

LINEE GUIDA SULLA MODELLISTICA MATEMATICA A SUPPORTO DELLA MOVIMENTAZIONE DEI SEDIMENTI IN AREE MARINO-COSTIERE: MODELLISTICA ED INTERAZIONI CON IL MONITORAGGIO

[IOLANDA LISI](#)¹, [ANTONELLO BRUSCHI](#)¹, ALESSANDRA FEOLA¹, MARCELLO DI RISIO¹⁻²,
ANDREA PEDRONCINI³, DAVIDE PASQUALI, ELENA ROMANO²

¹ ISPRA, Centro Nazionale per la caratterizzazione ambientale e la protezione della fascia costiera, l'oceanografia operativa e la climatologia marittima (CN-COS)

² Università dell'Aquila, Dipartimento di Ingegneria, Civile, Edile Architettura e Ambientale (DICEAA)

³ DHI S.r.l.

La cooperazione al cuore del Mediterraneo
La coopération au cœur de la Méditerranée



La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere



MANUALI E LINEE GUIDA

PERCHÉ IL MANUALE



- 1. Assenza di approcci standardizzati per:**
 - definizione del termine sorgente di rilascio
 - scelta della durata degli scenari di modellazione
 - scelta delle tecniche di analisi e sintesi dei risultati
- 2. Assenza di linee di indirizzo condivise** che considerassero in maniera organica **tutte le fasi operative** del ciclo della movimentazione (ESCAVO, TRASPOSTO, SVERSAMENTO)



La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere



MANUALI E LINEE GUIDA

FOCUS DEL MANUALE



Manuale applicativo sull'utilizzo dei **Modelli Matematici** per lo studio dei processi di risospensione, trasporto e deposizione dei sedimenti (principalmente fini) movimentati e le **interazioni/sinergie con il monitoraggio.**

Il Manuale è il risultato della **sinergia di diverse professionalità** (agenziale, tecnico, accademico)

Rivolto agli operatori del settore e agli Enti preposti al controllo



La modellistica matematica
 nella valutazione degli aspetti fisici
 legati alla movimentazione
 dei sedimenti in aree marino-costiere



MANUALI E LINEE GUIDA

CONTENUTI DEL MANUALE

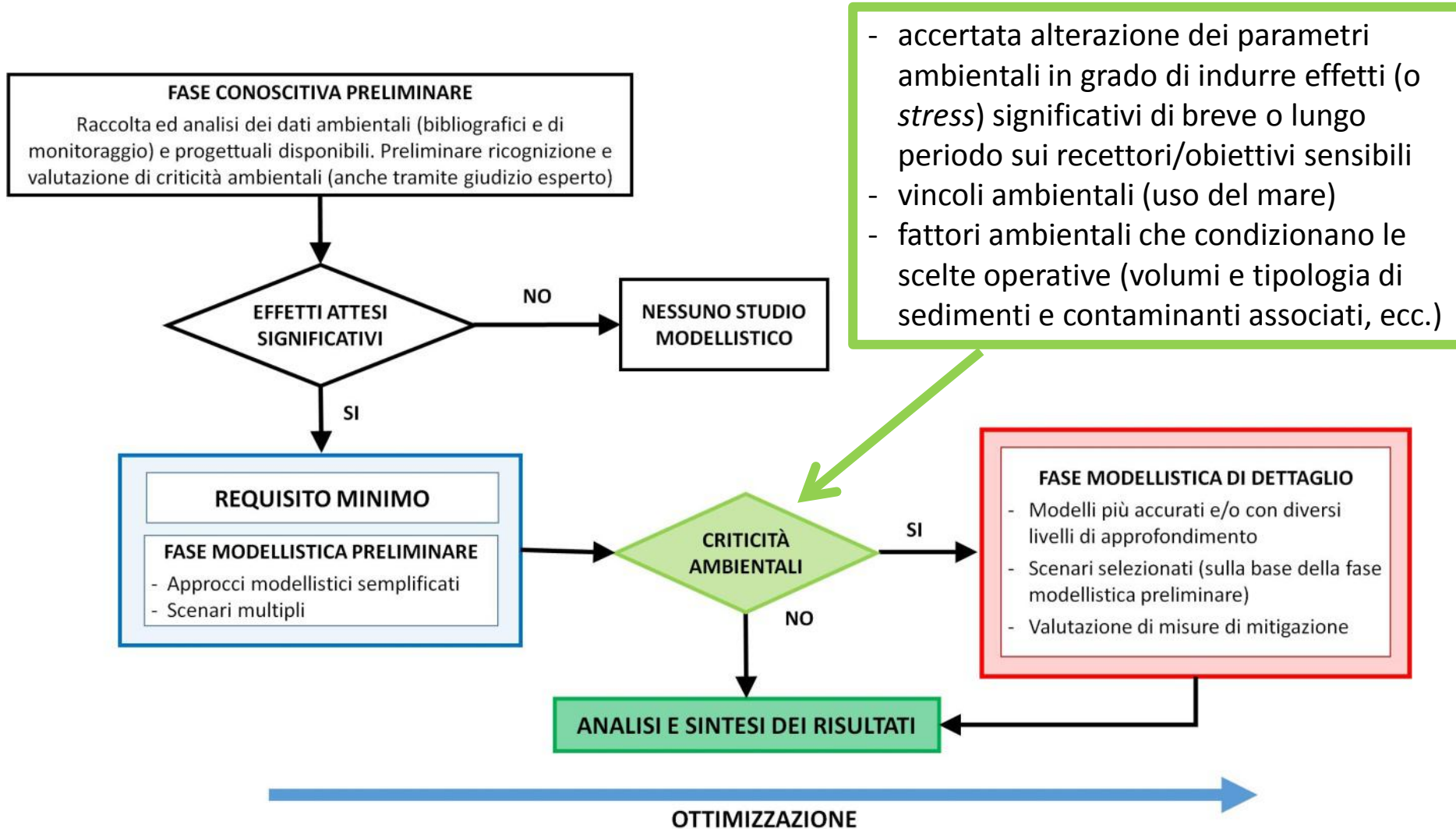


Sistematizza l'implementazione di modelli matematici a supporto della progettazione e gestione della movimentazione dei sedimenti in relazione agli obiettivi progettuali e ambientali.

- 1. Considera in modo organico le diverse fasi operative del ciclo della movimentazione:**
 → escavo, trasposto, sversamento
- 2. Differenzia gli ambiti di intervento in base alle fenomenologie fisiche che li caratterizzano:**
 → aree al largo, costiere e bacini semichiusi
- 3. Evidenzia le interazioni tra modellistica e monitoraggio:**
 → *ante operam*, in corso d'opera e *post operam*

169/2017

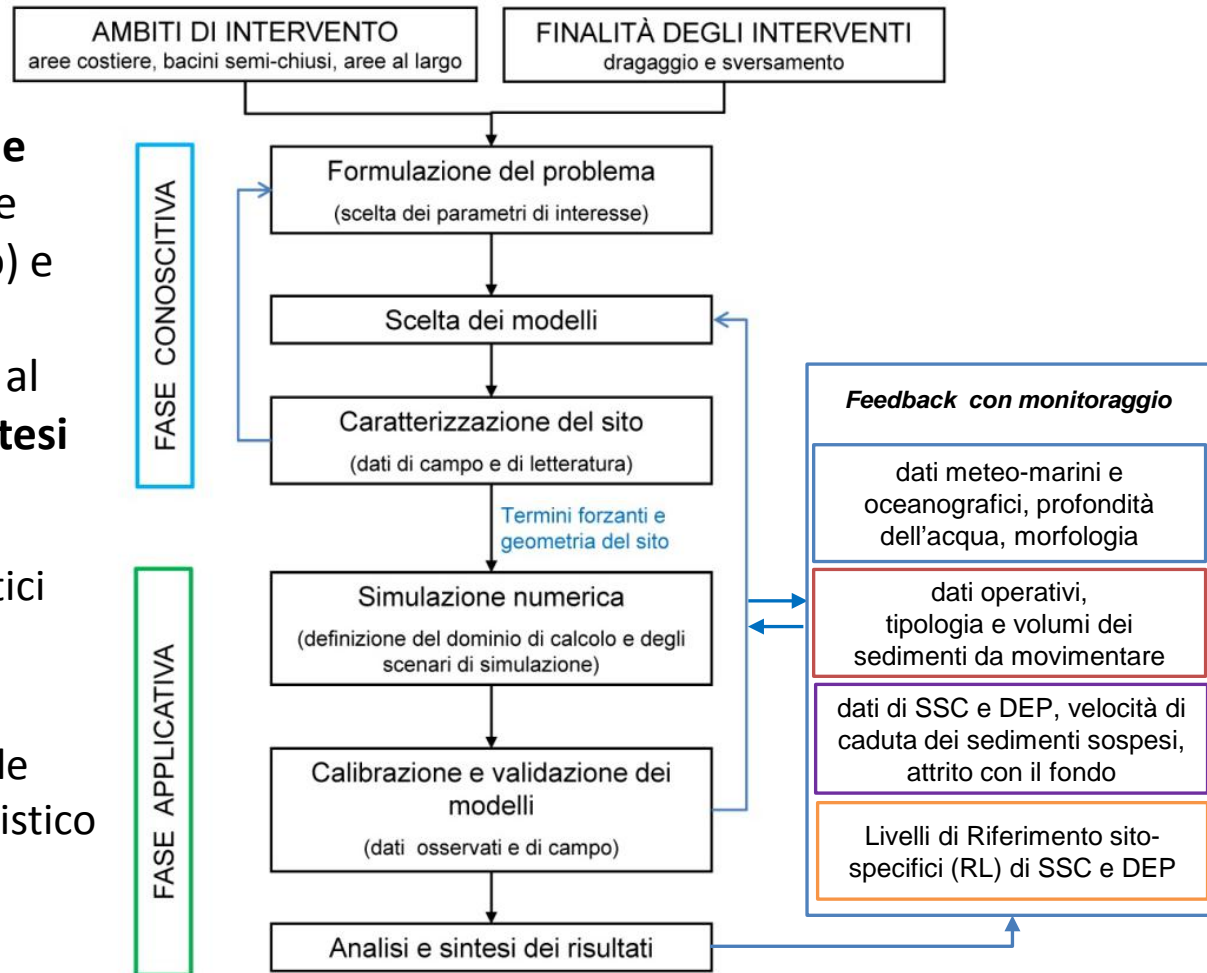
Filosofia dell'approccio ... dal semplificato al dettaglio: attenzione all'ambiente e ai costi



