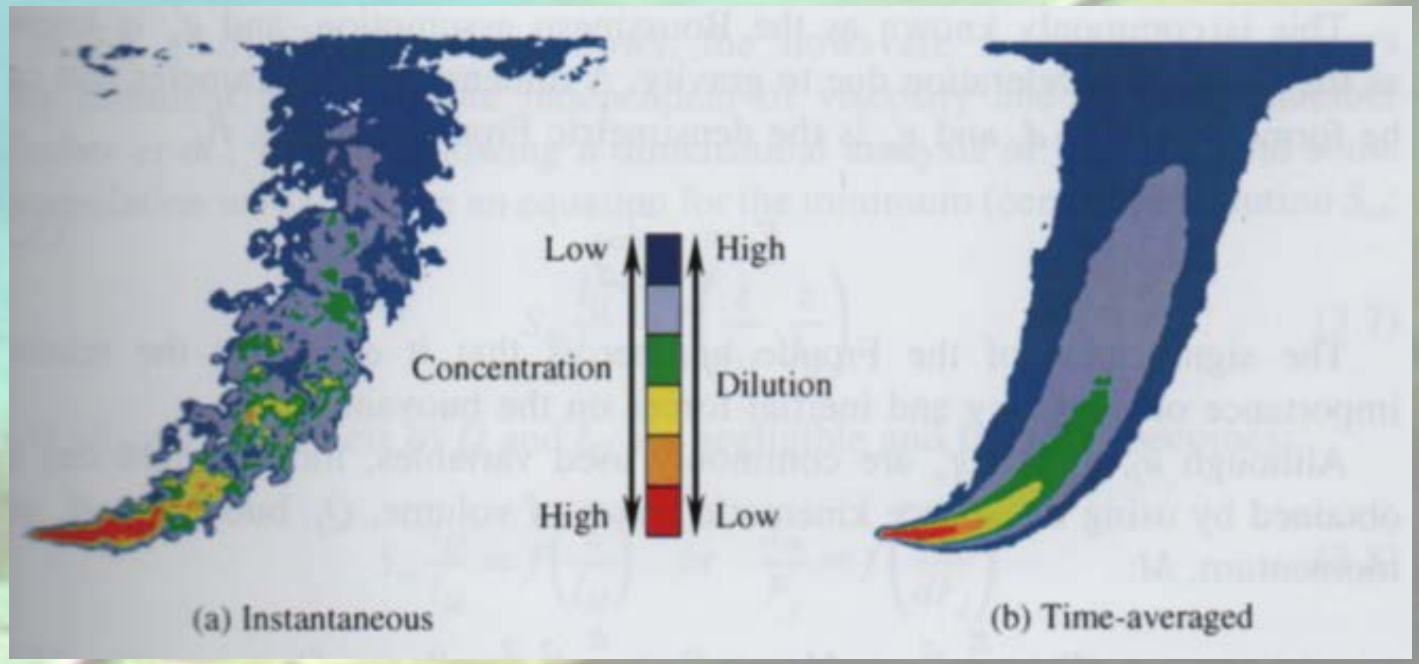


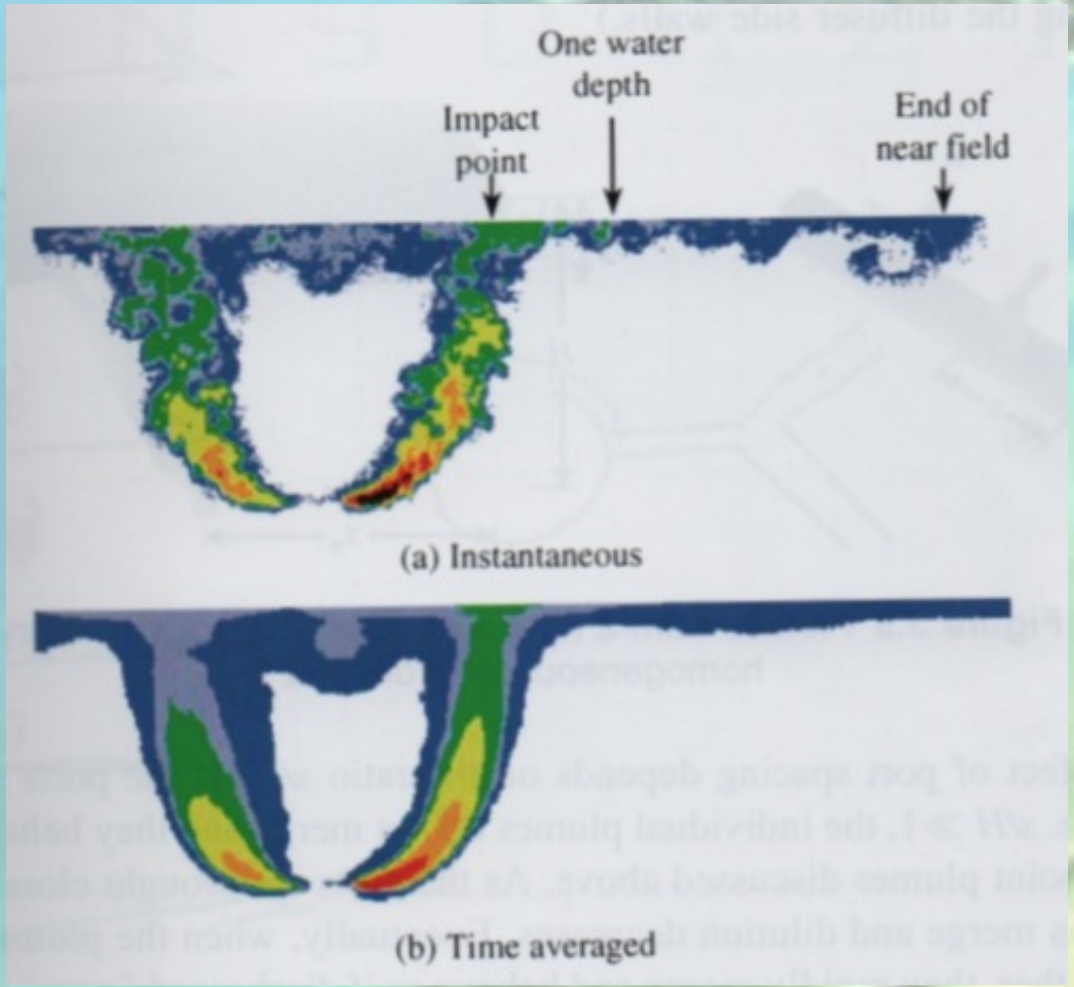
- **Getto di densità**
- **singolo**
- circolare
- **positivo**
- orizzontale
- **in ambiente stagnante**
- **non stratificato**

Cederwall (1968)

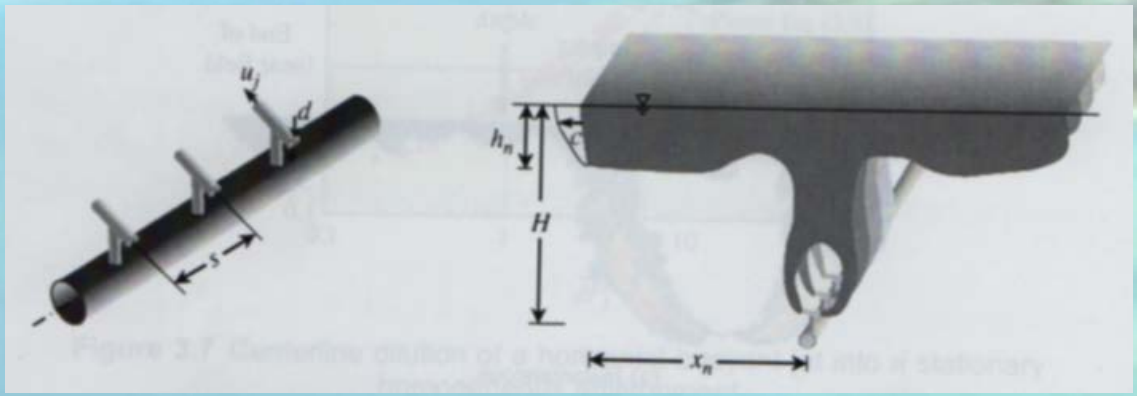
$$Sm = 0.54\left(0.66 + 0.38\frac{z}{dF_j}\right)^{5/3}$$

$$F_j = \frac{u_j}{\sqrt{g\frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a}d}}$$





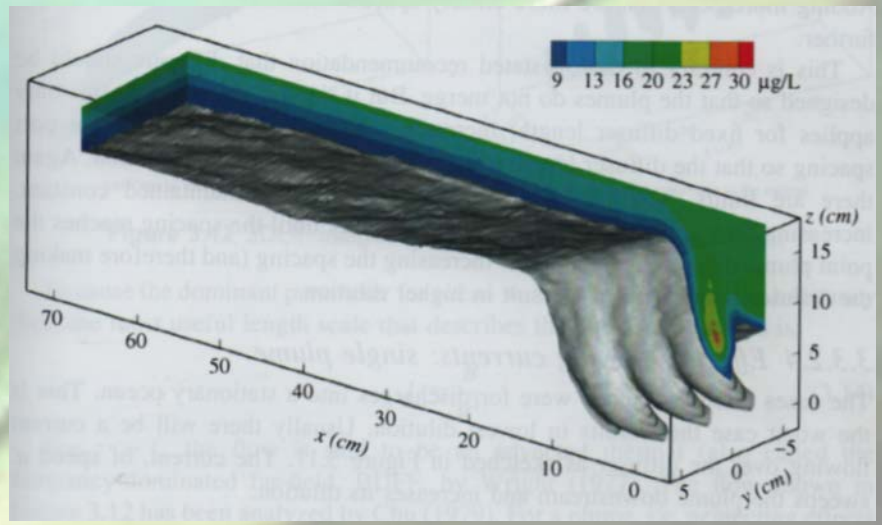
- **Getto di densità**
- **doppio ed opposto**
- circolare
- positivo
- orizzontale
- in ambiente stagnante
- non stratificato



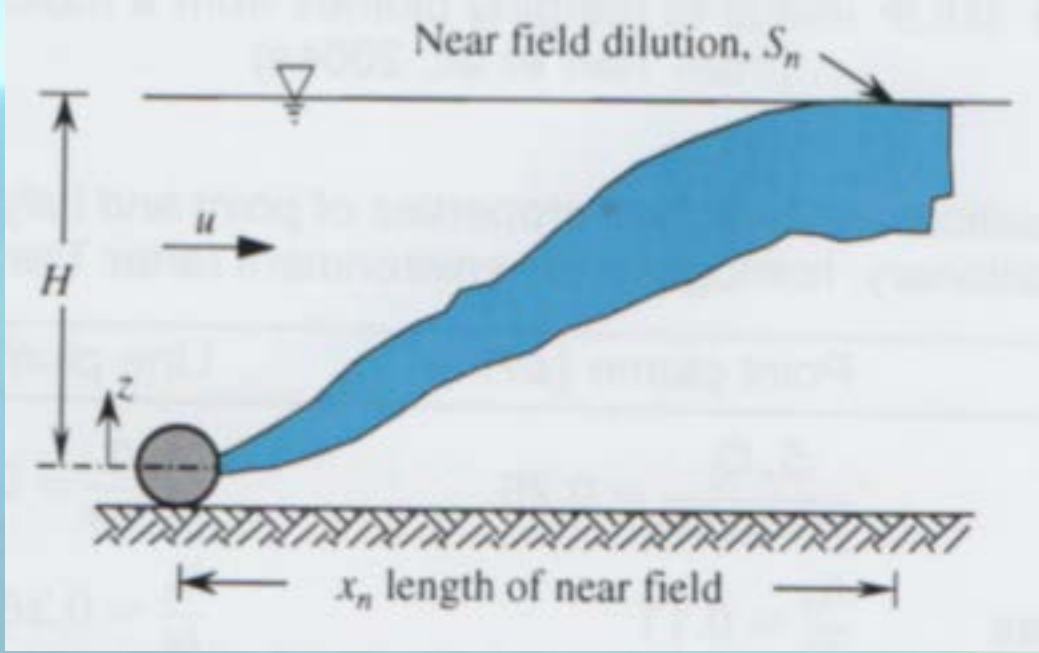
- **Getto di densità**
- **multiplo ed opposto**
- circolare
- positivo
- orizzontale
- in ambiente stagnante
- non stratificato

Variable	Point source	Line source
Volume flux	$Q_j = \frac{\pi}{4} d^2 u_j$	$q = \frac{Q_T}{L}$
Momentum flux	$M = u_j Q_j$	$m = u_j q$
Buoyancy flux	$B = g'_o Q_j$	$b = g'_o q$

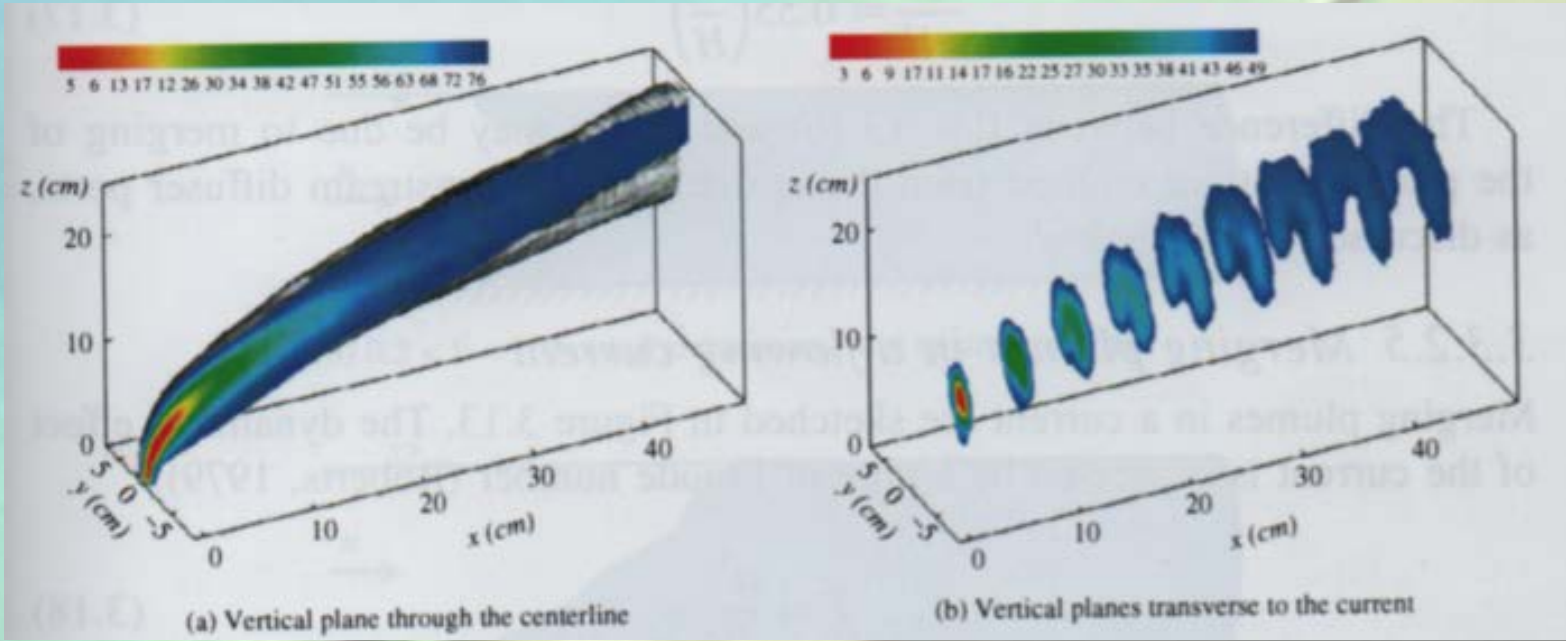
	Point plume ($s/H > 1$)	Line plume ($s/H < 0.3$)
Dilution	$\frac{S_n Q_j}{B^{1/3} H^{1/3}} = 0.26$	$\frac{S_n q}{b^{1/3} H} = 0.49$
Layer thickness	$\frac{h_n}{H} = 0.11$	$\frac{h_n}{H} = 0.36$
Length	$\frac{x_n}{H} = 2.8$	$\frac{x_n}{H} = 0.9$

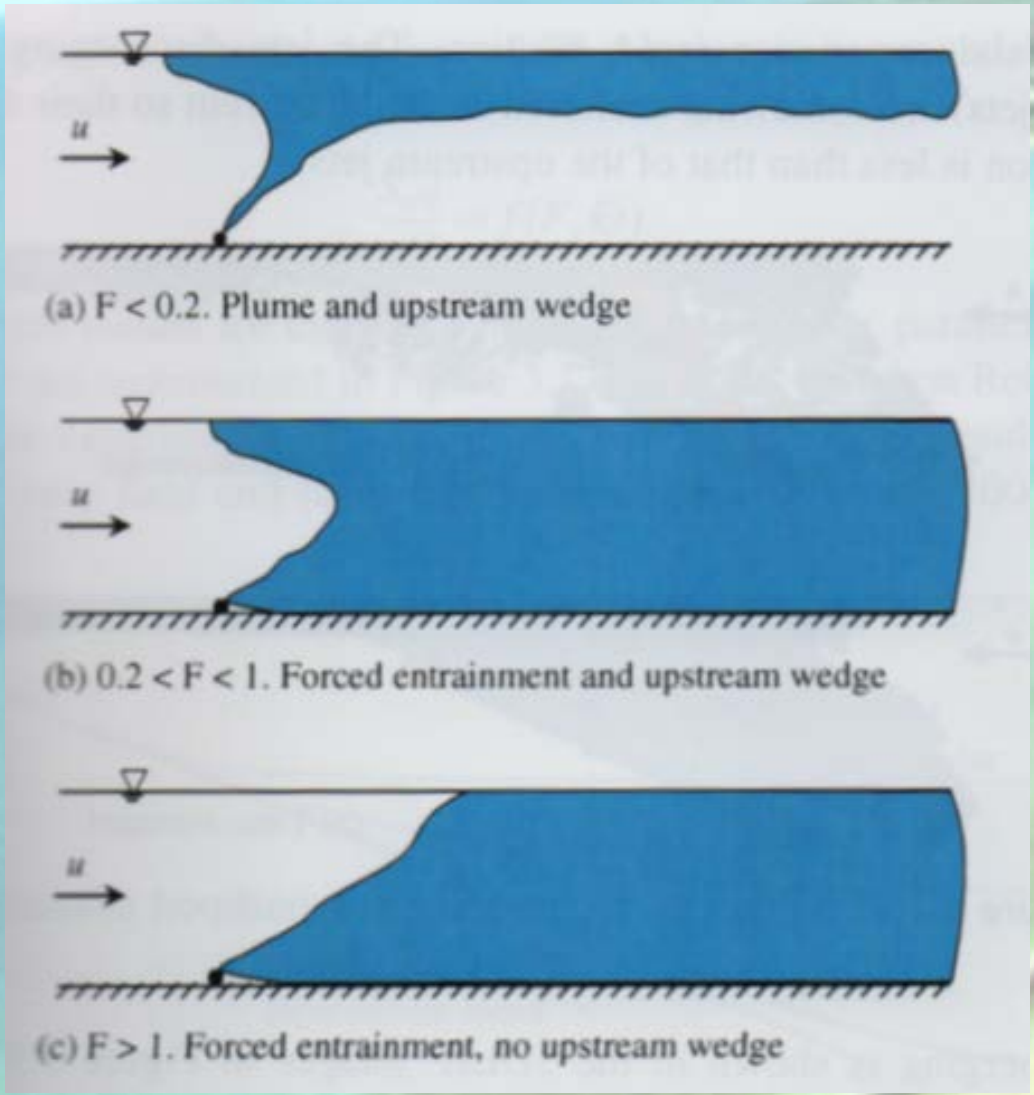


Tian et al. (2004)



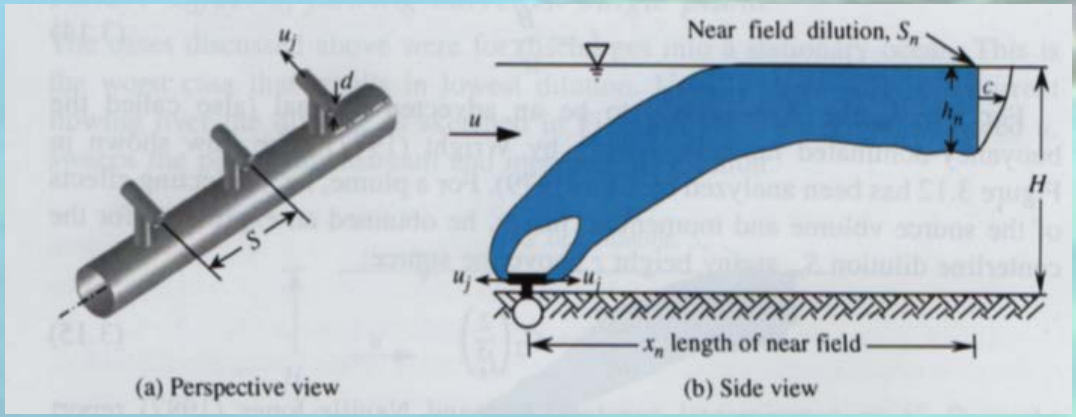
- **Getto di densità**
- singolo
- circolare
- positivo
- orizzontale
- **in ambiente con corrente**
- non stratificato



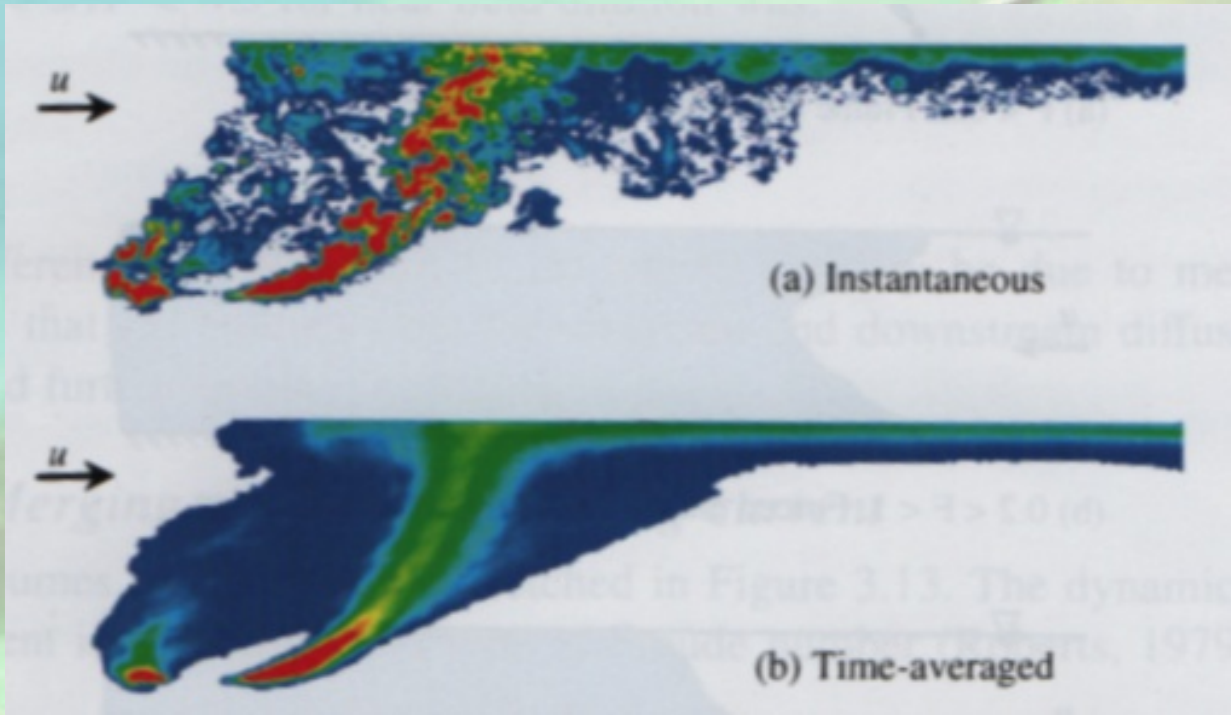


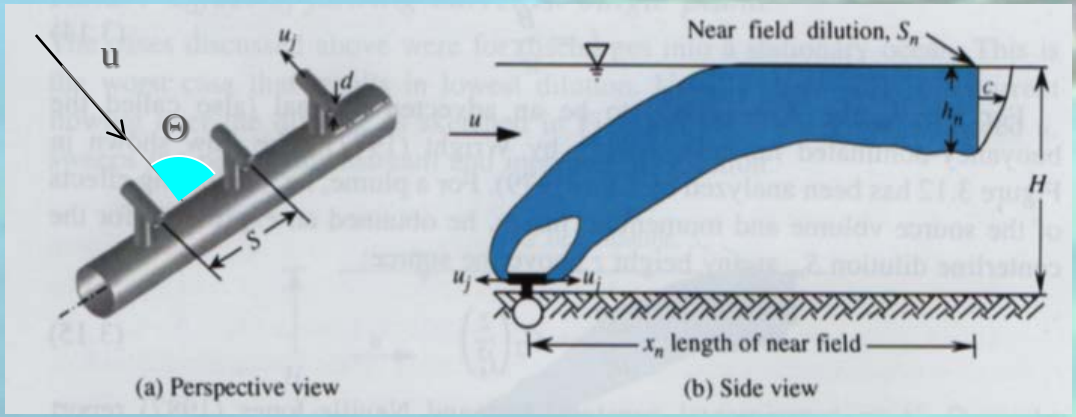
- **Getto di densità**
- **multiplo**
- circolare
- positivo
- orizzontale
- in ambiente con corrente
- non stratificato

$F = u^3/b$ (Roberts, 1979)



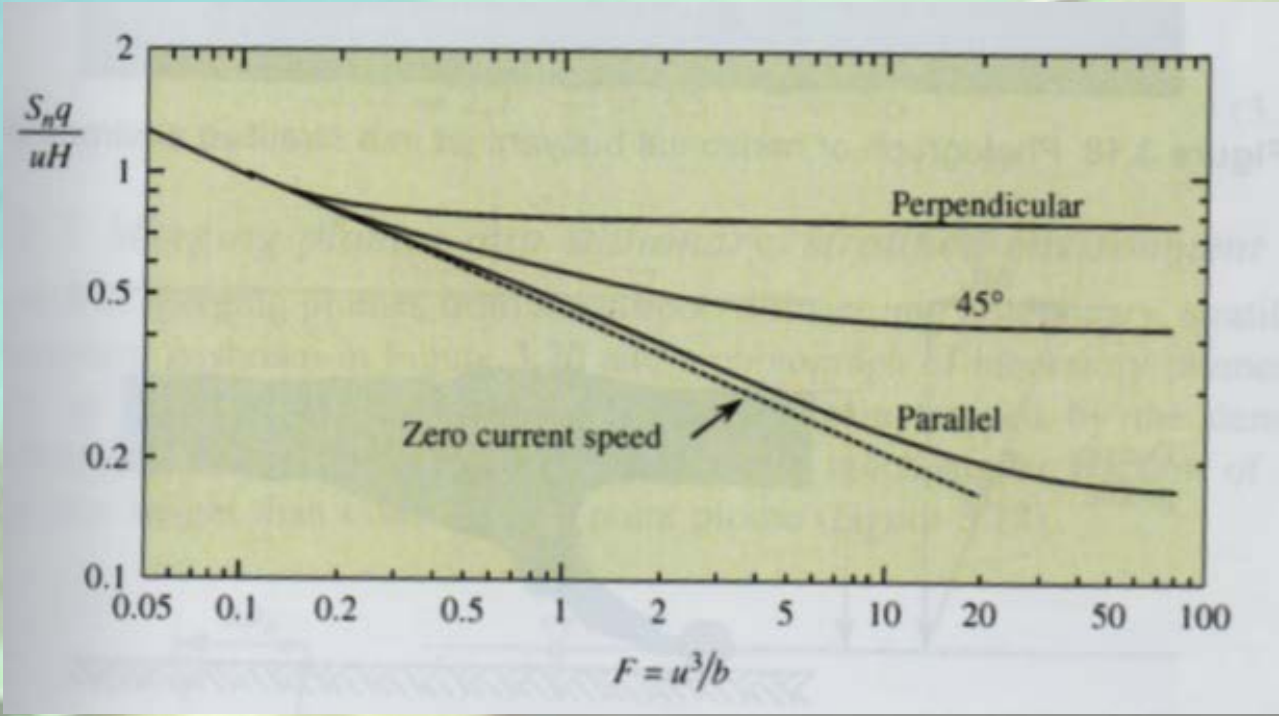
- **Getto di densità**
- **multiplo ed opposto**
- circolare
- positivo
- orizzontale
- in ambiente con corrente
- non stratificato

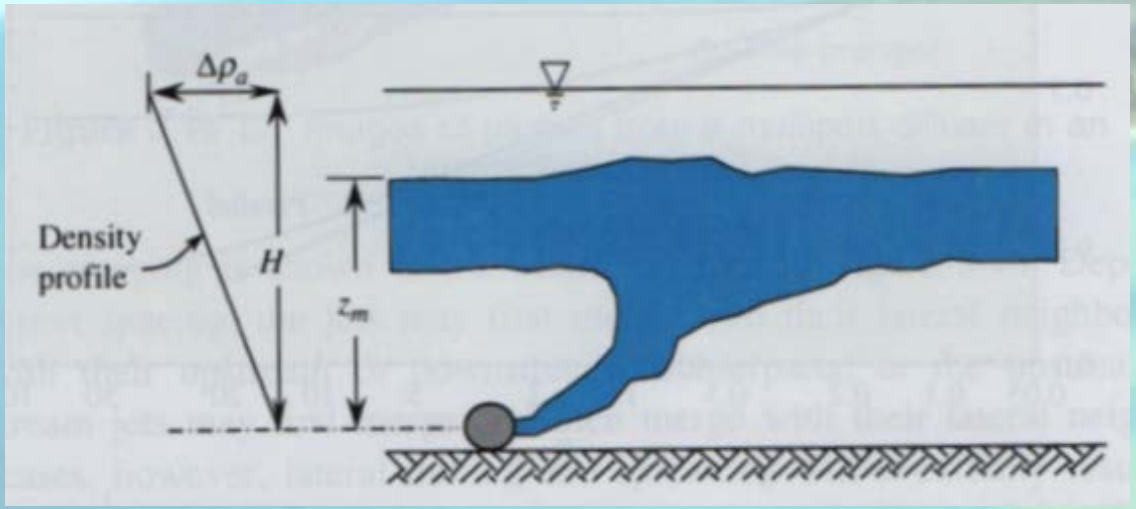




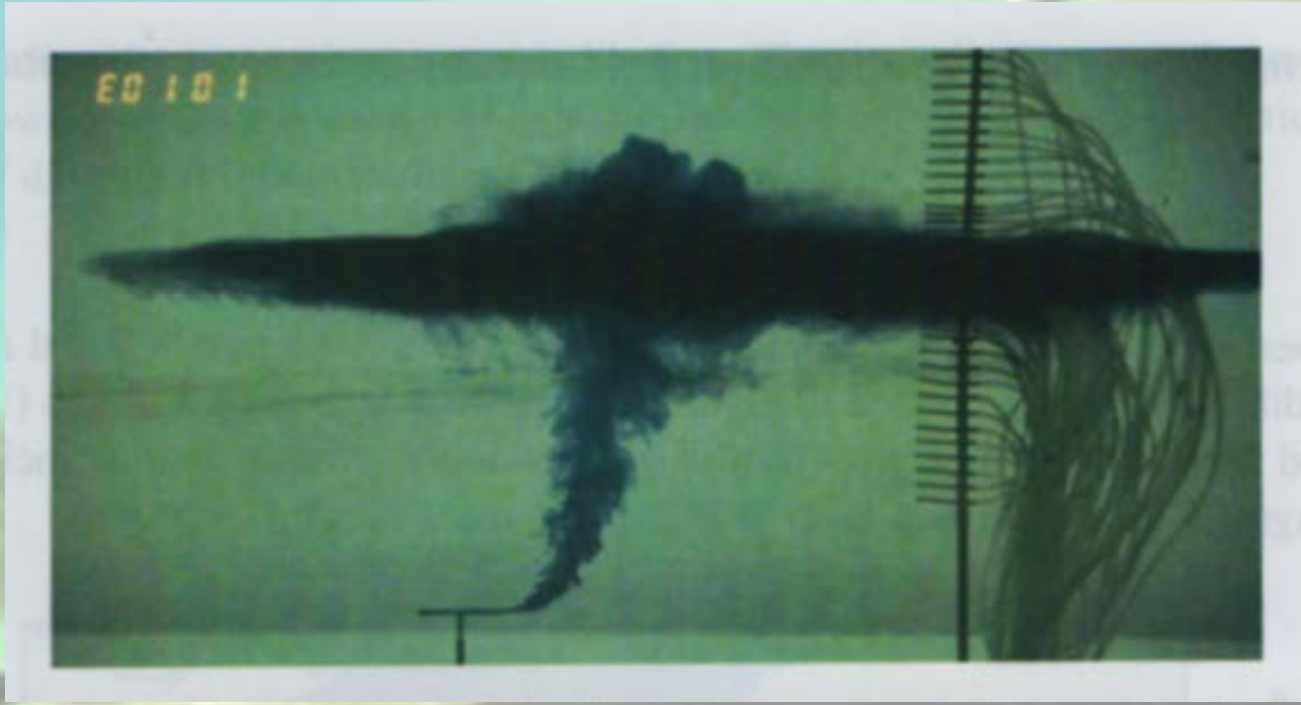
- **Getto di densità**
- **multiplo ed opposto**
- circolare
- positivo
- orizzontale
- in ambiente con corrente
- non stratificato

