



Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
 Sede Compartimentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

DG 24/03

AUTOSTRADA SALERNO-REGGIO CALABRIA

LAVORI DI AMMODERNAMENTO ED
 ADEGUAMENTO AL TIPO 1A DELLE NORME CNR/80
 DAL KM 393+500 (SVINCOLO DI GIOIA TAURO ESCLUSO)
 AL KM 423+300 (SVINCOLO DI SCILLA ESCLUSO)
 CODICE UNICO PROGETTO: F41B04000090001



Salerno-Reggio Calabria
 societa' consortile per azioni

SA-RC S.c.p.A.
 Project Manager
 Ing. Fabrizio Bitonti

PROGETTO COSTRUTTIVO

0	140717	PRIMA EMISSIONE	L. RAGONA	G. CERCHIARO	E. CECERE
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

TITOLO ELABORATO:

**INTERVENTI DI RIPRISTINO AMBIENTALE
 AREA COSTAVIOLA
 RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA**



LO411E PC XX HYP A06 AM00 000 AMB RE102 0

SCALA: -

I PROGETTISTI: R.T.P.

PROGETTISTA:
 Arch. Eduardo Bruno

IL GEOLOGO:
 Geol. Giuseppe Cerchiaro

RESPONSABILE INTEGRAZIONI
 PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
 Ing. Enrico Cecere



Gruppo di Progettazione

- Geol. A. Grispino - Geologia e Idrogeologia
- Geol. M. Iannini - Geomeccanica
- Ing. G. Civitate - Geotecnica
- Ing. A. Manna - Strutture
- Arch. I. Tedesco - Paesaggio
- Ing. V. Scalzi - Idrologia e idraulica
- Ing. D. De Bartolo - Aspetti ambientali
- Geol. C. Leonetti - Gestione T&RS e demolizioni

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Dott. Ing. Carlo Muscatello

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
 Ing. Carlo MUSCATELLO



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartimentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

Indice

1	PREMESSA.....	3
1.1	Vincoli Normativi.....	5
2	CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO	7
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL BACINO DI STUDIO	9
4	STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI	11
4.1	Analisi regionale delle piogge in Calabria.....	11
4.2	Curve di possibilita' climatica.....	14
4.3	Il modello razionale	14
4.4	Il tempo di ritardo.....	15
4.5	La legge di probabilita' pluviometrica	16
5	VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA	20
5.1.1	Valutazione del fattore regionale di crescita.....	20
5.2	Fosso Favagrega II.....	20
5.2.1	Valutazione della piena media annua	20
5.2.2	Valutazione della portata di piena con T = 200 anni	21
6	MODELLAZIONE IDRAULICA	22
6.1	Scabrezza di Manning.....	22
6.2	Condizioni al contorno e condizioni iniziali	23
6.3	Profili di moto permanente	23
6.4	Sezione di calcolo e profilo longitudinale	23
6.5	Risultati delle simulazioni in moto permanente	23
6.5.1	Fosso Favagrega II.....	25
7	TRASPORTO SOLIDO	29
7.1	Teoria del trasporto solido.....	29
7.1.1	Profili di velocita' - Leggi di resistenza.....	29
7.2	Schemi concettuali di trasporto-incipiente movimento	34
7.2.1	Analisi dimensionale.....	45
7.3	Simulazione del trasporto.....	53
8	VERIFICHE FOSSI DI GUARDIA.....	53

Il contraente:

Il progettista:

1



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

9	CONCLUSIONI.....	55
---	------------------	----

Il contraente:

Il progettista:

2



Salerno-Reggio Calabria
società consortile per azioni

HYpro



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P. IVA 02133661003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

1 PREMESSA

La presente relazione riporta i risultati dello Studio di idrologico ed idraulico redatto nell'ambito del Progetto Costruttivo per l'esecuzione degli interventi integrativi di ripristino ambientale a seguito delle attività di demolizione eseguite prevalentemente sul viadotto Costaviola, nell'ambito dei lavori di "Adeguamento al tipo 1° delle norme CNR/80 del tratto dell'Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria tra Gioia Tauro e Scilla, tra il km 393+500 e il km 423+300 (Macrolotto 5).

Oggetto della seguente relazione è lo studio idrologico e idraulico finalizzato alla valutazione delle portate defluenti e al dimensionamento delle opere necessarie alla sistemazione del tratto terminale dei due impluvi ricadenti all'interno delle aree interessate dagli interventi in oggetto.

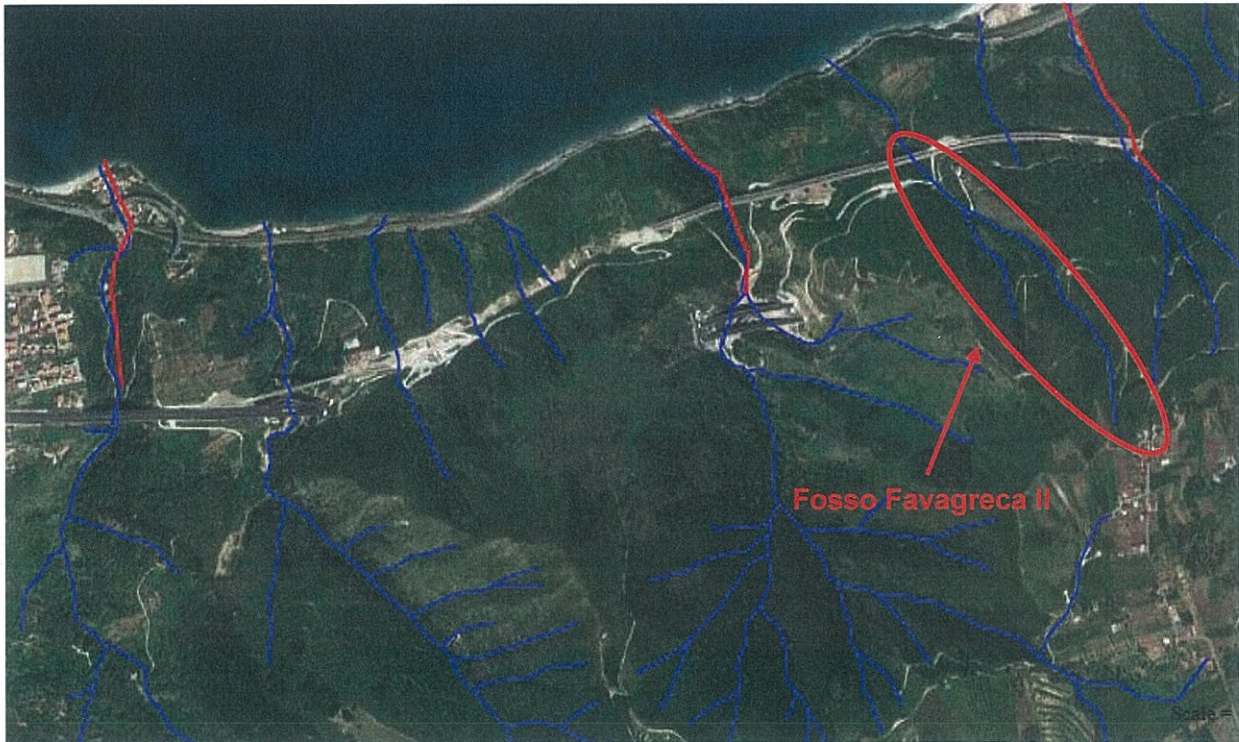


Figura 1: Inquadramento dell'area di intervento su "Carta delle aree soggette a rischio idraulico" redatta dall'AdB.

Le aree interessate dall'intervento, ubicate nella Regione Calabria, non sono soggette né a vincolo per pericolosità idraulica, né a vincolo per pericolosità geomorfologica, come si è potuto desumere dalla cartografia del Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), approvato dall'Autorità di Bacino della Regione Calabria (AdB) (cfr figure seguenti).



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.259.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P. IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartimentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica



Figura 2: Inquadramento dell'area di intervento su "Carta delle aree soggette a rischio frane" redatta dall'AdB.

Pertanto, è stato effettuato uno studio idraulico, previa determinazione delle portate a mezzo di uno studio idrologico, finalizzato alla determinazione dei profili in moto permanente dell'alveo interessato, con un tempo di ritorno pari a 200 anni, valore di riferimento per la progettazione di opere che interagiscono con la rete idrica, secondo le indicazioni contenute al paragrafo 2.5 delle **"Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d'acqua, sugli interventi di manutenzione, sulle procedure per la classificazione delle aree d'attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio inondazione"**.

Gli interventi di sistemazione idraulica previsti riguardano il tratto terminale dell'impluvio indicato nelle immagini precedenti e cartografato dall'Autorità di Bacino della Regione Calabria (reticolo idrografico - Area Programma 11) ricadente all'interno del bacino idrografico Fosso Favagrega I.

L'analisi è stata sviluppata per entrambi i bacini idrografici, secondo i criteri e le metodologie sviluppati nel "Rapporto VAPI - Valutazione delle Piene" della regione Calabria.

Lo studio idrologico-idraulico è stato organizzato secondo i seguenti punti:

- *analisi e descrizione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico relativi all'area interessata dalle opere di adeguamento della sezione stradale;*
- *studio idrologico del bacino di interesse, previa caratterizzazione del regime climatico dell'area;*



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Mazzini 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartmentale: Contrada Liguri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

- *studio idraulico dell'asta fluviale di interesse e determinazione dei livelli idrici e delle aree inondabili al variare del tempo di ritorno;*
- *analisi e verifica dell'efficienza del torrente Gazziano in adiacenza all'opera in oggetto;*
- *Verifica del trasporto solido in alveo e dell'erosione sulle difese spondali del torrente Gazziano al fine di progettare gli interventi di ripristino;*

Per lo studio delle portate di piena sono state utilizzate le indicazioni fornite dal VAPI della Calabria e per la simulazione delle piene è stato utilizzato un software che opera in moto permanente (HEC-RAS 5.0.3).

1.1 Vincoli Normativi

Al fine della salvaguardia dei corsi d'acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, il PAI individua i reticoli idrografici in tutto il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Calabria, nonché l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali.

Il Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico, redatto ai sensi dell'art.65 del D.Lgs 152/2006 (il D.Lgs 152/2006 abroga e sostituisce il precedente riferimento di legge costituito dalla L.183/89 e s.m.i.), ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idraulico e idrogeologico del territorio compreso nell'Autorità di Bacino della Basilicata.

Il PAI persegue le finalità dell'art.65 c.3 lett.a), b), c), d), f), n), s) del D.Lgs.152/2006. Nello specifico individua e perimetra le aree a rischio idraulico e idrogeologico per l'incolumità delle persone, per i danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, per l'interruzione di funzionalità delle strutture socio-economiche e per i danni al patrimonio ambientale e culturale, nonché gli interventi prioritari da realizzare e le norme di attuazione relative alle suddette aree.

Inoltre, il Piano ha l'obiettivo di promuovere gli interventi di manutenzione del suolo e delle opere di difesa, quali elementi essenziali per assicurare il progressivo miglioramento delle condizioni di sicurezza e della qualità ambientale del territorio, nonché di promuovere le azioni e gli interventi necessari a favorire:

- le migliori condizioni idrauliche e ambientali del reticolo idrografico, eliminando gli ostacoli al deflusso delle piene in alveo e nelle aree golenali;
- le buone condizioni idrogeologiche e ambientali dei versanti;
- la piena funzionalità delle opere di difesa essenziali alla sicurezza idraulica e idrogeologica.

Inoltre, il PAI definisce:

- prioritariamente la pianificazione delle fasce fluviali del reticolo idrografico principale e una volta conclusa tale attività, la estende ai restanti corsi d'acqua di propria competenza;
- una strategia di gestione finalizzata a superare gli squilibri in atto conseguenti a fenomeni naturali o antropici, a salvaguardare le dinamiche idrauliche naturali, con particolare





Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Mazzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

riferimento alle esondazioni e alla evoluzione morfologica degli alvei, a salvaguardare la qualità ambientale dei corsi d'acqua attraverso la tutela dell'inquinamento dei corpi idrici e dei depositi alluvionali permeabili a essi direttamente connessi, a favorire il mantenimento e/o il ripristino, ove possibile, dei caratteri di naturalità del reticolo idrografico;

- una politica di minimizzazione del rischio idraulico attraverso la formulazione di indirizzi relativi alle scelte insediative e la predisposizione di un programma di azioni specifiche, definito nei tipi di intervento e nelle priorità di attuazione, per prevenire, risolvere o mitigare le situazioni a rischio.

A tal riguardo, per la redazione del seguente studio, sono stati visionati tutti gli elaborati PAI, col fine di individuare eventuali situazioni di Rischio Frane e di Rischio Inondazione incombenti sulle aree interessate dagli interventi in progetto.

Dalla consultazione degli elaborati riguardanti i siti di interesse, si ha la seguente situazione:

RISCHIO FRANE

Carta inventario dei centri abitati instabili (scala 1:10.000) Tavola 080-085/1 (Comune di Scilla/Località Favazzina), nelle aree strettamente interessate dagli interventi in progetto non sono cartografati movimenti franosi.

Carta inventario delle frane e delle relative aree a rischio (scala 1:10.000): Tavola 080-085/1 (Comune di Scilla/Località Favazzina),: nelle aree strettamente interessate dagli interventi in progetto non sono cartografate aree a rischio.

RISCHIO IDRAULICO

Aree vulnerate ed elementi a rischio (scala 1:25.000) - Tavola AV80085/A (Comune di Scilla): nelle aree strettamente interessate dagli interventi in progetto non sono cartografati fenomeni di inondazione.

Perimetrazione aree a rischio (scala 1:25.000) - Tavola RI80085/A (Comune di Scilla),: nelle aree strettamente interessate dagli interventi in progetto non sono cartografate aree a rischio.

Il contraente:

Il progettista:

6



Salerno-Reggio Calabria
società consortile per azioni

HYpro



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00195 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

2 CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

Il bacino individuato presenta un reticolo idrografico superficiale caratterizzato dalla presenza di impluvi aventi regime idraulico prevalentemente torrentizio e pendenze rilevanti.

La delimitazione del bacino imbrifero è stata effettuata sulla cartografia IGM 1:25.000.

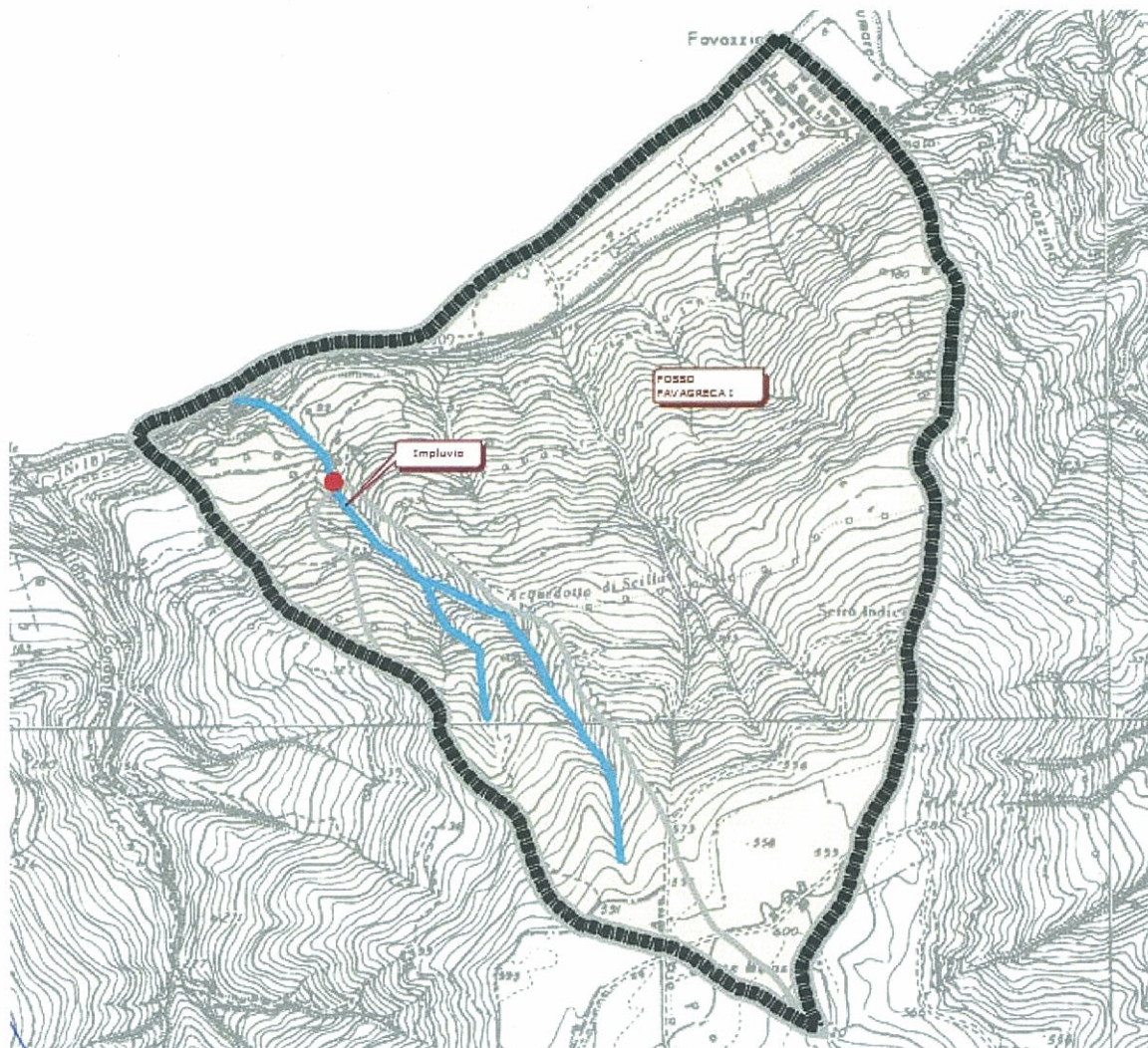


Figura 3: Inquadramento dei bacini idrografici su carta IGM 1:25.000 e Fosso Favagrecia I.

