

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

### U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

### PROGETTO DEFINITIVO

## RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO

### IDROLOGIA E IDRAULICA

### STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE - RELAZIONE

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS2S 00 D 09 RG ID0002 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	E. Frank 	ottobre 2017	F. Cabas 	ottobre 2017	P. Carlesimo 	ottobre 2017	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Villozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A20783 2018
B	Consegna al CSSLPP	E. Frank 	gennaio 2018	F. Cabas 	gennaio 2018	P. Carlesimo 	gennaio 2018	
C	Recepimento Prescrizioni CSSLPP	E. Frank 	luglio 2018	F. Cabas 	luglio 2018	P. Carlesimo 	luglio 2018	

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
1.1	OBIETTIVI E CONTENUTI DELLO STUDIO .....	5
1.2	METODOLOGIA DI LAVORO .....	5
1.3	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	8
<b>2</b>	<b>CARATTERISTICHE DELL'AREA DI STUDIO .....</b>	<b>13</b>
2.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'INTERVENTO .....	13
2.2	AREE DI PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA.....	15
2.3	CARATTERISTICHE AMBIENTALI E PAESISTICHE DELLA REGIONE FLUVIALE .....	20
2.4	ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEI CORSI D'ACQUA INTERESSATI DAL PROGETTO .....	20
2.4.1	Assetto e parametri geomorfologici dei bacini .....	20
2.4.2	Metodologia per l'individuazione dei punti di prelievo del materiale d'alveo .....	25
2.4.3	Caratteristiche granulometriche dei corsi d'acqua in esame.....	26
2.5	INDICE DI DINAMICA MORFOLOGICA (IDM).....	27
2.5.1	Metodo IDRAIM.....	27
2.5.2	Applicazione ai casi di studio.....	31
<b>3</b>	<b>VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO .....</b>	<b>33</b>
3.1	MODELLI MATEMATICI PER IL TRASPORTO SOLIDO .....	33
3.1.1	La teoria di Shields per il moto incipiente .....	33
3.1.2	L'equazione di Exner .....	36
3.1.3	Accoppiamento acqua-sedimenti .....	38
3.1.4	Scelta della Formula di Trasporto solido per i casi in esame.....	40
3.2	APPORTO DI SEDIMENTI AL TRATTO DI STUDIO.....	45
3.3	ANDAMENTO DELLE PORTATE LIQUIDE (DI MEDIO PERIODO) .....	47
3.4	MODELLO DI CALCOLO IDRAULICO A FONDO MOBILE .....	49
3.4.1	HEC-RAS, modulo per il trasporto dei sedimenti .....	49
3.4.1.1	<i>Cenni generali.....</i>	<i>49</i>
3.4.1.2	<i>Funzionamento del programma.....</i>	<i>51</i>

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

3.4.2	Schematizzazione idraulica adottata .....	53
3.4.2.1	<i>Geometria dei modelli</i> .....	53
3.4.2.2	<i>Scabrezza idraulica</i> .....	53
3.4.2.3	<i>Condizioni al contorno</i> .....	54
3.4.2.4	<i>Limiti del fondo erodibile</i> .....	56
3.4.2.5	<i>Caratteristiche del cambiamento del fondo alveo</i> .....	57
3.4.2.6	<i>Formula di trasporto solido</i> .....	58
3.4.2.7	<i>Caratterizzazione del mescolamento del fondo alveo</i> .....	58
3.4.2.8	<i>Granulometria del fondo alveo</i> .....	58
3.5	MODALITÀ EVOLUTIVE DELL'ALVEO .....	59
3.5.1	Tendenza all'erosione e alla deposizione.....	59
<b>4</b>	<b>ANALISI DEL RAPPORTO CON L'OPERA IN PROGETTO .....</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>72</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1	– Procedura di analisi: flow chart.....	7
Figura 2-1	- Inquadramento geografico della zona in esame. ....	13
Figura 2-2:	distribuzione teorica della granulometria dei sedimenti in una forma di deposito.....	25
Figura 2-3	– Schema generale della struttura del metodo IDRAIM. ....	29
Figura 3-1:	Schema delle forze agenti su una particella solida al fondo di un corso d'acqua.....	33
Figura 3-2:	Diagramma di Shields .....	35
Figura 3-3:	Bilancio di massa dei sedimenti nel volume di controllo.....	37
Figura 3-4:	estratto degli Annali idrologici per il Fiume Alcantara.....	48
Figura 3-5:	andamento della portate medie mensili per il Torrente Fiumedinisi .....	48
Figura 3-6:	esempio dell'inserimento dei limiti del fondo mobile coincidenti con i limiti del canale principale.....	56
Figura 3-7:	esempio dell'inserimento della massima profondità erodibile .....	57
Figura 3-8:	schema del metodo di mescolamento del fondo alveo .....	58
Figura 3-9:	Torrente Minissale – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione) .....	61

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

Figura 3-10: Fiume Alcantara – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione) .....	62
Figura 3-11: Torrente Letojanni – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione) .....	63
Figura 3-12: Torrente Fondaco – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione) .....	64
Figura 3-13: Fiumara D’Agrò – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione) .....	65
Figura 3-14: Torrente Fiumedinisi – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione) .....	66
Figura 3-15: Torrente Ali – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione).....	67
Figura 3-16: Torrente Itala – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione)...	68

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.2-1 – Pericolosità del fenomeno franoso (fonte: P.A.I. Regione Sicilia) .....	16
Tabella 2.2-2 – Classi di pericolosità (fonte: P.A.I. Regione Sicilia) .....	16
Tabella 2.4-1 – Caratteristiche morfometriche dei bacini di interesse .....	24
Tabella 2.4-2: Caratteristiche granulometriche dei corsi d’acqua in esame.....	27
Tabella 2.5-1 – Lista degli indicatori per la valutazione dell’IDM .....	32
Tabella 2.5-2 – Indice e Classe di Dinamica Morfologica dei corsi d’acqua oggetto di studio. L’applicazione effettuata costituisce un primo tentativo di determinare tale indice e non vuole sostituire alcuna altra applicazione ufficiale svolta in Regione Sicilia dagli Enti preposti.....	32
Tabella 3.1-1: limiti di applicabilità delle formule di trasporto solido.....	41
Tabella 3.3-1: Portate medie mensili calcolate con il metodo della portata indice .....	49
Tabella 3.4-1: valori di scabrezza adottati per i corsi d’acqua di studio .....	53
Tabella 3.4-2: valori di portata media mensile simulati .....	54
Tabella 3.5-1: Stima della tendenza evolutiva .....	60
Tabella 4.1-1 – Valori dell’indice LAm = Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata .....	70
Tabella 4.1-2 – Valori dell’indice LAm = Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata .....	70
Tabella 4.1-3: Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata per i corsi d’acqua in esame.....	71

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 OBIETTIVI E CONTENUTI DELLO STUDIO

La presente Relazione riferisce in merito alle analisi di geomorfologia fluviale, relative ai corsi d'acqua interessati dal Progetto Definitivo del raddoppio della tratta ferroviaria "Giampilieri-Fiumefreddo". Lo studio geomorfologico viene condotto con l'obiettivo di valutare le tendenze evolutive dei corsi d'acqua, in termini di possibili naturali variazioni morfologiche dell'alveo che evidenzino erosioni o deposizioni diffuse con mobilitazione dei sedimenti e conseguente possibile rischio di interrimento delle opere di attraversamento. La deposizione del materiale d'alveo, trasportato dalla corrente idrica, viene infatti presa in considerazione per il dimensionamento delle nuove opere di attraversamento, in quanto la luce libera di sottotrave può ridursi appunto a causa dell'interrimento. Tuttavia i sedimenti naturalmente deposti dalla corrente idrica possono essere rimobilizzati dalle piene, per cui l'analisi del trasporto solido fluviale ha l'obiettivo di indicare appunto la tendenza evolutiva, secondo adeguati scenari di andamento delle portate di magra e di piena, al fine di programmare le conseguenti attività di manutenzione, finalizzate al monitoraggio della dinamica morfologica del corso d'acqua.

### 1.2 METODOLOGIA DI LAVORO

La procedura implementata per valutare la tendenza evolutiva di un corso d'acqua si compone operativamente delle seguenti fasi:

- Caratterizzazione geomorfologica del corso d'acqua
  - Valutazione degli apporti di sedimenti per fenomeni gravitativi all'interno del bacino idrografico di interesse mediante sopralluoghi e l'analisi degli studi (se disponibili) condotti dagli enti proposti alla tutela e salvaguardia del territorio (ad es. cartografia P.A.I., Carta dei Dissesti,.....), secondo quanto previsto dal manuale di progettazione e dalle linee guida di RFI.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 6 di 72

- Applicazione della metodologia IDRAIM (Ispra, 2016) per la definizione dell'Indice di dinamica morfologica – IDM, sulla base del rilevamento *in situ* delle caratteristiche di erodibilità, artificialità (opere di protezione/difesa sponde/alveo), variabilità morfologica (larghezza alveo, altimetria), nonché delle analisi granulometriche di campioni di materiale prelevati in alveo.
  
- Caratterizzazione idraulica del corso d'acqua
  - Sviluppo di modelli idraulici «a fondo mobile» (HEC RAS), secondo scenari di andamento delle portate medie mensili, ai fini dell'individuazione dei tratti di alveo soggetti a fenomeni erosione e/o deposizione, nelle situazioni ante-operam e post-operam, in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto.
  - Simulazioni di scenari relativi a portate corrispondenti a tempi di ritorno elevati, laddove necessario (ad es. in presenza di zone soggette a deposizione immediatamente a monte dell'intervento), per una più dettagliata valutazione della possibilità di interrimento delle opere previste.
  
- Analisi dei risultati ottenuti dalla caratterizzazione geomorfologica e idraulica
  - Verifica e/o dimensionamento delle opere di attraversamento: se soggette ad erosione, si procede alla definizione di opportune opere di sistemazione idraulica; se soggette a deposizione, si procede con la verifica dell'ufficiosità idraulica dell'opera di attraversamento prevista, con riferimento alla normativa vigente in materia di franco idraulico (minimo) di sicurezza.
  - Nuove iterazioni di progettazione per le opere a (forte) rischio di interrimento con conseguente significativa riduzione del franco idraulico, al di sotto del valore minimo previsto dalla normativa vigente.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

- Definizione del ‘*livello di attenzione per interventi di manutenzione*’ (LAm) finalizzato al mantenimento dei franchi idraulici di progetto e programmazione delle attività manutentive (frequenza delle ispezioni,...), sulla base dei risultati IDRAIM e HECRAS

Di seguito, la “flow chart” riepilogativa della procedura sopra descritta.

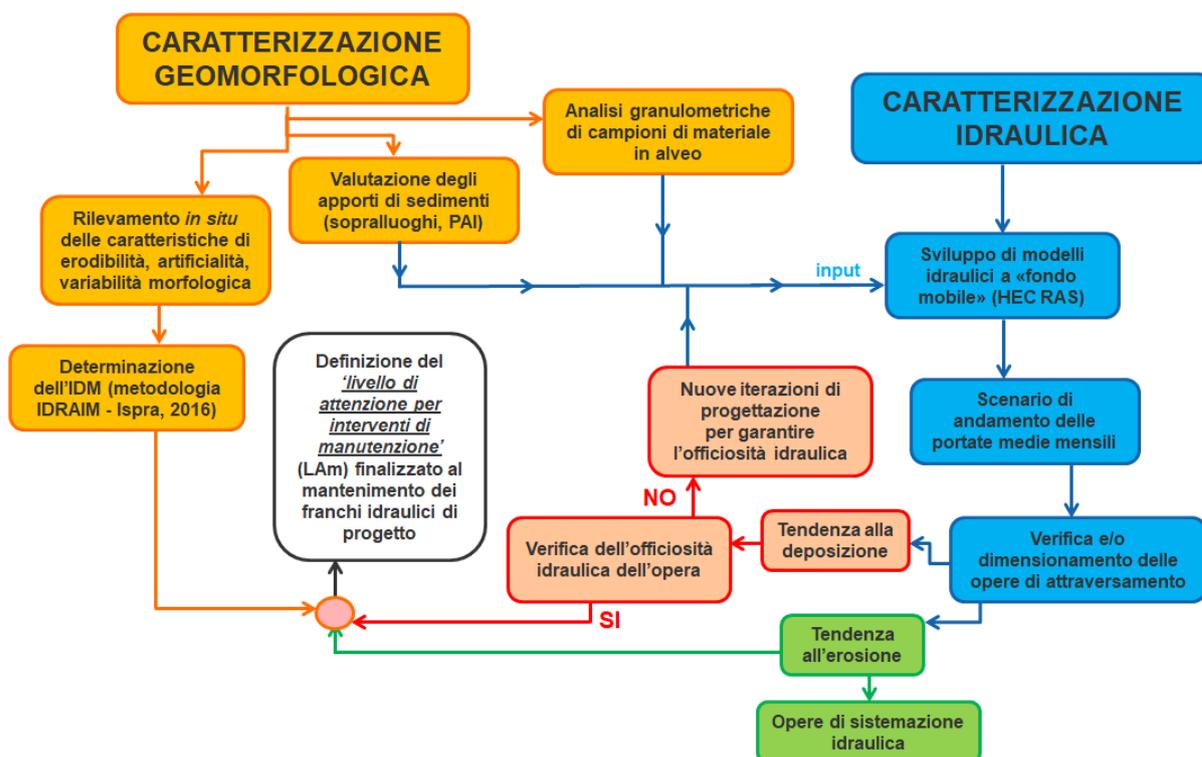


Figura 1-1 – Procedura di analisi: flow chart.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

### 1.3 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Ai fini del presente studio sono stati consultati i seguenti piani e documentazione di riferimento:

- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia;
- Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico della Sicilia;
- Piano di gestione dei sedimenti;
- Competenze del Genio Civile;
- Sistema di valutazione geomorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – Metodo IDRAIM (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)

#### **Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia.**

La Regione Siciliana – Assessorato Territorio e Ambiente, dopo il Piano Straordinario per l'Assetto Idrogeologico, approvato con decreto del 4 luglio 2000, si è dotata del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.); con il P.A.I. viene effettuata la perimetrazione delle aree a pericolosità e a rischio geomorfologico, idraulico e di erosione costiera. Tutto ciò al fine di pervenire ad una puntuale definizione dei livelli di rischio e fornire criteri e indirizzi indispensabili per l'adozione di norme di prevenzione e per la realizzazione di interventi volti a mitigare od eliminare il rischio.

Per quanto riguarda i dissesti geomorfologici, la metodologia utilizzata, dai redattori del Piano, per la loro individuazione e perimetrazione si è basata sul raffronto tra i risultati dell'analisi delle fonti di informazione (raccolta dati), dell'analisi aerofotogrammetrica e dei sopralluoghi, i quali, assieme a studi approfonditi concentrati nelle situazioni di rischio maggiore, hanno consentito di colmare via via le lacune sostanziali presenti nei dati iniziali.

La determinazione della tipologia delle frane è stata effettuata tenendo in considerazione la velocità di accadimento del fenomeno, ovvero la rapidità di evoluzione del processo di rottura, secondo la seguente classificazione:

- T1: deformazioni gravitative profonde in roccia, creep, espansione laterale, colate lente;
- T2: frane complesse, scorrimenti e colamenti in roccia, detrito e terra;

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

- T3:scivolamenti rapidi in roccia, detrito e terra, crolli, colate rapide di fango.

Alle tipologie di fenomeni franosi classiche (colate, scorrimenti, crolli, movimenti gravitativi superficiali o profondi) si è scelto di aggiungere quei fenomeni repentini che si esplicano in corrispondenza di profondi processi di erosione idrica e che determinano una condizione di asportazione dei suoli e di rocce incoerenti, o che possono provocare il crollo di rocce coerenti per scalzamento al piede di sottostanti terreni erosivi. Si è osservato, infatti, che tali fenomeni interessano direttamente le pendici di molti centri abitati della Sicilia ubicati sulle alture; l'erosione, in questi casi, provoca una lenta ma inesorabile asportazione dei terreni di sottofondazione, determinando un rischio per le abitazioni ubicate lungo i cigli delle pendici. L'identificazione di questi processi può individuare aree critiche soggette a processi erosivi estesi che, spesso, degenerano in dissesti franosi veri e propri. Tra le forme di erosione idrica sono stati considerati soprattutto i fenomeni di asportazione del suolo e di rocce incoerenti derivanti dall'erosione in rivoli e fossi ed i conseguenti scalzamenti al piede di versanti più o meno estesi. I calanchi sono stati considerati a parte mentre tutte le altre forme di dissesto, quali l'erosione a solchi, il rotolio di pietrame lungo pendii poco vegetati, lo scalzamento al piede nei tratti esterni ai meandri torrentizi e fluviali e le rapide asportazioni per ruscellamento diffuso in terreni argillosi, sono state indicate in cartografia con un unico simbolo, comprese nella voce "dissesti dovuti ad erosione accelerata" ed inseriti nella tipologia T1, in quanto fenomeni a pericolosità variabile, ma potenzialmente bassa.

I fenomeni così censiti sono stati riportati nella "Carta dei dissesti" del P.A.I. i cui shapefile, disponibili sul Geoportale Cartografico della Regione Sicilia ([www.sitr.regione.sicilia.it](http://www.sitr.regione.sicilia.it)) sono stati utilizzati per la redazione della cartografia geomorfologica del presente studio.

Il P.A.I. perviene, inoltre, alla valutazione della Pericolosità e del Rischio, la cui metodologia di valutazione è stata riferita alla definizione di rischio data dal D.P.C.M. 29/9/98 (Atto di indirizzo e coordinamento), cui si rimanda per completezza. Secondo tale definizione il rischio è il risultato del prodotto di tre fattori:

- pericolosità probabilità di accadimento dell'evento calamitoso;
- valore degli elementi a rischio (intesi come persone, beni localizzati, patrimonio ambientale);

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

- vulnerabilità degli elementi a rischio (che dipende sia dalla loro capacità di sopportare le sollecitazioni esercitate dall'evento, sia dall'intensità dell'evento stesso)

Le elaborazioni effettuate durante la redazione del P.A.I. hanno prodotto la “Carta della Pericolosità e del Rischio geomorfologico” i cui risultati sono stati tenuti in debita considerazione ai fini del presente studio.

Infine, si riporta di seguito l'elenco dei bacini contenenti aree a pericolosità geomorfologica intercettati dal tracciato ferroviario in progetto, con il relativo codice di bacino PAI:

- A. Vallone Minissale (095)
- B. Fiume Alcantara (096)
- C. Torrente Letojanni (097)
- D. Torrente Fondaco (097)
- E. Fiumara D'agro' (098)
- F. Torrente Fiumedinisi (101)
- G. Torrente Ali' (102)
- H. Torrente Itala (102)
- I. Torrente Giampilieri (102)

#### **Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico della Sicilia**

Il Progetto di Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Sicilia - Assessorato del territorio e dell'ambiente-, elaborato sulla base delle mappe della pericolosità e del rischio idraulico in attuazione della Direttiva 2007/60/CE, è stato adottato dalla Giunta Regionale di Governo, con deliberazione n. 326 del 23 dicembre 2015.

Le informazioni che si possono ricavare da tale Piano, ai fini del presente studio, riguardano essenzialmente la descrizione dei bacini idrografici intercettati dal tracciato ferroviario della rete, in buona parte già riportate nel P.A.I.

#### **Piano di gestione dei sedimenti**

Allo stato attuale la Regione Sicilia non si è dotata, in attuazione alla Direttiva per la gestione dei sedimenti, approvata nell'aprile 2006, di un Piano generale di gestione dei sedimenti per i corsi d'acqua regionali.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
<b>STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE</b>	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 11 di 72

Ai fini del presente studio si farà, quindi, riferimento alla normativa di settore in materia di terre e rocce da scavo.