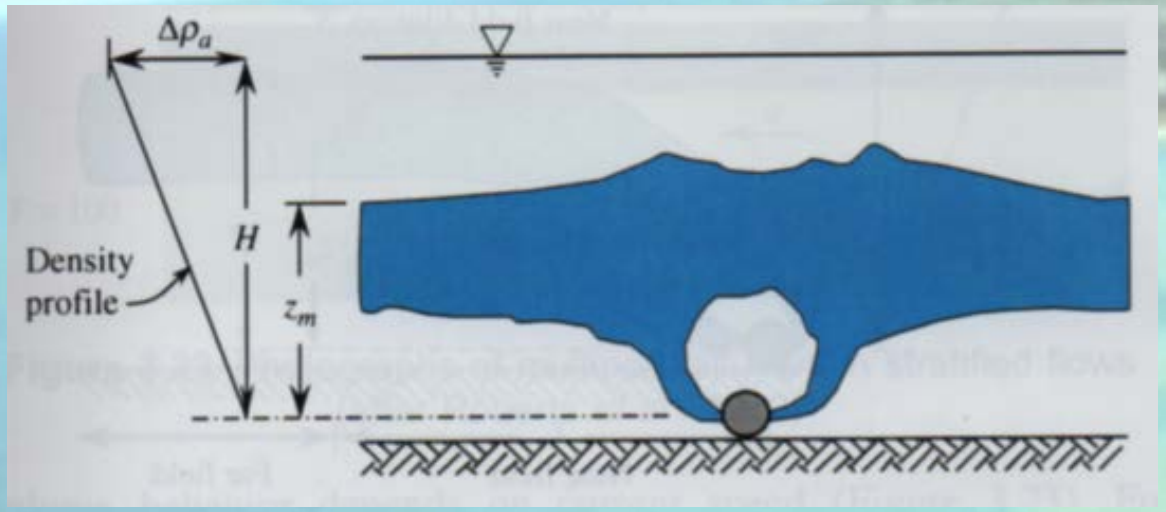
$$\frac{S_n q}{uH} = f(F, \Theta)$$



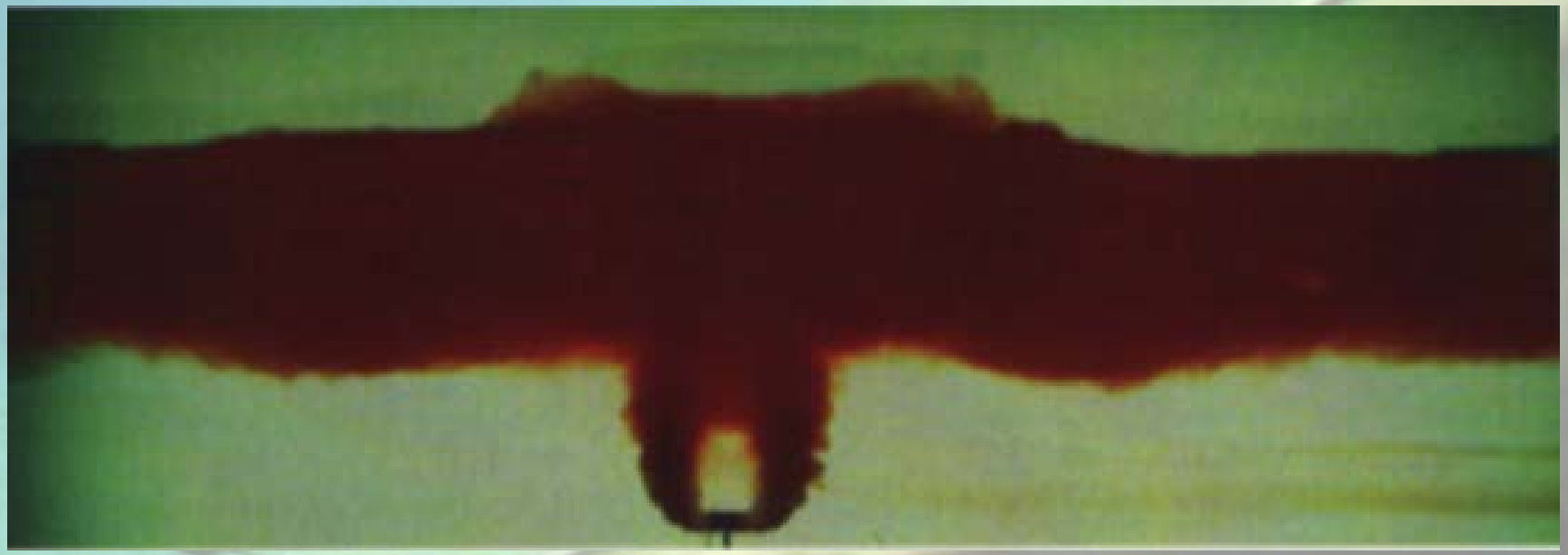


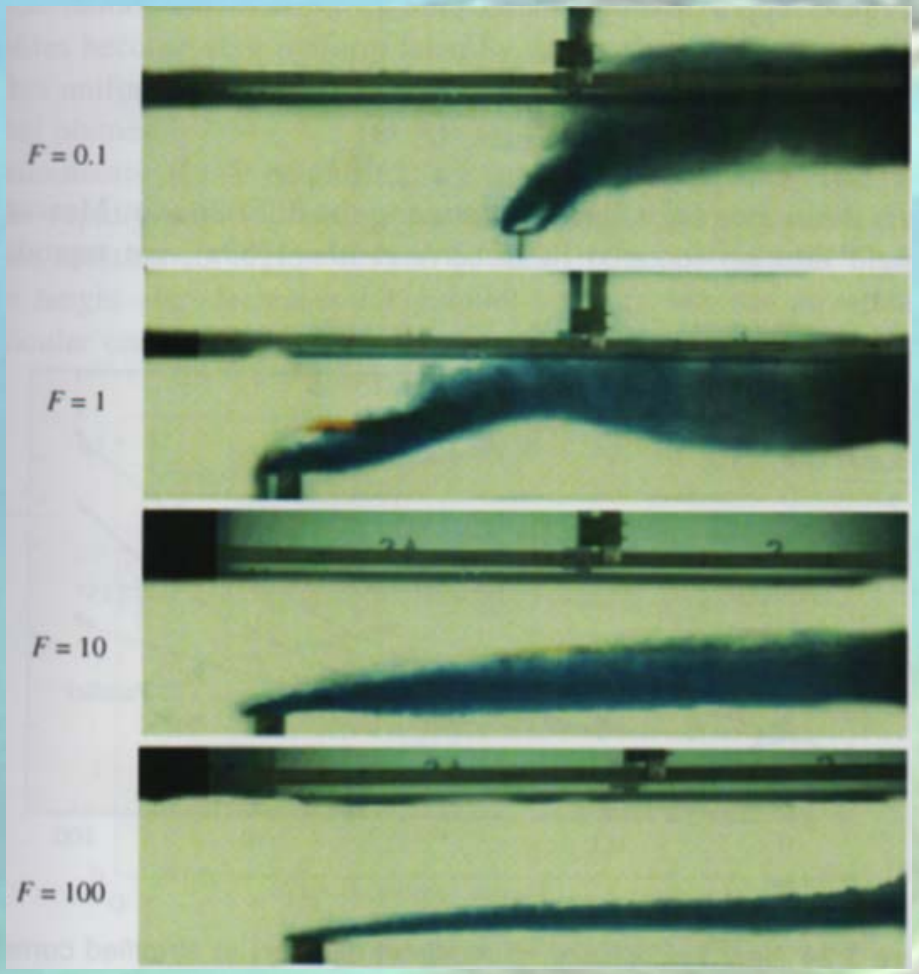
- **Getto di densità**
- singolo
- circolare
- positivo
- orizzontale
- **in ambiente stagnante**
- **stratificato**



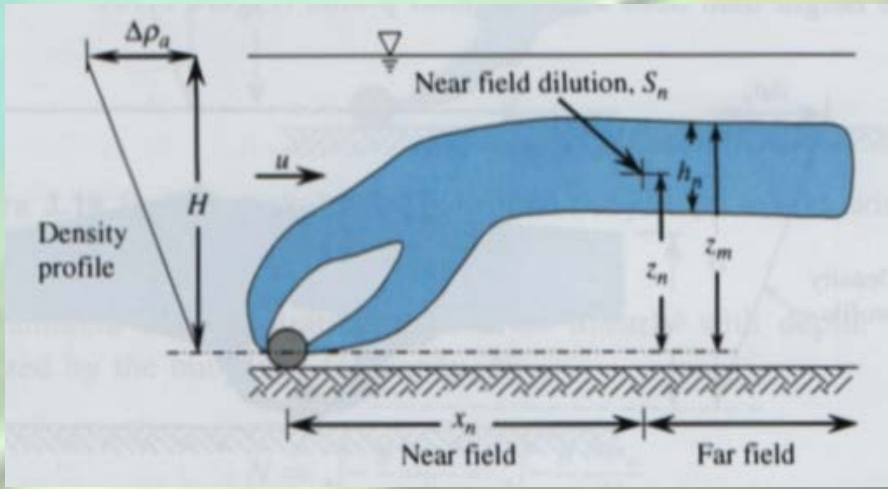


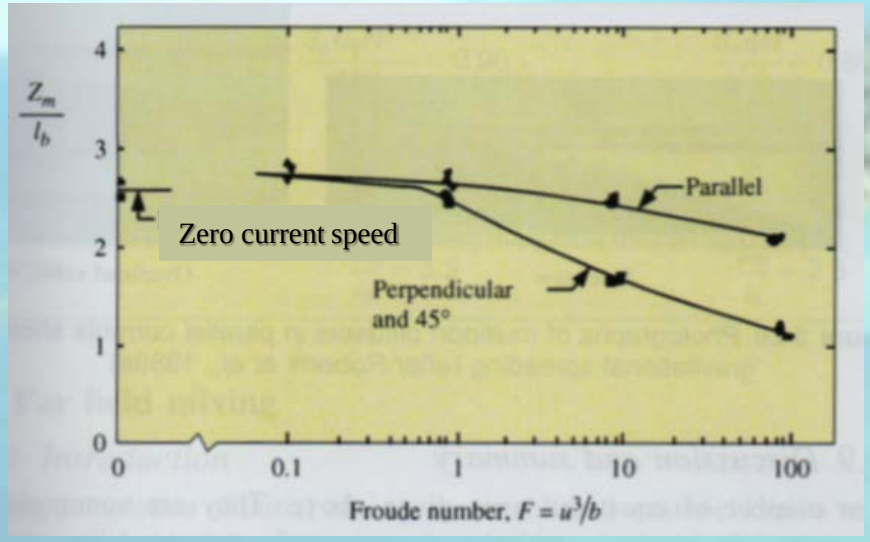
- **Getto di densità**
- **multiplo ed opposto**
- circolare
- positivo
- orizzontale
- **in ambiente stagnante**
- **stratificato**



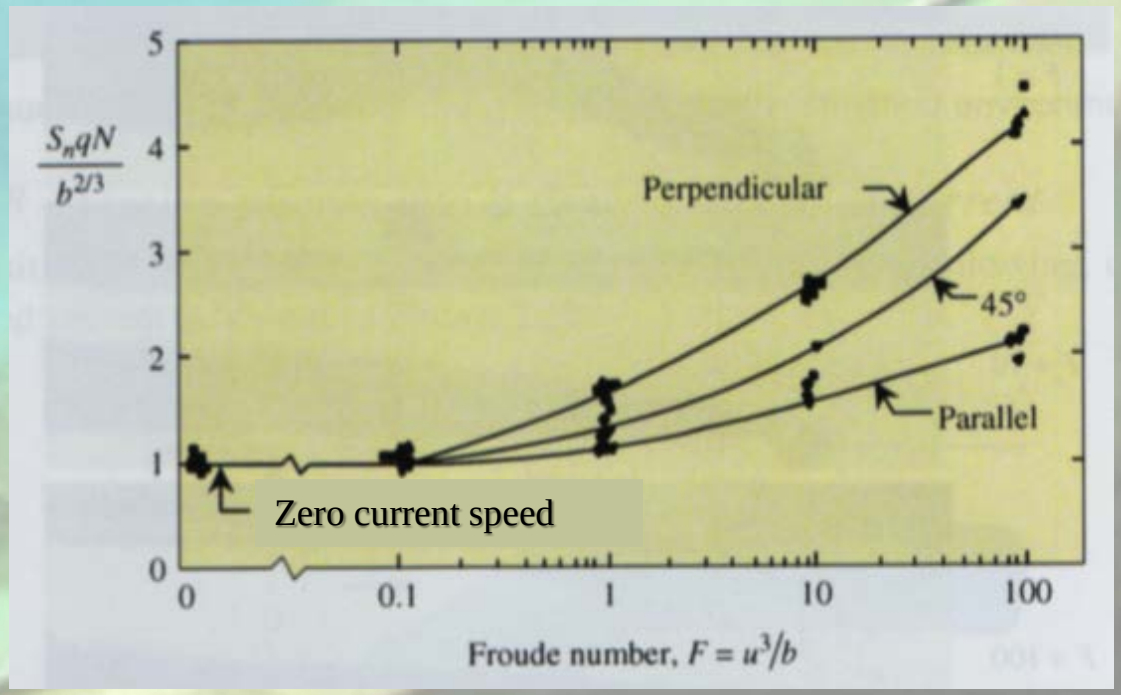


- **Getto di densità**
- **multiplo ed opposto**
- circolare
- positivo
- orizzontale
- **in ambiente con corrente**
- **stratificato**



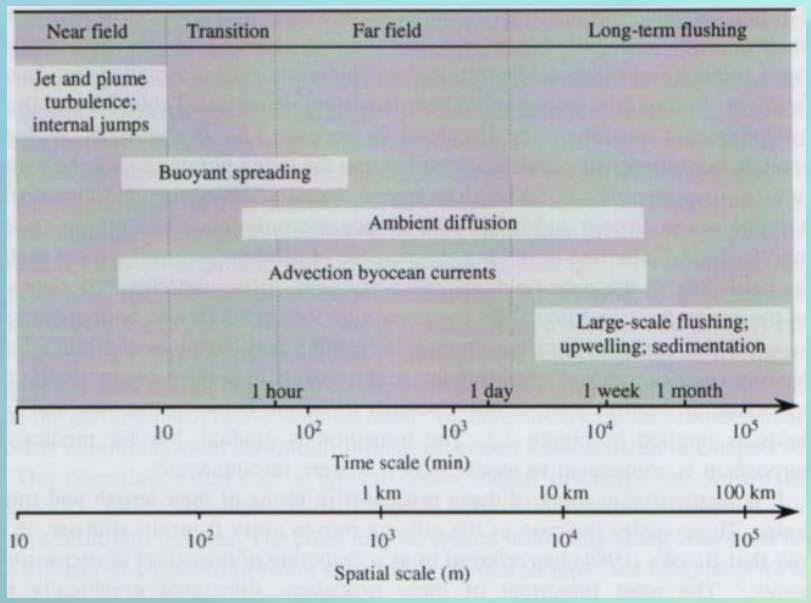


- **Getto di densità**
- **multiplo ed opposto**
- circolare
- positivo
- orizzontale
- **in ambiente con corrente**
- **stratificato**



La diluizione aumenta con la distanza dal diffusore fino a raggiungere un valore limite, oltre il quale si mantiene costante.

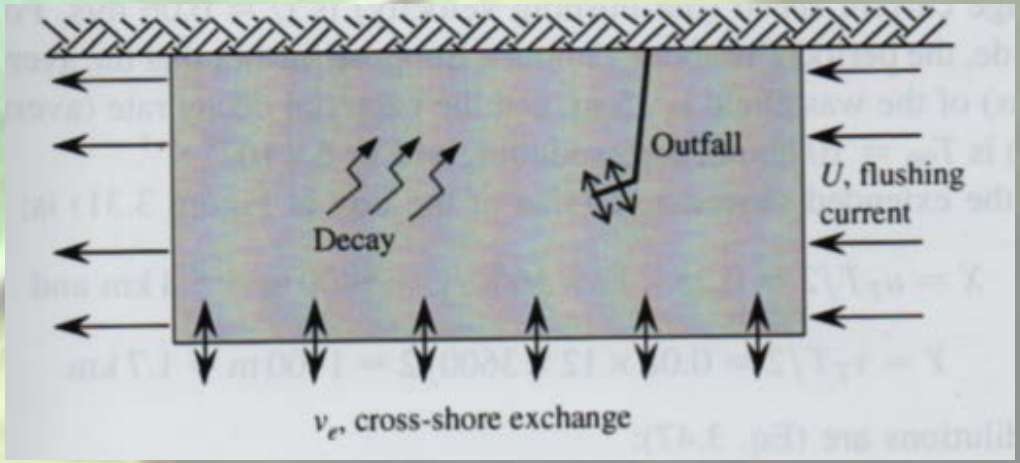
La posizione ove la diluizione raggiunge tale valore limite rappresenta la fine del campo vicino e l'inizio del **campo lontano**.



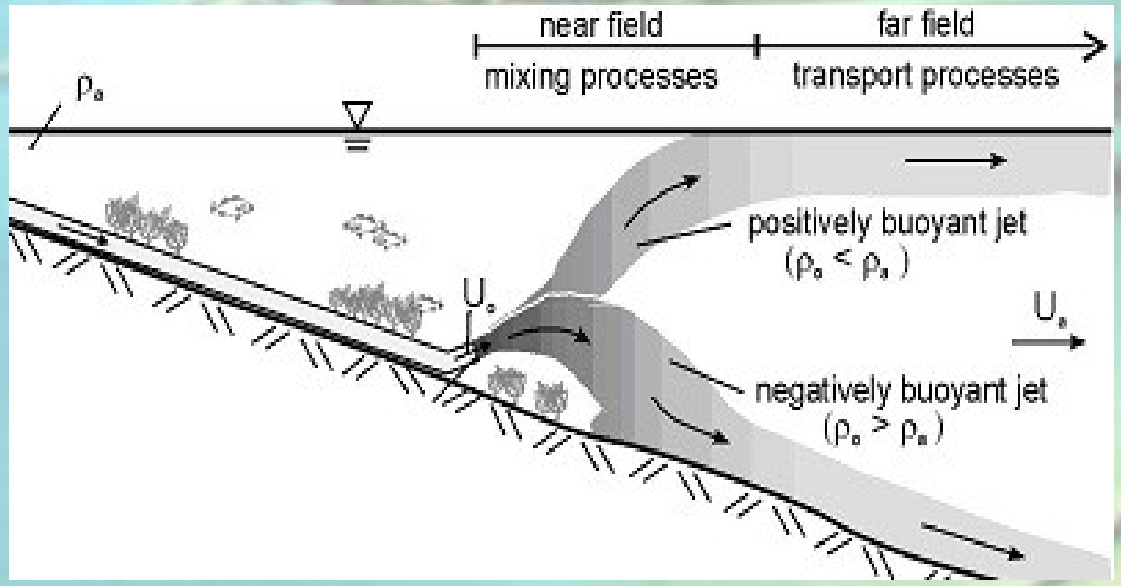
Travel time t (hr)	Far field dilution S_f	
	Diffuser length, L (m)	
	$L = 35$	$L = 700$
1	2.4	1.0
3	7.4	1.4
10	35.5	3.2
20	95.9	6.9

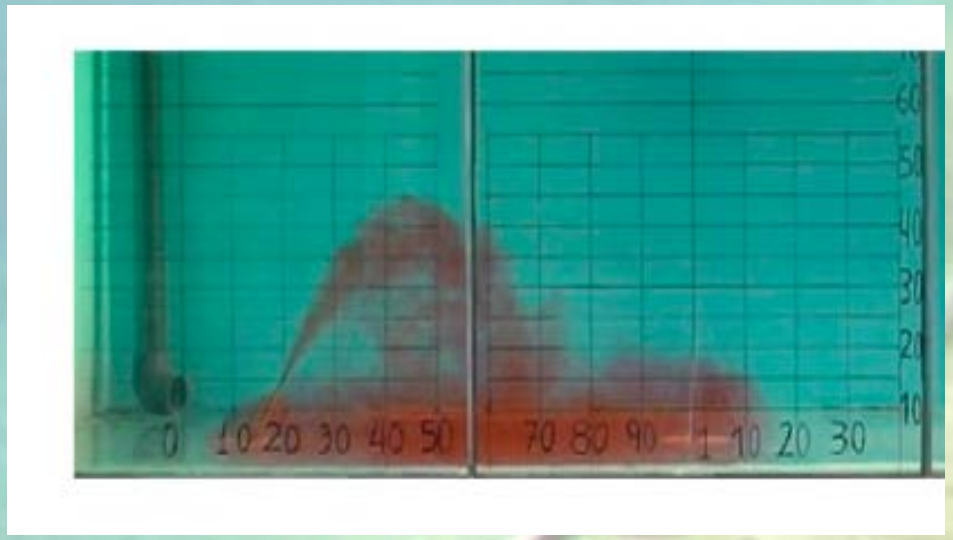
Ipotesi: coefficiente di diffusione turbolenta proporzionale a 4/3 L

$$S_p = \frac{UhY}{Q_T} + \frac{v_e hX}{Q_T} + \frac{khXY}{Q_T}$$



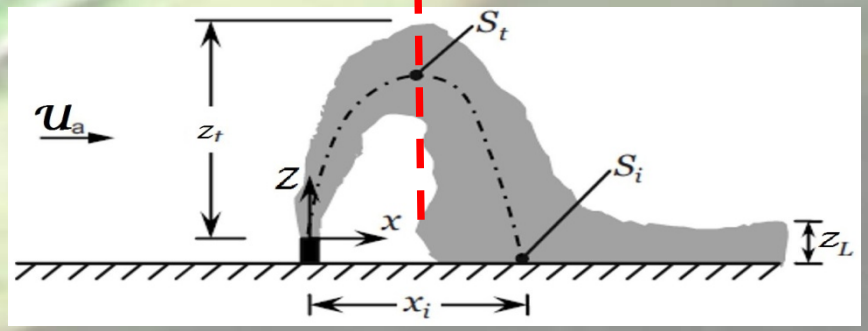
GETTI DI DENSITA' NEGATIVI (BRINA)

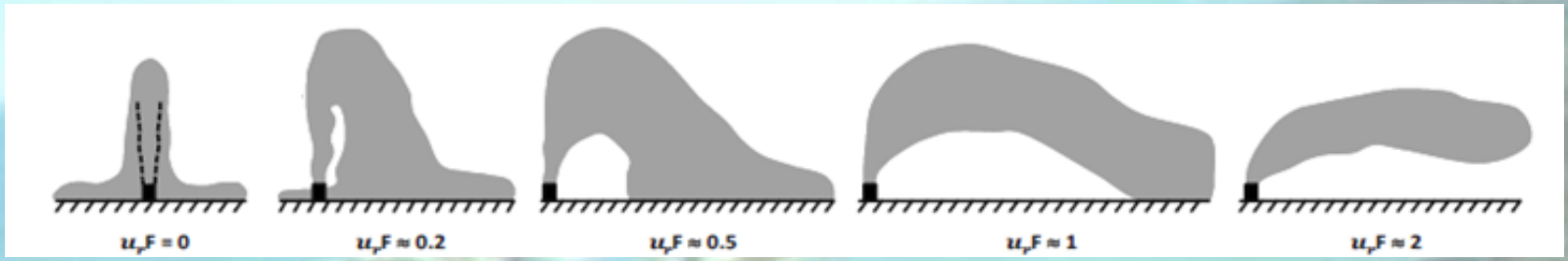


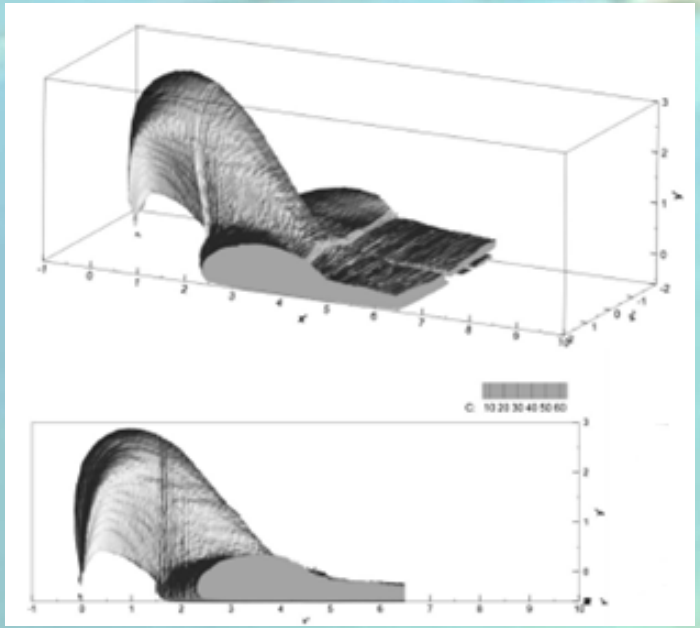


Prevalenza quantità di moto

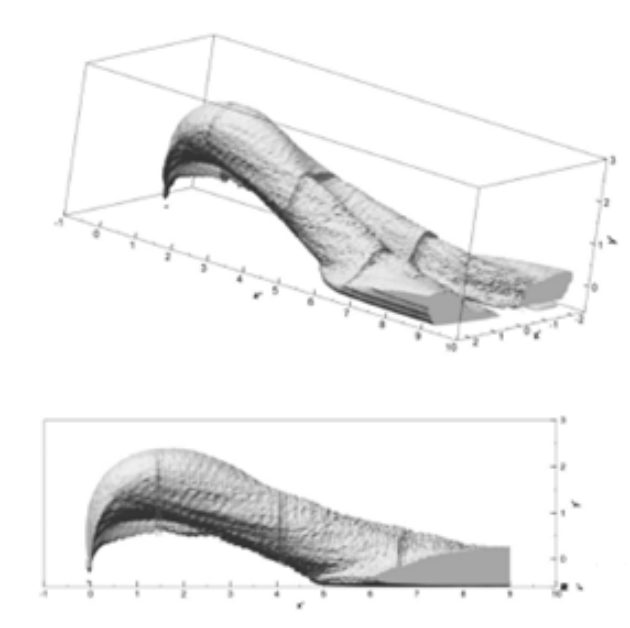
Prevalenza flusso di galleggiamento







$u_rF_0 = 0.2$



$u_rF_0 = 1$

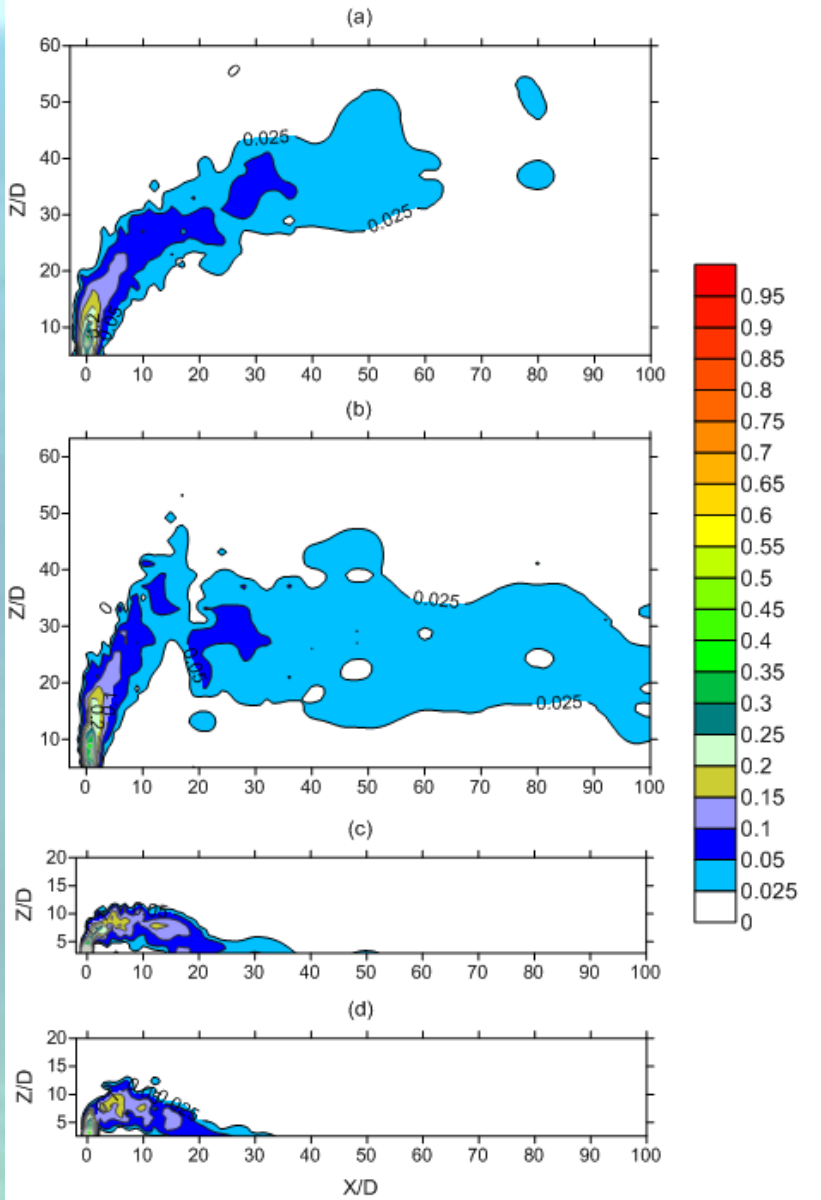
$$u_rF = \frac{u_a}{\sqrt{g\frac{\rho_j - \rho_a}{\rho_a}d}}$$