Gli interventi in progetto, come precedentemente specificato, ricadono all'interno del bacino idrografico cartografati dall'Autorità di Bacino della Regione Calabria, denominato Fosso Favagrecia I.

Il contraente:

Il progettista:

7



Salerno-Reggio Calabria
società consortile per azioni

HYpro



Il bacino idrografico relativo al Fosso Favagrega lestende per 0,22 km² con sezione di chiusura posta in corrispondenza della briglia esistente. Il bacino individuato è compreso tra le quote 600 e 180 metri circa sul livello del mare. L'alveo del torrente si sviluppa prevalentemente in direzione SE-NW per una lunghezza complessiva di 0.90 km. Anche in questo caso la natura dell'impluvio è prevalentemente di carattere torrentizio.



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00195 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL BACINO DI STUDIO

Per quanto concerne l'inquadramento geologico del bacino di studio, il territorio nel quale si colloca l'area di intervento cade nel Foglio n.254 della Carta geologica d'Italia in scala 1:25.000 quadrante I SO "Calanna". In particolare, l'area è caratterizzata dalla presenza di litotipi cristallino-metamorfici di età paleozoica ed in particolare, in paragneiss e metagraniti, localmente gneissici e con intercalazioni di calcari cristallini, metaquarziti, anfiboliti e granuliti. Le rocce sono spesso attraversate da vene e filoni di granito a grana fine, pegmatite e quarzo, che localmente danno luogo a zone di gneiss granitoidi e migmatiti; inoltre, in zone intensamente tettonizzate si sono formati scisti-cloritico-quarzosi.

In generale, i suddetti litotipi costituiscono un complesso cristallino-metamorfico resistente all'erosione, ma facilmente disgregabile in corrispondenza della coltre alteritica, con quest'ultima spesso soggetta a movimenti franosi più o meno profondi; inoltre, movimenti gravitativi possono instaurarsi laddove la scistosità si presenta a franapoggio. La permeabilità è complessivamente bassa, ma aumenta nelle zone di fatturazione e della coltre alteritica, fino a divenire da media a medio-bassa.

Inoltre, il complesso cristallino-metamorfico paleozoico è diffusamente ricoperto da sottili coltri eluvio-detritico-colluviali e da depositi alluvionali di fondovalle, oltre che da spesse successioni di depositi pleistocenici conglomeratico-sabbiosi di natura continentale (Dc nella figura successiva), con questi ultimi affioranti nella zona più a sud del comparto strettamente di interesse, dove danno origine ad ampi terrazzi morfologici.

Passando agli aspetti geomorfologici, l'individuazione dei fenomeni morfologici significativi, oltre che dallo studio della documentazione bibliografica e di riferimento, è stata ottenuta mediante esame fotointerpretativo e satellitare di tipo comparativo.

Il comparto in esame ricade in un contesto territoriale caratterizzato dalla diffusa presenza di movimenti gravitativi, consistenti in fenomeni franosi quiescenti, sviluppati per lo più lungo le porzioni di versante a pendenza elevata o medio-elevata e che interessano il complesso cristallino-metamorfico e/o le relative coperture eluvio-detritico-colluviali di versante ed i depositi di copertura pleistocenici; in particolare, si tratta prevalentemente di movimenti franosi superficiali (profondità massima dell'ordine di 1-5m), consistenti in frane di scorrimento e frane complesse.

Più precisamente, si tratta di movimenti che si verificano per superamento della resistenza di taglio dei materiali lungo una superficie di neoformazione, con il corpo di frana che può scomporsi in diversi blocchi limitati da fessure trasversali e longitudinali. Inoltre, dalle evidenze di terreno è emerso come si tratti di fenomeni che dopo una fase iniziale estremamente rapida, con spostamenti evidenti, possono portare al progressivo collasso del pendio, attraverso l'innesco di movimenti di rotazione che avvengono intorno ad un punto esterno al versante e al di sopra del baricentro della massa in movimento; infatti, la forma delle superfici di scorrimento è prevalentemente arcuata, trattandosi, per la maggior parte dei movimenti, di scorrimenti rotazionali. Così come suggeriscono gli esiti del rilevamento e la distribuzione areale dei fenomeni, l'instabilità dei versanti è legata in parte alle elevate pendenze, in parte alle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni affioranti, soprattutto in presenza di coltri eluvio-detritico-colluviali.



Dalle descrizioni appena esposte, si può affermare come l'attuale assetto morfologico del comparto di interesse, sia predisposto all'innescò di possibili movimenti gravitativi di versante, in considerazione delle caratteristiche intrinseche delle litologie presenti, delle alte pendenze e dei processi morfologici associati al dilavamento delle acque superficiali, comportando, per la maggior parte degli impluvi presenti, una tendenza all'approfondimento con associati fenomeni di erosione di fondo e spondali



4 STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI

Lo studio idrologico dell'area in esame è stato condotto determinando le curve di possibilità climatica applicando il metodo VAPI Calabria, attraverso una metodologia di analisi regionale di tipo gerarchico, basata sull'uso della distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente (TCEV – Two Component Extreme Value). Tale procedura si basa sulla considerazione che esistono zone geografiche via via più ampie che possono considerarsi omogenee nei confronti dei parametri statistici della distribuzione, man mano che il loro ordine aumenta.

Indicando con "Q" il massimo annuale della portata al colmo e con "T" il periodo di ritorno, cioè l'intervallo di tempo durante il quale si accetta che l'evento di piena possa verificarsi mediamente una volta, la massima portata di piena Q_T corrispondente al prefissato periodo di ritorno T, può essere valutata come:

$$Q_T = K_T m(Q) \quad (1)$$

dove:

- $m(Q)$ = media della distribuzione dei massimi annuali della portata di piena (piena indice);
- K_T = fattore probabilistico di crescita, pari al rapporto tra Q_T e la piena indice.

Per la valutazione di $m(Q)$, vengono invece indicate differenti metodologie, alcune di tipo diretto, basate su formule monomie in cui la portata dipende essenzialmente dall'area del bacino, e una di tipo indiretto (la formula razionale) in cui la piena indice viene valutata a partire dalle piogge e dipende in maniera più articolata dalle caratteristiche del bacino.

4.1 Analisi regionale delle piogge in Calabria

Nell'ambito del Progetto VAPI del G.N.D.C.I. - C.N.R. il territorio nazionale è stato suddiviso in aree idrologicamente omogenee, caratterizzate pertanto da un'unica distribuzione di probabilità sia per le piene annuali sia per le piogge, rapportate al valore medio (legge regionale di crescita con il periodo di ritorno $K_T(T)$).

L'indagine regionale volta alla determinazione di tale legge è stata svolta per la regione Calabria nel Rapporto VAPI Calabria sopra menzionato.

I risultati, sono stati ottenuti sotto forma di una relazione tra K_T e T esplicitata come:

$$T = \frac{1}{1 - \exp\left(-\Lambda_1 \cdot e^{-\eta \cdot K_T} - \Lambda_* \cdot \Lambda_1^{1/\theta_*} \cdot e^{-\eta \cdot K_T / \theta_*}\right)} \quad (2)$$



Al secondo livello di regionalizzazione, è stato verificato che la Calabria può essere suddivisa in tre sottozone omogenee, denominate: Tirrenica, Centrale, Ionica, e caratterizzate dai seguenti parametri:

$$\theta_* = 2,154 ;$$

$$\Lambda_* = 0,418 ;$$

$$\bullet \Lambda_1 = \begin{cases} 48,914 & \text{zona Tirrenica} \\ 22,878 & \text{zona Centrale} \\ 10,987 & \text{zona Ionica} \end{cases} \quad \bullet \eta = \begin{cases} 5,173 & \text{zona Tirrenica} \\ 4,414 & \text{zona Centrale} \\ 3,681 & \text{zona Ionica} \end{cases}$$

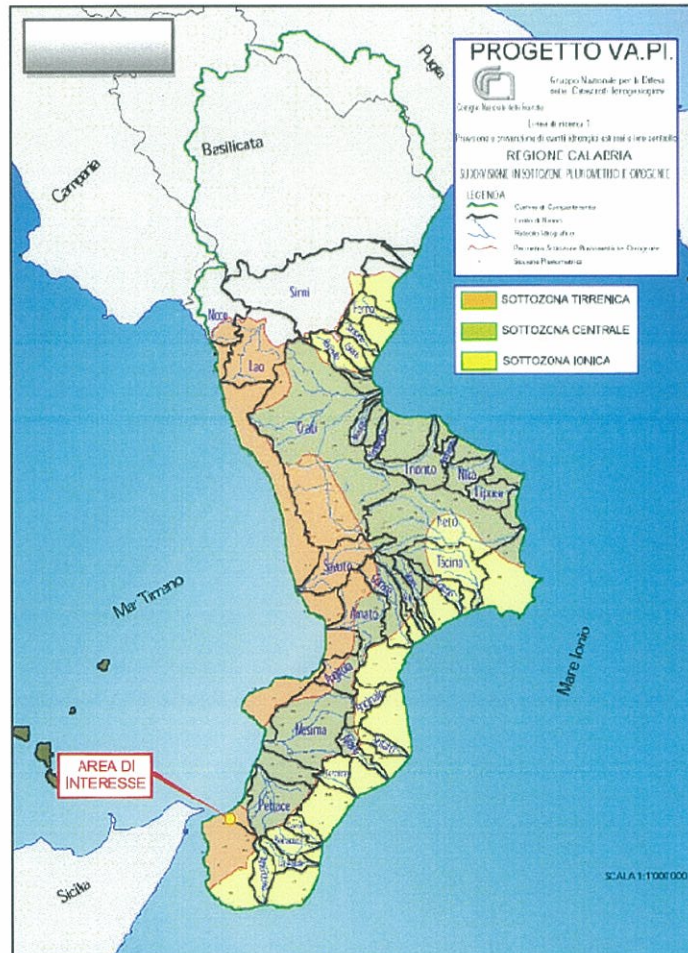


Figura 4: Suddivisione in sottozone pluviometriche e omogenee.



Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
 Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
 Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
 Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
 Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
 norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
 escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

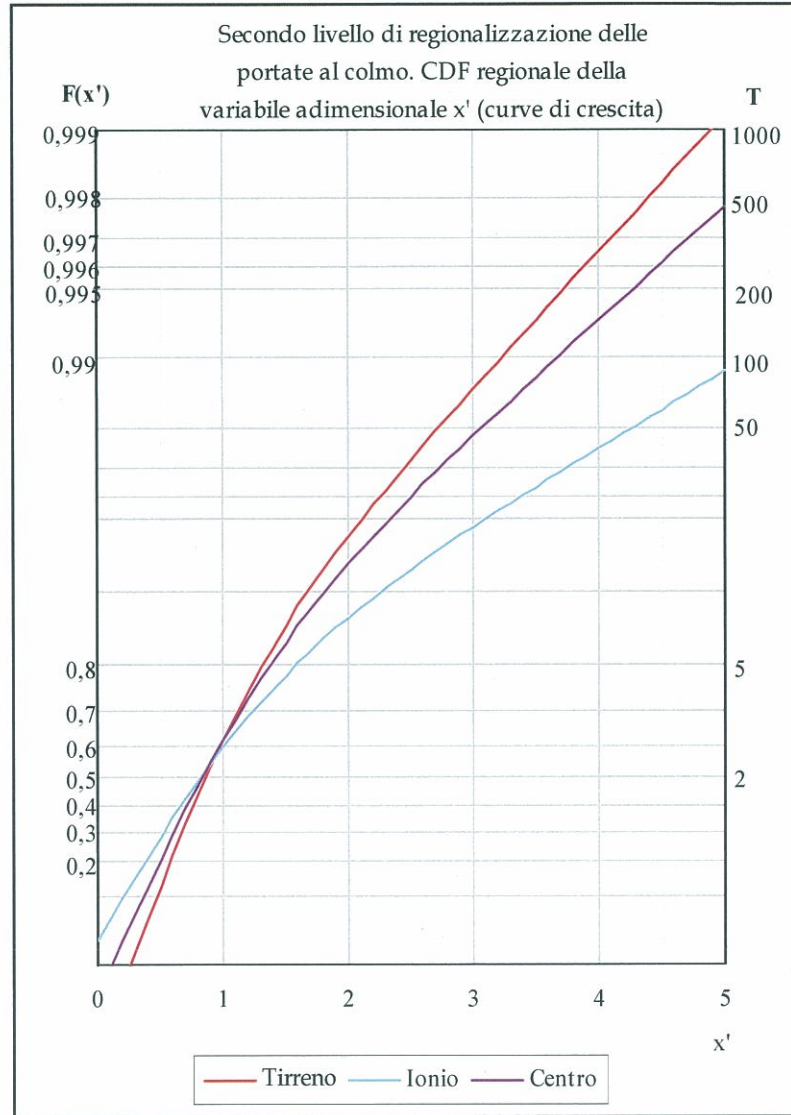


Figura 5: Legge regionale di crescita delle portate per la regione Calabria.

La (2) può essere valutata, per le piogge e per le portate, in prima approssimazione attraverso le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}
 K_T &= 0,3887 + 0,416 \cdot \ln(T) && \text{zona Tirrenica} \\
 K_T &= 0,2837 + 0,488 \cdot \ln(T) && \text{zona Centrale} \\
 K_T &= 0,1410 + 0,585 \cdot \ln(T) && \text{zona Ionica}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$



commettendo un errore inferiore al 10% per T superiore a 10 anni.

Nella *tabella 1* che segue sono riportati, per diversi periodi di ritorno, i valori di K_T nelle singole sottozone omogenee.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (Tirreno)	0.86	1.31	1.68	2.11	2.26	2.58	2.74	3.23	3.74	4.41	4.92
K_T (Centrale)	0.83	1.38	1.82	2.33	2.50	2.89	3.08	3.68	4.28	5.08	5.69
K_T (Ionio)	0.79	1.47	2.02	2.65	2.87	3.35	3.58	4.32	5.07	6.07	6.82

Tabella 1 - Legge regionale di crescita delle portate per la regione Calabria

4.2 Curve di possibilita' climatica

La piena media annua $m(Q)$ è caratterizzata da una elevata variabilità spaziale che può essere spiegata, almeno in parte, ricorrendo a fattori climatici e geomorfologici.

E' dunque in genere necessario ricostruire modelli che consentano di mettere in relazione $m(Q)$ con i valori assunti da grandezze caratteristiche del bacino.

Quando manchino dati di portata direttamente misurati nelle sezioni di interesse, l'identificazione di tali modelli può essere ottenuta sostanzialmente attraverso due diverse metodologie:

- approcci di tipo puramente empirico, del tipo $m(Q) = a \cdot A^b$ (con A superficie del bacino);
- approcci che si basano su modelli in cui la piena media annua viene valutata con parametri che tengano conto delle precipitazioni massime sul bacino e delle caratteristiche del bacino stesso (modello razionale e modelli geomorfoclimatici).

Il Rapporto VAPI Calabria ha provveduto alla stima dei parametri sia per modelli empirici di vario tipo che per il modello razionale.