### **Competenze del Genio Civile inerenti alla realizzazione di opere che interferiscono con i corsi d'acqua**

Il Genio Civile ha, tra le altre competenze, la funzione di esprimere:

- pareri ed autorizzazioni in materia di assetto idrogeologico del territorio;
- pareri tecnici su opere pubbliche relative a strade, ferrovie, aeroporti, opere marittime, bonifiche, acquedotti, fognature, impianti di depurazione e potabilizzazione, discariche, consolidamento di centri abitati, scuole, ospedali ed edifici pubblici in genere;
- rilascio concessioni per attraversamenti e occupazioni del demanio fluviale;
- pareri tecnici ed autorizzazioni su opere idrauliche;

### **Sistema di valutazione geomorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – Metodo IDRAIM (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)**

Il sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua, denominato IDRAIM, è stato realizzato con l'obiettivo di sviluppare una metodologia complessiva di analisi e di supporto alla gestione dei processi geomorfologici nei corsi d'acqua, tenendo conto in maniera integrata di obiettivi di qualità e di sicurezza, ai sensi della Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (Water Framework Directive o WFD) e della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE (Floods Directive o FD). Il metodo sviluppato intende costituire una procedura sistematica e strutturata su come affrontare i vari aspetti geomorfologici, a integrazione di altre componenti (quali, ad es., gli aspetti idraulici ed ecologici), per poter giungere a fornire il supporto scientifico e conoscitivo per una gestione integrata dei corsi d'acqua.

Seppure costruito su basi scientifiche solide, è da tener presente che si tratta di una metodologia applicativa, tale da poter essere utilizzabile da parte degli enti responsabili dell'implementazione delle Direttive e dei piani di gestione e della gestione dei corsi d'acqua.

Uno degli obiettivi di tale metodologia è la definizione dell'Indice di Qualità Morfologica (IQM) e dell'Indice di Dinamica Morfologica (IDM) il quali rappresentano uno strumento per valutare lo scostamento rispetto a condizioni indisturbate del corso d'acqua che rappresentano

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

le condizioni di riferimento. Nella definizione delle condizioni di riferimento si tiene conto della traiettoria di evoluzione del corso d'acqua, dei requisiti richiesti dalla WFD e del contesto specifico dei corsi d'acqua italiani, i quali sono stati interessati da fattori antropici per un lungo periodo di tempo. In accordo con la WFD, lo stato di riferimento deve corrispondere a condizioni "indisturbate", caratterizzate da assenza o impatti antropici molto limitati. Conseguentemente, le condizioni di riferimento sono definite in maniera tale da misurare lo scostamento rispetto a condizioni geomorfologiche indisturbate o solo lievemente disturbate.

Le condizioni di riferimento per un dato tratto sono definite considerando tre componenti, vale a dire:

- funzionalità geomorfologica (forme e processi del corso d'acqua);
- artificialità;
- variazioni morfologiche (instabilità).

Riguardo la prima componente, le condizioni di riferimento sono date dalla forma e dai processi che sono attesi per la tipologia morfologica esaminata. Per l'artificialità, la condizione di riferimento è data da assenza o presenza molto ridotta di interventi antropici (regolazione delle portate liquide e solide, strutture idrauliche e attività di gestione). Se esistono elementi antropici, essi dovrebbero produrre effetti trascurabili sulla morfologia dell'alveo e sui processi. Riguardo alla terza componente, un alveo deve essere stabile o in "equilibrio dinamico", vale a dire che non si sono verificate importanti variazioni morfologiche dovute a fattori antropici nel corso del "recente" passato (ovvero negli ultimi 100 anni circa). Riassumendo, le condizioni di riferimento consistono in un tratto di corso d'acqua in equilibrio dinamico, dove il fiume svolge quei processi geomorfologici che sono attesi per una specifica tipologia, e dove l'artificialità è assente o non altera significativamente la dinamica del corso d'acqua a scala di bacino e di tratto.

Nell'ambito del presente studio, è stata applicata, in modo semplificato e in via preliminare, la metodologia per la determinazione dell'IDM (Indice di Dinamica Morfologica).

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

## 2 CARATTERISTICHE DELL'AREA DI STUDIO

### 2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'INTERVENTO

La tratta ferroviaria Giampileri – Fiumefreddo, compresa nella linea Catania – Messina, si estende per oltre 42 km lungo la costa ionica della provincia di Messina (Figura 1).

Il percorso ferroviario attraversa in gran parte in galleria la zona costiera, partendo da una quota di 57.98 m s.m.m. alla Fermata di Fiumefreddo per giungere ai 16.25 m s.m.m. della Fermata di Giampileri.

Nel suo tragitto, la tratta Giampileri – Fiumefreddo interseca i tratti terminali di una serie di burroni, burroncelli, torrenti, scoli e rivi. Le principali infrastrutture di trasporto sono l'autostrada A18 Catania – Messina e la Strada Statale n° 114 i cui tracciati risultano essere in sostanziale affiancamento all'intera tratta ferroviaria.

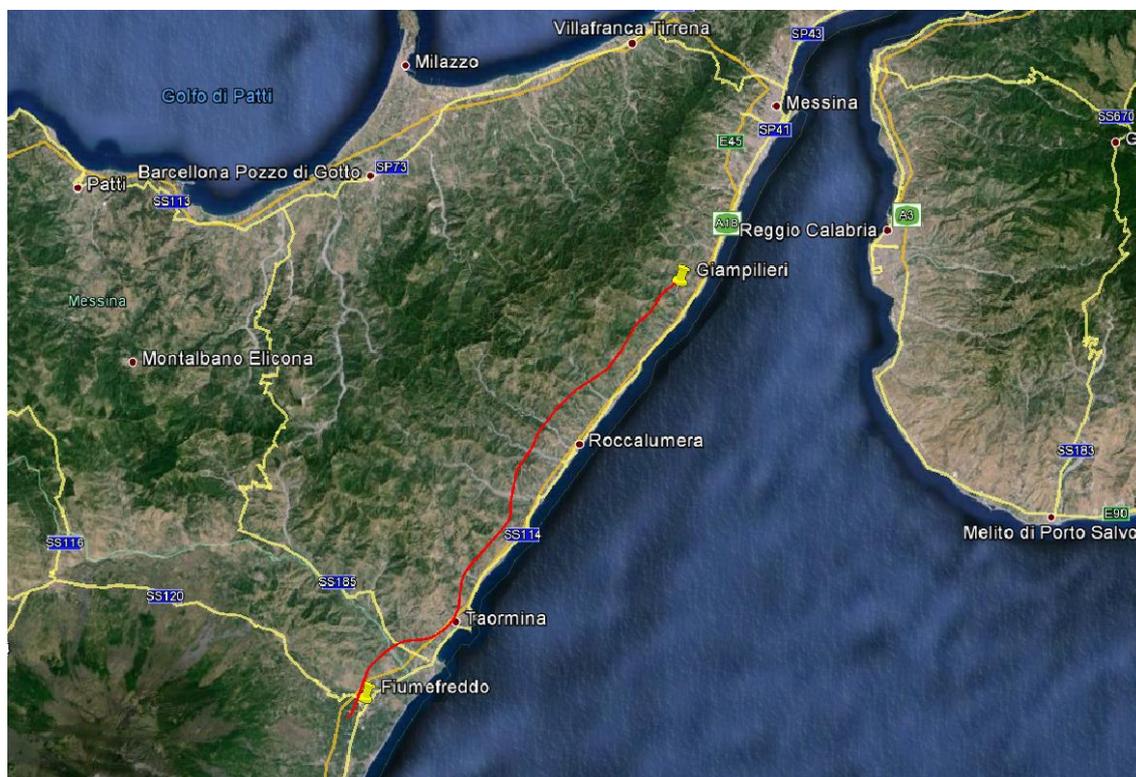


Figura 2-1 - Inquadramento geografico della zona in esame.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
<b>STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE</b>	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 14 di 72

Il progetto è suddiviso in due lotti:

- Lotto 01 tra la progressiva km 0+000 e la km 13+843, compresa tra l'attuale stazione di Fiumefreddo e l'interconnessione di Letojanni;
- Lotto 02 tra la progressiva km 13+843 e la km 42+263, ovvero tra l'interconnessione di Letojanni e la stazione di Giampilieri.

La presente relazione è relativa a tutti gli attraversamenti ricadenti all'interno dei due lotti.

I bacini idrografici interessati dall'intervento ricadono nell'area che si estende tra il Torrente Minissale e il Torrente Giampilieri, nel sistema montuoso dei Peloritani, lungo il quale si sviluppa lo spartiacque fra il versante tirrenico e quello pertinente al Mar Ionio. Questo sistema montuoso, costituito da falde di ricoprimento in cui prevalgono i terreni cristallini, si distingue nel panorama orografico regionale in quanto il paesaggio è caratterizzato da una morfologia molto aspra. In linea generale possono essere delineate tre fasce altimetriche orientate all'incirca NE-SW, di cui una pianeggiante, una seconda a carattere collinare ed una terza decisamente montuosa. La prima fascia si colloca a pochi metri sul livello del mare e con ampiezza molto variabile lungo lo sviluppo delle coste. In corrispondenza degli sbocchi dei numerosi corsi d'acqua si osservano generalmente ampie spianate a debole pendenza verso il mare, dovute agli alvei sovralluvionati che sfumano gradatamente verso il litorale. La fascia intermedia collinare, compresa dai 20 m s.l.m. a circa 650 m s.l.m., presenta moderati dislivelli che localmente si accentuano in relazione alle condizioni litologiche e strutturali. Nel complesso la morfologia risulta articolata in funzione dello sviluppo del reticolo idrografico sui terreni sedimentari più erodibili. La fascia situata alle quote più elevate è caratterizzata da una morfologia aspra e accidentata. I rilievi, costituiti da rocce cristalline, lungo il crinale della catena superano i 1.000 m e sono solcati da valli sempre strette e a fianchi ripidi, con profilo breve e pendenza accentuata.

I reticoli idrografici si presentano ben articolati nei tratti montani dove una serie di rami fluviali secondari, ad andamento contorto di breve lunghezza ed a notevole pendenza, hanno inciso il territorio formando una serie di valli strette ed incassate. La maggior parte di questi bacini presenta un'estensione superiore ai 10 km<sup>2</sup> cosicché, nonostante le elevate pendenze delle aste principali, i tempi di corrivazione risultano quasi sempre superiori ad un'ora.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

L'andamento dei corsi d'acqua principali nella parte valliva è sostanzialmente rettilineo, di lunghezza piuttosto breve, che non supera i 9 km, e mediamente è di 4÷5 km. Il regime idrologico è marcatamente torrentizio, tipico delle "Fiumare", con deflussi superficiali scarsi o assenti nel periodo primavera-estate e consistenti nei mesi autunnali e invernali.

## 2.2 AREE DI PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

L'individuazione dei dissesti geomorfologici presenti nell'area di intervento ricavata a partire dai dati presenti nella "Carta dei dissesti" del P.A.I., integrati, ove necessario, da quelli presenti nella "Carta geomorfologica" redatta da Italferr nell'ambito della Progettazione Definitiva in oggetto, ha evidenziato che a livello generale i fenomeni rilevanti sono i seguenti:

- crollo;
- colata rapida;
- sprofondamento;
- frana complessa;
- colata lenta;
- area a franosità diffusa;
- soliflusso;
- calanco;
- dissesti dovuti ad erosione accelerata.

Il P.A.I. per ciascuno di questi fenomeni associa un grado di pericolosità che viene determinato sulla base di:

- magnitudo del fenomeno atteso, intesa come "severità, meccanica e geometrica del fenomeno potenzialmente distruttivo;
- stato di attività che fornisce una valutazione di tipo temporale e quindi della propensione; la presenza di interventi di sistemazione comportano una diminuzione del valore della pericolosità.

L'incrocio di questi aspetti determina la pericolosità del fenomeno franoso (Tabella 2.2-1) e conseguenti classi di pericolosità (Tabella 2.2-2).

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

Stato di Attività	Magnitudo			
	M1	M2	M3	M4
Stabilizzata naturalmente o artificialmente	P0	P0	P0	P1
Quiescente	P0	P1	P1	P2
Inattiva	P1	P1	P2	P3
Attiva o riattivata	P1	P2	P3	P4

**Tabella 2.2-1 – Pericolosità del fenomeno franoso (fonte: P.A.I. Regione Sicilia)**

<b>P0</b>	Pericolosità bassa
<b>P1</b>	Pericolosità moderata
<b>P2</b>	Pericolosità media
<b>P3</b>	Pericolosità elevata
<b>P4</b>	Pericolosità molto elevata

**Tabella 2.2-2 – Classi di pericolosità (fonte: P.A.I. Regione Sicilia)**

L'area oggetto del presente studio geomorfologico, in relazione alla complessa evoluzione geologica subita, risulta fortemente influenzata dal locale assetto stratigrafico-strutturale delle unità affioranti, oltre che dai fenomeni di modellamento superficiale che l'hanno interessata durante il Quaternario e dalle importanti variazioni eustatiche succedutesi nel tempo.

L'evoluzione morfologica del territorio ed i principali elementi geomorfologici rilevati, pertanto, sono direttamente connessi al deflusso delle acque correnti superficiali ed ai fenomeni gravitativi e/o erosivi agenti lungo i versanti. Ad essi si aggiungono, inoltre, locali elementi di origine strutturale e marina, nonché forme e depositi connessi con l'attività antropica.

Di seguito vengono descritti i principali elementi geomorfologici presenti nell'area con particolare riferimento ai fenomeni che interagiscono direttamente con l'alveo dei corsi d'acqua interessati dalle opere da realizzarsi. I corsi d'acqua interessati sono:

- A. Vallone Minissale
- B. Fiume Alcantara
- C. Torrente Letojanni
- D. Torrente Fondaco
- E. Fiumara D'Agro'
- F. Torrente Fiumedinisi
- G. Torrente Ali'
- H. Torrente Itala
- I. Torrente Giampilieri

Gli elementi descritti sono stati riportati negli elaborati che costituiscono la “Carta geomorfologica” del presente progetto (1 Lotto e 2 Lotto).

Per quanto riguarda le forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali, nell'intera area esaminata le forme di accumulo connesse al deflusso idrico superficiale derivano, essenzialmente, dai processi deposizionali dei principali sistemi fluviali presenti. In corrispondenza di tali elementi, infatti, i meccanismi deposizionali risultano preponderanti sugli altri processi morfologici e conferiscono quindi, a tutto il territorio, una morfologia sub-pianeggiante e piuttosto regolare, caratterizzata da diverse superfici terrazzate e aree impluviali poco accentuate.

I depositi alluvionali si distribuiscono generalmente su superfici sub-pianeggianti blandamente ondulate, spesso strutturate secondo diversi ordini di terrazzi posti a differenti quote sui fondovalle attuali. Tali depositi presentano una granulometria piuttosto grossolana, ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa, anche se mostrano al loro interno vistose variazioni sedimentologiche e tessiturali dovute alle frequenti intercalazioni sabbioso-limose. Allo sbocco delle principali aste torrentizie nelle aree di fondovalle, si rinvencono inoltre, frequenti conoidi alluvionali, di estensione ed importanza variabile. Verso la costa, questi sistemi deposizionali sono riferiti a due differenti cicli sedimentari e risultano interdigerati, almeno localmente, ai depositi marini recenti e attuali.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
<b>STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE</b>	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 18 di 72

In corrispondenza dei principali corsi d'acqua, e secondariamente lungo gli alvei dei loro affluenti maggiori, si rinvengono vistose scarpate di genesi fluviale e zone di erosione laterale delle sponde. Gli alvei secondari mostrano, in generale, una marcata tendenza all'approfondimento, mentre gli alvei più importanti sono caratterizzati da prevalenti meccanismi deposizionali. Ulteriori scarpate fluviali, ormai inattive e fortemente degradate, sono presenti in corrispondenza dei margini esterni dei terrazzi alluvionali più estesi, posti a quote variabili dal fondovalle attuale.

Lungo i versanti e in corrispondenza delle parti alte dei bacini imbriferi, si rinvengono inoltre diffusi fenomeni erosivi sia areali che lineari, connessi al deflusso non regimato delle acque correnti superficiali. Tali fenomeni generano, ovviamente, forme caratteristiche quali solchi di erosione concentrata e vallecole a V o a fondo concavo, particolarmente evidenti nei settori di affioramento di litotipi a dominante pelitica o metapelitica.

Per quel che riguarda i fenomeni franosi e/o gravitativi di versante, nell'attuale contesto morfo-climatico, essi rappresentano uno dei principali fattori morfoevolutivi dell'area, in quanto direttamente influenti sul modellamento dei rilievi e sull'evoluzione morfologica generale dell'interno territorio in esame. L'area di studio è caratterizzata, infatti, da un elevato numero di movimenti di versante (deformazioni gravitative e frane s.s.) originatisi dall'azione congiunta di vari fattori quali elementi tettonici, caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali, dinamica delle acque superficiali e sotterranee e attuale utilizzo del territorio. In un tale contesto geologico-strutturale, pertanto, le fenomenologie di dissesto seguono canali e orientazioni preferenziali dettate, in massima parte, dalla tettonica e dai fenomeni erosivi connessi al deflusso delle acque correnti superficiali.

I settori di affioramento dei depositi silicoclastici sono caratterizzati, in generale, da un discreto numero di movimenti franosi, essenzialmente riconducibili a colamenti e frane complesse in terra (sensu Varnes 1978). Lo stato è generalmente attivo o quiescente, mentre la distribuzione di attività è per lo più retrogressiva o multidirezionale, raramente costante. Le velocità dei fenomeni sono mediamente piuttosto basse, mentre le superfici di rottura si attestano, nella maggioranza dei casi, a profondità comprese tra 2 e 6 m circa dal p.c..

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
<b>STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS2S	00	D 09 RG	ID 00 02 001	C	19 di 72

Spesso, in corrispondenza delle aree impluviali più estese o lungo solchi di erosione più importanti, si rinvengono intere porzioni di versante interessate da movimenti gravitativi superficiali, che nel complesso vanno a costituire veri e propri bacini di frana. Le scarpate morfologiche impostate sulle porzioni arenacee e conglomeratiche di tali successioni, invece, sono contraddistinte da locali crolli e scivolamenti in roccia con dimensioni generalmente inferiori a 1 m<sup>3</sup>. Infine, in associazione ai movimenti franosi s.s., sono presenti estesi fenomeni di deformazione viscosa delle coltri (creep e/o soliflusso) che interessano per lo più le coltri di copertura e le porzioni più superficiali ed alterate del substrato geologico dell'area.

Nelle aree di affioramento dei termini metamorfici e calcareo-dolomitici, invece, sono presenti diffusi fenomeni di dissesto riconducibili a crolli e scivolamenti in roccia (sensu Varnes 1978), essenzialmente distribuiti in corrispondenza delle scarpate morfologiche più acclivi ed estese. Tali fenomeni, generalmente attivi, presentano dimensioni variabili da pochi decimetri a diversi m<sup>3</sup> e velocità sempre molto elevate. Localmente, nelle zone in cui si verifica la sovrapposizione tra litologie a comportamento differente, tali fenomeni possono dar luogo a vere e proprie colate di detrito, generalmente di modesta dimensione.