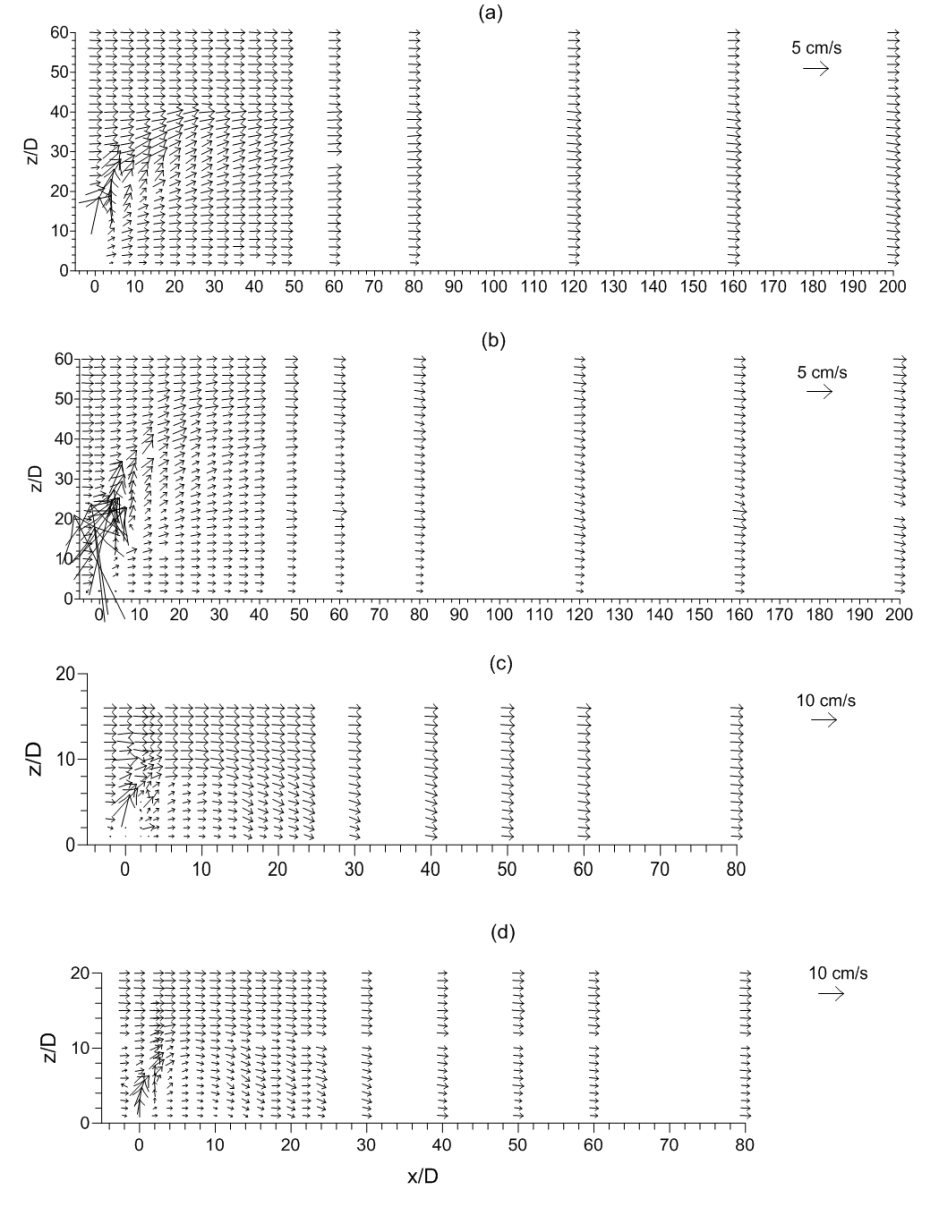
$$\frac{y_t}{d\mathrm{F}} = 2.8 \quad \text{for} \quad 0.2 < u_r\mathrm{F} < 0.8$$

$$\frac{y_t}{d\mathrm{F}} = 2.5(u_r\mathrm{F})^{-1/3} \quad \text{for} \quad u_r\mathrm{F} > 0.8$$

$$\frac{S_t}{\mathrm{F}} = 0.8(u_r\mathrm{F})^{1/2}$$

$$\frac{S_i}{\mathrm{F}} = 2.0(u_r\mathrm{F})^{1/2}$$


(a)
(b)
(c)
(d)
Z/D
X/D
0.025
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65
0.6
0.55
0.5
0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0.025
0


(a)
(b)
(c)
(d)
z/D
x/D
5 cm/s
10 cm/s

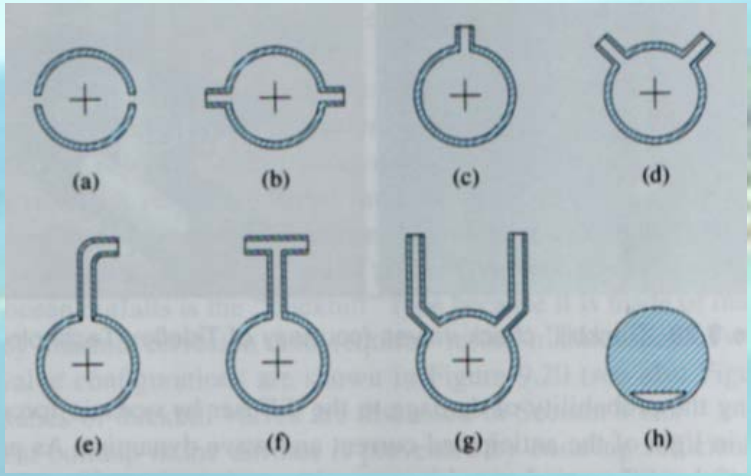
DIFFUSORI

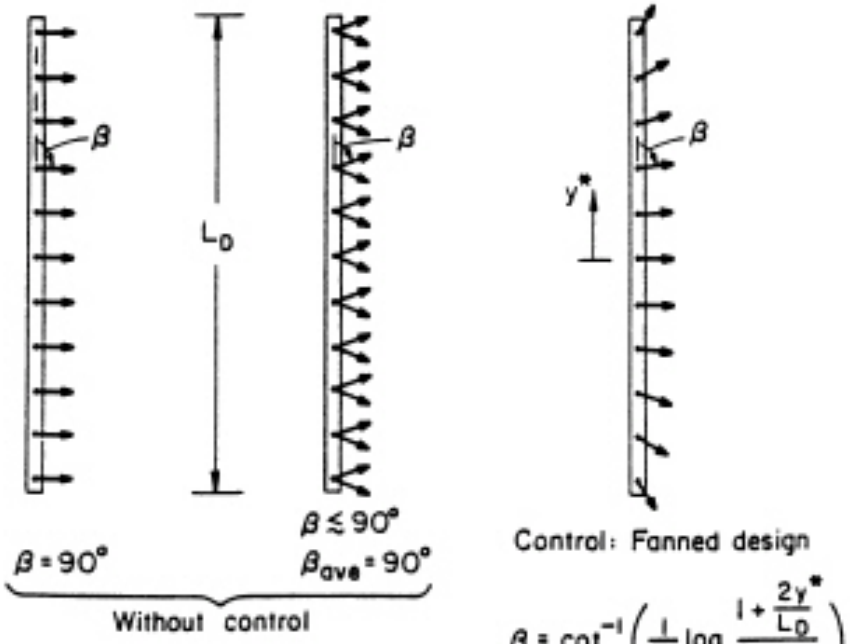
Il tratto terminale di una condotta di scarico è in genere costituito da un diffusore, o distributore, che assume un ruolo fondamentale sulla funzionalità dell'intero sistema di scarico. Infatti, compito di tale dispositivo è suddividere il fluido effluente da smaltire nell'ambiente marino in più getti, in maniera tale da favorire il processo di diluizione che ha poi luogo in mare, e ridurre i fenomeni locali di intorpidimento e deossigenazione.

(a) Two ports (Tideflex technologies)

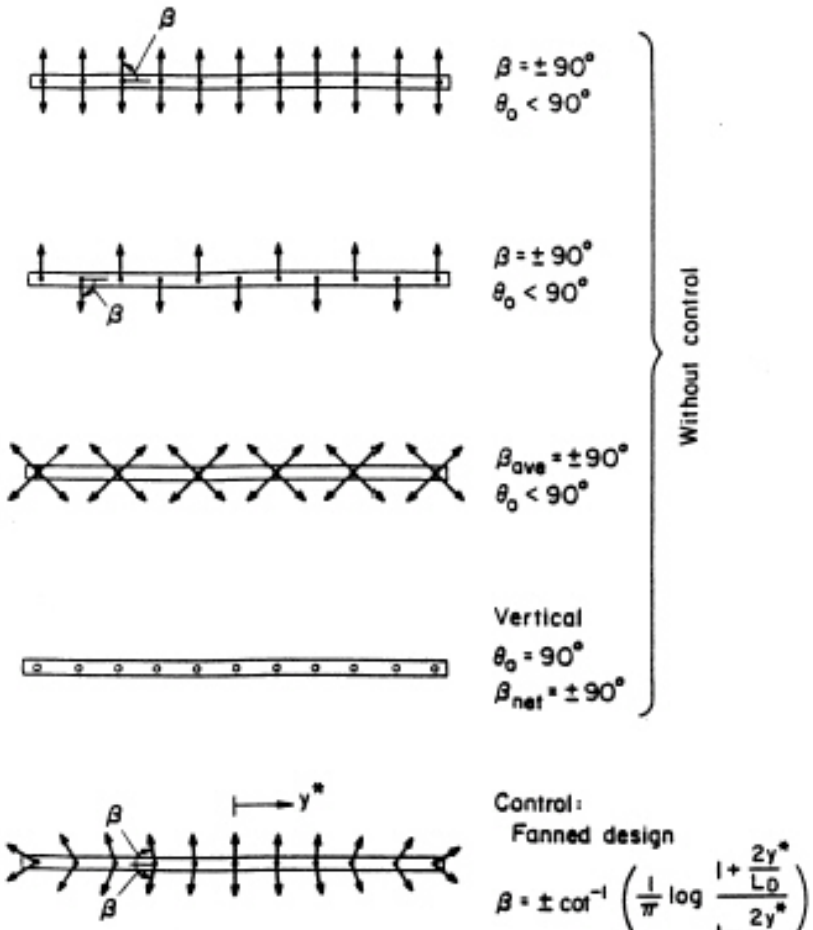
(b) Boston outfall riser cap

Tipologie di diffusori



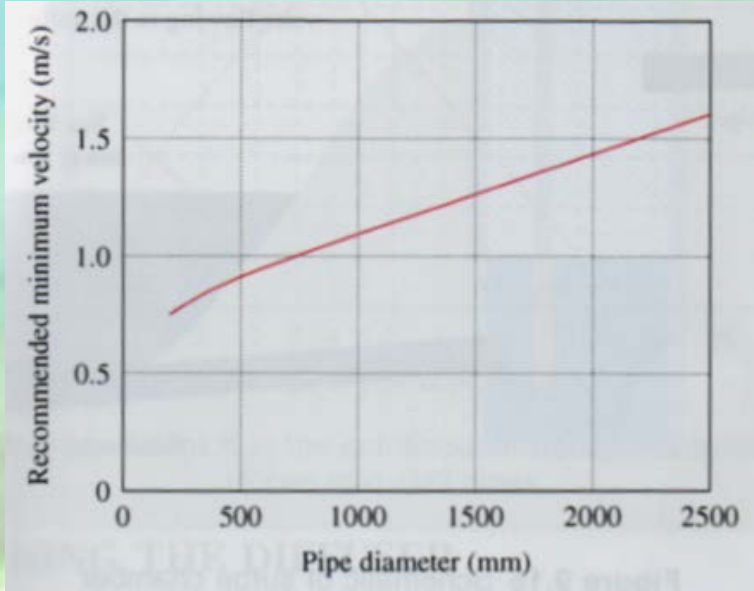


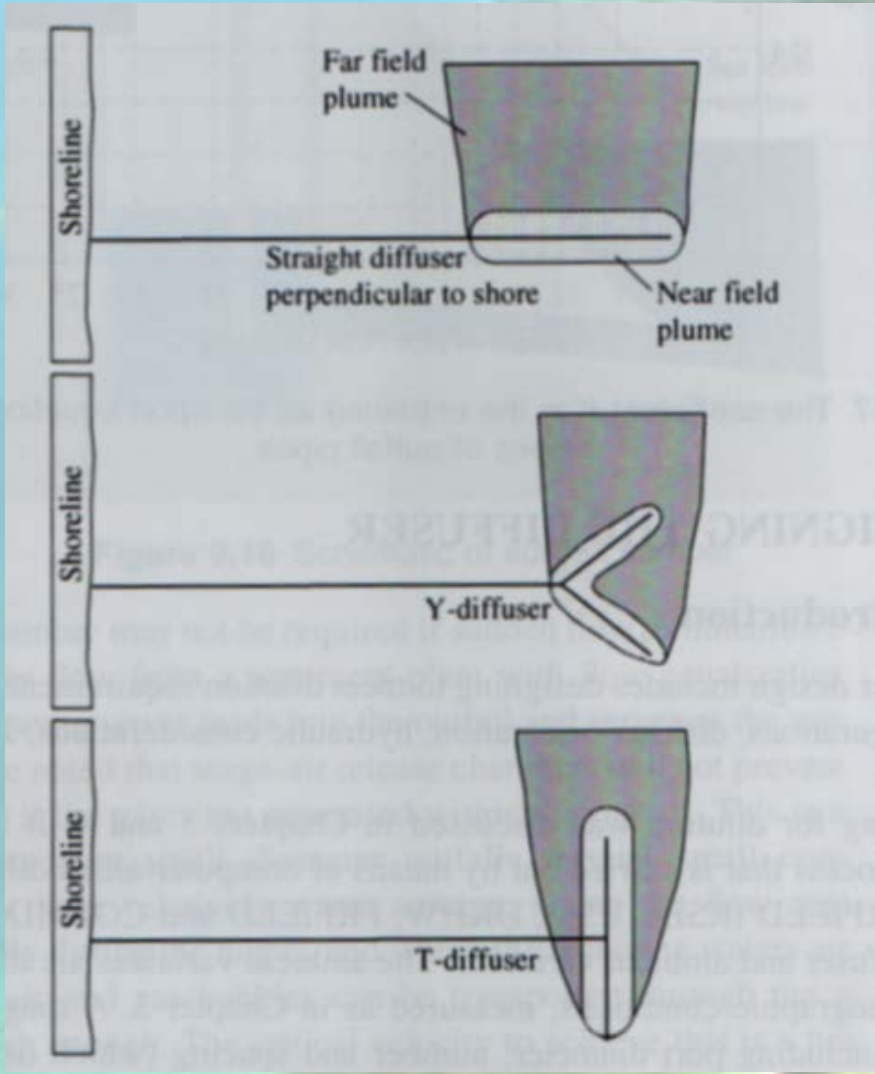
a) Unidirectional diffuser designs, $\theta_o \cong 0$



c) Alternating diffuser designs, $\theta_o \cong 0$

È consigliabile contenere il diametro degli ugelli per favorire la diluizione iniziale, ma entro certi limiti per evitarne l'occlusione a causa delle incrostazioni marine.





Riguardo la disposizione nel piano dei diffusori, per far sì che le correnti marine dominanti esercitino una corretta dispersione del refluo nel corpo idrico recettore, in genere si pone il diffusore ortogonalmente ad esse. Nel caso invece in cui non vi sia una direzione prevalente della corrente dominante, si utilizzano diffusori a forma di Y.

CONDOTTA DI SCARICO

Gli esempi più significativi di condotte sottomarine si sono avuti a partire dagli anni trenta del secolo scorso, prima fra tutte la condotta in ghisa con giunti flessibili posata nel 1930 per attraversare il canale navigabile di New Orleans.

Tipologie, dimensioni e numero di tali opere sono cresciuti vertiginosamente nel tempo, passando dai sifoni per l'attraversamento dei corsi d'acqua naturali agli acquedotti per l'approvvigionamento idrico delle isole, ai grandi gasdotti e oleodotti, alle condotte di presa e restituzione di acque di raffreddamento per le centrali termiche e le industrie, fino alle tubazioni di scarico di acque reflue, di interesse in questa sede.

Type of pipe	Resistance against			Axial flexibility		Relative costs	
	Internal pressure	External impact	Corrosion	Pipe	Joint	Material	Construction
Steel	Excellent	Excellent	Poor	Good	Excellent	Low	Low
Cement coated steel	Excellent	Good	Fair	Poor	Poor	Moderate	Moderate
Ductile iron	Excellent	Very good	Poor	None	Fair	Low to moderate	Moderate
Reinforced concrete	Good	Good	Good	None	None	Moderate	High to very high
Prestressed concrete	Very good	Good	Good	None	None	Moderate to high	High to very high
Polyethylene	Fair	Good	Excellent	Very good	Very good	Moderate to high	Low
Polypropylene	Fair	Good	Excellent	Very good	Very good	Moderate to high	Low
GRP	Good	Fair	Very good	Poor	Poor	Moderate to high	Moderate to high
PVC	Fair	Poor	Excellent	Fair	Poor	Low	Low

Caratteristiche e relativi costi dei materiali utilizzati comunemente per le condotte sottomarine oceaniche

Varo di una condotta con esecuzione della giunzione a mare.

Varo di una condotta per metano sul fiume Tagliamento. Si notano le boe di segnalazione nel tratto già varato.

E’ buona norma prevedere un **MONITORAGGIO** della condotta sia nelle varie fasi di costruzione che durante l’esercizio.
Tutto ciò è oggi quanto mai semplice grazie alle moderne tecniche di ispezione.

Il monitoraggio sistematico durante l’esercizio è importante per:

- **verificare l’integrità della condotta**, in alcuni casi si sono avuti gravi danni ambientali a causa di rotture e sversamenti in mare di reflui ai bassi fondali;

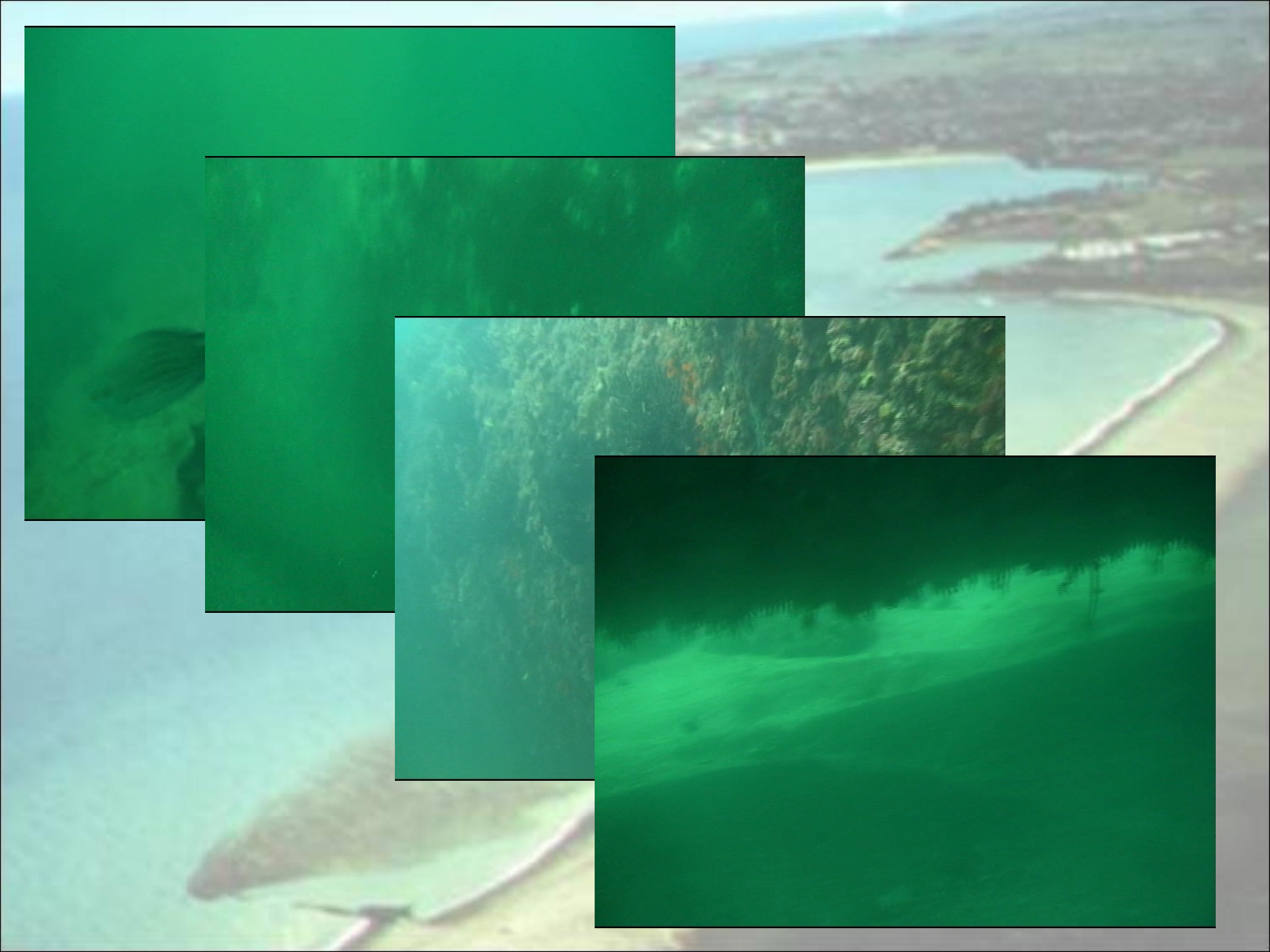
- **avere indicazioni sulla stabilità della posa** (occorrerebbero fare ispezioni dopo le mareggiate più intense);

- **verificare il funzionamento idraulico degli ugelli**;

-**avere dati di campo sulla evoluzione biologica dei fondali.**

Foto di un ugello di diffusione ormai poco efficiente per la presenza di materiale che lo occlude

Parte finale di un diffusore



CONCLUSIONI

La tutela dell'ecosistema marino è uno dei principali problemi ambientali del nostro tempo.

Nel campo della gestione delle risorse idriche tutelare significa innanzitutto **conoscere.**

In realtà, per tutelare veramente l'ambiente marino occorre innanzitutto **prevenire**, e dunque, considerando tutti i componenti del sistema condotta-distributore-mare che sono stati analizzati in questa presentazione **occorre che in fase di progettazione** siano valutati a fondo tutti gli aspetti del problema, **sia teorici che pratici**, al fine di ridurre l'impatto ambientale dell'opera.

Si auspica, pertanto, piena **sinergia** tra componente tecnica e componente scientifica!!!

POLITECNICO DI BARI

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica -DICATECh-

SMALTIMENTO DI ACQUE DI SCARICO

GETTI TURBOLENTI IN UNA CORRENTE OSTRUITA: MODELLISTICA FISICA

Dott. Ing. Mouldi BEN MEFTAH

Le norme sulle risorse idriche

Gli interventi mirati alla gestione, al controllo e all'uso delle risorse idriche sono regolati da un quadro normativo riconducibile alla **L.n.36** del **05/01/94** ("*Disposizioni in materia di risorse idriche*"), nota come "**legge Galli**".

Seguito numerosi interventi normativi

Normativa

=

Gestione

+

Controllo

+

Uso

Gli obiettivi di qualità dei corpi idrici

Sono definite due classi di "**obiettivi di qualità**" che devono essere garantite per i "**corpi idrici significativi**":

i. l'obiettivo di qualità per specifica destinazione individua lo stato dei corpi idrici idoneo a una particolare utilizzazione;

- ✓ *acque dolci superficiali destinate all'uso potabile;*
- ✓ *acque destinate alla balneazione;*
- ✓ *acque idonee per la vita dei pesci;*
- ✓ *acque destinate alla vita dei molluschi.*

ii. l'obiettivo di qualità ambientale è definito in funzione della **capacità** dei corpi idrici di mantenere i processi naturali di **autodepurazione** e di supportare comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate.

Elevato *Buono* *Sufficiente* *Scadente* *Pessimo*

Il ciclo integrato delle acque ai sensi della L. 36/94

Captazione Acque (trattamento)

Adduzione

Distribuzione delle acque

Fognatura

Depurazione delle acque reflue

Scarico

Corpo idrico ricettore

Riutilizzo

La legge n.36/94 definisce il "sistema idrico integrato" (S.I.I.) come l'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue.

Limiti tabelle D.lgs. 152/06 «*Norme in materia ambientale*»

Disciplina degli scarichi in ambito urbano

Scarichi urbani

- **Natura**
  - Caratteristiche qualitative
  - Caratteristiche quantitative
- **Provenienza**
  - Acque reflue domestiche
  - Acque reflue industriali
  - Acque meteoriche

La disciplina degli scarichi contenuta nel
D.lgs. 152/06

Scarico delle acque reflue

- Lo **smaltimento** delle acque di rifiuto deve avvenire in **corpi recettori** (acque superficiali, sul/nel suolo);
- In un corpo idrico superficiale, come ad esempio il mare, l'effluente trattato viene scaricato in mare per mezzo di una condotta sottomarina da cui dipartono uno o più diffusori;
- Ogni diffusore presenta una o più bocche da cui l'effluente viene scaricato;
- Lo scarico avviene sotto forma di **getto**: esso è utilizzato per incrementare la diluizione delle acque scaricate.

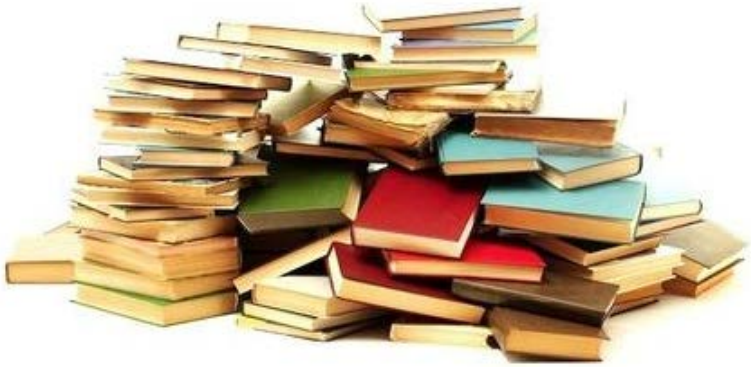
Equilibrio naturale del corpo recettore

Obiettivo

Usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche ed il mantenimento della capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici recettori.

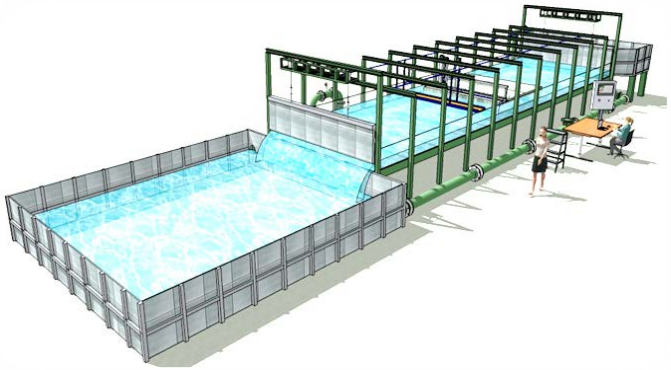
Studi approfonditi della dinamica dei **getti** turbolenti

Teoria



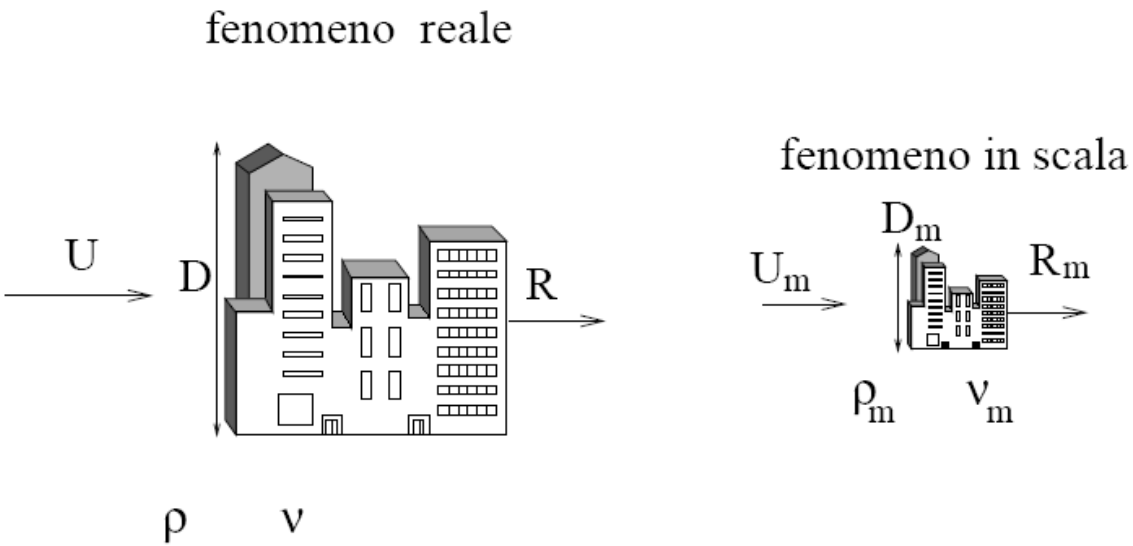
osservazione

Modellistica fisica



Modellistica fisica

- I modelli fisici sono la riproduzione in laboratorio di un fenomeno naturale, che viene simulato in scala ridotta;

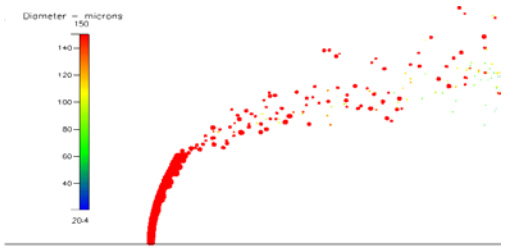


- Rispetto all'osservazione sul campo, di cui costituisce una diretta filiazione, la modellistica fisica ha il vantaggio di poter costruire artificialmente condizioni che in natura non esistono variando la geometria e le forze in gioco;
- La modellistica fisica è importante quando i processi coinvolti non si prestano ad una agevole schematizzazione matematica, a causa della loro complessità;

Modellistica fisica

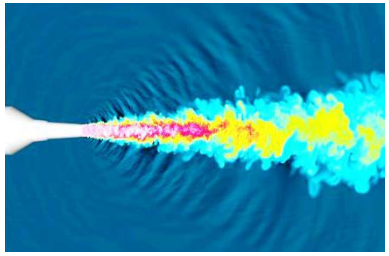
- I modelli fisici costituiscono spesso uno strumento di conferma e di taratura dei risultati forniti dai modelli matematici;
- Di contro, i modelli fisici presentano difficoltà di vario tipo, che possono essere tutte ricondotte alla incapacità di riprodurre esattamente in laboratorio le condizioni presenti in natura. Questi inconvenienti prendono il nome di **effetti scala** e di effetti laboratorio;
- Gli effetti scala nascono nei modelli a scala ridotta quando non è possibile scalare tutte le grandezze significative in maniera corretta tra il prototipo e il modello;
- Infine, bisogna considerare che i modelli fisici sono di solito più costosi dei modelli matematici, che vengono preferiti ogni volta che i risultati forniti appaiono accettabili.