Mancando dati di misura di portata nelle sezioni di interesse dell'area in esame, il calcolo della portata media annua al colmo di piena è stato effettuato in via indiretta, in accordo con la metodologia proposta dal VAPI, a partire dalle precipitazioni intense e in particolare con il "modello razionale", stimando $m(Q)$ come una frazione della massima intensità di pioggia che può verificarsi sul bacino dipendente dalle caratteristiche dello stesso.

4.3 Il modello razionale

Come detto, l'approccio alternativo alle analisi di regressione puramente empiriche è costituito dalla applicazione della formula razionale.

La struttura della formula razionale indagata in questo caso è:



$$m(Q) = C^* \cdot A_{rid} \cdot \frac{m[I(t_r)]}{3,6} + c_0 \quad (4)$$

dove:

- C^* è il coefficiente adimensionale di piena;
- c_0 è un parametro costante con le dimensioni di $m(Q)$, e si esprime in m^3/s ;
- A_{rid} rappresenta la superficie del bacino imbrifero depurata dalle aree permeabili in formazioni fratturate (calcarei e dolomie) e da quelle sottese da significativi invasi artificiali, e si esprime in km^2 ;
- t_r è il tempo di ritardo del bacino, in ore;
- $m[I(t_r)]$ è la media dei massimi annuali delle intensità di pioggia di durata t_r , in mm/ora .

Considerando due insiemi campionari (18 bacini con stima campionaria di t_r , 11 bacini con numerosità $N \geq 18$ anni) ed imponendo o meno la condizione del passaggio per l'origine, nell'ambito del Rapporto VAPI Calabria sono stati calcolati i coefficienti C^* e c_0 della relativa equazione.

I risultati si dimostrano soddisfacenti per entrambi i gruppi di bacini. Il migliore risultato comunque è relativo al gruppo di 11 bacini con stima diretta di t_r ed assume espressione:

$$m(Q) = 0,168 \cdot A_{rid} \cdot \frac{m[I(t_r)]}{3,6} - 16,57 \quad (5)$$

È da osservare inoltre che la suddetta formula si discosta dalla formula razionale classica per la presenza di un termine costante negativo che può essere interpretato come un indice delle perdite per infiltrazione mediato su tutti i bacini.

Nel caso in cui si imponga $c_0 = 0$, il migliore risultato si ha con la relazione:

$$m(Q) = 0,158 \cdot A_{rid} \cdot \frac{m[I(t_r)]}{3,6} \quad (6)$$

4.4 Il tempo di ritardo

Per il calcolo del tempo di ritardo il Rapporto VAPI propone la formula di Versace et altri:



$$t_r = \frac{1,5}{3,6} \cdot \frac{\sqrt{a}}{c} \quad (7)$$

nella quale c è la celerità dell'onda di piena, in m/s, che assume usualmente valori compresi tra 1 e 3; nel caso di bacini in cui lo scorrimento avviene prevalentemente su versante, si fa riferimento ad una celerità di 1,5 m/s.

4.5 La legge di probabilità pluviometrica

La legge di probabilità pluviometrica areale consente di conoscere come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia in funzione della durata "d" e dell'area del bacino "A". Nota la legge $m[h_A(d)]$, è possibile definire la media dei massimi annuali dell'intensità di pioggia areale come

$$m[I_A(d)] = m[h_A(d)] / d \quad (8)$$

La metodologia comunemente impiegata consiste nell'ottenere la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia areale $m[h_A(d)]$ dalla media del massimo annuale dell'altezza di pioggia puntuale $m[h(d)]$ attraverso un fattore di ragguglio noto come coefficiente di riduzione areale $K_A(d)$ come:

$$m[h_A(d)] = K_A(d) \cdot m[h(d)] \quad (9)$$

Per definire $m[h_A(d)]$ risulta dunque necessario:
definire la legge di probabilità pluviometrica $m[h(d)]$;
calcolare il coefficiente di riduzione areale.

Il terzo livello di regionalizzazione in Calabria ha consentito di individuare all'interno di aree omogenee, una buona relazione tra la media annuale dei massimi giornalieri e la quota. Si è pertanto ipotizzato che l'intera regione possa essere suddivisa in aree omogenee in ciascuna delle quali esiste una correlazione tra i valori della media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera $m[hg]$ e la quota sul mare Z , h , del tipo:



Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00195 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
 Sede Compartimentale: Contrada Liguri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
 Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
 Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
 Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
 norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
 escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

$$m(h_g) = C \cdot z + D \quad (10)$$

in cui C e D sono due parametri variabili da area ad area. Nel caso della Calabria sono state individuate 13 aree pluviometriche omogenee (APO, vedi in *Figura 5*) i cui coefficienti sono riportati nella tabella che segue:

Area Pluviometrica Omogenea		a	C	D
T1	Pollino	27,79	0,00014	1,907
T2	Sila Grande – sottozona tirrenica	23,75	0,00021	1,683
T3	Alto e medio Tirreno	26,61	0,00022	1,769
T4	Stretto	26,73	0,00028	1,736
C1	Basso Crati	21,73	0,00049	1,690
C2	Sila grande – sottozona centrale	23,75	0,00021	1,683
C3	Sila greca	31,02	0,00016	1,951
C4	Sila piccola	33,22	0,00032	1,840
C5	Serre orientali	34,99	0,00036	1,815
I1	Alto Ionio	24,37	0,00026	1,778
I2	Marchesato	30,97	0,00025	1,922
I3	Medio e basso Ionio	39,58	0,00043	1,953
I4	Aspromonte meridionale	34,13	0,00027	1,817

Tabella 2 –Parametri della LPP validi per le zone omogenee della regione Calabria individuate al terzo livello di regionalizzazione delle piogge

Analizzando i valori delle medie del massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata d, $m[h(d)]$, relative alle diverse stazioni che ricadono in un'APO, si è notato che per ogni stazione esiste, per d compreso tra 1 e 24 ore, un legame del tipo:

$$m[h(d)] = a \cdot d^n \quad (11)$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito.

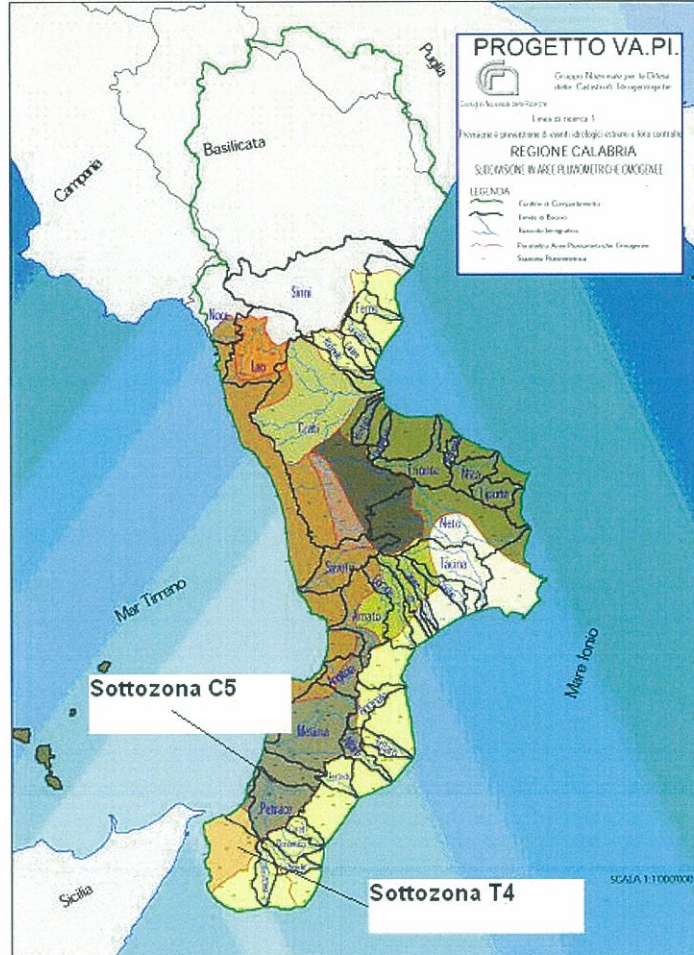


Figura 5: Aree pluviometriche omogenee della regione Calabria – Terzo livello di regionalizzazione delle piogge

Si è notato, inoltre, che il rapporto

$$r = m[h_g] / m[h(24)] \quad (12)$$

relativo ad uno stesso periodo di funzionamento, comprendente cioè solo gli anni per cui sono disponibili entrambi i valori, varia molto poco passando da una stazione all'altra. Nel caso della Calabria r è distribuito normalmente con media 0.875 e scarto quadratico medio 0.031.

E' stato dunque possibile utilizzare l'informazione ben più ampia disponibile sulle precipitazioni giornaliere anche per sviluppare il terzo livello dell'analisi regionale delle piogge brevi.

Più precisamente:

- assumendo $m[h(1)]$, e quindi il parametro a della (10), costante in ciascuna delle aree



omogenee e pari al valor medio pesato con gli anni di funzionamento degli 1 x relativi alle serie con $N \geq 20$.

- assumendo il rapporto r costante in tutta la regione e pari a 0.875;
- assumendo in ogni stazione valida la (11);
- ricordando che in ciascuna area omogenea è nota la relazione (9).

si è ottenuto:

$$n = \frac{C \cdot z + D + \text{Log}(r) - \text{Log}(a)}{\text{Log}(24)} \quad (13)$$

Il coefficiente di riduzione areale

In Italia uno studio sul fattore di riduzione areale (ARF) è stato condotto da Penta (1974) per i bacini del versante Ionico della Basilicata, considerando le piogge giornaliere ed ottenendo una curva che esprime l'ARF in funzione dell'area del bacino.

In Calabria un'indagine sull'andamento areale delle piogge giornaliere condotte sul bacino del Fiume Crati (Battista, 1988; Pascuzzi e Catalano, 1988; Catalano et al., 1989), ha fornito risultati sostanzialmente analoghi a quelli ottenuti per la Basilicata e che vengono qui di seguito richiamati.

Sulla base dei dati del Rapporto VAPI Calabria, viene proposta una relazione interpolatrice del tipo

$$ARF = a + (1 - a) \cdot \exp(-b \cdot A) \quad (14)$$

i cui parametri a e b sono rispettivamente 0,732 e 0,0018.



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

5 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

Facendo riferimento alla procedura descritta precedentemente, il massimo annuale delle portate al colmo di piena con periodo di ritorno T può essere calcolato come:

$$Q_T = K_T m(Q) \quad (15)$$

5.1.1 Valutazione del fattore regionale di crescita

Utilizzando la (2), per T = 200 anni risulta (vedi Tabella 1):

$$k_{T=200} = 3,74$$

5.2 Fosso Favagrega II

5.2.1 Valutazione della piena media annua

Il bacino Fosso Favagrega I ricade interamente nell'area pluviometrica omogenea T4 nella quale i parametri della LPP sono quelli di seguito indicati (vedi Tabella 2):

- a = 26,73;
- C = 0,00028;
- D = 1,736
- n = 0,241 (z = 290 m s.l.m.)

Pertanto la LPP è:

$$m[I(d)] = \frac{26.73 \cdot d^{0.241}}{d}$$

Tempo di ritardo

Per il bacino Fosso Piano Scirò si è ritenuto lecito porre l'area ridotta del bacino, A_{rid} , coincidente con l'area totale, A, in quanto nel massiccio dell'Aspromonte sono sostanzialmente assenti formazioni calcaree fessurate. Risulta dunque

$$t_r = \frac{1.5}{3.6} \cdot \frac{\sqrt{A_{rid}}}{c} = 0.13 \text{ ore}$$

Piena media annua

Dalla (8), posto $d = t_r$ e $K_A(t_r) = 1$ si è ottenuto:

$$m[I(t_r)] = 125,62 \text{ mm/ora}$$

e dalla (4)



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00195 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartimentale: Contrada Liguri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

$$m(Q) = 1.21 \text{ m}^3/\text{s}.$$

5.2.2 Valutazione della portata di piena con T = 200 anni

Utilizzando la richiamata (1) è risultata:

$$Q_{200} = 4,54 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Il contraente:



Salerno-Reggio Calabria
società consorzio per azioni

Il progettista:

HYpro



6 MODELLAZIONE IDRAULICA

Il tracciamento dei profili di corrente, per quanto riguarda il corso d'acqua principale, è stato condotto utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS versione 5.0.3, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers.

HEC-RAS è l'abbreviazione di Hydrologic Engineering Center's River Analysis System. Questo software consente la simulazione di flussi idrici, nell'ipotesi di monodimensionalità della corrente, sia in moto permanente che in moto vario.

Il sistema comprende una interfaccia grafica, componenti separate per le analisi idrauliche dei due diversi tipi di moto, possibilità di analisi e memorizzazione dati, possibilità di esportazione e graficizzazione dei risultati.

Elemento chiave è che entrambi i tipi di simulazione citati usano una comune rappresentazione geometrica dei dati (l'alveo e le sue caratteristiche fisiche, geometriche ed idrauliche), e una comune routine di calcolo geometrico ed idraulico preliminare.

HEC-RAS è progettato per effettuare calcoli idraulici monodimensionali per una rete completa di canali naturali ed artificiali.

Nel caso di moto permanente, il software è in grado di modellare profili di correnti lente, veloci ed anche miste quando richiesto o ritenuto opportuno automaticamente dal programma.

6.1 Scabrezza di Manning

Le simulazioni sono state condotte utilizzando un valore del coefficiente di scabrezza n secondo Manning pari a 0.030 sulle sponde dell'alveo e per il letto dell'alveo. Il valore adottato è quello consigliato dal manuale Cremonese per alvei in pietrame con presenza di vegetazione ed è cautelativo ai fini delle determinazioni idrauliche conseguenti.

Inoltre, il valore del coefficiente di Manning è stato scelto nell'ipotesi che l'alveo sia "Clean, straight, full, no rifts or deep pools, but more stones and weeds" (cfr tabella seguente), corrispondente ad alvei naturali interessati dalla presenza di pietre ed erbe, per meglio simulare il reale comportamento.

Trattandosi di corsi d'acqua naturali in cui non è evidente la differenza tra golena e savanella, a vantaggio di sicurezza è stato impiegato un coefficiente di scabrezza unico per l'intera sezione del canale.

1. Main Channels

a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040

Valori del coefficiente di Manning ((Manning Table – Hec-Ras 3.1.3)

Tale scelta è stata altresì verificata e confermata anche mediante una analisi di sensibilità, attraverso la quale si è potuto rilevare che, facendo variare (aumentando o diminuendo) il coefficiente di Manning di un'aliquota pari a 0,01 (restando nel range assimilabile alla tipologia



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartimentale: Contrada Liguri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

dell'alveo in esame), si genera una variazione di livello idrico nell'ordine di qualche centimetro, quindi trascurabile ai fini della determinazione dei deflussi di piena.

6.2 Condizioni al contorno e condizioni iniziali

Le condizioni al contorno si distinguono in condizioni di tipo esterno e condizioni di tipo interno, ove per condizioni esterne si intendono le altezze idriche da assegnare nella sezione di calcolo posta a valle e in tutte le sezioni iniziali poste a monte del reticolo idrografico, mentre per condizioni interne sono intese quelle relative alle sezioni di confluenza di due o più rami dello stesso reticolo.

Nel caso specifico, non essendo presenti confluenze, si è fatto riferimento alle sole condizioni di tipo esterno. Per entrambi gli impluvi, considerato il contesto idraulico di riferimenti, si è posto come condizione al contorno di monte l'altezza di moto uniforme, mentre come condizione al contorno di valle si è posta l'altezza critica.

Tale scelta è stata condotta considerando che per entrambi gli impluvi analizzati la sezione di valle è caratterizzata dalla presenza di un salto morfologico e quindi è plausibile l'assunzione dell'instaurarsi dell'altezza critica nella sezione di valle.

Le condizioni al contorno assunte nelle sezioni di valle tengono conto del raggiungimento, in tali punti, della condizione di moto uniforme. Tale assunzione è cautelativa rispetto alla condizione di stato critico che, allo stesso modo, si può impostare come condizione al contorno nel software. Infatti, trattandosi di un alveo a debole pendenza, l'altezza di moto uniforme è maggiore di quella critica, quindi, impostando a valle (una corrente lenta è influenzata da valle) la condizione di moto uniforme, il profilo idraulico parte da valle con un valore di altezza maggiore quindi più sfavorevole rispetto alla condizione di stato critico.

6.3 Profili di moto permanente

Le simulazioni sono state condotte utilizzando valori di portata massimi lungo il percorso dell'asta fluviale, ossia i valori di portata che si ottengono in corrispondenza delle sezioni di chiusura di ciascun bacino idrografico analizzato.

