

## **CAPITOLO 3**

### **PROBLEMATICHE E CRITICITA' DEL BACINO**

#### **3.1 Premessa**

L'indagine fino a qui condotta sulle caratteristiche fisiche del bacino costituisce la base dell'elaborazione della carta della pericolosità, che ha il fine di individuare le criticità del bacino e suddividere il territorio in aree a differente grado di pericolosità.

La sovrapposizione delle classi di pericolosità con gli elementi a rischio, individuati mediante l'analisi dell'uso del suolo, porta infine alla carta del rischio.

Nell'ambito del presente piano la pericolosità è stata valutata sulla base delle componenti idraulica e geomorfologica.

A riguardo della pericolosità idraulica, la portata di massima piena con assegnato periodo di ritorno viene generalmente assunta come parametro rappresentativo: la probabilità annua di superamento di tale portata individua la pericolosità stessa.

Nella carta delle fasce di inondabilità sono perimetrate tre fasce corrispondenti al deflusso della massima piena con periodo di ritorno di 50, 200 e 500 anni. La pericolosità per portate superiori è ritenuta trascurabile.

La pericolosità geomorfologica è rappresentata dalla suscettività al dissesto dei versanti, intesa come la propensione di una determinata area all'innescò di movimenti di massa sia in relazione alle caratteristiche fisiche dei “materiali” sia riguardo all'esposizione nei confronti degli agenti morfogenetici.

In realtà la valutazione del reale stato di pericolosità presente sul territorio, intesa come la probabilità che un determinato fenomeno si verifichi, è legata altresì alla determinazione della dinamica evolutiva del fenomeno stesso. Quest'ultimo aspetto non può essere valutato aprioristicamente, nemmeno attraverso sofisticati modelli di analisi territoriale, poiché dipende strettamente dalla tipologia del fenomeno e dal modello fisico e geotecnico del terreno che è definibile solo attraverso specifiche indagini geognostiche ed approfondimenti sul campo.

Mentre nelle aree ad elevata o molto elevata suscettività al dissesto è immediatamente determinabile il grado di rischio associato, nelle aree a bassa suscettività può risultare errata una sua automatica associazione in quanto il grado di pericolosità territoriale non può prescindere dall'analisi delle condizioni al contorno.

Ad esempio, qualora un'area a bassa suscettività si trovi a valle di un corpo di frana la sua reale pericolosità potrà essere determinata solo a seguito di un'analisi approfondita che riesca a valutare la possibile evoluzione in termini spaziali, volumetrici e di velocità di movimento del dissesto a monte.

A tale scopo, per le successive analisi geomorfologiche ed idrauliche, diviene necessario acquisire ulteriori dati sperimentali ottenibili mediante la realizzazione di:

- Una rete di pluviometri razionalmente distribuita a scala di ambito e di idrometri sui principali corsi d'acqua;
- un sistema di misurazione del trasporto solido (sia in sospensione sia di fondo) al fine di valutare quantitativamente l'effetto dei fenomeni erosivi superficiali e di perdita di suolo, in relazione anche alle contemporanee criticità idrauliche;
- una campagna geognostica e di monitoraggio dei fenomeni franosi di particolare rilevanza o rappresentatività, al fine di definirne compiutamente la pericolosità e quantificare il grado di rischio;
- approfonditi rilevamenti geologico strutturali per una precisa definizione delle condizioni giaciturali e della geometria di fratturazione della roccia;
- organizzazione della cartografia e delle banche dati in un sistema che preveda un periodico aggiornamento della franosità reale anche attraverso appositi voli a seguito di eventi alluvionali di particolare intensità.

### 3.2 Problematiche di tipo geomorfologico

Nell’ambito dell’analisi dei piccoli bacini compresi tra il Rio S. Lorenzo ad il T. Argentina è stata valutata la suscettività al dissesto dei versanti applicando la metodologia proposta dalla Autorità di Bacino di rilievo Regionale.

La metodologia predisposta per la realizzazione della CSDV, prevede l’analisi incrociata dei seguenti tematismi di base:

- Acclività
- Litologia
- Geomorfologia
- Idrogeologia
- Vegetazione ed Uso del suolo
- Carta di dettaglio dei movimenti franosi (o franosità reale)

Le variabili associate a ciascun tematismo considerato nelle fasi di overlay, sono illustrate nella seguente tabella

<b>TEMATISMO</b>	<b>VARIABILE</b>	<b>TIPO</b>
<b>Carta geolitologica</b>	Litologia	Principale
<b>Carta geomorfologica</b>	Coltri potenti	Principale
	Coltri sottili	Principale
	Granulometria delle coltri	Principale
	Stato della roccia	Principale
	Erosione concentrata di fondo	Aggravante
	Erosione spondale	Aggravante
	Ruscellamento diffuso	Aggravante
<b>Carta dell’acclività</b>	Classi di acclività	Principale
<b>Carta idrogeologica</b>	Permeabilità del substrato	Principale
	Contrasto di permeabilità	Aggravante
<b>Carta dell’uso del suolo</b>	Uso del suolo	Principale
<b>Carta della franosità reale</b>	Frane attive	Principale
	Frane quiescenti	Principale
	Franosità diffusa	Aggravante

A ciascuna variabile considerata viene attribuito un peso quantitativo indicativo della relativa incidenza sulla suscettività al dissesto di versante.