Getti turbolenti



Getti Puri

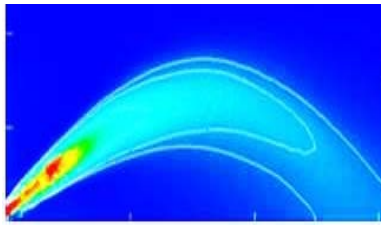
«*Pure jets*»

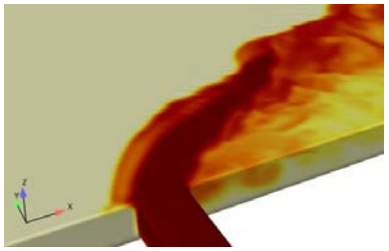


Getti

Getti di Galleggiamento

«*Buoyant Jets*»





Piume

«*Plume*»

Cenni teorici: equazione del moto per un getto (Eulero)

$$\rho \frac{Du}{dt} = -\nabla p + \rho g' \vec{k}$$

$$g' = g(\rho_a - \rho) / \rho$$

ρ = densità del fluido nel getto;

u = velocità = quantità di moto per unità di massa del fluido;

t = tempo

∇p = gradiente della pressione;

ρg' = forza di galleggiamento per unità di volume del fluido;

g' = accelerazione della gravità ridotta;

g = accelerazione della gravità;

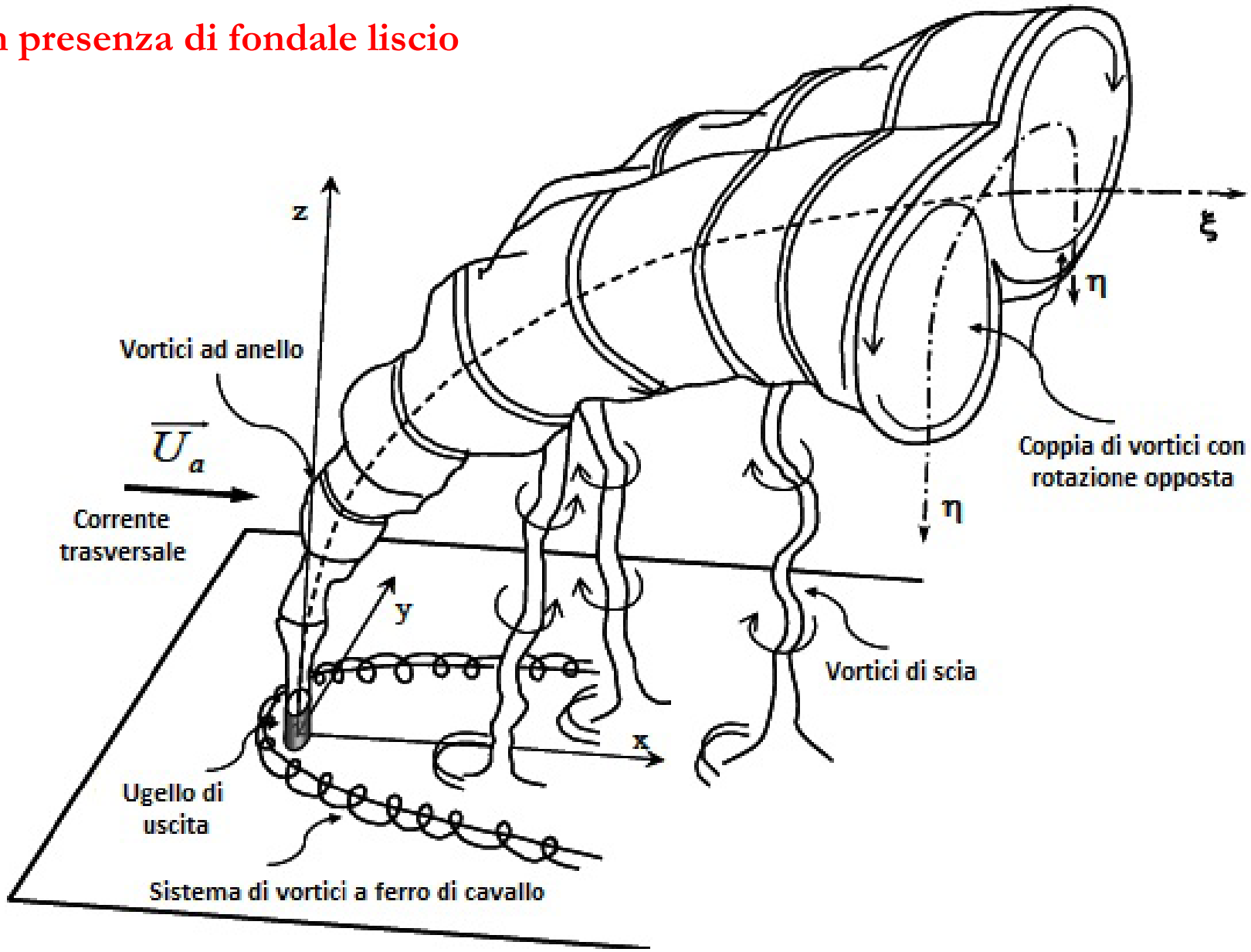
ρ_a = densità del fluido del ambiente;

k = vettore unitario (z-direzione verso l'alto)

Alto *Re* (numero di Reynolds): le forze viscose sono trascurabili

Struttura vorticosa del getto

In presenza di fondale liscio



Fondali corrugati

Un corpo idrico naturale si presenta già con fondale corrugato (diversa morfologia, vegetazione, specie marine)

Coralli

Posidonia

Vegetazione

Getti in una corrente con presenza di fondali corrugati

Mancanza di informazioni sull'interazione tra getti turbolenti e correnti in presenza di fondali corrugati.

Studiare la struttura idrodinamica di un getto turbolento immesso in una corrente con presenza di un fondale corrugato è stato e rimarrà un obiettivo primario del nostro gruppo di ricerca.

Per raggiungere tale obiettivo sono stati realizzati diversi lavori sperimentali su modelli fisici presso il Politecnico di Bari.

Impianto sperimentale

Le indagini sperimentali sono state svolte presso il Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (L.I.C.), del Politecnico di Bari, dove è stato realizzato un modello fisico per la generazione dei getti turbolenti. Il sistema nel suo complesso è formato da tre strutture principali

Canale
15m x 4m x 0.5m
Q_a = 100 l/s

Panello con vegetazione
d = 3mm
$s_x = s_y$ = 5cm
Densità= *400* cilindri/m^2

Sistema idraulico del getto
T=90°C

Impianto sperimentale

Sistema di interfaccia input-output

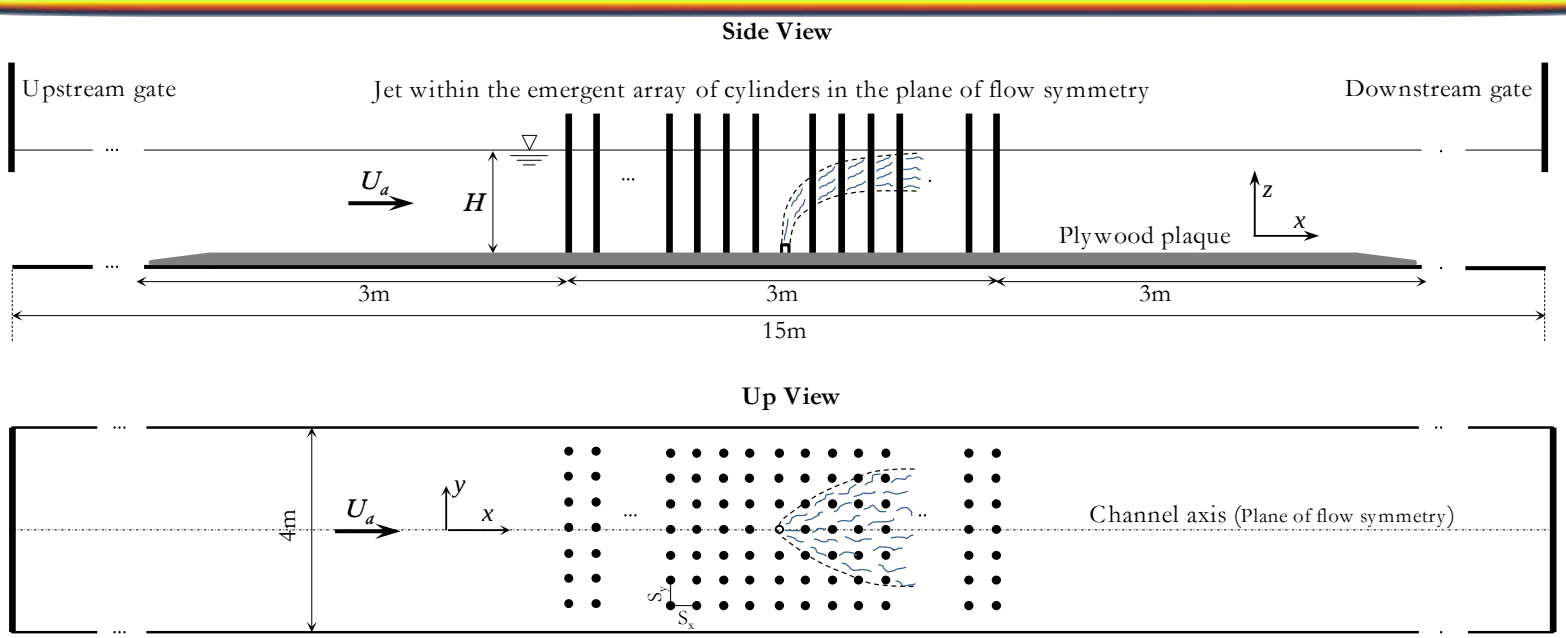
ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) – Vectrino 200Hz

+

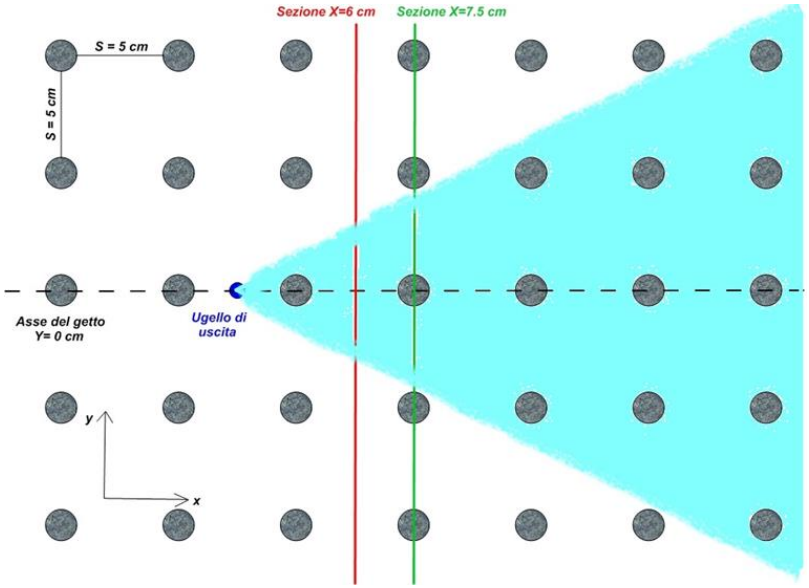
CollectV (Software di acquisizione)

Misure puntuali delle tre componenti della velocità

Schema generale del canale con il getto



Getto immesso dal fondo del canale.



Metodologia

Effetto della vegetazione sul comportamento del getto.

FASE 1

Canale

Getto

~~Vegetazione~~

FASE 2

Canale

~~Getto~~

Vegetazione

FASE 3

Canale

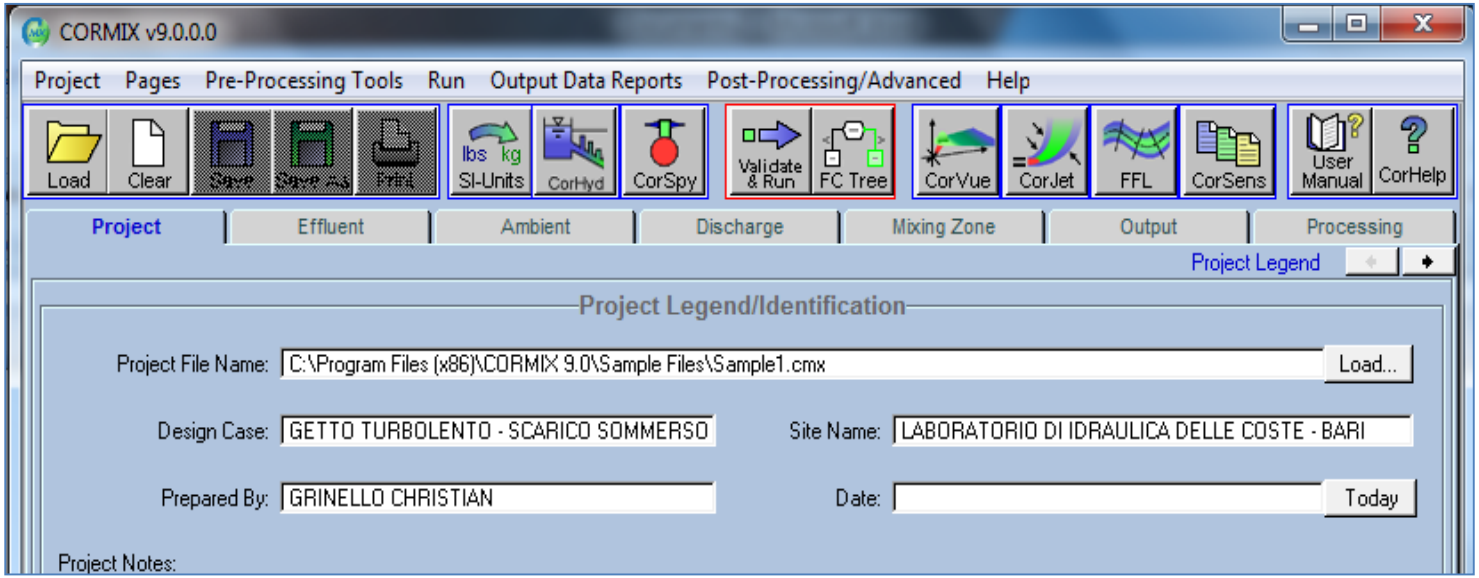
Getto

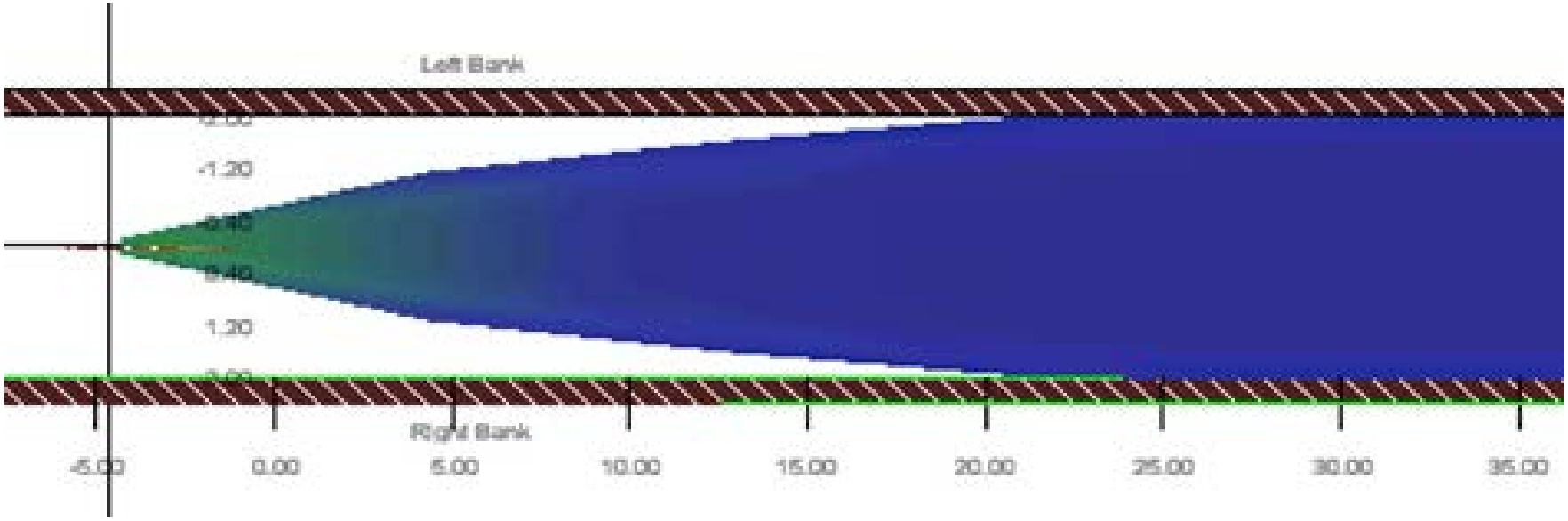
Vegetazione

Effetti

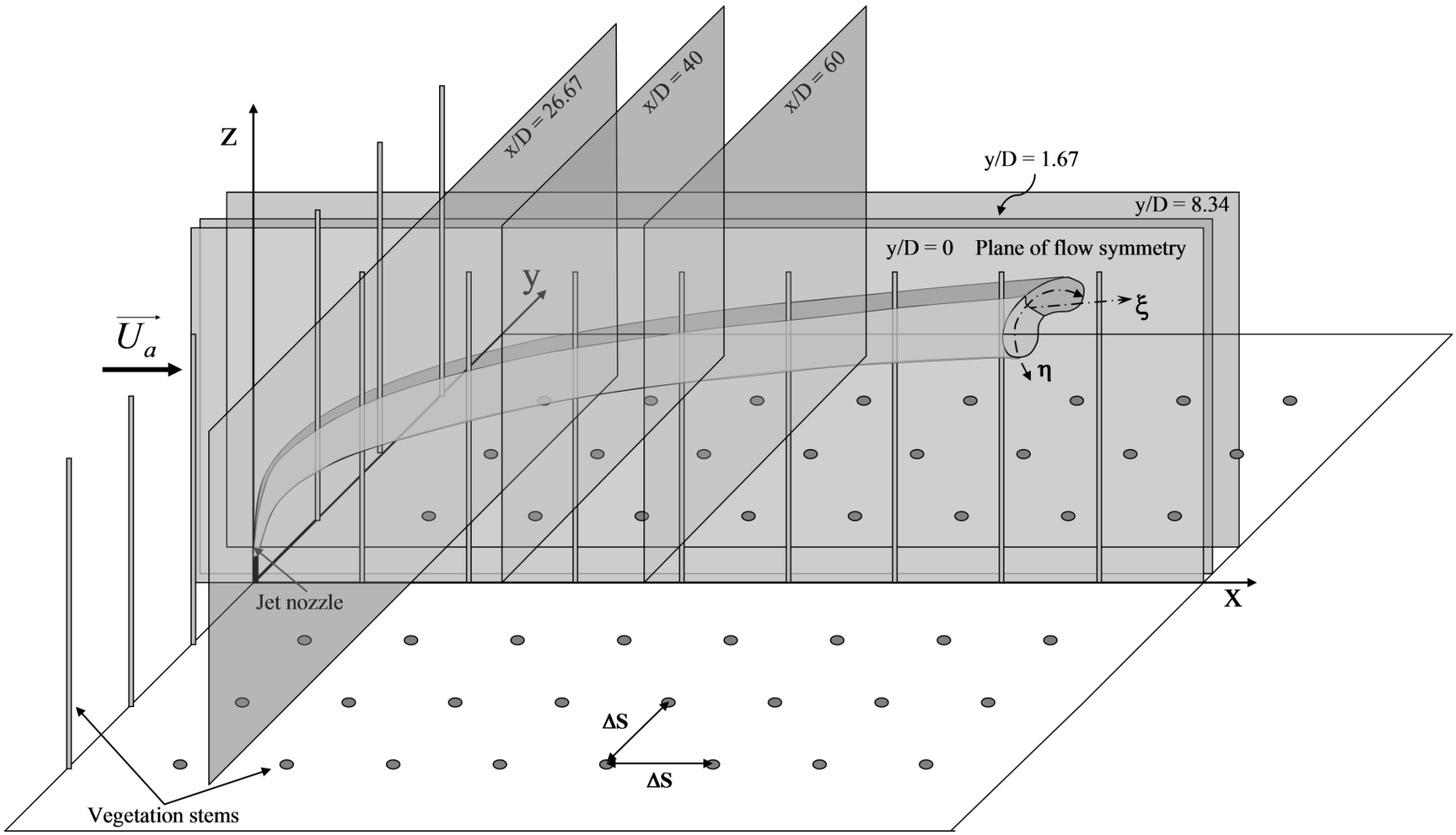
Simulazione numerica

FASE 1





Misure sperimentali



Misure sperimentali

	Prove	H (cm)	U_a (ms^{-1})	U_0 (ms^{-1})	T (°C)	r_{ja} (-)	Fr_a (-)	Fr_0 (-)	Re_a (-)	Re_0 (-)
Canale Getto	CJ1	37	0.16	5.90	11.3	37.36	0.083	34.38	16036	13845
	CJ2	30	0.19	5.90	14.9	30.29	0.113	34.38	20383	15437
	CJ3	37	0.16	3.93	16.7	24.91	0.083	22.92	18802	10822
	CJ4	30	0.19	3.93	15.5	20.20	0.113	22.92	20733	10468
Canale Vegetazione	CV1	37	0.16	#	22.0	#	0.083	#	21517	#
	CV2	30	0.19	#	24.0	#	0.113	#	25698	#
Canale Getto Vegetazione	CJV1	37	0.16	5.90	25.0	37.36	0.083	34.38	23054	19904
	CJV2	30	0.19	5.90	25.0	30.29	0.113	34.38	26282	19904
	CJV3	37	0.16	3.93	28.0	24.91	0.083	22.92	24591	14154
	CJV4	30	0.19	3.93	25.0	20.20	0.113	22.92	26282	13270

H: altezza dell'acqua nel canale,

U_a: velocità della corrente nel canale,

U_0: velocità iniziale del getto,

T: temperatura dell'acqua,

$r_{ja}=U_0/U_a$: rapporto di velocità,

Fr_a: numero di Froude della corrente nel canale,

Fr_0: numero di Froude iniziale del getto,

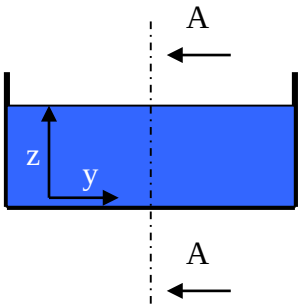
Re_a: numero di Reynolds della corrente nel canale,

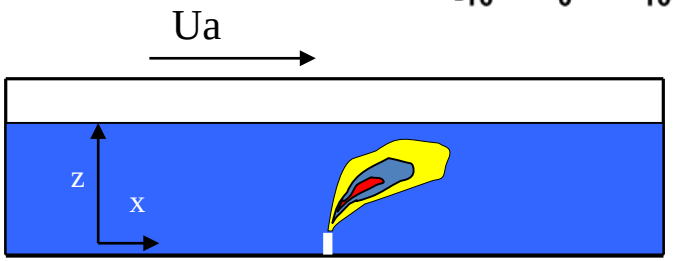
Re_0 : numero di Reynolds iniziale del getto.

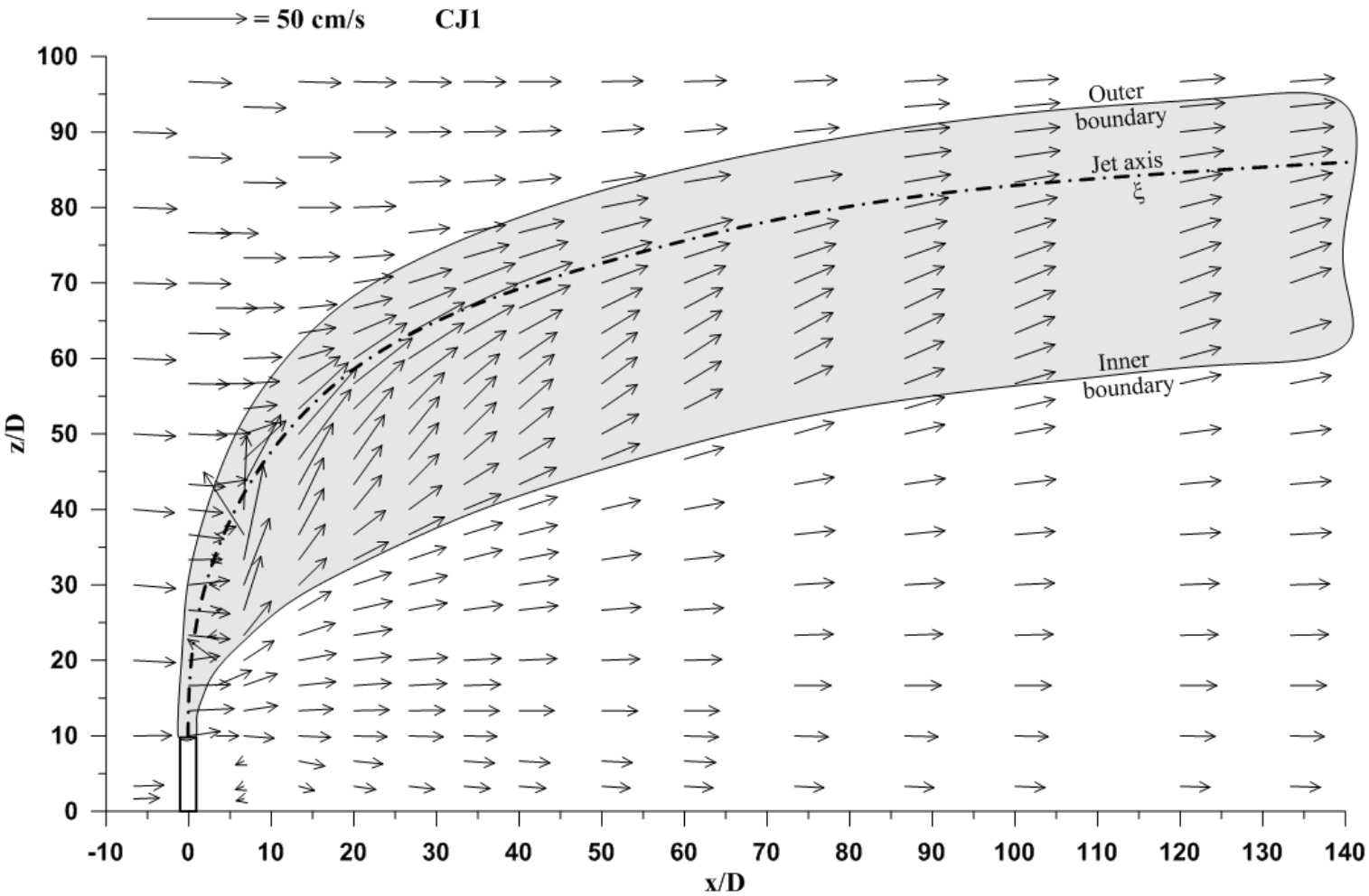
Risultati sperimentali: Penetrazione verticale del getto

FASE 1

$$\sqrt{\left(U^2 + W^2\right)}$$



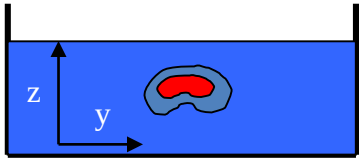


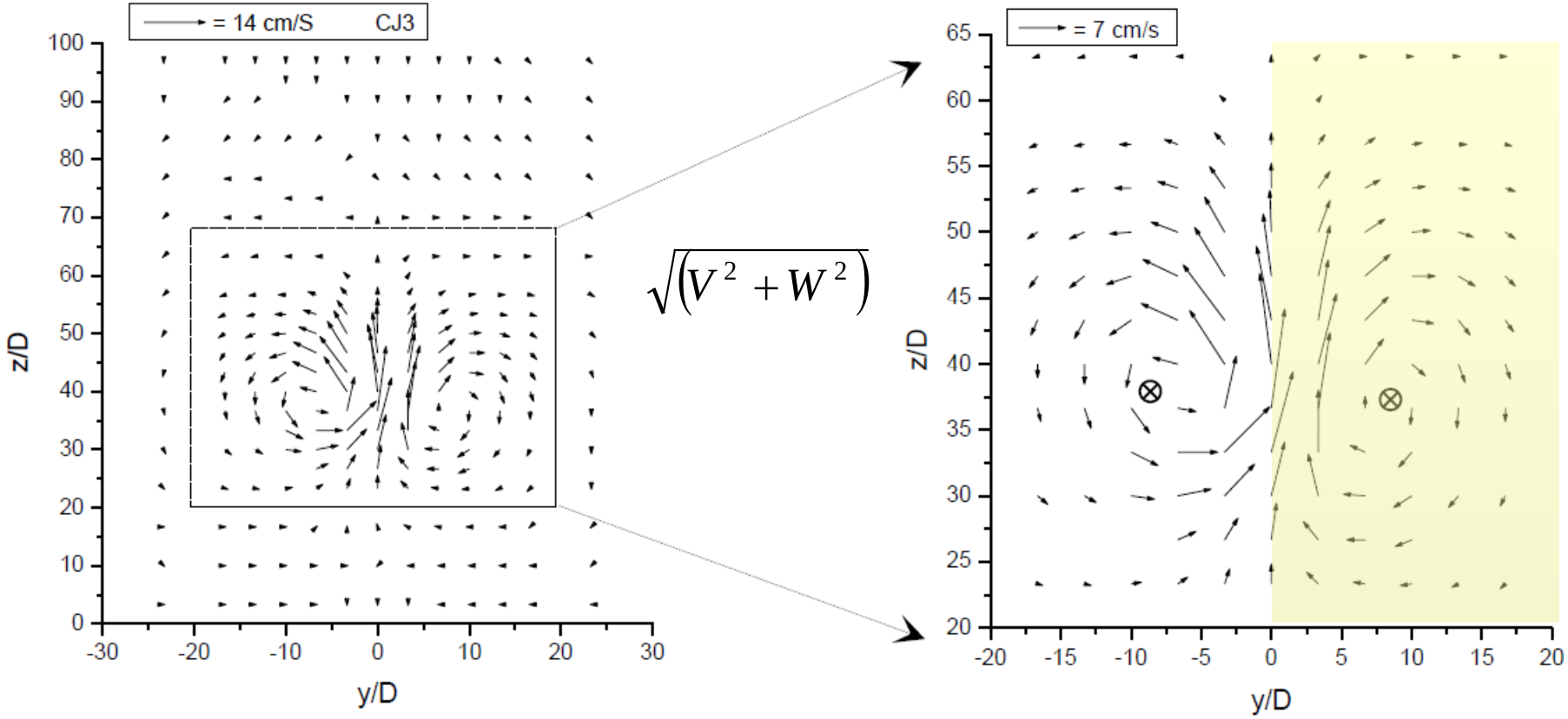


Risultati sperimentali: Sezione trasversale del getto

FASE 1

Vortici con rotazione opposta (CRVP)





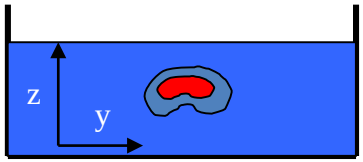
$$\sqrt{\left(V^2 + W^2\right)}$$

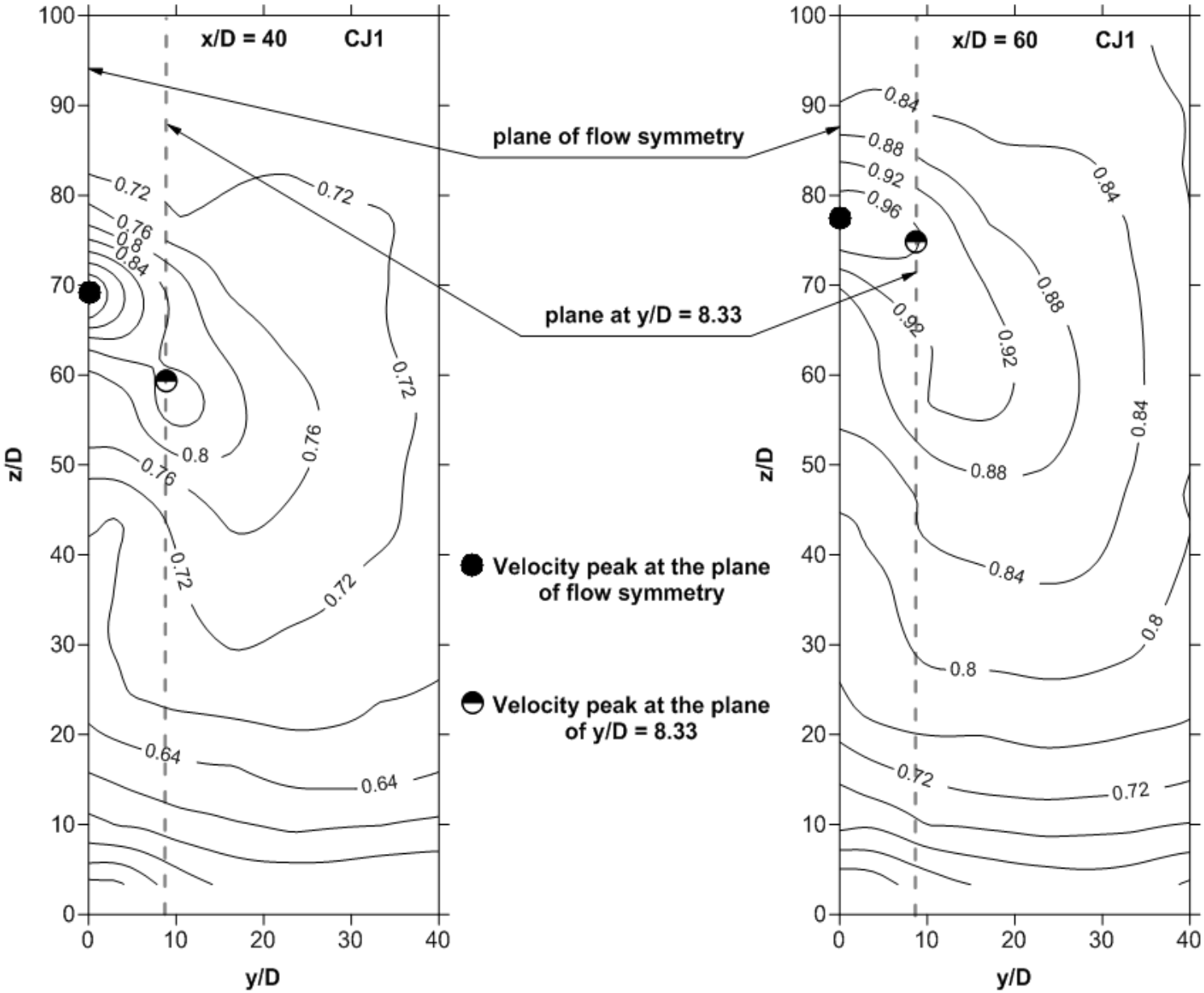
Risultati sperimentali: Sezione trasversale del getto

