

Università degli Studi di Genova



Modellazione e analisi di scarichi freddi in mare
di una FPSO (Floating Production Storage and Offloading)

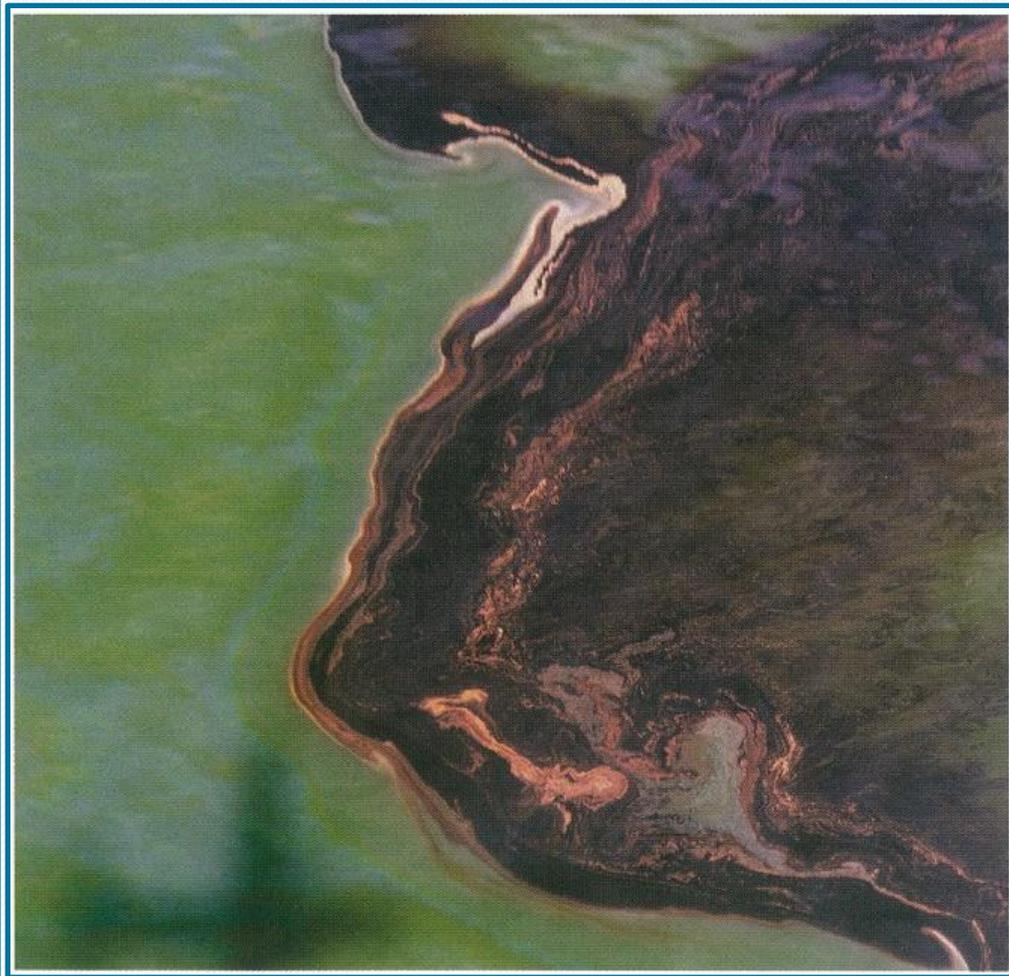
Candidato: Marco La Regina

Relatore: Prof. Ing. Giovanni Besio
Correlatori: Ing. Joel Guerrero

I processi industriali

- Innumerevoli attività industriali di estrazione e trasformazione delle materie prime sono sparse in tutto il territorio mondiale. Esse contribuiscono allo sviluppo e alla crescita economica sia delle grandi società che di tutte quelle realtà in via di affermazione.
- L'industria tuttavia dovrebbe non solo svolgere la sua opera di produzione con la massima efficienza ed efficacia ma anche e soprattutto convivere e coesistere in maniera sinergica con il territorio nel quale è inserita.

I processi industriali



I processi industriali



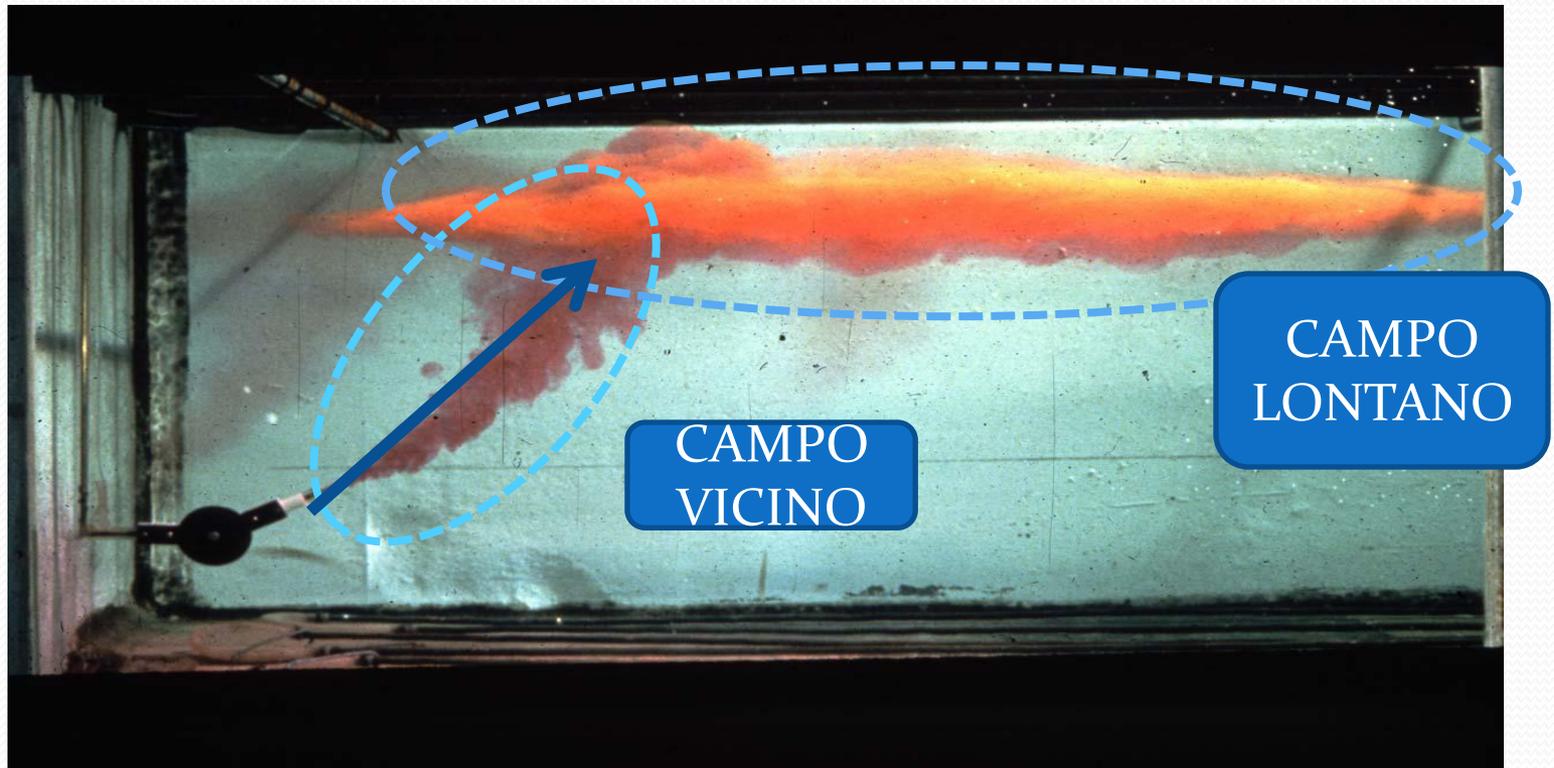
I processi industriali

SVILUPPO SOSTENIBILE

Un'accurata progettazione, effettuata all'interno di uno studio di fattibilità e di valutazione di impatto, è uno strumento di fondamentale importanza per ottenere la coesistenza tra realtà così diverse.

Obiettivi dello studio

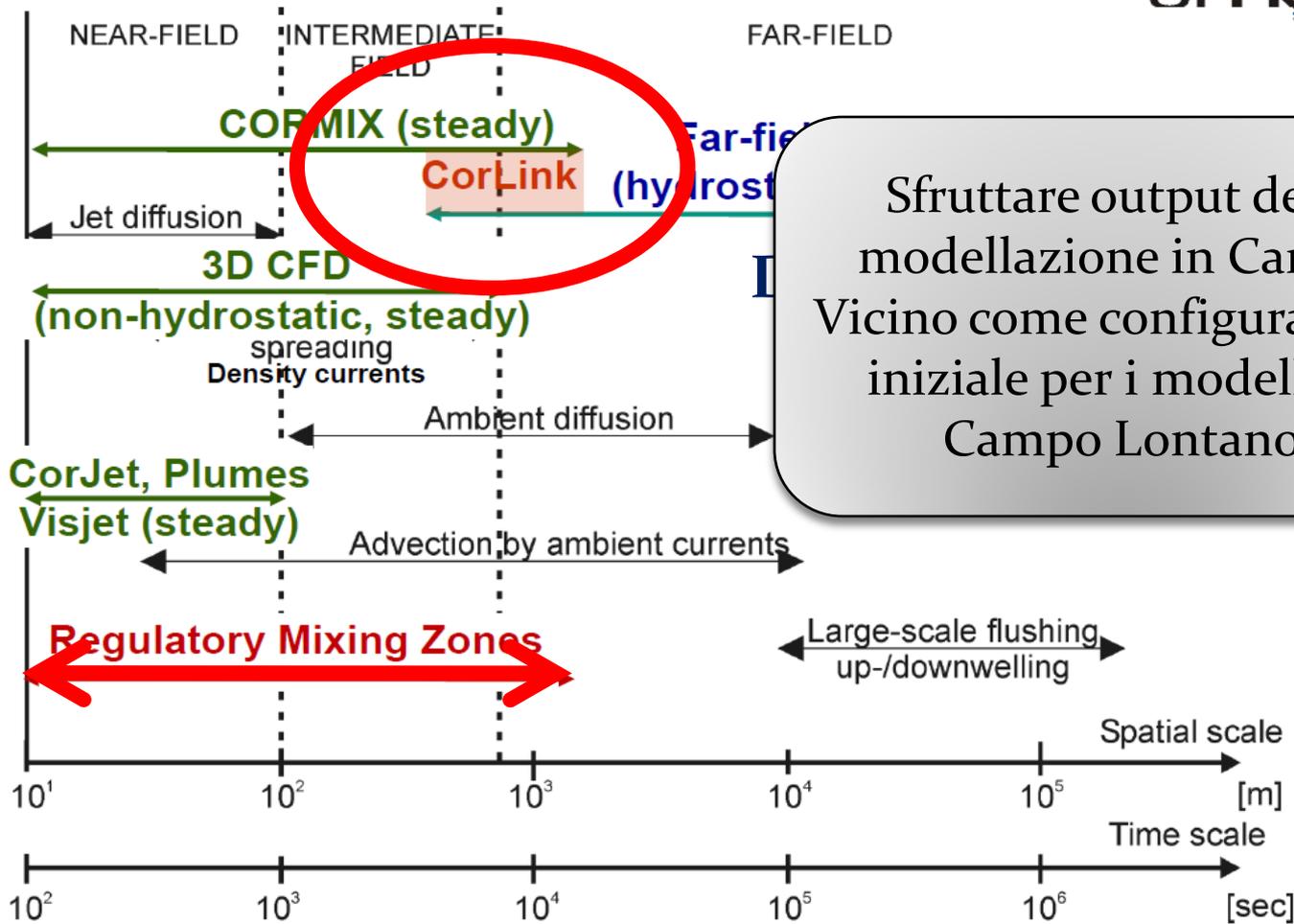
Lo scopo della tesi è stato quello di ricercare un modello semplice, basato sull'ipotesi di autosimilarità, che fosse in grado di rappresentare in modo soddisfacente il comportamento dei processi di miscelamento per fenomeni con assetto tipico dei getti galleggianti



Obiettivi dello studio

- Miscelamento in Campo Vicino
 - Regione prossima alla sorgente dello scarico (influenza della geometria)
 - Prevalenza dei fenomeni di miscelamento dovuti a quantità di moto e galleggiamento
 - Scala temporale di secondi o minuti/ Scala spaziale da 1 a 100 m
- Miscelamento in Campo Lontano
 - Condizioni ambientali dominano il miscelamento
 - Prevalenza degli effetti di diffusione
 - Scala temporale di minuti o ore/ Scala spaziale dell'ordine delle centinaia di metri

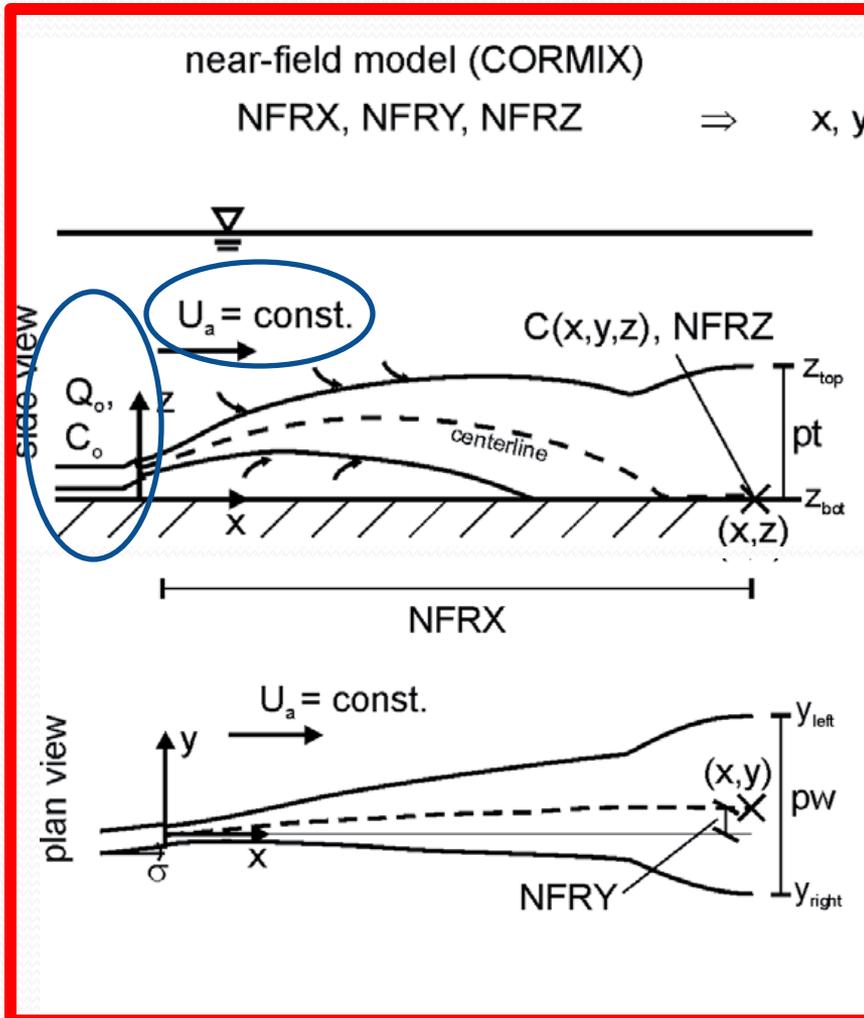
Scale and process differences



Sfruttare output della modellazione in Campo Vicino come configurazione iniziale per i modelli di Campo Lontano

(modified from Fischer et. al, 1979; Jirka & Lee, 1994;)

Obiettivi dello studio



Modellazione Campo Vicino

Pregi

- Previsione traiettoria e caratteristiche iniziali miscelamento
- Possibilità di diverse tipologie di scarico

Difetti

- Condizioni stazionarie
- Forti schematizzazioni
- Inaffidabilità sui processi di miscelamento in Capo Lontano