Ai margini delle principali aree impluviali, i termini metamorfici e calcareo-dolomitici sono interessati da scivolamenti, colamenti e frane complesse in roccia e detrito (sensu Varnes 1978), spesso di notevole estensione. Lo stato è variabile dall'attivo all'inattivo, mentre la distribuzione di attività è per lo più costante, e solo raramente retrogressiva o multidirezionale. Le velocità dei fenomeni sono mediamente piuttosto elevate, mentre le superfici di rottura risultano estremamente variabili in relazione al locale assetto geologico-strutturale. Infine, anche in questo caso, in associazione ai movimenti franosi s.s. si rinvengono fenomeni di deformazione viscosa delle coltri (creep e/o soliflusso) prevalentemente in corrispondenza delle coltri di alterazione del substrato metamorfico.

Infine per quanto riguarda la pericolosità morfologica dei fenomeni appena sopra descritti, si evidenzia che, nei bacini oggetto di studio ed interessati dalla realizzazione delle opere, i fenomeni presentano una pericolosità che varia dalla classe P1 (Vallone Minissale a valle di Ponte Boria) a P3-P4 (Torrente Fiumedinisi, Torrente Itala e Torrente Giampilieri), passando

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 20 di 72

per una prevalenza di classe P2 nei restanti bacini (Alcantara, Letojanni, Fondaco Parrino, D’Agrò).

### **2.3 CARATTERISTICHE AMBIENTALI E PAESISTICHE DELLA REGIONE FLUVIALE**

Per quel che riguarda gli aspetti ambientali e paesistici, essi non sono rilevanti ai fini del presente studio. Si rimanda allo Studio di Impatto Ambientale per le valutazioni di tali aspetti.

### **2.4 ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEI CORSI D’ACQUA INTERESSATI DAL PROGETTO**

#### **2.4.1 Assetto e parametri geomorfologici dei bacini**

Il reticolo idrografico dei corsi d’acqua oggetto di studio, ovvero Vallone Minissale, Fiume Alcantara, Torrente Letojanni, Torrente Fondaco, Fiumara D’Agrò, Torrente Fiumedinisi, Torrente Alì, Torrente Itala e Torrente Giampilieri, mostra caratteristiche tipiche delle aree di recente sollevamento, con presenza di corsi d’acqua a regime torrentizio denominati “fiumare” (Carbone et al., 2007). Le incisioni fluviali presentano un andamento pressoché rettilineo e all’incirca ortogonale alla linea di costa, thalweg ad elevata pendenza per gran parte del loro sviluppo, alvei stretti e incassati tra alte pareti rocciose nei tratti montani, che diventano ampi e sovralluvionati nei tratti terminali (Catalano et al., 2003; Carbone et al., 2007; Catalano, 2009).

Per tutti i corsi d’acqua in esame, il reticolo idrografico presenta uno sviluppo piuttosto articolato ed un pattern sub-dendritico o sub-angolato, che segue le principali direttrici tettoniche dell’area. La struttura della rete idrografica, pertanto, risulta fortemente condizionata sia dalla natura litologica del substrato che dagli elementi strutturali che lo hanno interessato.

I bacini imbriferi presentano generalmente un’estensione piuttosto limitata (inferiore ai 50 km<sup>2</sup>), fatta eccezione per i bacini del Torrente Minissale, il cui affluente principale è il Vallone Minissale, il fiume Alcantara e la Fiumara d’Agrò; inoltre per quanto riguarda la loro

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
<b>STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE</b>	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 21 di 72

forma essi sono caratterizzati da una ampiezza maggiore nella loro parte medio-alta e minore in quella terminale.

I deflussi sono modesti o mancano del tutto per diversi mesi dell'anno in cui le precipitazioni sono scarse o assenti, mentre sono decisamente consistenti per brevi periodi della stagione piovosa, durante i quali si possono verificare forti piene in concomitanza con eventi meteorici intensi e concentrati (Regione Sicilia, 2005; Carbone et al., 2007; Branca et al., 2009). Tali deflussi in alveo sono alimentati, inoltre, dalle acque di un gran numero di manifestazioni sorgentizie localizzate a differenti quote lungo i versanti che bordano i bacini (Carbone et al. 2007; Catalano, 2009). Il contributo delle suddette emergenze risulta più o meno significativo in relazione alla portata delle singole manifestazioni ed alla loro variabilità nel tempo.

L'idrografia dei corsi d'acqua in esame è definita quindi da numerose incisioni torrentizie a andamento generalmente ortogonale alla dorsale peloritana, defluenti prevalentemente in direzione NW-SE. Gli alvei presentano profili trasversali piuttosto acclivi, caratterizzati da strette valli a V e da gradini morfologici connessi alla forte incisione verticale subita in epoca recente per via dell'accentuato sollevamento regionale. I fondovalle risultano pertanto estremamente ristretti e spesso caratterizzati da meandri incassati. I reticoli idrografici sono ben gerarchizzati nelle aree di testata dei bacini, mentre presentano forti anomalie nelle aree di valle soggette a recente emersione o nelle zone interessate da elementi tettonici di una certa rilevanza (Carbone et al. 2007).

Tipologia e granulometria delle coltri alluvionali indicano un trasporto ad alta energia nei periodi di piena, come dimostrato dall'organizzazione a canali anastomizzati delle principali incisioni, in particolare presentano accentuate caratteristiche di questo tipo le aree di fondovalle del Torrente Giampilieri, del Torrente Itala, del Torrente Alì e, soprattutto del Torrente Fiumedinisi (Foto 1). La rottura di pendenza fra le valli minori e i fondovalle principali dà localmente luogo a coni detritici e conoidi alluvionali a volte coalescenti e talora molto estesi arealmente (Regione Sicilia 2005; Carbone et al. 2007; Catalano, 2009).

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
<b>STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE</b> <b>RELAZIONE</b>	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 22 di 72

Nei settori più meridionali dell'area, i corsi d'acqua (Vallone Minissale e Fiume Alcantara) che si sviluppano sui prodotti vulcanici riferibili all'attività eruttiva recente del M. Etna sono caratterizzati da brusche variazioni di direzione degli alvei si registrano, frequentemente, in corrispondenza dell'intersezione con i principali lineamenti strutturali. Il carattere tipicamente torrentizio, caratterizzato da deflusso breve e direttamente connesso con l'entità delle precipitazioni, è da mettere in relazione alla notevole permeabilità della successione vulcanica, che causa una rapida infiltrazione delle acque meteoriche limitandone il deflusso superficiale (Ferrara, 1993; Branca et al., 2009).



**Foto 1 – Vista panoramica dell'alveo del Torrente Fiumedinisi e dalla sua foce, riprese da località Costone Landro.**

In particolare è opportuno evidenziare che il paleo-reticolo di drenaggio del Fiume Alcantara risulta costituito da un'asse principale, sviluppato in direzione E-W e NW-SE, e da una serie di assi secondari che formano un reticolo a spina di pesce (Catalano, 2009). La

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
<b>STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE</b>	<b>COMMESSA</b> RS2S	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> D 09 RG	<b>DOCUMENTO</b> ID 00 02 001	<b>REV.</b> C	<b>FOGLIO</b> 23 di 72

copertura della paleo-valle è costituita da un spessa successione di colate laviche, cui si intercalano potenti corpi sedimentari di tipo alluvionale, detritico e lacustre. La graduale crescita del fianco settentrionale del Vulcano Ellittico ha causato lo spostamento verso Nord del paleo-asse di drenaggio del Fiume Alcantara, con conseguente tracimazione dello stesso corso d’acqua nel bacino idrografico adiacente. Intorno al 3000 a.C. la valle è stata invasa da un’imponente colata lavica che ha sconvolto il profilo di equilibrio del Fiume Alcantara, accentuando l’azione erosiva dello stesso e portando alla formazione di profonde incisioni nelle colate laviche presenti (Branca et al. 2009; Catalano et al. 2009).

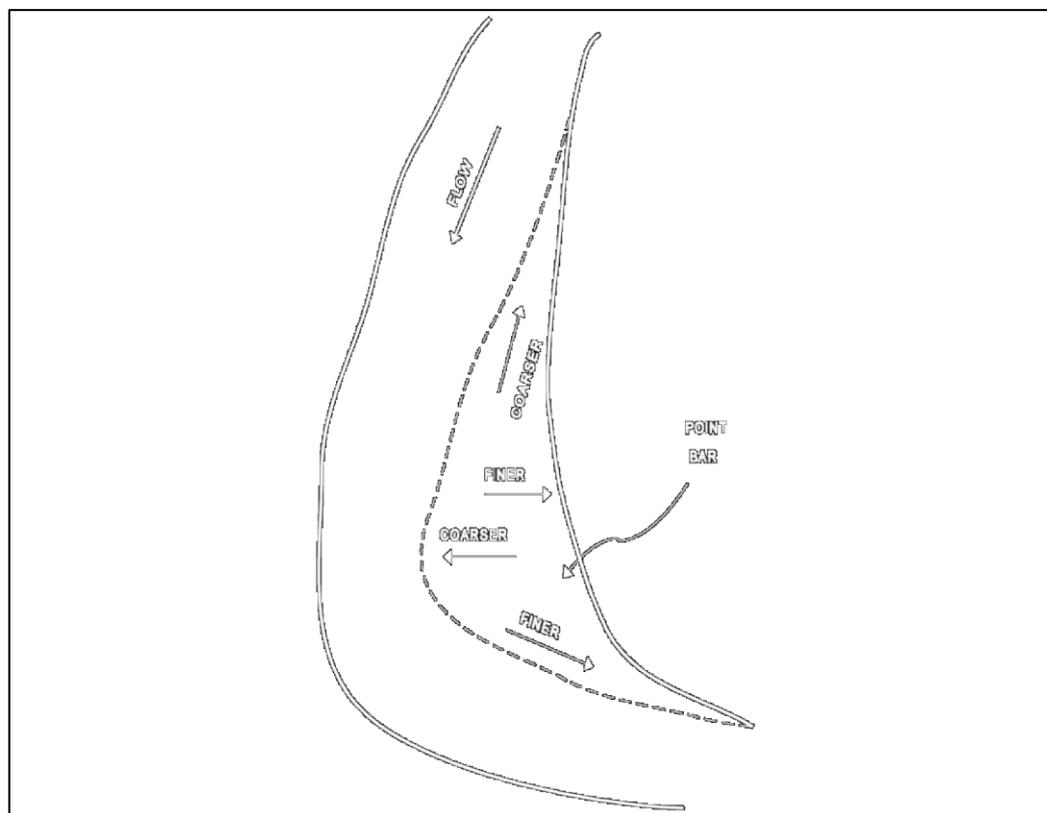
Infine si riportano nella Tabella 2.4-1 i principali parametri morfologici di corsi d’acqua oggetto del presente studio morfologico.

Tabella 2.4-1 – Caratteristiche morfometriche dei bacini di interesse

Bacino idrografico	Sezione di calcolo	Dimensioni planimetriche				Altimetria				Indici di forma del bacino					
		Area del Bacino idrografico [km <sup>2</sup> ]	Perimetro del bacino [km]	Perimetro della sezione principale [km]	Longhezza rettilinea idrografica [km]	Quota massima del bacino [m s.l.m.]	Quota media del bacino [m s.l.m.]	Quota della sezione chiusa [m s.l.m.]	h [m]	h <sub>0</sub> [m]	Pendenza media del bacino [‰]	Rapporto di circolarità R <sub>c</sub> = (4 pA) / P <sup>2</sup>	Rapporto di uniformità R <sub>u</sub> = P / (2i pA) <sup>0,5</sup>	Fattore di forma R <sub>f</sub> = A/L <sup>2</sup>	Rapporto di allungamento R <sub>a</sub> = 2A <sup>0,5</sup> / (L p) <sup>0,45</sup>
T. Malsale - Vallone Fugliarino	A - Val. Fugliarino	82,180	75,916	29,40	94,56	3316,25	1038,35	60,04	0,21730	0,08750	0,1790	2,3637	0,0951	0,3434	1,1506
Fiume Alcantara	B - F. Alcantara	548,600	179,54	63,73	109,75	3274,00	919,45	30,43	0,33810	0,01840	0,2139	2,1623	0,1351	0,4153	2,2001
Torrente Letojanni	C - T. Letojanni	21,080	28,86	9,88	30,62	1004,49	583,80	19,99	0,54130	0,07520	0,3180	1,7732	0,2160	0,5251	1,4526
Torrente Fondaco-Parrino	D - T. Fondaco	6,460	17,59	7,16	8,93	677,29	427,82	31,08	0,55070	0,06883	0,2623	1,9525	0,1260	0,4911	1,3824
Fiumara D'Agro	E - Fiumara d'Agro	78,600	60,60	23,09	50,19	1374,02	582,98	26,92	0,48630	0,05019	0,2600	1,9282	0,1474	0,4339	0,6385
Torrente Fiumefreddo	F - T. Fiumefreddo	48,700	46,91	16,72	52,64	1253,34	681,60	28,00	0,68400	0,04810	0,2781	1,9063	0,1742	0,4716	1,0809
Torrente Alb	G - T. Alb	8,870	10,64	7,71	18,29	1203,77	545,49	25,52	0,61830	0,10800	0,2890	1,8603	0,1492	0,4965	2,0620
Torrente Itala	H - T. Itala	10,580	19,25	7,51	13,33	1251,56	532,66	12,58	0,63040	0,12360	0,3589	1,6693	0,1876	0,4994	1,2599
Torrente Giampileri	I - T. Giampileri	9,7800	21,40	9,36	20,59	1095,52	500,00	5,61	0,63000	0,09000	0,2684	1,9104	0,1116	0,3775	2,1053

## 2.4.2 Metodologia per l'individuazione dei punti di prelievo del materiale d'alveo

L'individuazione del punto di prelievo del materiale d'alveo rappresenta un'attività di fondamentale importanza per la caratterizzazione dei fenomeni di geomorfologia fluviale che si intende studiare, in quanto la granulometria dei sedimenti presenti nell'alveo e sulle sponde può essere talmente varia e articolata da dover richiedere, per una rappresentazione completa, più punti di prelievo lungo una stessa sezione. Ovviamente le caratteristiche granulometriche cambiano anche lungo lo sviluppo longitudinale del corso d'acqua, per cui devono opportunamente essere scelte le sezioni di indagine, al fine di rappresentare la variabilità longitudinale del materiale d'alveo, che è la caratteristica maggiormente rappresentativa dei fenomeni che si vogliono studiare in questa sede e che viene anche preliminarmente verificata durante i sopralluoghi tecnici propedeutici all'individuazione dei punti di prelievo. La seguente figura rappresenta la distribuzione teorica della granulometria dei sedimenti in una forma di deposito (barra longitudinale).



**Figura 2-2: distribuzione teorica della granulometria dei sedimenti in una forma di deposito**

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

I fenomeni di trasporto solido presi in considerazione vengono indagati, tra l'altro, con una schematizzazione di calcolo idraulico, descritta nel successivo paragrafo 3.4 nella quale le sezioni vengono considerate omogenee dal punto di vista granulometrico (nessuna variabilità trasversale della granulometria), di conseguenza, poiché il campione di materiale d'alveo deve essere rappresentativo di ciò che può essere movimentato anche dalle basse portate, si possono individuare le seguenti condizioni per la scelta del punto di prelievo.

- Esame visivo della sezione:
  - Sedimenti depositi a valle di ostacoli naturali in alveo (es.: grandi massi o vegetazione, oppure strutture)
  - Deposito rappresentativo della variabilità trasversale della sezione
  - Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con le piene ordinarie
  - Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto
  
- Modalità di prelievo:
  - Traguardare il punto con un oggetto riconoscibile (es. picchetto bianco/rosso o simile)
  - Ripresa fotografica del punto di prelievo:
    - Foto dall'alto
    - Foto del transetto
    - Foto del punto guardando verso valle
  - Scartare eventuali ciottoli di dimensioni maggiori di 10 cm
    - Foto dall'alto
  - Prelevare con pala a mano almeno 2Kg di materiale da collocare in sacchetto da campionamento
  - Classificare il campione in base al codice dell'individuazione del transetto

### **2.4.3 Caratteristiche granulometriche dei corsi d'acqua in esame**

I campioni prelevati secondo la metodologia descritta nel precedente paragrafo 2.4.2 sono stati analizzati in laboratorio per la determinazione delle curve granulometriche, riportate nel

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

documento RS2S00D09SHID0002001B Schede di rilevamento geomorfologico e sintetizzate nella seguente Tabella 2.4-2, in cui è riportato il diametro caratteristico  $D_{50}$  per ogni punto di prelievo. Complessivamente i corsi d'acqua indagati sono caratterizzati da materiali appartenenti alle classi granulometriche delle sabbie grossolane / ghiaie fini.

**Tabella 2.4-2: Caratteristiche granulometriche dei corsi d'acqua in esame**

Corso d'acqua	Codice punto di prelievo	$D_{50}$ (mm)
Minissale	FOG01	3
	FOG02	1,2
Alcantara	ALC01	1,5
Letojanni	LET01	6
	LET02	3,2
	LET03	5
Fondaco Parrino	PAR01	4
	PAR02	6
Fiumara d'Agrò	DAG01	0,022
Fiumedinisi (Nizza di Sicilia)	NIZ01	10
	NIZ02	10,3
	NIZ03	3,5
Ali	ALI01	4
Itala	ITA01	10,2
	ITA02	4,5
	ITA03	7

## 2.5 INDICE DI DINAMICA MORFOLOGICA (IDM)

### 2.5.1 Metodo IDRAIM

Il “Sistema di valutazione **id**romorfologica, **an**alisi e **mon**itoraggio dei corsi d'acqua”, denominato IDRAIM, costituisce un quadro metodologico complessivo di analisi, valutazione post-monitoraggio e di definizione delle misure di mitigazione degli impatti ai fini della

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 28 di 72

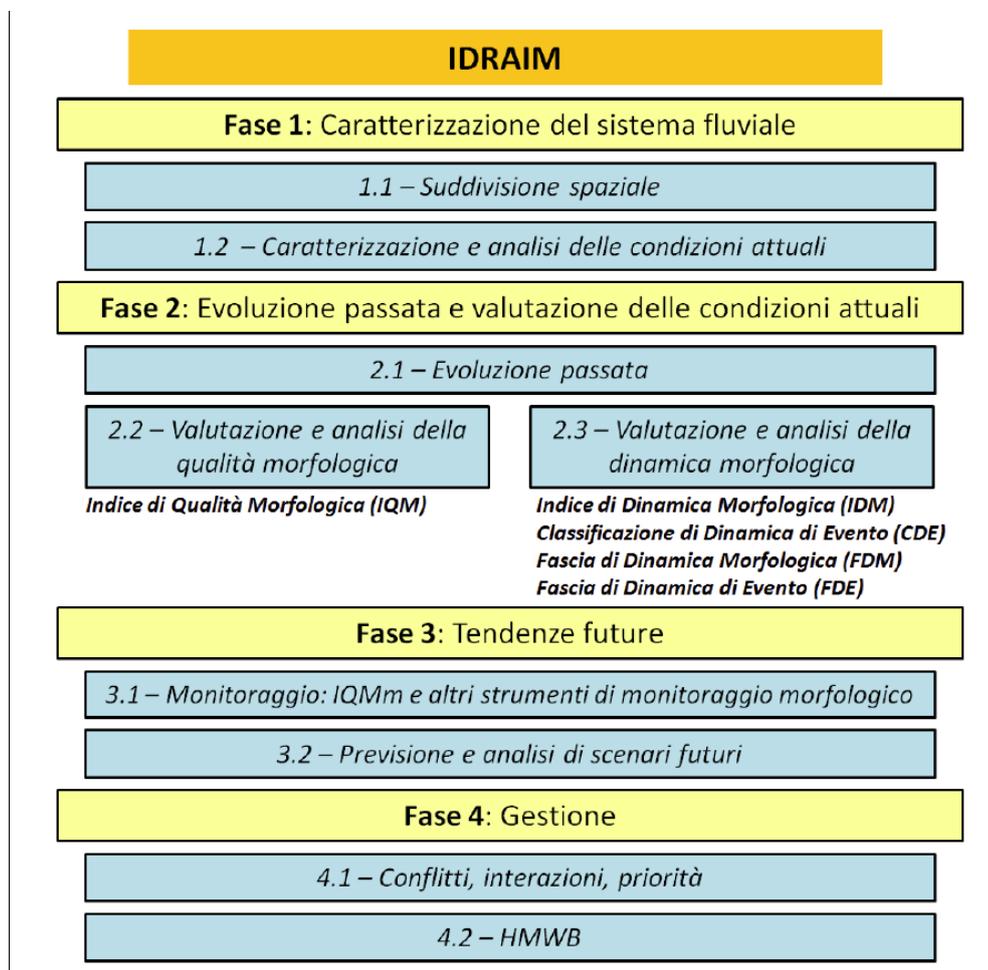
pianificazione integrata prevista dalle Direttive 2000/60/CE (Acque) e 2007/60/CE (Alluvioni).