La sovrapposizione degli strati informativi determina una discretizzazione di elementi poligonali elementari ognuno dei quali è caratterizzato da un numero che costituisce la somma algebrica di tutti i pesi relativi a ciascun elemento associato al poligono. Maggiore è il peso totale, maggiore sarà la suscettività al dissesto connessa al poligono elementare.

La sovrapposizione dei vari tematismi è stata eseguita in parte manualmente mediante l’utilizzo di fogli trasparenti, in parte in maniera automatica sovrapponendo livelli tematici dei files rappresentativi di ogni tematismo areale.

Si sono infine realizzate campiture associate ai vari intervalli numerici risultanti dalla somma algebrica dei pesi associati ai vari tematismi precedentemente illustrati.

**Attribuzione dei pesi ai tematismi**

L'attribuzione dei pesi alle litologie è avvenuta su base statistica eseguita sulla base della formulazione di Guida et al., che consente di individuare in maniera oggettiva un peso di suscettività sulla base della franosità reale ( $\psi$ )

$$\psi = (1/K) \times \varphi$$

dove:

$$K = \sum A''n / A_T$$

$$\varphi = A''n / A'n$$

**A'n** = Aree parziali di primo ordine: area totale di presenza della litologia *n* [km<sup>2</sup>]

**A''n** = Aree parziali di secondo ordine: aree interessate da movimenti franosi in atto o recenti all'interno delle A'n. [km<sup>2</sup>]

**A<sub>T</sub>** = Area totale del bacino [km<sup>2</sup>]

Si è stabilito di normalizzare a 10 il valore di  $\psi$  massimo all'interno del bacino e, conseguentemente, di rapportare a questo valore i pesi ottenuti per le altre litologie.

Relativamente all'Ambito di studio i dati ottenuti attraverso l'analisi sopra descritta sono sintetizzati nella sottostante tabella:

<b>Tipo</b>	<b>Area (mq) [A'n]</b>	<b>Area in frana (mq) [A''n]</b>
Argille di Ortovero (a_ORV)	90.754	2.296
Conglomerati di M.te Villa (cg MTV)	598.482	0
Sabbie della Costa Terre Bianche (s)	102.435	0
Brecce di Taggia (bc TAG)	741.063	1.070
Flysch di Sanremo (cm ELM)	12.526.896	461.924
Flysch di Saremo (ma ELM)	5.050.821	136.665
Arenarie di Bordighera (ar BOR)	431.891	0
Depositi alluvionali (ar)	503.418	0
Depositi alluvionali indistinti (a)	143.069	0
Depositi di spiaggia(ds)	29.655	0
Riporti, discariche ed aree portuali	212.412	0
		0
<b>Bacino idrografico Totale</b>	<b>20.430.896</b>	<b>738.620</b>

Per l'attribuzione dei pesi ai diversi litotipi, alla semplice analisi dei dati statistici sono state associate una serie di considerazioni relative al comportamento che detti litotipi e le loro coperture terrigene hanno presentato in bacini adiacenti od in aree limitrofe. E' il caso ad esempio dei

Conglomerati di M.te Villa i quali pur non presentando frane di entità significativa all'interno del nostro Bacino, sono interessati da una micro franosità diffusa e l'esperienza dello scrivente ha accertato come essi siano spesso interessati da fenomeni di crollo in roccia e di scivolamento delle sue coperture detritiche (vedi Valle Argentina, Val Roja). A seguito di queste considerazioni è stata pertanto effettuata un'ulteriore taratura dei pesi

### CARTA GEOLITOLOGICA

<b>Peso</b>	<b>Litotipo</b>
10	Flysch di Sanremo (cm ELM)
9	Flysch di Saremo (ma ELM)
9	Argille di Ortovero (a_ORV)
8	Brecce di Taggia (bc TAG)
7	Conglomerati di M.te Villa (cg MTV)
7	Sabbie della Costa Terre Bianche (s CTB)
6	Arenarie di Bordighera (ar BOR)

I valori così ottenuti sono stati presi come punto di riferimento per l'assegnazione dei pesi alle altre variabili che sono esposti nelle seguenti tabelle.