Filosofia dell'approccio ... dal semplificato al dettaglio: attenzione all'ambiente e ai costi

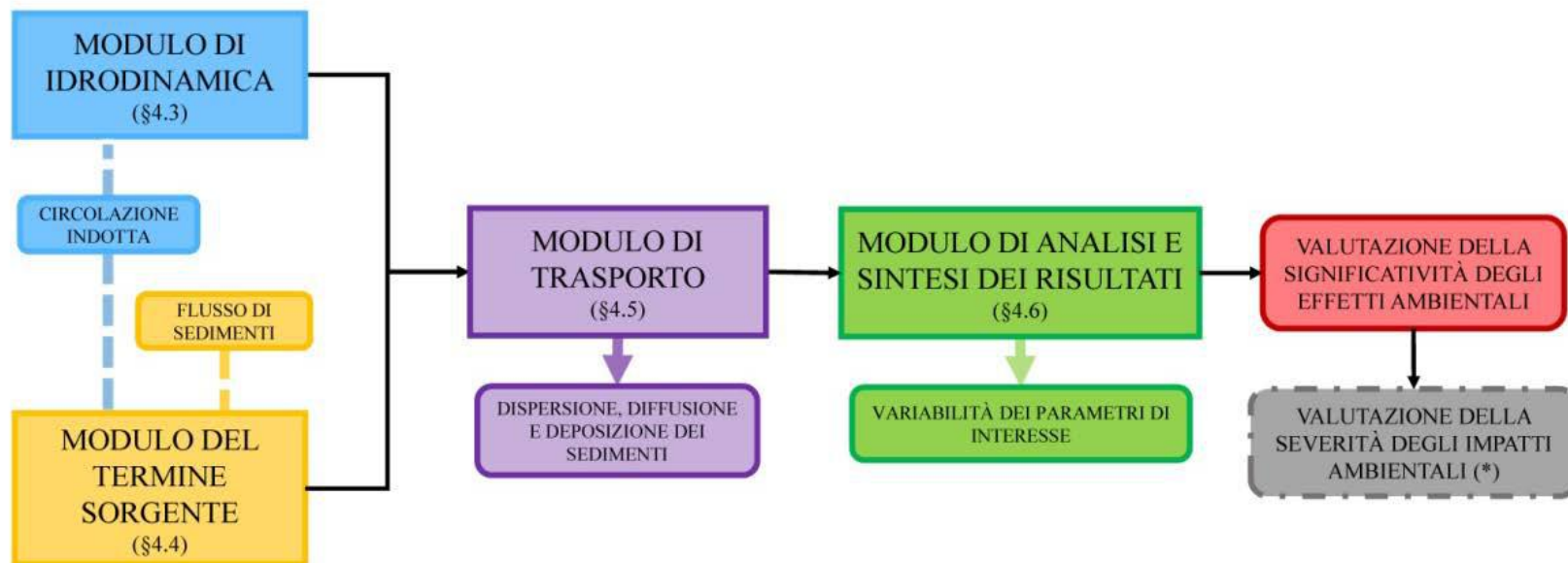
Indicazioni per l'implementazione della modellistica in relazione alle **finalità** (dragaggio e sversamento) e agli **ambiti degli interventi** (aree costiere, bacini semichiusi e aree al largo) e agli **effetti ambientali attesi (di breve e lungo periodo)**:

1. scelta degli strumenti modellistici
2. definizione degli scenari di modellazione
3. verifica dei risultati ed eventuale revisione dell'approccio modellistico scelto
4. analisi e sintesi dei risultati



L' Approccio Modellistico Integrato

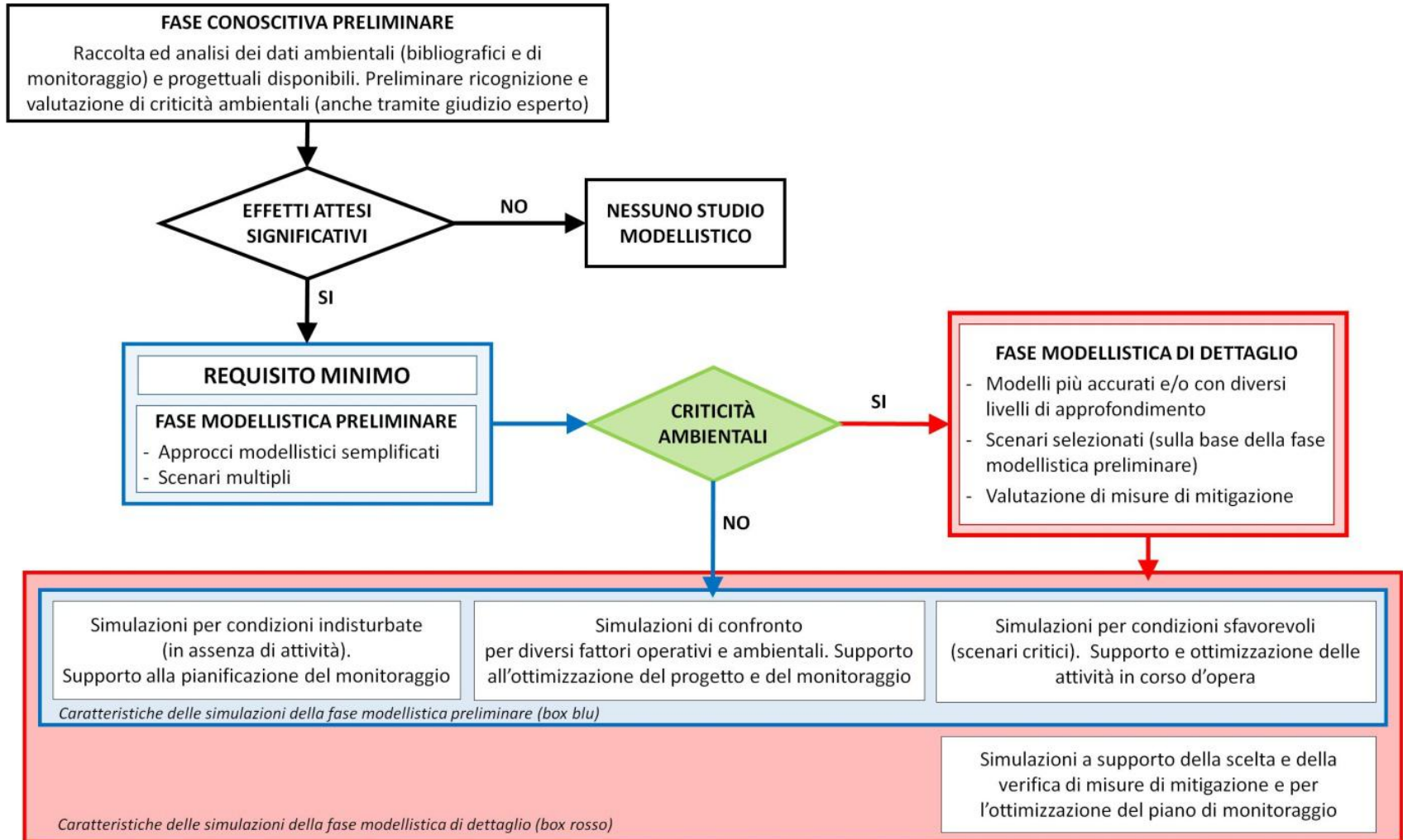
Propone un **Approccio Modellistico Integrato (AMI)**, costituito da diversi moduli concettuali, per valutare la **distribuzione spazio-temporale del sedimento in sospensione (SSC) e al fondo (DEP)** causata dalle operazioni di movimentazione, con particolare attenzione alla stima del **termine sorgente**.



Integrated modeling Approach for simulating Sediment Dispersion (IMA-forSED).

In Lisi et al. (2019) - *Mathematical modeling framework of physical effects induced by sediments handling operations in marine and coastal areas*. J. Mar. Sci. Eng.