La metodologia IDRAIM prende in considerazione i processi legati alle variazioni del fondo alveo, alla mobilità laterale, alla presenza di opere e a tutte quelle componenti che vanno a determinare la dinamica morfologica di un fiume. Tali valutazioni, opportunamente integrate con le metodologie tradizionalmente impiegate per le analisi idrauliche, forniscono un quadro completo e dettagliato degli elementi che caratterizzano un corso d'acqua.

Il metodo IDRAIM tenendo conto in maniera integrata di obiettivi di qualità ambientale e di mitigazione dei rischi legati ai processi di dinamica fluviale, si pone quindi come sistema a supporto della gestione dei corsi d'acqua e dei processi geomorfologici.

La struttura complessiva del metodo IDRAIM si articola in 4 fasi che possono essere riassunte come riportato in Figura 2-3. Si sottolinea che si tratta di uno strumento metodologico flessibile a seconda delle finalità per le quali viene impiegato, in cui ogni componente può essere affrontata per livelli di approfondimento crescenti, tenendo conto degli obiettivi e delle esigenze specifiche. I metodi utilizzati per la valutazione della qualità e della **dinamica morfologica** presentano un'analogia e coerente impostazione. Essi possono essere utilizzati insieme o anche separatamente, secondo l'esigenza di analizzare entrambi gli aspetti o uno solo di essi. Infine, i due aspetti di qualità morfologica e pericolosità da dinamica morfologica sono tenuti concettualmente separati, ma una delle finalità del metodo è di fare emergere le conflittualità e individuare le possibili azioni per tenere conto dei diversi obiettivi.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C



**Figura 2-3 – Schema generale della struttura del metodo IDRAIM.**

Nell’ambito del presente studio è stata applicata, in via preliminare, la procedura per la valutazione dell’Indice di Dinamica Morfologica (IDM) basata sulle seguenti componenti:

- 1) **Morfologia e processi:** riguarda le caratteristiche dell’alveo, del fondo, delle sponde, i processi e le tendenze attuali (localizzate e distribuite) manifestate ad una scala temporale degli ultimi 10 – 15 anni.
- 2) **Artificialità:** considera nel dettaglio le opere che maggiormente condizionano i processi di dinamica morfologica.
- 3) **Variazioni morfologiche.** si basano sull’analisi delle variazioni avvenute negli ultimi decenni, le quali condizionano la propensione o meno ai vari tipi di pericolosità.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

La valutazione complessiva viene effettuata attraverso l'ausilio di apposite schede di valutazione, per mezzo delle quali si effettua un'analisi attraverso l'impiego integrato di immagini telerilevate e rilevamenti sul terreno. Le schede si basano sull'utilizzo di una serie di indicatori, per ognuno dei quali sono fornite una serie di possibili risposte (in numero variabile). Gli indicatori sono basati su una o più variabili quantitative o qualitative: in genere si tratta della percentuale rispetto alla lunghezza totale del tratto lungo la quale si osservano determinate caratteristiche o processi.

Ogni componente viene valutata attraverso una serie di indicatori, che sono:

- **Indicatori di morfologia e processi.** Essi partono da aspetti di carattere generale (tipologia d'alveo, materiale che costituisce le sponde ed il fondo); successivamente si prendono in esame i processi di arretramento delle sponde; infine si vanno ad esaminare le tendenze (alla scala degli ultimi 10 – 15 anni) di tipo distribuito della larghezza e del fondo. Alcuni indicatori di morfologia e processi includono l'esame degli elementi di artificialità, considerati ad esempio tra i tipi di materiale costituenti il fondo e le sponde.
- **Indicatori di artificialità.** Essi prendono in esame in maniera più specifica gli elementi artificiali, analizzandoli dal punto di vista dei loro potenziali effetti sui processi (es. difese di sponda come impedimento dei processi di arretramento delle sponde). Si precisa che il metodo non prevede una valutazione puntuale sullo stato delle opere: quando esse sono presenti all'interno o nelle immediate vicinanze dell'alveo attuale, in assenza di informazioni a riguardo, esse vengono assunte come interferenti con la dinamica morfologica. Esse vengono invece escluse qualora si accerti che non esplicano più la loro funzione di protezione delle sponde o del fondo.
- **Indicatori di variazioni morfologiche.** Le variazioni morfologiche durante gli ultimi decenni sono valutate come indicatori di instabilità, pertanto di dinamica morfologica. Tale instabilità infatti può ancora manifestarsi, con la possibilità che, durante eventi di piena di una certa intensità, possano verificarsi delle modifiche morfologiche verso precedenti configurazioni (ad es., rimodellamento di superfici abbandonate per restringimento dell'alveo). **Nel caso specifico, trattandosi di una applicazione**

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

**semplificata del metodo, la valutazione degli indicatori di tale componente si è basata su quanto osservato in campo e non sulla base di una analisi storica di dettaglio.**

Ogni indicatore viene attribuito, a seconda dei suoi effetti prevalenti, ad una delle due componenti che costituiscono la dinamica morfologica: (1) dinamica verticale; (2) dinamica laterale. La dinamica verticale riguarda tutti gli aspetti connessi con la dinamica morfologica del fondo (erodibilità del fondo, processi di fondo localizzati, tendenze altimetriche, opere di rivestimento o consolidamento, ecc.). La dinamica laterale è invece relativa a tutti gli aspetti connessi con l'arretramento delle sponde e le variazioni di larghezza (erodibilità delle sponde, tendenze di larghezza, difese di sponda, ecc.).

### **2.5.2 Applicazione ai casi di studio**

Come riportato al paragrafo precedente, la valutazione dell'Indice di Dinamica Morfologica si basa sulla valutazione della morfologia e processi in alveo e nelle sponde, dell'artificialità e delle variazioni morfologiche; ognuna di queste componenti viene valutata attraverso indicatori riportati in Tabella 2.5-1.

Il metodo è stato applicato, in via preliminare e semplificata, ai corsi d'acqua interessati dalla realizzazione della opere di attraversamento della tratta ferroviaria in progetto: Vallone Minissale, Fiume Alcantara, Torrente Letojanni, Torrente Fondaco, Fiumara D'Agro', Torrente Fiumedinisi, Torrente Ali', Torrente Itala.

Si precisa che nei casi di studio trattati in questo ambito, trattandosi di una applicazione semplificata del metodo, la valutazione degli indicatori della componente "variazioni morfologiche" si è basata su quanto osservato in campo e non sulla base di una analisi storica di dettaglio.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

**Tabella 2.5-1 – Lista degli indicatori per la valutazione dell’IDM**

SIGLA	INDICATORE
<i>Morfologia e Processi</i>	
M1	Tipologia d’alveo
M2	Erodibilità delle sponde
M3	Erodibilità del fondo
M4	Processi di arretramento delle sponde
M5	Tendenze di larghezza
M6	Tendenze altimetriche
<i>Artificialità</i>	
A1	Difese di sponda
A2	Opere di rivestimento o consolidamento del fondo
<i>Variazioni morfologiche</i>	
V1	Variazione della configurazione morfologica
V2	Variazioni di larghezza
V3	Variazioni altimetriche

Il risultato dell’applicazione viene riportato in Tabella 2.5-2, precisando che l’applicazione effettuata costituisce un primo tentativo di determinare tale indice e non vuole sostituire alcuna altra applicazione ufficiale svolta in Regione Sicilia dagli Enti preposti (ARPA).

**Tabella 2.5-2 – Indice e Classe di Dinamica Morfologica dei corsi d’acqua oggetto di studio. L’applicazione effettuata costituisce un primo tentativo di determinare tale indice e non vuole sostituire alcuna altra applicazione ufficiale svolta in Regione Sicilia dagli Enti preposti.**

Denominazione corso d’acqua	Lunghezza tratto [m]	Indice di Dinamica Morfologica (IDM)	Classe di Dinamica Morfologica				
			Molto bassa	Bassa	Media	Elevata	Molto elevata
Vallone Minissale	1908	0.44					
Fiume Alcantara	9271	0.7					
Torrente Letojanni	1152	0.48					
Torrente Fondaco-Parrino	1012	0.65					
Fiumara D’Agrò	2400	0.56					
Torrente Fiumedinisi	1351	0.68					
Torrente Ali	1058	0.5					
Torrente Itala	723	0.57					

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 33 di 72

### 3 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

#### 3.1 MODELLI MATEMATICI PER IL TRASPORTO SOLIDO

##### 3.1.1 La teoria di Shields per il moto incipiente

La prima interpretazione del fenomeno di inizio del trasporto al fondo, comunemente noto come *moto incipiente* o condizione critica per il fondo, si deve a Shields (1936), che individuò la relazione tra il valore della tensione al contorno  $\tau_0$  che pone in movimento il materiale di fondo di densità  $\rho_s$  e diametro  $d_s$  e le proprietà del fluido,  $\mu$  e  $\rho$ . Nella formulazione più semplice tale relazione si deduce come segue.

In alveo rettangolare molto largo il raggio idraulico si confonde con la profondità  $h$  e la tensione al fondo  $\tau_0$  si può esprimere come

$$\tau_0 = \rho g h j \quad 3.1$$

Con riferimento alla Figura 3-1, in condizioni critiche la resistenza al moto,  $R$ , dei granuli di diametro  $d_s$  e peso specifico  $\gamma_s$  uguaglia la forza di trascinamento al fondo all'inizio del trasporto,  $A$ .

$$R \propto (\gamma_s - \gamma) d_s^3 \quad 3.2$$

$$A \propto C_R \tau_{cr} d_s^2 \quad 3.3$$

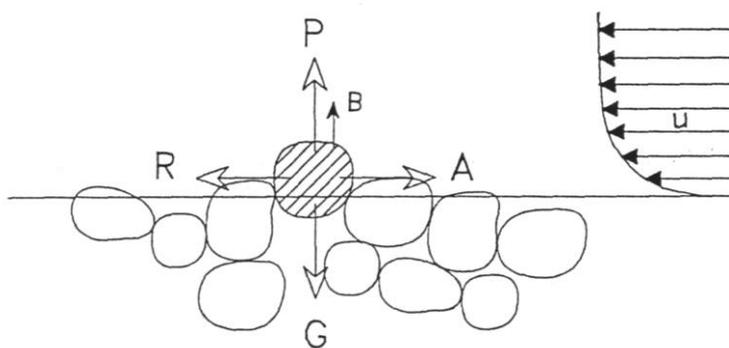


Figura 3-1: Schema delle forze agenti su una particella solida al fondo di un corso d'acqua

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

Il coefficiente  $C_R$  è funzione, a parità di forma dei sedimenti, del numero di Reynolds del sedimento, costruito con le grandezze caratteristiche del moto attorno al granulo:

- la velocità di attrito  $u_* = \sqrt{\tau_o / \rho}$
- il diametro del granulo  $d_s$
- la viscosità cinematica del fluido  $\nu = \mu / \rho$

ossia dal numero

$$Re_* = \frac{u_* d_s}{\nu} \quad 3.4$$

Si ha in definitiva

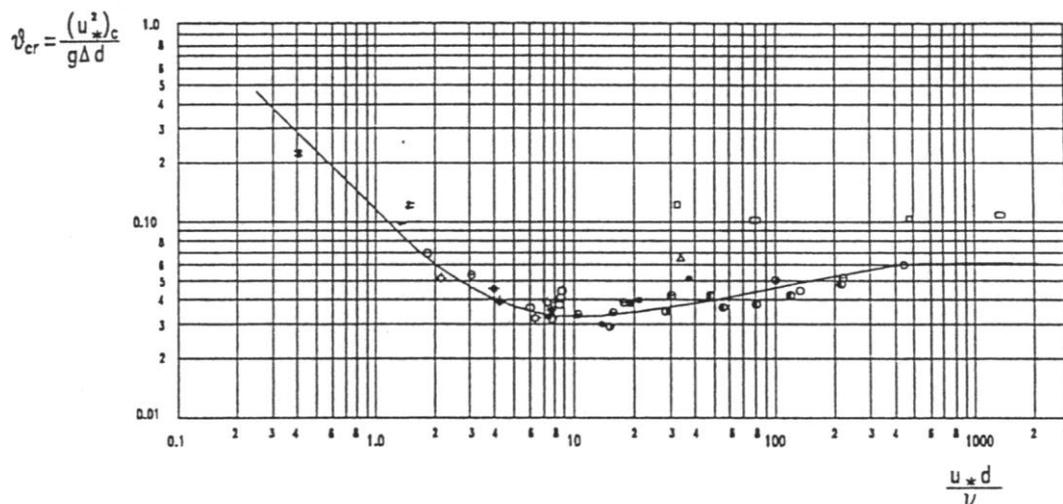
$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d_s} = f\left(\frac{u_* d_s}{\nu}\right) \quad 3.5$$

Il primo membro della (3.5), indicato spesso anche come  $\theta_{cr}$ , prende il nome di *parametro di stabilità* o di *mobilità di Shields*

$$\theta_{cr} = \frac{u_*^2}{g \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d} = \frac{u_*^2}{g \Delta d} = \frac{\tau_{cr}}{g(\rho_s - \rho)d} \quad 3.6$$

Avendo indicato con  $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$  la densità relativa del grano immerso.

La dipendenza funzionale da  $Re_*$  di  $\theta_{cr}$  è rappresentata dalla *curva di Shields*.



**Figura 3-2: Diagramma di Shields**

Questa curva separa la zona di mobilità delle particelle da quelle di immobilità: per i punti che giacciono sotto la curva, il moto dell'acqua non è in grado di provocare il moto delle particelle ( $\theta \leq \theta_{cr}$ ), i punti che giacciono al di sopra della curva rappresentano invece condizioni di movimento dei sedimenti.

La curva che rappresenta il movimento incipiente delle particelle ( $\theta = \theta_{cr}$ ) può essere divisa in tre parti:

- una prima parte che nel diagramma bilogarithmico ( $Re_* \leq 2$ ) è rappresentata da un segmento di retta;
- una seconda parte ( $2 \leq Re_* \leq 200$ ) ad andamento curvilineo con un valore di minimo relativo;
- una terza zona ( $Re_* \geq 200$ ) nuovamente ad andamento rettilineo.

Il primo tratto è descritto da un'equazione del tipo:

$$\frac{(u_*)_{cr}^2}{g \Delta d} \propto \left[ \frac{(u_*)_{cr} d}{\nu} \right]^{-1} = \frac{\nu}{(u_*)_{cr} d} \quad 3.7$$

cioè:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

$$(u_{*cr})^3 \propto g \Delta \nu \quad 3.8$$

Da questa equazione si vede che, nel primo tratto, la velocità critica delle particelle è indipendente dal diametro delle particelle stesse, mentre dipende dalla viscosità del fluido.

Nel tratto intermedio la condizione di mobilità dipende sia dalla dimensione del grano sia dalla viscosità del fluido. In questo tratto inoltre la curva presenta il suo valore minimo

$$(\theta_{cr})_{\min} \approx 0.03 \div 0.04 \text{ per } \frac{u_* d}{\nu} \approx 8 \div 10.$$

Nel terzo tratto, il parametro di mobilità assume valori pressoché costanti:

$$\theta_{cr} = \frac{(u_{*cr})^2}{g \Delta d} \approx 0.047 \quad 3.9$$

con 0.047 valore proposto da Zeller. In questo caso le condizioni di mobilità del grano sono indipendenti dalla viscosità del fluido; il regime è simile a quello del moto turbolento in corrispondenza di una parete idraulicamente scabra.

### 3.1.2 L'equazione di Exner

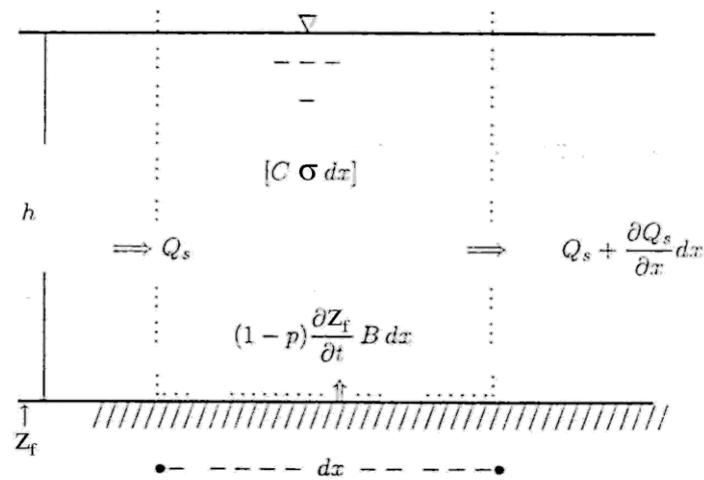
L'equazione di bilancio di massa dei sedimenti si ottiene considerando come volume di controllo un tronco infinitesimo di corrente  $dx$  largo  $B$  ed imponendo che la variazione nel tempo della sua massa di materiale solido sia pari alla differenza tra la portata solida entrante e quella uscente.

Applicando il bilancio della massa dei sedimenti si ottiene:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + \frac{\partial C\sigma}{\partial t} = -(1-p) \frac{\partial z_f}{\partial t} B \quad 3.10$$

dove  $p$  (compreso tra 0 ed 1) è la porosità del materiale d'alveo, cioè la frazione del volume dei sedimenti riempita dall'acqua;  $C = \frac{\int_A c d\sigma}{\sigma}$  è la concentrazione di volume

mediata sulla sezione trasversale  $\sigma$  ( $c$  è la concentrazione locale);  $Q_s = \int_A u c d\sigma$  è la portata solida;  $z_f$  è la quota del fondo rispetto ad un piano di riferimento.