FASE 1

$$\omega_x = \frac{\partial V}{\partial z} - \frac{\partial W}{\partial y}$$

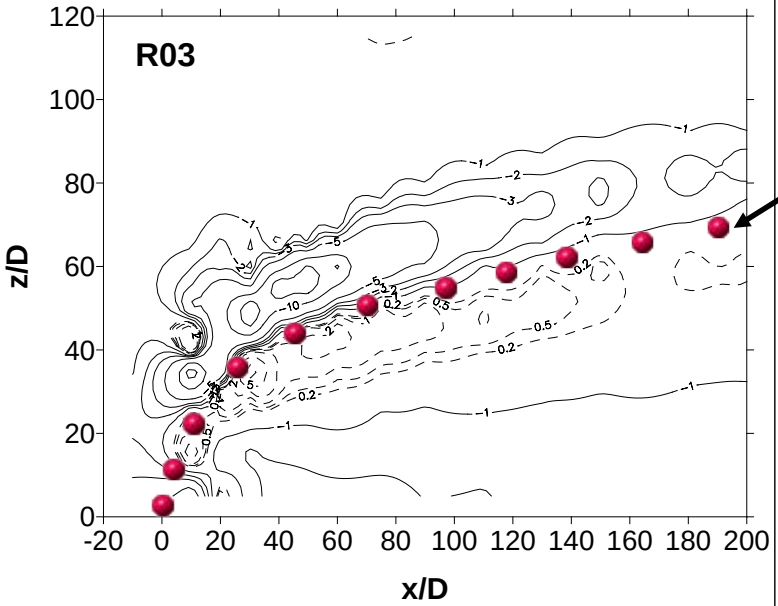
Forma a **rene**

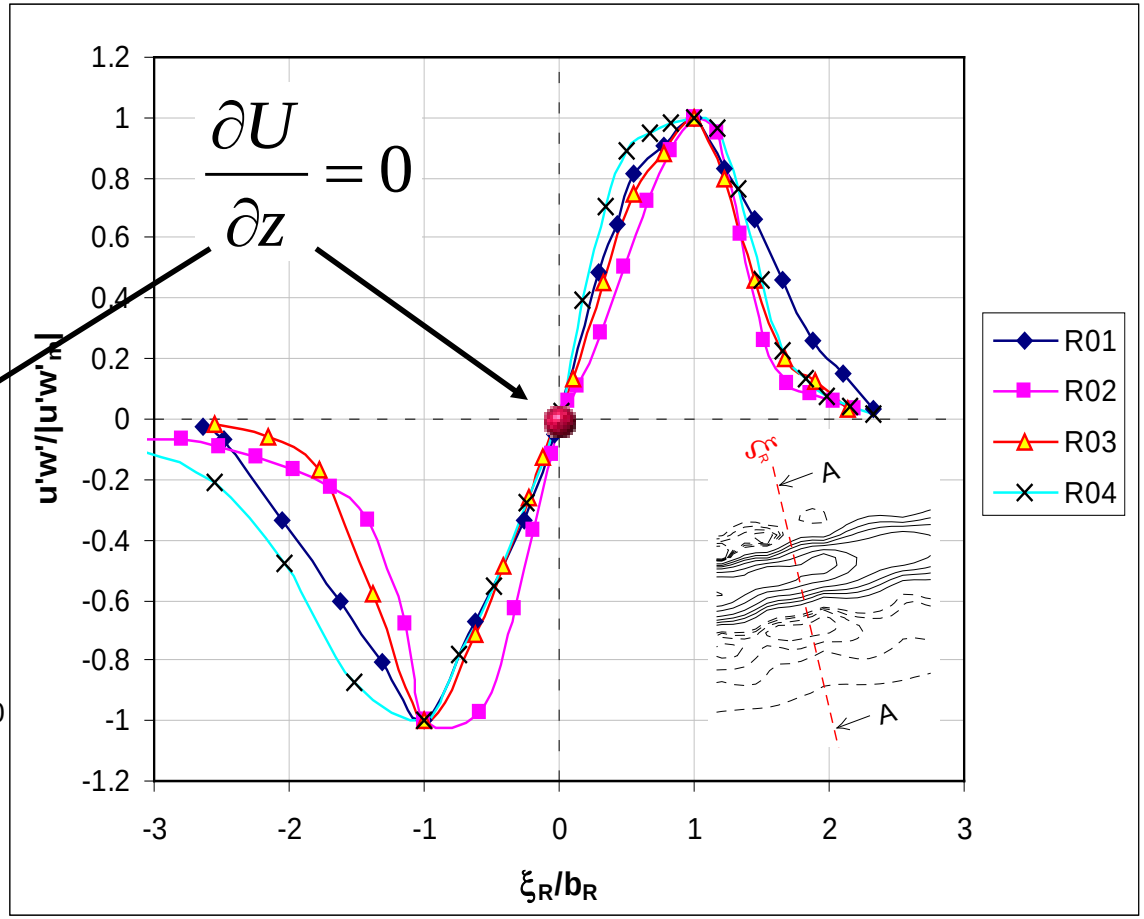




Risultati sperimentali: Turbolenza

FASE 1



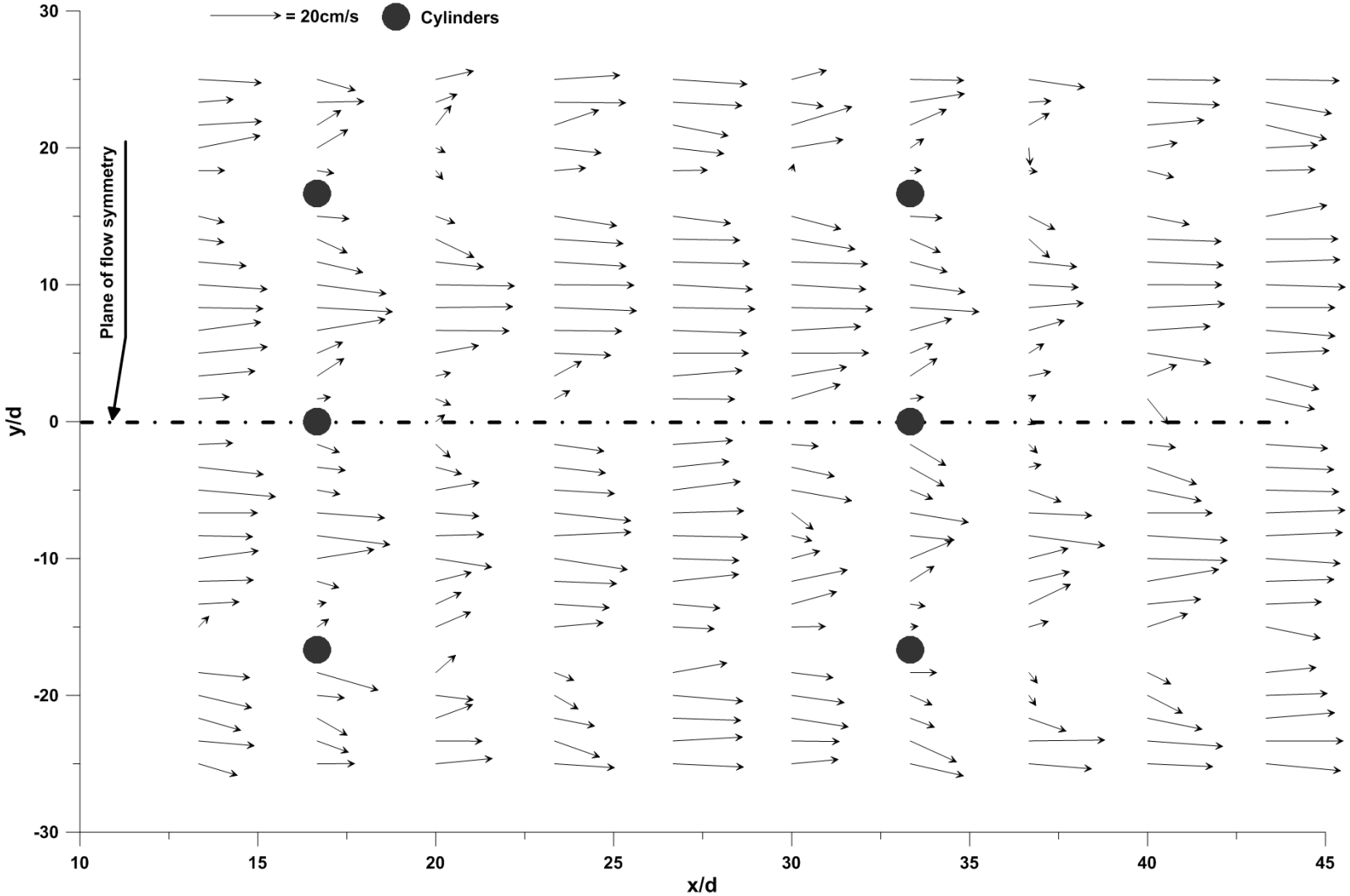


b_R è la distanza dell'asse del getto ξ_R, dove $-\overline{u'w'} = 0$, al punto dove gli sforzi di Reynolds sono massimi.

Risultati sperimentali: Effetto della vegetazione

FASE 2

Incremento della dispersione laterale

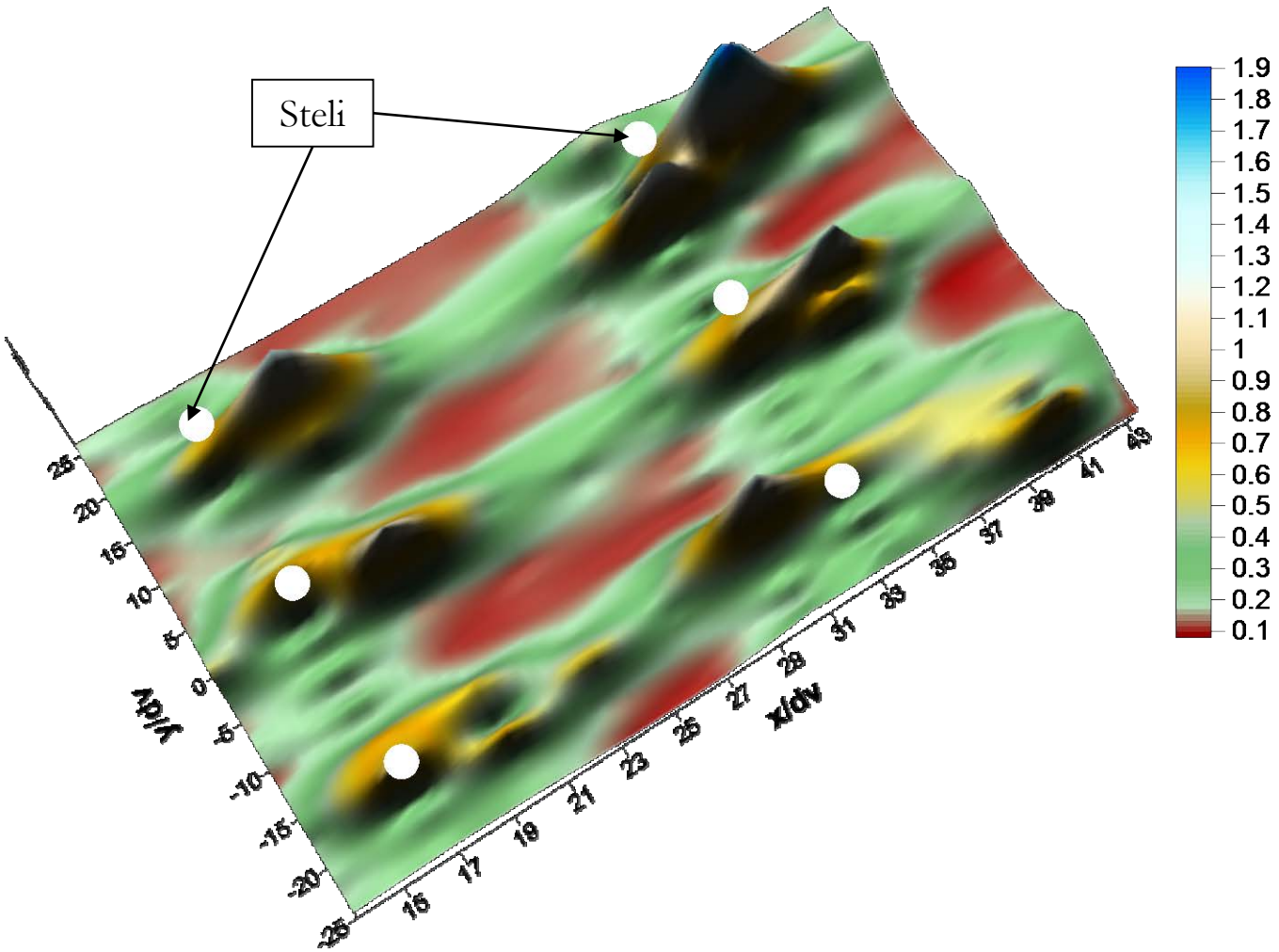


Risultati sperimentali: Effetto della vegetazione

FASE 2

R05

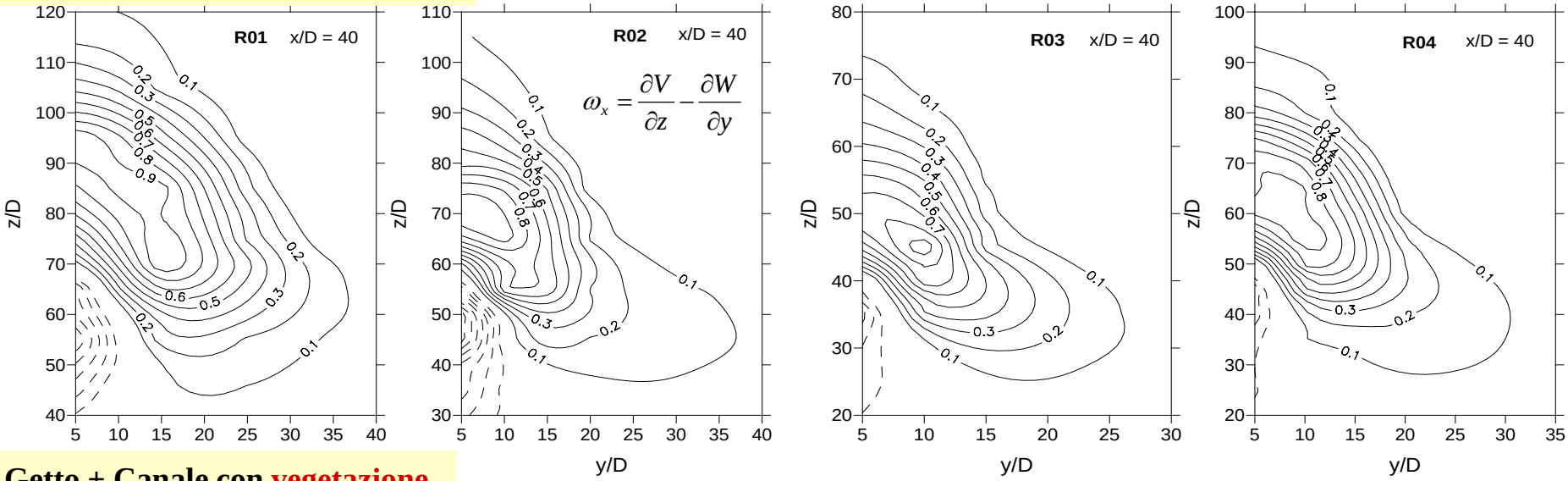
$z/H = 0.45$



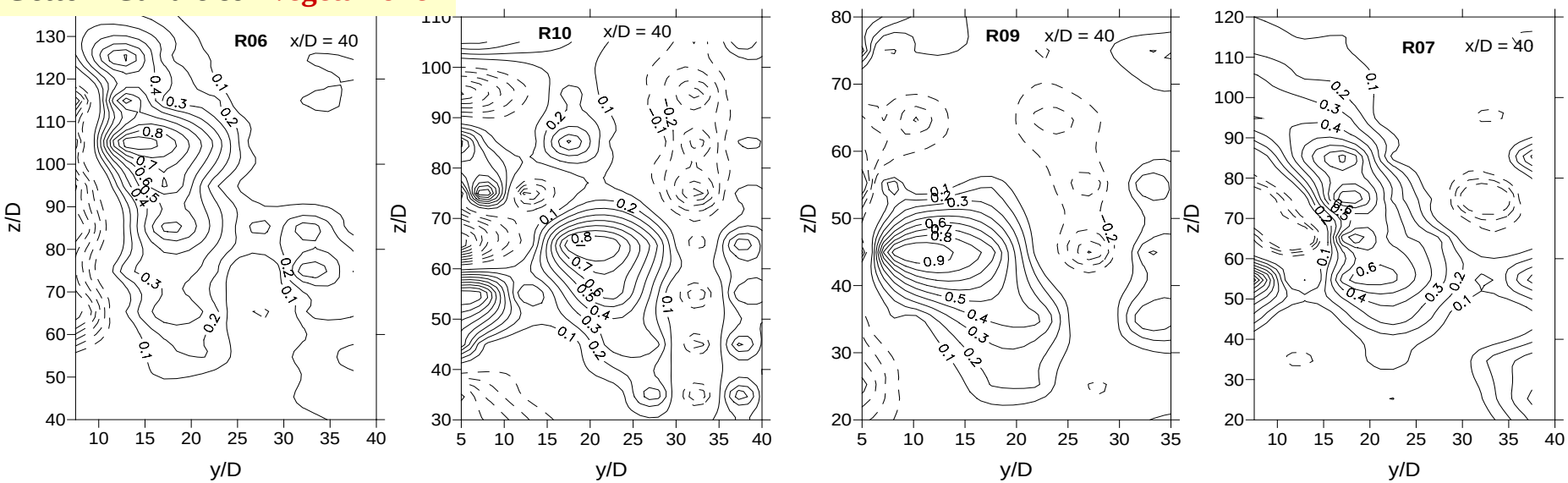
Formazione delle **scie** prodotte dai singoli steli

FASE 3 Risultati sperimentali: Effetto della vegetazione sul getto

Getto + Canale senza vegetazione

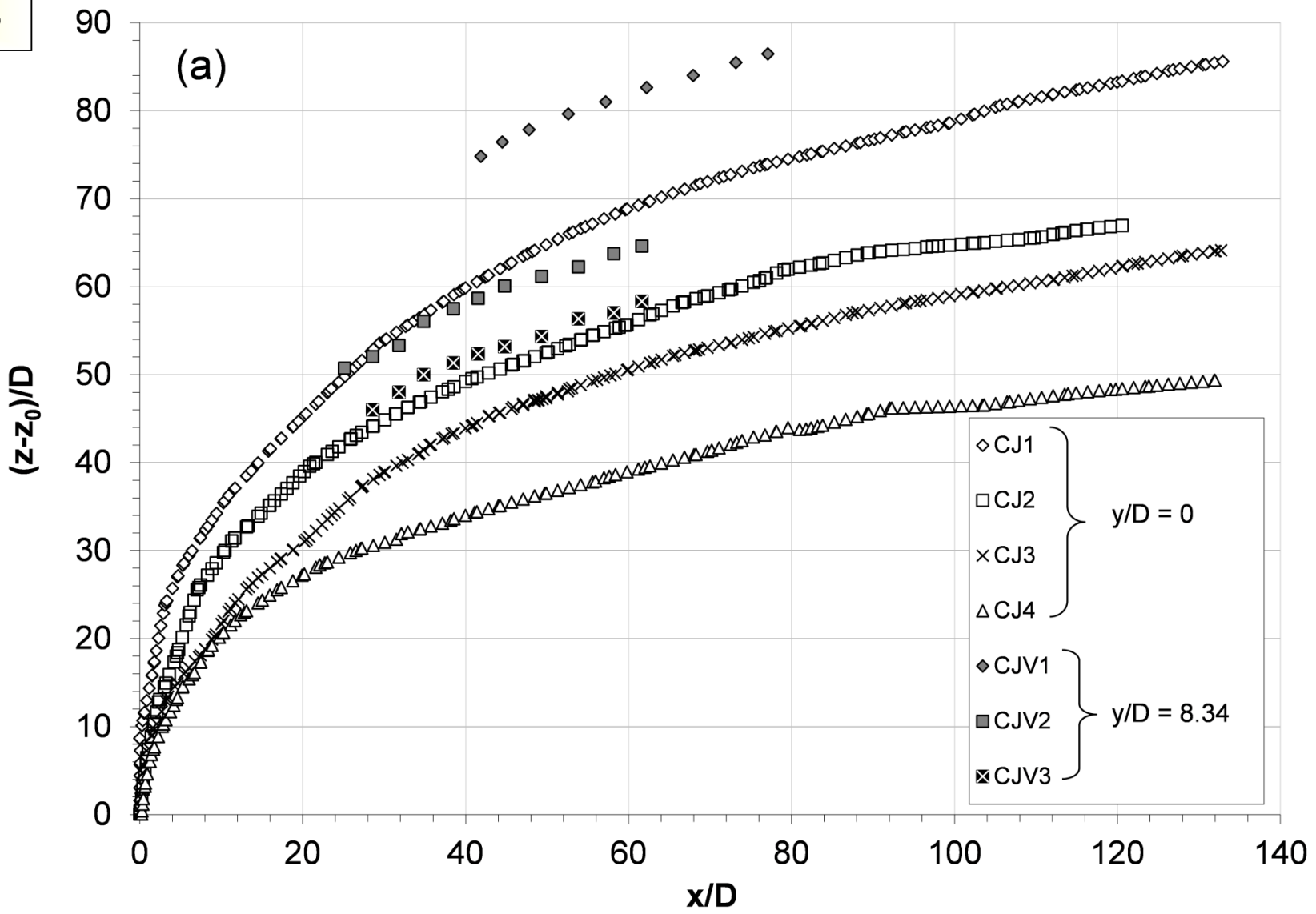


Getto + Canale con vegetazione

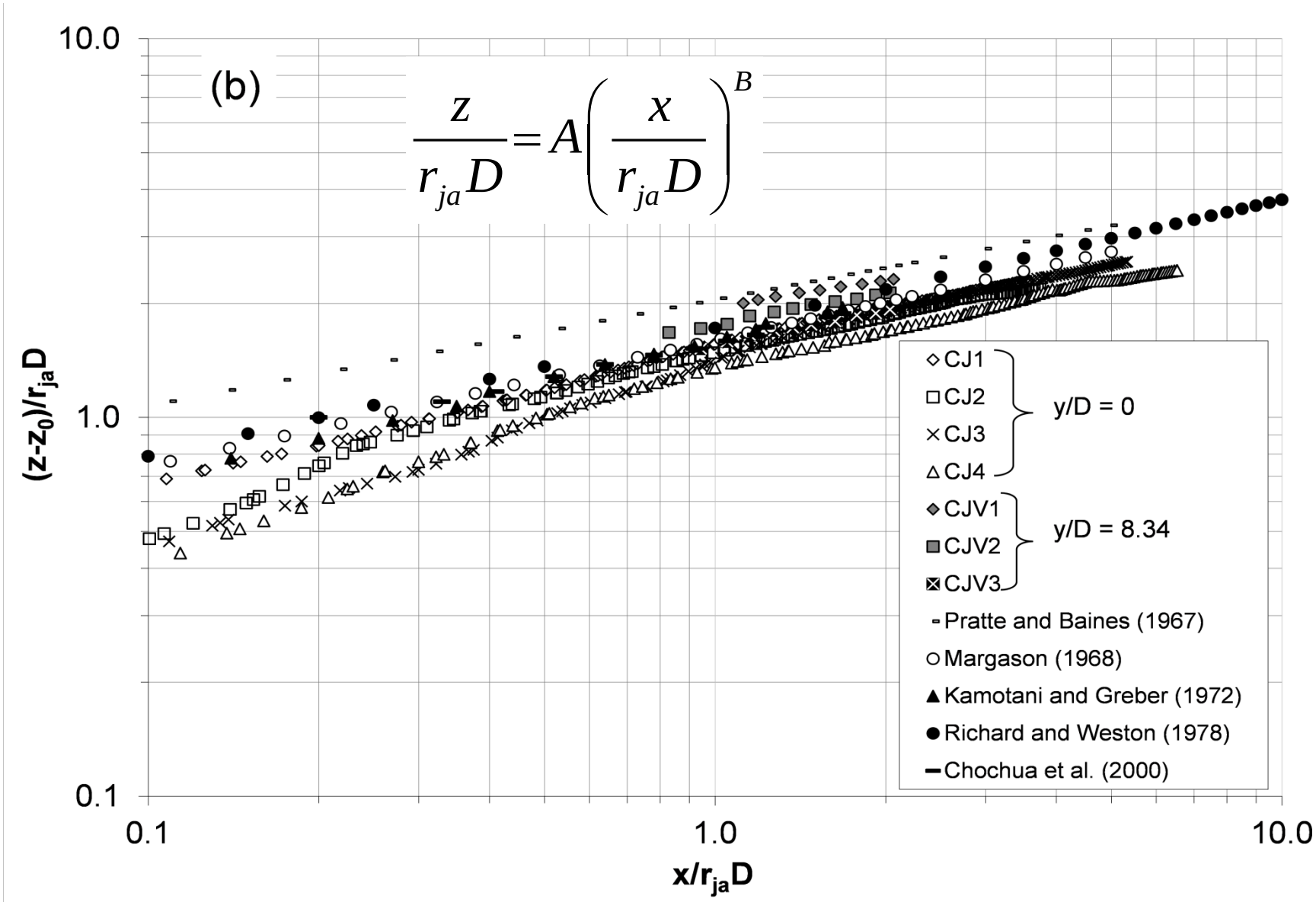


Risultati sperimentali: Penetrazione del getto

FASE 3



Risultati sperimentali: Effetto della vegetazione sul getto



Conclusioni

- Per **getti** scaricati in un **canale non ostruito**, si sono ottenuti i seguenti risultati:
  - ✓ formazione dei vortici con rotazione opposta (CRVP);
  - ✓ la **forma** a **rene** della **sezione trasversale** del **getto**;
  - ✓ maggiore **inflessione** del **getto**.

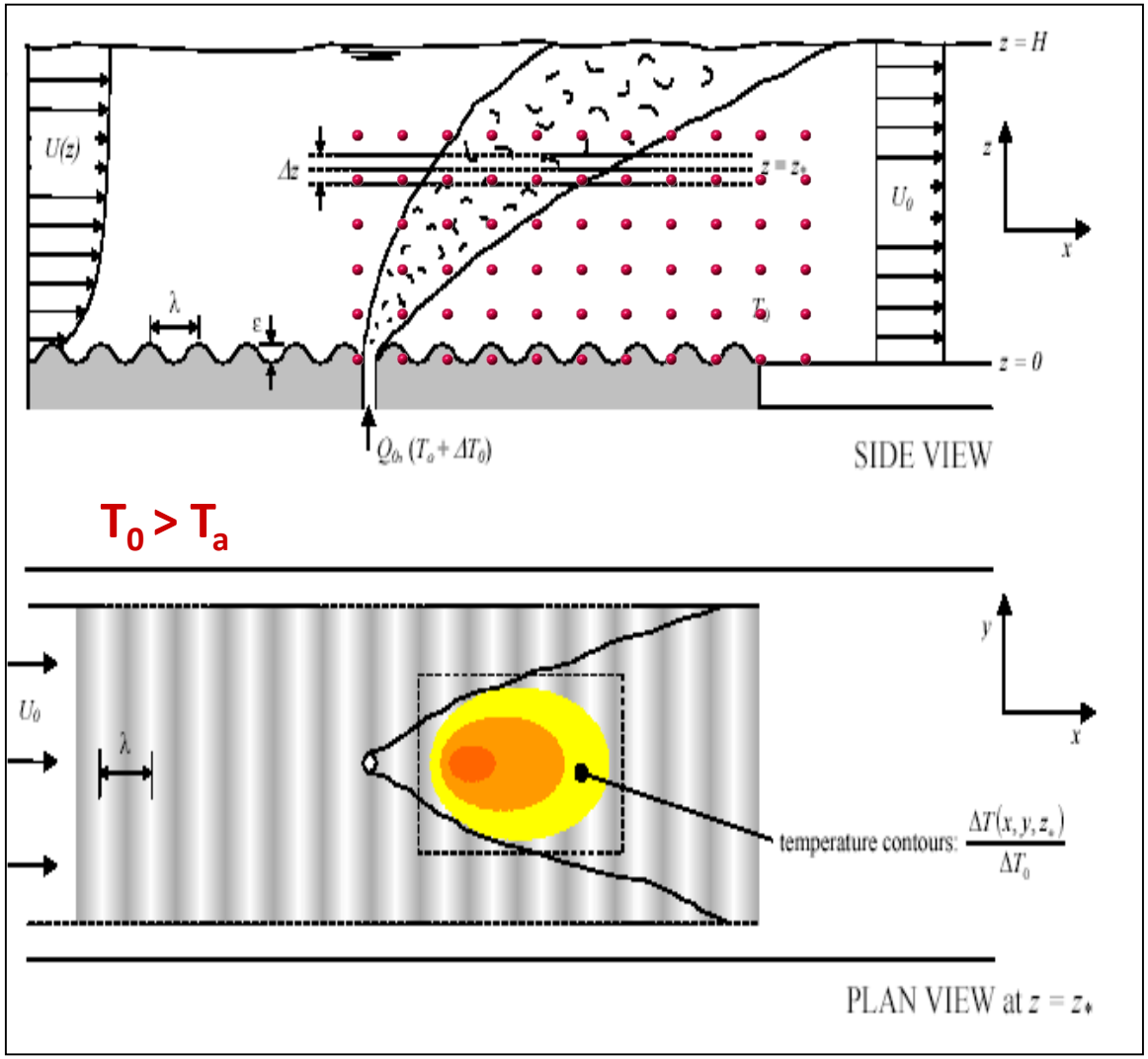
(Rajaratnam, 1976; Cortelezzi & Karagozian, 2001; Ben Meftah & Mossa, 2013, 2015)

- La **presenza** di **vegetazione** ha condotto ai seguenti risultati:
  - ✓ **aumenta** la **resistenza** al moto, riducendo la velocità media della corrente;
  - ✓ **aumenta** l'**intensità** di turbolenza;
  - ✓ favorisce la **dispersione laterale** della corrente.