### CARTA GEOMORFOLOGICA - STATO DELLA ROCCIA

<b>Peso</b>	<b>Stato della roccia</b>
0	Roccia massiccia, non fratturata o con disposizione favorevole rispetto al versante- <b>R0</b>
6	Roccia con disposizione sfavorevole rispetto al pendio <b>RS</b>
7	Roccia fratturata <b>RF</b>

### CARTA GEOMORFOLOGICA – COLTRI

<b>Peso</b>	<b>Tipo coltre</b>
4	Coltri potenti su roccia permeabile
3	Coltri sottili su roccia permeabile
5	Coltri potenti su roccia semipermeabile
4	Coltri sottili su roccia semipermeabile
7	Coltri potenti su roccia impermeabile
6	Coltri sottili su roccia impermeabile

### CARTA DELL'ACCLIVITA'

<b>Classe di acclività</b>	<b>Peso su coltre</b>	<b>Peso su roccia</b>
Acclività < 10%	-7	-5
Acclività > 10% < 20%	-5	-3
Acclività > 20% < 35%	0	-2
Acclività > 35% < 50%	3	0
Acclività > 50% < 75%	5	4
Acclività > 75% < 100%	7	5
Acclività > 100%	8	6

### CARTA DELL'USO SUOLO

<b>Peso</b>	<b>Classe uso del suolo</b>
1	Urbanizzato continuo e discontinuo, zone industriali e/o commerciali, aree autostradali, ferroviarie e spazi accessori, aree portuali
3	Cave, discariche
0	Aree sportive e ricreative, aree verdi urbane
1	Seminativi vivai, colture in piena aria, terrazze
2	Seminativi vivai, colture , in serra, terrazze
2	Ex coltivi
0	Colture permanenti arboree, vigneti, uliveti,terrazzati
0	Prati e pascoli
0	Zone agricole eterogenee
2	Roccia affiorante o subaffiorante
0	Spiagge
0	Zone con vegetazione arbustiva
-1	Aree boscate

### FATTORI PEGGIORATIVI

<b>Peso</b>	<b>Fattore peggiorativo</b>
1	Erosione concentrata di fondo
1	Ruscellamento diffuso
2	Cigli di arretramento morfologico
3	Franosità diffusa
1	Erosione spondale

I pesi relativi alle coltri sono stati differenziati oltre che sulla base della potenza delle stesse, anche tenendo conto della tipologia del substrato, soprattutto in relazione alla sua permeabilità; pertanto si è ritenuto opportuno assegnare un peso maggiore alle coltri potenti su substrato impermeabile in quanto in condizioni di forte impregnazione presenterebbero un drenaggio scarso determinando al contatto con il substrato una potenziale superficie di scorrimento. Lo stesso peso delle coltri potenti su substrato impermeabile è stato assegnato anche alle aree con substrato affiorante fratturato (RF).

Questa scelta deriva dal fatto che si è osservato come in corrispondenza di queste aree si verifici la maggior concentrazione di frane, prevalentemente di tipo puntuale.

Fra i “fattori aggravanti” è stata inclusa la voce “franosità diffusa” in quanto si è ritenuto importante per la finalità del presente lavoro tenere in debito conto delle aree interessate da un buon numero di frane di piccole dimensioni (non cartografabili) che sono comunque rappresentative di situazioni connesse alla instabilità di parecchie porzioni di territorio in corrispondenza di vie di comunicazione .

Per quanto riguarda i pesi assegnati alla carta dell'acclività è stata introdotta l'assegnazione di pesi negativi per le aree meno acclivi (< 11,2°), in ragione del fatto che nelle aree con queste caratteristiche di pendenza i dati raccolti consentono ragionevolmente di escludere l'innescò di movimenti di massa.

I pesi attribuiti ai fattori di uso del suolo derivano da un'analisi delle fonti bibliografiche e dalla taratura effettuata in campagna sulla loro reale consistenza e rappresentatività. In particolare le aree urbanizzate sono state considerate sfavorevoli per l'alterazione indotta nei processi idrologici; similmente anche gli ex-coltivi, risultano soggetti ad un abbandono generalizzato che ne inficia le caratteristiche di “efficienza idrogeologica”.

Sono di seguito rappresentate le varie cartografie di passaggio derivanti dall'incrocio dei tematismi sopra elencati:

1. Indice Acclività (Peso associato alle varie classi di acclività).
2. Indice Coltri permeabilità (peso delle coltri > 3m e di quelle comprese tra 1m e 3m in riferimento alle varie classi di permeabilità).
3. Indice Stato della roccia (peso associato allo stato di conservazione della roccia (R,Rs,Rf))
4. Indice Litologico di stabilità (peso della tipologia di litotipo associato all'indice di franosità).
5. Indice Uso del suolo (peso associato ai diversi usi del suolo)

Si è proceduto poi ad ulteriori sovrapposizioni come descritto di seguito:

1. Peso associato all'incrocio tra le carte n°2 e 3.
2. Peso associato all'incrocio tra le carte n°(2+3) e 4.
3. Peso associato all'incrocio tra le carte n° (2+3+4) e 1.
4. Peso associato all'incrocio tra le carte n° (2+3+4+1) e 5.

Si è ottenuto infine una carta estremamente frammentata suddivisa in aree di dimensioni anche molto limitate, ad ognuna delle quali è assegnato un valore numerico corrispondente alla somma algebrica dei pesi; questi riuniti in 5 intervalli di valori hanno dato origine alle diverse classi di suscettività:

pg0	Suscettività molto bassa
pg1	Suscettività bassa
pg2	Suscettività media
pg3A/Pg3B	Suscettività alta
pg4	Suscettività molto alta

Sovrapponendo alla carta di cui sopra la carta della franosità reale si sono delimitate le frane attive e quiescenti; le prime hanno individuato (indipendentemente dalla classe di pericolosità sulla quale ricadevano) aree a SUSCETTIVITA' MOLTO ALTA mentre le seconde insieme alle paleofrane aree a SUSCETTIVITA' ALTA.