6.4 Sezione di calcolo e profilo longitudinale

Per la valutazione dei profili in condizioni di moto permanente è stato effettuato, come base di informazione topografica, un rilievo di dettaglio dell'area in esame. Tale rilievo è risultato utile per un corretto dimensionamento delle sezioni d'alveo necessarie per la valutazione idraulica.

Pertanto sulla base delle informazioni plano altimetriche determinate è stato ricavato il modello geometrico, base di input per il software HEC-RAS.

6.5 Risultati delle simulazioni in moto permanente

Nel seguito, si riportano e si commentano i risultati dello studio idraulico, effettuato in condizioni di moto permanente.

In particolare, sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate, in condizioni di moto permanente in corrispondenza di portate di piena caratterizzate dal tempo di ritorno di 200 anni.

Tali verifiche hanno consentito, grazie all'ausilio del software HEC RAS, di definire le caratteristiche proprie del deflusso e, in particolare, il massimo livello idrico raggiunto in ogni



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Manzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartimentale: Contrada Liguri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

sezione, oltre che la pendenza della linea dell'energia, la velocità media della corrente, la larghezza del pelo libero, il numero di Froude della corrente, ecc..

Tutte queste informazioni sono indicate sottoforma numerica nelle tabelle riassuntive seguenti, nelle quali, al variare del tempo di ritorno e per ognuna delle sezioni, sono riportati i dati relativi ai principali parametri idraulici desunti dal calcolo al passaggio dell'onda di piena.

Il calcolo è stato svolto in condizioni di moto permanente utilizzando il valore della portata di piena, riportato in precedenza, corrispondente al tempo di ritorno pari a 200 anni.

Le sigle riportate sono relative a:

- a) Q total = Portata totale espressa in m^3/s ;
- b) Min Ch El = Quote del fondo dell'alveo;
- c) W.S. Elev = Quota del pelo libero;
- d) Crit W.S. = Quota critica del pelo libero;
- e) E.G. Elev = Quota della linea dell'energia;
- f) E.G. Slope = Pendenza della linea dell'energia;
- g) Vel Chnl = Velocità media della corrente nell'alveo;
- h) Flow area = Area totale della sezione liquida effettiva;
- i) Top Width = Larghezza superficiale della sezione liquida;
- j) Froude = Numero di Froude dell'alveo.

I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle seguenti:

Tabella 3 - Parametri idraulici relativi al calcolo in moto permanente ($Tr=200$ anni)

Nelle figure seguenti sono riportati il profilo longitudinale al passaggio dell'onda di piena duecentennale e le viste prospettive d'insieme dell'alveo nonché le sezioni trasversali rilevate.



6.5.1 Fosso Favagrecia II

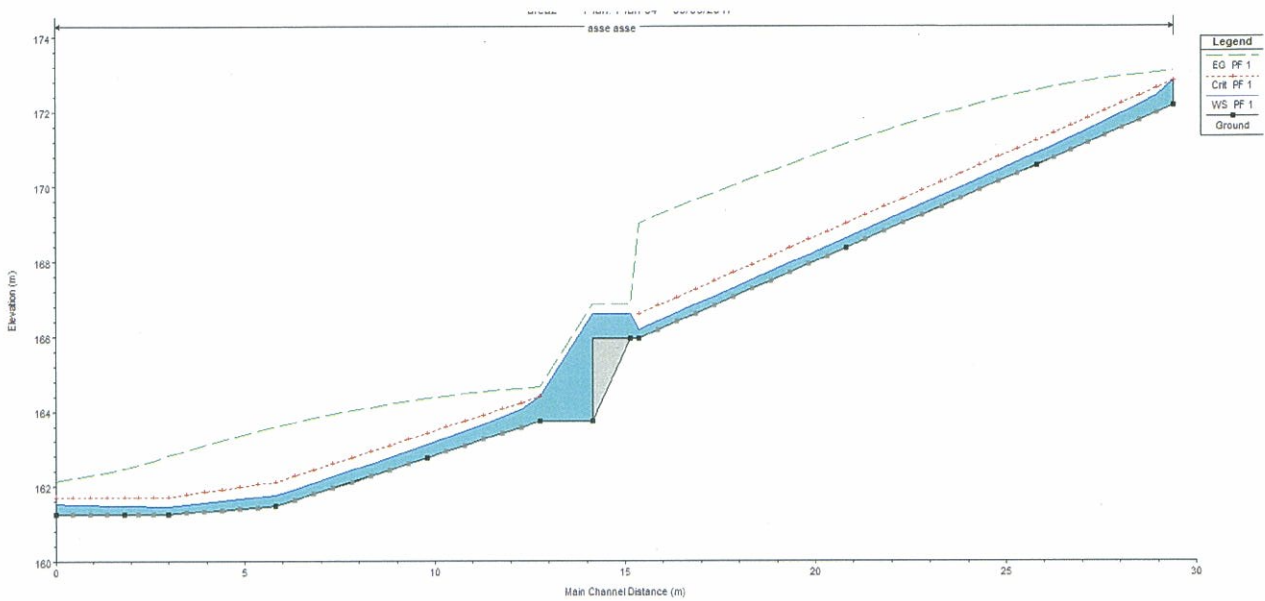


Figura 6: Profilo longitudinale di moto permanente dell'impluvio 2 – Fosso Favagrecia I (è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con $T_r=200$ anni)

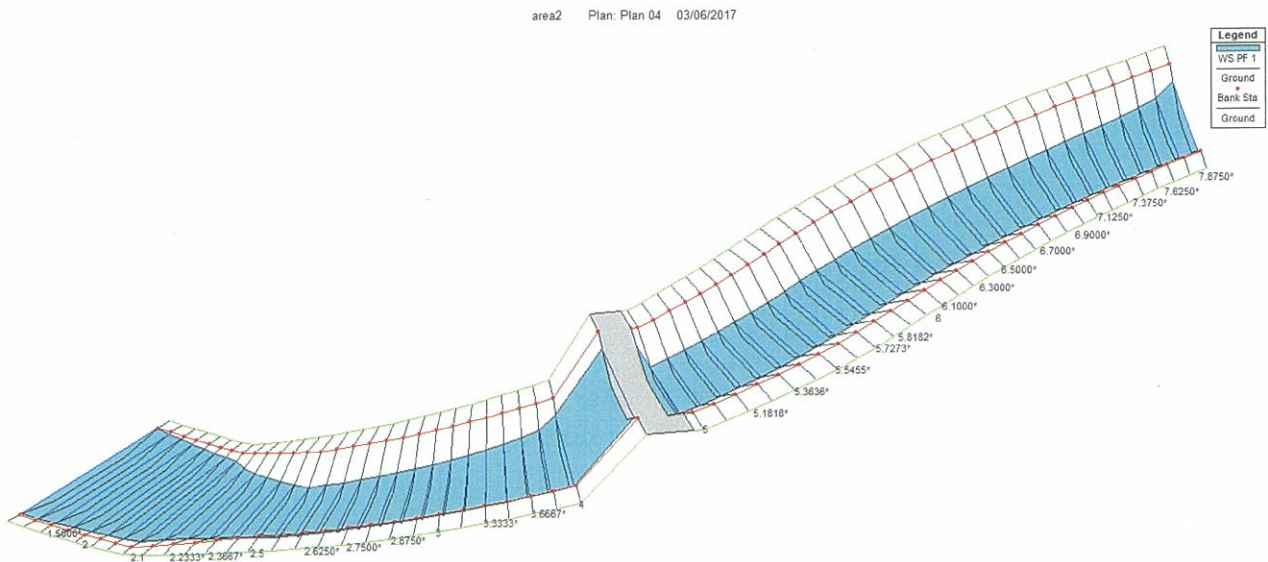


Figura 7: Vista prospettica d'insieme con aree inondabili del Fosso Favagrega I (è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con $Tr=200$ anni)



ANAS SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

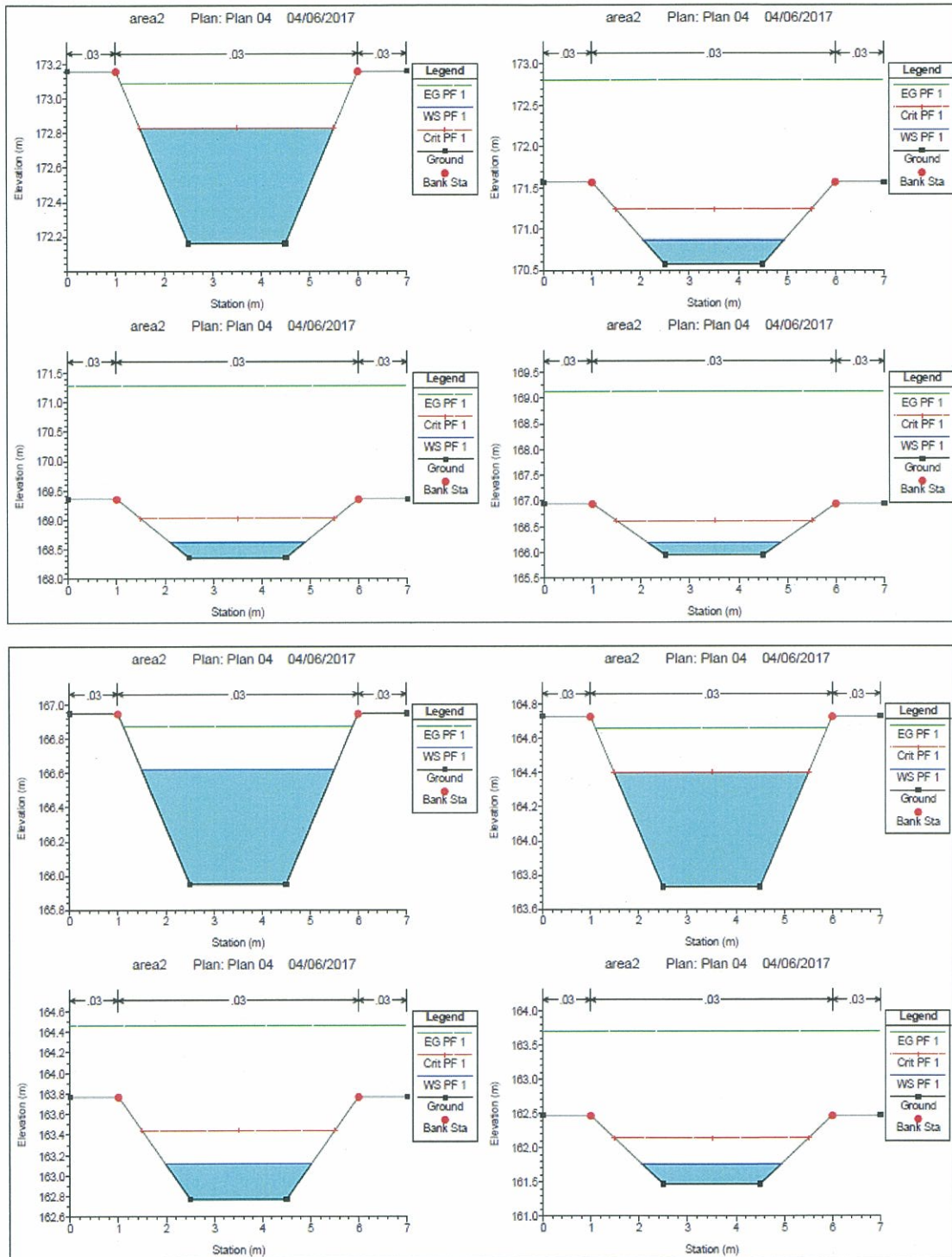
Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

SEZIONI TRASVERSALI



Il contraente:

Il progettista:

27



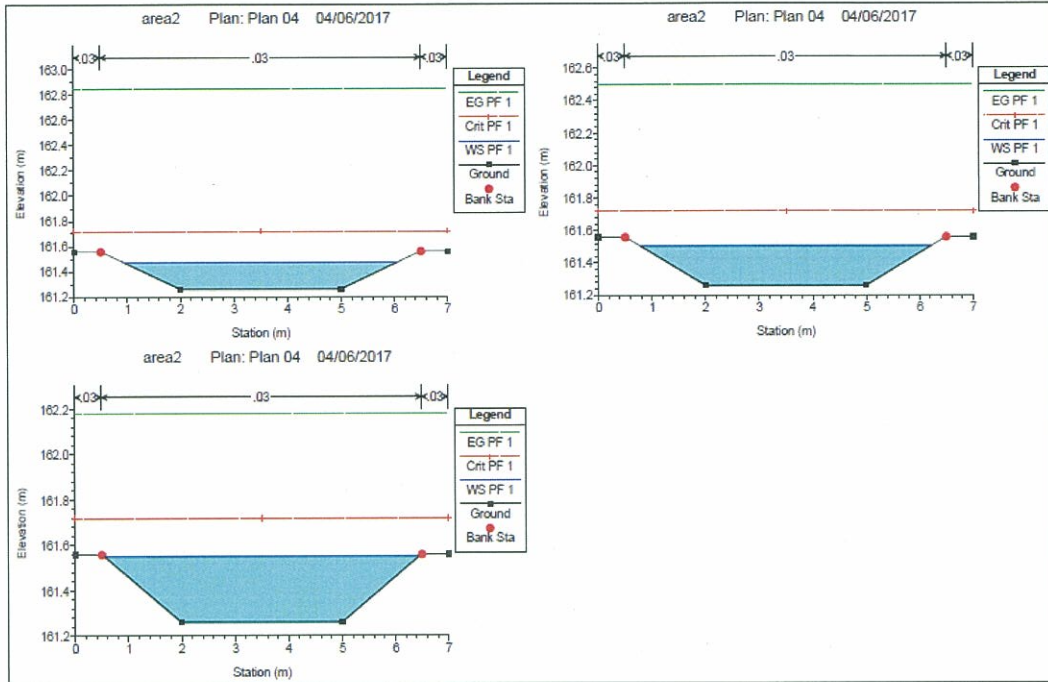
Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Montezambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
 Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
 Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
 Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica



Il contraente:

Il progettista:

28





7 TRASPORTO SOLIDO

Sotto l'azione delle spinte idrodinamiche, i grani solidi possono essere messi in movimento e trasportati verso valle secondo processi diversi:

Trasporto di fondo, in cui i granelli si muovono sul fondo, con moti rotatori e/o di strisciamento, più o meno intermittenti, ed è questo il movimento del materiale di maggiore dimensione.

- Trasporto in sospensione, in cui il solido è tenuto in sospensione dall'acqua, nonostante abbia maggior peso specifico rispetto a questa, per effetto della turbolenza della corrente liquida, o meglio della componente di moto turbolento diretta verso l'alto. I granelli, solidali con la corrente percorrono lunghi tratti trascinati all'interno della corrente stessa. Il materiale in sospensione è quello di dimensione minore (argilla, limo, sabbia).
- Trasporto per saltellamento, in cui il materiale procede a tratti sul fondo, a tratti sollevandosi da esso.

In conseguenza dei processi descritti, l'alveo di un corso d'acqua può subire mutamenti progressivi nel tempo, in relazione alle sue caratteristiche planimetriche, e quindi al suo percorso, altimetriche (pendenze), alla forma delle sezioni e alla distribuzione granulometrica del materiale di fondo, cui sono legati i valori di scabrezza. Terminato il transitorio evolutivo, si possono avere situazioni di equilibrio statico, in cui i fenomeni di trasporto solido sono assenti, ovvero di equilibrio dinamico tra erosione e deposito del materiale movimentato.

È inoltre opportuno distinguere i fenomeni distribuiti, che coinvolgono l'intera sezione d'alveo su tratti estesi longitudinalmente, dai fenomeni concentrati, limitati a zone specifiche della sezione, ovvero a tratti limitati dell'alveo, e legati alla presenza di singolarità geometrica nel corso d'acqua (curve, opere idrauliche,...).

Il fenomeno di movimentazione del fondo è essenzialmente legato alle:

- Caratteristiche della corrente: date la geometria e la portata vengono calcolate mediante le usuali metodologie dell'idraulica;
- Caratteristiche dei sedimenti, ed in particolare la distribuzione granulometrica e le caratteristiche di coesività.

7.1 Teoria del trasporto solido

7.1.1 Profili di velocità' – Leggi di resistenza

La distribuzione verticale di velocità in una corrente a pelo libero non è uniforme: la condizione di aderenza impone la velocità nulla sul fondo, cosicché il profilo assume il caratteristico andamento di strato limite (cfr figura seguente).