Obiettivi dello studio

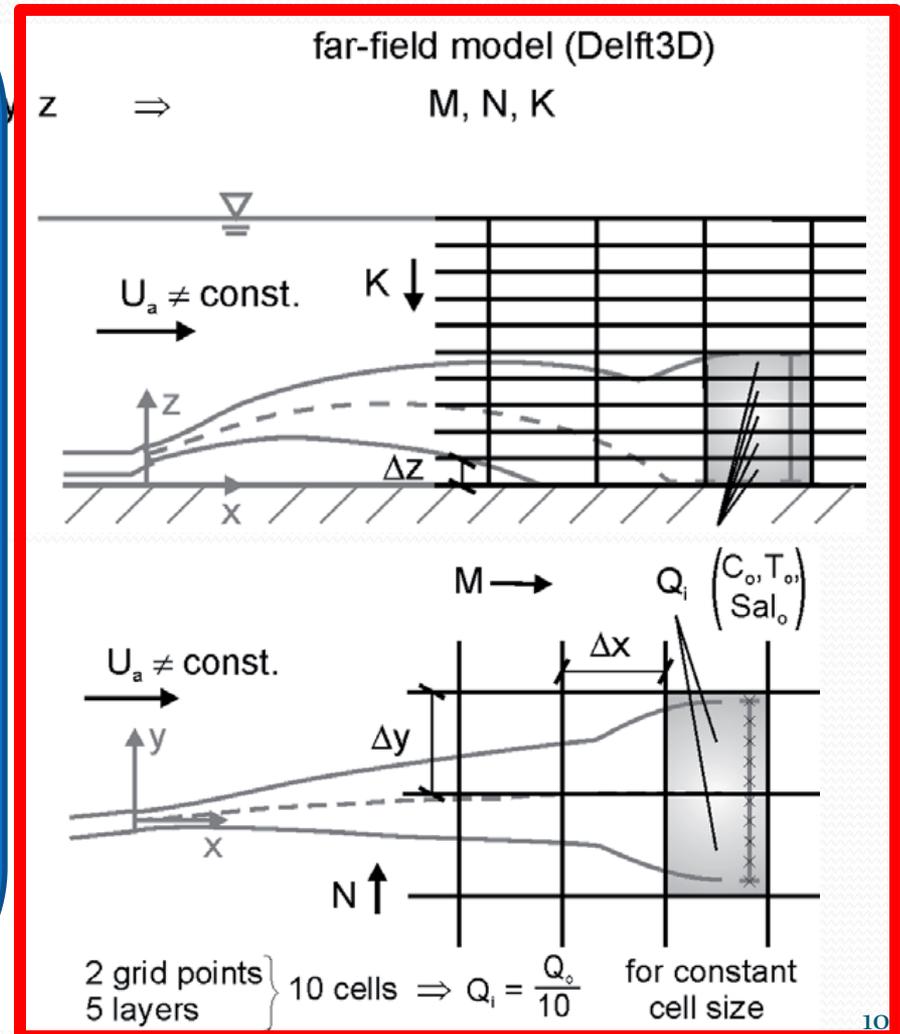
Modellazione Campo Lontano

Pregi

- Simulazioni idrodinamiche e di trasporto 3D
- Condizioni non stazionarie
- Geometrie ambientali complesse

Difetti

- No processi di miscelamento in Campo Vicino
- Nessuna geometria assegnabile allo scarico
- Risoluzione scale spaziali e temporali limitate dalla potenza computazionale



Obiettivi dello studio

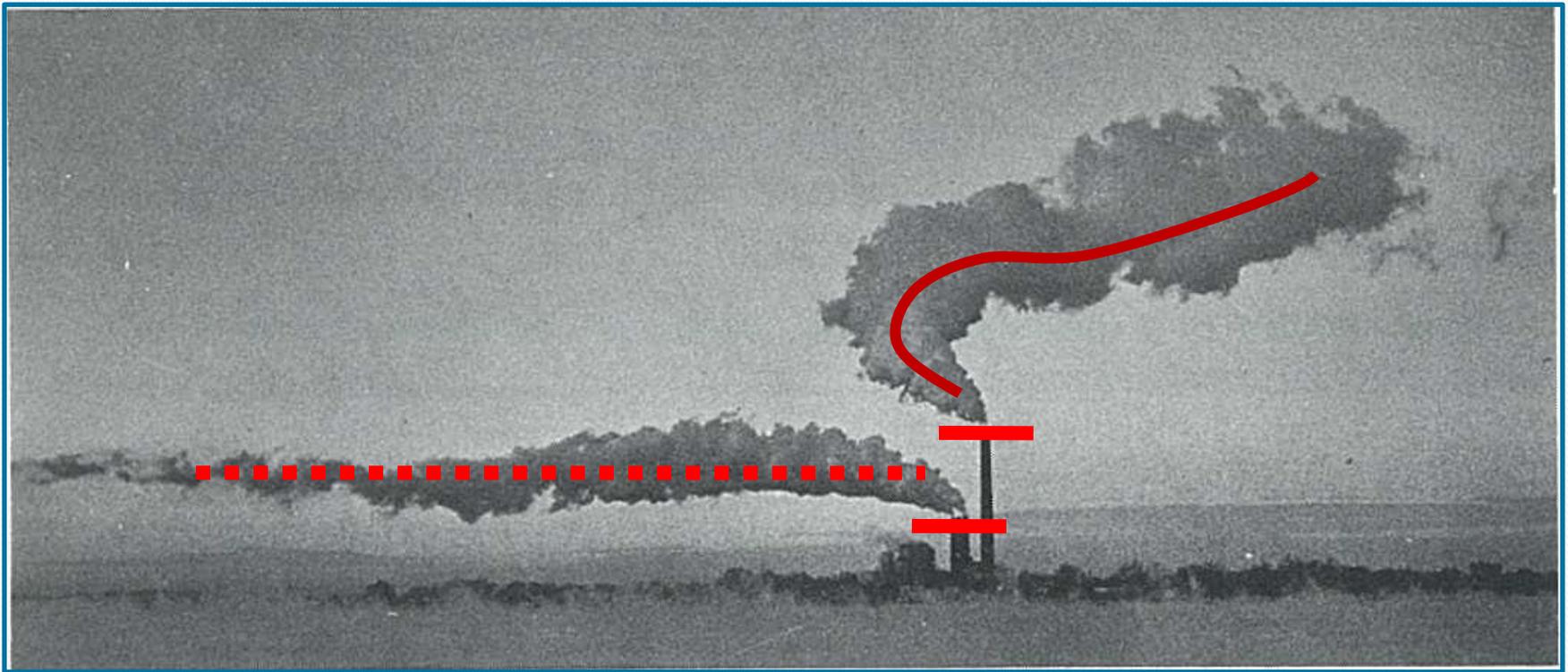
Lo scopo della tesi è stato quello di ricercare un modello semplice, basato sull'ipotesi di autosimilarità, che fosse in grado di rappresentare in modo soddisfacente il comportamento dei processi di miscelamento nei regimi di moto di Campo Vicino e Intermedio

Lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi:

- Analisi dei fenomeni di miscelamento nei diversi regimi di moto
- **Generazione di un codice di calcolo ex novo in linguaggio fortran (GeMix) ispirato al codice commerciale CORMIX**
- Applicazione del codice ad un caso reale di scarico industriale per verificare l'affidabilità delle soluzioni
- Simulazioni numeriche CFD
- Confronto dei risultati
- Conclusioni

Il modello semplificato GeMix: IL CAMPO VICINO

Suddividere la dinamica del getto in diverse regioni, ognuna delle quali dominata prevalentemente da una quantità caratteristica del moto.

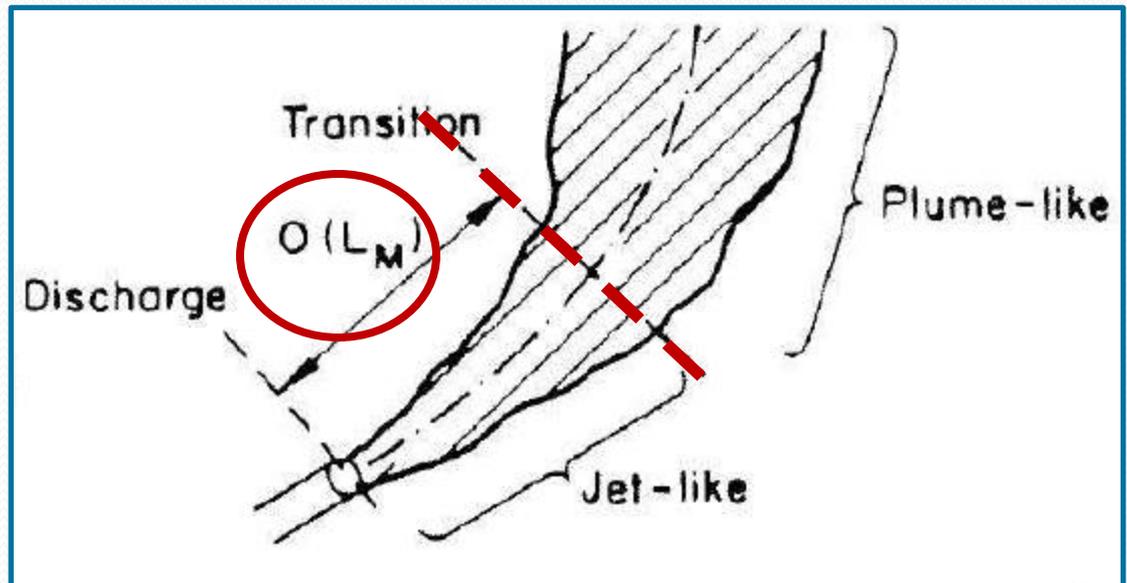


Il modello semplificato GeMix: IL CAMPO VICINO

Suddividere la dinamica del getto in diverse regioni, ognuna delle quali dominata prevalentemente da una quantità caratteristica del moto.

IL METODO DELLE
LUNGHEZZE SCALA

Transizione alla regione
fortemente influenzata
dalla QUANTITA' DI
MOTO

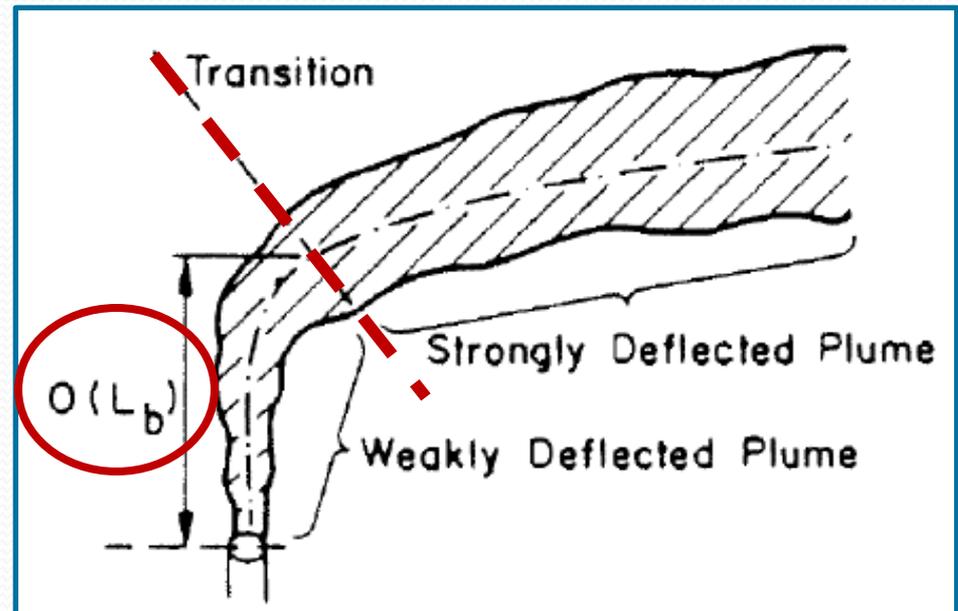


Il modello semplificato GeMix: IL CAMPO VICINO

Suddividere la dinamica del getto in diverse regioni, ognuna delle quali dominata prevalentemente da una quantità caratteristica del moto.

IL METODO DELLE
LUNGHEZZE SCALA

Transizione alla regione
fortemente influenzata
dalla CORRENTE
TRASVERSALE

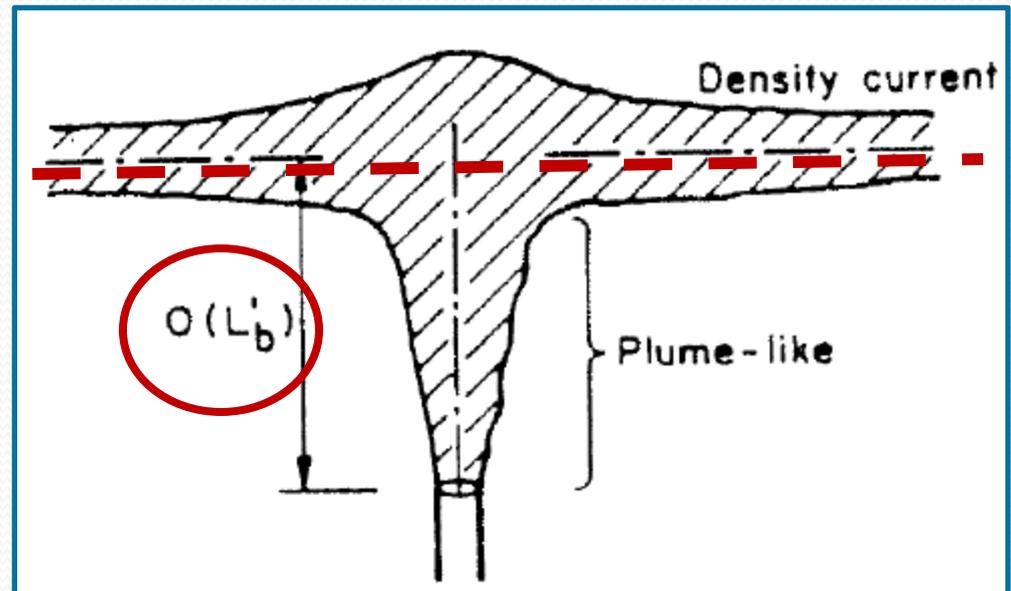


Il modello semplificato GeMix: IL CAMPO VICINO

Suddividere la dinamica del getto in diverse regioni, ognuna delle quali dominata prevalentemente da una quantità caratteristica del moto.

IL METODO DELLE
LUNGHEZZE SCALA

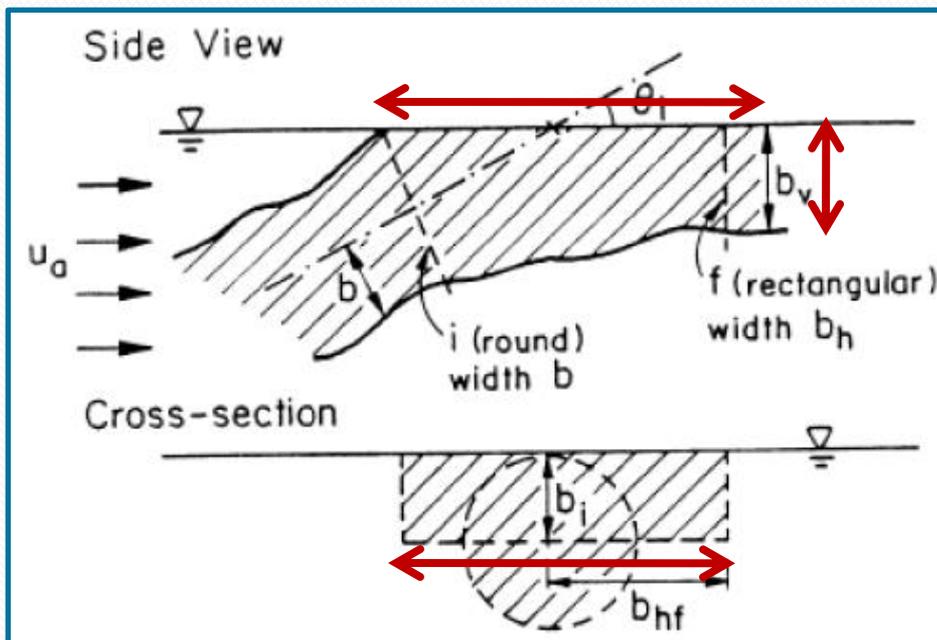
Transizione alla regione
fortemente influenzata
dalla STRATIFICAZIONE
DI DENSITA'



Il modello semplificato GeMix: IL CAMPO INTERMEDIO

Suddividere la dinamica del getto in diverse regioni, ognuna delle quali dominata prevalentemente da una quantità caratteristica del moto.