L'ultimo passaggio previsto nel percorso descritto è quello della delimitazione ed assegnazione ad una categoria speciale (S) delle aree interessate dalla presenza di cave attive e discariche che si è ritenuto opportuno trattare separatamente rispetto ai versanti naturali, sia per quanto riguarda gli aspetti di suscettività che per i vincoli legislativi cui sono soggetti.

E' di seguito schematizzata la corrispondenza tra le varie classi di suscettività al dissesto dei versanti con i pesi

<b>CLASSI DI SUSCETTIVITA' AL DISSESTO DEI VERSANTI</b>			
			<b>VALORI</b>
<b>CLASSE MA</b>	<b>pg4</b>	<b>MOLTO ALTA</b>	>23
<b>CLASSE A</b>	<b>pg3A/Pg3B</b>	<b>ALTA</b>	18-23
<b>CLASSE M</b>	<b>pg2</b>	<b>MEDIA</b>	14-17
<b>CLASSE B</b>	<b>pg1</b>	<b>BASSA</b>	9-13
<b>CLASSE MB</b>	<b>pg0</b>	<b>MOLTO BASSA</b>	<9
Per i seguenti tematismi vi è una associazione diretta a:			
<b>Frane quiescenti</b>	<b>Classe pg3A</b>		
<b>Paleofrane</b>	<b>Classe pg3B</b>		
<b>Frane attive</b>	<b>Classe pg4</b>		
<b>Cave</b>	<b>“speciali”</b>		
<b>Discariche</b>	<b>“speciali”</b>		

A seguito dell'applicazione di un'analisi territoriale eseguita affinando gradualmente sia i pesi delle variabili considerate sia il taglio delle classi si è pervenuti ad un risultato soddisfacente e rispondente ai controlli e alle tarature eseguite sul terreno. Il risultato cartografico finale viene presentato dopo aver comunque fuso molti piccoli frammenti di aree con suscettività differente rispetto alle aree limitrofe.

Tale scelta persegue l'obiettivo di restituire un dato che non modifichi se non in misura minima il dato originario ma che risulti cartograficamente apprezzabile e soprattutto fruibile dal pianificatore.

### 3.3 Problematiche di tipo idraulico

#### Premesse

Gli obiettivi che ci si propone di conseguire effettuando uno studio idrologico-idraulico su bacini imbriferi sono dati dalla determinazione delle aree a rischio di esondazione e dalla messa in risalto delle problematiche inerenti al deflusso delle portate di massima piena dei torrenti.

A tal fine sono stati condotti nei precedenti paragrafi gli studi idrologici necessari per la determinazione delle massime portate di piena defluenti nei torrenti per diversi tempi di ritorno utilizzati come confronto con le portate di verifica ottenute dalla Regionalizzazione del CIMA .

Il passo successivo è dato dalla determinazione delle massime altezze d'acqua riscontrabili negli alvei fluviali al passaggio delle portate di piena precedentemente calcolate e cioè le portate aventi tempi di ritorno di 50, 200, 500 anni.

Dal suddetto calcolo si è potuto quindi verificare le sezioni di torrente, valutare l'eventuale esondazione laterali dei rii e determinare le velocità di passaggio della corrente.

Da tali risultati si è quindi successivamente determinato il rischio idraulico connesso ad ogni bacino imbrifero valutato come rischio di esondazione e rischio di scalzamento delle platee di fondazione e degli argini per effetto della velocità della corrente.

#### Le verifiche adottate

La metodologia di calcolo seguita è la seguente:

❖ **verifica in moto uniforme** delle sezioni d'alveo al fine di determinare, per ciascuna portata associata ad un dato tempo di ritorno, la sufficienza o meno della sezione idraulica e le caratteristiche idrauliche delle sezioni ;

❖ **verifica in moto permanente a pelo libero** per i tratti di torrente in cui sono presenti ostruzioni o restringimenti tali da causare significativi rigurgiti; tale verifica viene attuata successivamente alla verifica in moto uniforme e solo per quei tratti di torrente in cui è ipotizzabile un distacco della vena liquida significativo rispetto alle condizioni di moto uniforme. Tale verifica viene effettuata utilizzando il modello di calcolo HEC-RAS del 'U.S. Army Corps of Engineers' degli Stati Uniti d'America.

Per i tratti di torrente che presentano sezioni insufficienti al deflusso delle massime portate di piena per cui risulta impossibile la determinazione dei livelli d'acqua sia in moto uniforme sia in moto permanente si è proceduto alla determinazione della portata minima defluente nelle sezioni con procedure di calcolo differenti da situazione a situazione che verranno descritte nei successivi paragrafi.

Pertanto alla luce di quanto sopra le verifiche idrauliche dei torrenti dell'intero comprensorio sono state suddivise in due tipologie di calcolo relative a :

- Caso A) torrenti senza esondazione o con esondazione limitata alle aree golenali;
- Caso B) torrenti con esondazione laterale.