**Figura 3-3: Bilancio di massa dei sedimenti nel volume di controllo**

Introducendo il *coefficiente di ragguglio delle concentrazioni*  $\left( \alpha_c = \frac{\sigma \int_{\sigma} c u d\sigma}{\int_{\sigma} u d\sigma \int_{\sigma} c d\sigma} \right)$ , la portata solida può essere espressa in funzione della concentrazione dei sedimenti:

$$Q_s = \alpha_c U \sigma C \quad 3.11$$

Inoltre il termine  $1-p$ , relativo alla porosità del materiale, viene spesso inglobato nella portata solida. L'equazione 3.10 diventa:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{Q_s}{\alpha_c U} \right) = - \frac{\partial z_f}{\partial t} B \quad 3.12$$

Il secondo termine a primo membro solitamente è trascurabile rispetto al primo: questa ipotesi è tanto più vera quanto maggiore è la portata solida di fondo rispetto a quella in sospensione.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} = - \frac{\partial z_f}{\partial t} B \quad 3.13$$

La 3.13 è nota come *equazione di Exner*. Essa è di facile interpretazione fisica:

quando $\frac{\partial Q_s}{\partial x} > 0$	⇒	la portata solida aumenta		
	⇒	l'alveo è in erosione	⇒	$\frac{\partial z_f}{\partial t} < 0$
quando $\frac{\partial Q_s}{\partial x} < 0$	⇒	la portata solida diminuisce		
	⇒	l'alveo è in deposito	⇒	$\frac{\partial z_f}{\partial t} > 0$

### 3.1.3 Accoppiamento acqua-sedimenti

In condizioni di moto vario la portata solida  $Q_s$  varia nello spazio e nel tempo, quindi nello stesso alveo si possono avere sia zone di sedimentazione sia di erosione.

Utilizzando uno schema monodimensionale, ipotizzando che i grani siano tutti della stessa grandezza e supponendo che le variazioni spaziali delle grandezze considerate siano gradualmente, si può ottenere un modello che descrive l'evoluzione della corrente e del fondo.

Le variabili dipendenti da considerare sono tre:

- la velocità o la portata;
- il tirante idrico;
- la quota del fondo.

Quindi si ha bisogno di tre equazioni:

- conservazione della massa;
- bilancio della quantità di moto;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

- bilancio della portata di materiale solido trasportata sul fondo.

Le equazioni da considerare sono quindi la 3.13 e le equazioni del moto dell'acqua (equazioni di de Saint Venant):

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad 3.14$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{\sigma} \right) + g \sigma \frac{\partial}{\partial x} (h + z_f) = -g \sigma j \quad 3.15$$

dove  $Q$  è la portata liquida,  $h$  il tirante idrico ed  $j$  la cadente della linea dell'energia.

Tenendo conto che l'area  $\sigma$  e la larghezza  $B$  possono essere espresse in funzione del tirante idrico, il sistema delle tre equazioni contiene ancora le seguenti variabili indipendenti:  $Q_s$ ,  $C$ ,  $Q$ ,  $h$ ,  $z_f$ ,  $j$ .

Per poter essere risolto, il sistema necessita quindi, oltre che delle condizioni iniziali e al contorno, di altre tre equazioni che sono fornite dall'ipotesi di condizioni di equilibrio locale:

- La cadente della linea dell'energia viene calcolata come se localmente valesse la formula di Chezy per il moto uniforme:

$$j = \frac{U^2}{\chi^2 \mathfrak{R}} \quad 3.16$$

- La portata solida viene calcolata come se localmente essa fosse pari alla capacità di trasporto e quindi attraverso un'opportuna formula di trasporto solido:

$$Q_s = f_s(U, h, u_*, d, \dots) \quad 3.17$$

- La stessa ipotesi viene fatta per quanto riguarda la concentrazione  $C$  del materiale:

$$C = f_s(U, h, u_*, d, \dots) \quad 3.18$$

Nell'ipotesi semplificativa che la sezione sia di forma rettangolare larga, le equazioni (trascurando il secondo termine nell'equazione 3.15) divengono:

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial U h}{\partial x} = 0 \quad 3.19$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\partial z_f}{\partial x} = -g j \quad 3.20$$

$$\frac{\partial q_s}{\partial x} + \frac{\partial z_f}{\partial t} = 0 \quad 3.21$$

dove  $q_s = Q_s/B$  è la portata solida per unità di larghezza.

Questo modello è valido per sedimenti omogenei. Se il sedimento è assortito si può sempre utilizzare la 3.21 ponendo però  $q_s = \sum_{i=1}^{N_d} f_i q_i$ , dove  $f_i$  rappresenta la frazione, di diametro  $d_i$ , della quantità totale di portata solida in volume trasportata, e le  $q_i$  sono espresse da un'equazione di trasporto solido per materiale uniforme.

### 3.1.4 Scelta della Formula di Trasporto solido per i casi in esame

Il trasporto solido viene valutato in base alla portata solida, espressa ad esempio in kg/s, in termini di quantità di sedimenti movimentati in funzione della corrispondente portata liquida. Le formule che forniscono il valore di portata solida sono di tipo parametrico e, a partire dalla teoria di Shields sul moto incipiente, mettono in relazione le caratteristiche granulometriche con quelle idrodinamiche. Le varie formule disponibili in letteratura sono state sviluppate a partire da esperienze in laboratorio ed in situ, quindi hanno dei limiti di applicabilità in dipendenza dei risultati ricavati dai vari autori. Il codice di calcolo a fondo mobile utilizzato in questa sede, il cui impiego è descritto nel successivo paragrafo 3.4, consente di scegliere tra alcune delle più note formule, che vengono di seguito presentate. I limiti di applicabilità di ciascuna formula sono sintetizzati nella Tabella 3.1-1, di conseguenza, noti i diametri caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio e le relative grandezze idrodinamiche, è possibile scegliere la formula più adatta per ognuno di essi. I diametri caratteristici sono ricavabili dalle curve granulometriche, riportate nell'elaborato RS2S00D09SHID0002001B

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

Schede di rilevamento geomorfologico, mentre le grandezze idrodinamiche sono dedotte degli stessi modelli idraulici impiegati a fondo fisso.

**Tabella 3.1-1: limiti di applicabilità delle formule di trasporto solido**

Autore	$d_{50}$ [mm]	pendenza fondo	Froude	Rapporto tra larghezza e tirante $B/h$	Tirante idrico $h$ [m]
Meyer-Peter e Muller trasporto di fondo	0.4 ÷ 30	$4 \cdot 10^{-4} \div 2 \cdot 10^{-2}$			0.01 ÷ 1.2
Toffaletti trasporto totale	0.062 ÷ 16				> 3
Ackers-White trasporto totale	0.04 ÷ 4.9		< 0.8		< 0.4
	0.1 ÷ 68		< 0.8	9 ÷ 60	
Yang trasporto di fondo	0.137 ÷ 1.35				0.022 ÷ 0.86

### Formula di Meyer-Peter e Müller (1948)

La formula trovata da Meyer-Peter e Müller nel 1948 è la seguente:

$$q_s = \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \left\{ \frac{(Q_B/Q)(K_B/K_G)^{3/2} h j - 0.047[(\gamma_s - \gamma)/\gamma]d}{(0.25/\gamma)(\gamma/g)^{1/3}} \right\} \frac{1}{\rho_s}$$

con:

$$K_B = \frac{u}{h^{2/3} \sqrt{j}} \quad \text{e} \quad K_G = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

Nel caso di sedimenti ben assortiti, Meyer-Peter e Müller suggerirono di utilizzare un singolo diametro per caratterizzare il campione:  $\sum_i d_i P_i / 100 \approx d_{50}$  con  $P_i$  frazione in peso della  $i$ -esima classe granulometrica  $d_i$ .

Nell'equazione sono presenti due fattori di riduzione,  $Q_B/Q$  e  $K_B/K_G$ ; il primo serve per tenere conto del fatto che solo una parte ( $Q_B$ ) della portata totale ( $Q$ ) agisce sul fondo ed è quindi responsabile del movimento del trasporto di fondo; il secondo per tenere conto della

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

presenza della resistenza di formiche riduce lo sforzo di taglio che è disponibile per il trasporto di fondo. Meyer-Peter e Müller assunsero che  $Q_B/Q=1$  per i letti dei fiumi piatti e che  $K_B/K_G=1$  per i canali larghi. Nel caso di dati di laboratorio, si può porre  $Q_B/Q=1-h/B$  con B larghezza del canale. Il diametro nella formula è in m.

### Formula di Toffaleti (1968)

Il metodo di Toffaleti è basato sui concetti di Einstein con tre differenze:

- la distribuzione della velocità sulla verticale è ottenuta da un'espressione diversa da quella usata da Einstein;
- alcuni dei fattori correttivi di Einstein sono modificati e combinati;
- lo spessore della zona di trasporto di fondo è cambiata rispetto a quella di Einstein (due diametri).

Questa formula calcola il trasporto totale.

Toffaleti espresse il parametro di Einstein  $\Psi$  (intensità della corrente) come:

$$\Psi = \frac{T A}{U^2} 10^4 d$$

con  $T$  (dimensioni  $[L/T^2]$ ) parametro che include le costanti e quelle componenti della forza di taglio che sono funzioni della temperatura dell'acqua,  $A$  fattore di correzione adimensionale per sostituire i fattori di correzione di Einstein per i sedimenti non omogenei,  $U$   $[L/T]$  è la velocità media della corrente e  $d$   $[L]$  è il diametro dei granuli.

Egli divide l'altezza della corrente in tre zone:

- la zona inferiore dove la profondità della corrente è minore di  $\mathfrak{R}/11.24$  (con  $\mathfrak{R}$  raggio idraulico);
- la zona intermedia con profondità compresa tra  $\mathfrak{R}/2.5$  e  $\mathfrak{R}/11.25$ ;
- la zona superiore dove la profondità è inferiore a  $\mathfrak{R}/2.5$ .

Toffaleti inoltre stabilì che  $L_F$  o trasporto del nucleo espresso in U.S. tons/giorno per 1 piede di larghezza nella zona inferiore (assumendo che il fondo sia composto interamente da una sola granulometria di sabbia), può essere rappresentato da:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

$$L_F = \frac{0.06}{\left(\frac{TA}{U^2}\right)^{5/3} \left(\frac{d}{0.00058}\right)^{5/3}}$$

che per la sabbia molto fine ( $d < 1$  mm) diventa:

$$L_F = \frac{1.905}{\left(\frac{TA}{U^2}\right)^{5/3}}$$

La distribuzione della concentrazione dei sedimenti è espressa da:

$$C_y = C_a \left(\frac{y}{\mathfrak{R}}\right)^z$$

nella quale  $C_y$  è la concentrazione dei sedimenti alla quota  $y$  dal fondo e  $C_a$  è la concentrazione alla quota  $a$ .

Per la zona centrale:

$$z = \frac{U w_s}{C_z j \mathfrak{R}}$$

nella quale  $w_s$  è la velocità di sedimentazione della particella in piedi/s e  $C_z$  è un fattore correttivo per la temperatura che vale  $260.67 - 0.667T$  (con  $T$  in °F). L'esponente  $z$  della distribuzione della concentrazione dei sedimenti nella zona inferiore ed in quella superiore sono, rispettivamente, 0.756 e 1.5 volte quello della zona centrale.

Dopo aver determinato  $L_F$  e la distribuzione della concentrazione dei sedimenti nella zona inferiore, si può procedere col determinare la concentrazione al bordo superiore di questa zona, poi calcolare la distribuzione ed il trasporto totale dei sedimenti nella zona centrale ed infine ottenere il trasporto totale di sedimenti nella zona superiore. La somma del trasporto totale di sedimenti nelle tre zone è il trasporto totale riferito all'intera altezza della sezione.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
<b>STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE</b>	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 44 di 72

### Formula di Ackers-White (1973)

Ackers e White postularono che solo una parte dello sforzo di taglio agente sul letto del fiume causa il movimento dei sedimenti grossolani, mentre nel caso di quelli fini predomina il trasporto in sospensione per il quale l'intero sforzo di taglio causa il movimento.

Questa formula valuta il trasporto totale, considerato come la somma del trasporto di fondo e di quello in sospensione.

La portata solida in volume  $q_s$  ha come unità di misura il  $m^3/(m\ s)$ , ed esprime il volume del sedimento trasportato per ogni secondo per l'unità di larghezza dell'alveo.

La formula è la seguente:

$$q_s = G_{gr} g u \left( \frac{u}{u_*} \right)^n d_{gr}$$

con  $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{g h i}$  velocità di attrito e con i parametri adimensionali  $G_{gr}$  (trasporto dei sedimenti),  $F_{gr}$  (mobilità delle particelle) e  $d_{gr}$  (granulometria):

$$G_{gr} = C \left( \frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m$$

$$F_{gr} = \frac{u_*^n}{[g d (\gamma_s - 1)]^{1/2}} \left[ \frac{u}{5.66 \log(10 D/d)} \right]^{(1-n)}$$

$$d_{gr} = d [g (\gamma_s - 1) / v^2]^{1/3}$$

I quattro parametri  $n$ ,  $A$ ,  $m$  e  $C$  sono stati ricavati in base agli esperimenti:

per  $1 \leq d_{gr} \leq 60$

$$n = 1 - 0.5 \log d_{gr}$$

$$A = \left( \frac{0.23}{d_{gr}^{1/2}} \right) + 0.14$$

$$m = \left( \frac{9.66}{d_{gr}} \right) + 1.34$$

per  $d_{gr} > 60$

$$n = 0.0$$

$$A = 0.170$$

$$m = 1.50$$

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

$$C = 10^{[2.86 \log d_{gr} - (\log d_{gr})^2 - 3.53]} \quad C = 0.025$$

Nella formula  $d$  è espresso in metri.

### Formula di Yang (1973)

Questa formula considera il fiume come una macchina: il lavoro necessario per mantenere il trasporto dei sedimenti è pari al prodotto della forza per la velocità.

Il trasporto di fondo è dato da:

$$\rho_s \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) q_f \tan \alpha = \omega e_f$$

con  $\tan \alpha$  coefficiente di attrito dinamico,  $q_f$  trasporto di fondo pari alla massa per la velocità della particella sul fondo,  $e_f$  efficienza della potenza (approssimativamente 0.15) e  $\omega = \tau_0 u$  potenza della corrente.

Il trasporto in sospensione è dato da:

$$\rho_s \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) q_{ss} \frac{w_s}{u_s} = \omega e_s (1 - e_f)$$

con  $q_s$  trasporto in sospensione pari alla massa per la velocità della particella in sospensione, che può approssimarsi con quella della corrente  $u$ ,  $w_s$  velocità di sedimentazione,  $e_s$  efficienza della potenza pari a 0.015 ed il rapporto  $w_s/u_s$  equivalente al coefficiente di attrito dinamico.

Il trasporto totale in  $[m^3/(m s)]$  è dato dalla somma dei due termini precedenti:

$$q_s = q_f + q_{ss} = \omega \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \left( \frac{e_f}{\tan \alpha} + 0.01 \frac{u_s}{w_s} \right) \frac{1}{\rho_s}$$

### 3.2 APPORTO DI SEDIMENTI AL TRATTO DI STUDIO

Sulla base delle analisi condotte ed illustrate nei capitoli precedenti è possibile correlare, seppur in maniera qualitativa, le dinamiche di versante e del corso d'acqua (IDM

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

semplificato) con le litologie presenti in ciascun bacino, al fine di determinare la capacità di trasporto solido di ciascun corso d'acqua oggetto di studio.

#### Vallone Minissale

È caratterizzato da una dinamica morfologica media e all'interno del suo bacino, costituito per buona parte da rocce vulcaniche, non sono presenti particolari situazioni di dissesto.

Si può, quindi, ritenere che NON vi sia particolare apporto di sedimento al tratto di studio.

#### Fiume Alcantara

È caratterizzato da una dinamica morfologica elevata, dovuta a presenza di sponde alluvionali e fondo erodibili per buona parte del tratto in esame. Il suo bacino, nel versante posto in sinistra idrografica, è caratterizzato dalla presenza di dissesti diffusi che contribuiscono, in parte, all'apporto di materiale solido in alveo.

Si può, quindi, ritenere che vi sia apporto di sedimento al tratto di studio.

#### Torrente Letojanni

È caratterizzato da una dinamica morfologica media dovuta a presenza di sponde alluvionali e fondo erodibili per buona parte del tratto in esame. Il suo bacino è caratterizzato dalla presenza di dissesti diffusi che contribuiscono, in parte, all'apporto di materiale solido in alveo.

Si può, quindi, ritenere che vi sia apporto di sedimento al tratto di studio.

#### Torrente Fondaco-Parrino

È caratterizzato da una dinamica morfologica **elevata** dovuta a presenza di sponde alluvionali e fondo erodibili per buona parte del tratto in esame. Il suo bacino è caratterizzato dalla presenza di dissesti diffusi che contribuiscono, in parte, all'apporto di materiale solido in alveo.

Si può, quindi, ritenere che vi sia apporto di sedimento al tratto di studio.

#### Fiumarà d'Agrò

È caratterizzato da una dinamica morfologica media dovuta a presenza di sponde alluvionali e fondo erodibili per buona parte del tratto in esame. Il suo bacino è caratterizzato

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 47 di 72

dalla presenza di dissesti diffusi che contribuiscono, in parte, all'apporto di materiale solido in alveo che risulta sovralluvionato.

Si può, quindi, ritenere che vi sia apporto di sedimento al tratto di studio.

#### **Torrente Fiumedinisi**

È caratterizzato da una dinamica morfologica **elevata** dovuta a presenza di sponde alluvionali e fondo erodibili per buona parte del tratto in esame. Il suo bacino è caratterizzato dalla presenza di dissesti diffusi che contribuiscono, in parte, all'apporto di materiale solido in alveo che risulta sovralluvionato.

Si può, quindi, ritenere che vi sia apporto di sedimento al tratto di studio.

#### **Torrente Ali**

È caratterizzato da una dinamica morfologica media dovuta a presenza di sponde alluvionali e fondo erodibili per buona parte del tratto in esame. Il suo bacino è caratterizzato dalla presenza di dissesti diffusi che contribuiscono, in parte, all'apporto di materiale solido in alveo che risulta sovralluvionato.

Si può ritenere che NON vi sia apporto di sedimento al tratto di studio.

#### **Torrente Itala**

È caratterizzato da una dinamica morfologica media dovuta a presenza di sponde alluvionali e fondo erodibili per buona parte del tratto in esame. Il suo bacino è caratterizzato dalla presenza di dissesti diffusi che contribuiscono, in parte, all'apporto di materiale solido in alveo che risulta sovralluvionato.

Si può ritenere che NON vi sia apporto di sedimento al tratto di studio.

### **3.3 ANDAMENTO DELLE PORTATE LIQUIDE (DI MEDIO PERIODO)**

La valutazione del trasporto solido di un corso d'acqua richiede particolare attenzione anche nella scelta dei valori di portata liquida da studiare, ai quali associare la corrispondente portata solida. Durante gli eventi di piena vi è sempre una fase di formazione dell'idrogramma, in cui la portata cresce abbastanza rapidamente fino al valore al colmo,

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

tuttavia nei modelli a fondo mobile bisogna considerare che vi sarà trasporto di sedimenti già dall'inizio della fase di crescita dell'idrogramma, con conseguente riassortimento della granulometria rispetto alle condizioni in cui i campioni sono stati prelevati (generalmente durante i periodi di magra, per rispettare le condizioni indicate nel precedente paragrafo 0). Risulta quindi più opportuno, prima di simulare il trasporto solido al passaggio di un onda di piena, studiare il comportamento del fiume per le basse portate. Nel presente studio si è scelto di determinare le portate medie mensili per i corsi d'acqua di interesse. Allo scopo sono stati consultati gli annali idrologici e le altre fonti di dati disponibili (in particolare il Piano di Tutela delle Acque), da cui sono state ricavate le portate medie mensili solo di alcuni bacini, quindi si è proceduto alla determinazione della portata indice, rapportata cioè all'area del bacino. Di seguito si mostrano i dati utilizzati ed i risultati ottenuti.

ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO 1934-42; 1949-58; 1962-63; 1976; 1978; 1986-92; 1994													
Q max (mc/s) .....	1100,00	314,26	161,00	647,00	101,00	51,85	16,20	6,71	6,48	64,20	1100,00	288,00	285,00
Q media (mc/s) .....	7,70	13,68	16,53	14,85	8,26	4,74	2,56	1,86	1,55	2,46	8,06	9,33	9,02
Q minima (mc/s) .....	0,05	1,03	2,04	1,48	1,25	0,50	0,18	0,10	0,05	0,05	0,15	0,35	0,61
Q media (l/s.kmq) .....	13,51	24,01	29,00	26,05	14,49	8,31	4,50	3,26	2,72	4,32	14,15	16,36	15,83
Deflusso (mm) .....	426,2	64,3	70,7	69,8	37,6	22,3	11,7	8,7	7,3	11,2	37,9	42,4	42,4
Afflusso (mm) .....	986,9	157,2	98,6	113,6	59,3	51,7	22,8	13,0	20,3	57,5	130,8	141,8	120,3
Coeff. di deflusso .....	0,43	0,41	0,72	0,61	0,63	0,43	0,51	0,67	0,36	0,19	0,29	0,30	0,35

Figura 3-4: estratto degli Annali idrologici per il Fiume Alcantara

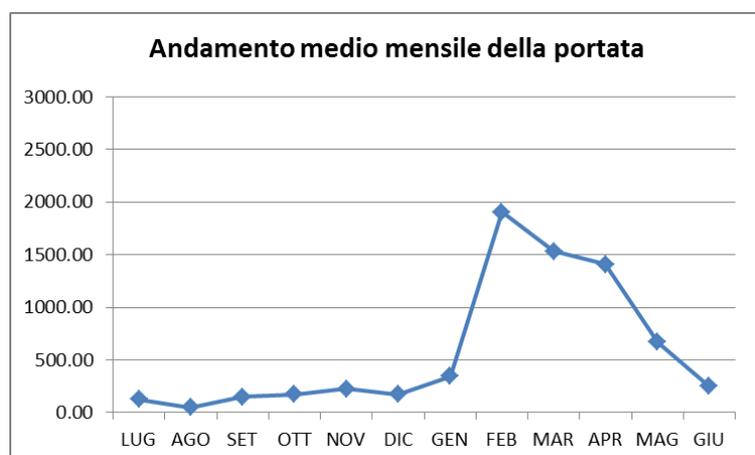


Figura 3-5: andamento della portate medie mensili per il Torrente Fiumedinisi

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

**Tabella 3.3-1: Portate medie mensili calcolate con il metodo della portata indice**

<b>Corso d'acqua</b>	<b>Area del Bacino (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Portata media mensile (m<sup>3</sup>/s)</b>
Minissale	82,20	1,15
Alcantara	550,00	7,70
Letojanni	21,10	0,30
Fondaco	6,50	0,09
Fiumara d'Agrò	78,60	1,10
Fiumedinisi	49,00	0,69
Ali	8,90	0,12
Itala	10,60	0,15

### **3.4 MODELLO DI CALCOLO IDRAULICO A FONDO MOBILE**

#### **3.4.1 HEC-RAS, modulo per il trasporto dei sedimenti**

##### 3.4.1.1 Cenni generali

HEC-RAS<sup>1</sup> è un noto codice di calcolo per il moto di correnti idriche in simulazione monodimensionale di una rete di canali naturali e/o artificiali, messo a punto dal Corpo degli Ingegneri dell'Esercito Americano. La versione 4.0.x del codice ha incluso la possibilità di svolgere analisi sul trasporto di sedimenti, basate sulla metodologia già in uso nel vecchio codice HEC-6<sup>2</sup> e disponibili anche nella versione 5.0.3 del settembre 2016 utilizzata nel presente studio.

<sup>1</sup> HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, US Army Corps of Engineers

<sup>2</sup> HEC-6 “Scour and deposition in Rivers and Reservoirs” (HEC 1991)



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**  
**RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO**

**STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE**  
**RELAZIONE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	00	D 09 RG	ID 00 02 001	C	50 di 72

**HEC-RAS 5.0.3**

File Edit Run View Options GIS Tools Help

Project: Fogliarino f:\...\00\_DatiDiBase\modelliHR\MODELLI Hec-Ras\A-Fogliarino\Fogliarino.prj  
 Plan: TrasportoSolido\_MPM-PO\_NoInflow f:\...\00\_DatiDiBase\modelliHR\MODELLI Hec-Ras\A-Fogliarino\Fogliarino.p07  
 Geometry: Post Operam f:\...\00\_DatiDiBase\modelliHR\MODELLI Hec-Ras\A-Fogliarino\Fogliarino.g01  
 Steady Flow:  
 Quasi Unsteady: media mensile f:\...\00\_DatiDiBase\modelliHR\MODELLI Hec-Ras\A-Fogliarino\Fogliarino.q01  
 Unsteady Flow:  
 Sediment: Sedimenti\_MPM-NoInflow f:\...\00\_DatiDiBase\modelliHR\MODELLI Hec-Ras\A-Fogliarino\Fogliarino.s02  
 Description : SI Units

**Sediment Data - Sedimenti\_MPM-NoInflow**

File Options View Help

Initial Conditions and Transport Parameters | Boundary Conditions | USDA-ARS Bank Stability and Toe Erosion Model (BSTEM) (Beta)

River: (All Rivers) Transport Function: Meyer Peter Muller Define/Edit Bed Gradation ...  
 Reach: Sorting Method: Thomas (Ex5) Define Layers ...  
 Number of mobile bed channels: 1 Fall Velocity Method: Toffaleti

River	Reach	RS	Invert	Max Depth	Min Elev	Left Sta	Right Sta	Bed Gradation
1	FOGLIARINO	Fogliarino	27	84.79	5	82.87	104.49	FOG01
2	FOGLIARINO	Fogliarino	26	81.54	5	85.01	108.46	FOG01
3	FOGLIARINO	Fogliarino	25	81.54	5	84.02	110.81	FOG01
4	FOGLIARINO	Fogliarino	24.5					
5	FOGLIARINO	Fogliarino	24	81.54	5	84.02	110.81	FOG01
6	FOGLIARINO	Fogliarino	23	74	5	74.96	121.63	FOG01
7	FOGLIARINO	Fogliarino	22	68.51	5	89.64	114.97	FOG01
8	FOGLIARINO	Fogliarino	21	66.48	5	66.24	90.01	FOG01
9	FOGLIARINO	Fogliarino	20	63.35	5	93.17	108.39	FOG01
10	FOGLIARINO	Fogliarino	19	61.66	5	91.46	105.64	sistemazione_d400
11	FOGLIARINO	Fogliarino	18	60.77	0	74.76	114.71	sistemazione_d400
12	FOGLIARINO	Fogliarino	17	58.63	0	79.67	112.1	sistemazione_d400
13	FOGLIARINO	Fogliarino	16.1	57.23	0	78.42	112.55	sistemazione_d400
14	FOGLIARINO	Fogliarino	16	57.19	0	83.34	116.94	sistemazione_d400
15	FOGLIARINO	Fogliarino	15.5					
16	FOGLIARINO	Fogliarino	15	57.02	0	85.55	114.15	sistemazione_d400
17	FOGLIARINO	Fogliarino	14	56.59	5	90.17	122.19	sistemazione_d400
18	FOGLIARINO	Fogliarino	13	55.82	5	86.49	115.88	sistemazione_d400
19	FOGLIARINO	Fogliarino	12	55.14	5	81.37	119.85	sistemazione_d400
20	FOGLIARINO	Fogliarino	11	52.44	5	95.57	115.27	Interpolated
21	FOGLIARINO	Fogliarino	10	49.5	5	91.8	108.84	Interpolated
22	FOGLIARINO	Fogliarino	9	46.39	5	98.92	121.59	FOG02
23	FOGLIARINO	Fogliarino	8	44.82	5	83.08	127.89	FOG02
24	FOGLIARINO	Fogliarino	7	44.09	5	83.08	127.89	FOG02
25	FOGLIARINO	Fogliarino	6.5					
26	FOGLIARINO	Fogliarino	6.1	44.09	5	93.88	123.71	FOG02

Profile Plot | Cross Section Plot

FOGLIARINO - Fogliarino

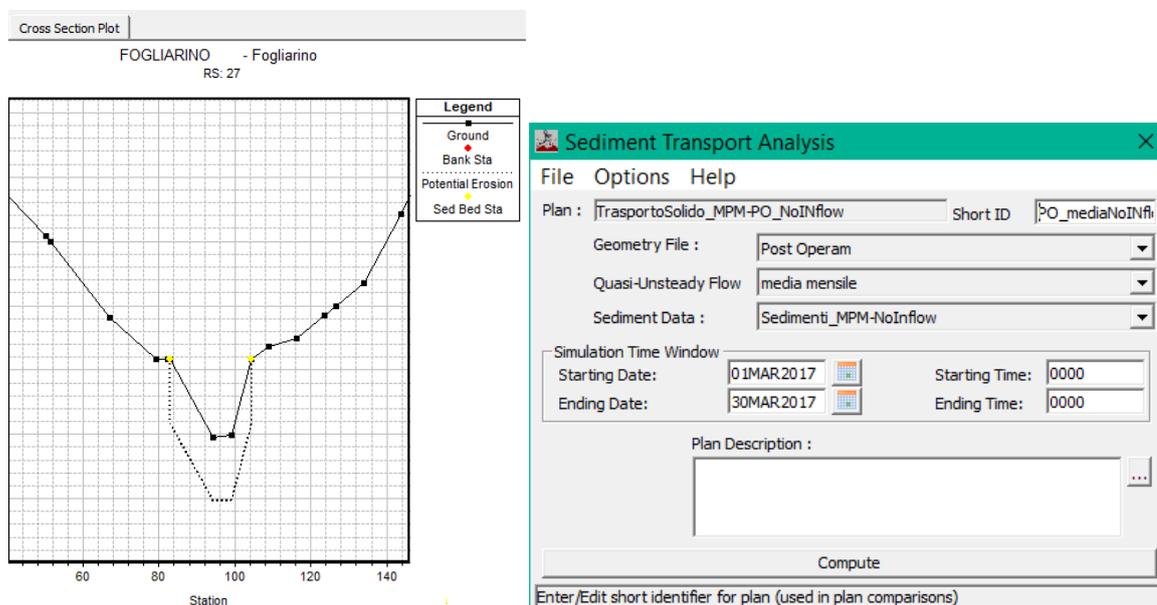
Elevation

Station

Legend

- Ground
- LOB
- ROB
- Left Levee
- Right Levee
- Potential Erosion

Use Banks for Extents | Interpolate Gradations



### 3.4.1.2 Funzionamento del programma

Il modulo per il trasporto dei sedimenti è stato creato per simulare e predire i cambiamenti nei profili dei fiumi derivanti dall'erosione e/o dalla deposizione.

L'idrogramma viene suddiviso in una serie di moti stazionari di portate e durate variabili. Per ogni passo è calcolato il profilo della superficie dell'acqua e da questo si ricava la pendenza piezometrica, la velocità, la profondità in ogni sezione. Da questi viene poi calcolato, per ogni sezione e per ogni classe granulometrica, il trasporto potenziale di sedimenti, che combinato con la durata della corrente, permette di ricavare il trasporto dei sedimenti associato ad ogni portata.

Il trasporto dei sedimenti è calcolato per ogni portata e per ogni classe granulometrica in questo modo:

- calcolo del trasporto potenziale per ogni classe granulometrica presente nel letto del fiume come se essa costituisse la totalità dei sedimenti presenti;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

- il trasporto potenziale così ottenuto, viene poi moltiplicato per la frazione di quella stessa classe realmente presente in quel passo temporale; in questo modo si determina la capacità di trasporto per questa granulometria.

Le percentuali delle diverse classi granulometriche presenti sul fondo, possono cambiare significativamente durante il passo temporale; quindi si utilizzano delle iterazioni per poter prendere in considerazione questi cambiamenti; il numero delle iterazioni all'interno del passo temporale può essere fissato dall'utilizzatore.

L'equazione di continuità dei sedimenti deve essere applicata su un volume di controllo, che va da metà della distanza fra la sezione a monte di quella attuale a metà della distanza da quella a valle. La larghezza di questo volume di controllo generalmente coincide con quella del letto mobile, e la sua profondità va dalla superficie libera fino al terreno non erodibile (strato di roccia).

Il programma utilizza come equazione di continuità quella di Exner:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + B_0 \frac{\partial Y_s}{\partial t} = 0 \quad 3.1$$

con  $Q_s$  portata media dei sedimenti (in  $m^3/s$ ) durante l'intervallo  $\Delta t$ .

Questa equazione può essere espressa in termini di differenze finite:

$$\frac{Q_{sd} - Q_{su}}{0.5(L_d - L_u)} + \frac{B_{0p}(Y'_{sp} - Y_{sp})}{\Delta t} = 0 \quad 3.2$$

con:

$B_{0p}$	larghezza del letto mobile al punto P;
$Q_{su}$	carichi di sedimenti alla sezione di monte;
$Q_{sd}$	carichi di sedimenti alla sezione di valle;
$L_u$	lunghezza del tratto di monte tra le sezioni;
$L_d$	lunghezza del tratto di valle tra le sezioni;
$Y_{sp}$	profondità dei sedimenti all'inizio dello step nel punto P;
$Y'_{sp}$	profondità dei sedimenti alla fine dello step nel punto P;
$\Delta t$	Passo temporale

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

Si rimanda al manuale ed alla documentazione di riferimento di HEC-RAS per una trattazione completa delle assunzioni teoriche circa il calcolo numerico del trasporto di sedimenti.

### 3.4.2 Schematizzazione idraulica adottata

#### 3.4.2.1 Geometria dei modelli

La geometria dei modelli di calcolo a fondo mobile è la stessa di quelli a fondo a fisso, che sono stati costruiti a partire dai rilievi topografici appositamente eseguiti per il Progetto in esame. Per ogni corso d'acqua interessato dagli attraversamenti ferroviari in progetto è stato implementato un modello idraulico monodimensionale, i cui dettagli sono riportati nell'elaborato RS2S01D78RIID0002001B Relazione idraulica opere maggiori. Ricordiamo che la geometria del modello di calcolo è costituita dalle sezioni trasversali, dalle opere eventualmente presenti e dalle caratteristiche idrauliche delle sezioni stesse. L'ubicazione delle sezioni di studio è riportata anche nelle tavole RS2S01D09G4ID0002002B, RS2S01D09G4ID0002005B, RS2S01D09G4ID0002006B, RS2S01D09G4ID0002007B e RS2S01D09G4ID0002008B.

#### 3.4.2.2 Scabrezza idraulica

I valori di scabrezza adottati per i vari corsi d'acqua sono riportati nella seguente tabella.

**Tabella 3.4-1: valori di scabrezza adottati per i corsi d'acqua di studio**

Corso d'acqua	golena sinistra	canale principale	golena destra
Minissale	0,090	0,070	0,090
Alcantara	0,045	0,045	0,045
Letojanni	0,070	0,040	0,070
Fondaco	0,065	0,030	0,065
D'Agrò	0,050	0,033	0,050

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

Corso d'acqua	golena sinistra	canale principale	golena destra
Fiumedinisi	0,045	0,033	0,045
Ali	0,070	0,040	0,070
Itala	0,070	0,040	0,070

### 3.4.2.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno nel modello a fondo mobile riguardano sia la componente acqua, sia quella sedimenti e sono sinteticamente descritte di seguito.

#### **Portate simulate**

Le portate simulate per la valutazione delle tendenze evolutive dell'alveo sono quelle medie mensili, ricavate come illustrato nel precedente paragrafo 3.3 e riportate nella seguente Tabella 3.4-2. Nel codice di calcolo il valore di portata costante della durata complessiva di *30 giorni (720 ore)* è stato suddiviso in *720* intervalli di durata pari a *24 ore* ognuno, suddivisi a loro volta in incrementi computazionali di durata pari a *1 ora*.

**Tabella 3.4-2: valori di portata media mensile simulati**

Corso d'acqua	Portata media mensile (m <sup>3</sup> /s)
Minissale	1,15
Alcantara	7,70
Letojanni	0,30
Fondaco	0,09
Fiumara d'Agrò	1,10
Fiumedinisi	0,69
Ali	0,12
Itala	0,15

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
<b>STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE</b>	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C	FOGLIO 55 di 72

### **Livello idrico di valle**

Il livello idrico di valle deve essere assegnato per ogni intervallo temporale con cui viene discretizzato l'idrogramma di calcolo e può essere calcolato dal programma assegnando la scala di deflusso della sezione di valle. Nel caso di portata costante per tutta la durata della simulazione, è sufficiente fornire un unico valore di livello idrico, che è stato valutato a partire dai risultati dei modelli a fondo fisso.

### **Carico solido entrante**

La condizione al contorno relativa ai sedimenti riguarda l'apporto di materiale solido al tratto di studio. Nel caso in esame, in base alle informazioni ricavate dalla caratterizzazione geomorfologica dei bacini, è stato possibile valutare in via preliminare se il carico entrante da monte nel modello di calcolo è significativo ai fini delle valutazioni sulla tendenza evolutiva. Se la sezione di monte del modello è sufficientemente lontana dal tratto di interesse<sup>3</sup>, si può anche assumere un carico entrante nullo, in modo che siano proprio le prime sezioni di monte a costituire un serbatoio di sedimenti per il modello a fondo mobile. Qualora, però, ci si trovi in condizioni di forte apporto solido dai versanti (in caso di fenomeni franosi attivi, ad esempio), è necessario stimare tale apporto ed introdurlo come condizione al contorno. In alternativa, è anche possibile estrarre dai risultati del codice di calcolo il carico solido uscente dalla sezione di valle e inserirlo come carico entrante in una successiva simulazione. Questa procedura richiede di simulare più valori di portata.

Il codice di calcolo è anche in grado di determinare automaticamente il carico di equilibrio, che corrisponde alla capacità di trasporto per quella sezione in ogni passo temporale e per ogni classe granulometrica.

In via cautelativa è stata adottata, per i casi in esame, la condizione di carico di equilibrio, tranne che per il Vallone Minissale, il Torrente Ali ed il Torrente Itala, per i quali l'analisi di

---

<sup>3</sup> La valutazione della tendenza evolutiva riguarda principalmente, in questa sede, il tratto interessato dall'attraversamento in progetto.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

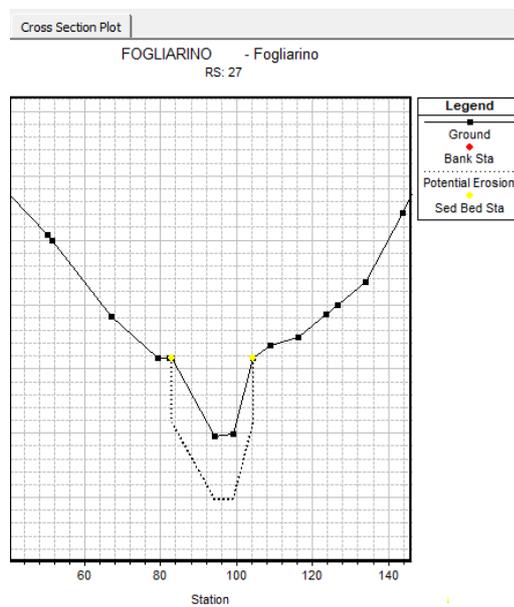
caratterizzazione geomorfologica ha portato a valutare non significativo l'apporto di sedimenti da monte.