IL METODO DELLE
LUNGHEZZE SCALA

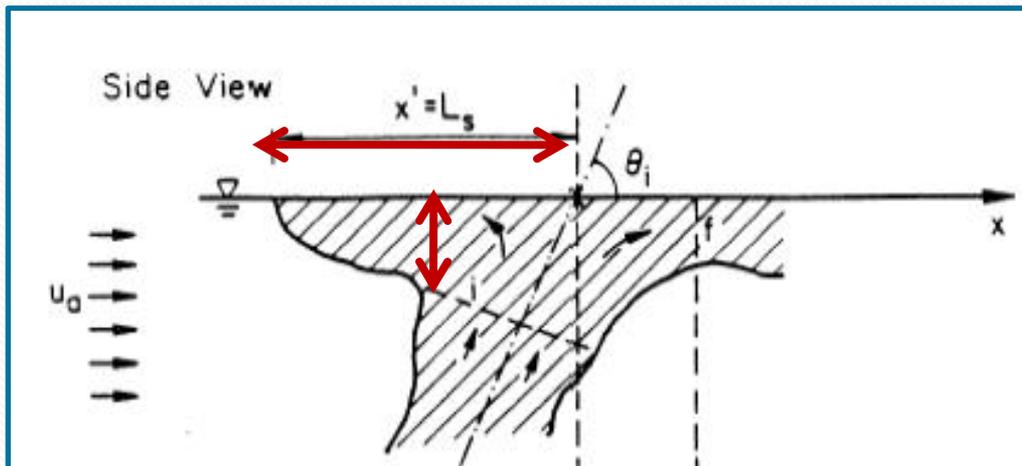


APPROCCIO
SUB-ORIZZONTALE

Il modello semplificato GeMix: IL CAMPO INTERMEDIO

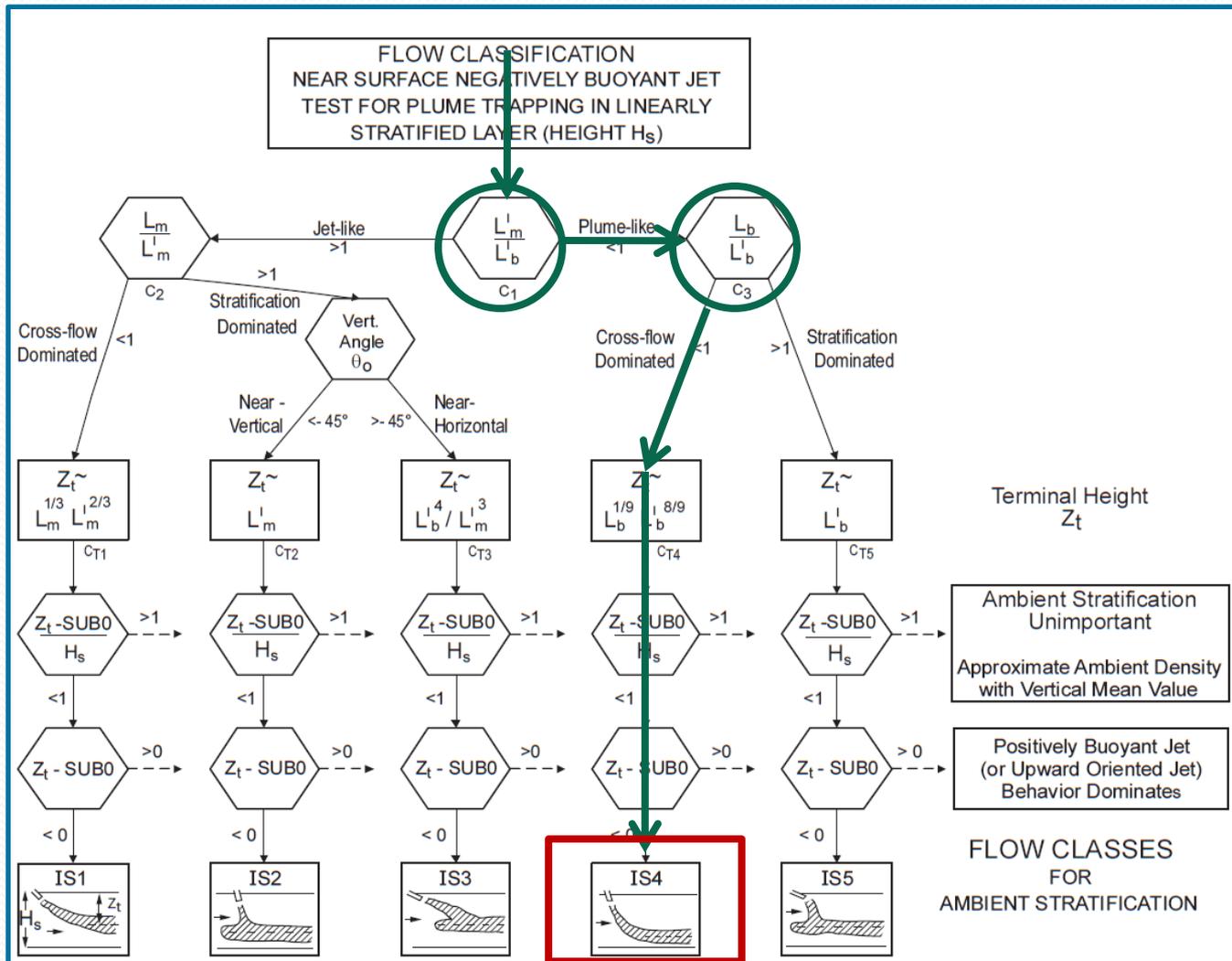
Suddividere la dinamica del getto in diverse regioni, ognuna delle quali dominata prevalentemente da una quantità caratteristica del moto.

IL METODO DELLE
LUNGHEZZE SCALA



APPROCCIO
SUB-VERTICALE
Presenza del fenomeno
dell'intruding

Il modello semplificato GeMix: CLASSIFICAZIONE DELLO SCARICO

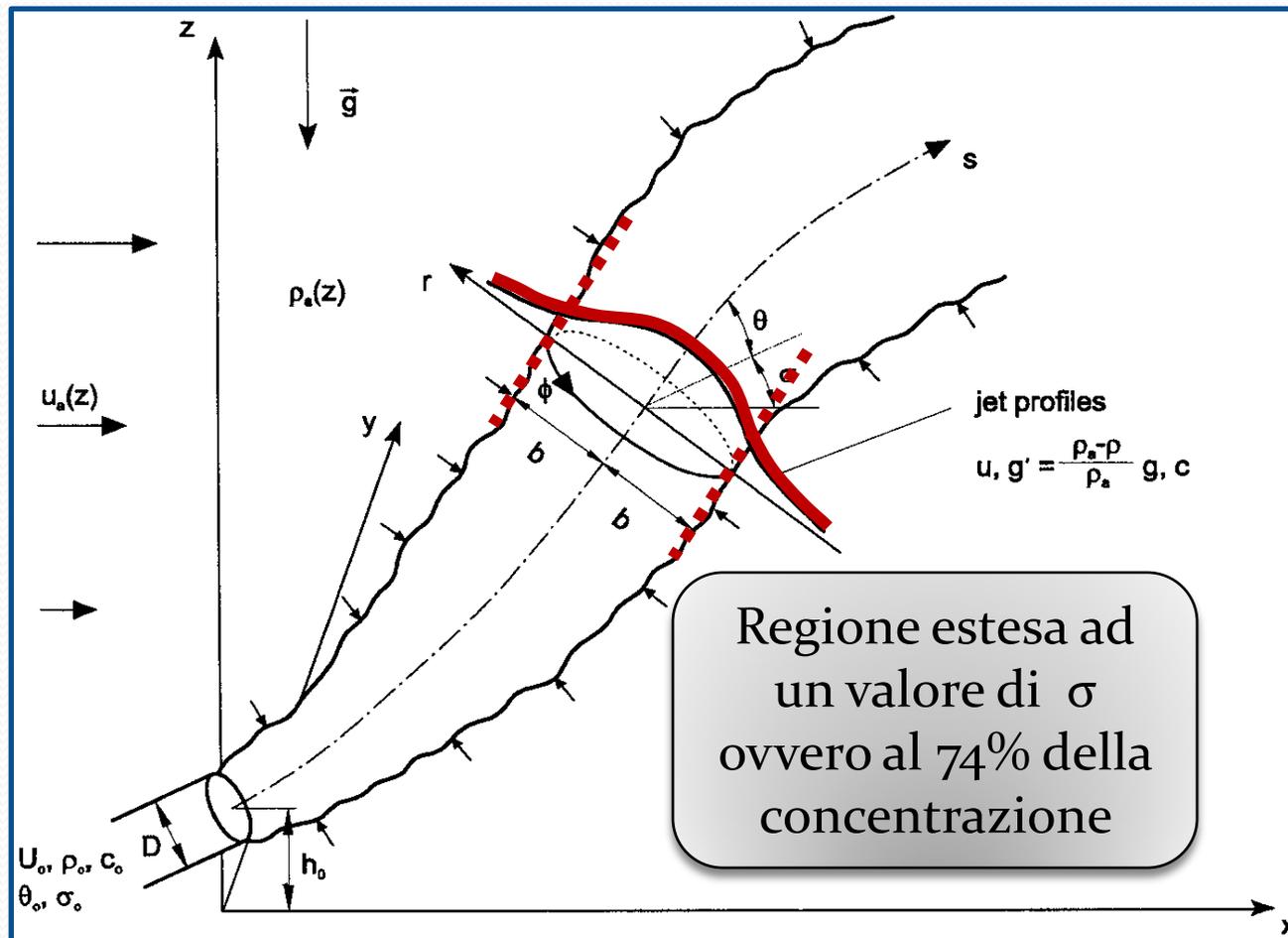


Il modello semplificato GeMix: LA SOLUZIONE AUTOSIMILARE

- Necessità di ottenere una soluzione semplificata anche per la variazione delle grandezze caratteristiche del moto (velocità , concentrazione)
- Sviluppo dell'**ipotesi di autosimilarità**

La struttura del moto e le sue proprietà si mantengono identiche procedendo verso valle, e sono quindi rappresentabili dalla stessa funzione, a patto che la coordinata trasversale venga normalizzata rispetto alla scala spaziale di riferimento.

Il modello semplificato GeMix: LA SOLUZIONE AUTOSIMILARE

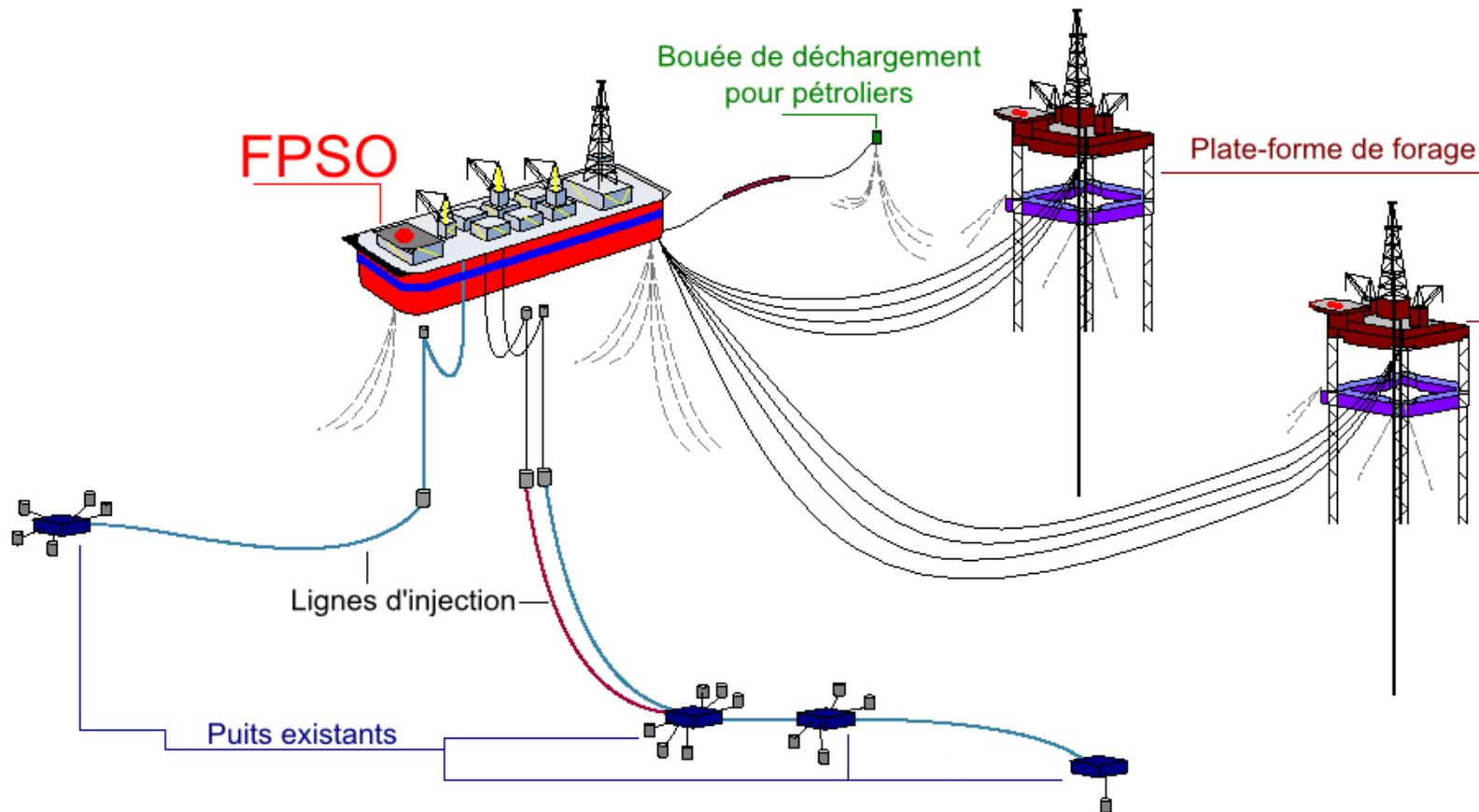


INQUADRAMENTO: L'analisi numerica

- Le simulazioni numeriche 3D sono state effettuate utilizzando la componente di Computational Fluid Dynamics (CFD) del codice open source OpenFOAM
- Le equazioni di governo risolte sono Navier-Stokes e l'equazione di convezione-diffusione
- Per risolvere la turbolenza è stato utilizzato il modello RANS
- I valori di densità alle diverse quote ambiente sono stati simulati impostando sulla profondità diverse fasi fluide

I processi industriali: il caso reale

- Processi di un'unità FPSO



I processi industriali: il caso reale

- Processi di un'unità FPSO
Floating Production Storage and Offloading
- Prelievo acqua di mare utilizzata nei processi di rigassificazione
- L'acqua che esce dal processo risulta più fredda dell'ambiente in cui viene immessa
- Lo scarico assume la dinamica tipica dei
GETTI GALLEGGIANTI NEGATIVI

I processi industriali: il caso reale

NAVE RIGASSIFICATRICE

CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL SISTEMA

RECIPIENTE DI
ASPIRAZIONE

POMPA ALTA
PRESSIONE

VAPORIZZATORI



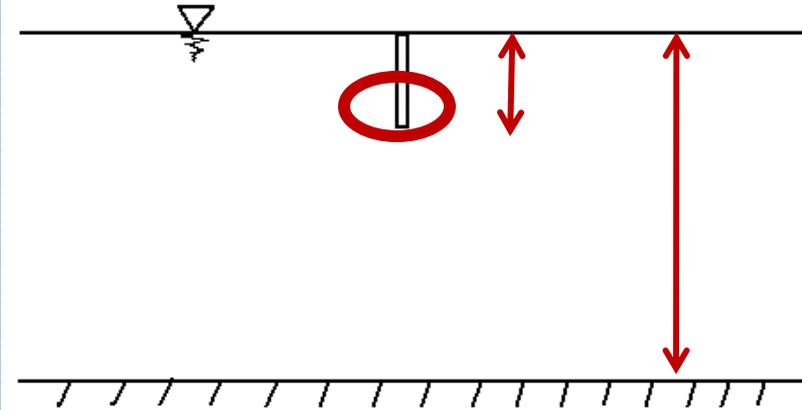
IL GAS ALLO STATO LIQUIDO
PASSA ATTRAVERSO UN
VAPORIZZATORE CHE LO
RIPORTA AL SUO STATO
NATURALE SOTTRAENDO
CALORE ALL'ACQUA

ACQUA
FIUTO D'ACQUA
DI MARE

FLESSIBILE
CONNESSIONE

Il caso reale: geometria dello scarico

Dati del problema		
Portata Continua Annuia	Q_C	$94'600'000 \text{ m}^3/y$
Portata massima di picco	Q_p	$10'800 \text{ m}^3/h$
Portata media di picco	Q_0	$3.0 \text{ m}^3/s$
Diametro foro scarico	D_0	1.9m
Velocità di uscita	u_0	1.0 m/s
Δ temperatura ambiente-scarico	ΔT	-4.6°C
Angolo inclinazione verticale	θ_0	90°
Angolo inclinazione orizzontale	σ_0	0°
Profondità allo scarico	H_s	120 m
Affondamento	h_0	12 m



Il caso reale: l'ambiente recettore

- Ambiente marino su media profondità
 - Significativi gradienti di temperatura tra fondo e superficie in particolare nelle stagioni più calde
 - Variazione dei valori di salinità con la profondità
 - Presenza di correnti