Le formule adoperate

**Moto Uniforme (formula di Chezy)**

$$Q = AK_s R^{2/3} \sqrt{i_f}$$

essendo A [m<sup>2</sup>] l'area della sezione idraulica, K<sub>s</sub> [m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>] il coefficiente di scabrezza alla Gauckler-Strickler, R [m] il raggio idraulico ed i<sub>f</sub> la pendenza del fondo. Per il coefficiente di scabrezza si sono assunti valori compresi tra 30 m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup> e 40 m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>, a seconda della consistenza e dello stato di conservazione delle pareti e del fondo alveo di ogni torrente.

Nelle tabelle in allegato sono riportate le verifiche attuate in moto uniforme utilizzando la seguente simbologia:

- Yu: altezza di moto uniforme in m;
- Yc: altezza critica della corrente in m;
- pl: larghezza del pelo libero in m;
- A: area della sezione liquida in mq;
- B: contorno bagnato in m;
- if: pendenza del fondo
- V: velocità della corrente in m/s;
- Fr: numero di Froude
- Qu: portata in moto uniforme in mc/s;

**Moto Permanente**

Il problema del tracciamento del profilo della superficie libera di un corso d'acqua naturale in moto permanente con una data portata Q si risolve con precedenti di calcolo numerico.

L'operazione richiede preliminarmente un rilievo dettagliato dell'alveo per suddividere il corso d'acqua in tronchi Δ<sub>s</sub>, più o meno brevi, ma tali da poter confondere i valori medi della sezione e della velocità in ciascun tronco con i valori ad un estremo.

Anche la natura dell'alveo deve conservarsi, in modo accettabile, in ciascun tronco. Eventuali variazioni rapide di forma faranno parte di tronchi speciali nei quali le perdite dovranno essere valutate tenendo conto anche degli effetti vorticosi localizzati.

Eseguita la suddivisione, è necessario il rilievo dettagliato delle caratteristiche geometriche di tutte le sezioni di separazione dei vari tronchi.

Il moto permanente di una corrente a pelo libero è quello relativo al deflusso dell'acqua in presenza di variazioni graduali di sezione e di direzione. La condizione di continuità impone la costanza della portata Q:

$$Q = A V = costante$$

mentre la velocità e le sezioni variano gradualmente lungo l'asse s della corrente.

Il tracciamento del profilo della superficie libera di un corso d'acqua naturale in moto permanente si può eseguire con un procedimento di calcolo numerico. L'operazione richiede una suddivisione del corso d'acqua in tronchi Δs più o meno brevi ma tali da poter confondere i valori medi della sezione e della velocità in ciascun tronco con i valori ad un estremo.

Siano (i) e (i + 1) due sezioni consecutive distanti Δs<sub>i,i+1</sub> in asse, nella prima delle quali siano note tutte le grandezze idrauliche. La variazione di carico totale ΔH<sub>i,i+1</sub> fra le due sezioni si può calcolare con la seguente equazione, trasformata alle differenze finite:

$$\Delta H_{i,i+1} = [J] \Delta s_{i,i+1}$$

calcolando il valore delle perdite con i dati della sezione (i).

Tenuto conto dell'espressione:  $J = \frac{\lambda \cdot V^2}{4R \cdot 2g}$  delle perdite di carico e dell'equazione di

continuità, l'equazione precedente diventa:

$$\Delta H_{i,i+1} = - \frac{Q^2}{g} \cdot \frac{1}{[A^2 \cdot C^2 \cdot R]} \Delta s_{i,i+1}$$

dove ΔH<sub>i,i+1</sub> ha valori negativi se si procede verso valle, ossia con Δs<sub>i,i+1</sub> > 0.

Ottenuto così il carico totale H<sub>i,i+1</sub> = H<sub>i</sub> + ΔH<sub>i,i+1</sub> nella sezione (i+1), si determina il carico piezometrico h<sub>i,i+1</sub>, che rappresenta la quota della superficie libera rispetto ad un prefissato piano di riferimento orizzontale risolvendo l'equazione :



$$H_{i,i+1} = h_{i,i+1} + \frac{Q^2}{2gA_{i,i+1}^2}$$

nota la funzione  $A = A(h)$  nella sezione (i+1), come in tutte le altre sezioni prescelte. Dal carico piezometrico si può ovviamente dedurre la profondità conoscendo la quota del fondo della sezione. L'equazione precedente ammette due soluzioni, una corrispondente alla situazione super-critica (correnti veloci) e l'altra sub-critica (correnti lenti). Ciò non comporta indeterminazione perché il procedimento di calcolo è valido solo nell'ambito di variazioni graduali della corrente, di variazioni dunque che non possano modificarne lo stato nel passaggio dalla sezione (i) alla (i+1); la soluzione da assumere è evidentemente definita dalle condizioni esistenti nella sezione di partenza.