Indicazioni per la definizione degli scenari di modellazione



Indicazioni per la definizione degli scenari di modellazione

1. Finalità di utilizzo e limiti di applicabilità degli approcci modellistici di possibile adozione nella fasi modellistiche preliminare e di dettaglio dell'AMI:
 - ➔ approccio **climatologico**, basato su dati statistici rappresentativi di condizioni di interesse
 - ➔ approccio **realistico a scenari**, basato su dati relativi a specifici eventi di interesse passati
 - ➔ approccio **realistico di lungo periodo**, basato su dati relativi a specifici periodi passati e sufficientemente rappresentativi delle condizioni climatologiche
 - ➔ approccio **previsionale**, basato su dati di previsione

2. Indicazioni sulle **forzanti** e sui **fenomeni fisici** da considerare, nei diversi ambiti di intervento, per riprodurre scenari rappresentativi:
 - dello stato del mare e del trasporto/deposizione dei sedimenti
 - dell'interazione dei fenomeni fisici con le modalità operative (es. tipologia e durata delle operazioni)

Indicazioni per la definizione degli scenari di modellazione

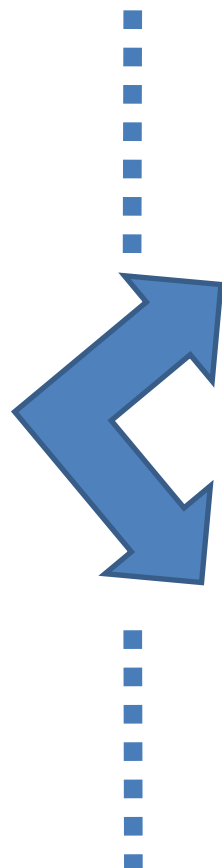
++: applicazione consigliata; +: applicazione possibile; 0: i risultati risentono parzialmente della formulazione del modello; -: applicazione sconsigliata, i risultati risentono fortemente della formulazione del modello

Caso in esame	Tipo di modello	
	Modello 3D, Q3D, a strati	Modello 2DH
Rilascio di sedimenti ad opera di dragaggio in profondità limitate	+	++
Rilascio di sedimenti ad opera di dragaggio in profondità rilevanti	++	-
Rilascio di sedimenti in aree litoranee	+	++
Rilascio di sedimenti in aree lagunari e stagni costieri	+	++
Rilascio di sedimenti in aree di foce fluviale	++	-
Rilascio di sedimenti in aree al largo	++	○
Influenza del vento in bacini semi-chiusi	++	+

Dal generale al dettaglio

Filosofia dell'approccio

Indicazioni per l'impostazione degli studi modellistici



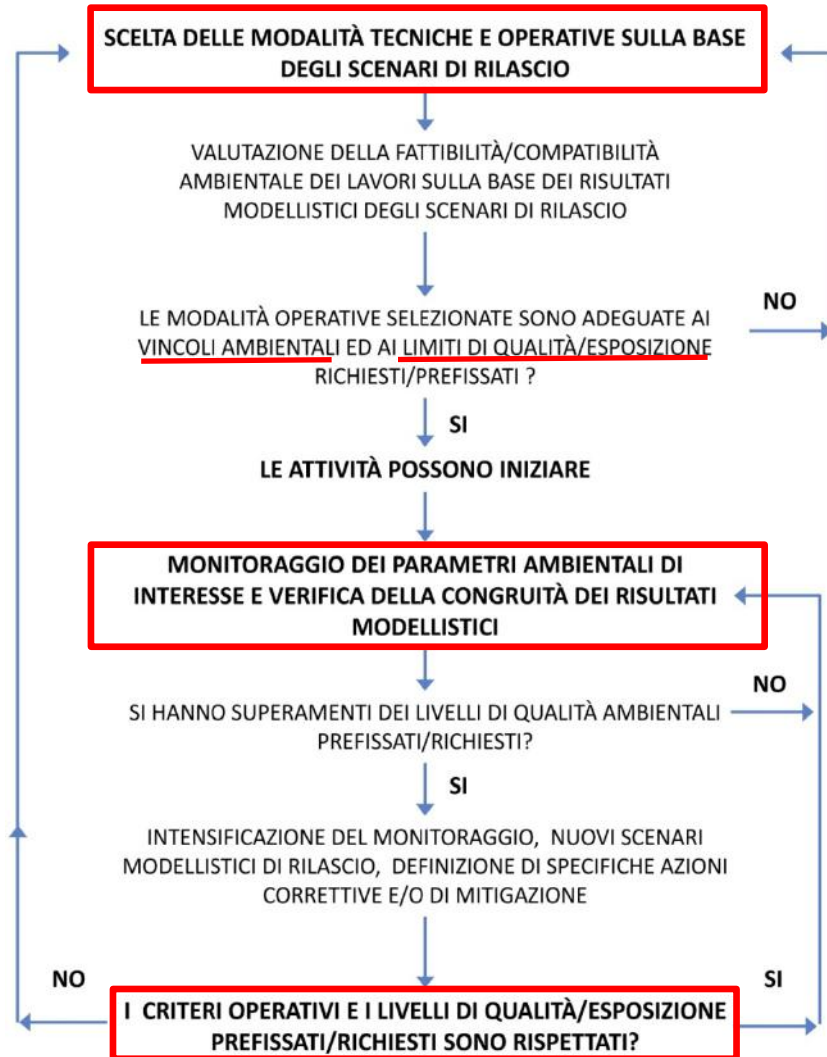
Supporto ai processi decisionali

Indicazioni per l'introduzione della sorgente di rilascio

Indicazioni per l'analisi e la sintesi dei risultati

Interazioni modelli-monitoraggio

Dal generale al dettaglio



Necessità ...

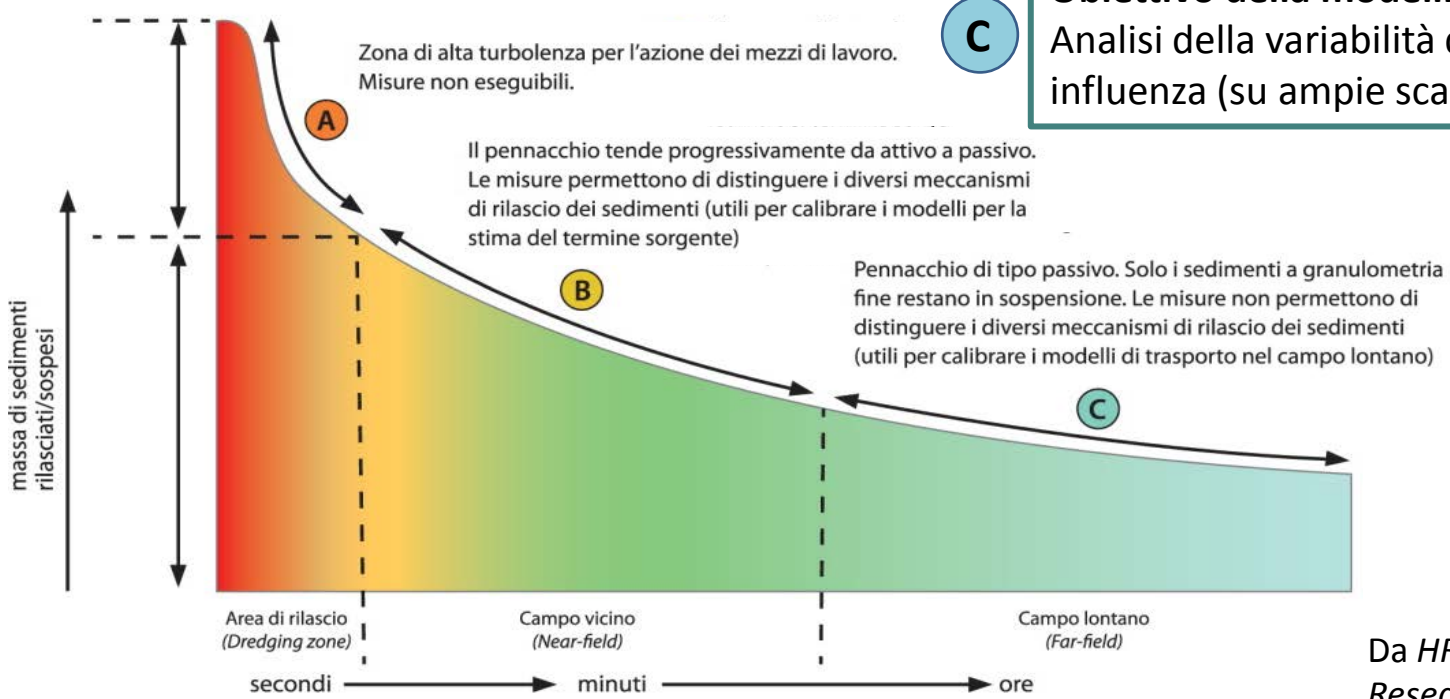
standardizzare il flusso delle informazioni tra Proponente e Valutatore per agevolare i processi autorizzativi e decisionali nelle diverse fasi progettuali degli interventi:

- prima dell'avvio delle attività, per valutare e approvare il programma dei lavori attraverso l'analisi degli scenari di rilascio
- in corso d'opera, per verificarne la rispondenza con i limiti di qualità/esposizione stabiliti attraverso la costante interazione con il monitoraggio
- per prescrivere per tempo le necessarie modifiche (o le restrizioni operative) qualora i limiti di qualità/esposizione non siano rispettati

Indicazioni per l'introduzione della sorgente di rilascio

B **Obiettivo della modellistica e delle misure:**
 Stima del flusso di sedimenti che abbandona l'area di rilascio (su ridotte scale spaziali e temporali)