Detta $u(\zeta)$ la velocità puntuale in funzione della distanza ζ dal fondo, la forma del profilo impone un legame fra la velocità media U e lo sforzo τ sul fondo, essendo τ legato ai gradienti di velocità in



prossimità del fondo medesimo. Per una corrente a pelo libero sviluppata, in assenza di singolarità, si può assumere per il profilo una legge di forma "universale" del tipo:

$$\frac{u(\zeta)}{u^*} = f_1\left(\frac{\zeta}{d}\right)$$

essendo d il diametro dei sedimenti e u^* la velocità di attrito legata allo sforzo τ al fondo dalla relazione:

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$$

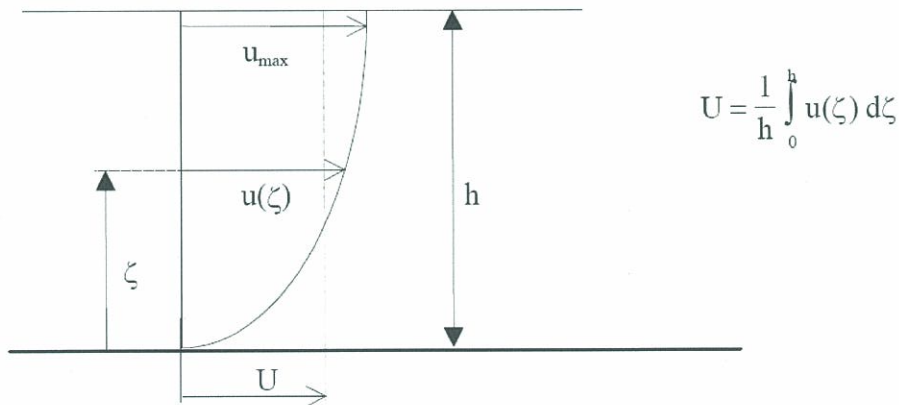


Figura 8: Profilo della velocità di una corrente.

Dall'espressione (1) assunta per il profilo della velocità e dalla definizione della velocità media U , si può ricavare una relazione tra U e u^* del tipo:

$$\frac{U}{u^*} = f_2\left(\frac{h}{d}\right) \quad (2)$$

essendo la funzione f_2 () dipendente dall'espressione adottata per i profili di velocità nella (1).

Una nota espressione per la f_2 () è la:

$$\frac{U}{u^*} = 8,3 \left(\frac{h}{d}\right)^{1/6}$$

Il legame $\tau = \rho u^*$ ed U può essere anche espresso in termini della cadente J della corrente ; ricordando le relazioni:

$$\tau = \rho u^* = \gamma R J$$



$$J = \frac{U^2}{C^2 R}$$

$$\rho u^* = \gamma R \frac{U^2}{C^2 R} \Rightarrow \frac{U}{u^*} = \frac{C}{\sqrt{g}}$$

e quindi attraverso la (2), si ottiene la (3)

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = \frac{U}{u^*} = f_2 \left(\frac{h}{d} \right) \quad (3)$$

Il coefficiente ha il significato di un indice di resistenza (equivalente all'inverso di λ dell' abaco di Moody), e risulta funzione del rapporto h/d tra la dimensione della corrente e il diametro dei sedimenti, rappresentativi della scabrezza del fondo (equivale alla relazione $\lambda = \lambda(\varepsilon/D)$ per le correnti in pressione, in moto puramente turbolento). Le (2) e (3) mettono in evidenza il legame fra profilo di velocità e le perdite di carico. Utilizzando la (2) si può ottenere una espressione del coefficiente di scabrezza c di Strickler in funzione delle caratteristiche del materiale di fondo. Si ha infatti che:

$$C = cR^{\frac{1}{6}} \Rightarrow \frac{cR^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g}} = 8,3 \left(\frac{h}{d} \right)^{\frac{1}{6}} \xrightarrow{R \cong H} c = \frac{25}{d^{\frac{1}{6}}}$$

Più in generale i profili di velocità possono essere espressi in forme adimensionali del tipo:

$$\frac{u(\zeta)}{u^*} = f \left(\frac{\zeta}{h} \right) \frac{u(\zeta)}{u^*} = f \left(\frac{\zeta}{\zeta_0} \right) \frac{u(\zeta)}{u^*} = f \left(\frac{\zeta}{h}, \frac{\zeta}{\zeta_0} \right) \frac{u(\zeta)}{u^*} = f \left(\frac{\zeta}{\zeta_0}, \frac{\zeta_0}{d} \right)$$

$$\frac{u_{max} - u(\zeta)}{u^*} = f \left(\frac{\zeta + \zeta_0}{h + \zeta_0} \right) \quad \dots \dots \dots$$

Con $\zeta_0 =$ origine fittizia = $f(d)$ $[\zeta_0/d=0,2 -0,5]$

Un tipico esempio di profilo è dato dalla legge logaritmica:

$$\frac{u(\zeta)}{u^*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{\zeta}{\zeta_0} \kappa \cong 0,4$$

Se si integrano tali espressioni : $\int_0^h u(\zeta) / u^* d\zeta$ si ottiene un legame U/u^* cercato, ovvero le varie formule di resistenza:

$$\frac{U}{u^*} = \sqrt{\frac{8}{\lambda}} = \frac{C}{\sqrt{g}} = f \left(\frac{h}{d}, \left(\frac{\zeta_0}{d} \right) \right)$$

In funzione della legge scelta per il profilo di velocità si ottengono diverse leggi per la resistenza. Se ne riportano di seguito alcune tra le più note.



Tipologie:

$$\frac{U}{u^*} = a \left(\frac{R}{d} \right)^b$$

$$\frac{U}{u^*} = A \log \left(B \frac{R}{d_x} \right)$$

Autore	a	b	x	
<u>Strickel-Muller</u>	8.3	1/6	90	(A)
<u>Griffiths (1981)</u>	3.76	2.87	50	(H)

Autore	A	B	x	
<u>Limerinos(1970)</u>	5.65	3.8	84	(C)
<u>Burkham Dawdy(1970)</u>	5.75	0.51	16	(D)
<u>Bray (1980)</u>	5.75	1.8	50	(E)
<u>Bray (1980)</u>	5.75	3.94	90	(F)
<u>Bathurst(1985)</u>	5.75	4.95	84	(G)
<u>Bathurst(1985)</u>	5.62	5.15	84	(I)

Le formule sono confrontate nei grafici successivi, sia in termini del coefficiente C di Chezy, sia in termini di coefficiente Ks Strickler, al variare h/d50 (sulla base di una distribuzione granulometrica lineare con $\varnothing = d_{60}/d_{10} = 5$).

Osservazioni:

1. In termini di $C/\sqrt{g} = U/u^*$ tutte le formule hanno lo stesso andamento
2. La dispersione dei risultati è rilevante
3. In termini di Ks tutte le formule tranne la (A) danno:

$$K_s = K_s(h/d_x)$$

mentre, sui manuali Ks è dato in funzione della scabrezza assoluta dell'alveo:

$$K_s = K_s(d_x) ..$$

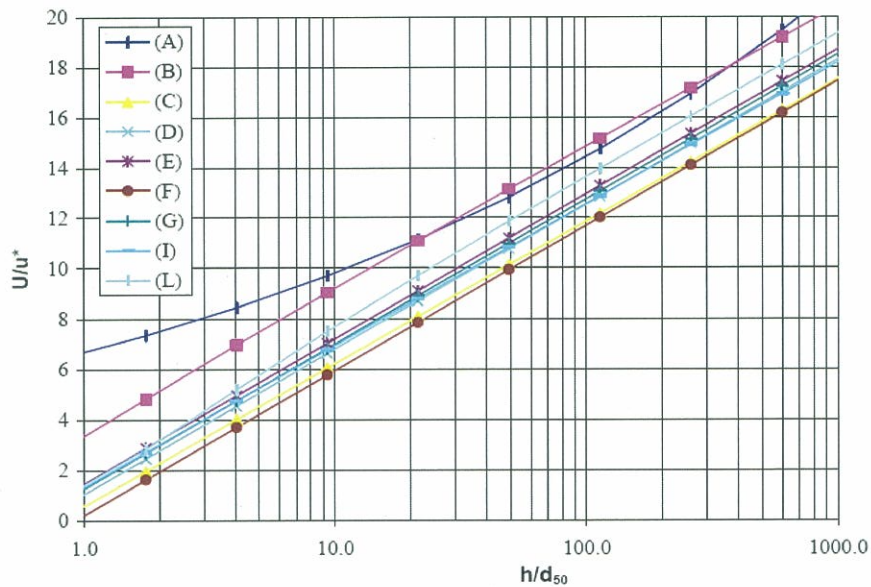
Valutando però delle situazioni ragionevoli, spesso si ricade nella zona in cui K_s è circa costante. Per esempio:



Canale (pulito)	Fiume montano
$d = 0.001 \text{ m}, \quad d_{50}/d_{10} = 5$	$d = 0.01 \text{ m}, \quad d_{50}/d_{10} = 5$
$h = 0.5 \text{ m}$ ($h/d=500$) $\rightarrow K_{s2} = 55+65$	$h = 0.5 \text{ m}$ ($h/d=50$) $\rightarrow K_{s2} = 35+45$
$h = 3 \text{ m}$ ($h/d=3000$) $\rightarrow K_{s2} = 50+65$	$h = 3 \text{ m}$ ($h/d=300$) $\rightarrow K_{s2} = 37+45$

Si deve, inoltre, considerare che la determinazione degli indici di resistenza sulla base della dimensione dei sedimenti non tiene conto delle resistenze aggiuntive offerte dalle irregolarità di forma degli alvei (forme di fondo), che costituiscono di fatto delle macroscabrezze. Analogo discorso per le resistenze indotte dalla vegetazione presente nell'alveo.

Questi ultimi effetti sono determinanti nel definire l'effettivo indice di resistenza, in particolar modo per i corsi d'acqua di pianura.



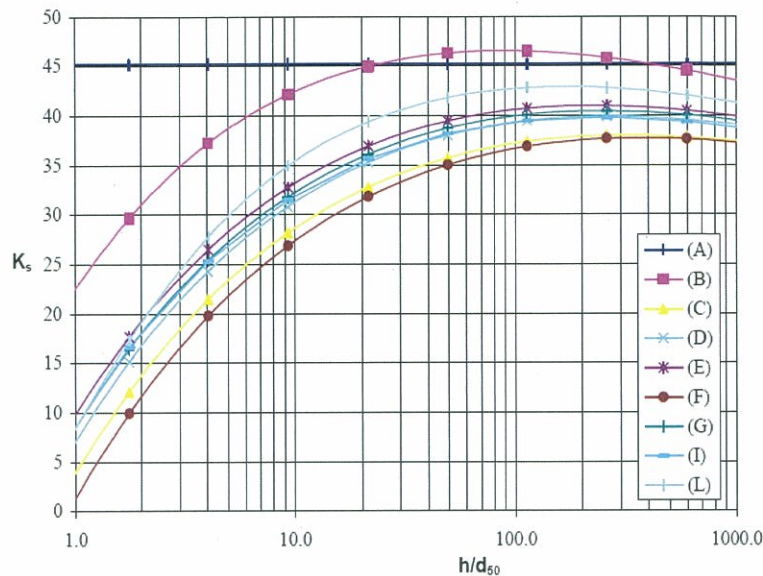


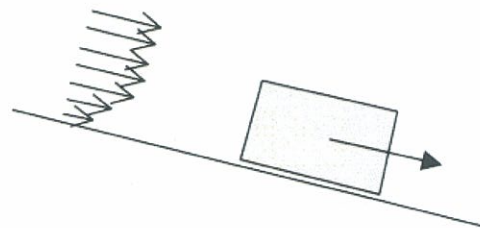
Figura 9: Confronto fra diverse formule: $d_{60}/d_{10}=5$; $d_{50}=0,01m$.

7.2 Schemi concettuali di trasporto-incipiente movimento

Da un punto di vista fenomenologico, il moto delle particelle solide a causa delle forze esercitate dalla corrente può essere inquadrato con diversi schemi concettuali. In ogni caso si deve valutare la stabilità delle particelle di fronte alle forze attive di trascinarsi della corrente e alle forze resistive dovute al peso immerso della particella medesima ed eventualmente al conseguente attrito sul fondo. A parità di ogni altro parametro, all'aumentare della velocità le azioni fluidodinamiche riescono a vincere le azioni stabilizzanti, mettendo in movimento la particella. Le condizioni di flusso in cui la particella si trova al limite del movimento vengono indicate come "critiche", o di incipiente movimento.

Strisciamento (attrito)

La particella striscia sul fondo; le forze idrodinamiche devono superare la reazione vincolare di attrito radente.





Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4455224
 Sede Compartmentale: Contrada Liguri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
 Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
 Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
 Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
 norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
 escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

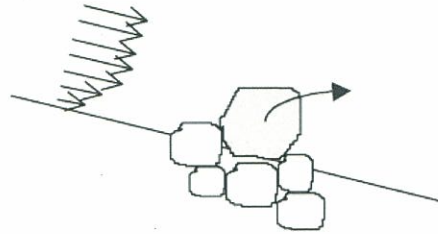
Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

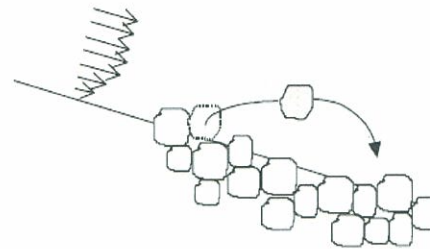
Ribaltamento (senza attrito)

La particella è parzialmente incastrata sul fondo; le forze idrodinamiche devono farla ruotare rispetto al punto di appoggio.



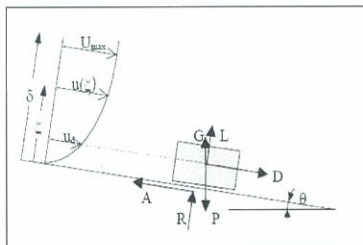
"Saltelli"

La particella è parzialmente incastrata sul fondo; le forze idrodinamiche devono sollevarla rispetto al fondo.



Condizione di incipiente movimento, schema di attrito radente

Sulla base dello schema di attrito radente si cercano le condizioni e, quindi, i legami fra i parametri del sistema, in condizioni di incipiente e movimento. In figura sono indicate le forze che agiscono sulla particella.



- L = Lift(portanza)
- D = Drag(resistenza)
- G = spinta di Archimede
- P = peso proprio
- R = reazione vincolare normale
- A = reazione vincolare tangenziale (Attrito)
- d = dimensione granello

In condizioni di equilibrio statico le reazioni vincolari devono valere:

$$R = (P - G)\cos\theta - L$$

$$A = (P - G)\sin\theta + D$$

il massimo valor della forza tangenziale è:

$$A_{max} = R\tan\beta \quad (\beta = \text{angolo di attrito})$$

La condizione di equilibrio limite (incipiente movimento) viene raggiunta per $A = A_{max}$

I termini possono essere esplicitati come:



$$D = (0,5\rho u_d^2)C_D S$$

$$L = (0,5\rho u_d^2)C_L S = K_L D$$

$$P - G = (\rho_s - \rho)gW$$

dove:

- u_d = velocità della corrente ai fini delle azioni idrodinamiche
- S = superficie frontale del granello $S = \alpha_1 d^2$
- W = volume del granello: $W = \alpha_3 d^3$
- C_D, C_L coefficienti di Drag, Lift :dipendono dalla forma del granello e dal numero di Reynolds; in prima approssimazione si assume costante il rapporto $L/D = K_L$

I coefficienti α_i sono legati alla forma dei granelli, così come C_D e C_L , e si considerano costanti e caratteristici della granulometria dei sedimenti, benché a priori incogniti.