### **Ipotesi di calcolo**

Le verifiche in moto permanente sono state effettuate con il sussidio del programma di calcolo automatico Hec-Ras, basato sulla risoluzione iterativa dell'equazione dell'energia in una dimensione (già illustrata in precedenza):

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove, in riferimento alle sezioni 1 e 2, si ha che:

$Y_1, Y_2$  sono le larghezze delle sezioni bagnate;

$Z_1, Z_2$  sono le altezze;

$V_1, V_2$  sono le velocità;

$\alpha_1, \alpha_2$  sono i coefficienti di velocità;

$g$  è l'accelerazione gravitazionale;

$H_e$  è la perdita di carico.

Le sezioni sono state riportate nel modello del programma di calcolo con una numerazione crescente dalla foce verso monte e poi interpolate tra loro con passo variabile in modo da creare una maggiore continuità del modello.

Per le condizioni al contorno di monte si è considerato il flusso dell'acqua in regime di moto uniforme e per quelle di valle si è inserito nel modello il livello della quota media del mare, per i tratti di sbocco al mare dei corsi d'acqua, e un livello noto del pelo libero (di moto uniforme o di critica) negli altri casi: in questo modo il programma è in grado di risolvere il profilo da monte verso valle se la corrente risulta veloce e da valle verso monte se la corrente risulta lenta.

Inoltre, nel modello di calcolo, si è tenuto conto anche della curvatura dei corsi d'acqua, riportando le distanze tra due sezioni, misurate lungo la riva destra, il centro e la riva sinistra.

Una volta introdotte tutte le sezioni nel programma, sono stati aggiunti eventuali ponti e/o tombinature come vere e proprie strutture (utilizzando l'opzione “bridges” e assumendo la larghezza del ponte pari alla lunghezza del tratto tombinato) in modo da verificare se per ogni sezione è garantito un adeguato franco di sicurezza.

Hec-Ras calcola l'energia persa dalla corrente nell'attraversare un tombino considerando:

- le perdite di carico che avvengono nel torrente immediatamente a valle della struttura dove vi è un'espansione dei filetti fluidi;
- la perdita dovuta alla struttura stessa;
- le perdite localizzate nel tratto di torrente a monte del tombino, dove il flusso subisce una contrazione per potere passare attraverso le aperture.

I calcoli sono stati eseguiti considerando il deflusso dell'acqua in condizioni miste (è il programma che calcola di volta in volta se il moto è super-critico o sub-critico, ovvero in condizioni di corrente a carattere torrentizio (veloce) o fluviale (lento); il valore del numero di Froude lungo le differenti sezioni è variabile a seconda se la corrente è lenta o veloce.

Si ricorda che:

$$F_r = U/(gy)^{1/2}$$

- > 1 Corrente veloce
- = 1 Corrente critica
- < 1 Corrente lenta

Nelle tabelle in allegato (allegato 4 – Risultati verifiche idrauliche) sono riportati i risultati dei calcoli sopra descritti ed i valori hanno il seguente significato:

- 1° colonna : descrizione tratto (identificato con il numero 1)
- 2° colonna : n° sezione idraulica (riferita alle tavole delle sezioni idrauliche significative)
- 3° colonna : portata di verifica
- 4° colonna : quota dell'altezza d'acqua in m.s.l.m.
- 5° colonna : quota dell'altezza d'acqua critica in m.s.l.m.
- 6° colonna : velocità media della corrente
- 7° colonna : area della sezione liquida
- 8° colonna : numero di Froude

### Le aree inondabili

Le aree inondabili sono state determinate tramite lo studio idraulico di alcuni tratti dei torrenti principali del comprensorio in esame.

In particolare sono stati analizzati quei tratti oggetto di rilievo topografico che si riferiscono ai tratti terminali dei rii: Pinea-Pertusio, Caravello, S.Caterina,Torre, Aregai, Fossato Aregai, Pantano, Moiano, Marmi (analisi in moto permanente) e quei tratti caratterizzati da dalla presenza di strutture in alveo quali ponti (analisi preliminare in moto uniforme).

La perimetrazione delle aree inondabili è stata preliminarmente determinata dall'intersezione tra i massimi livelli teorici raggiunti dalle piene con le curve di livello delle zone limitrofe.

Tale determinazione ha però notevoli limiti dovuti alla particolare conformazione del territorio per cui è stata condotta una successiva fase di verifica e ripermetrazione in base a sopralluoghi condotti in sito in cui si sono evidenziate le possibili vie di transito delle acque in piena nell'ipotesi di ipotetici scenari di esondazione semplice al di sopra della quota di coronamento degli argini e per effetto di crollo di ponti e tombature per effetto delle sottospinte della corrente.

È stato effettuato un aggiornamento dello studio idraulico del Rio Santa Caterina relativamente al tratto a monte di quello indagato che ha evidenziato la presenza di fasce esondabili precedentemente non indicate.

I risultati di tale analisi sono contenuti nella tavola delle fasce fluviali.

### **3.3.1 Individuazione delle aree storicamente inondate**

Nell'ambito dei bacini del comprensorio oggetto del presente studio si sono registrati nel passato dei fenomeni di esondazione che seppur di limitata potenza, hanno causato danni alle infrastrutture della zona.

Tali registrazioni sono state raccolte tramite il competente servizio regionale e mediante le indicazioni fornite da tecnici comunali e dalla popolazione intervistata in loco e riportate nella relativa tavola delle 'Aree storicamente esondate'.