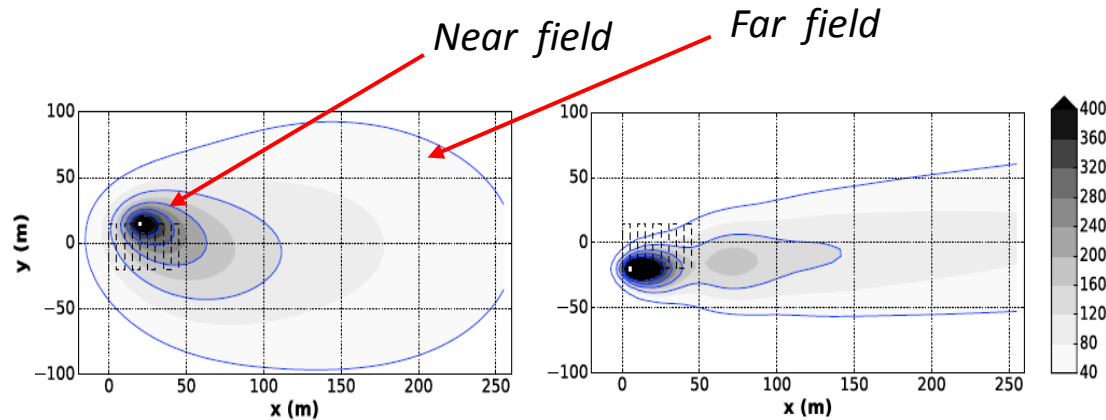
C **Obiettivo della modellistica e delle misure:**
 Analisi della variabilità di SSC e DEP nell'area di influenza (su ampie scale spaziali e temporali)



Da HR Wallingford Ltd & Dredging Research Ltd , 2003 (modificato)

Indicazioni per l'introduzione della sorgente di rilascio

B **Obiettivo della modellistica nel campo vicino:** stima del flusso di sedimenti che abbandona l'area di rilascio (ridotte scale spaziali e temporali)



Di Risio *et al.*, 2016

Semplificazione della fisica Ricorso a macro-modelli

Metodi **empirici** che considerano:

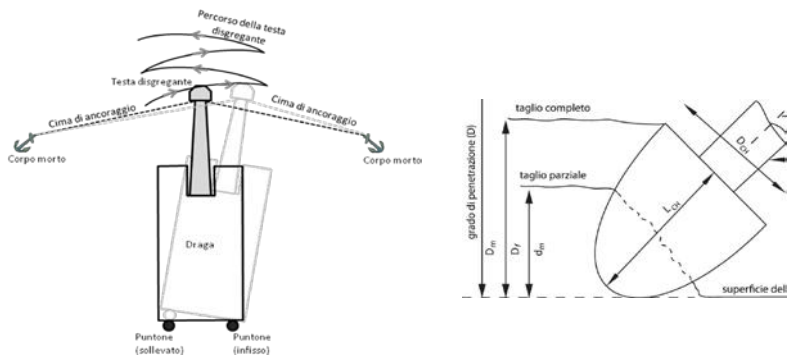
- parametri geometrici e cinematici delle draghe
- velocità di caduta del sedimento e quantità di fine presente nel volume totale da movimentare
- e correnti critiche di risospensione

- I modelli di dettaglio (es. CFD) sono tipicamente troppo onerosi e poco generalizzabili

C **Obiettivo della modellistica nel campo lontano:** analisi della variabilità di SSC e DEP riferita a scale spaziali e temporali più grandi rispetto a quelle dei meccanismi di rilascio

Ricorso a modelli transitori

Indicazioni per l'introduzione della sorgente di rilascio ... *alcuni esempi*

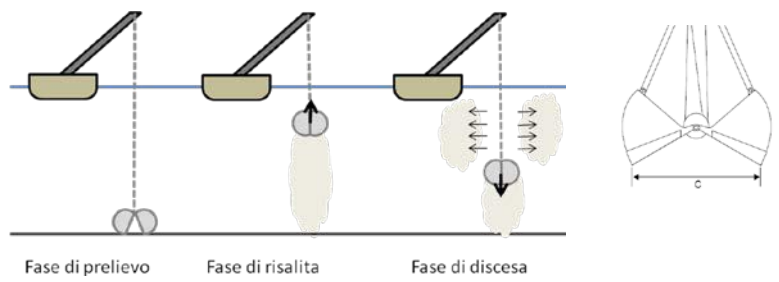


$$g = R \left(\frac{R_t}{100} \right) \left(\frac{V_s C_s}{360} \right)$$

Hayes et al. (2001)

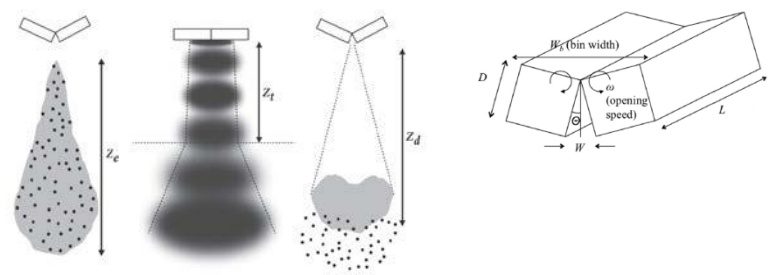
$$\frac{C_r}{10^{-6} \rho} = F_F F_D \left(\frac{V_s}{V_i} \right)^v \left(\frac{V_s}{V_i} \right)^w$$

Collins M. (1995)



$$\frac{C_r}{10^{-6} \rho} = 0.00235 (B/S)^{3.033} = 0.00235 \left(\frac{b}{\omega_s T} \right)^{3.033}$$

Collins M. (1995)



$$t_e = 481 (D^*)^{-0.96} \left(\frac{LW}{V_0^{2/3}} \right)^{-0.55} \sqrt{\frac{V_0^{1/3}}{g'}}$$

ER. et al. (2016)

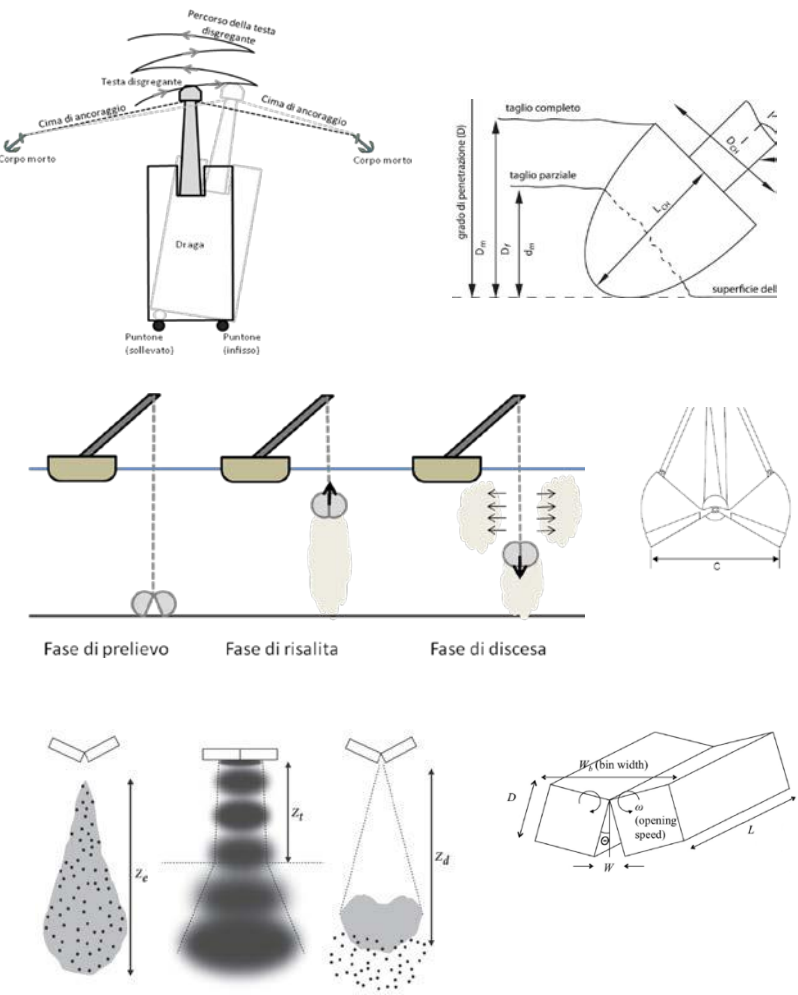
$$m_t = (1 - n) \rho_s V_{tot} f_{63\mu m} \longrightarrow m_{eq} = \sigma_{eq} m_t$$

Becker. et al. (2015)

Indicazioni per l'introduzione della sorgente di rilascio ... *alcuni esempi*

difficoltà di applicazione e incertezze delle stime derivanti da:

- 1. pochi strumenti disponibili** (in prevalenza per dragaggio meccanico e idraulico) e **sviluppati sulla base di limitati data-set di campo** → limitati intervalli di validità
- 2. poche informazioni attendibili sulle modalità operative** nelle fasi di progettazione iniziali
- 3. necessità di acquisire dati di SSC in corso d'opera** per verificare le ipotesi modellistiche e ampliare i data-set di campo utilizzabili in **diverse condizioni operative e ambientali**