#### 3.4.2.4 Limiti del fondo erodibile

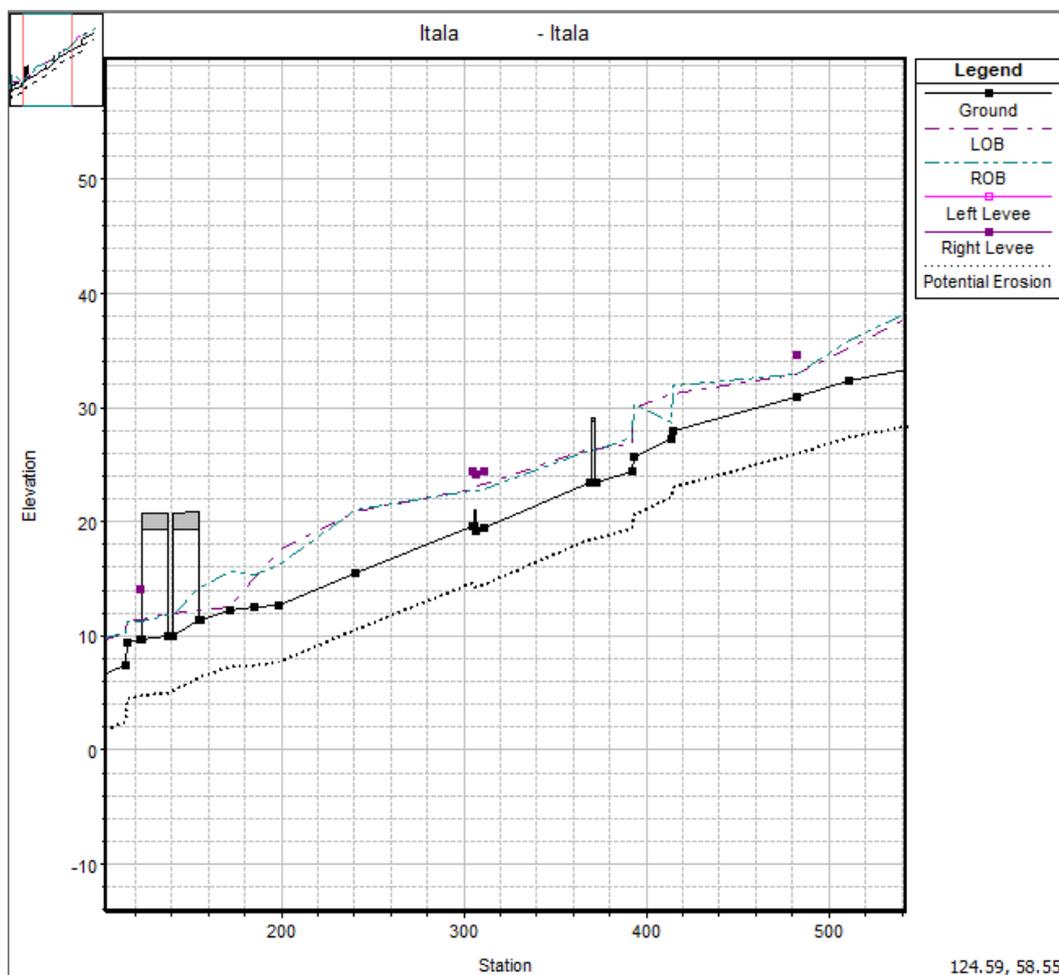
La caratteristica principale del modello a fondo mobile è proprio rappresentata dai limiti della porzione erodibile delle sezioni. È possibile indicare le coordinate dei nodi di ogni sezione che possono essere alzati o abbassati in funzione dell'erosione o della deposizione calcolata, nonché la massima profondità di erosione.

Nei casi in esame sono state individuate in via preliminare le seguenti condizioni:

- limiti del fondo mobile in ogni sezione coincidenti con i limiti del canale principale;
- massima profondità di erosione pari a 5 m.



**Figura 3-6: esempio dell'inserimento dei limiti del fondo mobile coincidenti con i limiti del canale principale**



**Figura 3-7: esempio dell'inserimento della massima profondità erodibile**

#### 3.4.2.5 Caratteristiche del cambiamento del fondo alveo

La morfologia dei corsi d'acqua in esame può essere tale da giustificare una mobilità del fondo alveo uniforme lungo la verticale, il che corrisponde all'opzione di default del codice di calcolo che non prevede erosione né deposizione al di fuori dei limiti del fondo mobile. Tuttavia è possibile selezionare l'opzione corrispondente alla *deposizione al di fuori del fondo mobile*, qualora siano da attendersi livelli idrici superiori alla quota dei limiti del fondo erodibile.

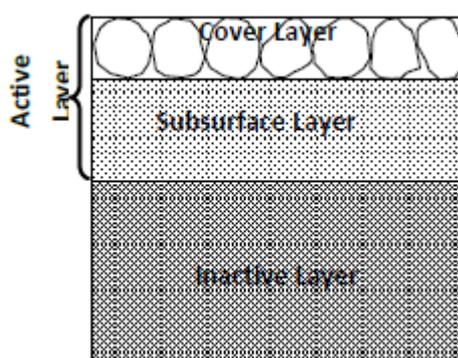
	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b>					
	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS2S	00	D 09 RG	ID 00 02 001	C	58 di 72

### 3.4.2.6 Formula di trasporto solido

La scelta della formula di trasporto solido da adottare per i casi in esame, condotta secondo quanto indicato nel precedente paragrafo 3.1.4, ha portato ad individuare quella di Meyer-Peter e Muller come la più adatta in base alle granulometrie rilevate.

### 3.4.2.7 Caratterizzazione del mescolamento del fondo alveo

Le formule di trasporto solido calcolano il trasporto potenziale senza considerare la reale disponibilità di materiale solido movimentabile, la quale dipende dalle caratteristiche granulometriche che influenzano il fenomeno del rimescolamento del fondo con conseguente possibile corazzamento dello stesso (*armoring*). Il codice di calcolo consente quindi di selezionare l'opzione più adatta per rappresentare questo fenomeno e nei casi in esame è stata adottata in prima approssimazione quella di default, che corrisponde al cosiddetto metodo "Exner 5" in cui si considera un modello di fondo alveo a tre strati in cui si forma uno strato corazzato che limita lo scambio di materiale dagli altri due strati.



**Figura 3-8: schema del metodo di mescolamento del fondo alveo**

### 3.4.2.8 Granulometria del fondo alveo

La granulometria dei sedimenti di cui è costituito il fondo alveo viene rappresentata con la curva granulometrica dei campioni prelevati secondo i criteri riportati nel precedente

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

paragrafo 2.4.2. Poiché nel codice di calcolo è possibile associare una sola curva granulometrica per ogni sezione, la scelta del punto di prelievo è di fondamentale importanza affinché esso sia rappresentativo dell'intera variabilità granulometrica osservata, tenendo anche conto che lo studio condotto in questa sede volge l'attenzione ai fenomeni di medio periodo, quindi i campioni devono essere rappresentativi di ciò che si può mobilitare durante tali eventi.

L'ubicazione dei punti di prelievo è riportata nelle Tavole RS2S01D09G4ID0002002B, RS2S01D09G4ID0002005B, RS2S01D09G4ID0002006B, RS2S01D09G4ID0002007B e RS2S01D09G4ID0002008B e le relative curve granulometriche sono state associate alle corrispondenti sezioni; il codice di calcolo determina poi un andamento lineare della granulometria tra una sezione e l'altra.

### **3.5 MODALITÀ EVOLUTIVE DELL'ALVEO**

#### **3.5.1 Tendenza all'erosione e alla deposizione**

Le modalità evolutive dell'alveo, per i corsi d'acqua in esame in questa sede, vengono sinteticamente valutate in base alla possibile tendenza all'erosione o alla deposizione, stimata a sua volta mediante l'applicazione dei modelli idraulici a fondo mobile implementati per i corsi d'acqua in esame in questa sede.

I risultati delle simulazioni, condotte come descritto nel precedente paragrafo 3.4, sono riportati nelle figure seguenti, che rappresentano il profilo del fondo alveo al termine del periodo di simulazione (*30 giorni* a portata costante, pari alla portata media mensile caratteristica di ciascun corso d'acqua), in confronto con il profilo di fondo alveo ad inizio simulazione. La seguente Tabella 3.5-1 riporta in sintesi le condizioni di simulazione ed i risultati ottenuti in termini di tendenza all'erosione o alla deposizione.

**Tabella 3.5-1: Stima della tendenza evolutiva**

<b>Corso d'acqua</b>	<b>Portata media mensile (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Apporto di sedimenti</b>	<b>Tendenza evolutiva</b>
Minissale	1,15	Carico entrante nullo	deposizione
Alcantara	7,70	Carico di equilibrio	stabile
Letojanni	0,30	Carico di equilibrio	erosione
Fondaco	0,09	Carico di equilibrio	erosione
Fiumara d'Agrò	1,10	Carico di equilibrio	stabile
Fiumedinisi	0,69	Carico di equilibrio	deposizione
Ali	0,12	Carico entrante nullo	stabile
Itala	0,15	Carico entrante nullo	deposizione

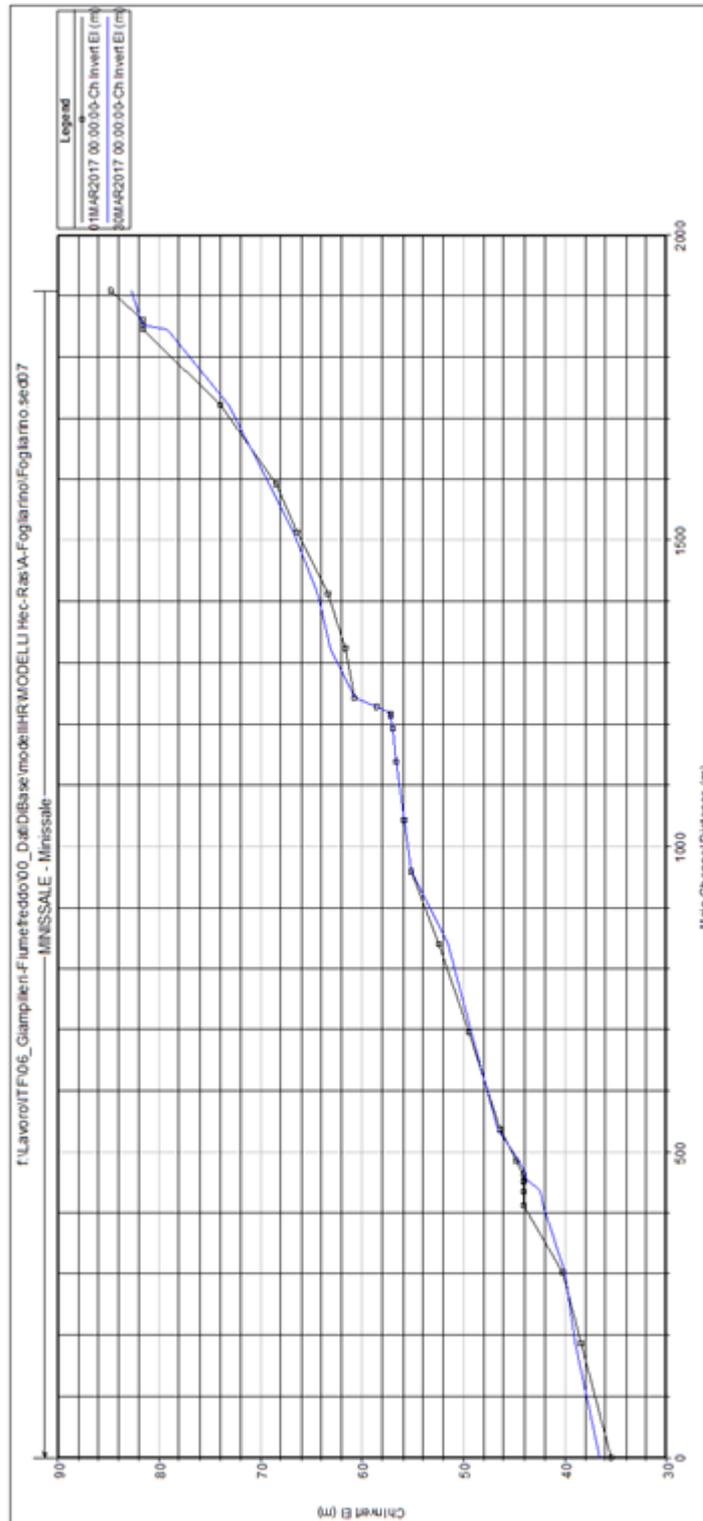


Figura 3-9: Torrente Minissale – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione)

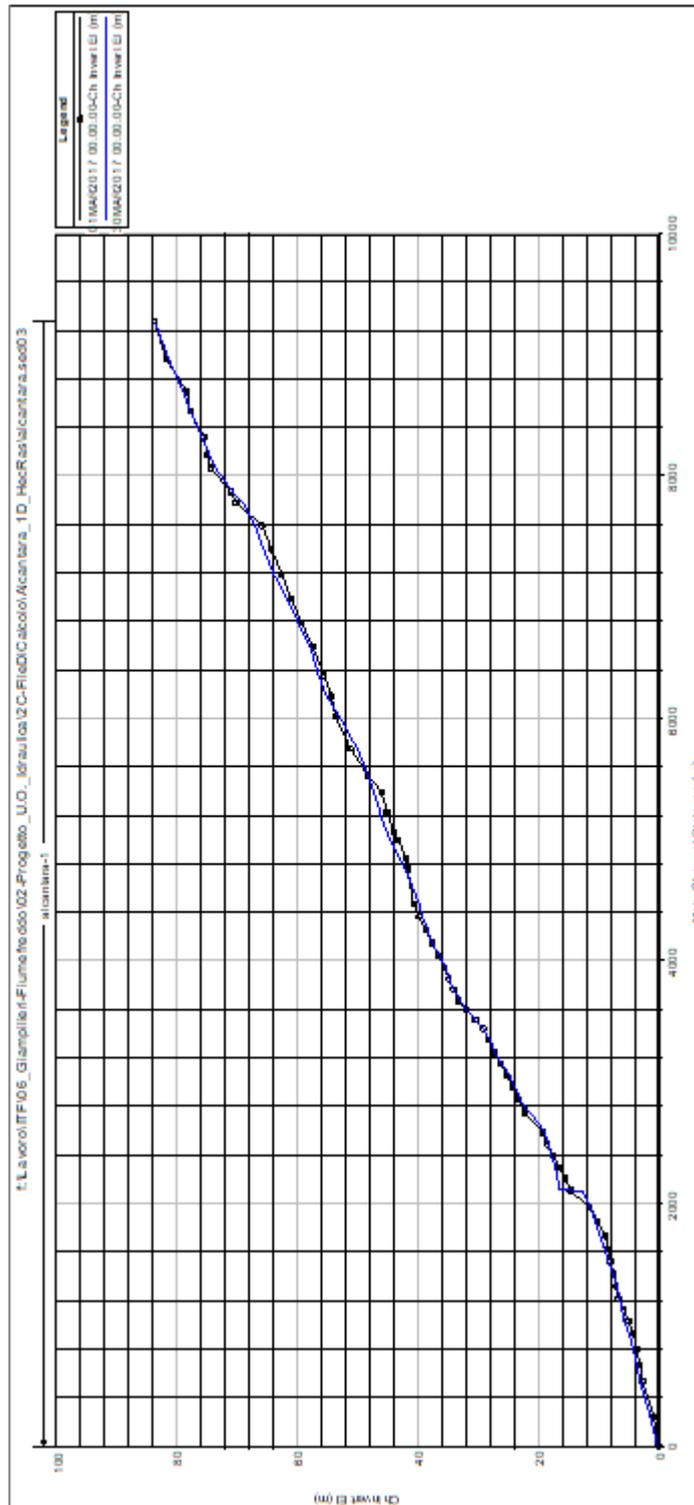


Figura 3-10: Fiume Alcantara – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione)



Figura 3-11: Torrente Letojanni – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione)

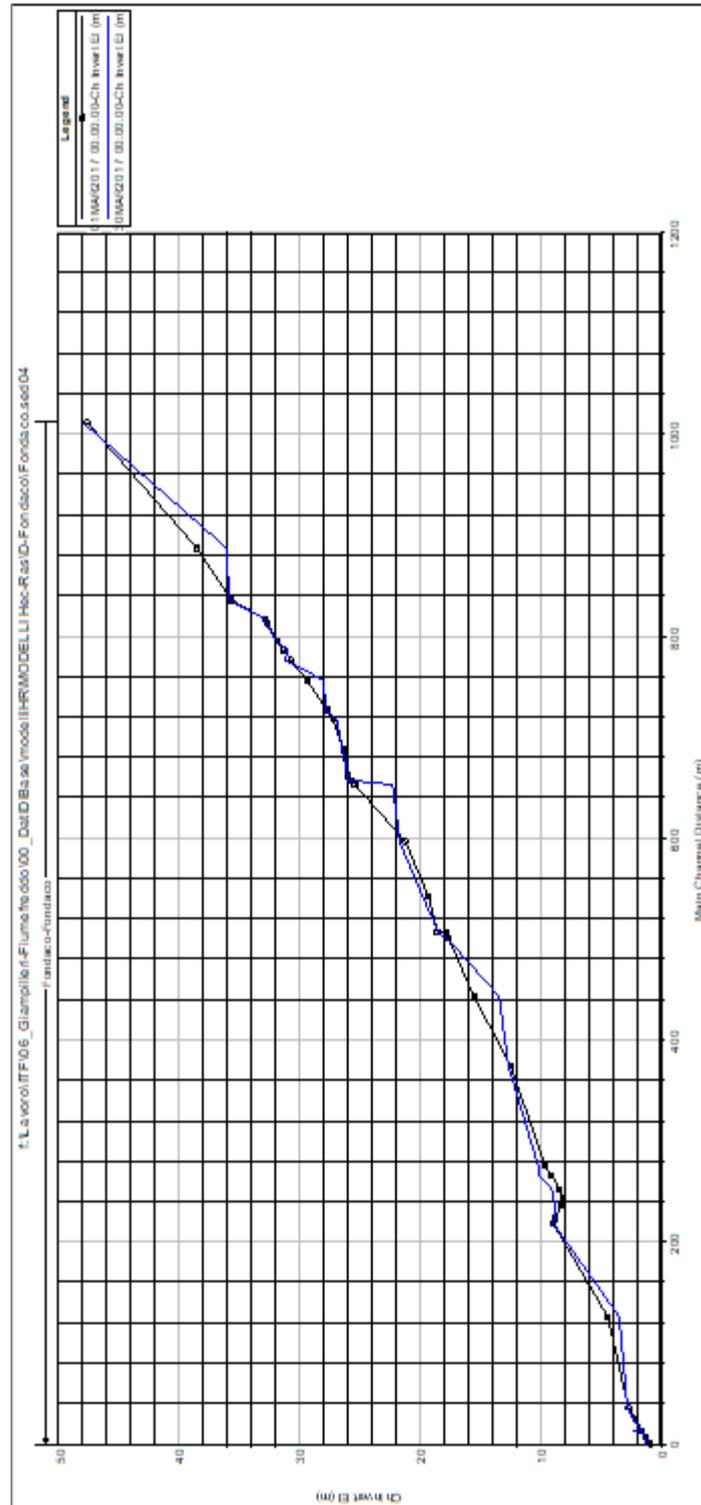


Figura 3-12: Torrente Fondaco – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione)