Conclusioni

- Per **getti** scaricati in **canali ostruiti** si osserva:
  - ✓ un **aumento** della **penetrazione** verticale del **getto** con il flusso ambiente;
  - ✓ un **maggiore allargamento** del **getto** nel corpo idrico recettore → maggiore dispersione laterale;
  - ✓ la **forma** a **rene** e i vortici (**CRVP**) scompaiono e si trasformano in molteplici vortici, di forme irregolari;
  - ✓ l'aumento della **turbolenza** dovuto alla presenza della vegetazione favorisce una maggiore **diluizione**.

Getti in una corrente con presenza di fondali ondulati



Getti in una corrente con presenza di fondali ondulati

Experimental conditions

T_a: temperatura ambientale,

T_0: temperatura del getto,

Q_0: portata del getto,

$\Delta T_o = T_o - T_a$

λ : lunghezza dell'onda,

ε : ampiezza dell'onda.

Test	T_a (°C)	T_0 (°C)	Q_0 (l/min)	ΔT_o (°C)	λ (mm)	ε (mm)
T01	26	51	1.6	25	0	0
T02	27	62	1.6	35	0	0
T03	26	61	2.3	35	0	0
T04	27	52	2.3	25	0	0
T05	27	52	2.3	25	76	18
T06	27	62	2.3	35	76	18
T07	28	53	1.6	25	76	18
T08	25	60	1.6	35	76	18
T09	23	48	1.6	25	146	48
T10	19	54	1.6	35	146	48
T11	18	43	2.3	25	146	48
T12	18	53	2.3	35	146	48
T13	16	41	2.3	25	177	51
T14	15	50	2.3	35	177	51
T15	15	50	1.6	35	177	51
T16	17	42	1.6	25	177	51

Getti in una corrente con presenza di fondali ondulati

$$\Theta = f(Q_0, M_0, J_0, U_a, \zeta, z, \varepsilon, \lambda)$$

$$L_Q = \frac{Q_0}{M_0^{1/2}} \qquad L_M = \frac{M_0^{3/4}}{J_0^{1/2}} \qquad L_m = \frac{M_0^{1/2}}{U_a} \qquad L_q = \frac{J_0}{U_a^{3}} \qquad L'_q = \frac{J_0^{1/4}}{\zeta^{3/8}}$$

$$\Theta^* = f\left(\frac{z}{L_m}, \frac{L_Q}{L_m}, \frac{L_q}{L_m}, \frac{L'_q}{L_m}, \frac{\varepsilon}{L_m}, \frac{\lambda}{L_m}\right)$$

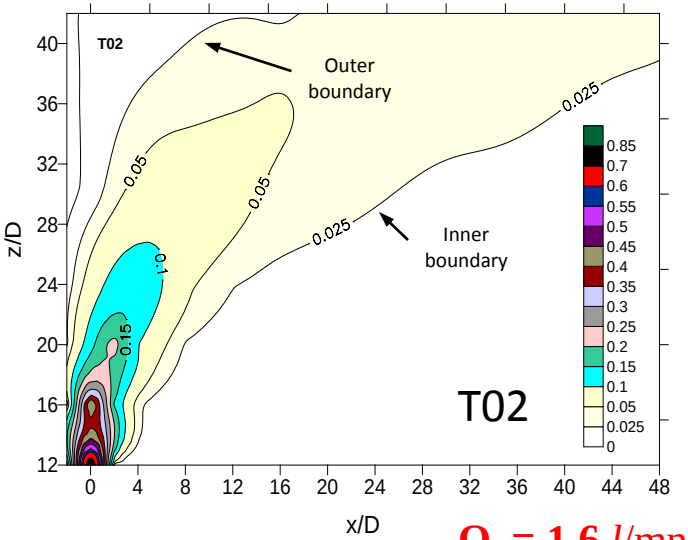
Θ : General dependent variable,
Q_o: Jet discharge,
M_0 : Jet momentum flux,
J_0 : Kinematic buoyancy flux,

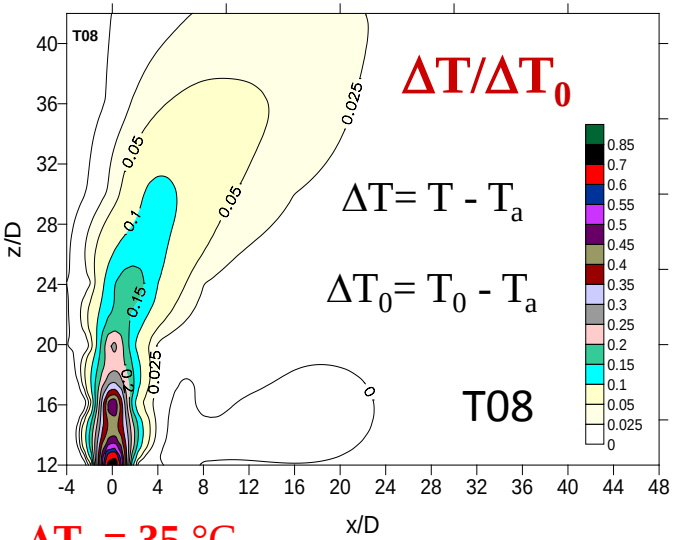
U_a : Ambient discharge,
ζ : Ambient buoyancy gradient,
Z : Vertical position,
ε : Wave-amplitude,
λ : Wave-length,

Getti in una corrente con presenza di fondali ondulati

$\lambda/L_m = 0$

$\varepsilon/L_m = 0$





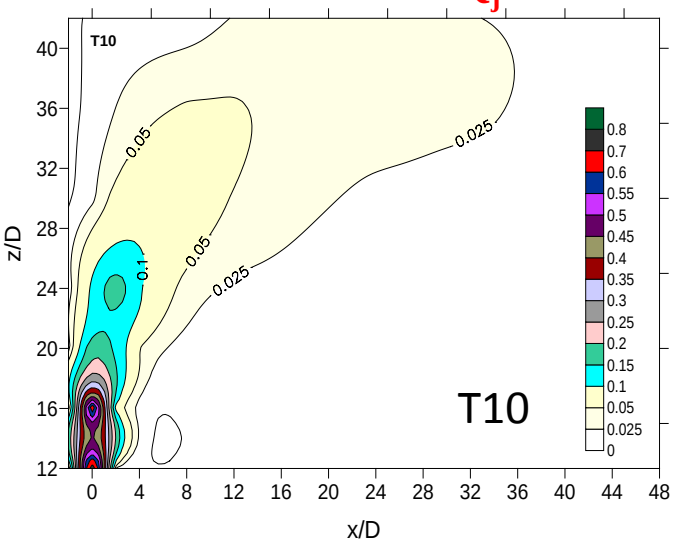
$\lambda/L_m = 1.07$

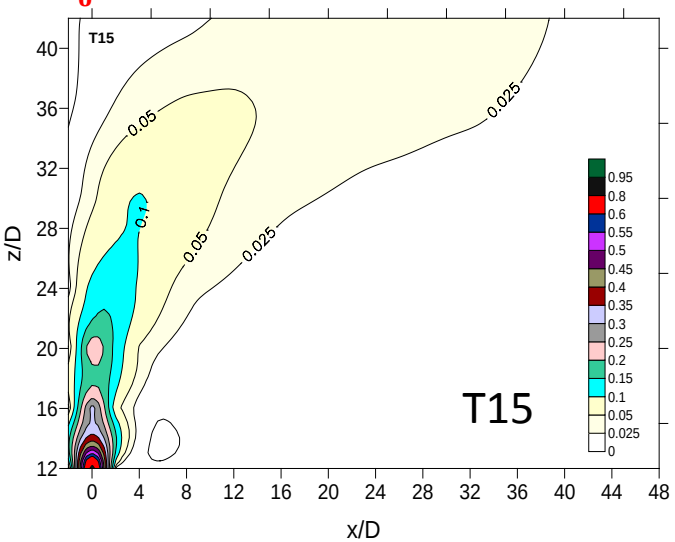
$\varepsilon/L_m = 0.25$

$Q_j = 1.6\ l/mn$; $\Delta T_o = 35\ °C$

$\lambda/L_m = 2.05$

$\varepsilon/L_m = 0.68$



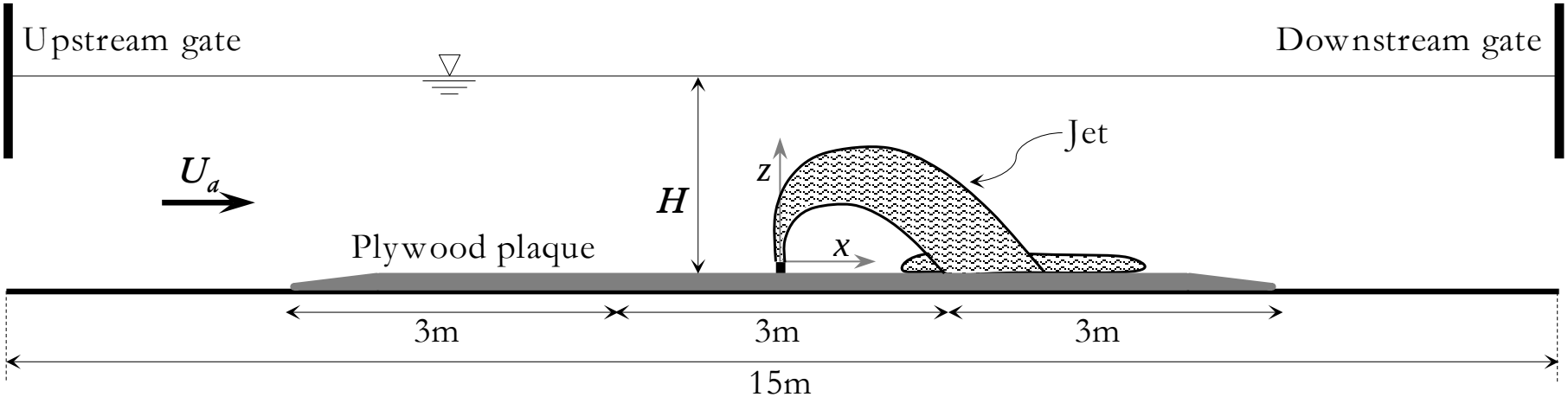


$\lambda/L_m = 2.49$

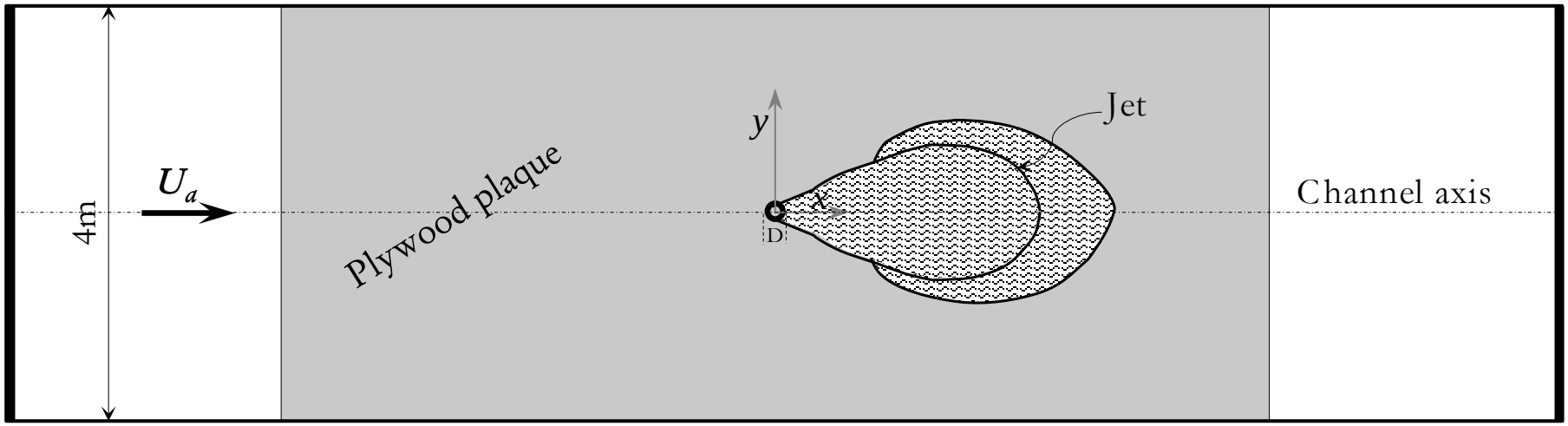
$\varepsilon/L_m = 0.72$

Getti di Galleggiamento

Side View



Up View



Getti di Galleggiamento

Getti di Galleggiamento

VELOCITÀ	Prove	PL	PT	H (cm)	U_a (cms^{-1})	U_0 (cms^{-1})	T (°C)	r_{ja}	Q_a (l/s)	Q_0 (l/min)	D (cm)
CANALE CON IL GETTO	V5	√	√	36	4.17	31.83	13,55	7.64	60	1.5	1
	V6	√	√	36	4.17	38.20	16,45	9.17	60	1.8	1
	V7	√	√	36	4.17	44.56	15,38	10.69	60	2.1	1
	V8	√	—	36	4.17	50.93	13,96	12.22	60	2.4	1
	V9	√	—	28	8.93	31.83	13,17	3.56	100	1.5	1
CANALE SENZA GETTO	V5	√	—	36	4.17	—	13,55	—	60	—	1
	V6	√	—	36	4.17	—	16,45	—	60	—	1
	V7	√	—	36	4.17	—	15,38	—	60	—	1
	V8	√	—	36	4.17	—	13,96	—	60	—	1
	V9	√	—	28	8.93	—	13,17	—	100	—	1
SALINIITÀ	**Prove**	**PL**	**PT**	**H (cm)**	**U_a (ms^{-1})**	**U_0 (ms^{-1})**	**T (°C)**	**r_{ja}**	**Q_a (l/s)**	**Q_0 (l/min)**	**D (cm)**
CANALE CON IL GETTO	S5	√	√	36	—	—	15,7	—	60	1.5	1
	S6	√	—	36	—	—	15,8	—	60	1.8	1
CANALE SENZA GETTO	S5	√	—	36	—	—	15,7	—	60	—	1
	S6	√	—	36	—	—	15,8	—	60	—	1

Getti di Galleggiamento

Sonda Conducibilità MSCTI

Diluizione del getto nel piano verticale lungo l'asse del getto

$$\Delta s = \frac{s - s_a}{s_0 - s_a}$$

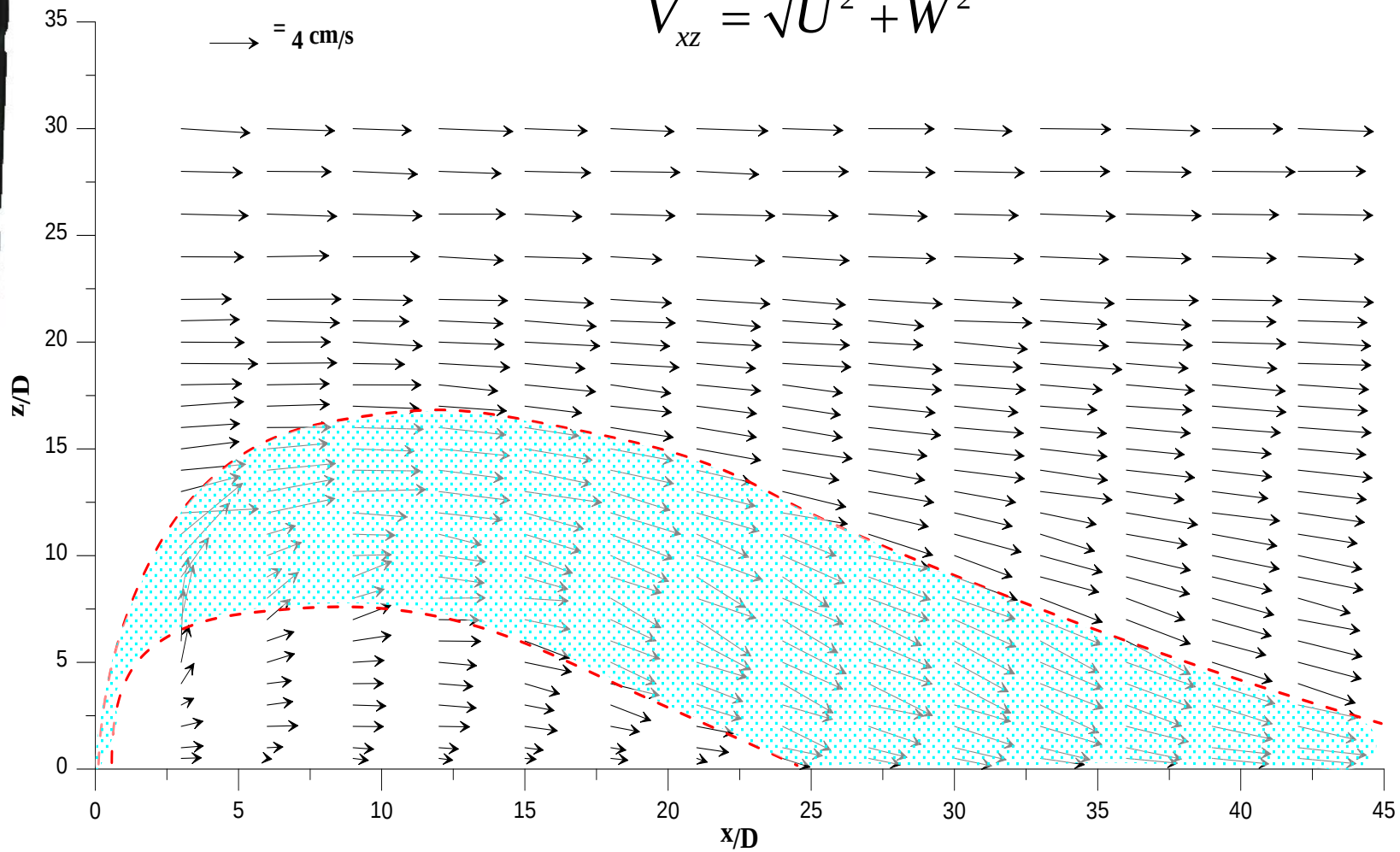
S = salinità misurata nel punto di osservazione;
S_a = salinità del corpo ricettore;
S_0 = salinità del getto.

Getti di Galleggiamento

ADV-Vectrino

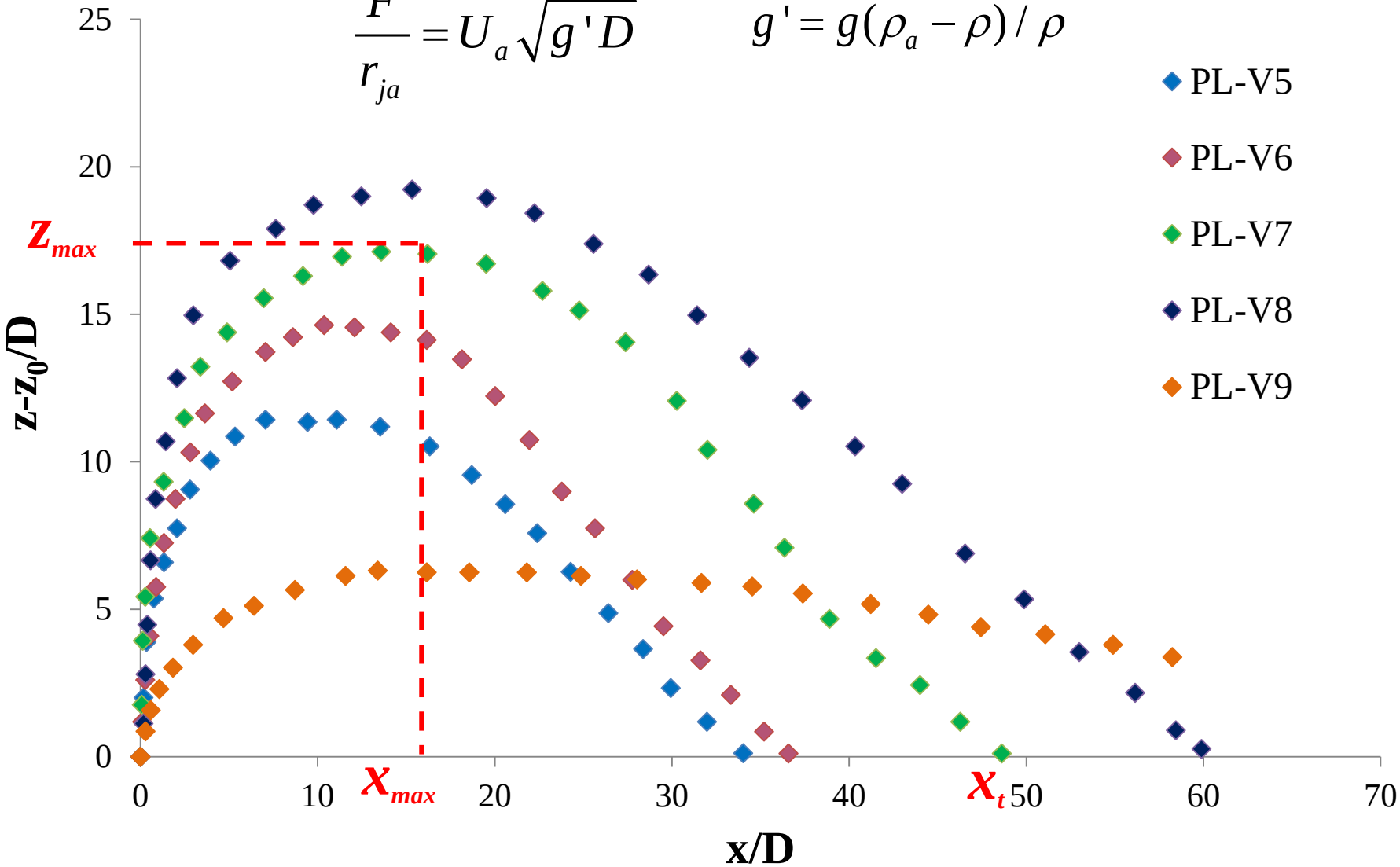
Campo di velocità nel piano verticale lungo l'asse del getto

$$V_{xz} = \sqrt{U^2 + W^2}$$

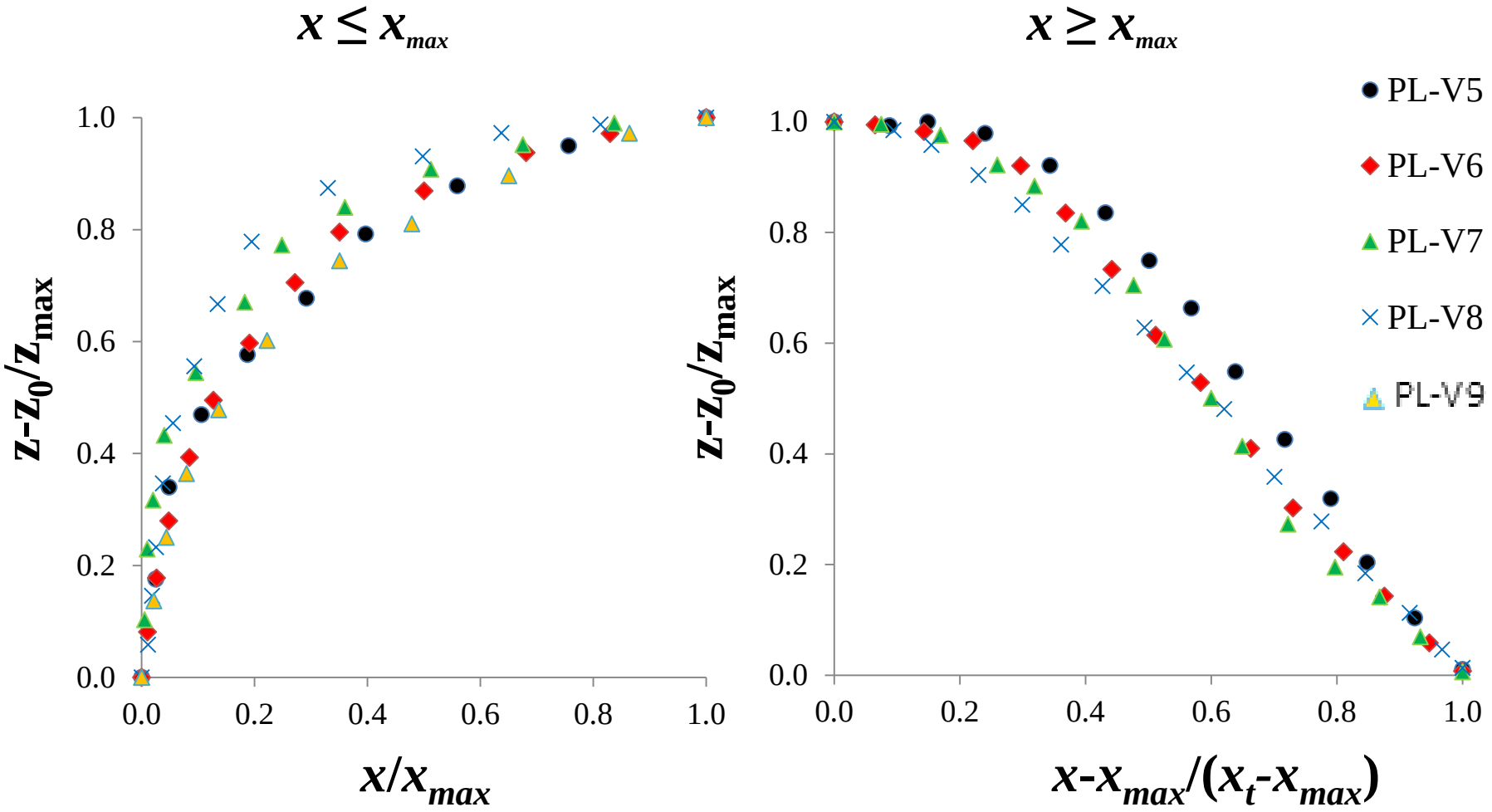


Getti di Galleggiamento

$$\frac{F}{r_{ja}} = U_a \sqrt{g'D} \qquad g' = g(\rho_a - \rho)/\rho$$



Getti di Galleggiamento



Lavori pubblicati sull'argomento

Ben Meftah M., Mossa M. "*Jets in an obstructed crossflow*". Journal of Fluid Mechanics, 2016. (under revision).

Ben Meftah M., Mossa M. "*Experimental Study of a Vertical Jet in an Obstructed Crossflow*". Journal of Environmental Management 164, 19-31. doi:10.1016/j.jenvman.2015.08.035, 2015.

Ben Meftah M., Mossa M. "*Prediction of channel flow characteristics through square arrays of emergent cylinders* ". Physics of Fluids Vol. 25, No. 4, 045102-1-045102-21, doi: 10.1063/1.4802047, 2013.

Malcangio D., Ben Meftah M., Chiaia G., De Serio F., Mossa M., Petrillo A.F., "*Experimental Studies on Vertical Dense Jets in a Crossflow*". River Flow 2016, the 8th International Conference on Fluvial Hydraulics, Saint Louis Mo., USA, July 12 - 15, 2016.

Malcangio D., Ben Meftah M., Mossa M., "*Physical modelling of buoyant effluents discharged into a cross flow*". 2016 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, Bari, Italy, June 13 - 14, 2016.

Ben Meftah M., De Serio F., Malcangio D. "*Modeling of wastewater discharge into natural water bodies*" Research contributions, 1st Workshop on the State of the Art and Challenges of Research Efforts at Poliba, Bari (Italy) December 3-5, Vol. C1, 3-7, ISBN: 978-88-492-2966-0, 2014.

Amoruso V., Ben Meftah M., Giancarlo C., Malcangio D., Petrillo A. F. "*Modeling of buoyant jets in a cross flow*" Research contributions, 1st Workshop on the State of the Art and Challenges of Research Efforts at Poliba, Bari (Italy) December 3-5, Vol. C1, 189-193, ISBN: 978-88-492-2966-0, 2014.

Ben Meftah M., Malcangio D., Mossa M. "*Vegetation effects on vertical jet structures*". River Flow 2014, the 7th International Conference on Fluvial Hydraulics, Lausanne, Switzerland, September 3 -5, 2014.

Ben Meftah M., De Serio F., Mossa M. "*Flow patterns in a partially vegetated large channel*". 3rd IAHR Europe Congress, Book of Proceedings, 2014, Porto -Portugal, April 14-16, 2014.

Ben Meftah M., Mossa M., Petrillo F.A. "Experimental investigation of a vertical, round, turbulent, momentum jet in a vegetated crossflow". 2nd International Symposium on Shallow Flows, The Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), Hong Kong, December 10-12, 2008.

Ben Meftah M., Mossa M., Petrillo F.A. "Vegetated channel effects on round, vertical, turbulent, momentum jet behaviour". XXXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia (Italia), September 9-12, 2008.

Ben Meftah M., Mossa M., Petrillo F.A. "Round, vertical, turbulent, non-buoyant jet in vegetated channel". Fifth International Symposium on Environmental Hydraulics, ISEH V, Arizona (USA), December 4-7, 2007.

Ben Meftah M., Malcangio D., Mossa M. "Diffusione di getti di densità in presenza di corrente su fondale liscio o corrugato". XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento (Italia), September 07-10, 2004. Volume 1, 29-36, 2004.

Ben Meftah M., Davies P., Malcangio D., Mossa M., Petrillo A. "Turbulence of vertical round buoyant jets in a cross flow". Proceedings of the second international conference on fluvial hydraulics, IAHR River Flow 2004, Napoli (Italia), June 23-25, 2004. Vol. II, 1167-1174, 2004.

Scienziati

+

Legislatori

GRAZIE

Atti normativi utili

Modellistica numerica a servizio del territorio in aree costiere. Casi di studio.