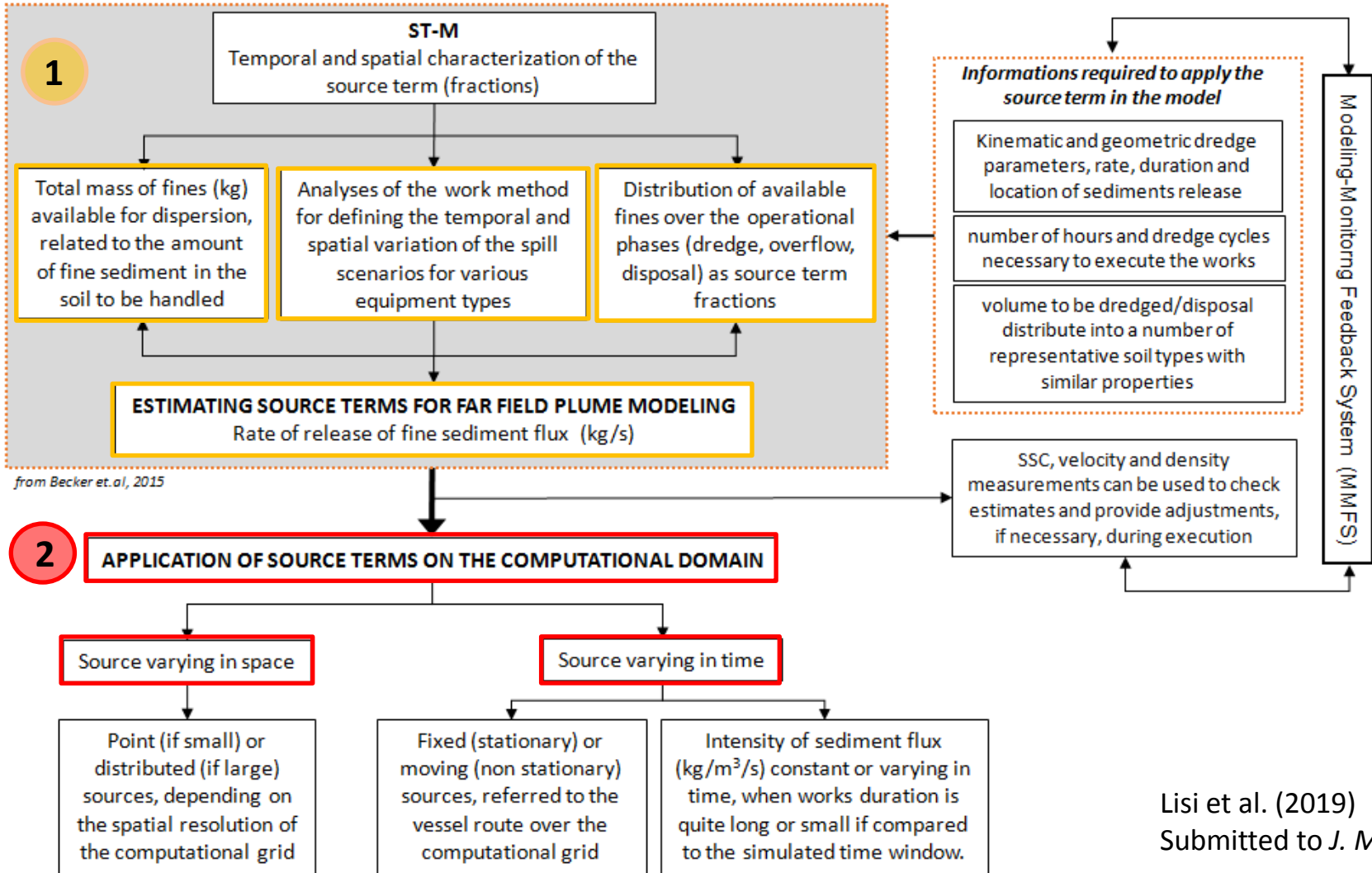
Metodo proposto per la stima del flusso di sedimenti alla sorgente

Metodo generalizzabile per rappresentare il Termine Sorgente (ST-M) per le diverse fonti di rilascio (dragaggio, sversamento a largo e ripascimento)

Permette la **rappresentazione numerica della variabilità nello spazio e nel tempo del termine sorgente in base alle caratteristiche del sedimento (volumi e tipologia dei sedimenti) e alle modalità operative (tipo di draga, produttività e durata delle operazioni)**



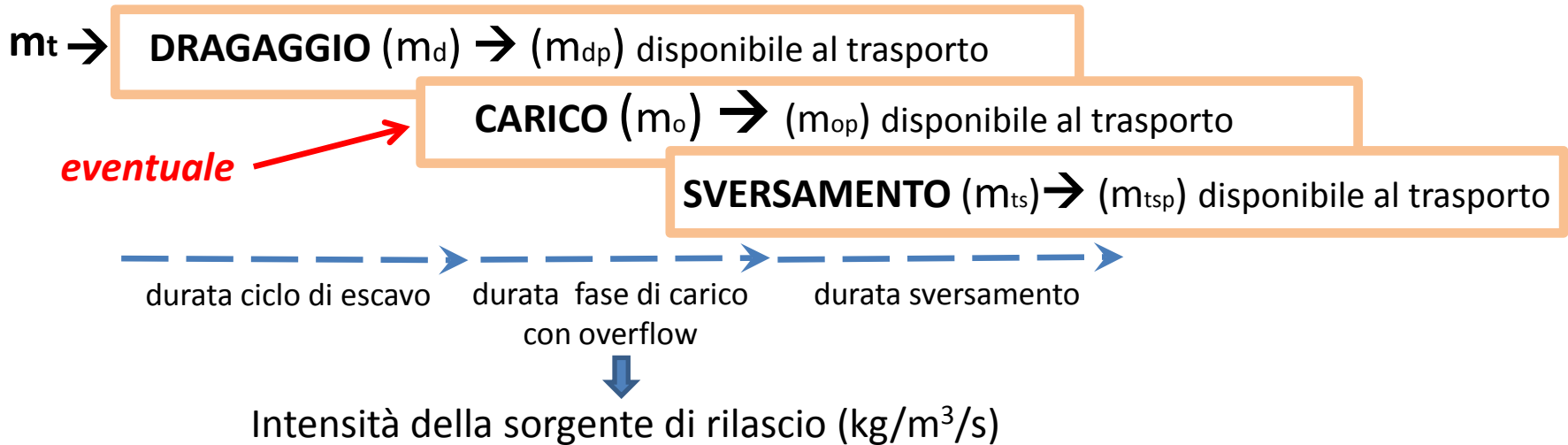
Metodo proposto per la stima del flusso di sedimenti alla sorgente



Lisi et al. (2019)
Submitted to *J. Mar. Sci. Eng.*

Metodo proposto per la stima del flusso di sedimenti alla sorgente

Dal calcolo del sedimento fine presente nel **volume totale da movimentare (m_t)** al **frazionamento nelle fasi operative** identificate come sorgenti di rilascio



- **Frazione di fine** (m_{dp} , m_{op} , m_{tsp}) effettivamente disponibile al trasporto nel campo lontano

Parametri caratteristici del sedimento

$$m_t = (1 - n) \rho_s V_{tot} f_{63\mu m} \rightarrow m_{eq} = \sigma_{eq} m_t$$

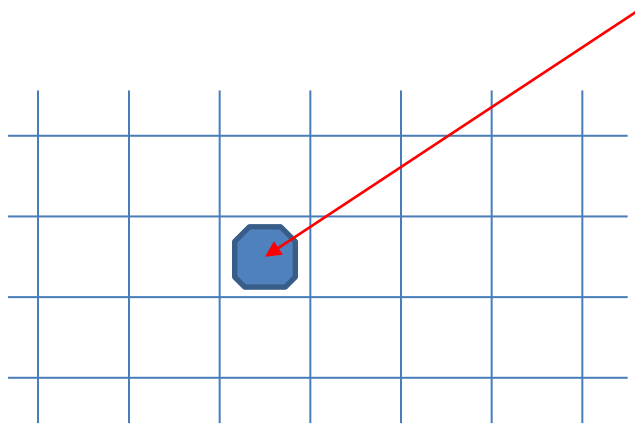
Becker et al. (2015)

Parametri empirici dipendenti dalle tecniche e dalle fasi operative

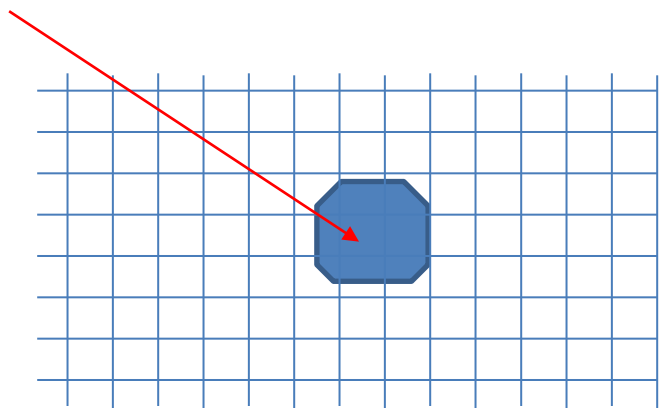
Metodo proposto per la stima del flusso di sedimenti alla sorgente

Operazione	Rappresentazione spaziale	Rappresentazione temporale
	Puntiforme o distribuita	