Imponendo che $A = A_{max}$ (limite di attrito, incipiente e movimento) si ottiene:

$$(P-G)\sin\theta + D = [(P-G)\cos\theta - L]\tan\beta$$

$$D + L\tan\beta = (P-G)(\cos\theta \tan\beta - \sin\theta)$$

$$D + L\tan\beta = (P-G)\cos\theta [\tan\beta - \tan\theta]$$

Sostituendo le espressioni per D, L, P-G:

$$(1 + K_L \tan\beta)C_D \alpha_1 d^2 (0,5\rho u_d^2) = (\rho_s - \rho)g\alpha_3 d^3 \cos\theta [\tan\beta - \tan\theta]$$

$$\frac{u_{d,c}^2}{g[(\rho_s - \rho/\rho)]d} = \frac{2\alpha_3}{(1 + K_L \tan\beta)C_D \alpha_1} \tan\beta \cos\theta (1 - \tan\theta/\tan\beta)$$

La velocità u_d rappresenta la velocità efficace agli effetti delle forze fluidodinamiche e può essere considerata pari alla velocità della corrente ad una opportuna distanza dal fondo, proporzionale alla dimensione del granello. Il pedice "c" si riferisce alle condizioni critiche. Sia:

$$u_d = u(\zeta = \alpha_4 d)$$

Esprimendo il profilo di velocità (strato limite) secondo una forma di similitudine del tipo

$u(\zeta)/u^* = f(\zeta/d)$ si ottiene:

$$u_d/u^* = f(\alpha_4) = \alpha_5$$

Tramite la forma del profilo di velocità si è riusciti a legare le condizioni idrodinamiche alla velocità u^* , rappresentante degli sforzi sul fondo, noti o facilmente calcolabili per una corrente, anziché alla meno pratica u_d . la relazione di incipiente movimento risulta pertanto:

$$\frac{u_c^{*2}}{g[(\rho_s - \rho/\rho)]d} = \frac{2\alpha_3 \tan\beta}{(1 + K_L \tan\beta)C_D \alpha_1 \alpha_5^2} \cos\theta (1 - \tan\theta/\tan\beta)$$



La frazione del termine di destra dipende, oltre che dalla granulometria, dal numero di Reynolds tramite C_D, K_L , ed eventualmente α_5 . In sintesi risulta:

$$\phi_c = \frac{u_c^{*2}}{g[(\rho_s - \rho)/\rho]d} = f(Re) \cos\theta(1 - \tan\theta/\tan\beta) \quad (4)$$

Il termine adimensionale:

$$\phi = \frac{u_c^{*2}}{g\Delta d} = \frac{\tau/\rho}{g\Delta d} \Delta = \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)$$

È denominato numero di Shields, e può essere interpretato come il rapporto tra le forze di trascinamento della corrente (proporzionali a τ e d^2) e le forze stabilizzanti (peso immerso proporzionale a $g(\rho_s - \rho)d^3$).

Date le caratteristiche della corrente (e quindi ρ, τ) e quelle dei sedimenti (Δ, ρ_s, d) per valutare la stabilità delle particelle si deve confrontare il valore di ϕ con la soglia critica individuata dalla (4) in cui deve essere ancora definita la funzione incognita $f(\cdot)$. Si avrà quindi:

per $\phi < \phi_c$ granello stabile

per $\phi > \phi_c$ granello in movimento

Il valore di ϕ per la corrente si calcola in funzione degli sforzi sul fondo, ricordando che questi ultimi sono legati alla cadente:

$$\phi = \frac{\tau/\rho}{g\Delta d} = [\tau = \gamma R] = \frac{RJ}{\Delta d}$$

Si noti che il valore di ϕ è legato alla dimensione d dei granuli: il fenomeno di trasporto è selettivo, agendo diversamente sui granelli di diversa dimensione.

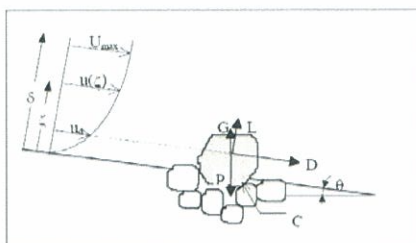
Materiale	ρ_s/ρ	Δ
Quarzo(sabbia)	2.6-2.7	1.6-1.7
Argilla	2.6-2.8	1.6-1.8
Basalto	2.7-2.9	1.7-1.9
Magnetite	3.2-3.5	2.2-2.5
Plastica	1.0-1.5	0-0.5
Carbone	1.3-1.4	0.3-0.4

Tabella 4: Tipici valori per la densità dei materiali rispetto alla densità dell'acqua.



Condizione di incipiente movimento schema di rotolamento

Si faccia riferimento al seguente schema concettuale:



L = Lift(portanza)

D = Drag(resistenza)

T = L+D

G = spinta di Archimede

P = peso proprio

d = dimensione del "granello"

Si impone l'equilibrio alla rotazione rispetto al punto C di contatto. Siano b_T e b_{GP} i bracci di rotazione di T e G+P rispetto a tale punto. Risulta, in condizione limite di ribaltamento:

$$(P - G)b_{GP} = T b_T$$

Esplicitati i termini D, L, P, G analogamente a quanto precedentemente descritto, e sostituendo le espressioni nella relazione di equilibrio alla rotazione, si ottiene :

$$(\rho_s - \rho)g\alpha_3 d^3 b_{GP} = C_D \alpha_1 d^2 (0,5\rho u_d^2) (1 + K_L^2)^{0,5} b_T$$

da cui:

$$\frac{u_d^2}{g[(\rho_s - \rho/\rho)]d} = \frac{2\alpha_3 b_{GP}}{C_D \alpha_1 b_T (1 + K_L^2)^{0,5}}$$

La relazione è sostanzialmente analoga a quella ottenuta dallo schema di attrito radente; la dipendenza da θ entra nel braccio b_{GP} ($b_{GP} = 0$ per $\theta = 0$), mentre b_T è, in linea di principio, indipendente da θ .

Sulla base di opportuni schemi fenomenologici, la stabilità di un granello di fondo può essere valutata sulla base del confronto dello sforzo tangenziale τ (opportunamente normalizzato) esercitato dalla corrente sul fondo rispetto ad una soglia critica di cui rimane da determinare la dipendenza dal numero di Reynolds (ed eventualmente dalla granulometria dei sedimenti).

Shields ipotizza che:



1. $i = 0$ ($\theta = 0$)
2. granulometria uniforme ($d = \text{cost}$)

i valori per la soglia critica sono stati studiati sperimentalmente da Shields (1936) in funzione del numero di Reynolds $Re^* = u^*d/\nu$, ottenendo l'andamento rappresentato nella figura seguente (l'apice "0" apposto a ϕ_c sta ad indicare la condizione $i = 0$). In altre parole la figura seguente rappresenta la definizione sperimentale della funzione $f(\cdot)$ nella (4), la cui dipendenza dal numero di Reynolds non era stata specificata.

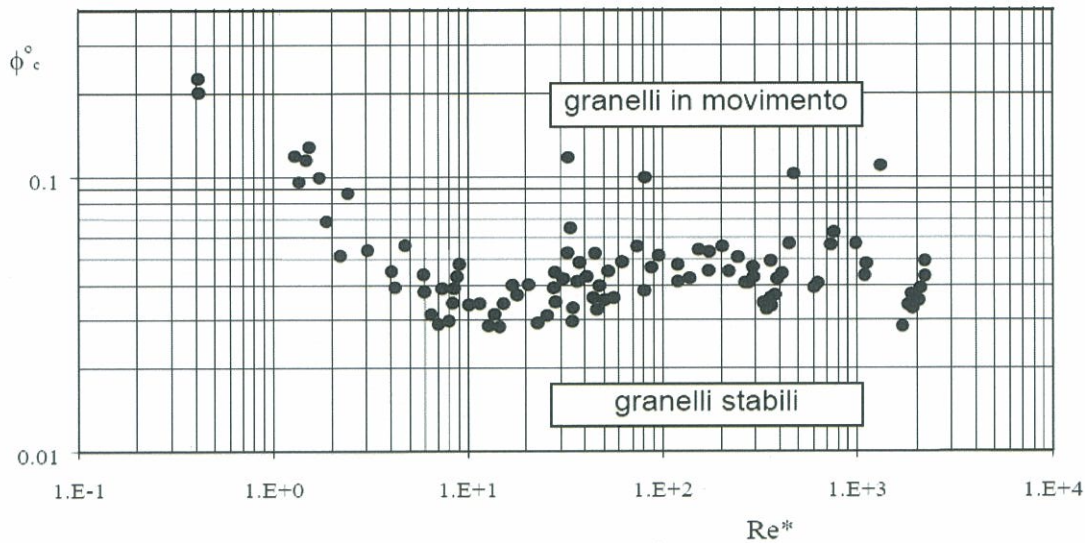


Figura 10: Abaco di Shields.

In relazione all'abaco di Shields si possono fare alcune osservazioni.

- 1) La soglia ϕ_c di incipiente e movimento risulta dipendere dal numero di Reynolds soprattutto ai valori inferiori di Re^* . Agli alti numeri di Reynolds il fenomeno risulta di fatto indipendente da Re^* (la viscosità non ha più alcun effetto). Peraltro nella maggior parte dei casi si ha $Re^* > 100$, e conseguentemente è lecito assumere $\phi_c^* = \text{cost.}$ (si vedano a tal proposito i due esempi riportati).



Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00195 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
 Sede Compartimentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
 Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
 Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
 Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
 norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
 escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

Canale	Fiume di montagna
$d = 0,001 \text{ m}$	$d = 0,01 \text{ m}$
$K_s = 50$	$K_s = 25$
$i = 0,1 \%$	$i = 1 \%$
$Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 145 \text{ m}^3/\text{s}$
$h_o = 2,4 \text{ m}$	$h_o = 2,5 \text{ m}$
$R = 1,4 \text{ m}$	$R = 1,8 \text{ m}$
$C = 53 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$	$C = 28 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$
$U = 2,0 \text{ m/s}$	$U = 5,2 \text{ m/s}$
$u^* = 0,12 \text{ m/s}$	$u^* = 0,59 \text{ m/s}$
$\Rightarrow Re^* = 120$	$\Rightarrow Re^* = 5900$

- 2) Nel campo, ai maggiori numeri di Reynolds, la maggior parte dei punti sperimentali è compresa in $\phi_c = 0,04 \div 0,06$, ma si arriva anche $\phi_c = 0,1$.
- 3) Molteplici cause giustificano la notevole dispersione dei punti:
 - Sono stati di fatto trascurati i parametri caratteristici della forma e della disposizione dei sedimenti; tali parametri sono in effetti indeterminabili, e del tutto casuali per il singolo granello, sebbene si possa pensare di identificare valori "efficaci" rappresentativi dell'insieme dei sedimenti.
 - Imperfetta similitudine dei profili di velocità implicitamente contenuti nel confronto fra ϕ e ϕ_c .
 - Non univocità del criterio per identificare le condizioni di incipiente movimento, da valutarsi sulla base del moto di una quantità finita di granelli.
 - Nel seguito sono discusse alcune estensioni ai risultati Shields, per condizioni al di fuori dei limiti sperimentali relative ai dati sopra discussi.

Granulometria non uniforme

Se i sedimenti non hanno dimensione costante si ritiene di poter confrontare il parametro di mobilità con il valore di soglia all'incipiente movimento selettivamente per ogni frazione granulometrica:

$$\phi(d) = Rf/\Delta d \quad \leftrightarrow \quad \phi_c(Re^*)$$

Esiste un valore minimo di d al di sotto del quale i granelli vengono trasportati dalla corrente. A causa del fenomeno descritto si determina una situazione di erosione selettiva dei sedimenti a minor diametro, e di conseguenza una variazione della distribuzione granulometrica nello strato superficiale, caratterizzato da un aumento della dimensione media dei granelli; si è soliti definire tale fenomeno con il termine di corazzamento, ad indicare una aumentata resistenza superficiale del fondo all'erosione. Qualora lo strato superiore dei sedimenti venga rimosso, la resistenza all'erosione cala bruscamente, gli strati inferiori caratterizzati dalla granulometria originale ritornano, perciò, ad essere esposti alle azioni idrodinamiche. Si osservi anche come la presenza di particelle di elevata dimensione tende a "proteggere" quelle più piccole, e viceversa una particella grossa isolata fra particelle di dimensioni minori risulta più esposta che nel caso di granulometria uniforme.





Correzione di pendenza $\neq 0$

Valori di pendenza di fondo diversi da 0 riducono la stabilità dei granelli, riducendo in tal modo l'effetto stabilizzante della gravità. Nel caso limite in cui $\theta = \beta$ (inclinazione de pari all'angolo di natural declivio dei sedimenti) risulta $\phi_c = 0$ (i granelli si muovono per $\phi = 0$ ovvero per $\tau=0$). Il coefficiente correttivo da applicare a ϕ_c^0 per tener conto della pendenza è evidenziato nella (4) risultando:

$$\phi_c = \phi_c^0 \cos\theta \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\beta}\right) \quad (5)$$

L'andamento di tale correttivo è diagrammato nella figura seguente:

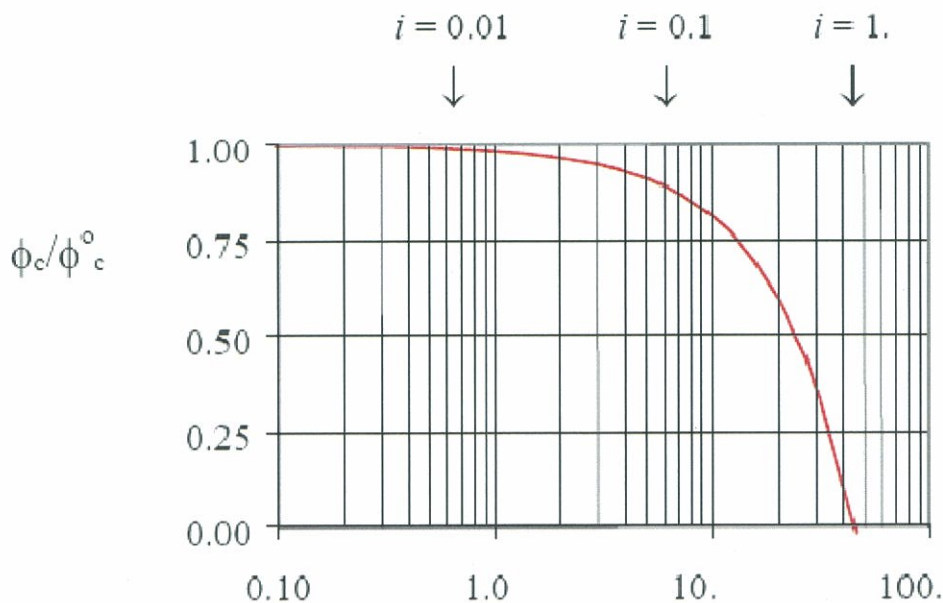


Figura 11: Correttivo per la pendenza del fondo ($\beta=45^\circ$).

Fattori correttivi differenti dalla (5) sono proposti in letteratura, sulla base di schemi concettuali diversi; gli andamenti risultano comunque qualitativamente e quantitativamente paragonabili a quello di figura 11.

h/d ridotti (basso grado di sommergenza)

I risultati dell'abaco di Shields valgono se le dimensioni dei granelli sono piccole rispetto a quelle della corrente, ossia per valori rilevanti del grado di sommergenza h/d. Per $h/d < 6$ la soglia di incipiente equilibrio deve essere corretta, risultando questa inversamente proporzionale a h/d.

Tale effetto è dovuto alla deformazione dei profili di velocità: $u_d \leftrightarrow u^*$ risulta diverso per h/d ridotti rispetto alle leggi "universali" valide per i maggiori rapporti di sommergenza, e quindi risulta



altrettanto differente il legame tra gli sforzi e sul fondo (ovvero le perdite di carico) e la mobilità dei granelli; si riscontra, di fatto, che questa si riduce progressivamente al diminuire di h/d . Si riportano di seguito due correttivi proposti in letteratura per tenere conto degli effetti sopra discussi.

Suska(1991):

$$\phi_c^0 = 0,0851 \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{-0,266} \quad (6)$$

Armani e Scotton(1994):

$$\phi_c^0 = 0,06 \left(1 + 0,67 \sqrt{\frac{d}{h}} \right) \quad (7)$$

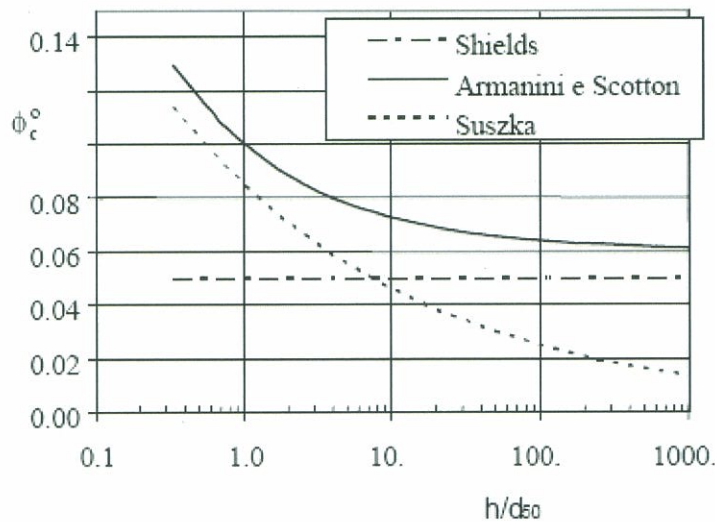


Figura 12: Correttivi per h/d ridotti.