E' opportuno ricordare che mancano i dati relativi alle alluvioni del 1998 e del 2000 in merito alle quali non esiste ancora una mappatura ufficiale di riferimento, sebbene, soprattutto durante gli eventi critici di pioggia del 30 Settembre – 1 Ottobre 1998 e del Novembre 2000, si siano verificati fenomeni di esondazione in ulteriori aree oltre a quelle riportate nella tavola 11 (per es. foce Santa Caterina, rio Torre, rio Piani).

In base alle informazioni raccolte è emersa una sostanziale differenza tra i due eventi sopra citati, almeno nell'ambito in oggetto.

Durante l'evento del Settembre/Ottobre 1998 l'evento piovoso ha avuto carattere intenso ma più breve, determinando effetti tipicamente idraulici dovuti alla forte intensità della pioggia e ai ridotti tempi di corruzione dei corsi d'acqua, che hanno provocato fenomeni di esondazione, soprattutto nei piccoli compluvi quali quelli in esame. La situazione è stata ulteriormente aggravata dallo stato di manutenzione particolarmente carente di tutti i corsi d'acqua che presentavano rigogliosa vegetazione e accumuli di materiale detritico di varia origine. Questo materiale, insieme alla vegetazione, ha provocato l'ostruzione e la sensibile riduzione delle sezioni libere di deflusso delle acque, con conseguenti rigurgiti ed esondazioni.

In particolare nel bacino del rio Caravello, in Comune di Castellaro, la mancanza del reticolo idrografico di I ordine, ha provocato un ruscellamento diffuso con l'innescò di movimenti franosi che hanno ostruito i canali di raccolta provocando significativi allagamenti delle campagne e delle abitazioni circostanti. Tale fenomeno è stato aggravato dall'elevatissima rapporto di copertura a serre con scarichi concentrati in precisi punti del reticolo di raccolta e conseguenti fenomeni di erosione localizzata che hanno contribuito ad incrementare il già significativo trasporto solido.

Sul rio Santa Caterina, invece, l'elevata portata verificatasi e la forte velocità di deflusso conseguente, ha provocato il crollo dell'argine destro a lato del campetto sportivo di Riva Ligure con conseguente esondazione in sponda destra e allagamento del centro storico del comune citato. Durante tale evento, malgrado si sia verificato un effetto di laminazione della portata a causa dell'esondazione, il livello idrico ha raggiunto l'intradosso del vecchio ponte esistente (ex Via Aurelia) provocando la rottura di alcune canalizzazioni ancorate alle spalle dello stesso (fognatura e acquedotto).

Condizioni analoghe si sono verificate sul rio Aregai, con locali crolli di argini ed elevato trasporto solido che hanno parzializzato significativamente le sezioni sotto la via Aurelia con conseguente allagamenti della aree latitanti (sponda sinistra).

Il rio Piani, caratterizzato da una tubazione di 80 cm di diametro, ha esondato a monte della Via Aurelia, allagando terreni e proprietà private, oltre alla stessa Via Aurelia.

Nel Novembre 2000 la fenomenologia dell'evento è stata caratterizzata da fenomeni tipicamente geologici generate da piogge di lunga durata che hanno innescato progressivi fenomeni di saturazione della falda e conseguente innescò di movimenti franosi di rilevante intensità. Durante i momenti di piogge concentrate in brevi intervalli di tempo che si sono comunque registrati, la forza delle correnti ha trascinato a valle i materiale mobilitato a monte, provocando significativi accumuli di materiale detritico alla foce di quasi tutti i corsi d'acqua in oggetto, con esondazioni sulle arre circostanti (soprattutto spiagge).

Solo nel caso del rio S. Caterina il fenomeni anzidetto ha provocato nuovamente l'allagamento del centro storico di Riva Ligure e delle aree a valle dell'Aurelia. Sugli altri rii i fenomeni di esondazione sono stati evitati grazie agli interventi di pulizia e sistemazione dei corsi d'acqua eseguiti dopo gli eventi alluvionali del '98.

#### **4. Principali criticità del bacino**

In generale possiamo affermare, a seguito delle indagini sul territorio, che i bacini interessati sono caratterizzati sostanzialmente da un diffuso dissesto idrogeologico fortemente influenzato dalle correlazioni esistenti fra substrato geologico, il regime meteorico e la regimazione superficiale delle acque, un progressivo abbandono del territorio e una totale mancanza di manutenzione.

L'analisi di dettaglio ha evidenziato come la maggior parte dei dissesti sia di natura superficiale e causati da una serie di fattori predisponenti concomitanti.

La cattiva regimazione delle acque, i tagli stradali, l'erosione fluviale al piede dei versanti l'erosione, l'elevata acclività, la mancata manutenzione al sistema dei terrazzamenti (fasce) sono stati tutti fattori predisponenti che si sono combinati con un fattore di innescò “l'evento alluvionale” che ha mandato in crisi il sistema determinando l'innescò di un notevole numero di fenomeni franosi da una pressione antropica che si è andata sempre più intensificando in maniera caotica e irrazionale.

Dalla cartografia tematica risulta infatti evidente come la distribuzione della pericolosità geomorfologica veda le aree costiere ed in genere quelle a maggior carico insediativo sia urbano che rurale come quelle a maggiore criticità; in particolare il settore sud-orientale a monte della strada statale Aurelia ed il settore centro occidentale in loc. Terrazzi

Oggi infatti persistono situazioni che nel passato non costituivano “rischio” o le cui conseguenze erano limitate.

Il caso emblematico è costituito dai alcuni tratti dei rii minori presenti nell'ambito in oggetto: in molti casi, infatti, le condotte che attraversano le proprietà private (il cui tracciato non è di facile rilevazione), risultano del tutto insufficienti o, almeno, dimensionate senza il franco di sicurezza.

## 5. Siti di importanza comunitaria (SIC) – Zone di protezione speciale (ZPS)

La direttiva europea n.43 del '92, nota con il nome di “Direttiva Habitat” per la salvaguardia della biodiversità, è costituita sul territorio da una rete di aree di particolare interesse naturalistico, denominate Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS). Tali siti sono finalizzati a garantire il mantenimento in uno stato di conservazione soddisfacente di habitat e specie della flora e della fauna da proteggere evitando fenomeni di degrado.

Nell’ambito del presente Piano di Bacino sono stati riscontrati i seguenti Siti di Importanza Comunitaria (SIC):

### IT1315922 “Pompeiana”

#### Caratteristiche generali

Il paesaggio è caratterizzato soprattutto da prati aridi, macchia e lembi boschivi.

#### Habitat di maggior interesse

I terreni erbosi e aridi localmente ricchi di orchidee occupano oltre la metà della superficie; sono anche presenti significativi boschi di roverella e pino d’Aleppo e aspetti diversi di macchia a ginestra e a lentisco.

#### Vulnerabilità – indirizzi per la gestione e la valorizzazione

Il sito va mantenuto con l’attuale copertura vegetale perché rappresenta una delle aree italiane più idonee per la conservazione della rarissima *Lucertola ocellata*.

Interventi per diminuire il rischio di incendio sono opportuni, purché ecologicamente compatibili.

### IT1315972 “Fondali di Riva Ligure - Cipressa, subsito A-B-C)

#### Caratteristiche generali

Il sito, suddiviso in tre subsiti, caratterizzato da una prateria di *Posidonia oceanica* che in alcuni punti è ancora rigogliosa. In particolare, davanti a Santo Stefano a mare si trova una vasta prateria di *Posidonia* che ha un’ampiezza di 2.5 chilometri verso il largo ed una superficie di 325 ettari.

#### Habitat di maggior interesse

In passato questa prateria apparteneva ad una formazione più ampia che nel tempo ha subito una regressione per cause antropiche.

#### Vulnerabilità – indirizzi per la gestione e la valorizzazione

I rischi sono rappresentati dalle discariche e dalla pesca a strascico.

### IT1315671 “Fondali di Porto Maurizio- San Lorenzo a mare – Torre dei marmi (subsito A -B)

#### Caratteristiche generali

Il sito è caratterizzato dalla prateria di *Poseidonia oceanica* insediata prevalentemente su “matte” e confinante verso terra con una prateria di *Cymodocea nodosa*.

Il subsito A e B ospitano praterie non molto estese verso il largo ( da 500 a 1000 metri circa).

#### Habitat di maggior interesse

Il limite superiore della prateria a *Poseidonia* si trova circa a –8 metri di profondità, mentre quello inferiore giunge a –30. Le formazioni rocciose presenti in vicinanza del limite inferiore del SIC contengono popolamenti del Coralligeno tra cui spiccano gorgonie rosse, spugne, aragoste. Numerose specie vegetali e animali vivono all’interno della prateria di *Posidonia*, tra cui *Hippocampus hippocampus*, *Hippocampus ranulosus*, *Symphodus cinereus*, *Symphodus rostratus*, *Symphodus tinca*, *Xyrichtys novacula*.

Vulnerabilità – indirizzi per la gestione e la valorizzazione

La costa antistante il SIC è notevolmente antropizzata, comprendente barriere, pennelli, opere portuali, riempimenti e massicciate, che devono aver influito sulla qualità e l'ambiente marino. I principali rischi sono la pesca a strascico e le discariche.

La delimitazione dei SIC presenti nel territorio del Piano di Bacino è stata riportata nella Carta della Vegetazione e nella Carta degli Interventi.

In base alla D.G.R. n.643 del 21.6.2002 Modifiche al D.G.R.646 del 8.6.2001.” Misure di salvaguardia per i proposti Siti di Importanza Comunitaria (pSIC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS) liguri (Dir.92/43/Cee e 79/409/Cee) : applicazione della valutazione di incidenza”, la Giunta Regionale ha deliberato che per i Piani di Bacino approvati la valutazione di incidenza venga eseguita in fase di progettazione per gli interventi proposti ricadenti in aree SIC e ZPS .

Al capitolo 5 nella scheda degli interventi previsti sono stati indicati gli interventi per i quali è richiesta la valutazione di incidenza.