Area di dragaggio/sversamento



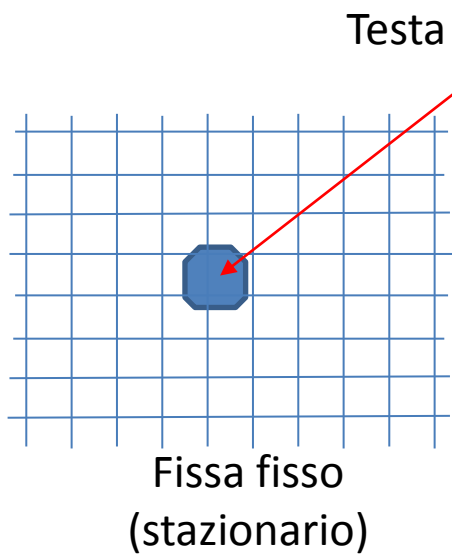
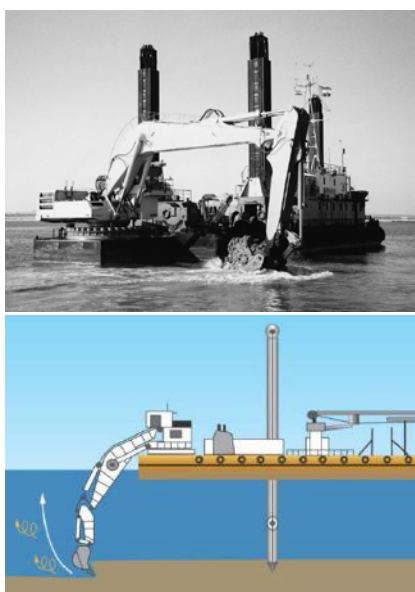
Puntiforme



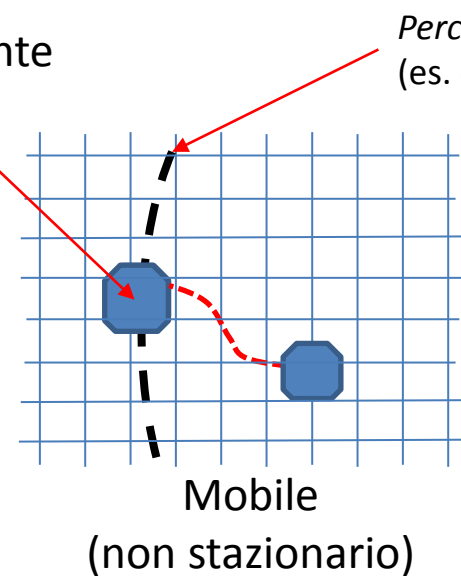
Distribuita

Metodo proposto per la stima del flusso di sedimenti alla sorgente

Operazione	Rappresentazione spaziale	Rappresentazione temporale
Dragaggio	Puntiforme o distribuita	Fissa o Mobile



→BHD
 sorgente mobile con **intensità** costante di durata finita pari al singolo ciclo



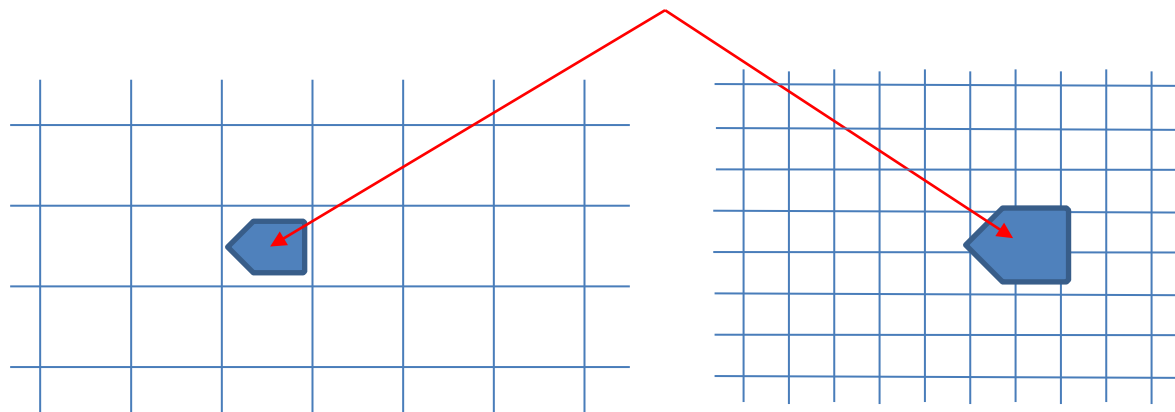
CHD →
 sorgente mobile con **intensità** variabile nel tempo



Metodo proposto per la stima del flusso di sedimenti alla sorgente

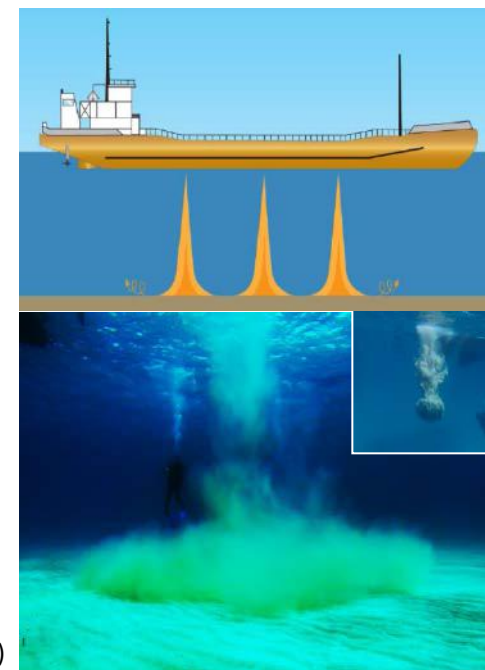
Operazione	Rappresentazione spaziale	Rappresentazione temporale
Dragaggio	Puntiforme o distribuita	Fissa o Mobile
Sversamento a largo	Puntiforme o distribuita	Tipicamente fissa

Natante di sversamento



Puntiforme

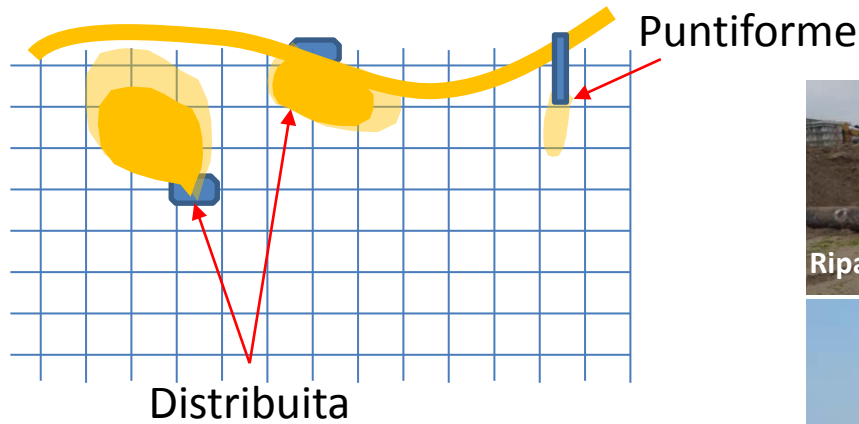
Distribuita



Saremi S.(2014)

Metodo proposto per la stima del flusso di sedimenti alla sorgente

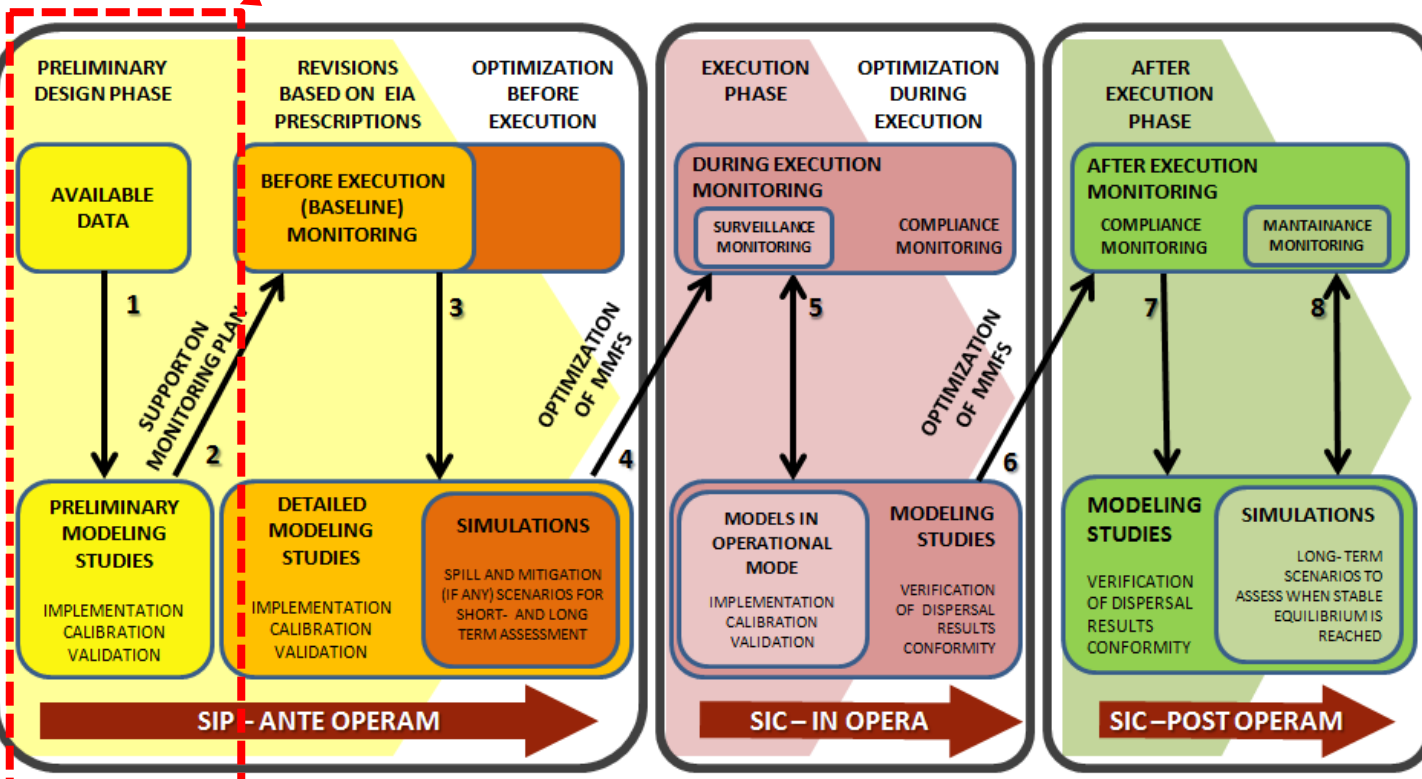
Operazione	Rappresentazione spaziale	Rappresentazione temporale
Dragaggio	Puntiforme o distribuita	Fissa o Mobile
Sversamento a largo	Puntiforme o distribuita	Tipicamente fissa
Ripascimento	Puntiforme o distribuita	Tipicamente fissa