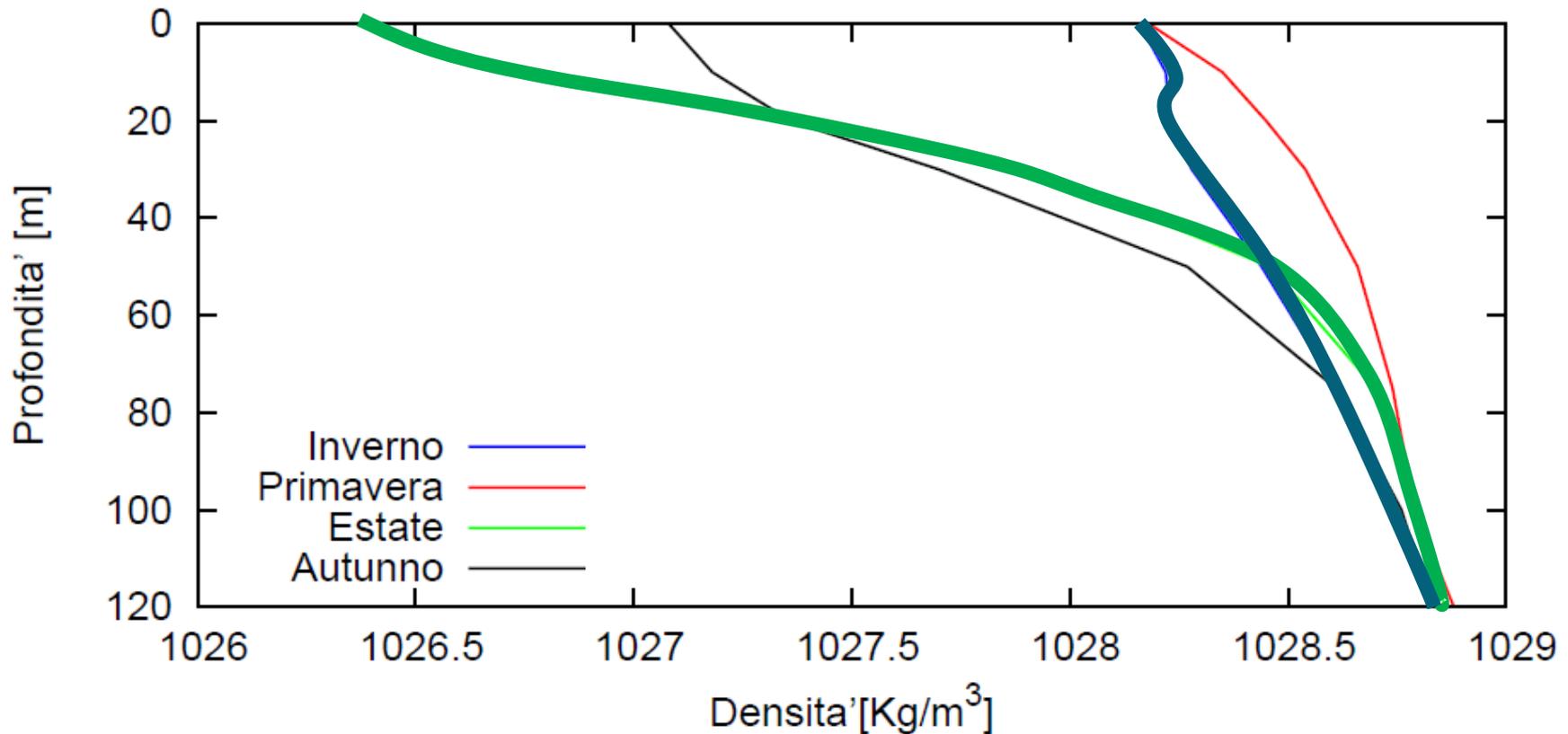
AMBIENTE FORTEMENTE
STRATIFICATO

PROFILI DI VELOCITA' DELLA
CORRENTE TRASVERSALE
NON UNIFORMI

Il caso reale: l'ambiente recettore

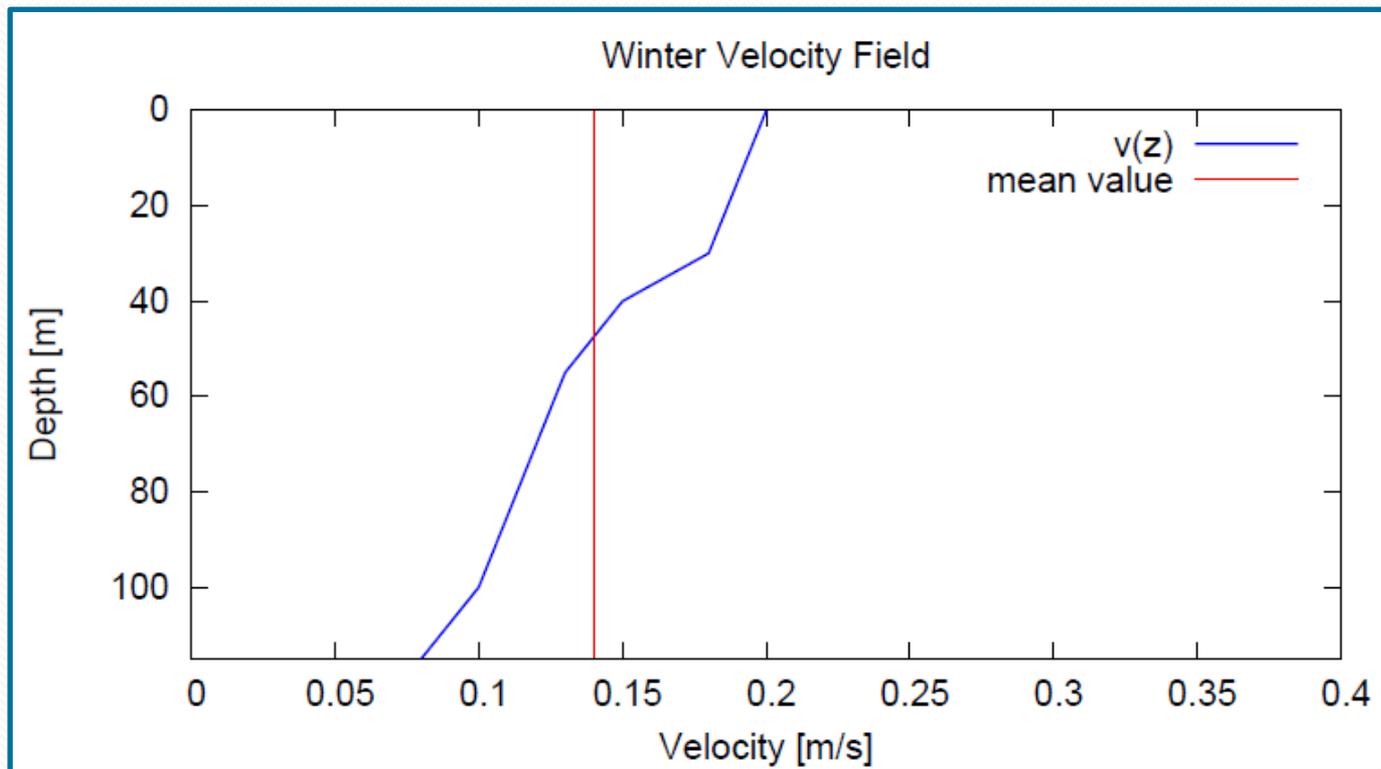
PROFILI DI DENSITA'

Confronto stratificazioni di densita'



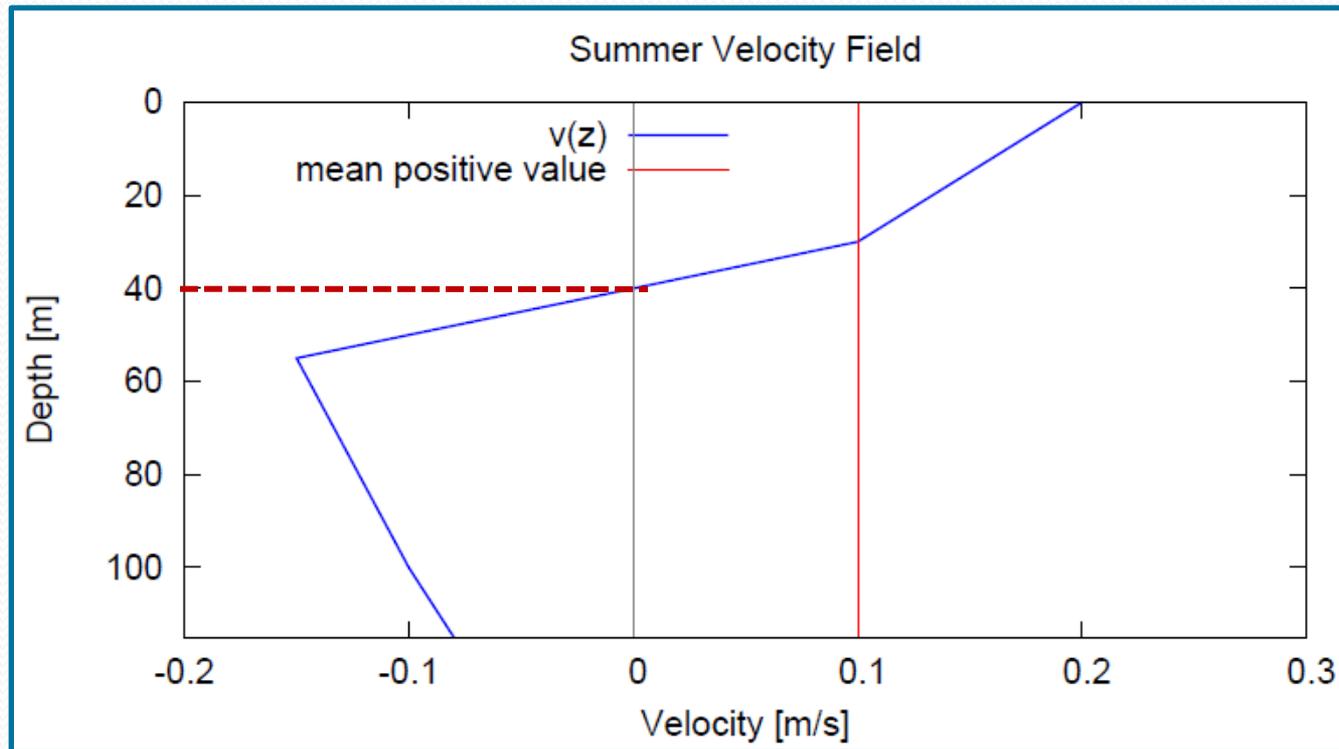
Il caso reale: l'ambiente recettore

PROFILI DI VELOCITA' TRASVERSALE



Il caso reale: l'ambiente recettore

PROFILI DI VELOCITA' TRASVERSALE



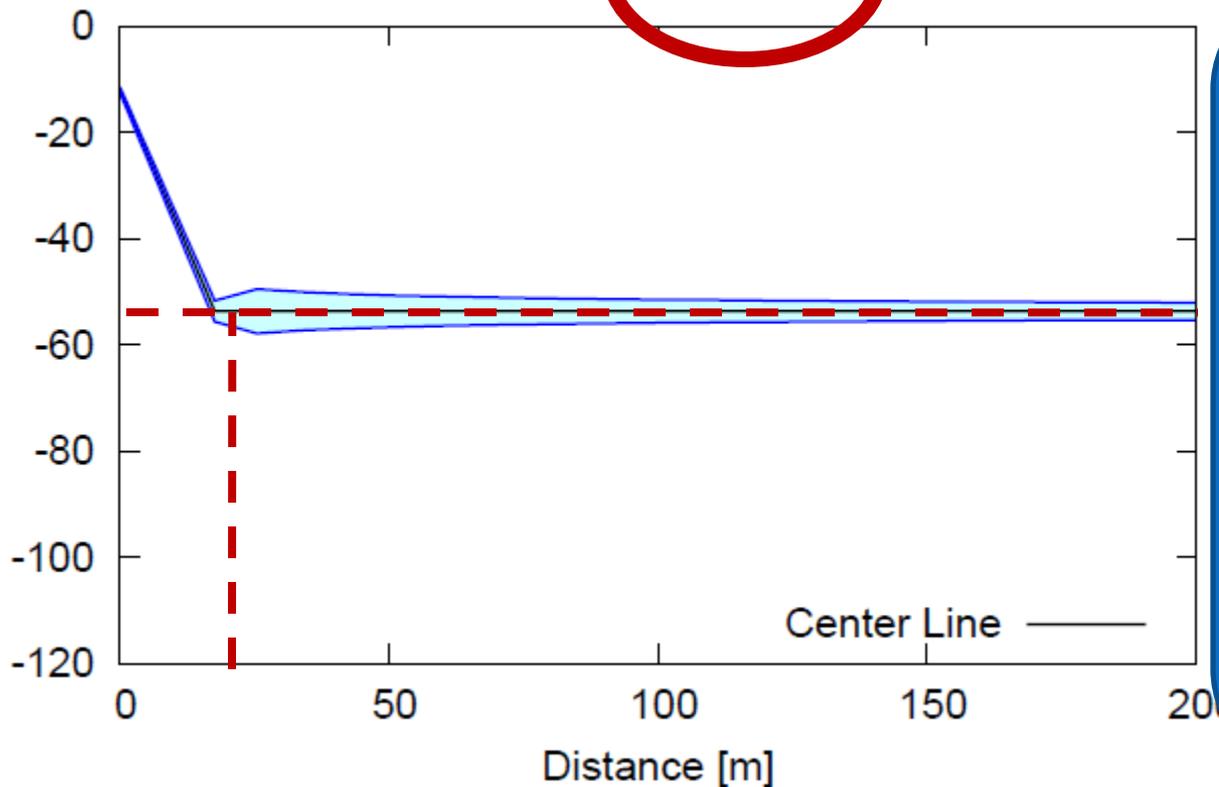
I RISULTATI DEL MODELLO SEMPLIFICATO

Tabella riassuntiva dei casi di simulazione

Periodo Stagionale	Grandezza costante	Casistiche
Stratificazione invernale	$Q_0 = 3\text{m}^3/\text{s}$	Caso 1 ($u_a = 0.14\text{m/s}$)
		Caso 2 ($u_a = 0.05\text{m/s}$)
		Caso 3 ($u_a = 0.09\text{m/s}$)
		Caso 4 ($u_a = 0.25\text{m/s}$)
		Caso 5 ($u_a = 0.50\text{m/s}$)
Stratificazione invernale	$u_a = 0.14\text{m/s}$	Caso 6 ($Q_0 = 1\text{m}^3/\text{s}$)
		Caso 7 ($Q_0 = 2\text{m}^3/\text{s}$)
		Caso 8 ($Q_0 = 4\text{m}^3/\text{s}$)
Stratificazione estiva	$Q_0 = 3\text{m}^3/\text{s}$	Caso 9 ($u_a = 0.11\text{m/s}$)
		Caso 10 ($u_a = 0.05\text{m/s}$)
		Caso 11 ($u_a = 0.25\text{m/s}$)
	$u_a = 0.11\text{m/s}$	Caso 12 ($Q_0 = 1\text{m}^3/\text{s}$)
		Caso 13 ($Q_0 = 2\text{m}^3/\text{s}$)
		Caso 14 ($Q_0 = 4\text{m}^3/\text{s}$)

I RISULTATI DEL MODELLO SEMPLIFICATO

Side view of Flow Class IS4. Plume-like/Crossflow dominated



CASO INVERNALE
MEDIO

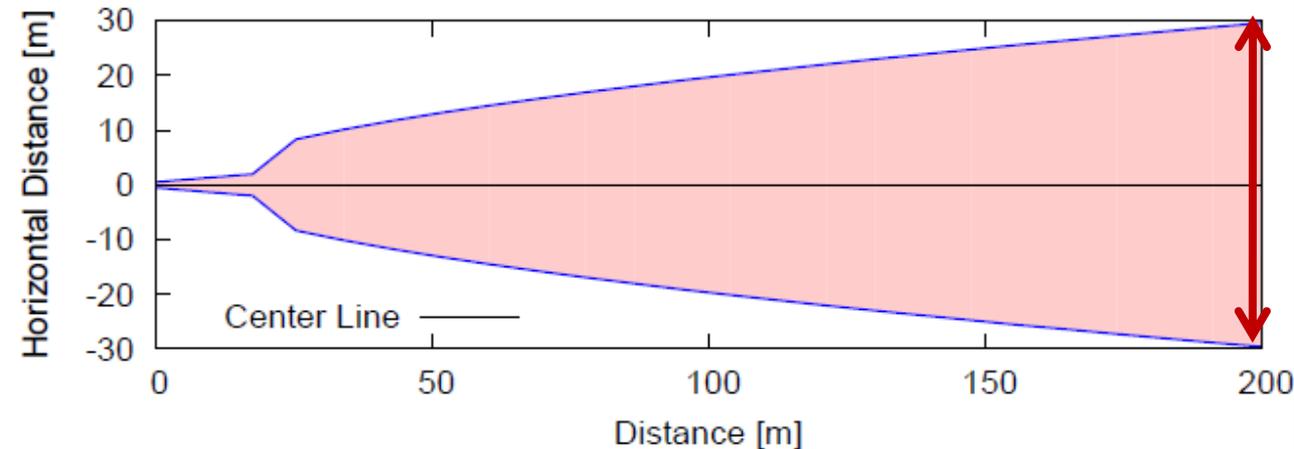
$$Q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$u_a = 0.14 \text{ m/s}$$

- $Z_t = 53 \text{ m}$
- $x = 20 \text{ m}$
- $b = 60 \text{ m}$

I RISULTATI DEL MODELLO SEMPLIFICATO

Plan view of Flow Class IS4: Plume-like/Crossflow dominated



CASO INVERNALE MEDIO

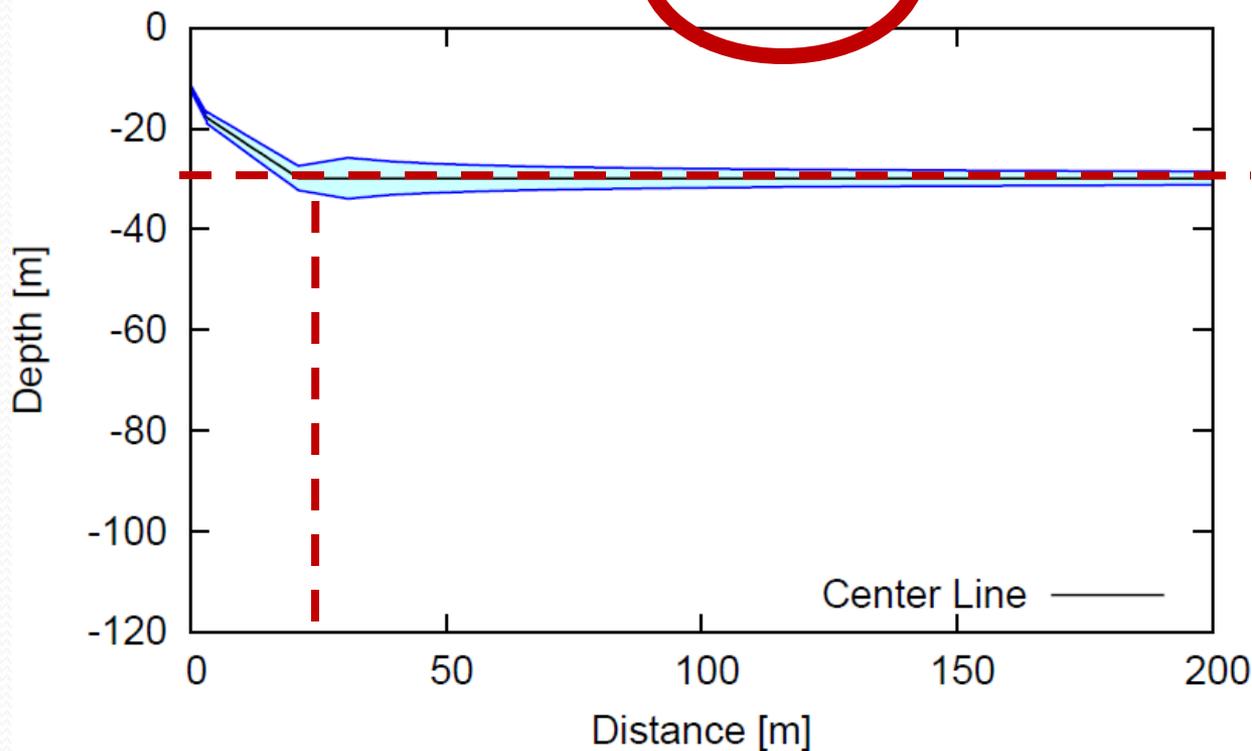
$$Q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$u_a = 0.14 \text{ m/s}$$

- $Z_t = 53 \text{ m}$
- $x = 20 \text{ m}$
- $b = 60 \text{ m}$

I RISULTATI DEL MODELLO SEMPLIFICATO

Side view of Flow Class I: Jet-like/Crossflow dominated



CASO ESTIVO
MEDIO

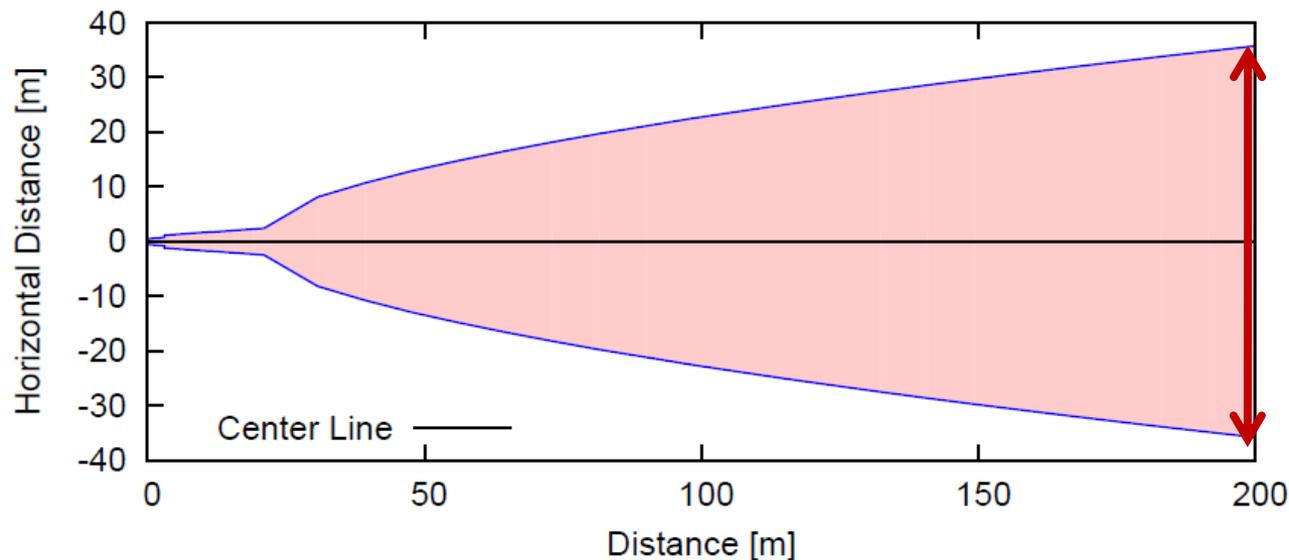
$$Q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$u_a = 0.25 \text{ m/s}$$

- $Z_t = 30 \text{ m}$
- $x = 20 \text{ m}$
- $b = 60 \text{ m}$

I RISULTATI DEL MODELLO SEMPLIFICATO

Plan view of Flow Class IS1: Jet-like/Crossflow dominated



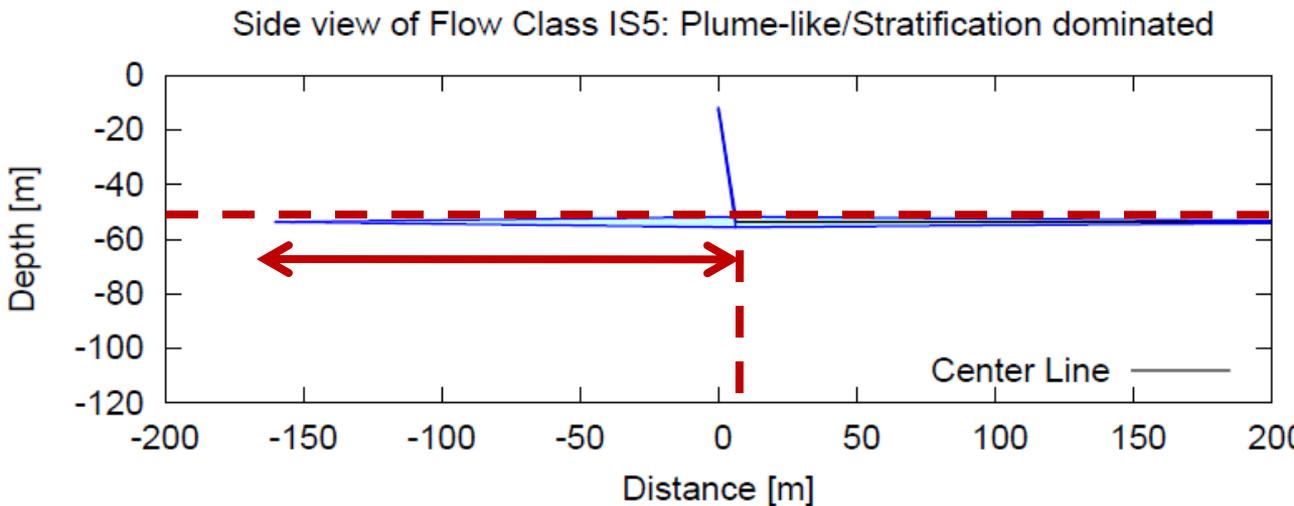
CASO ESTIVO
MEDIO

$$Q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$u_a = 0.25 \text{ m/s}$$

- $Z_t = 30 \text{ m}$
- $x = 20 \text{ m}$
- $b = 60 \text{ m}$

I RISULTATI DEL MODELLO SEMPLIFICATO



CASO INVERNALE

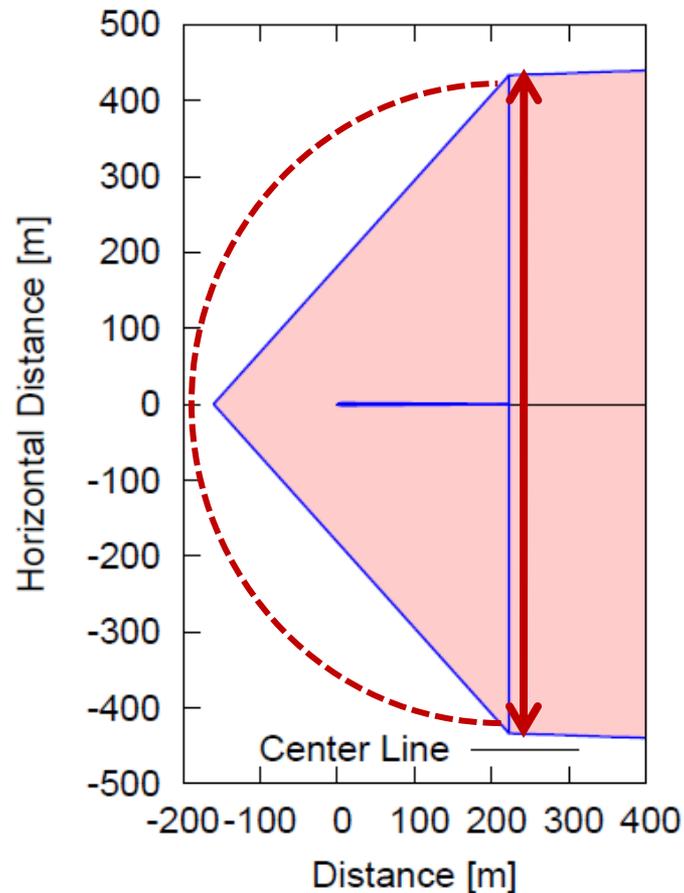
$$Q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$u_a = 0.05 \text{ m/s}$$

- $Z_t = 53 \text{ m}$
- $x = 5 \text{ m}$
- $L_s = 160 \text{ m}$
- $b = 800 \text{ m}$

I RISULTATI DEL MODELLO SEMPLIFICATO

Plan view of Flow Class IS5: Plume-like/Stratification dominated



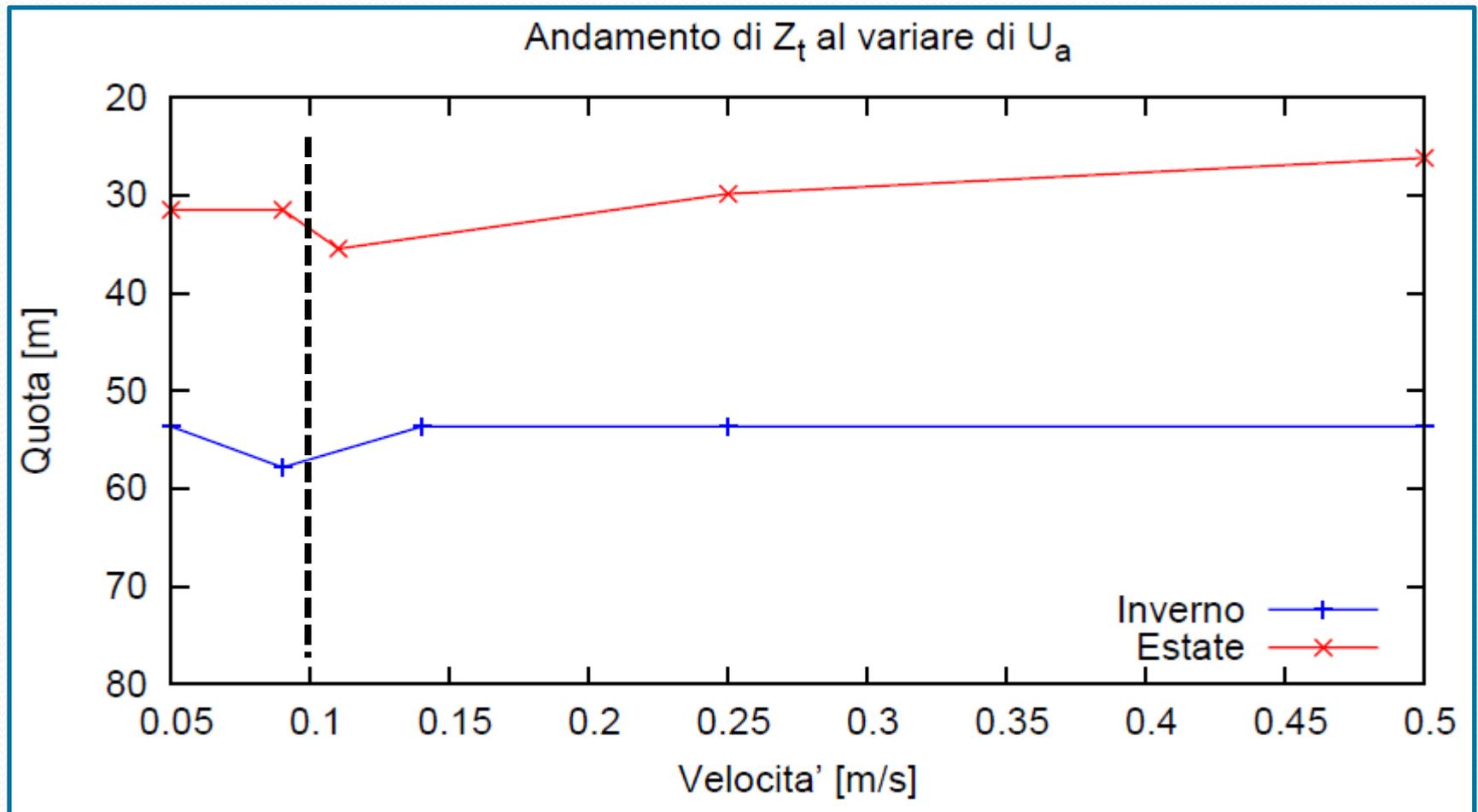
CASO INVERNALE

$$Q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

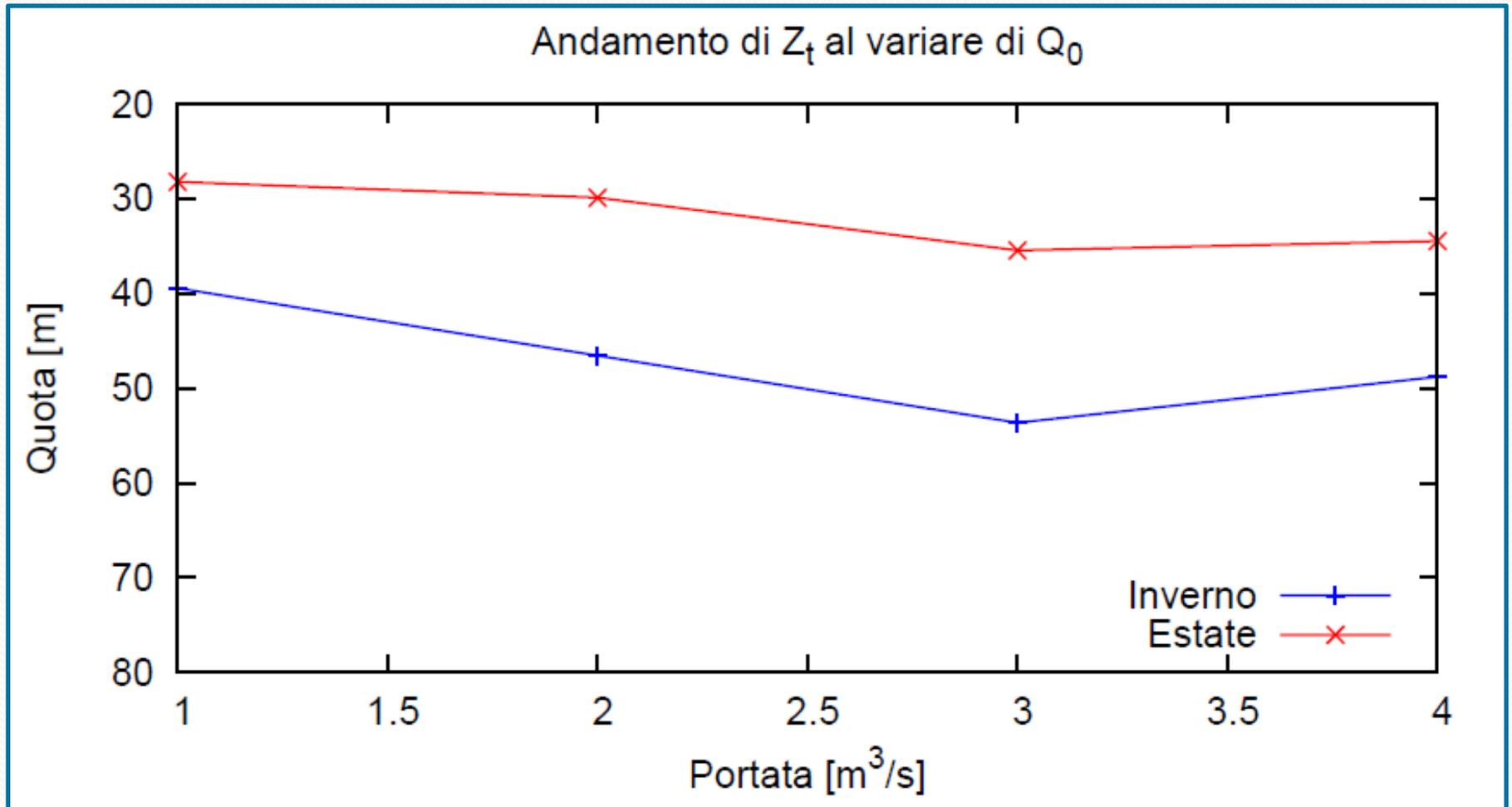
$$u_a = 0.05 \text{ m/s}$$

- $Z_t = 53 \text{ m}$
- $x = 5 \text{ m}$
- $L_s = 160 \text{ m}$
- $b = 800 \text{ m}$

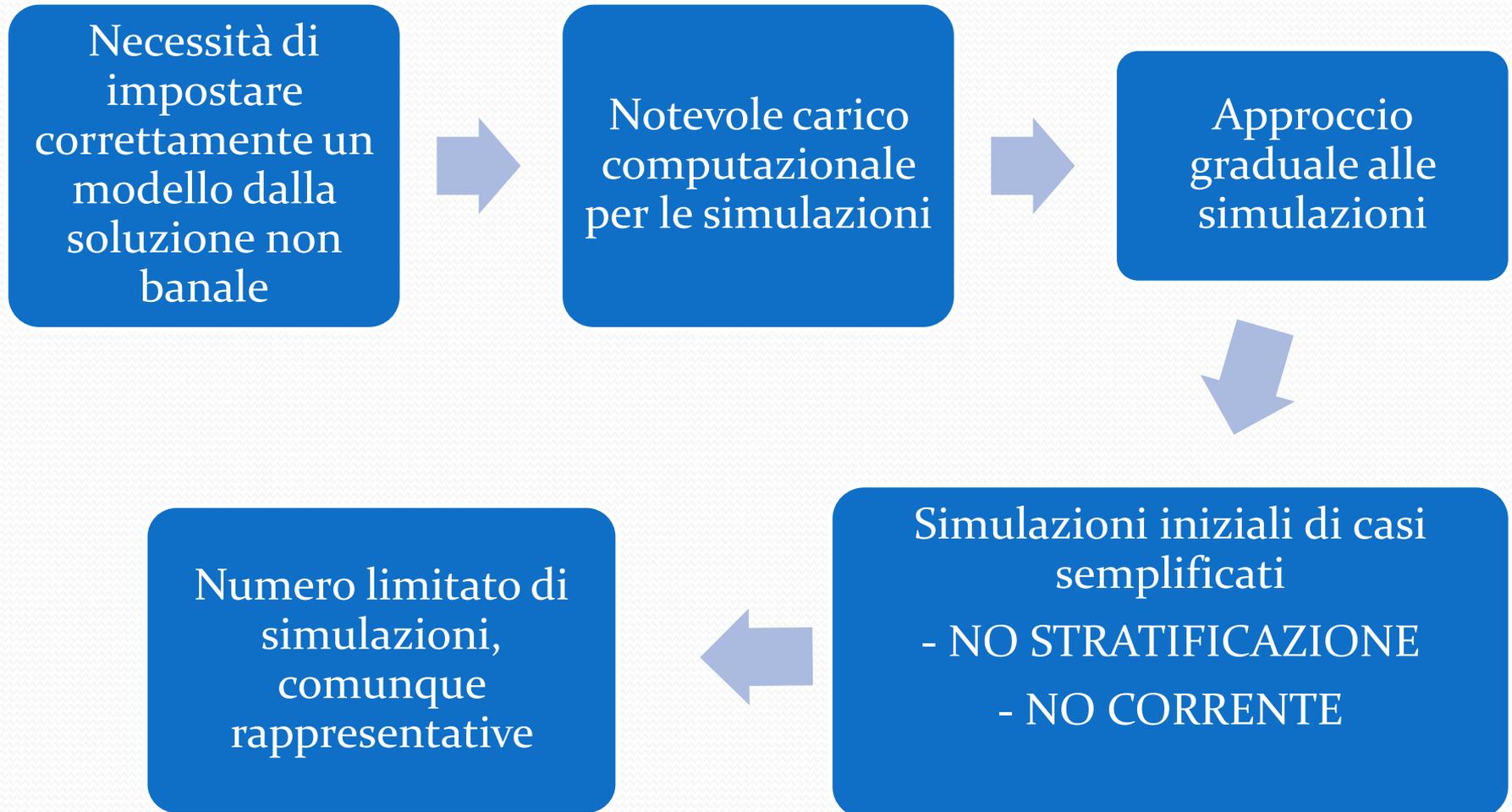
I RISULTATI DEL MODELLO SEMPLIFICATO



I RISULTATI DEL MODELLO SEMPLIFICATO



I RISULTATI DELLA CFD



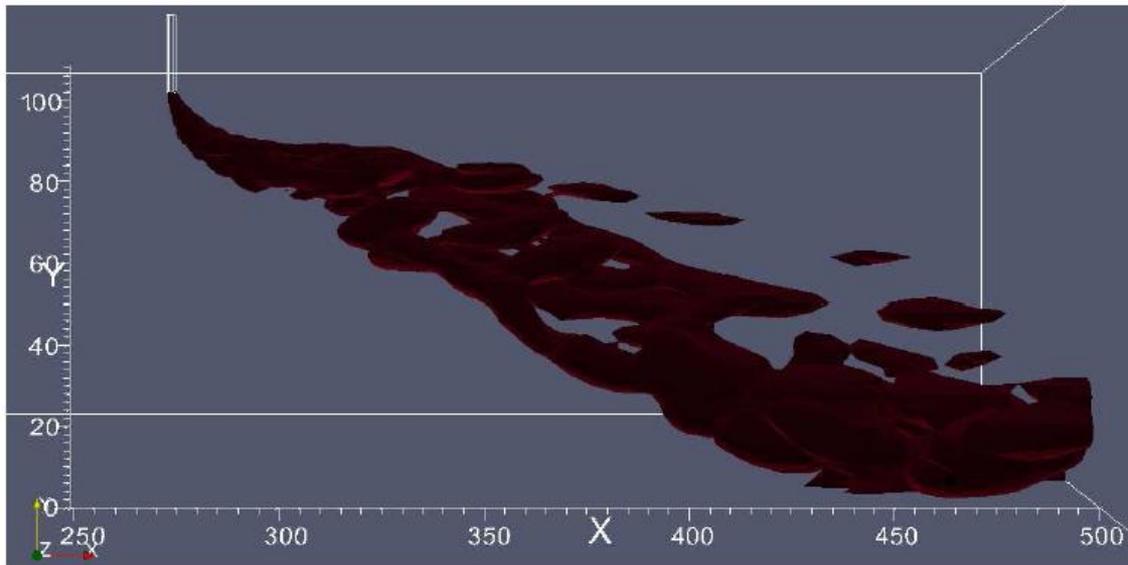
I RISULTATI DELLA CFD

Caso 1

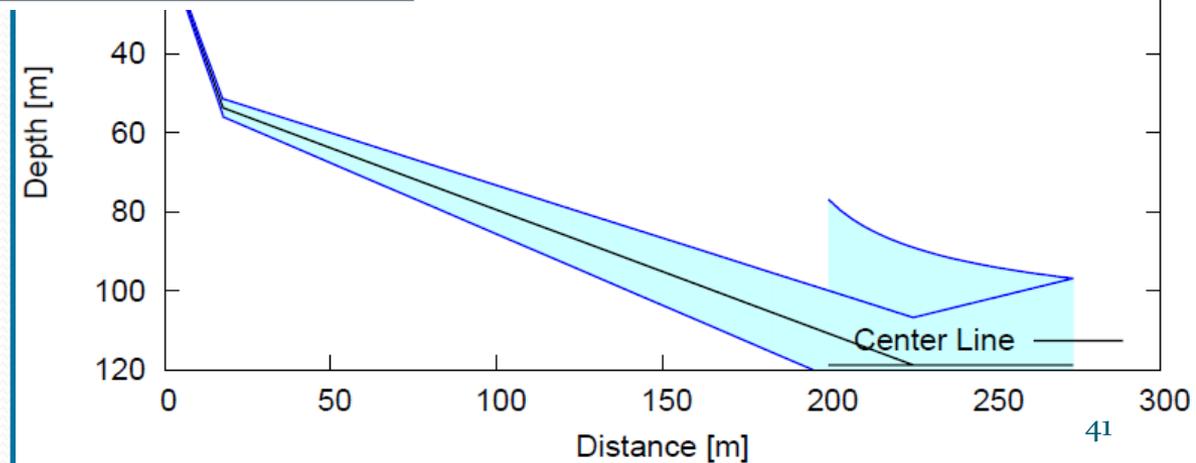
- Campo di moto della corrente trasversale in condizioni invernali
- Densità del fluido scaricato in condizioni invernali
- Ambiente recettore privo di stratificazione di densità: ad esso è stato assegnato un valore di densità uniforme pari al valore di densità presente alla quota di scarico in condizioni invernali
- Un caso analogo è stato poi simulato anche con il codice alle soluzioni autosimilari

I RISULTATI DELLA CFD

Caso 1



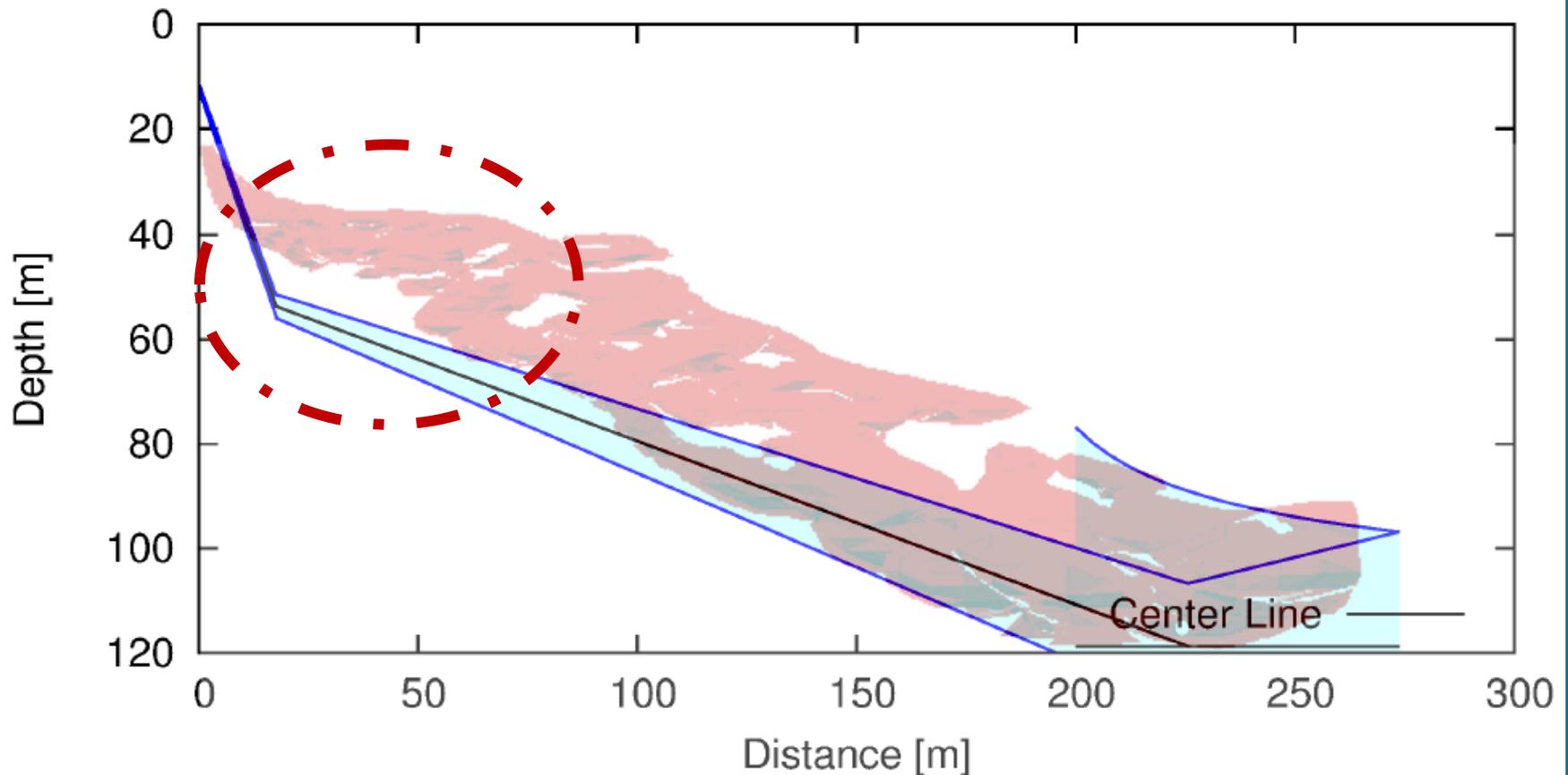
Flow Class IS4: Plume-like/Crossflow dominated