Entrambi i correttivi determinano un aumento di ϕ_c^0 al diminuire di h/d , in conseguenza della diminuita mobilità dei granelli al diminuire del grado di sommergenza.

Legami fra pendenza e grado di sommergenza



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartmentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

Se consideriamo la corrente in moto uniforme, fissate la sezione, la pendenza e la dimensione dei sedimenti, risulta univocamente determinata la portata in condizione di incipiente movimento, e la rispettiva profondità d'acqua h . In figura 12 i due parametri i e h/d sono correlati fra loro; si riporta un esempio della dipendenza di Q_c e i_c con h/d .

A parità di granulometria, all'aumentare della pendenza critica diminuiscono sia la corrispondente portata che il grado di sommergenza. Gli effetti di i e h/d risultano contrastanti producendo l'andamento di figura 13. L'effetto stabilizzante per bassi valori di h/d viene ridotto dall'effetto destabilizzante della pendenza, fino a che quest'ultimo prevale.

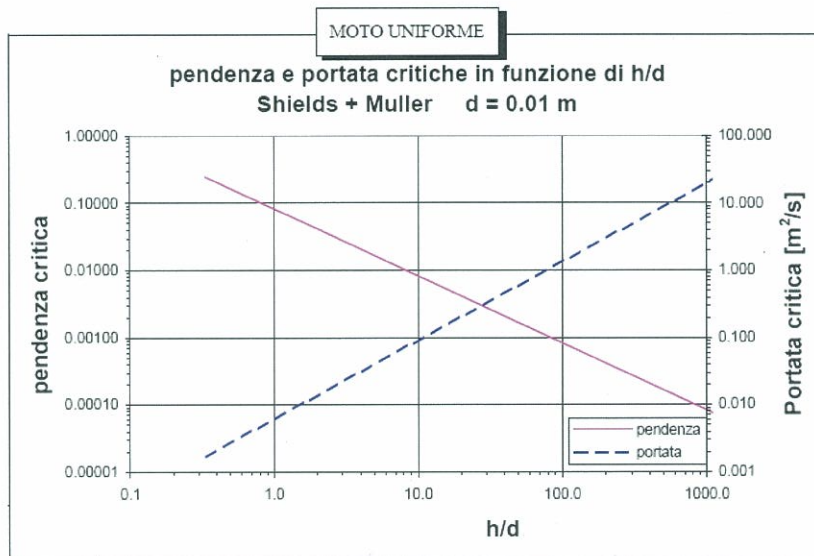


Figura 13: Pendenza e portate critiche in funzione di h/d .

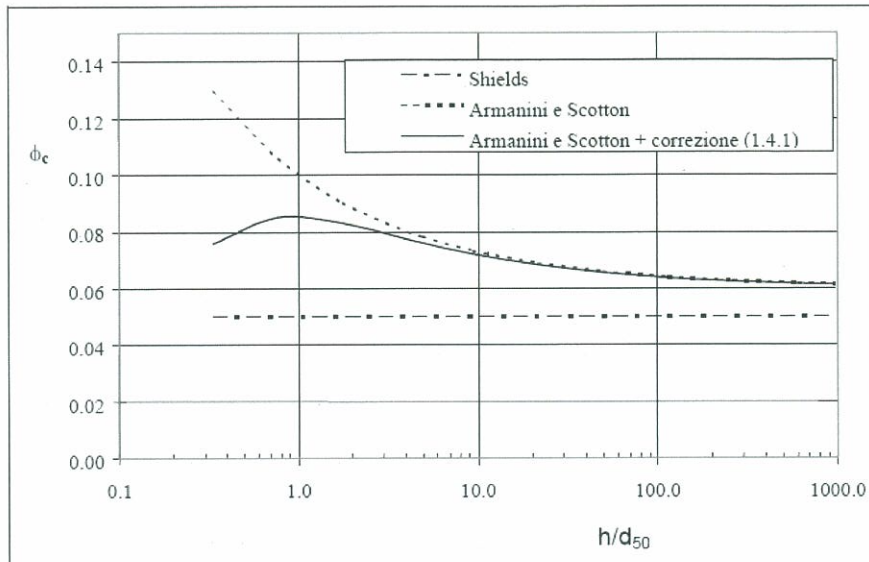


Figura 14: Φ_c in funzione di h/d .

Effetti della forma della sezione

In relazione alla forma della sezione si devono considerare tre punti:

1. Le relazioni presentate sono valide per correnti indefinite in senso trasversale, ovvero per sezioni "larghe"; per sezioni di forma generica si deve sostituire nelle relazioni la profondità h con il raggio idraulico R (mentre per sezioni larghe è lecita l'approssimazione $R \cong h$).
2. I fenomeni erosivi coinvolgono non solo il fondo ma anche le sponde della sezione. Le formule di incipiente movimento devono però essere corrette per tenere conto dell'effetto instabilizzante dell'inclinazione delle sponde medesime, analogo all'effetto dell'inclinazione del fondo. Detto α l'angolo di inclinazione delle sponde, risulta un fattore di riduzione della soglia critica:

$$\frac{\tau_c(\alpha)}{\tau_c(\alpha = 0)} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta}}$$



La soglia critica si annulla per pendenza delle sponde pari all'angolo di natural declivio per i sedimenti, ovvero $\tau_c = 0$ per $\alpha = \beta$



Il valore di sforzo da confrontarsi con la soglia di incipiente movimento viene valutato attraverso la relazione $\tau = \gamma R J$. tale valore rappresenta il valore medio dello sforzo sulla sezione; per sezioni trasversalmente non indefinite, le τ non sono uniformemente distribuite sulla sezione, e pertanto bisogna valutare i punti più critici, separatamente per il fondo e per le sponde.

7.2.1 Analisi dimensionale

La determinazione della soglia di incipiente movimento è stata condotta su basi concettuali; ad analoghi risultati si può arrivare, per via puramente dimensionale, scegliendo opportunamente i parametri da cui dipende il fenomeno. Si presentano, di seguito, due approcci alternativi per l'analisi dimensionale del fenomeno, a partire da due diversi gruppi di variabili descrittivi del sistema.

Variabili locali al fondo

Poiché il fenomeno del trasporto dipende dalle caratteristiche della corrente in prossimità del fondo, più che da quelle d'insieme, si sceglie caratterizzare la corrente medesima con un valore di velocità in prossimità del fondo, ad altezza caratteristica del granulo (u_c^d). In condizioni critiche vale una relazione del tipo:

$$f_1(u_c^d, \rho, \rho_s, \mu, g, i, d, \sigma_i) = 0$$

con: $u_c^d = u(\zeta = \text{altezza granulo}) = u(\alpha_4 d)$

σ_i = parametri (adimensionali) di forma



Scelta come terna fondamentale :

$$u_c^d, \rho, d$$

La funzione assume la forma:

$$f_2\left(\frac{(u_c^d)^2}{gd}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{\rho u_c^d d}{\mu}, i, \sigma_i\right) = 0 \quad (8)$$

Ricordando le espressioni ricavate per i profili di velocità

$$\frac{u(\zeta)}{u^*} = f\left(\frac{\zeta}{\zeta_0}, \frac{h}{d}\right) \Rightarrow \frac{u^d}{u^*} = \frac{u^d(\zeta_d)}{u^*} = f\left(\frac{\zeta_d}{\zeta_0}, \frac{h}{d}\right)$$

$$\zeta_d = \alpha_4 d, \zeta_0 = \alpha_5 d \Rightarrow \frac{u^d}{u^*} = f\left(\frac{\alpha_4 d}{\alpha_5 d}, \frac{h}{d}\right) = f\left(\sigma_i, \frac{h}{d}\right)$$



La f_2 può essere ridotta alla forma:

$$f_3 \left(\frac{(u_c^*)^2}{gd}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{u_c^* d}{v}, i, \sigma_i, \frac{h}{d} \right) = 0$$

Che può essere anche scritta come:

$$\phi_c = \frac{u_c^{*2}}{g[(\rho_s - \rho)/\rho]d} = f_4 \left(\frac{\rho}{\rho_s}, \frac{u_c^* d}{v}, i, \sigma_i, \frac{h}{d} \right) \quad (9)$$

Sulla base dell'analisi dimensionale, accoppiata con la conoscenza delle forme generali dei profili di velocità, si è ottenuto un risultato analogo a quello ottenuto con lo schema concettuale (4).

Variabili globali della corrente

Con questo approccio si vuole studiare il fenomeno direttamente in funzione dei parametri caratteristici della intera corrente, giacché questi sono in effetti i valori immediatamente noti per il sistema. In condizioni critiche vale pertanto una relazione del tipo:

$$g_1(U_c, h, \rho, \rho_s, \mu, g, i, d, \sigma_i) = 0$$

Si noti che la corrente è caratterizzata, oltre che dalla velocità media, dalla sua profondità h . Analogamente a quanto fatto per le variabili locali si ottiene:

$$g_2 \left(\frac{U_c}{\sqrt{gd}}, \frac{h}{d}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{\rho U_c d}{\mu}, i, \sigma_i \right) = 0$$

Si definisce poi un indice di Froude di trasporto $F = U/\sqrt{g\Delta d}$, ottenendo per lo stato critico:

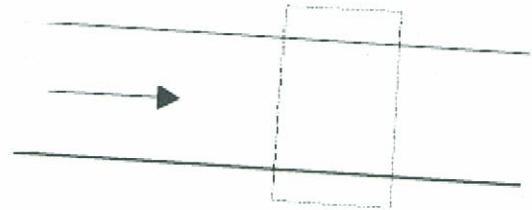
$$F_c = \frac{U_c}{\sqrt{g \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d}} = g_3 \left(\frac{h}{d}, \frac{\rho U_c d}{\mu}, i, \sigma_i, \left[\frac{\rho}{\rho_s} \right] \right) = 0 \quad (10)$$

Legame tra i due approcci (locale-globale)

Confrontando (2.4.2) e (2.4.3) si ottiene:

$$F_c = \frac{U}{u^*} \sqrt{\phi_c}$$

Con riferimento alle leggi di resistenza si ottiene:





Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Montebiano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4455224
 Sede Compartimentale: Contrada Liguori - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
 Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
 Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
 Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
 norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
 escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

$$\frac{U}{u^*} = \sqrt{\frac{8}{\lambda}} = \frac{C}{\sqrt{g}} = f\left(\frac{h}{d}, Re\right)$$

Variabili globali e variabili di fondo in sostanza sono in collegate dalla legge di resistenza. Si noti come la dipendenza di F_c da h/d sia dovuta essenzialmente al coefficiente di resistenza, e solo secondariamente alla fenomenologia della movimentazione dei grani.

Leggi di incipiente movimento (approccio alternativo)

Come visto in precedenza, le condizioni di incipiente movimento sono state valutate sulla base del confronto fra lo sforzo esercitato dalla corrente sul fondo ed il valore di soglia per un granello per essere mosso. Le condizioni critiche possono, evidentemente, essere definite sulla base di grandezze diverse dagli sforzi; in generale si può esprimere una qualsiasi grandezza (U, u^*, τ, i, Q) in funzione delle altre, sempre in stato di incipiente movimento per ottenere relazioni del tipo:

$$U_c = \dots \quad \tau_c = \dots \quad i_c = \dots \quad q_c = \dots$$

Numero di Froude Critico

È d'uso esprimere le condizioni critiche in funzione della velocità media della corrente che, ancor più dello sforzo τ sul fondo, risulta parametro caratteristico della corrente medesima. Velocità media e sforzi sono legati dalle formule di resistenza, ovvero dal legame $U \leftrightarrow u^*$. Richiamando l'indice di Froude trasporto (11):

$$F_c = \frac{U_c}{\sqrt{g \Delta d}} = \frac{U}{u^*} \sqrt{\phi_c} \quad (11)$$

Esplicitando il rapporto U/u^* si ottiene:

$$F_c = a \left(\frac{h}{d_x}\right)^b \sqrt{\phi_c(Re^*)}$$

In funzione dei risultati già discussi per ϕ_c , e delle formule di resistenza, si potrebbero ricavare le relazioni di incipiente movimento, espresse in termini di F_c . In letteratura sono riportati i coefficienti e gli esponenti della relazione suddetta valutati a seguito di prove sperimentali.

$F_c = \alpha \left(\frac{h}{d_x}\right)^\beta$	α	β	X
Marchi e Rubatta (1981)	1.3	1/6	50
Neille (Aguirre-Pe e Fuentes, '91)	1.58	0.1	unif.
Neille (Bartnik, 1991)	1.24	0.12	unif.
Neille (Paoletti, 1990)	1.4	1/6	50
Maza e Garcia (Aguirre)	1.5	0.15	unif.
Hancu, $d_{90} > 70\text{mm}$	1	0.2	90
Hancu, $d_{90} < 70\text{mm}$	1.2-1.4	0.2	90
Aguirre-Pe e Fuentes	$F_c^2 = 0.9 + 0.5 \ln(h/d) + 1.3 d/h$		





Tabella 5: Coefficienti del numero di Froude critico.

Analogamente a quanto visto per ϕ_c , le formule in F_c devono essere opportunamente corrette per tenere conto di condizioni diverse da quelle di taratura.

1. Effetti della pendenza del fondo non trascurabili

Nel caso di pendenza non trascurabile dell'alveo la soglia della stabilità dei sedimenti deve essere ridotta per tenere conto degli effetti gravitazionali. Risulta, alla base dei risultati del paragrafo (6.1.3):

$$F_c = F_c^0 \sqrt{\cos\theta \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\beta}\right)}$$

2. Effetti della sommergenza ridotta

Tutte le formule di F_c contengono il rapporto h/d , tarandole su valori ridotti di tale rapporto, dovranno necessariamente tener conto degli effetti della sommergenza ridotta (attraverso i suoi effetti sui profili di velocità e sulle leggi di resistenza). Se invece, si ha a che fare con valori minimi di h/d ci si aspetteranno andamenti di $F_c(h/d)$ differenti da quelli indicati.

3. Effetti della non uniforme distribuzione granulometrica

Valgono le stesse considerazioni identiche a quelle esposte in relazione a ϕ_c .

Ulteriori formule di incipiente movimento

Si riportano di seguito alcune formule di incipiente movimento ritenute significative, o perché ricorrenti nell'uso tecnico, o perché promettenti nella loro capacità di interpretare risultati sperimentali in condizioni di elevate pendenze e sedimenti grossolani.

Valentini	$i_c = 0.057 \Delta \frac{d}{\tau}$
Battes(1984)	$\frac{q_c}{\sqrt{\tau}} = \frac{0.134}{\ln} \frac{1.221}{\tau}$
Bathurst et al.(1987)	$\frac{q_c}{\sqrt{\tau}} = 0.15 i^{-1.12}$



Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 90208450587
 Sede legale: Via Montebiano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
 Sede Compartimentale: Contrada Liguri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
 Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5° - C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
 Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
 norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
 escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

Bathurst et al.(1987)	$\frac{q_c}{\dots} = 0.21i^{-1.12}$
Graf e Suszka(1987)	$\phi_c = 0.042 \cdot 10^{2.2i}$

Tabella 6: Formule di incipiente movimento

Osservazioni:

1. Nelle formule non compare il numero di Reynolds; valgono pertanto per valori sufficientemente elevati dello stesso.
2. Le formule sopra indicate tengono conto delle pendenze elevate, data la dipendenza esplicita da i .
3. Tutte le formule valgono esclusivamente in condizione di moto uniforme. Ciò giustifica la mancanza di una dipendenza esplicita da h/d .
4. In conseguenza del punto precedente si può ritenere che, le formule presentate tengano già in conto gli effetti di un ridotto grado di sommergenza. Si noti in particolare la formula di Graf Suszka: l'indicazione di un ϕ_c crescente al crescere di i presuppone evidentemente di tenere già in
5. conto l'effetto stabilizzante di h/d ridotto a compensazione dell'effetto instabilizzante delle elevate pendenze.

CONFRONTO TRA LE FORMULE

Nelle figure seguenti sono state messe a confronto le formule discusse in precedenza. Per permettere il confronto tutte le formule sono state esplicitate in termini di ϕ_c . Tutte le formule sono riferite a sezione "larga" (in cui $R=h$), in condizioni di moto uniforme, per elevati numeri di Reynolds.