Per valutare gli effetti di lungo periodo l'intensità può essere considerata costante nel tempo, se la durata delle operazioni è assai inferiore alla durata della simulazione

Feedback tra modellistica e monitoraggio nelle diverse fasi di progetto

Requisito minimo



Dati modellistici per:

- ottimizzare il monitoraggio
- definire l'area di influenza e prevedere (anche in modalità operativa) scenari critici

Dati di monitoraggio per:

- implementare, calibrare e validare i modelli
- verificare le ipotesi modellistiche e la conformità dei risultati modellistici con i criteri operativi e ambientali stabiliti ed eventualmente modificare il piano dei lavori, le frequenze di monitoraggio ed i livelli cautelativi adottati

Lisi et al., 2019.

Feedback tra modellistica e monitoraggio nelle diverse fasi di progetto

RACCOLTA DI INFORMAZIONI E DATI (AMBIENTALI E OPERATIVI) NELLE DIVERSE FASI DI MONITORAGGIO E NELLE DIVERSE SESSIONI DEI LAVORI		UTILITÀ AI FINI MODELLISTICI NELLE DIVERSE FASI PROGETTUALI	
		PROGETTO IN ESAME	PROGETTI FUTURI
INFORMAZIONI AMBIENTALI (Misure in situ e ricognizione dati disponibili)		MIGLIORE UTILIZZO DELLA MODELLISTICA E DELLE PROCEDURE DI CALIBRAZIONE E VERIFICA DEI RISULTATI PRELIMINARMENTE L'ESECUZIONE DEGLI INTERVENTI	
SCHEDA INFORMATIVA ANTE OPERAM (*) (§. Appendice 2, SIP. AO)	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE, MORFOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE DEI FONDALI OGGETTO (E IN PROSSIMITÀ) DEGLI INTERVENTI CONDIZIONI METEO-MARINE E PARAMETRI CHIMICO-FISICI DELLA COLONNA D'ACQUA		
INFORMAZIONI AMBIENTALI E OPERATIVE Relative alle diverse sessioni (o lotti funzionali - LF) dei lavori		VERIFICA DELL'ATTENDIBILITÀ DEGLI STUDI MODELLISTICI IMPLEMENTANTI NELL'ANTE OPERAM E VERIFICA/AGGIORNAMENTO DEGLI EVENTUALI LIVELLI CAUTELATIVI ADOTTATI	
SCHEDA INFORMATIVA IN CORSO D'OPERA (**) (§. Appendice 2, SIP. IO)	LF.1 LF.2 -----> LF.n		
	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE DEI FONDALI INTERESSATI DALLA RIDEPOSIZIONE/RISOSPENSIONE DEL SEDIMENTO MOVIMENTATO CONDIZIONI METEO-MARINE E PARAMETRI CHIMICO-FISICI DELLA COLONNA D'ACQUA (*)		
	CONDIZIONI DI UTILIZZO E MODALITÀ TECNICHE E OPERATIVE		
INFORMAZIONI AMBIENTALI (Misure in situ e ricognizione dati disponibili)		VERIFICA DELL'ATTENDIBILITÀ DEGLI STUDI MODELLISTICI IMPLEMENTANTI NELL'ANTE OPERAM E IN CORSO D'OPERA E VERIFICA/AGGIORNAMENTO DEGLI EVENTUALI LIVELLI CAUTELATIVI ADOTTATI	
SCHEDA INFORMATIVA POST OPERAM (***) (§. Appendice 2, SIP. PO)	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE DEI FONDALI INTERESSATI DALLA RISOSPENSIONE/RIDEPOSIZIONE DEL SEDIMENTO MOVIMENTATO CONDIZIONI METEO-MARINE E PARAMETRI CHIMICO-FISICI DELLA COLONNA D'ACQUA		

Necessità ...

acquisire dati ambientali e operativi con approcci standardizzati

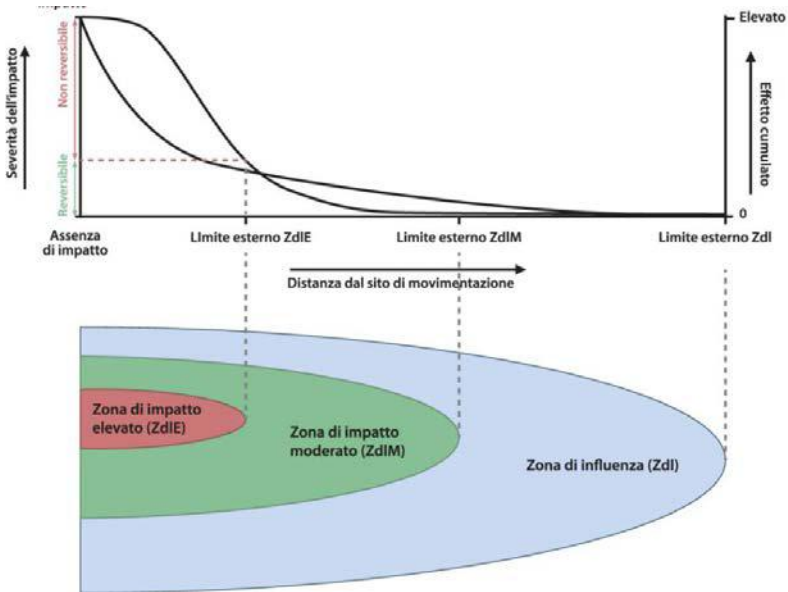
Proposta di Schede Informative di Progetto (SIP)

Se ne suggerisce la **compilazione al cambio di ogni sessione dei lavori (e delle modalità operative) e di rilevanti variazioni delle condizioni meteo-marine**

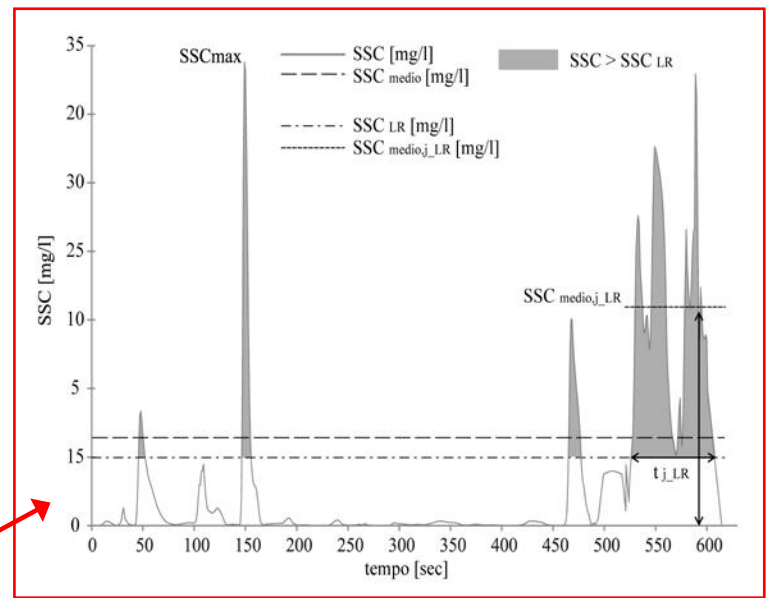
per massimizzare l'utilità delle misure (sia nell'ambito del progetto in atto che di progetti futuri)

Analisi e sintesi dei risultati per la stima della significatività degli effetti fisici

- ➔ Stabilire **Livelli (singoli o multipli) di Riferimento (LR) rappresentativi** della variabilità dell'area in condizioni indisturbate (o esterne all'area di influenza) e **cautelativi** rispetto alle criticità dell'area (usi del mare o recettori sensibili)
- ➔ Caratterizzare la persistenza nel tempo dei superamenti di molteplici LR a criticità crescente



Difficile identificare LR sito-specifici il cui superamento può portare a stress irreversibili!