I RISULTATI DELLA CFD

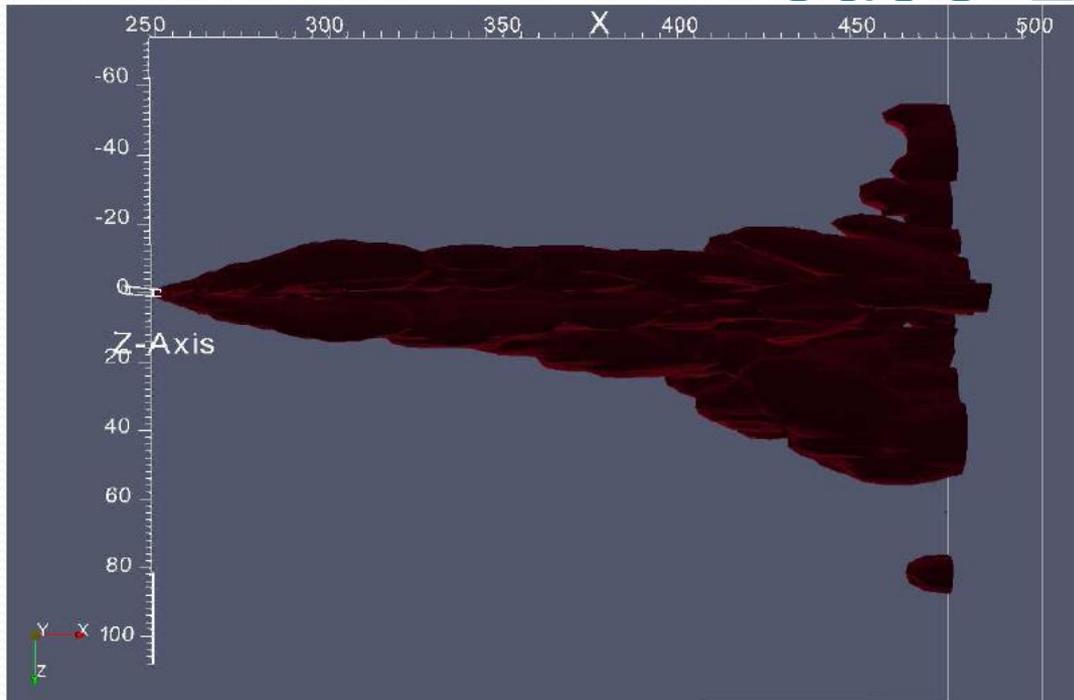
Caso 1

Side view of Flow Class IS4: Plume-like/Crossflow dominated

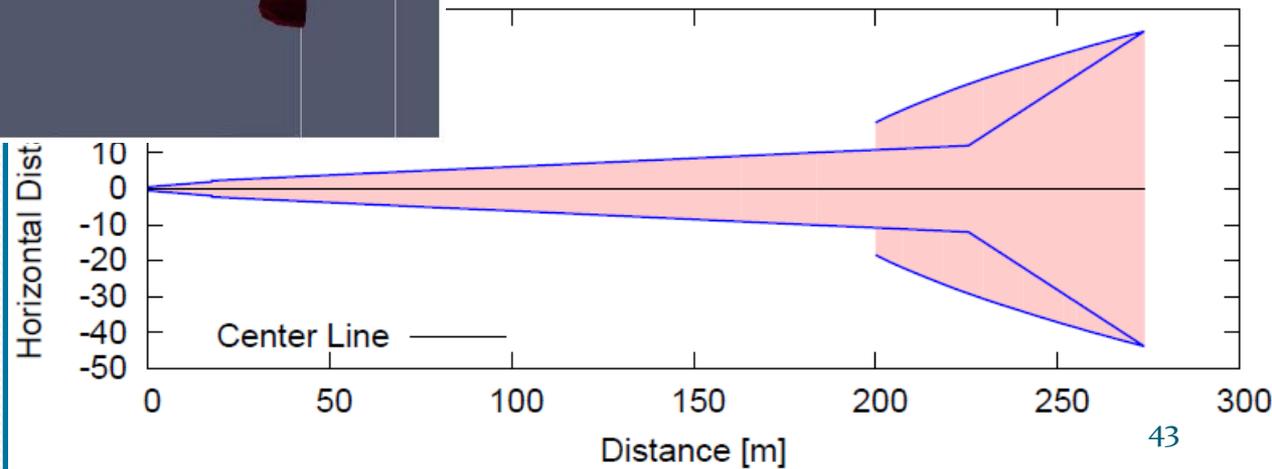


I RISULTATI DELLA CFD

Caso 1

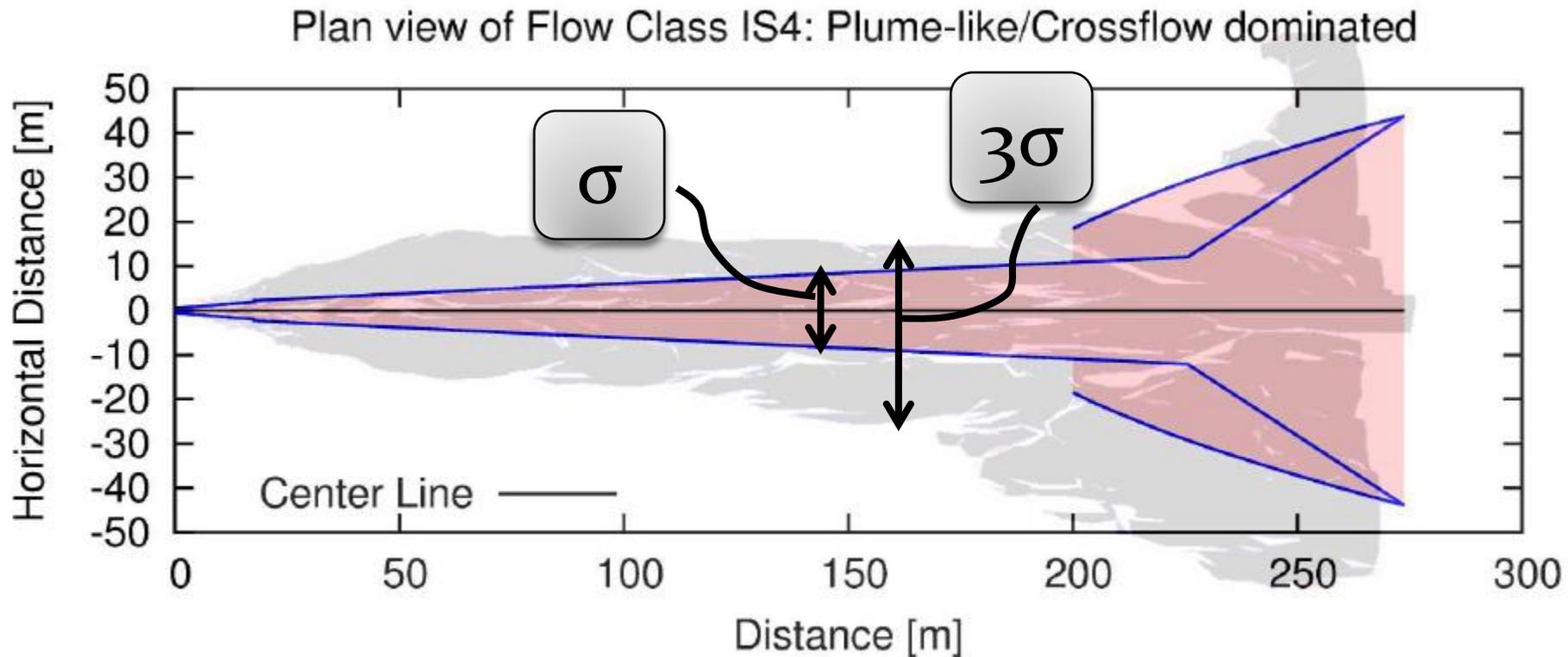


Flow Class IS4: Plume-like/Crossflow dominated



I RISULTATI DELLA CFD

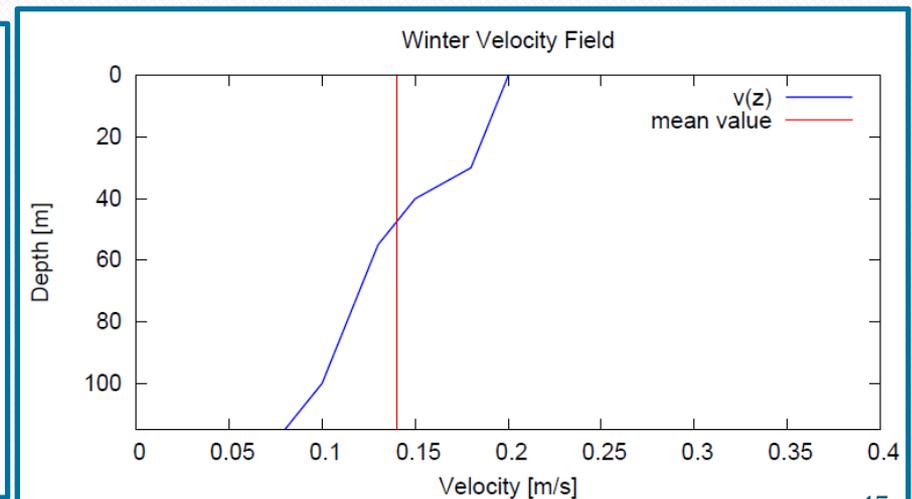
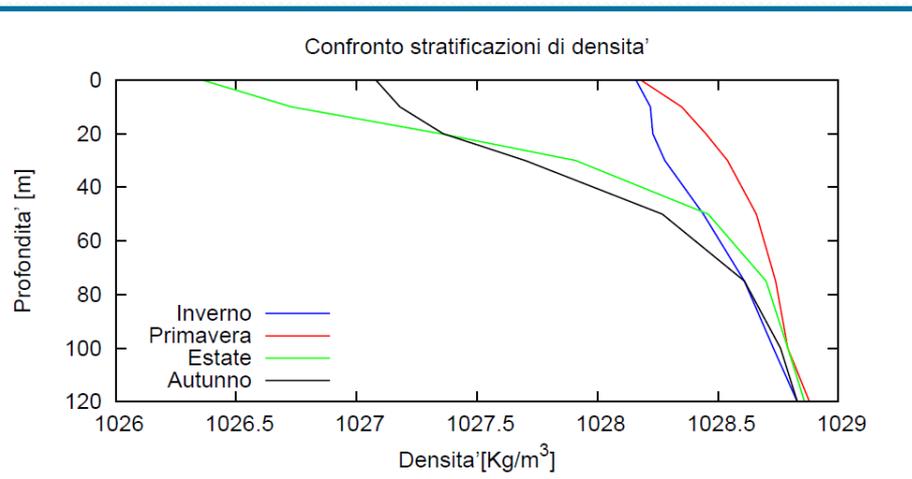
Caso 1



I RISULTATI DELLA CFD

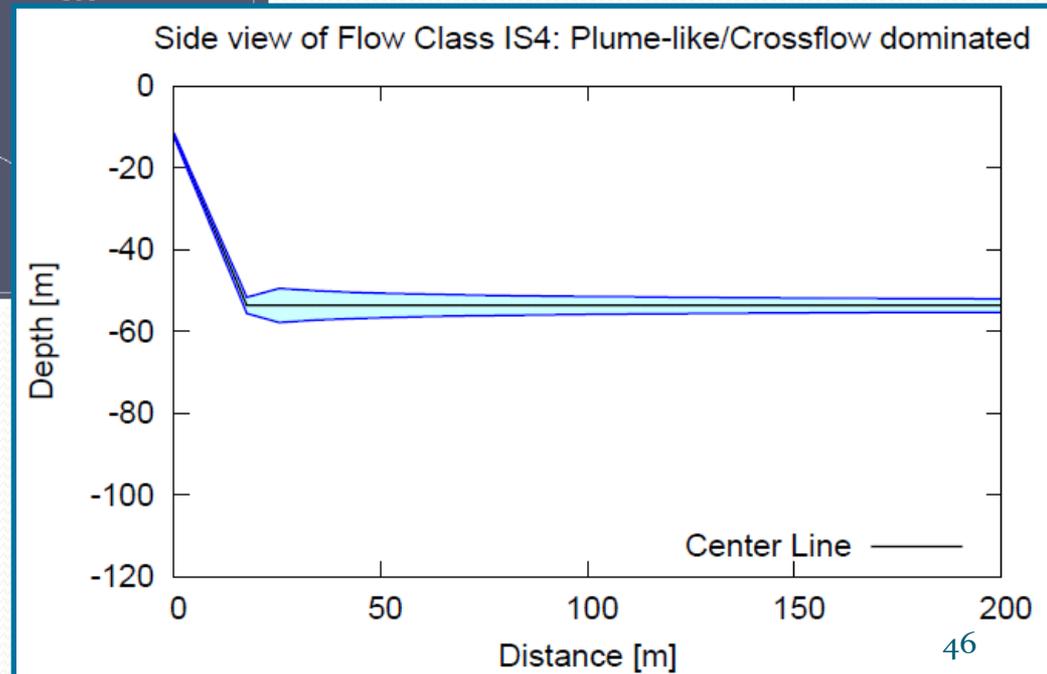
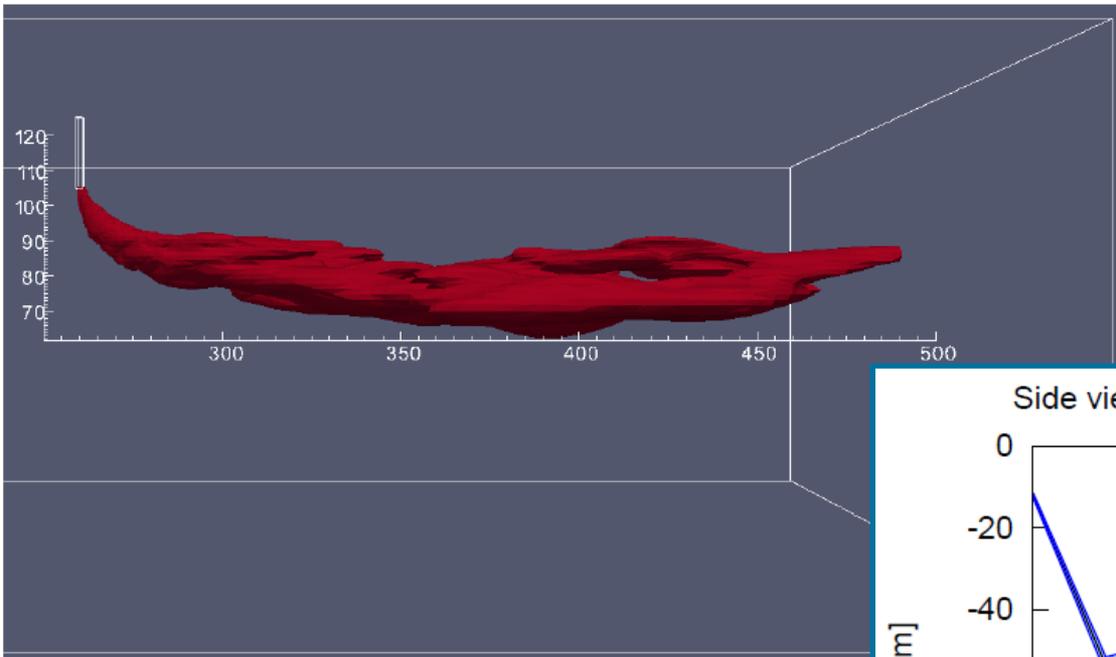
Caso 2

- Campo di moto della corrente trasversale in condizioni invernali
- Densità del fluido scaricato in condizioni invernali
- Ambiente recettore con stratificazione di densità in stagione invernale
- Il confronto viene effettuato con la soluzione semplificata mostrata in precedenza



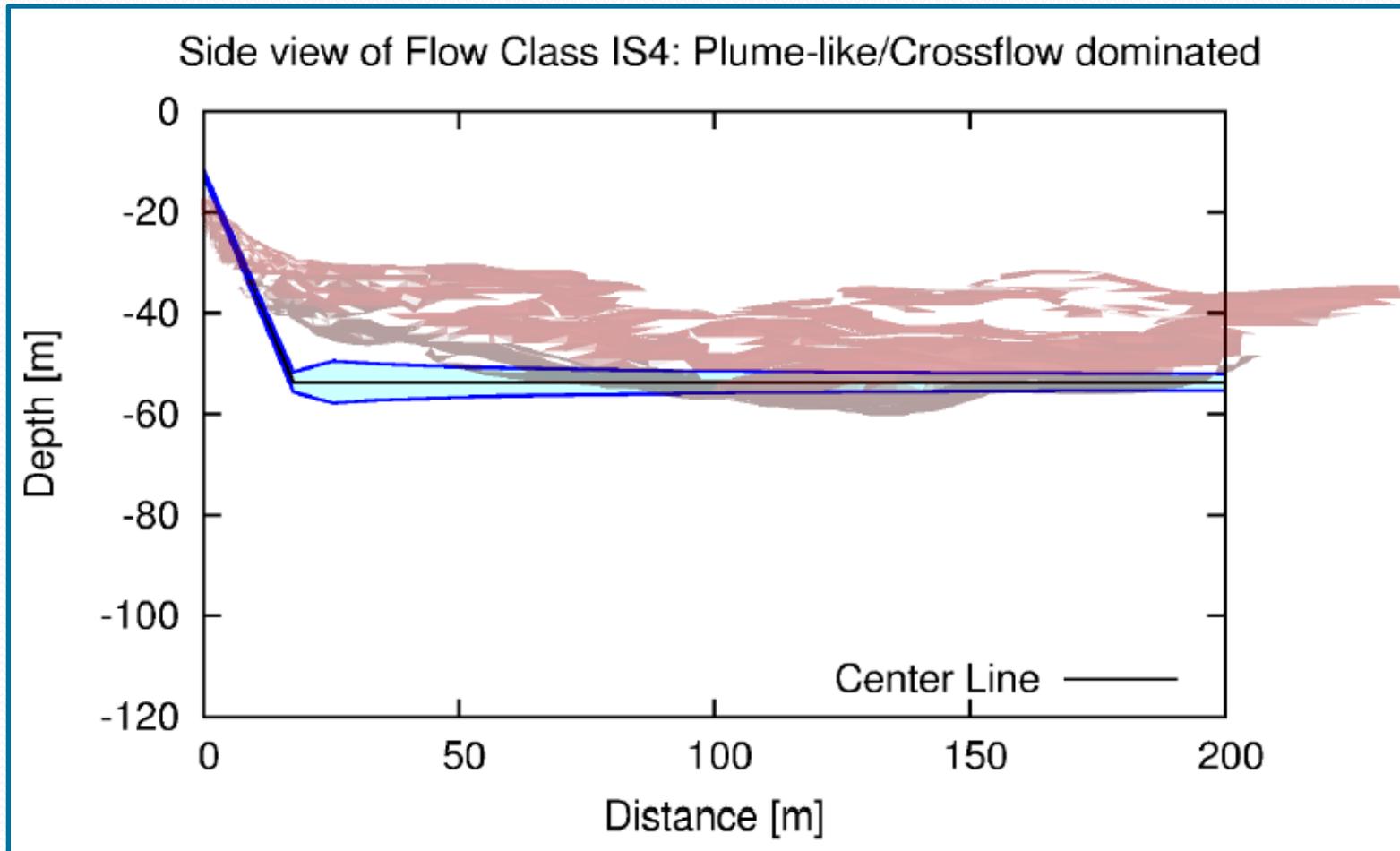
I RISULTATI DELLA CFD

Caso 2



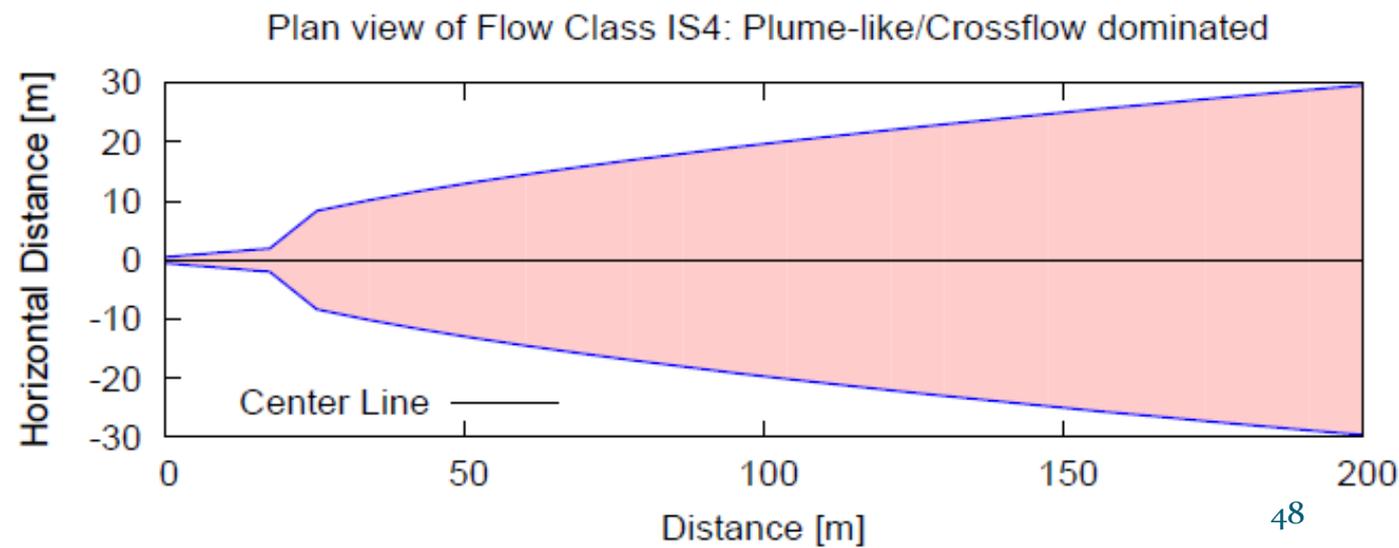
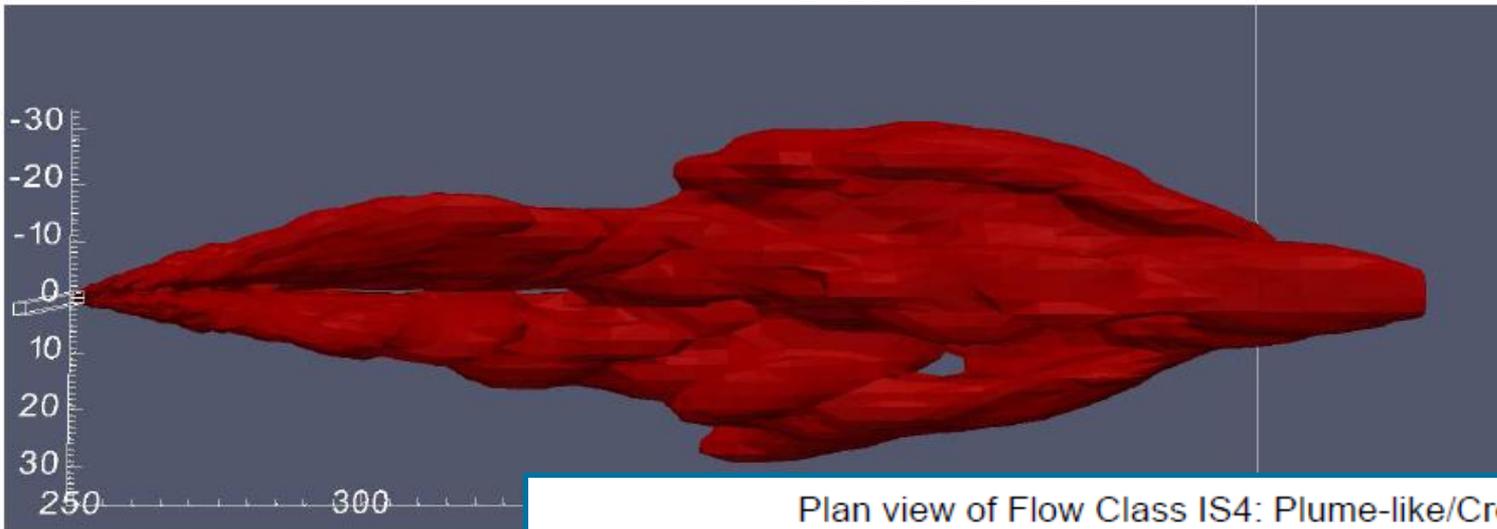
I RISULTATI DELLA CFD

Caso 2



I RISULTATI DELLA CFD

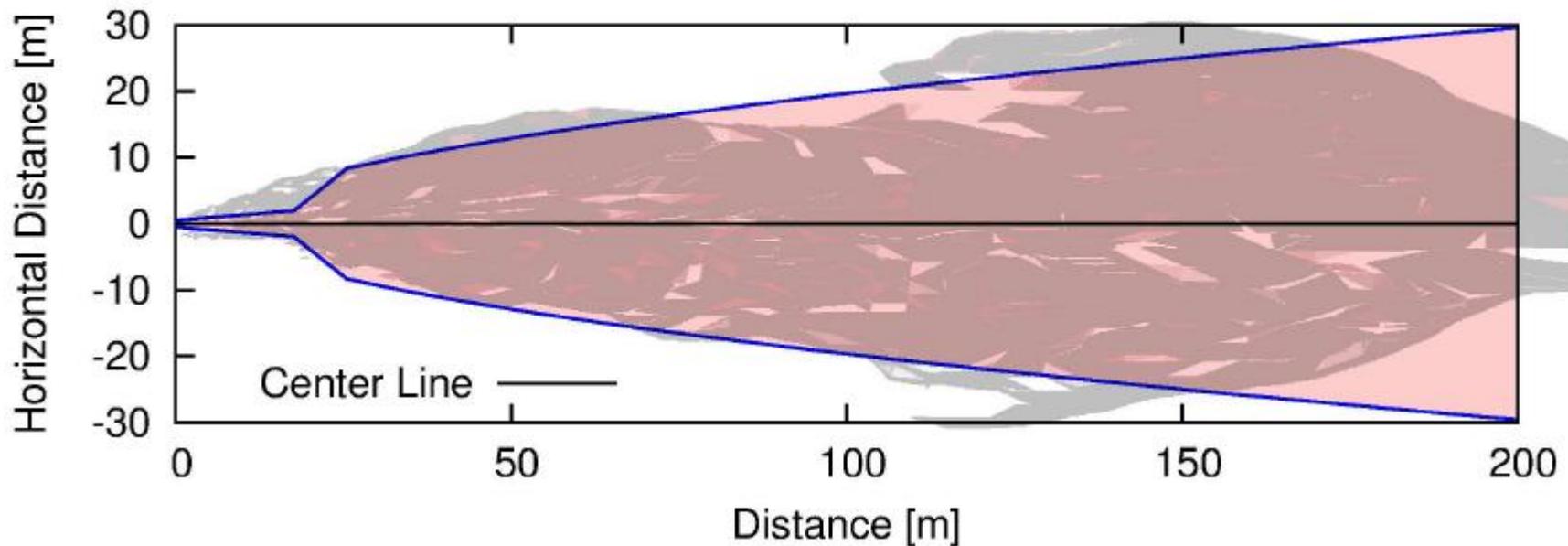
Caso 2



I RISULTATI DELLA CFD

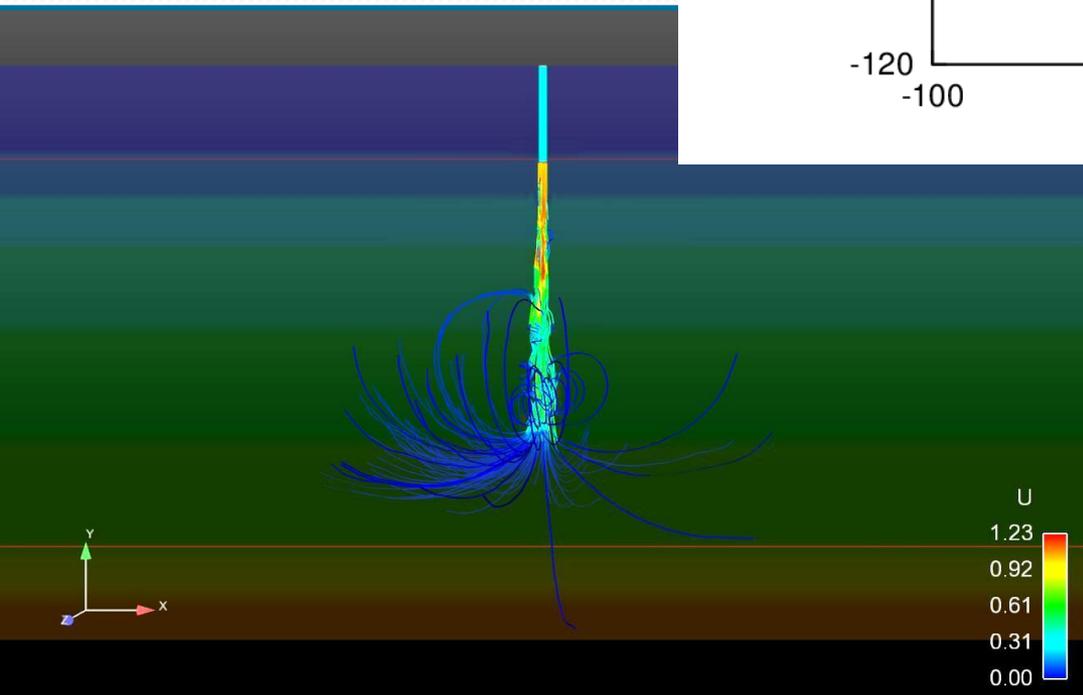
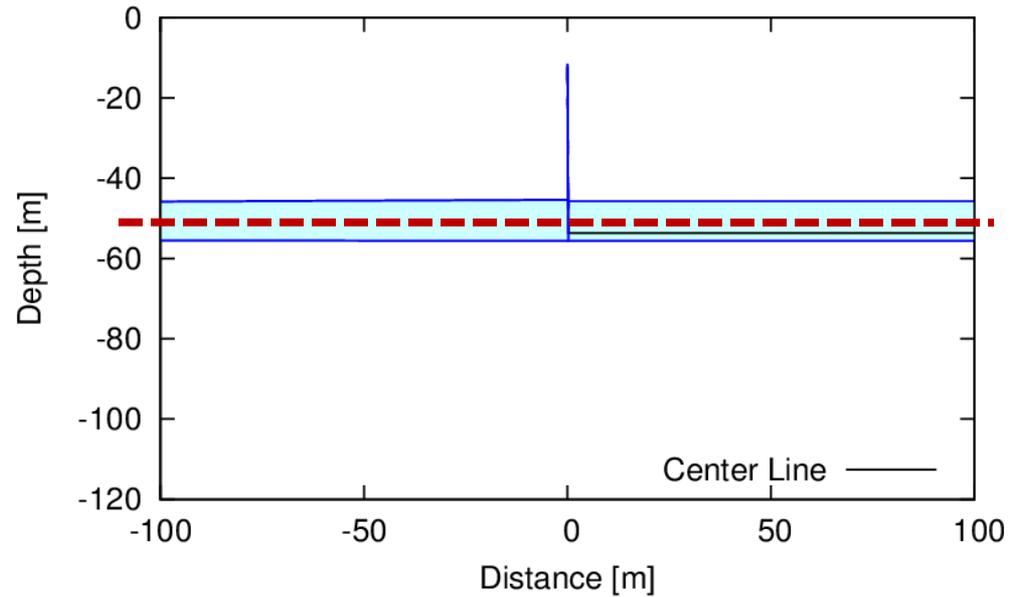
Caso 2

Plan view of Flow Class IS4: Plume-like/Crossflow dominated

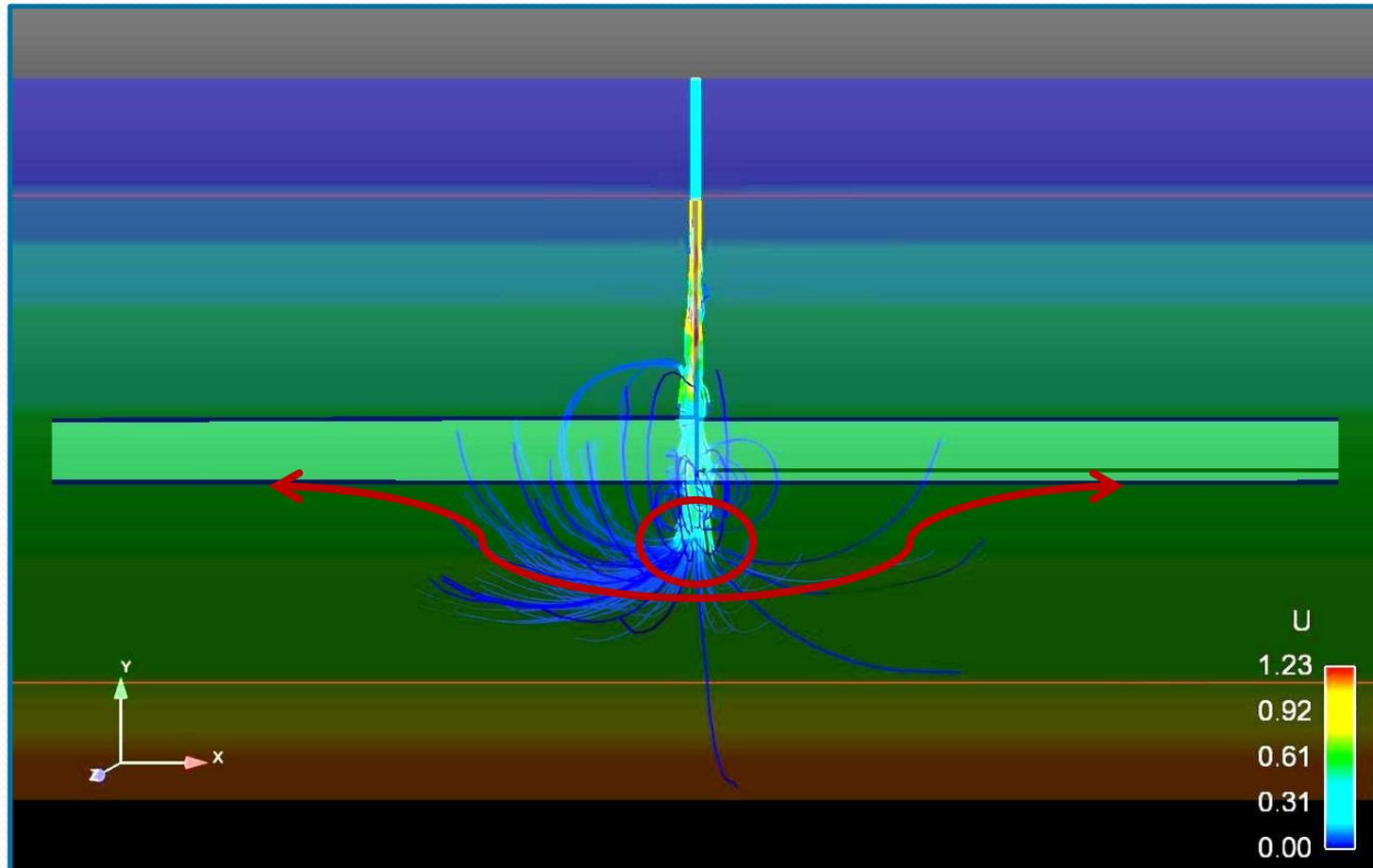


Lo studio continua

Side view of Flow Class IS5: Plume-like/Stratification dominated



Lo studio continua



Conclusioni

- ❖ Il confronto tra modelli semplificati autosimilari e simulazioni numeriche ha mostrato come le soluzioni ottenute tramite i due approcci siano in accordo tra loro
- ❖ Si ritengono entrambi adeguati all'analisi del comportamento dei processi di miscelamento nel campo dei getti galleggianti negativi fornendo tuttavia soluzioni di origine diversa
- ❖ I modelli analitici offrono la possibilità di ottenere soluzioni rapide ed affidabili notevolmente semplificate e discontinue nei regimi di moto analizzati
- ❖ L'analisi numerica restituisce soluzioni più dettagliate e continue nel dominio di analisi a discapito di tempistiche e potenzialità computazionali molto elevate

Prospettive future

- ❖ Sviluppi futuri rivolti ad un approfondimento dei processi di interazione con il fondo e le quote di bloccaggio
- ❖ Introduzione nei modelli numerici di profili di temperatura
- ❖ Analisi delle interazioni tra fluido scaricato e fluido ambiente nei processi di reazione chimica eliminando l'ipotesi forzante di traccianti passivi

GRAZIE PER L'ATTENZIONE