Osservazioni

- Per i minori valori di i , ovvero elevati valori di h/d , la maggior parte delle formule portano a valori approssimativamente costanti per ϕ_c , distribuiti all'interno della fascia dei valori in cui si disperdono i punti dell'abaco di Shields ($\phi_c = 0,03 \div 0,06$; $Re^* > 70$). Fanno eccezione alcune formule che appaiono evidentemente inadeguate a stimare la soglia di incipiente movimento per piccoli valori di pendenza.
- Per $i > 0,2$, $h/d < 6$, ovverosia al di fuori del campo di validità dell'abaco di Shields, si presentano andamenti contrastanti: alcune formule indicano andamenti crescenti della soglia di mobilità, in corrispondenza della riduzione del grado di sommergenza, salvo invertire tale andamento per le pendenze più elevate qualora sia presente un correttivo specifico per la pendenza; per altre formule prevale senz'altro quest'ultimo effetto, cosicché la soglia di incipiente movimento è indicata essenzialmente decrescente al crescere di i e quindi di h/d .





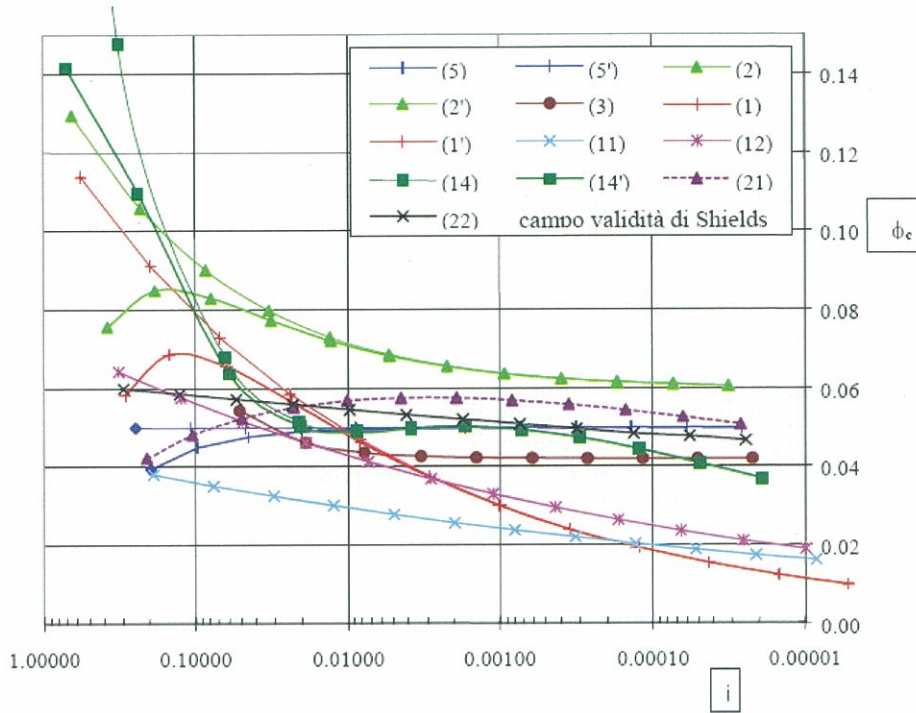
Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Morzambano, 10 - 00135 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
 Sede Compartimentale: Contrada Ligiuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
 Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)
 Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica





Anas SpA Società con Socio Unico
 Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
 Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
 Sede Compartmentale: Contrada Ligliuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.398301 - Fax. 0984.36500
 Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

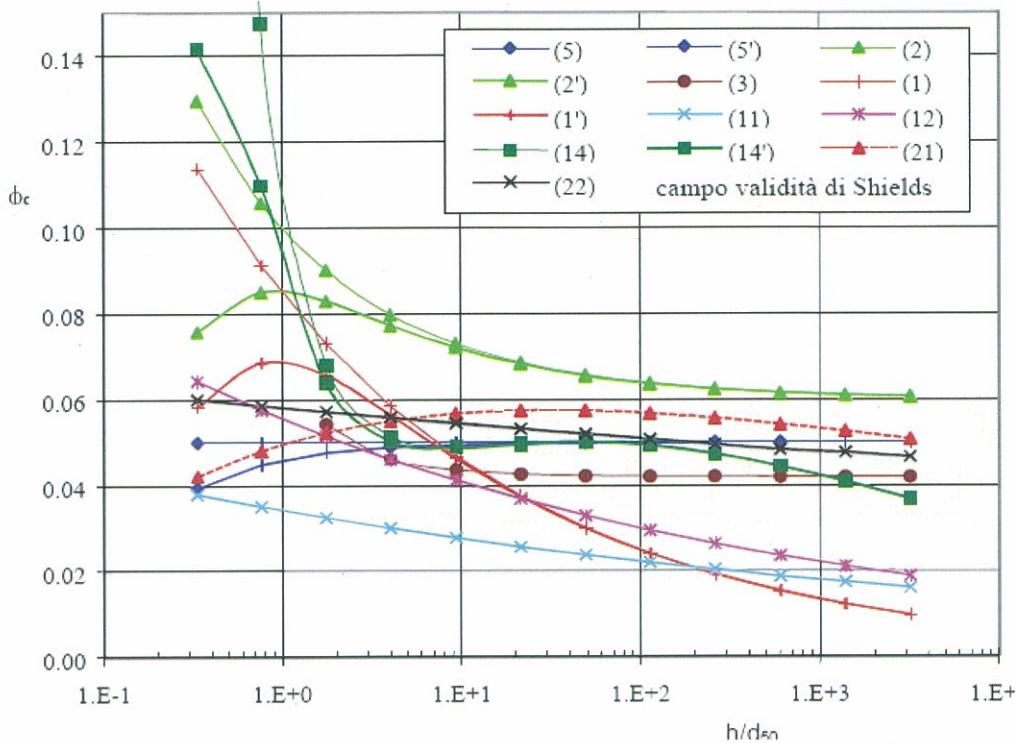


Figura 15: Confronto fra le formule di incipiente movimento.



Riferimento	Formula	Note	
Shields	$\phi_c = 0.05$	$h/d > 6$	(5)
Shields	$\phi_c = 0.05 \cos \theta \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \beta} \right)$	$h/d > 6$	(5')
Armanini e Scotton	$\phi_c^e = 0.06 \left(1 + 0.67 \sqrt{\frac{d}{h}} \right)$		(2)
Armanini e Scotton	$\phi_c^e = 0.06 \left(1 + 0.67 \sqrt{\frac{d}{h}} \right) \cos \theta \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \beta} \right)$		(2')
Graf e Suszka	$\phi_c = 0.042 10^{2.2 i}$	$i = 0.02+0.2$	(3)
Suszka	$\phi_c^e = 0.0851 \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{-0.266}$	$h/d = 0.5+50$	(1)
Suszka	$\phi_c^e = 0.0851 \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{-0.266} \cos \theta \left(\tan \beta - \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho} \tan \theta \right)$	$h/d = 0.5+50$	(1')
Neille	$F_c = 1.24 \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{0.12}$		(11)
Neille	$F_c = 1.58 \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{0.10}$		(12)
Aguirre-Pe e Fuentes	$F_c^e = 0.9 + 0.5 \ln \left(\frac{h}{d} \right) + 1.3 \frac{d}{h}$	$h/d = 0.2+30$	(14)
Aguirre-Pe e Fuentes	$F_c^e = \left[0.9 + 0.5 \ln \left(\frac{h}{d} \right) + 1.3 \frac{d}{h} \right] \sqrt{\cos \theta (\tan \beta - \tan \theta)}$	$h/d = 0.2+30$	(14')
Bettes	$\frac{q_e}{\sqrt{g d^3}} = \frac{0.134}{i} \ln \frac{1.221}{i}$	$i = 0.002+0.1$ $(h/d = 1+100)$	(21)
Bathurst et al.	$\frac{q_e}{\sqrt{g d^3}} = 0.15 i^{-1.12}$	$i = 0.002+0.1$ $(h/d = 1+100)$	(22)

Tabella 7: Formule di incipiente movimento .



7.3 Simulazione del trasporto

Al fine di valutare, in mancanza di misure dirette, quale può essere l'entità del fenomeno del trasporto solido in un alveo torrentizio a fondo mobile, la bibliografia tecnica propone alcune formulazioni; tuttavia, il gran numero di parametri in gioco e la loro variabilità rende tali modelli estremamente indeterminati.

Per l'aleatorietà dei parametri da utilizzare, si riserva per il trasporto solido un'altezza pari ad $1/3 \div 1/6$ dell'altezza d'acqua calcolata dal modello in base al valore di portata assegnato in precedenza; pertanto nelle successive verifiche si assume per il calcolo dell'altezza idrometrica comprensiva del trasporto solido il coefficiente di $1/6$.

Pertanto l'altezza idrometrica totale di calcolo in base alla quale verificare gli attraversamenti risulta pari a:

$$Y_{tot} = Y_{idr} + Y_{sol} = Y_{idr} + Y_{idr} / 6$$

Tabella 8: Altezza livello idrico totale – impluvio 1 – Fosso Piano Scirò.

SEZIONE	PORTATA DI PIENA	ALTEZZA LIVELLO IDRICO (m)	ALTEZZA TRASPORTO SOLIDO (m)	ALTEZZA LIVELLO IDRICO TOTALE (m)
8	4.54	0.67	0.11	0.78
7	4.54	0.3	0.05	0.35
6	4.54	0.26	0.04	0.30
5	4.54	0.25	0.04	0.29
4.5	4.54			
4	4.54	0.67	0.11	0.78
3	4.54	0.35	0.06	0.41
2.5	4.54	0.3	0.05	0.35
2.1	4.54	0.21	0.04	0.25
2	4.54	0.24	0.04	0.28
1	4.54	0.29	0.05	0.34

Tabella 9: Altezza livello idrico totale – impluvio 2 – Fosso Favagrea 1.

8 VERIFICHE FOSSI DI GUARDIA

Per la verifica idraulica della rete di raccolta delle acque superficiale è stata presa in considerazione la sezione idraulica relativa alla canaletta rivestita in geostuoia avente pendenza media pari al 25% e dimensioni come mostrato in figura.



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4435224
Sede Compartimentale: Contrada Liguri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.308301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

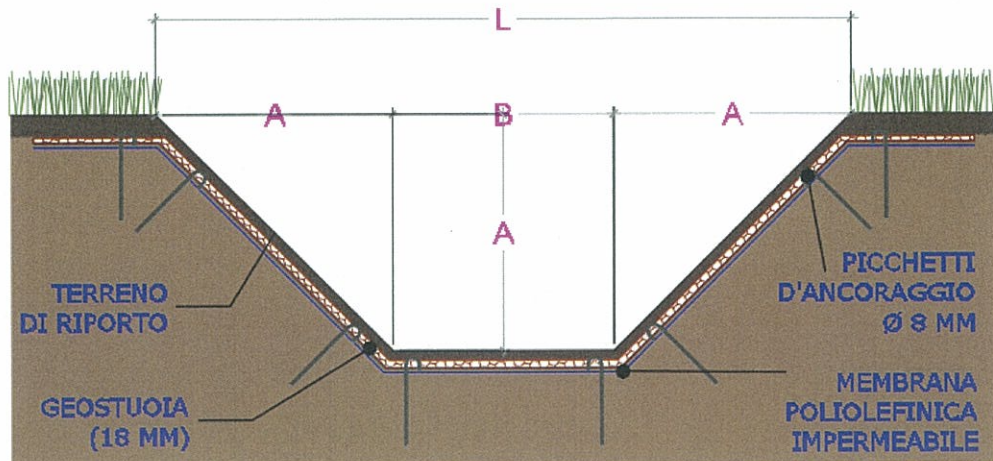


Figura 16: Particolare fossa di guardia in geostuoia.

I parametri per la valutazione della portata di piena sono stati determinati facendo riferimento alla procedura di calcolo descritta nel capitolo 6 della presente relazione.

Il massimo annuale delle portate al colmo di piena con periodo di ritorno T è stato calcolato come:

$$Q_T = K_T m(Q)$$

per T = 50 anni risulta $k_{T=50} = 2,74$

Il bacino della canaletta per la raccolta delle acque superficiali ricade interamente interamente nell'area pluviometrica omogenea T4 nella quale i parametri della LPP sono quelli di seguito indicati :

- $a = 26,73$;
- $C = 0,00028$;
- $D = 1,736$
- $n = 0,263$ ($z = 400$ m s.l.m.)
- $A_{rid} = 19500$ mq

$$t_r = \frac{1,5}{3,6} \cdot \frac{\sqrt{A_{rid}}}{c} = 0,04 \text{ ore}$$

La portata di piena con T= 50 anni risulta quindi pari a

$$Q_{50} = 0,70 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Il contraente:

Il progettista:

54



La verifica è stata eseguita considerando i seguenti dati di input e output.

CALCOLO OFFICIOSITA' ALLA SEZIONE S (Q_s)
Condizioni approssimate di moto uniforme

Formola di Bazin II

$$Q = AV$$

$$V = K \sqrt{RJ}$$

$$K = \frac{87 \sqrt{R}}{\sqrt{R} + y}$$

A = Area sezione utile
R = Raggio idraulico = A/C
C = Contorno bagnato
J = i = pendenza
J = coefficiente di Gauckler-Strickler
y = coefficiente di Bazin
F = franco di sicurezza

Geometria					
L =	0.90	m	tan(α) =	1.00	[-]
b =	0.30	m	B =	0.80	m
H =	0.30	m	A =	0.14	m ²
F =	0.05	m	C =	1.01	m
J =	0.25000	m/m	R =	0.14	m
pendenza	25 %				

Coef. Scabrezza - Gauck.-Strick.		
K _s =	50.00	m ^{1/3} /s
X =	35.88	m ^{1/2} /s
V =	6.63	m/s
Q =	0.91	mc/s

Dal confronto delle due portate, le dimensioni della canaletta risultano adatte a soddisfare la portata di piena del bacino in esame.

9 CONCLUSIONI

L'analisi idrologica ed idraulica condotta su bacini di interesse, ha permesso di determinare la massima portata di piena riferita ai tempi di ritorno richiesti dalle norme vigenti, prescritta per le verifiche idrauliche per i corsi d'acqua principali e simulare il comportamento dei flussi idrici nell'ipotesi di monodimensionalità della corrente in moto permanente.

Il profilo della corrente, determinato mediante l'utilizzo del modulo HEC-RAS 5.0.3, ha permesso di individuare il livello del pelo libero nelle sezioni di rilievo disponibili nelle simulazioni effettuate, relativamente al tempo di ritorno di 200 anni, ed effettuare le verifiche delle opere in progetto. Le attività sono state svolte nel rispetto delle normative nazionali ed, in particolare, del "Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Calabria.

È stata prevista la realizzazione di:



Anas SpA Società con Socio Unico
Cap. Soc. € 2.269.892.000,00 - Iscr. R.E.A. 1024951 - P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587
Sede legale: Via Monzambano, 10 - 00185 Roma - Tel. 06 44461 - Fax 06 4456224
Sede Compartimentale: Contrada Ligliuri - 87100 Cosenza - Tel. 0984.398301 - Fax. 0984.36500
Ufficio Alta Sorveglianza - Macrolotto 5°: C.da Garanta Palmi (RC)

Ufficio per l'Autostrada SA-RC di Cosenza

Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria
Lavori di Ammodernamento e Adeguamento al tipo A1 delle
norme CNR/80 dal km 393+500 (svincolo di Gioia Tauro
escluso) al km 423+300 (svincolo di Scilla escluso).

Progetto Costruttivo

Interventi di ripristino ambientale

Area Costaviola

Relazione idrologica e idraulica

- Salti di fondo;
- Attraversamenti.

Dai risultati ottenuti, è stato possibile verificare che il transito delle piene duecentennali, è sempre contenuto all'interno dell'alveo di progetto senza aumentare la pericolosità delle aree di intervento

Al fine di contenere le elevate pendenze nei tratti interessati dalla sistemazione sono stati previsti dei salti in gabbioni, dei quali si è tenuto conto nelle analisi idrauliche condotte, e mediante i quali è stato possibile riportare la velocità della corrente a valori tali da non costituire un problema nei confronti dei fenomeni erosivi.

Per quanto riguarda gli attraversamenti previsti in progetto, le analisi idrauliche condotte hanno evidenziato che il deflusso è sempre contenuto all'interno dell'alveo, anche in condizioni piena duecentennale e di incremento del tirante idrico dovuto al deposito da trasporto solido.

Alla luce dei risultati ottenuti nel corso del presente Studio, si può concludere che l'intervento di progetto risulta essere compatibile con le finalità e le prescrizioni del PAI e garantisce ampi margini di sicurezza per cui risulta esente da condizioni di rischio idraulico.

Il contraente:

Il progettista:

56