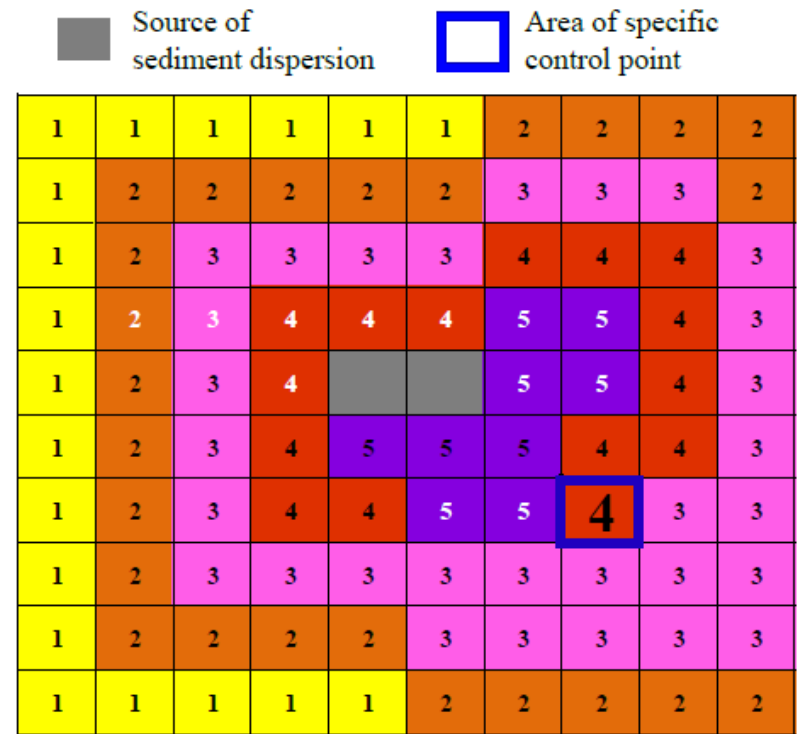
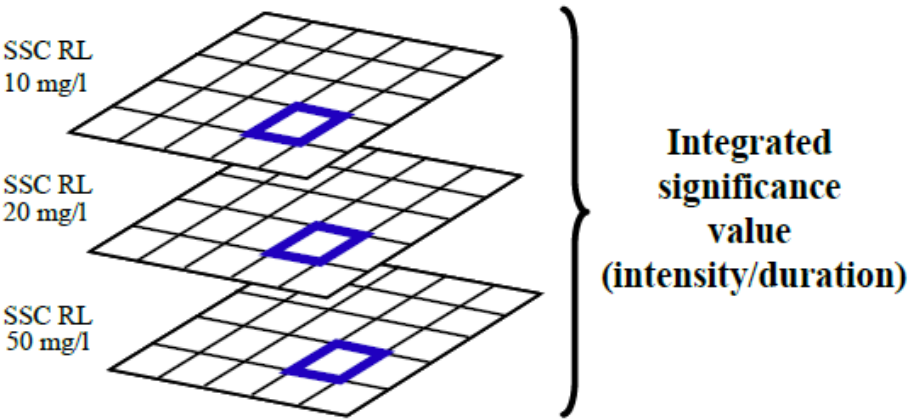
Caratterizzazione statistica dei superamenti di LR di SSC (Suspended Sediment Concentration) in punti di controllo nell'area di influenza

Feola et al., 2016

Analisi e sintesi dei risultati per la stima della significatività degli effetti fisici

➔ Analisi combinata di **intensità (I)** **durata (D)** e **frequenza (F)** dei superamenti

		Duration, T _{max} RL [h]						
		0-2	2-5	5-10	10-20	20-40	40-60	>60
SSC RL [mg/l]	0 - 10	0	0	0	0	0	0	0
	10-20	0	0	1	1	2	3	4
	20-50	0	1	2	2	3	4	5
	> 50	0	1	2	3	4	5	5



Feola *et al.*, 2016; Lisi *et al.* 2019

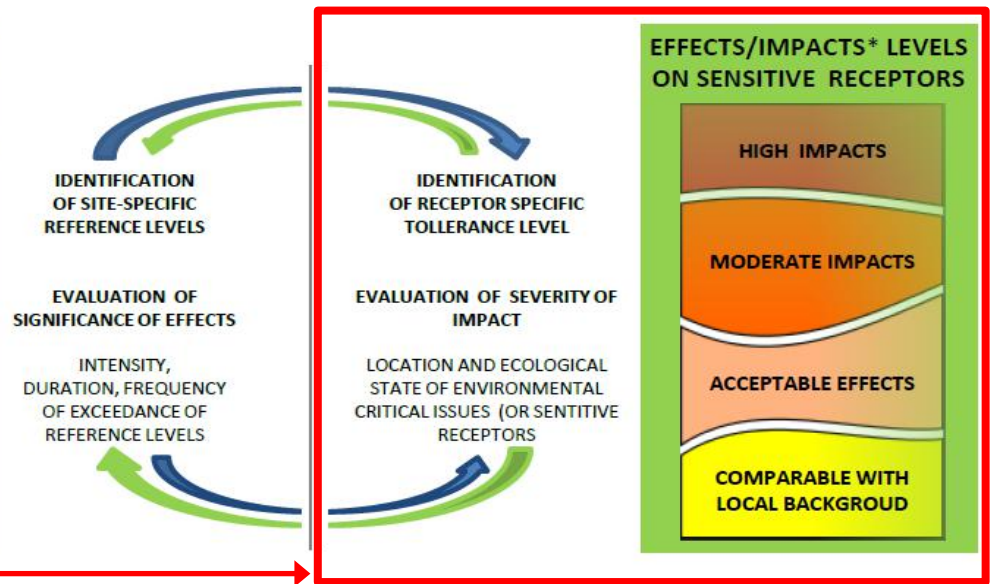
... problemi aperti !?

→ Delineare **criteri per l'acquisizione e la calibrazione di dati di monitoraggio** (torbidità, solidi sospesi, tassi di sedimentazione, correnti, ...) e **per l'uso combinato di dati e modellistici** per ottimizzare e massimizzare l'utilità e la copertura spaziale dei dati di campo in relazione ai dati idrodinamici

PHYSICAL EFFECTS	
	INVOLVED PARAMETERS <i>(near field → far field)</i>
WATER COLUMN	INCREASE OF SSC AND TURBIDITY, REDUCED LIGHT PENETRATION, VARIATION % ORGANIC MATTER, CONTAMINANTS, ETC.
SEA-BED	CORSE TO FINE SEDIMENT DEPOSITION, INCREASING MOBILITY OF DEPOSITION SEDIMENTS FRACTION, OXIGEN VARIATIONS, LESS LIGHT PENETRATION, VARIATION % ORGANIC MATTER, CONTAMINANTS*, ETC.

Lisi et al., 2019

* Not a focus of this paper



→ Delineare **criteri per la trasposizione dell'effetto all'impatto** in relazione alla localizzazione dei **recettori**, alle specificità del sito e alla persistenza dei superamenti di SSC e DEP

Gruppo di Lavoro CEDA - ISPRA
Assessing and evaluating Turbidity Limits for dredging operations

Osservazioni conclusive

- Il Manuale, in costante aggiornamento, è il risultato del processo di condivisione tra il mondo agenziale, tecnico e accademico
- Il processo di revisione nazionale ed internazionale ha evidenziato l'accurata analisi della bibliografia esistente, messa a sistema per colmare un vuoto circa l'assenza di **un quadro organico per l'analisi e la gestione dei dati** (ambientali e operativi) nei processi decisionali
- **Promuove un Approccio Modellistico Integrato (AMI)** per l'analisi degli effetti fisici in relazioni alle fasi operative (escavo, trasposto e sversamento) e agli ambiti di intervento (off-shore, costieri e confinati) e **l'ottimizzazione delle attività modellistiche e di monitoraggio** in relazione agli obiettivi progettuali e ambientali → *attenzione all'ambiente e ai costi!*
- Parte dei contenuti del Manuale sono confluiti nell'aggiornamento delle **Linee Guida** nate in seno alle attività **del Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera**

Riferimenti bibliografici

- Lisi I., Feola A., Bruschi A., Pedroncini A., Pasquali D., Di Risio M. (2019) - *Mathematical modeling framework of physical effects induced by sediments handling operations in marine and coastal areas*. J. Mar. Sci. Eng., 7, 149.
- Lisi I., Feola A., Bruschi A., Di Risio M., Pedroncini A., Pasquali D., Romano E. (2017). La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere. Manuali e Linee Guida ISPRA, 169/2017.
- Feola A., Lisi I., Salmeri A., Venti F., Pedroncini A., & Romano E. (2016). Platform of integrated tools to support environmental studies and management of dredging activities, J. Env. Manag. 166.
- Feola A., I. Lisi, A. Salmeri, F. Venti, A. Pedroncini, M. Gabellini, E. Romano (2016). Platform of integrated tools to support environmental studies and management of dredging activities, Journal of Environmental Management 166.
- Lisi I., Di Risio M., De Girolamo P., Gabellini M. (2016). Engineering tools for the estimation of dredging-induced sediment resuspension and coastal environmental management, In: Intech, (Ed), Applied Studies of Coastal and Marine Environment.
- Feola A., Lisi I., Venti F., Salmeri A., Pedroncini A., Romano E. (2015). A methodological modelling approach to assess the potential environmental impacts of dredging activities. In Proc. Of CEDA. Dredging Days, Innovative Dredging Solutions for Ports, Rotterdam
- Lisi I. (2012). Development of an integrated system to the estimation and the environmental management of resuspension induced by dredging activities. [Tesi in italiano]. Univ. of L'Aquila, Italy.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Dott. ssa Iolanda Lisi, ISPRA

E-mail: iolanda.lisi@isprambiente.it

Dott. Antonello Bruschi, ISPRA

E-mail: antonello.bruschi@isprambiente.it