Francesca DE SERIO

DICATECh
Politecnico di Bari

Bari, 8 Aprile 2016

PROBLEMATICA

- ✓ Le aree costiere sono zone sensibili e vulnerabili, pertanto necessitano di un **monitoraggio continuo**, soprattutto se sono presenti scarichi in mare.
- ✓ Tuttavia, disporre di una gran quantità di misure di campo, su zone ampie e periodi temporali estesi, è dispendioso in termini sia economici che di tempo.
- ✓ In quest'ottica i **modelli numerici** si rivelano uno strumento indispensabile

Costituiscono una soluzione rapida e sul lungo periodo meno costosa

EQUAZIONI ALLA BASE DEL MODELLO MATEMATICO

Equazione di continuità

Equazione di conservazione della quantità di moto

Equazione di conservazione della salinità e della temperatura

Equazione di stato

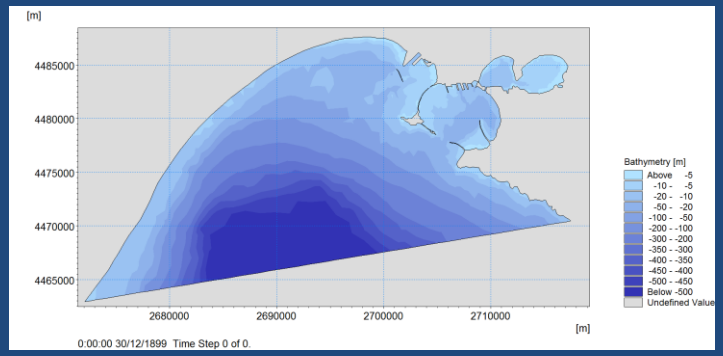
Condizioni al contorno e Condizioni iniziali

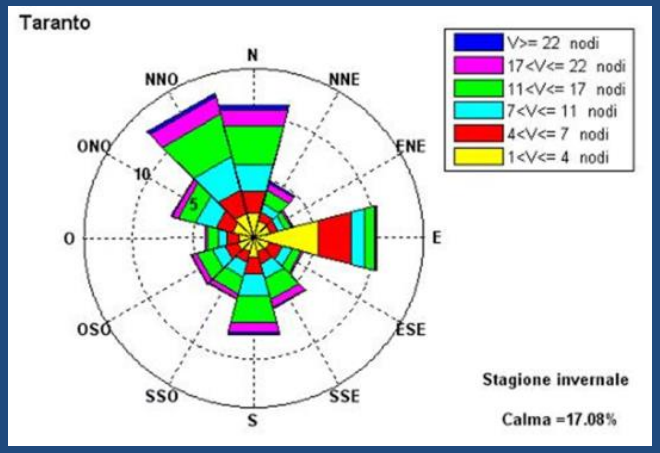
Nell'ambito di diversi progetti e convenzioni (progetto IMCA, progetto RITMARE, convenzioni con ARPA Puglia, AQP, enti locali..) il gruppo di ricerca del DICATECh del Politecnico di Bari ha costituito un

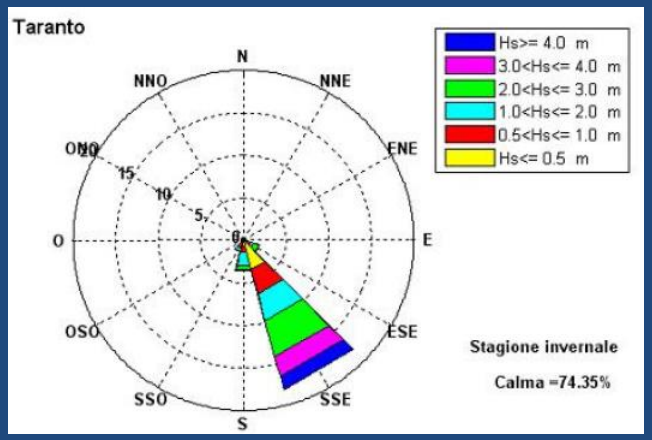
DATABASE DI DATI MISURATI IN CAMPO

CLIMA METEO MARINO: dati vento e onda (Piano Regionale delle Coste)

BATIMETRIA: cartografia IIM, rilievi Autorità Portuale, rilievi del ConISMa







DATABASE DI DATI MISURATI IN CAMPO

CORRENTOMETRIA: campagne condotte in mare nell'area di Bari e Taranto anni 2001-2003, 2006-2007, 2010-2011, 2013-2014

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE SU BARCA

Profilatore acustico Doppler (VM-ADCP) montato su una barca (Nortek AWAC)

Sonda CTD (Idronaut Srl)

- ✓ **Rilievi correntometrici:** frequenza acquisizione 0.5Hz, con DGPS e girobussola
- ✓ Range velocità: ±10m/s orizzontale, ±5m/s verticale; accuratezza 1%; sensibilità 0.1 cm/s
- ✓ **Profilo verticale delle 3 componenti di velocità a varie profondità.**
- ✓ **Contemporaneamente, misure di temperatura e salinità lungo la verticale.**

DATABASE DI DATI MISURATI IN CAMPO

STRUMENTAZIONI FISSE

1. **Stazione METEO-OCEANOGRAFICA** (RD), fissa, comprensiva di: ondametro/correntometro, CTD, stazione meteo, torbidimetro, fluorimetro e sistema di trasmissione dati (Progetto RITMARE e fondi PON R&C 2007-2013)

Installato su una meda gestita dall'Autorità Portuale di Taranto con cui è stata stipulata apposita convenzione (Meda n. 2; 40°27,6' N ; 17°12,9' E)

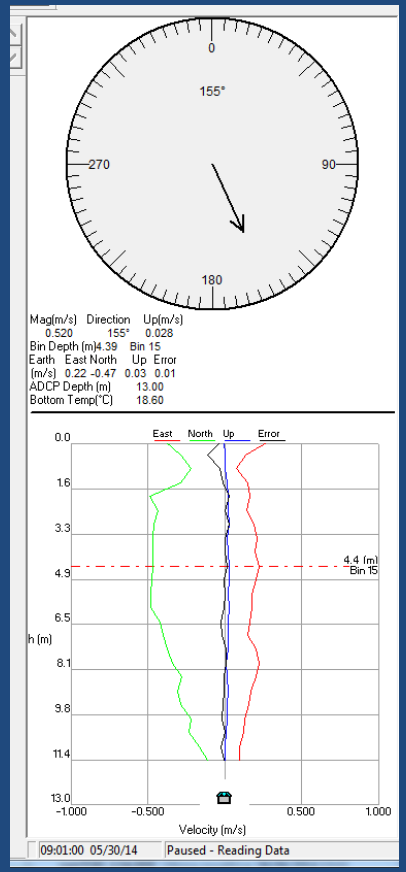
Operativo dal 20 dicembre 2013

http://www.michelemossa.it/stazionemeteo.php

DATABASE DI DATI MISURATI IN CAMPO

STRUMENTAZIONI FISSE

2. **Sistema di monitoraggio correntometrico e ondametrico** (RD), installato nel Canale Navigabile del Mar Piccolo di Taranto. Operativo dal 30 maggio 2014



ADCP: Frequenza di acquisizione di 2 Hz;
Durata di acquisizione 20 min;
Trasduttore 4 raggi
Distanza verticale tra celle 0.5 m
Prima cella di acquisizione alla profondità z = -11.5m

http://www.michelemossa.it/paragITA.php?id=2&id_pag=15&id_parag=372

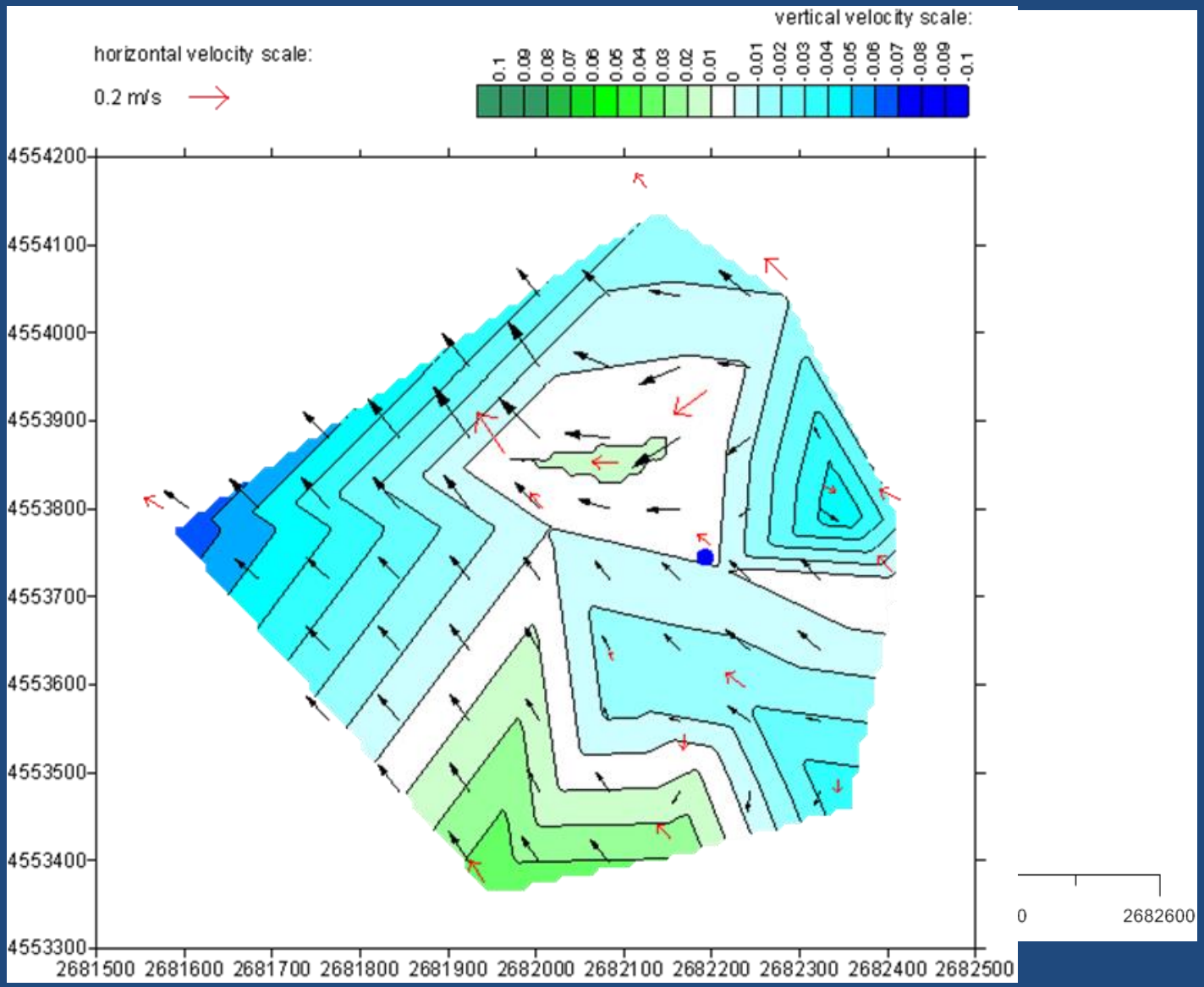
Studi propedeutici a convenzione tra DICATECh e AQP sulla

MODELLAZIONE DELLA CIRCOLAZIONE MARINA NELL'AREA DI BARI E DELLA DIFFUSIONE DELLO SCARICO DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE BARI EST

AREA DI INDAGINE

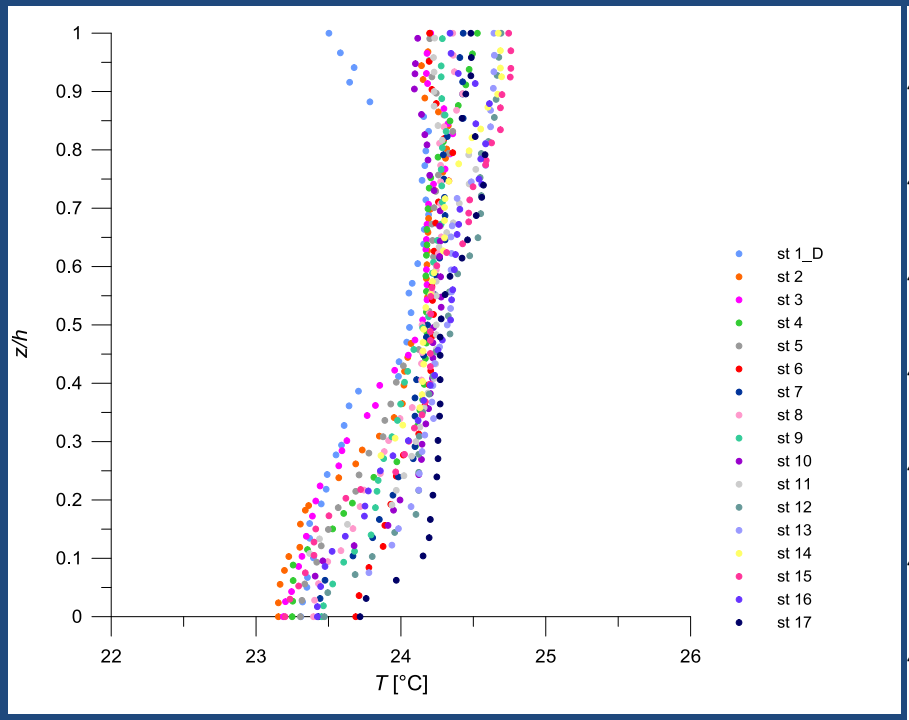
Luglio 2001

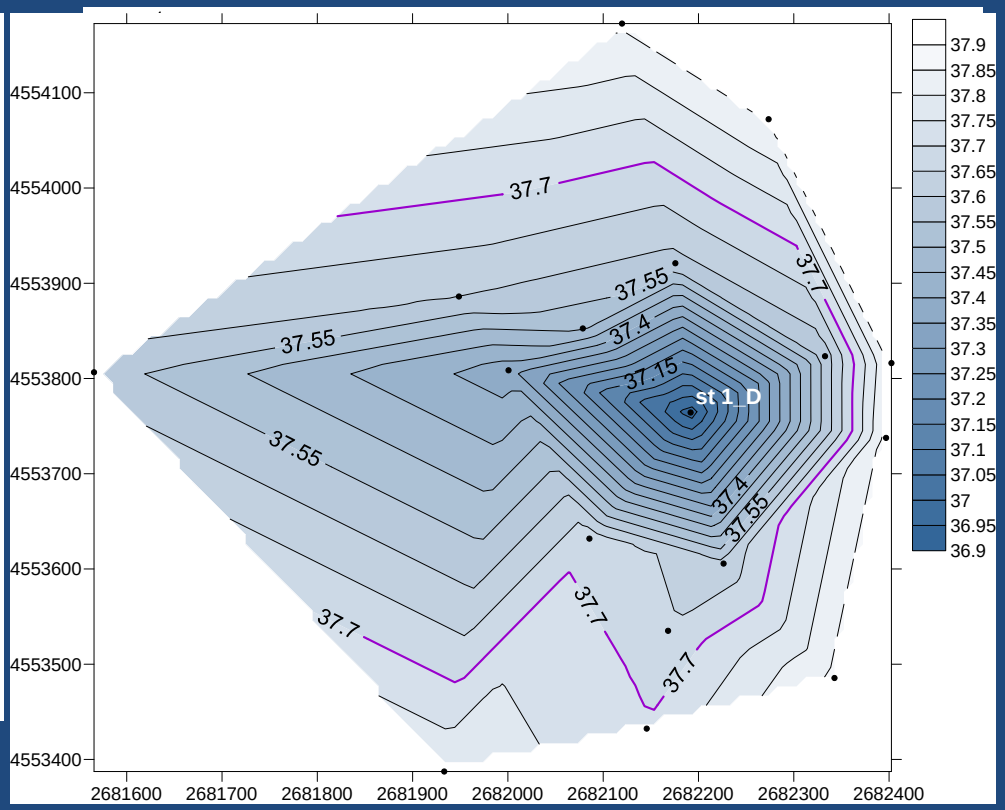
DATI MISURATI
di corrente ad alcune profondità selezionate



DATI MISURATI

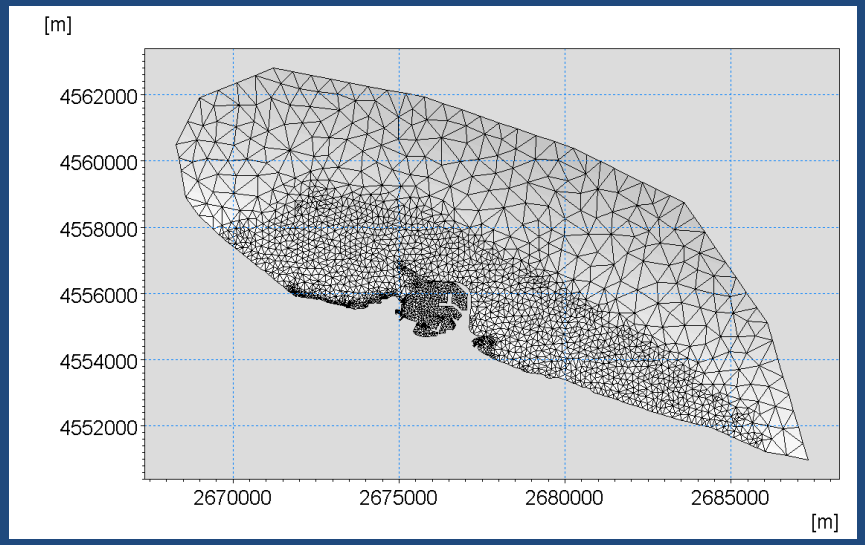
Profili verticali di temperatura e salinità

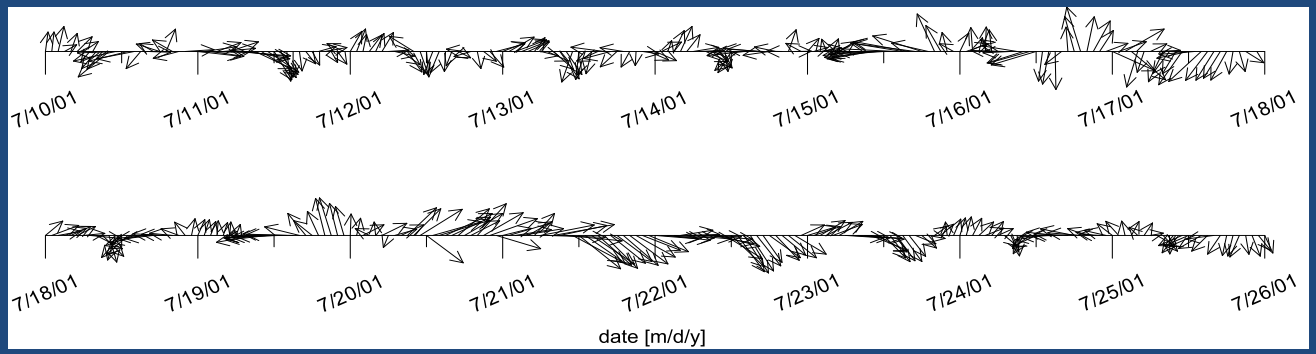


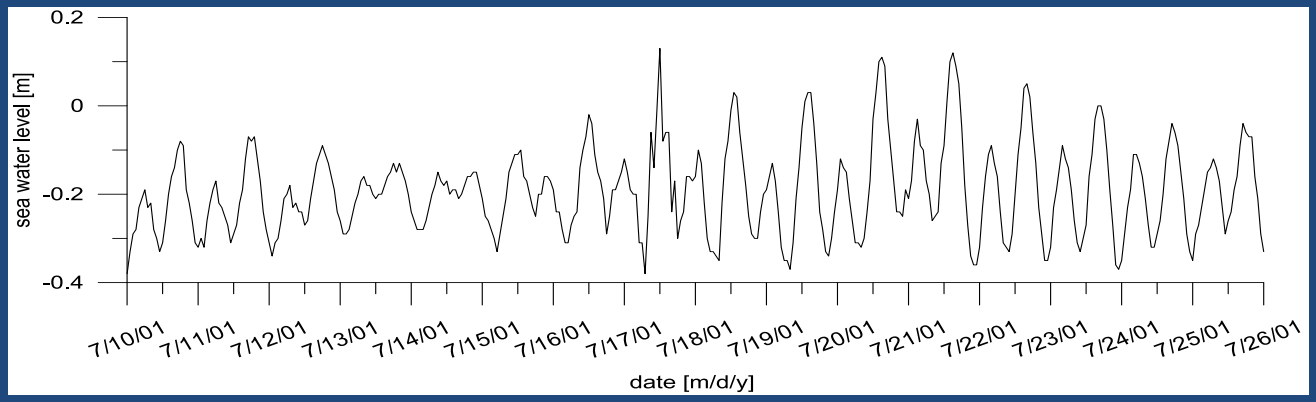


DATI INPUT

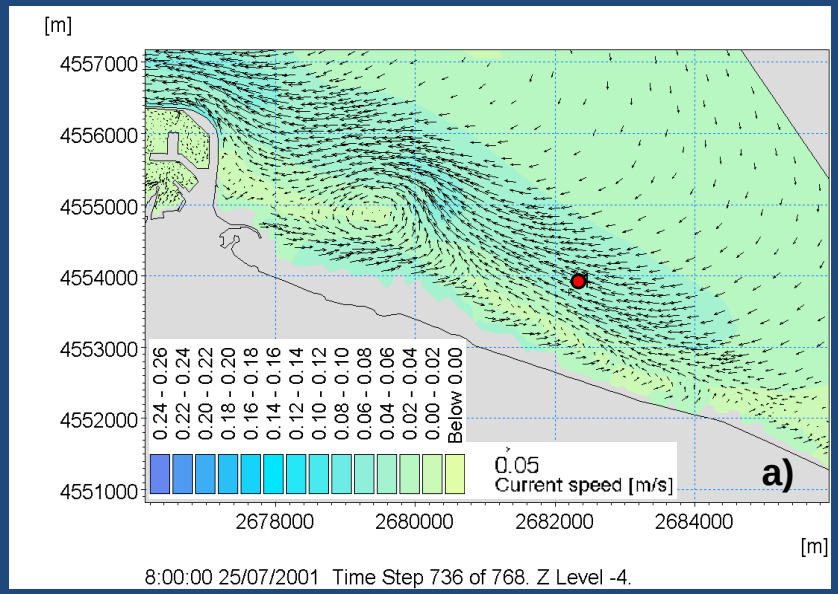
Batimetria, livello misurato, vento misurato, gradiente verticale di T e S, sversamento diffusore Bari Est

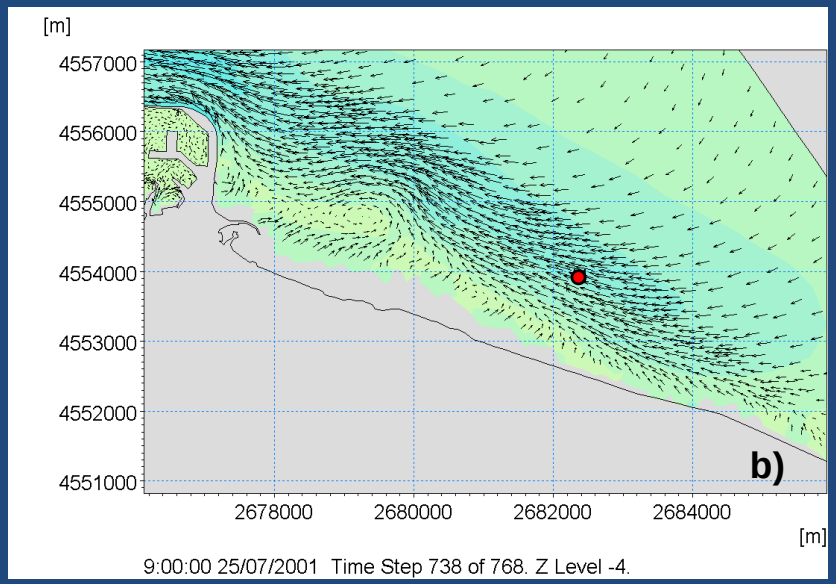


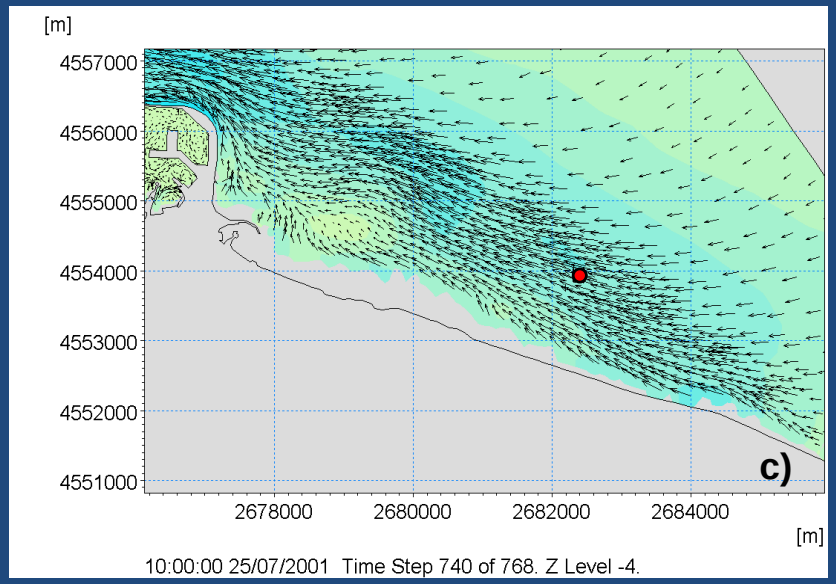


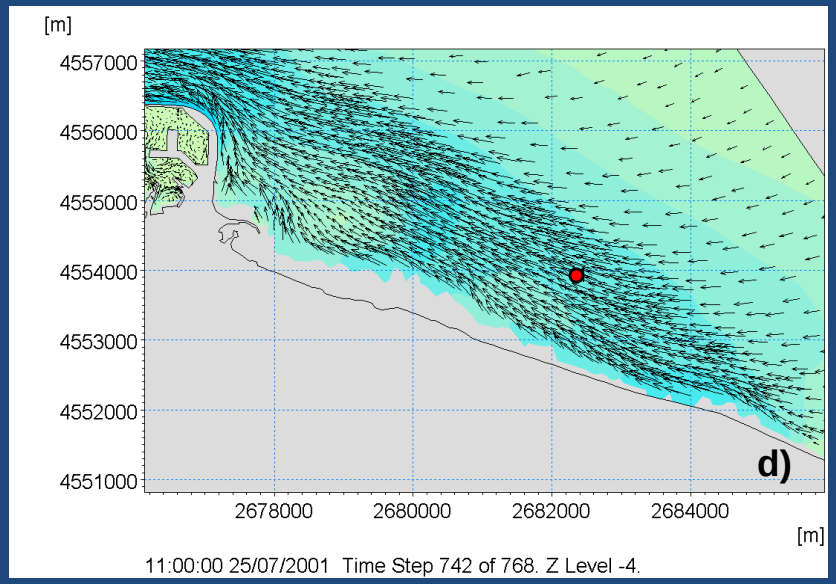


OUTPUT: Mappe orizzontali orarie sui vari livelli



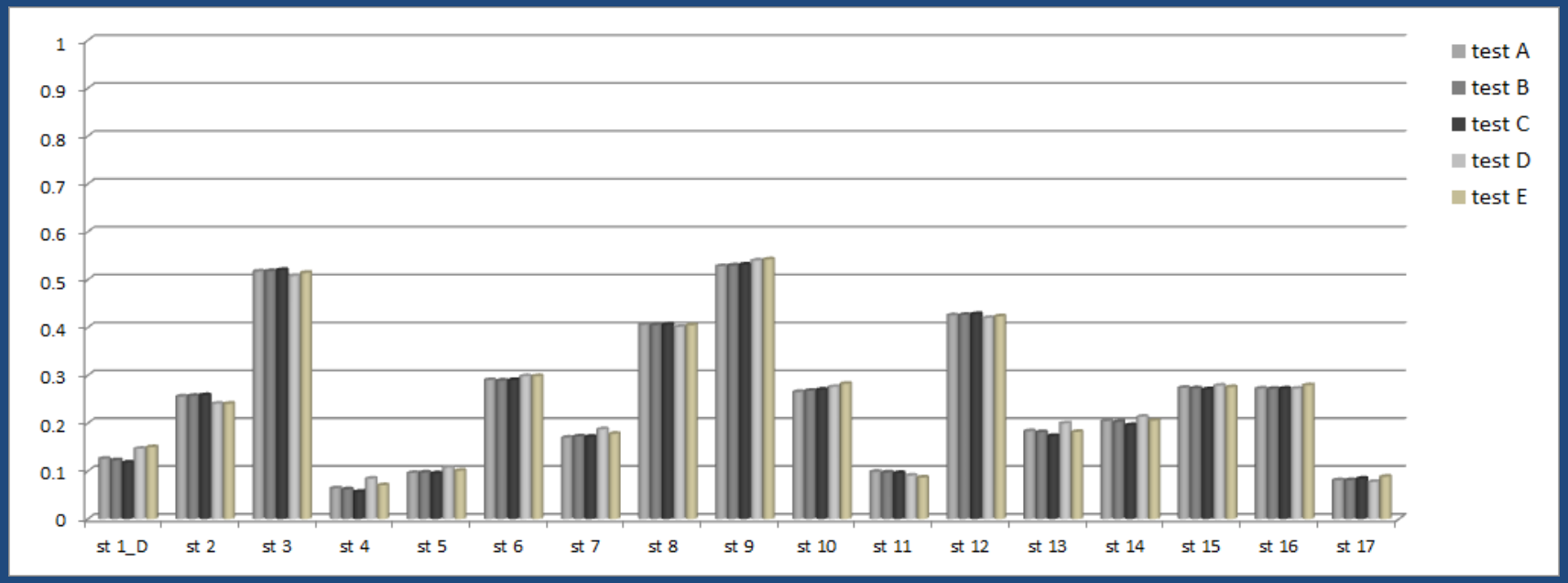




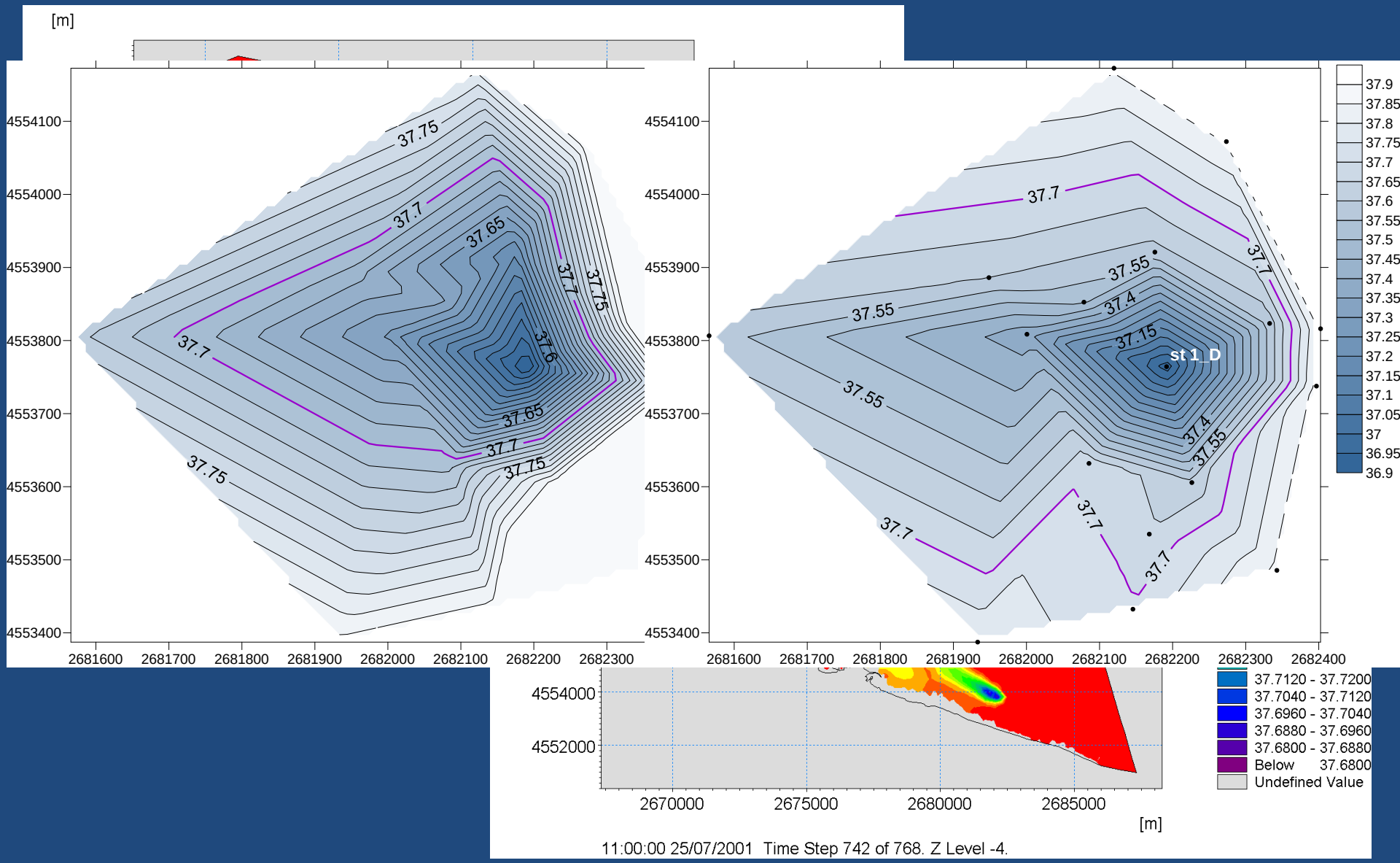


CALIBRAZIONE

- ✓ Coefficienti di calibrazione: C_{drag} vento, C_b fondo e $C_{turbolenza}$
- ✓ Determinazione di un errore relativo
- ✓ Best matching



OUTPUT: Mappe di diffusione orarie alle varie profondità



Studi propedeutici a convenzione tra l'Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente e DICATECh sulla

MODELLAZIONE DELLA CIRCOLAZIONE NEI MARI DI TARANTO

Modello MIKE 3FM (DHI), 3D con flexible mesh

Implementazione del modello

- Batimetria
- Coordinate verticali tipo σ; orizzontale mesh di calcolo
- Gerarchia azioni forzanti (Marea e vento variabili nel tempo, con riferimento ai giorni di misura – aprile 2002 - www.idromare.it ISPRA)
- Inserimento prelievi e sversamenti da dati di letteratura (Umgiesser et al., 2004)
- Moto ondoso
- Condizione stazionaria nel 4° giorno - confronto con misure (aprile 2002)

Prelievi e sorgenti	portata (m^3/s)
Idrovora ILVA	-37.3
Citro Galeso	0.6
Citro Le Copre	0.6
Canale Ajedda	1.0
Scarico area industriale	0.2

00:00 2002-04-21 | 00:00 04-22 | 00:00 04-23 | 04-24 | 2002-04-21 | 04-22 | 04-23 | 04-24

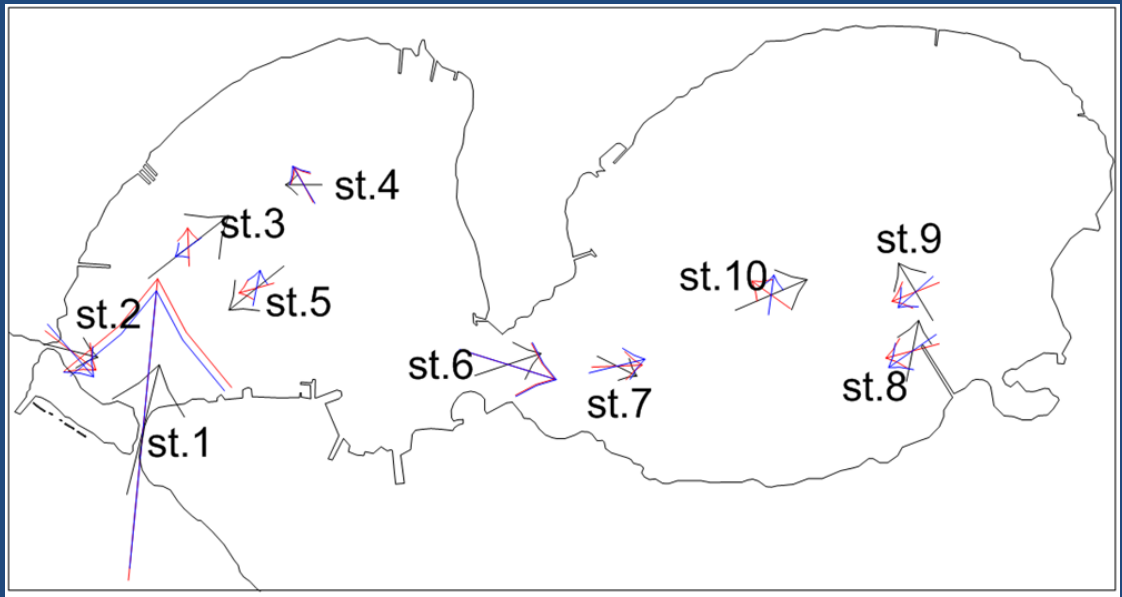
[m]

Calibrazione del modello

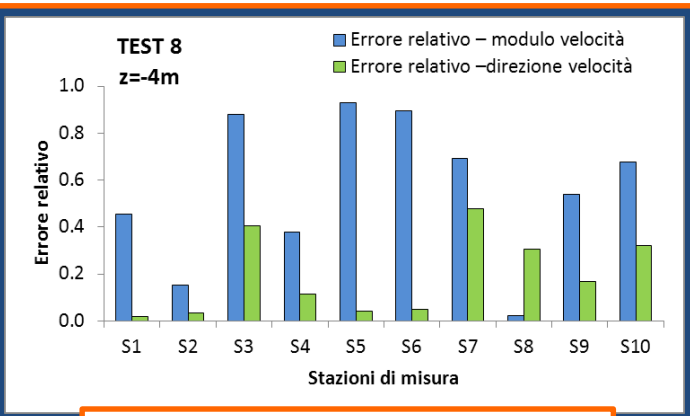
- coefficiente di drag vento, scabrezza al fondo e coefficienti modello di turbolenza (Smagorinsky)

Test	C_D	z_0 (m) G ($m^{1/3}/s$)	c_s	Prelievi/Sorgenti	Moto ondoso
test 1	0.0025	z_0=0.05	0.60	Assenti	No
test 3	0.0025	G=32	0.50	idrovora + altre sorgenti	No
test 5	0.01	G=32	0.60	idrovora + altre sorgenti	No
test 7	0.0025	z_0=0.05	0.60	idrovora + altre sorgenti	No
test 8	**0.0025**	**z_0=0.05**	**0.60**	idrovora + altre sorgenti	Si

TEST 7 vettori in blu
TEST 8 vettori in rosso
MISURATI (ADCP a z=-4m) vettori in nero



- Stima di errore relativo su moduli e direzioni



- **BEST MATCHING**

SIMULAZIONE DI CIRCOLAZIONI RAPPRESENTATIVE DI CONDIZIONI TIPICHE STAGIONALI

MODULO IDRODINAMCO MIKE 3FM

Input al modello: vento, marea, radiation stress, afflussi fluviali e citri, idrovora ILVA

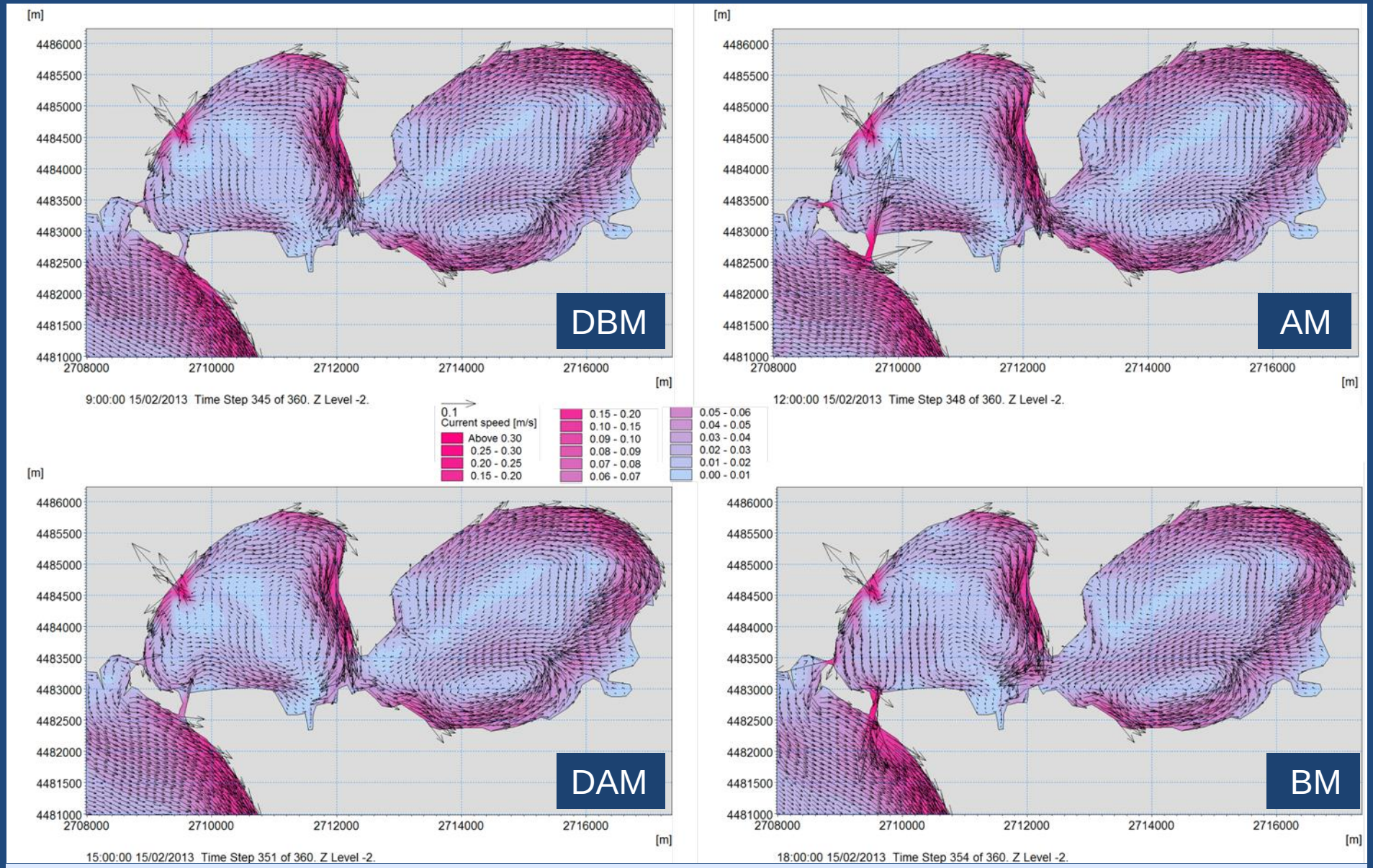
RUN 15 giorni simulati

Output: mappe correntometriche orizzontali e verticali

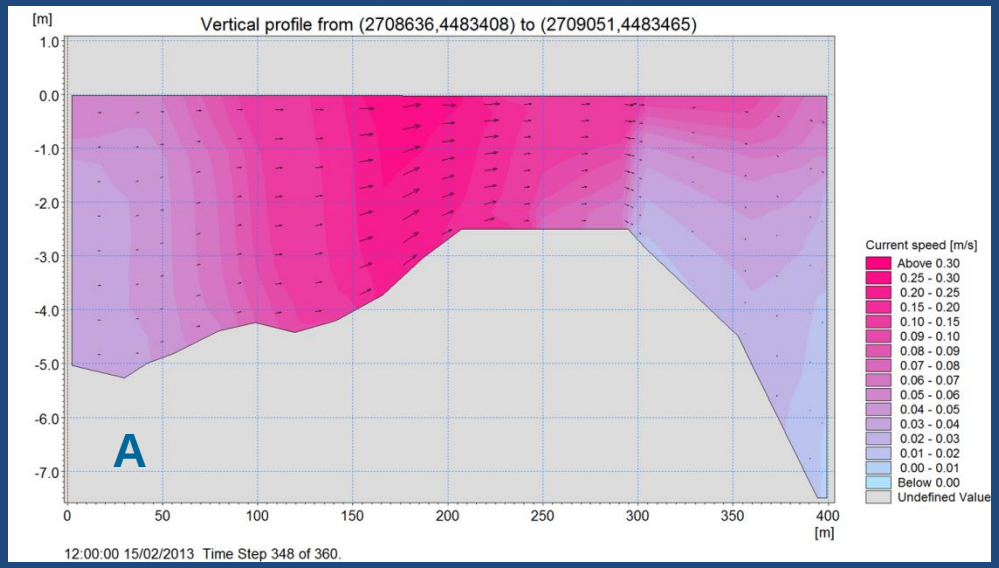
MODULO Particle Tracking MIKE 3FM:
Ipotesi di dragaggio sedimenti argillosi in un'area target – andamento qualitativo

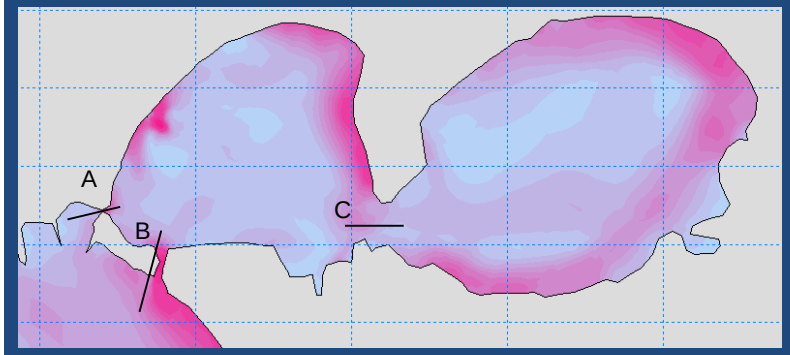
Input al modello: portata solida immessa al passaggio draga

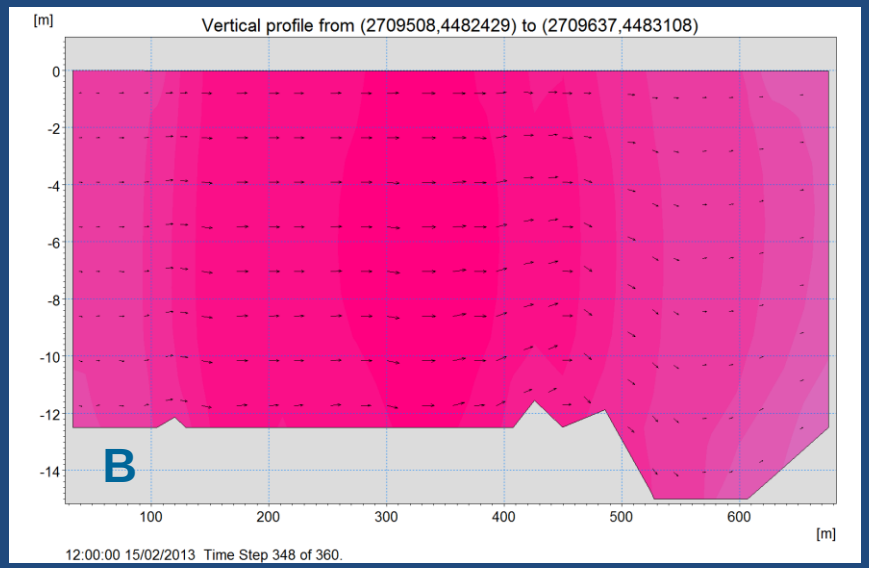
Output: mappe di concentrazione dei sedimenti in sospensione e di accumulo dei sedimenti al fondo

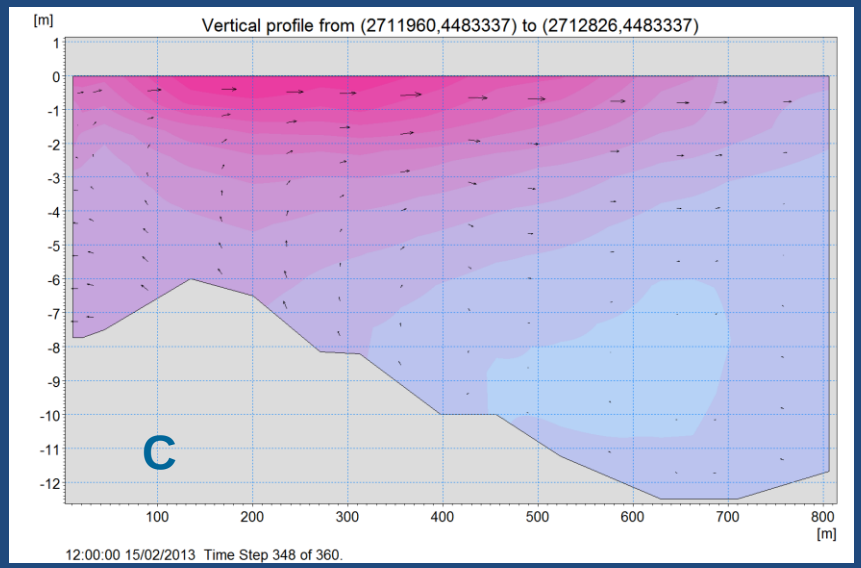


TEST INV: Mappe velocità orizzontale nel 15° giorno, z=-2m, durante un ciclo di marea

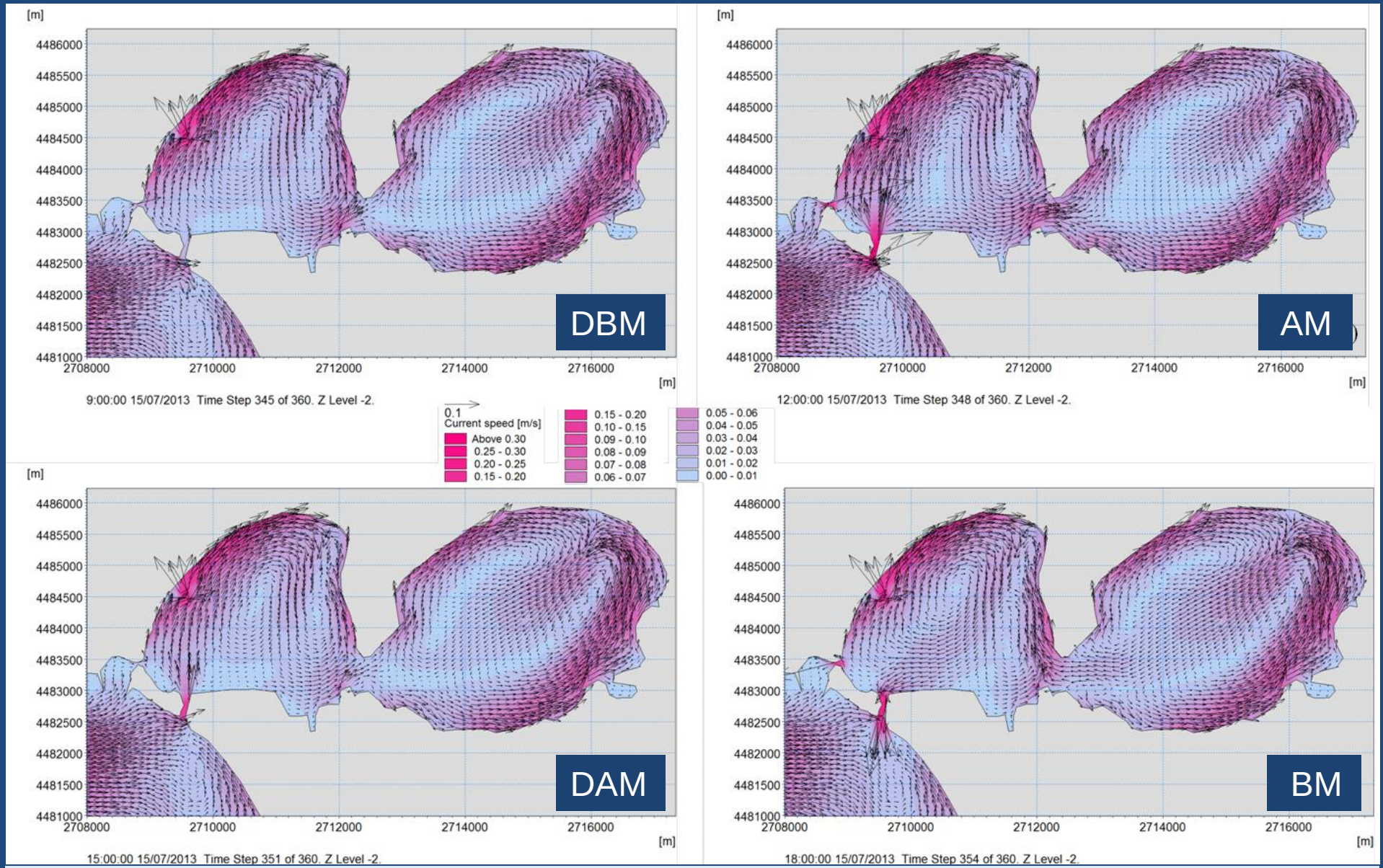






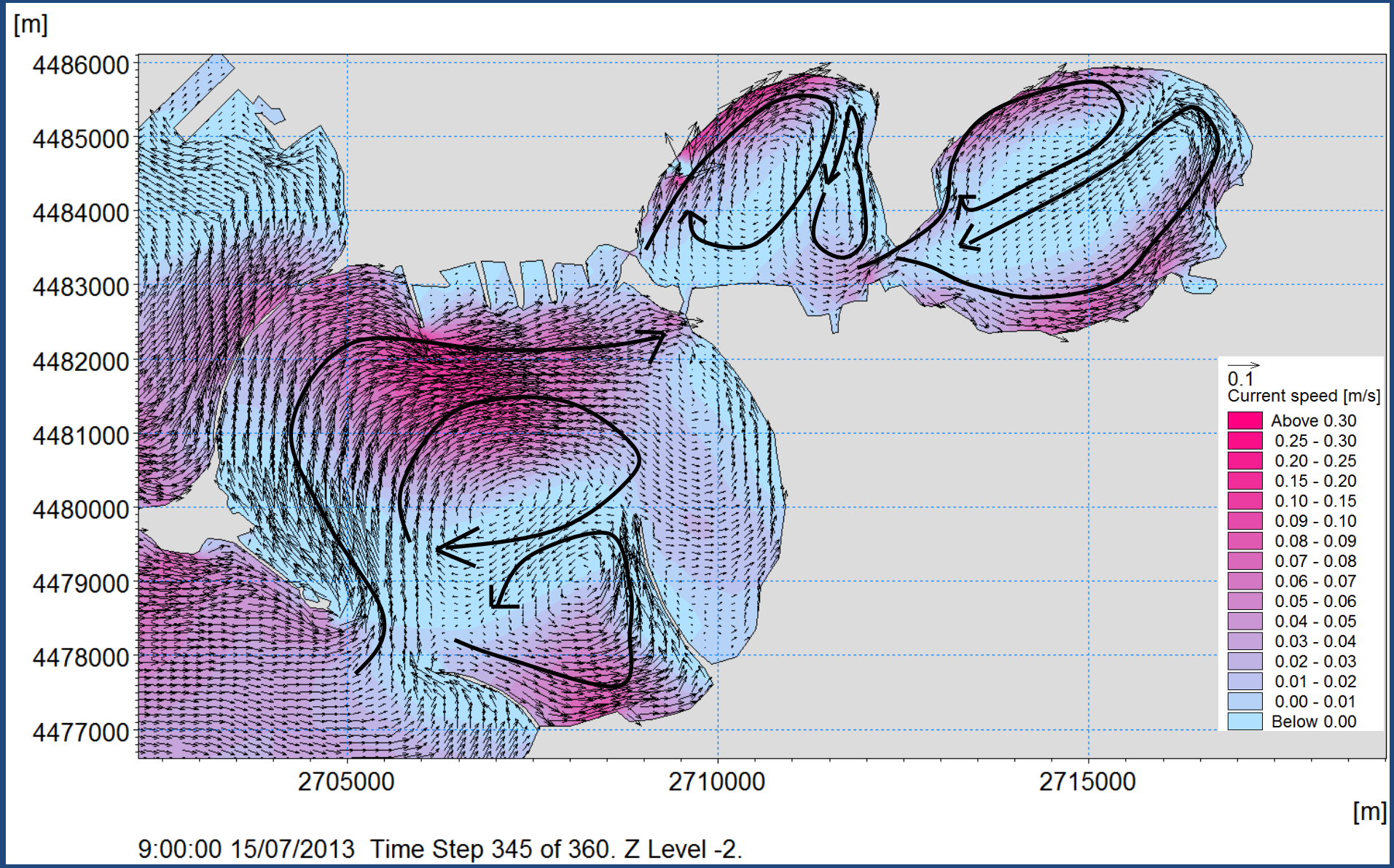


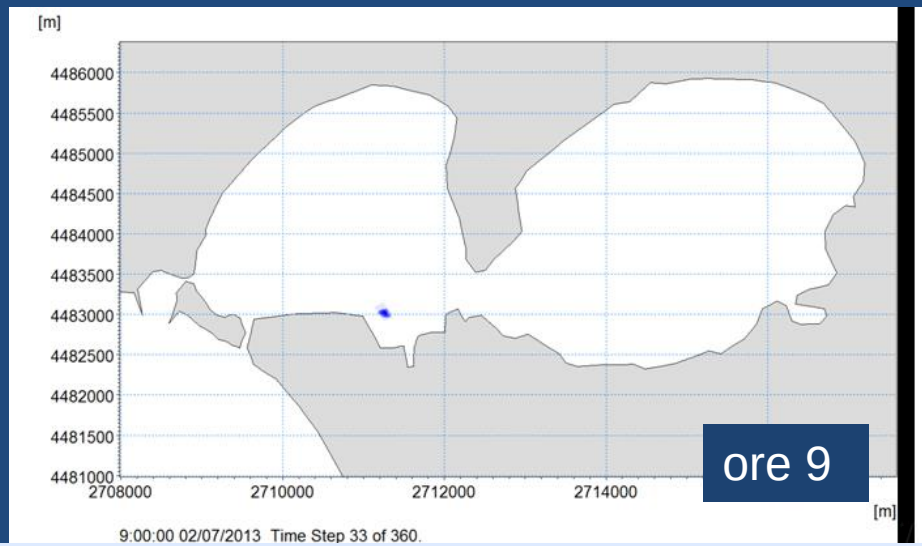
TEST INV. Andamenti nelle sezioni longitudinali nei canali, 15° giorno, condizioni AM

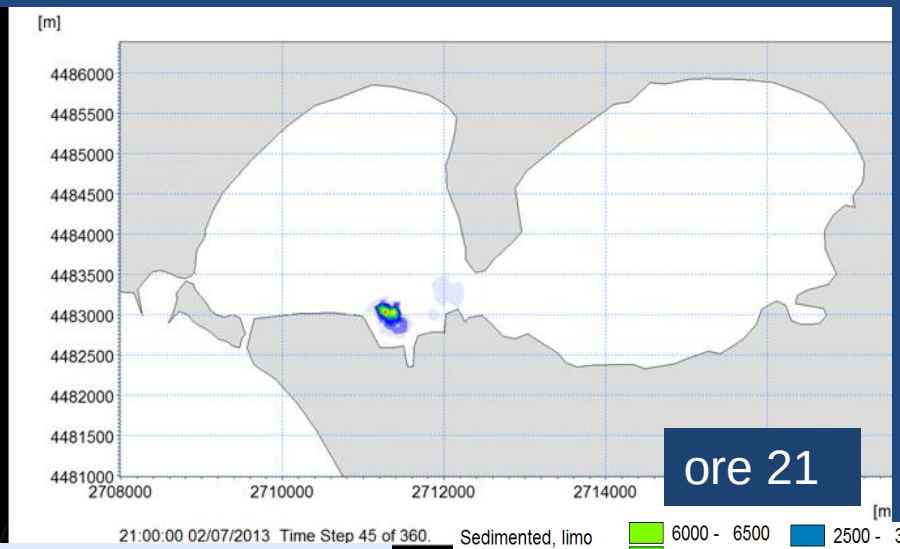


TEST EST: Mappe velocità orizzontale nel 15° giorno, z=-2m, durante un ciclo di marea

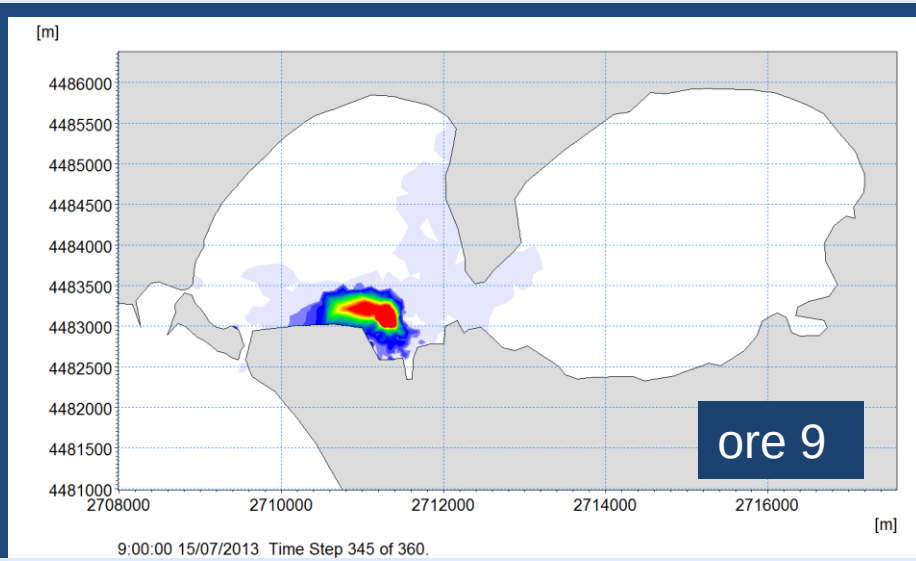
TEST ESTATE: Velocità orizzontale nel 15° giorno, z=-2m

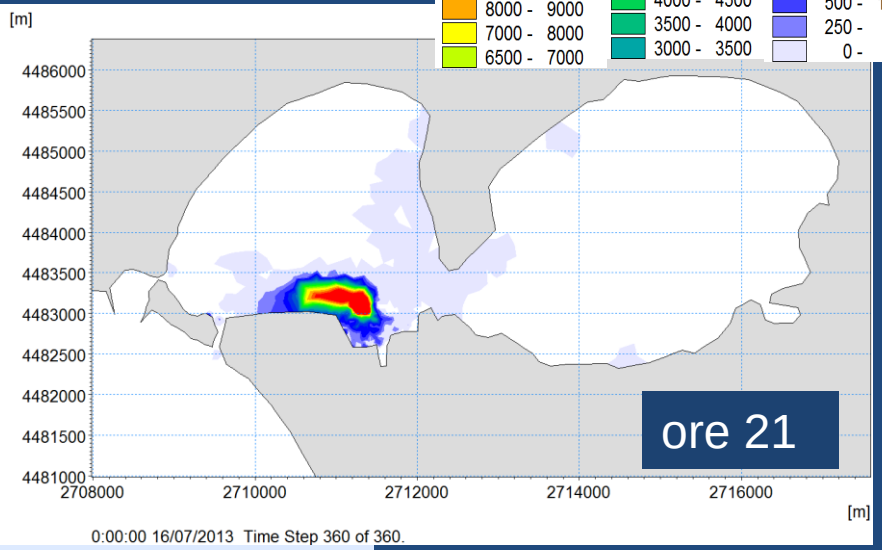


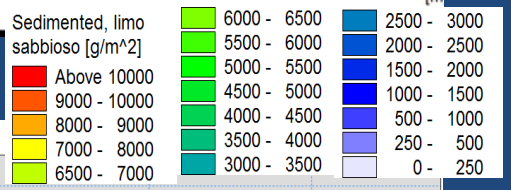




Accumulo sedimenti [kg/m^2], 2° giorno, Test EST







Accumulo sedimenti [kg/m^2], 15° giorno, Test EST

DUE OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

- ✓ L'utilizzo congiunto di modelli numerici e dati di campo è auspicabile
- ✓ Calibrati i modelli, si possono simulare scenari anche complessi utili in fase di pianificazione e gestione delle aree costiere

F. De Serio, M. Mossa (2013) A laboratory study of irregular shoaling waves, *Experiments in Fluids.*

M. Mossa, Processi di mescolamento e trasporto nei flussi ambientali. Lettura ad invito, Brescia, 2013, ISBN 978-1-291-36846-8.

F. De Serio, M. Mossa (2013) Experimental study of wave undertow and turbulence with LDA and ADV measurements, Tecniche per la Difesa dall'Inquinamento, 34° Corso di aggiornamento, Cosenza, EdiBios, 2013.

F. De Serio, M. Mossa (2014), Streamwise velocity profiles in coastal currents, *Environmental Fluid Mechanics.*

F. De Serio, M. Ben Meftah, D. Malcangio, M. Mossa, A.F. Petrillo (2014), Simulazioni idrodinamiche a supporto del monitoraggio ambientale nei Mari di Taranto, *XXXIV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA* , Bari, 8-10 settembre 2014.

F. De Serio, M. Mossa (2014), Analysis of mean velocity and turbulence measurements with ADCPs, *Advances in Water Resources* , in revision.