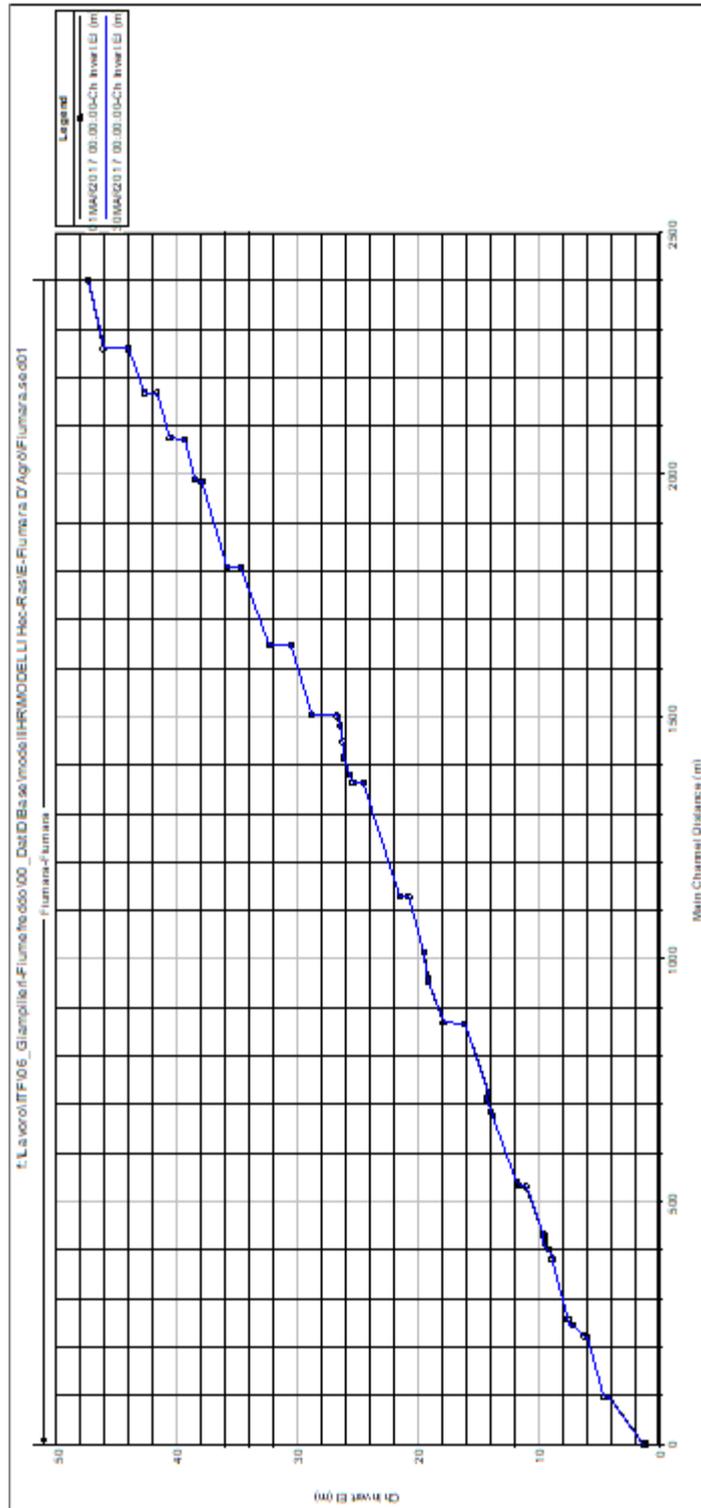


Figura 3-13: Fiumara D'Agro – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione)

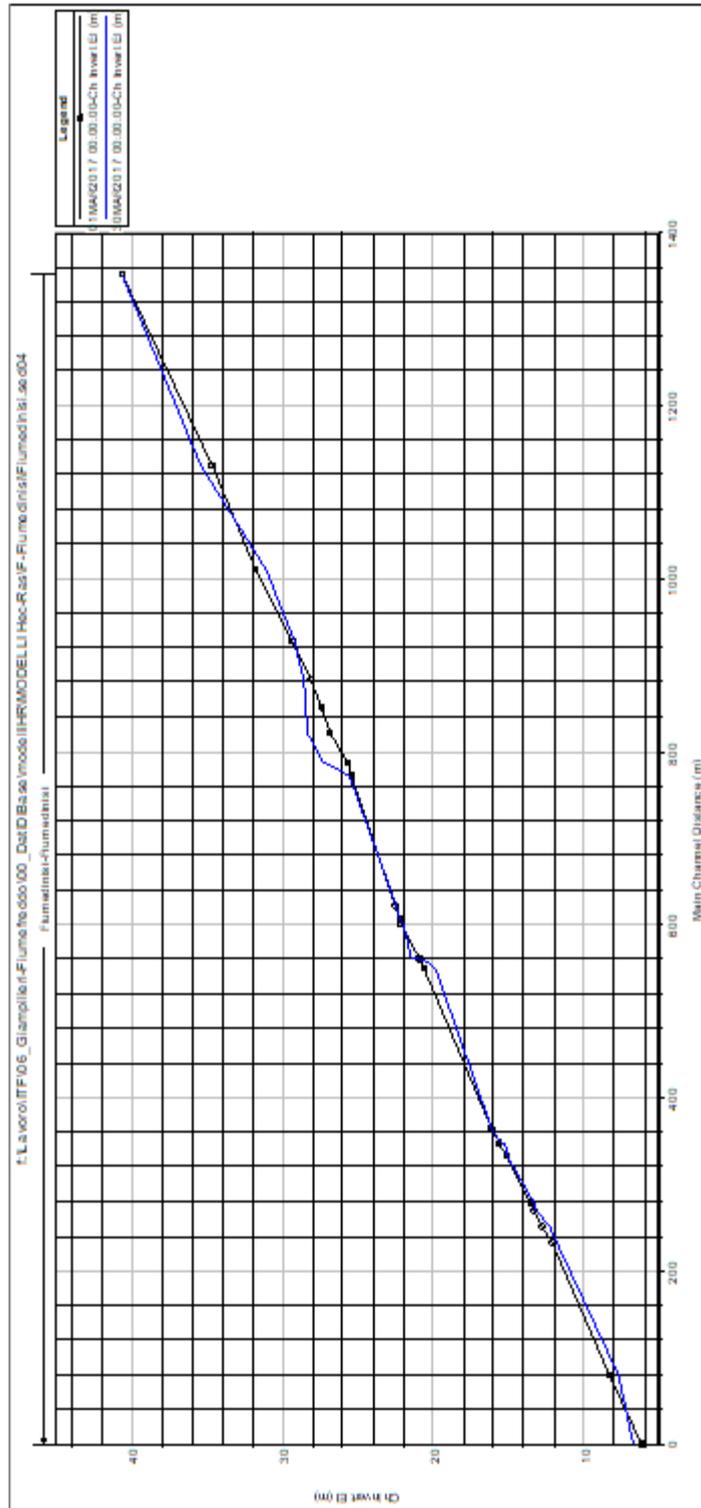


Figura 3-14: Torrente Fiumedinisi – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione)

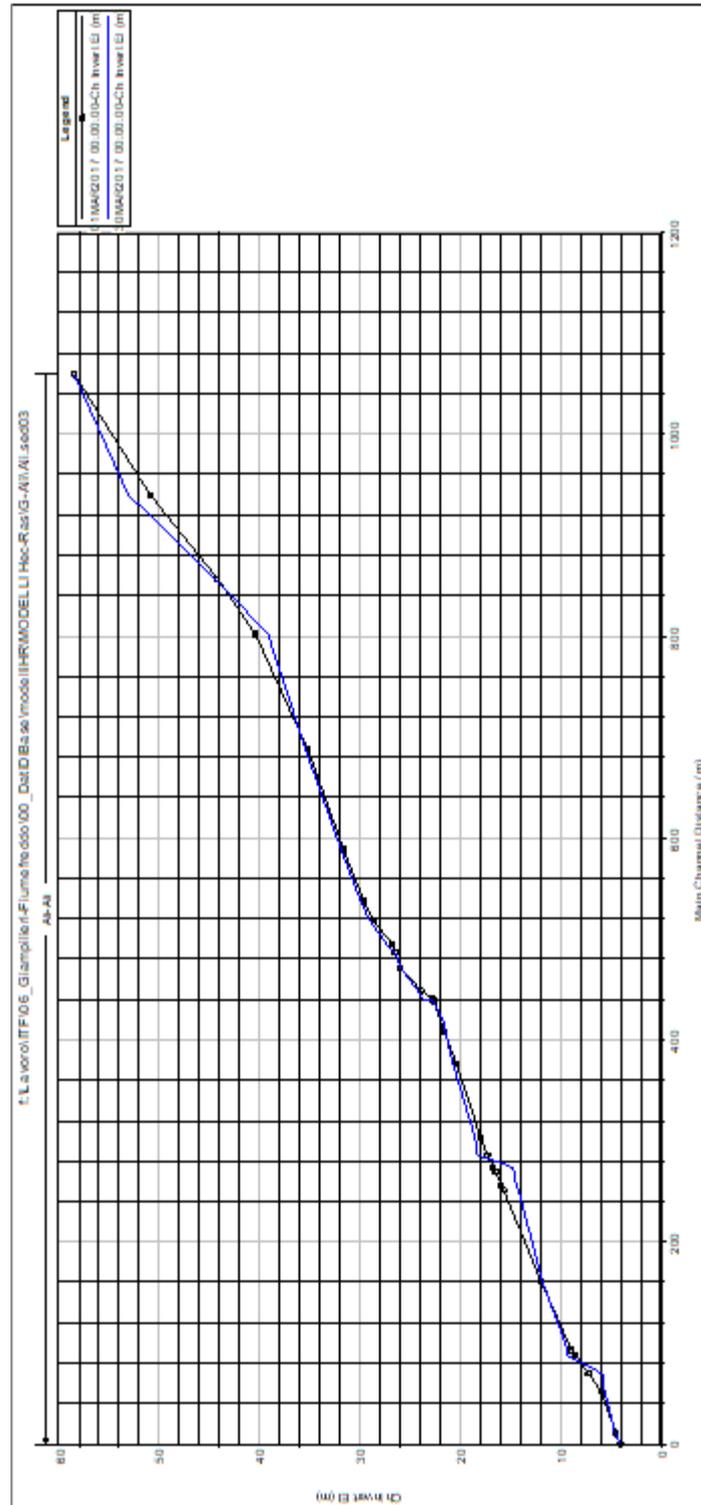


Figura 3-15: Torrente Ali – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione)

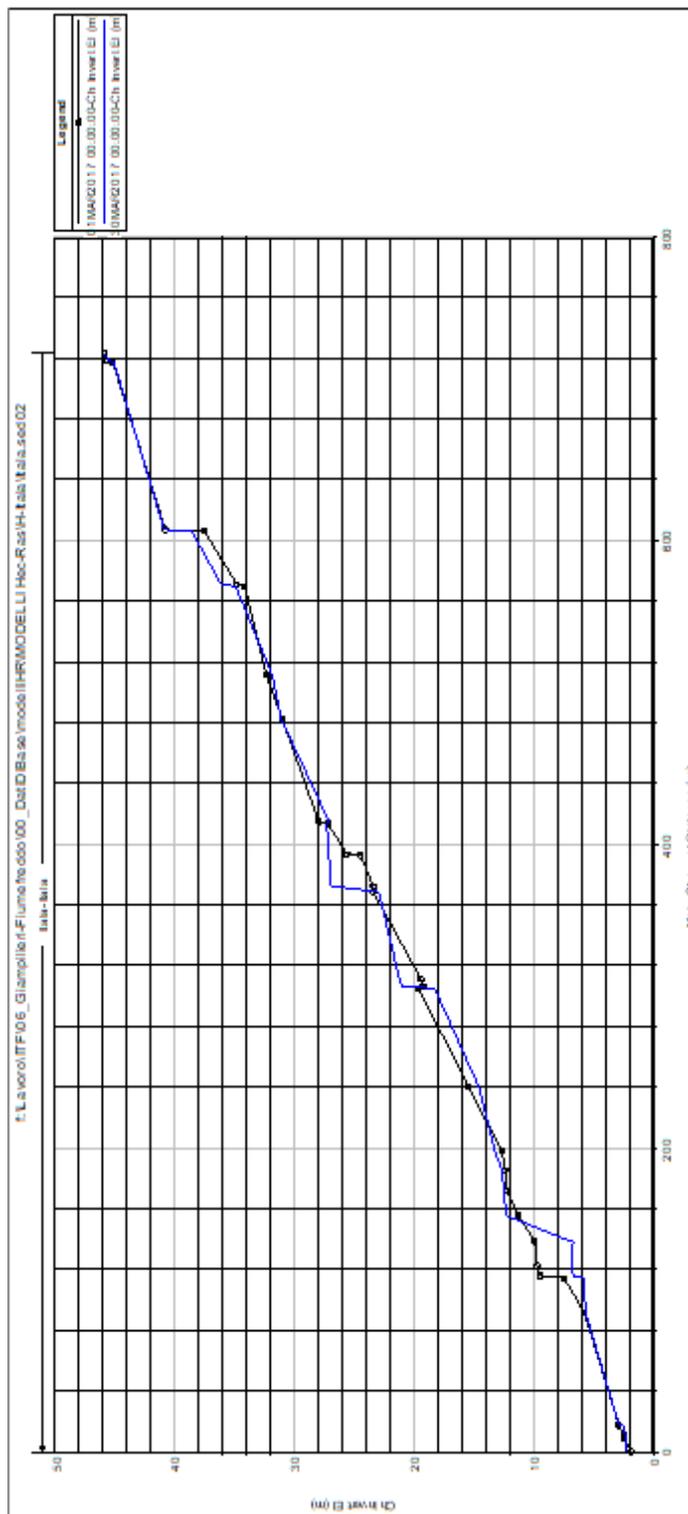


Figura 3-16: Torrente Itala – profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione)

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

#### 4 ANALISI DEL RAPPORTO CON L'OPERA IN PROGETTO

La valutazione della tendenza all'erosione o alla deposizione, oppure la condizione di stabilità dell'alveo, consente di analizzare il rapporto delle opere di attraversamento in progetto con le dinamiche fluviali studiate in questa sede.

Le simulazioni di calcolo idraulico a fondo mobile hanno consentito di simulare anche gli interventi di sistemazione idraulica connessi alle opere in progetto, rendendo possibile il confronto con la condizione ante operam, fornendo di conseguenza un'utilissima indicazione per verificare che le modalità evolutive dei corsi d'acqua di interesse non interferiscano con la sicurezza dell'opera e, al contempo, che gli interventi in progetto non alterino significativamente tali modalità, in modo da non causare problemi al territorio connessi con le dinamiche morfologiche.

L'insieme della valutazioni effettuate sulla dinamica morfologica dei corsi d'acqua (IDM) e le applicazioni modellistiche (HecRas) hanno quindi avuto come obiettivo principale quello di fornire una prima indicazione sul livello di attenzione che si dovrebbe applicare ai fini della manutenzione delle opere di attraversamento in progetto.

Incrociando i dati relativi all'Indice di Dinamica Morfologica con i risultati sulla tendenza evolutiva del corso d'acqua ricavata dalle applicazioni modellistiche è possibile definire **un probabile Livello di Attenzione per manutenzione programmata (LAm)**, così come riportato in Tabella 3.5-1.

Ad ogni valore di LAm è possibile associare una indicazione di "frequenza suggerita" per ispezioni manutentive (Tabella 3.5-2), finalizzate a:

- verifica del mantenimento della luce libera di progetto
- contestuale esame del bilancio di sedimenti, con gestione da concordare con gli Enti preposti (Regione, ARPA, Provincia, Comune e Genio Civile).

La frequenza suggerita per le ispezioni manutentive è basata sulla stagionalità delle portate simulate e sulla periodicità del ciclo idrologico da cui sono stati ricavati i valori medi mensili.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

La sintesi di queste valutazioni è riportata negli elaborati che costituiscono la “Carta di sintesi dello studio geomorfologico” del presente progetto (1 Lotto e 2 Lotto).

**Tabella 3.5-1 – Valori dell'indice LAm = Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata**

IDM	Tendenza evolutiva (risultati modellazione HecRas)		
	<i>stabilità</i>	<i>erosione</i>	<i>deposizione</i>
<i>bassa</i>	LAm basso	LAm basso	LAm medio
<i>media</i>	LAm basso	LAm medio	LAm alto
<i>alta</i>	LAm medio	LAm alto	LAm alto

**Tabella 3.5-2 – Valori dell'indice LAm = Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata**

	<i>frequenza suggerita per le ispezioni manutentive</i>
LAm basso	ogni 2-3 anni
LAm medio	ogni 1,5-2 anni
LAm alto	ogni 6-9 mesi

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

**Tabella 3.5-3: Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata per i corsi d'acqua in esame**

Corso d'acqua	Portata media mensile (m <sup>3</sup> /s)	Apporto di sedimenti	Tendenza evolutiva	Indice di Dinamica Morfologica IDM	Livello di attenzione per manutenzione LAm
Minissale	1,15	Carico entrante nullo	deposizione	media	alto
Alcantara	7,70	Carico di equilibrio	stabile	elevata	medio
Letojanni	0,30	Carico di equilibrio	erosione	media	medio
Fondaco	0,09	Carico di equilibrio	erosione	elevata	alto
Fiumara d'Agrò	1,10	Carico di equilibrio	stabile	media	basso
Fiumedinisi	0,69	Carico di equilibrio	deposizione	elevata	alto
Ali	0,12	Carico entrante nullo	stabile	media	basso
Itala	0,15	Carico entrante nullo	deposizione	media	alto

Sulla base delle risultanze del presente studio, tutte le opere di attraversamento analizzate sono risultate idraulicamente verificate; in particolare, per i corsi d'acqua soggetti ad erosione, sono state dimensionate opportune opere di sistemazione idraulica per contrastare l'erosione, mentre per quelli soggetti a deposizione è stata verificata l'officiosità idraulica dell'opera, in relazione al rispetto dei franchi idraulici come da normativa vigente.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO</b>					
	STUDIO DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE RELAZIONE	COMMESSA RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. C

## 5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Armanini A. – *Sistemazione dei bacini idrografici*, Università degli Studi di Trento

Armanini A. – *Principi di Idraulica fluviale*, ed. BIOS

Branca S., Coltelli M., Groppelli G. & Pasquarè G. (2009) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 625 Acireale*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Brunner, Gary W. (2016), HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual

Brunner, Gary W. (2016), HEC-RAS, River Analysis System User's Manual

Carbone S., Messina A. & Lentini F. (2007) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 601 Messina–Reggio Calabria*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Castiglioni G. B. – *Geomorfologia*, ed. UTET

Catalano S. (2009) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 613 Taormina*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Catalano S., De Guidi G. (2003) – *Late Quaternary uplift of northeastern Sicily: relation with the active normal faulting deformation*. Journal of Geodynamics, **36**, 445-467.

Garde R. J. – Ranga Raju K. G. – *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*, ed. WILEY EASTERN LTD

Graf W. H. – *Fluvial Hydraulics* – LRH Lausanne

Graf W. H. – *Hydraulics of Sediment Transport*, ed. MCGRAW-HILL

HEC– *River Hydraulics*, USACE

HEC – *Sediment Transport Mechanics*, USACE

Regione Sicilia (2005) – *Piano stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana* Assessorato Territorio e Ambiente, Dipartimento Territorio e Ambiente.

Ricci Lucchi F. – *Sedimentologia*, ed. CLUEB

Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussettini M. (2016): IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – ISPRA – Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma

Ferrara V. (1993) – *Modificazioni indotte dallo sfruttamento delle acque sotterranee nell'equilibrio idrodinamico e idrochimico dell'acquifero vulcanico dell'Etna*. Memorie della Società Geologica Italiana, **47**, 619-630.

Marchi E. – Rubatta A. – *Meccanica dei fluidi*, ed. UTET

Moisello U. – *Idrologia tecnica*, ed. LA GOLIARDICA PAVESE

Varnes D.J. (1978) – *Slope movement types and processes*. Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington.