



REGIONE LOMBARDIA

DIREZIONE GENERALE TERRITORIO E URBANISTICA
UNITÀ ORGANIZZATIVA TUTELA E VALORIZZAZIONE DEL TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

RIASSETTO IDROGEOLOGICO E MITIGAZIONE DEI RISCHI
NATURALI PRESENTI IN VAL TORREGGIO
Comune di Torre S.Maria (SO)

DICEMBRE 2006

TITOLO

RELAZIONE SULLO STATO DEI LUOGHI,
ANALISI DEI RISCHI ATTUALI E RESIDUI

A.T.I.:

MANDATARIA

STUDIO PAOLETTI
INGEGNERI ASSOCIATI
20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264
fax (02) 26681553 - E-Mail: Studiopaoletti@etatec.it

MANDANTE

ETATEC S.R.L.
SOCIETÀ DI INGEGNERIA
20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264
fax (02) 26681553 - E-Mail: ETATEC@ETATEC.IT

MANDANTE

Prof. Geol. Lamberto Griffini

20149 MILANO - via E. Pagliano, 37 - tel.(02) 61298369
fax (02) 61296490 - E-Mail: griffinil@tin.it

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI

CONSULENTI:

ASPETTI NATURALISTICI E VEGETAZIONALI :
Dott. Agr. GIANPAOLO GUZZETTI

NOME

FIRMA

DATA

REDAZIONE

ALTAIR

VERIFICA

G.B. Peduzzi

APPROVAZIONE

A. Paoletti

TIPOLOGIA

PD

COMMITTENTE

122

COMMESSA

06/03

DOCUMENTO

RL

NUMERO

A.02.01

SCALA:

-

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. ANALISI DEGLI INTERVENTI REALIZZATI DAL 1987 AL 2000.....	7
2.1 GENERALITÀ.....	7
2.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE ESISTENTI.....	9
2.2.1 Pista di accesso in sponda sinistra: Op.1	9
2.2.2 Barriere paramassi su frana A: Op.2	9
2.2.3 Messa in sicurezza del tratto terminale del torrente Torreggio: Op.3	10
2.2.4 By-pass provvisorio dell'alveo: Op.4.....	11
2.2.5 Secondo lotto opere di sistemazione zona terminale torrente Torreggio: Op.5	14
2.2.6 Briglia selettiva, nuovo ponte e raccordo: Op.6.....	15
2.2.7 Sistemazione alveo a monte della selettiva (briglie 18-25): Op.7	17
2.2.8 Sistemazione dei versanti e accessi di cantiere ai corpi frana: Op.8	18
2.2.9 Sistemazioni in alveo a monte della briglia 25: Op.9.....	19
2.2.10 Strade di cantiere: Op.10	20
2.2.11 Briglie torrente Arcogliasco: Op.11	22
2.3 STATO DI CONSERVAZIONE	23
2.4 FUNZIONALITÀ DELLE OPERE ESISTENTI	25
3. RISCHIO AL 1987 E RIDUZIONE INDOTTA DALLE OPERE ESISTENTI	31
3.1 GENERALITÀ.....	31
3.2 IL RISCHIO PER L'ABITATO DI SONDRIO.....	33
3.3 SINTESI DEL RISCHIO.....	37
3.4 RIDUZIONE DEL RISCHIO INDOTTA DAGLI INTERVENTI ESEGUITI.....	38
4. RISCHIO RESIDUO, CORRELAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO CON LE OPERE ESISTENTI E ANALISI DEGLI EFFETTI ATTESI A SCALA DI BACINO.....	46
5. PROPOSTA DI PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO AI SENSI DELLA LEGGE 267/98.....	49

RELAZIONE SULLO STATO DEI LUOGHI

ANALISI DEI RISCHI ATTUALI E RESIDUI

1. PREMESSA

L'approccio alla definizione degli interventi per il riassetto idrogeologico e la mitigazione dei rischi naturali presenti in Val Torreggio non può prescindere da quanto riportato nei pareri del Ministero dell'Ambiente e della Regione Lombardia (documentao preliminare allegato al bando della gara di progettazione del 2001 che ha visto il presente progetto come vincitore), in merito alla valenza assoluta, nell'ambito dell'ideazione delle opere su bacini naturali caratterizzati da dinamiche evolutive che affondano le radici nel tempo, dell'esperienza derivante dallo studio attento di tutti i particolari a disposizione per la determinazione della reale caratteristica di quanto ci si trovi ad affrontare.

Come evidenziato dal parere del Ministero dell'Ambiente DEC/VIA/5341 del 27 settembre 2000, l'interpretazione della condizione attuale del bacino del torrente Torreggio e del suo contesto non può prescindere dall'attento esame di ogni particolare (dato, relazione, foto, rilievo, parere, impressione, ecc.) disponibile in merito a quanto realizzato negli anni 1987÷1994 ed alla conseguente risposta che l'alveo ed i versanti hanno offerto alle sollecitazioni ricevute nel periodo successivo. Da tale analisi discende la possibilità di definire (con dati oggettivi e obiettivi ben determinati) il grado di rischio attuale e pertanto la necessità di ulteriore riduzione o meno. Una genericità di obiettivi (cosa è a rischio?, cosa si vuole proteggere?, cosa dovevano garantire

le opere nella filosofia dei progettisti e degli esecutori?, cosa ci si aspettava negli anni a seguire?) comporta come conseguenza una scarsa aderenza del progetto al contesto. Non tutti i tratti di un medesimo bacino richiedono infatti, leggendo l'efficacia di quanto già realizzato e pertanto allargando l'orizzonte di indagine all'intorno del sito ove la nuova opera si colloca, il medesimo intervento. Ciò maggiormente avendo a disposizione il patrimonio costituito dalla conoscenza del comportamento delle opere eseguite e dalla raccolta di dati che il sistema di monitoraggio della Val Torreggio offre ai progettisti.

Per quanto sopra, nei successivi capitoli si è sviluppata per gradi (studio degli interventi realizzati, verifica della funzionalità, conservazione ed efficacia, individuazione puntuale degli elementi a rischio nel 1987 ed oggi) la convinzione per cui gli interventi eseguiti abbiano prodotto, come conseguenza positiva, una riduzione del rischio attuale fino ad un livello assai inferiore rispetto a quello che si aveva in occasione delle imponenti devastazioni del luglio 1987.

Gli elementi di debolezza (abitazioni, alvei, infrastrutture viarie, ecc.) che la piena concomitante del Torreggio e del Mallero hanno drammaticamente ed impietosamente messo a nudo nel 1987 non si trovano più, per quanto esposto in seguito, in una situazione di rischio elevata: essa si rivela non molto diversa da quella di analoghi insediamenti posti in altre aree del territorio alpino. Gli investimenti realizzati (per decine di miliardi di lire) hanno condotto gli scriventi, tramite opere la cui inevitabile fondatezza è valorizzata oggi dai riscontri oggettivi di funzionalità ed efficacia riassunti in seguito, a poter definire (a fronte di altre instabilità presenti nell'area della Val Malenco – es.

frana di Spriana) limitato e circoscrivibile con opere di poco impatto il rischio residuo sugli elementi cardine del problema:

- le abitazioni di Torre S. Maria prospicienti l'alveo del Torreggio (2-3 unità);
- la viabilità provinciale con i ponti sul torrente Mallero ed in specie il ponte di Torre S. Maria travolto nella piena del luglio 1987;
- l'imbocco della galleria di deviazione di Spriana;
- il centro abitato di Sondrio.

In sintesi si è rilevato come:

- la funzionalità del tratto finale dell'alveo attuale a salti in Torre S.Maria sia in linea con l'intento dei progettisti di creare un alveo di sicuro scorrimento (a 15 anni dalla realizzazione l'opera è integra e non manifesta tendenza al deposito);
- la funzionalità dell'opera di rialzamento del fondo alveo in corrispondenza della parte orientale – di valle – della frana A (detta frana A_v, essa si mobilizzò solo nel 1988 a testimonianza di una diffusa instabilità dei versanti non più sorretti al piede dall'allargamento dell'alveo da 10 a 30 m circa per il passaggio della piena; attualmente non presenta movimenti nemmeno a seguito di eventi piovosi intensi quali quelli del settembre-novembre 2000 con pioggia pari al 50% della media annua e che ha prodotto movimenti significativi in altre aree - es. frana B) sia ottimale;
- la funzionalità dell'assetto del nuovo alveo assicura la stabilità del fondo e l'asportazione limitata di massi (il profilo all'ottobre 2001 non si scosta

dal profilo al termine dei lavori e la briglia selettiva 17 – pensata per trattenere i massi di dimensione ciclopica mobilizzati durante l'evento dell'87 – si presenta vuota a testimonianza di un limitato apporto di erosione);

- la produzione teorica di sedimento e trasporto solido del Torreggio (atto B.06.00) pur in presenza di eventi alluvionali eccezionali non sia percentualmente decisiva ad indurre rischi:
 - all'abitato di Sondrio, ove per poter avere gradi di rischio sensibili si dovrebbero depositare nel Mallero quantitativi di materiale superiori a 200'000 m³, e quindi mobilizzarsi dalla Val Torreggio volumetrie di almeno 1÷2 milioni di metri cubi al netto delle rideposizioni interne nel tratto di 8 km tra Torre S. Maria e Sondrio;
 - alle infrastrutture viarie (anche in considerazione della conformazione dell'alveo del Mallero a valle della confluenza) in quanto il ponte al servizio della S.P. 15 si trova a quota largamente superiore al fondo alveo (circa 20 m);
 - all'imbocco della galleria di Spriana in quanto nei circa 2 km tra Torre S. Maria e l'imbocco galleria, l'alveo del Mallero presenta tendenza a depositare (Tabella 1) accentuata dalle briglie realizzate dopo l'87 e particolarmente dalla briglia selettiva S. Maria;
- le volumetrie residue di movimento franoso (versanti A e B) non siano tali (previa esecuzione delle opere del presente progetto) da poter alterare significativamente il grado di rischio.

Tabella 1 – Granulometria rilevata lungo il Mallero

CORSO D'ACQUA E LOCALITÀ	PENDENZA (%)	D 50 (mm)
Mallero a Pian del Lupo	2,8	167
a monte dello sbocco del Torreggio	3,4	162
a Torre S. Maria	6,2	140
a valle di Torre S. Maria	4,6	85
a Tornadù	4,6	115
a valle di Tornadù	2,9	84
a monte di Spriana	2,9	127

Per tutto quanto sopra e per le analisi condotte, il progetto presenta un pacchetto di opere definibili di “completamento”, andando a sanare locali criticità puntuali (es. la sponda sinistra tra briglia selettiva 17 e imbocco del tratto terminale al salto 15; la mancanza di drenaggio al piede della frana B, la provvisoria opera di allontanamento dell'alveo dai piedi dei versanti A e B, ecc.) e chiudendo ad un importo di opere che consente di liberare risorse per una riqualifica ambientale e paesaggistica dei siti degradati a seguito dei cantieri precedenti (la cava di prestito in primis).

Tutto ciò è stato ottenuto attuando non una semplicistica minimizzazione dei rischi (sarebbe incosciente di fronte alla vastità del fenomeno ed alle tracce ancor oggi leggibili di devastazione del territorio) ma una dettagliata ed analitica analisi dello stato di fatto.

In sintesi, l'analitica ricostruzione del dissesto porta a ritenere ancora probabile (data la conformazione del bacino e l'impossibilità di controllo dei fattori scatenanti) un evento quale quello del luglio 1987 (eccezionali precipitazioni meteoriche, innalzamento della temperatura con contributo di scioglimento

nivale, formazione di colate detritiche per erosione di fondo o collasso di versanti o collasso di sbarramenti in alveo) mentre l'esperienza (supportata dall'analisi dei dati disponibili) dimostra come l'assetto del sistema attuale Torreggio-Mallero sia tale da minimizzare i danni derivanti da tali accadimenti ed escludere l'innescò di un'ulteriore instabilizzazione.

Quanto sopra, come detto, pur considerando la probabilità che:

- vi siano collassi di parti di versante (cfr. relazione geotecnica B.05.01) che possono tuttavia trovare attenuazione già sui versanti stessi (cfr. evoluzione morfologica della nicchia di frana A tra le quote 1'200 m s.m. e 1'500 m s.m. – tavola T.03.07);
- si inneschino colate detritiche che possano parzialmente attonbare le briglie ed i salti esistenti ricreando tuttavia un alveo a pendenza 30% di buona officiosità come descritto in relazione idraulica (B.02.00).

2. ANALISI DEGLI INTERVENTI REALIZZATI DAL 1987 AL 2000

2.1 GENERALITÀ

Nelle figure seguenti sono riportate schematicamente le opere eseguite in varie riprese a partire dal 1987 (con procedure di pronto intervento) sino ad oggi lungo l'asta del torrente Torreggio.

Il presente capitolo riporta in primo luogo un'elencazione di tali opere (con numerazione corrispondente a quella di tavola T.04.00) e quindi un'analisi dello stato di conservazione, efficacia, funzionalità, riduzione del rischio delle stesse, alla luce della situazione attuale dell'asta e degli eventi verificatisi negli anni 1987÷2005.

In Figura 1 e Figura 2 è riportato il tratto terminale del torrente Torreggio prima e immediatamente dopo gli eventi calamitosi del luglio 1987. Nella successiva Figura 3 è riportata un'immagine della situazione attuale (cunettone).

Figura 1 - Il tratto terminale del Torreggio al giugno 1987 (pre-alluvione)



Figura 2 - Il tratto terminale del Torreggio al luglio 1987 (post-alluvione)



Figura 3 - Il tratto terminale del Torreggio al novembre 2001



Nell'ambito delle opere realizzate è sicuramente da considerare anche l'installazione del sistema di monitoraggio presente oggi nella zona del Torreggio (pluviometrico, idrometrico, topografico e geotecnico), per le implicazioni che esso ha sia in termini di analisi sia in termini di controllo

dell'efficacia delle opere. Tale argomento è trattato in dettaglio nelle relazioni B.01.00 (idrologica), B.04.00 (idrogeologica) e B.05.01 (geotecnica) a cui si rimanda.

2.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE ESISTENTI

2.2.1 Pista di accesso in sponda sinistra: Op.1

Immediatamente a seguito degli eventi venne realizzata una pista di accesso a partire dal primo ponte crollato (quota 830,0 m s.m. circa) sino a quota 1'160 m s.m. circa, per una lunghezza di 1'300 m. Data la difficoltà di effettuare tornanti, al fine di non interessare il versante destro, la pista risaliva l'asta torrentizia con pendenze elevate con punte sino al 30%. Di tale pista originaria restano attualmente poche tracce in quanto è stata smantellata e successivamente ricoperta per poter procedere agli interventi succedutisi nel tempo (rialzamento di fondo).

Per le fasi di cantiere successive è risultata di estrema utilità la nuova pista tracciata a ricoprimento. Il tratto terminale in corrispondenza del ponte di monte doveva restare accessibile per le operazioni di manutenzione e svasso della briglia selettiva 17. Oggi viceversa tale accesso è ostruito da un muretto di recente realizzazione.

2.2.2 Barriere paramassi su frana A: Op.2

Sul corpo frana prospiciente il torrente sono state messe in opera barriere paramassi e reti di protezione con il fine di mettere in sicurezza i cantieri in alveo. In Figura 4 sono riportate le barriere posizionate all'epoca dell'installazione.

Figura 4 – Barriere paramassi



2.2.3 Messa in sicurezza del tratto terminale del torrente Torreggio: Op.3

Dalla confluenza in Mallero (quota 755,1 m s.m.) fino alla quota 790 m s.m. circa sono state realizzate le prime opere di regimazione e contenimento. Le opere consistono in 7 salti di fondo in c.a. ad altezza variabile (vedi profilo e planimetria tavole T.05.01, T.05.02, T.05.03), che hanno portato la pendenza d'alveo al 5% tra salto e salto a fronte del profilo originario con pendenza 18%. Le sponde sono costituite da muri in c.a. con altezza di circa 6 m a monte dei singoli salti e raccordo a scalinata verso valle. I muri di sponda lato fiume ed il fondo alveo sono stati rivestiti con blocchi in pietrame.

Il materiale su cui sono stati fondati i salti ed i muri è materasso alluvionale costituito da elementi grossolani, talora di notevoli dimensioni, a morfologia arrotondata, immersi in una matrice limo-sabbiosa.

L'intervento è stato completato dai raccordi con le protezioni spondali di destra del torrente Mallero e con il rifacimento del ponte all'interno dell'abitato di

Torre S. Maria, appoggiato sui muri spondali sopraccitati.

Il lotto di opere, per uno sviluppo di circa 180 m, perseguiva l'obiettivo di creare un alveo ad elevata capacità di trasporto ed evacuazione dalla zona abitata di eventuali quantitativi di materiale solido apportati da monte, anche tenendo presente l'accelerazione della corrente di tipo nettamente ipercritico.

A seguito delle indagini e dei sopralluoghi eseguiti immediatamente dopo il 1987 si è stimato che l'alveo nel tratto avesse una larghezza media di 8÷12 m prima dell'alluvione e si sia portato a 20÷30 m a seguito dell'alluvione. La sezione del cunettone presenta larghezze di circa 12÷13,5 m.

In Figura 5 è riportata la fase di realizzazione dell'opera. Si nota la profondità dell'incisione d'alveo prodotta dal passaggio della piena con erosione di fondo stimata in circa 5÷7 m.

Figura 5 - lavori sul tratto terminale del Torreggio. Si nota l'alveo allargato dalla piena e l'erosione spondale



2.2.4 By-pass provvisorio dell'alveo: Op.4

La Figura 6 documenta l'opera di presa realizzata a quota 990,0 m s.m. per

l'intercettazione delle portate defluenti in alveo, fino al massimo di 1,4 m³/s.

Figura 6 - Opera di presa a quota 990,0 m s.m. già aggirata dalla corrente



Tale opera doveva essere realizzata in prima fase (settembre 1987) insieme alla posa di una tubazione di diametro 1,2 m in alveo con la duplice funzione di:

- convogliare le portate del corso d'acqua presenti in alveo con durata 360 giorni;
- provvedere a mezzo di opportune prese, situate in sponda sinistra ad intervalli di circa 40 m, allo svuotamento di invasi che si formassero a seguito di crolli e franamenti in alveo.

A tali funzioni si aggiunse nel corso del 1988 quella di evitare che le portate del corso d'acqua (come avviene anche oggi al piede della frana A per effetto delle portate di scolo dal canalone di monte) potessero interferire con i piedi dei versanti ed indurre nuove erosioni come avvenuto nell'agosto 1988. Durante tale mese infatti si è movimentata una porzione di versante (denominato frana Av) a valle della frana A per erosione al piede esercitata

dalla corrente.

Il by-pass provvisorio (con due tubazioni in PVC diametro 400 mm) e la presa a quota 990,00 m s.m. (con restituzione a quota 860,00 m s.m.) ebbero vita breve in quanto già nel luglio 1989 l'opera non risultava in funzione a causa di smottamenti successivi che avevano deviato il filone principale della corrente aggirando l'opera di presa (Figura 6). La breve vita dell'opera (di cui oggi resta una delle tubazioni di deviazione che si vede in Figura 7 in corrispondenza di una piccola nicchia di erosione) testimonia la estrema variabilità del corso d'acqua soggetto a spostamenti dettati dai possibili smottamenti dai versanti innescati per erosione al piede.

Figura 7 - Tubazioni by-pass e nicchia erosione



2.2.5 Secondo lotto opere di sistemazione zona terminale torrente Torreggio: Op.5

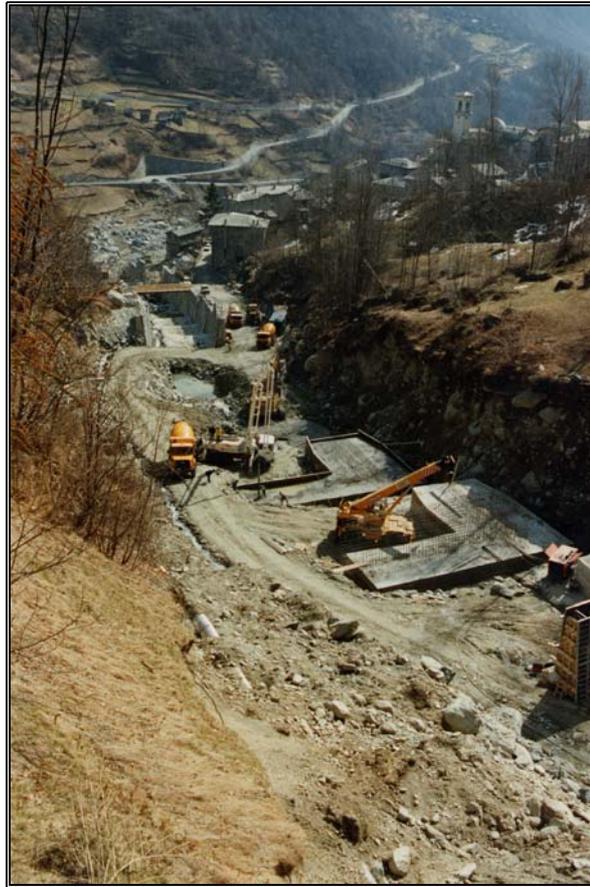
Le opere eseguite nel secondo lotto (1989÷1990) consistono nella prosecuzione verso monte della sistemazione d'alveo con la costruzione di ulteriori 8 salti di fondo ad altezza costante, pari a 4 m, e muri d'ala sempre in c.a., rivestiti con blocchi in pietrame. Tali opere hanno condotto alla sistemazione attuale del tratto vallivo del torrente Torreggio dalla quota 826,40 m s.m. alla quota 755,15 m s.m. di confluenza nel Mallero.

La sistemazione termina appena a valle del primo ponte crollato e successivamente riedificato e sviluppa una lunghezza di circa 170 m.

L'intero intervento, a seguito delle pressioni longitudinali e trasversali causate da dislocazioni dell'ammasso roccioso e dei terreni di copertura e da pressioni idrauliche dovute alle elevate energie idriche, è fondato su colonne di terreno consolidato ed armato mediante sistema jet-grouting. Il selciatoone compreso tra due salti successivi ha spessore di 2 m ed è formato da massi (dimensione minima pari a 1 m³) ammorsati nel calcestruzzo.

A completamento dell'opera sono stati realizzati fori di drenaggio con tubazioni passanti di diametro pari a 150 mm. In Figura 8 è riportata la situazione di cantiere per la realizzazione del tratto. Ancora è visibile l'erosione laterale prodotta dal passaggio della corrente di piena che ha indotto l'instabilità (per mancanza di appoggio al piede) dei versanti.

Figura 8 - Secondo tratto del cunettone in fase di realizzazione



2.2.6 Briglia selettiva, nuovo ponte e raccordo: Op.6

A monte dell'ultimo salto del secondo lotto (denominato n. 15) sono state realizzate opere di raccordo tra la sezione naturale e la sezione artificiale.

Tale raccordo è stato realizzato mediante prolungamento dei muri di sponda (con apertura ad inclinazione 45°) con strutture in calcestruzzo di lunghezza 12 m circa fino alle spalle del nuovo ponte e quindi per ulteriori 15 m circa con direzione parallela all'alveo (più a monte in sponda sinistra per il sostegno della pista). La larghezza d'alveo a monte del ponte è pari pertanto a 20 m come sagomato dalla piena del 1987. In corrispondenza del termine dei muri d'ala in sponda destra è stata realizzata la prima di due briglie (altezza fuori alveo 4 m) in c.a.. L'alveo e le sponde per 70 m a monte della prima briglia

sono stati sistemati con massi di dimensione minima 1 m³, posati su tessuto non tessuto.

Al termine di tale tratto è stata realizzata una briglia selettiva (in origine erano previste due strutture di ritenuta) con muro in c.a. irrigidito con speroni di sezione trapezia. La briglia (Figura 9), dotata di soglia controbriglia raccordata dai muri d'ala, determina una capacità d'accumulo a tergo di volume pari a oltre 5'000÷7'000 m³ (altezza 7,5 da 857,2 a 864,7 m s.m.; lunghezza 35 m; larghezza alveo 40÷60 m) con 8 finestre di dimensione 1,80x4,60 m. Tale accumulo è destinato ad accogliere i massi di maggior pezzatura trasportabili dalla corrente.

Figura 9 – Briglia selettiva al novembre 2001



Il lotto di interventi descritto segna il passaggio tra la zona di alveo a sistemazione rigida con cunettone in c.a., salti di fondo e muri spondali alla zona di alveo con sistemazione di stabilizzazione costituito da briglie sempre in c.a. e raccordo con scogliere in massi.

2.2.7 Sistemazione alveo a monte della selettiva (briglie 18-25): Op.7

La sistemazione eseguita negli anni 1991÷1993 riguarda il tratto di alveo di estensione circa 400 m immediatamente a monte della briglia selettiva (n. 17) tra le quote 410 m s.m. e 930 m s.m. circa. Nel tratto (Figura 99 a monte della briglia selettiva) sono state eseguite, previo rialzamento del fondo alveo di circa 10 m, 8 briglie in c.a. rivestite in massi che hanno consentito la riduzione della pendenza media dal 27% al 13%.

In virtù del rialzamento è stato possibile ottenere un significativo spostamento della linea d'asse del torrente verso la sponda sinistra al fine di allontanare la corrente dalla sponda destra che presentava le maggiori instabilità.

Il riporto di terreno per l'innalzamento e spostamento d'alveo ha comportato un movimento terra di circa 300'000 m³ per lo più attinti dalla zona terminale della frana B ove ancor oggi sono visibili le piste di cantiere e le banche di coltivazione della cava di prestito (tavola T.03.02 stato di fatto).

Le sponde nei tratti compresi tra briglia e briglia (fra cui è interposta una controbriglia di protezione raccordata con muri d'ala al corpo principale di monte) sono stati corazzati mediante scogliere di massi alla rinfusa di pezzatura da 1,5 a 2,5 m di diametro equivalente.

Al di sotto del rialzamento d'alveo è stata realizzata una canaletta in c.a. rivestita in massi (dimensioni interne 1,0x1,2 m; pendenza minima 25%) con inizio a monte della briglia 25 e recapito a valle della briglia 18. Il manufatto ha lo scopo di favorire il drenaggio delle acque circolanti negli ammassi e nel subalveo e costituire una via di fuga per le acque in caso di sbarramento. In Figura 10 è visibile lo sbocco del cunicolo ancora oggi attivo alla briglia 18.

Figura 10 - Briglia 18 al novembre 2001 con sbocco cunicolo



In destra idraulica è presente, infine, al di sopra della scogliera di sponda, la pista di accesso al cantiere ancora parzialmente agibile anche se in parte occupata da vegetazione spontanea.

2.2.8 Sistemazione dei versanti e accessi di cantiere ai corpi frana: Op.8

In contemporanea a quanto descritto al paragrafo 2.2.7, sui versanti sono state eseguite opere di stabilizzazione in corrispondenza a:

- frana A: sono state poste in essere reti antierosione a maglie circolari nella zona della nicchia di distacco. Tale intervento è stato attuato per fornire protezione ai cantieri sottostanti e stabilizzare la zona di maggior pendenza. Ad oggi non risultano visibili tali reti;
- frana B: sono stati previsti interventi di rimodellazione ed alleggerimento della zona di frana ove, come detto, è stata attivata la cava di prestito per il rialzamento del fondo alveo. La zona oggi si presenta tuttavia disomogenea in quanto, a seguito della coltivazione della cava, non sono state eseguite le

opere di sistemazione definitiva e di mitigazione previste. Nello stesso corpo frana dovevano essere eseguiti due ordini di dreni sub-orizzontali di lunghezza 30÷35 m con funzione di impedire il rialzamento della falda.

Tali opere non risultano realizzate;

- frana Av: il piede della frana è stato appesantito mediante la realizzazione del terrapieno gradonato derivante dal rialzamento del fondo alveo attuato in concomitanza alla costruzione delle briglie 18÷25. Tale appesantimento, come dimostrato dalle analisi condotte, ha portato alla stabilizzazione del movimento per quanto concerne le superfici di scivolamento più critiche (come risulta proprio dalle misure del sistema di monitoraggio geotecnico). Per favorire inoltre l'abbattimento della falda sono stati eseguiti due serie di dreni nel terrapieno sino ad intercettare la superficie di contatto tra terreni morenici compatti e terreno aerato superficiale.

In sinistra idraulica infine è presente la pista di accesso alla zona di cava di prestito sino a quota 1'180 m s.m. (fraz Masoni) ove sono evidenti i terrazzamenti realizzati per l'approvvigionamento di materiale.

2.2.9 Sistemazioni in alveo a monte della briglia 25: Op.9

Ai piedi della frana A, da quota 1'000 m s.m. a quota 1'100 m s.m. in sponda destra e da quota 1'080 m s.m. a quota 1'100 m s.m. in sponda sinistra, è presente una scogliera di protezione delle sponde che determina una larghezza d'alveo di circa 7÷10 m. La scogliera in massi alla rinfusa presenta le caratteristiche di opera provvisoria e/o di cantiere. A tergo della scogliera, in sponda destra, è presente un terrapieno di sviluppo pari a circa 20÷30 m ove le curve di livello del piede di frana A si adagiano su pendenze notevolmente

inferiori a quelle del versante.

Figura 11 - Protezione provvisoria la piede frana A



2.2.10 Strade di cantiere: Op.10

Come già descritto ai paragrafi precedenti, la zona della bassa valle Torreggio si presenta caratterizzata da un residuo notevole di installazioni di cantiere e piste di accesso. In particolare nella zona media tra le briglie 18 e 25 è presente la traccia, seppur parzialmente invasa da vegetazione, della pista di cantiere per la realizzazione delle briglie stesse. Poiché tale pista si sviluppa al piede della frana Av, la sede è stata ricavata sfruttando una delle gradonature con cui è stato rialzato il piede stesso. In sponda opposta viceversa non risulta più agibile, con danno per le attività di manutenzione alla briglia selettiva 17, la pista che staccandosi dal ponte alto risaliva sino alla briglia stessa.

L'ostruzione è rappresentata dal citato muretto stradale di recente realizzazione.

Sempre in sponda sinistra viceversa è ancora ben presente la strada di accesso che dalla fraz. Dosso si inoltra nella valle sino ad un primo piazzale (ove era presumibilmente collocata la centrale di betonaggio del cantiere briglie 18÷25) a quota 1'053 m s.m. e quindi ad un secondo piazzale a quota 1'143 m s.m. (seconda banca di alleggerimento cava di prestito frana B). La strada indi prosegue sino a quota 1'180 m s.m., come già detto, in corrispondenza delle banche superiori di frana B (quota 1'200 m s.m. circa).

In sponda destra risulta oramai distrutta la pista che a quota 1200 m s.m. circa tagliava il versante di frana A (vedi Figura 12) per dare accesso alle zone di sponda ed utilizzata per il posizionamento delle barriere paramassi.

Figura 12 - Pista su frana A



2.2.11 Briglie torrente Arcogliasco: Op.11

Sebbene risalenti agli anni '60 si citano tra le opere esistenti anche le 15 briglie sul tratto terminale del torrente Arcogliasco. Le briglie sono realizzate in massi a secco e si presentavano, a seguito dell'alluvione del 1987, ancora in discreto stato di esercizio (Figura 13). Dopo oltre 40 anni di esercizio emerge oggi la necessità di ripristino delle stesse con orizzonte temporale del tutto compatibile con la vita attesa delle opere.

Analoga riflessione riguarda altre opere minori sparse nel bacino del Torreggio e il cui stato di conservazione necessita di interventi di risistemazione. Nella medesima foto è evidente l'inizio della pista creata in alveo per raggiungere le zone a monte del Torreggio. Tale pista, in fregio all'alveo e con numerosi guadi, non risulta ad oggi conservata.

Figura 13 - Il tratto terminale del torrente Arcogliasco (1989)



2.3 STATO DI CONSERVAZIONE

Come evidenziato nella sommaria descrizione di cui al precedente capitolo 2.2, lungo l'asta del Torreggio (nella zona terminale tra quota 715 m s.m. e quota 1'100 m s.m.) si sono succeduti interventi a partire dal settembre 1987 sino ad oggi. Di buona parte degli stessi si può fornire una descrizione dello stato di conservazione in quanto si tratta di opere di superficie visionabili direttamente. Per altri invece non è possibile dare un giudizio oggettivo in quanto non direttamente ispezionabili (es. cunicolo di drenaggio in subalveo, drenaggio corpi di frana, ecc.). Altri ancora non hanno retto al tempo ed alle piene già verificatesi e risultano ad oggi demoliti.

Nella successiva Tabella 2 sono riportati i tratti essenziali di stato di conservazione delle opere, come rilevato durante i sopralluoghi .

Tabella 2 - Stato conservazione attuale delle opere

Sigla	Opera	Stato di conservazione	Età
Op.1	Pista di accesso a fondo alveo in sinistra	Smantellata la traccia originaria, esiste la seconda realizzazione con accesso tuttavia interrotto da valle e piccola frana che ne interrompe un tratto di 10 m in corrispondenza della briglia selettiva	19
Op.2	Barriere paramassi su frana A	Parzialmente attive ed in esercizio (circa il 50% dell'installazione) con notevole accumulo a tergo. La restante parte è stata demolita dai massi di notevole pezzatura provenienti dal versante ovvero dal peso del materiale accumulatosi negli anni d'esercizio	18
Op.3	Sistemazione tratto terminale e confluenza Mallero con cunettone, muri in c.a. e 7 salti. Ponte di Torre S. Maria	Il cunettone ed i muri spondali si presentano in buono stato di conservazione. All'analisi visiva non sono state evidenziate fessurazioni nelle parti in c.a. né distacchi dei rivestimenti in massi di fondo e sponde. Anche le parti più sollecitate delle gâvete dei salti non hanno subito danneggiamenti. Il ponte non presenta danneggiamenti o usura. Si segnala infine come anche i parapetti siano tutti in buono stato di conservazione.	16÷17
Op.4	By-pass provvisorio e presa a quota 990,00 m s.m.	L'opera di presa risulta completamente demolita (già nel 1989) mentre le tubazioni di by-pass sono in più tratti interrotte.	18

Sigla	Opera	Stato di conservazione	Età
Op.5	Sistemazione secondo tratto con cunettone, muri in c.a. e 8 salti	Come per l'opera Op.3, di cui è il completamento nella zona più incisa e ristretta della valle, le infrastrutture spondali e di fondo risultano in buono stato di conservazione.	16
Op.6	Briglia selettiva, nuovo ponte, raccordo tra cunettone e alveo	Tutte le opere in oggetto risultano in buono stato di conservazione sia nelle parti strutturali (non si evidenziano fessurazioni nei c.a.) sia nelle parti con massi (le scogliere di sponda ed i corazzamenti di fondo non evidenziano sconnessioni, scalzamenti e discontinuità. Le briglie non mostrano scalzamenti e le fondazioni sono ovunque protette. Anche per quanto riguarda la briglia selettiva che non risulta rivestita (se non sulla gàveta ed in corrispondenza della finestrate) non si evidenziano danneggiamenti alle strutture che si mostrano integre.	14÷15
Op.7	Sistemazione alveo a monte briglia selettiva 17	L'insieme delle 8 briglie e relative controbriglie in c.a. rivestite in massi si presentano in ottimo stato di conservazione e non evidenziano né fessurazioni ai c.a., né distacco nei rivestimenti, né accenni di scalzamento al piede. Anche i tratti di protezione spondale in scogliera ed i corazzamenti di fondo alveo si presentano ad oggi integri. Non si possono viceversa constatare le condizioni del cunicolo di drenaggio posto in sublaveo anche se tuttavia lo sbocco risulta oggi libero e con afflusso di acqua e pertanto si ritiene che lo stesso sia in discreto stato di conservazione (in fase esecutiva dovrà essere videoispezionato il manufatto).	9-10
Op.8	Opere di sistemazione dei versanti	Il giudizio sullo stato di conservazione di tali opere è reso più difficoltoso in quanto le stesse sono per lo più non visibili. In particolare si sottolinea come: le reti antierosione a protezione di parte della frana A ed E risultano in più punti divelte e ritorte con perdita di funzionalità; i terrapieni di contenimento della frana E non mostrano evidenti segni di scalzamento e/o movimento; i drenaggi non risultano visibili ed ispezionabili e pertanto non si è in grado di formulare un giudizio di stato di fatto; i terrazzamenti della frana B, seppur disordinati e disomogenei, non evidenziano particolari tendenze al cedimento e le piste di accesso risultano ancora oggi agibili ai mezzi. Peraltro, la strumentazione geotecnica ancora funzionante alla sommità ed ai lati dell'area indica periodici fenomeni di mobilizzazione.	9-10
Op.9	Opere in alveo a monte briglia 25	Le scogliere poste a protezione delle sponde del corso d'acqua nella zona a monte della briglia 25, seppur chiaramente eseguite come opera provvisoria e quindi non curate come quelle di valle, si presentano ad oggi ancora sufficientemente integre con locali scalzamenti dovuti al notevole sviluppo della protezione, all'assenza di strutture trasversali di stabilizzazione del fondo ed all'erosione a tergo dovuta alle acque provenienti dal versante della frana A.	8

Sigla	Opera	Stato di conservazione	Età
Op.10	Accessi ed installazioni di cantiere	Delle numerose piste di accesso all'area in oggetto alcune si presentano oggi in buono stato di conservazione (pista in destra tra briglia 18 e 25; pista in sinistra sino a cava frana B) mentre altre sono andate pressoché perdute per effetto sia della dinamica dei versanti (pista a mezza costa su frana A) sia per interventi antropici successivi (accesso alla briglia selettiva in sinistra dal ponte alto). Complessivamente tuttavia, pur con un panorama di abbandono la viabilità di accesso alla valle risulta ancora fruibile.	10-14
Op.11	Briglie Arcogliasco e pista di accesso amonte Torreggio	Le briglie sul torrente Arcogliasco, che nel 1988 si presentavano ancora sufficientemente integre, sono ad oggi in più punti scalzate e demolite. La pista di accesso all'alta valle Torreggio realizzata in alveo risulta rimossa dalla corrente.	40

In estrema sintesi, si può affermare che l'insieme delle opere (realizzate con investimenti che superano i 50 miliardi di lire) si presentano oggi in discreto se non ottimo stato di conservazione pur dopo oltre 15 anni di esercizio e con sollecitazioni (cfr. relazione idrologica B.01.00) dovute ad eventi in alcuni casi di entità non trascurabile.

2.4 FUNZIONALITÀ DELLE OPERE ESISTENTI

L'analisi della funzionalità di un'opera ingegneristica quale quella in oggetto presenta difficoltà connesse alla determinazione di almeno quattro fattori:

- 1) la valutazione dello scopo per cui l'opera era stata realizzata e i dimensionamenti che l'hanno prodotta;
- 2) l'entità delle sollecitazioni sull'opera durante la sua vita;
- 3) lo stato di conservazione attuale;
- 4) l'orizzonte temporale di vita attesa della stessa.

Da tali fattori deriva infine il giudizio sull'efficacia dell'opera nei riguardi del raggiungimento dell'obiettivo atteso e del grado di riduzione del rischio indotto

dall'opera.

Dei quattro fattori sopra citati indubbiamente il primo ed il quarto (previa analisi degli atti progettuali e realizzativi) sono di più agevole determinazione, in quanto appunto rilevabili nello spirito e nella filosofia con cui l'opera è stata progettata ed eseguita. Il terzo, pur nelle difficoltà di esprimere un giudizio completo in fase di progettazione preliminare, è stato affrontato nel precedente paragrafo 2.3.

Per quanto concerne il secondo aspetto, usualmente si è in estrema difficoltà nel reperire dati oggettivi sull'entità dei fenomeni che possono aver sollecitato un'opera. In questo caso tuttavia la presenza del sistema di monitoraggio regionale e la puntuale registrazione ed interpretazione dei dati da esso forniti colma ampiamente tale lacuna e rende possibile raggiungere un dettaglio di analisi molto elevato. Come descritto nelle relazioni apposite ed in particolare nella B.01.00 (Idrologica), B.02.00 (Idraulica), B.04.00 (Idrogeologica) e B.05.01 (Geotecnica) il bacino del torrente Torreggio ha subito sollecitazioni da eventi non indifferenti sia in termini di piogge brevi ed intense (con durate correlabili ai tempi di corrivazione del bacino) e conseguente produzione di onde di piena, sia in termini di precipitazioni piovose abbondanti (cfr. ad es. i mesi di settembre-novembre 2000) che hanno condotto a notevoli escursioni dei livelli di falda nei versanti.

Nella seguente Tabella 3 sono riportati, opera per opera, i dettami e i principi di progettazione, gli indicatori di funzionalità selezionati e il grado di risposta fornito negli anni di vita.

Tabella 3 - Funzionalità attuale delle opere

Sigla	Opera	Scopo opera	Indicatori	Funzionalità	Vita attesa in progetto
Op.1	Pista di accesso a fondo alveo in sinistra	Accesso al cantiere Pista di manutenzione briglia selettiva	Percorribilità Rischio di ostruzione	Parziale in quanto per azione antropica (costruzione muro) e smottamenti locali la pista oggi non è totalmente agibile	50
Op.2	Barriere paramassi	Protezione del cantiere di fondo valle a breve termine. Contenimento caduta massi in alveo	Grado di riempimento Integrità	Buona in quanto le opere sono ancora in parte attive e caratterizzate da notevole quantitativo ritenuto	5-7
Op.3 e Op.5	Sistemazione tratto terminale e confluenza Mallero con cunettone, muri in c.a. e 15 salti. Ponte di Torre S. Maria e Ponte Alto	Creazione di un tratto di alveo ad elevata capacità di trasporto Stabilizzazione dell'alveo e formazione di piede per il contenimento delle spinte ed erosioni sponde	Stato di conservazione Tendenza a deposito e sovralluvionamento	Buona in quanto a livello strutturale non si evidenziano danni alle opere ed a livello idraulico non si manifesta tendenza al deposito e all'ostruzione.	100
Op.4	By-pass provvisorio e presa a quota 990,00 m s.m.	Allontanamento delle acque dal piede frana A nel tratto da quota 990,0 a quota 840,0 m s.m.	Capacità di smaltimento Necessità di manutenzione	Negativa in quanto l'opera ha subito danni ed è stata aggirata in breve tempo (pochi mesi) a testimonianza della scarsa efficacia di opere tendenti a derivare le portate in superficie ove l'alveo mantiene comunque caratteristiche di variabilità	20
Op.6	Briglia selettiva, raccordo tra cunettone e alveo	Formazione di vaso di ritenuta dei massi di pezzatura ciclopica che potrebbero ostruire il successivo cunettone a protezione dello stesso. Convogliamento delle portate liquido/solide nell'alveo a cunettone.	Capacità di ritenuta in funzione del diametro dei materiali di progetto. Tendenza a disalveamento	La briglia selettiva si presenta oggi correttamente non invasata in quanto i materiali ad essa affluiti presentano pezzature che non inducono preoccupazioni per il successivo tratto a cunettone. Per il convogliamento delle portate il raccordo presenta sufficiente efficacia anche se necessita di adeguamenti specie a difesa della sponda destra	100
Op.7	Sistemazione alveo a monte briglia selettiva 17 con n.° 8 briglie in c.a. (dalla 18 alla 24)	Stabilizzazione piede frana E Stabilizzazione sponde Stabilizzazione alveo	Movimenti zona frana Av Stato di conservazione scogliere Pendenza alveo	Buona in quanto dalle registrazioni (est.E6/A) la frana Av risulta stabile, le scogliere di sponda sono in ottimo stato di conservazione, la pendenza dell'alveo si è attorno al 13-15% e infine non sono evidenti nuovi inneschi di erosione nel tratto	100

Sigla	Opera	Scopo opera	Indicatori	Funzionalità	Vita attesa in progetto
Op.8	Opere di sistemazione dei versanti	Stabilizzazione piede frane B e E Evacuazione delle acque di falda a saturazione del versante Arresto erosione superficiale	Movimenti piedi frana B ed Av Livelli di falda Movimentazione superficiale	Per quanto concerne le modellazioni (alleggerimento frana B ed appesantimento piede frana Av) si hanno buoni riscontri per la Av in quanto non sono presenti movimenti mentre si hanno riscontri negativi per la B che presenta notevoli movimenti specie a seguito di piogge prolungate. Per la funzionalità dei drenaggi profondi l'assenza di dati certi in merito all'esecuzione e localizzazione non consente un giudizio. È evidente ad es. per la zona di frana A ove non sono drenate le acque il grado di saturazione del materiale (cfr. venute d'acqua). Per la funzionalità delle reti si ha una risposta disomogenea a zone. Ove sono presenti già piccole macchie boschive si rileva una certa efficacia ove invece si è in presenza di terreno incoerente non si ha funzionalità	20-100
Op.9	Opere in alveo a monte briglia 25	Allontanamento delle acque superficiali da piede frana Protezione sponde	Stato di conservazione Erosione	La funzionalità dell'opera (come detto provvisoria) risulta discreta se rapportata anche alla mancanza delle difese trasversali e alla erosione a tergo da acque non regimate dai versanti	10-20
Op.10	Accessi ed installazioni di cantiere	Accesso per manutenzioni	Stato di conservazione	Buona per quanto concerne le zone più protette (frana B ed Av). Negativa per i tentativi su zone in forte dinamismo superficiale (frana A)	20-50
Op.11	Briglie torrente Arcolguasco	Stabilizzazione fondo Contenimento erosione al piede dei versanti	Stato di conservazione Stato dei versanti	Buona se rapportata alla vita trascorsa delle opere (circa 40 anni) che hanno dimostrato un degrado nell'ultimo decennio. I versanti si presentano comunque stabilizzati in un contesto di notevole pendenza.	30-40

La descrizione di Tabella 3 dimostra come l'efficacia e la funzionalità che la maggior parte delle opere presentano (ed in particolare di quelle ultimate e

definite) sia allo stato odierno buona se rapportata sia agli indicatori sopra elencati alla base dei singoli progetti sia alle sollecitazioni naturali che il bacino del Torreggio ha subito nei 14 anni successivi al 1987. Come detto, alcune delle opere necessitano correttivi (il contenimento delle possibilità di disalveamento nel tratto tra la briglia 17 e il ponte alto, ad es.), altre tipologie meritano attenta valutazione di applicazione a determinati ambiti ma questa attività risulta connessa alla progettazione ed esecuzione di opere su bacini naturali ove, come richiesto dal parere stesso del Ministero dell’Ambiente, la manutenzione e il monitoraggio della efficacia delle opere deve essere considerata attività di pari valore rispetto alla realizzazione.

Come sintetizzato in premessa, ad un’analisi a posteriori valutando situazione di partenza ed effetti a medio termine, la deformazione indotta all’alveo (e di conseguenza alla stabilità dei versanti per erosione al piede) dal passaggio della piena del luglio 1987 non consentiva alternative ingegneristicamente efficaci alle opere realizzate per la riduzione del rischio: nel tratto a cunettone ove da un alveo di 8÷10 m la piena ha provocato un allargamento fino a 20÷30 m con asportazione del piede per circa 5÷10 m (pendenza dei versanti 100% circa) l’alternativa era unicamente rappresentata dalla larghezza del nuovo alveo e dalla possibilità di realizzare muri spondali inclinati. Il mancato arresto dell’azione erosiva al piede dei versanti avrebbe portato all’evoluzione degli stessi come testimoniato dall’attivazione della frana Av; nel tratto tra briglia 18 e briglia 25 l’arresto dello scivolamento del versante Av non poteva essere raggiunto se non tramite un appesantimento del piede con conseguente consolidamento del nuovo fondo alveo nei confronti di possibili scivolamenti

che avessero riproposto lo scenario del luglio 1987.

Il buon giudizio di funzionalità del complesso delle opere deriva anche dalla constatazione di come le stesse abbiano riguardato la porzione più problematica dell'asta (sezione della valle ristretta, prossimità della confluenza in Mallero, contesto urbanizzato con necessità di ripristino delle condizioni di viabilità e connessione del tessuto urbano di Torre di S. Maria). Verso monte, pur persistendo situazioni di instabilità di pari grado se non maggiori, il contesto in cui si opera, grazie anche al contributo decisivo alla sicurezza dato dalle opere esistenti, è di maggior respiro e pertanto consente soluzioni di completamento.

Sulla base di tali considerazioni, e rimandando alle relazioni apposite per la descrizione dei correttivi a quanto esistente, si prende spunto per il successivo capitolo di valutazione della riduzione del rischio prodotto dalle opere.

3. RISCHIO AL 1987 E RIDUZIONE INDOTTA DALLE OPERE ESISTENTI

3.1 GENERALITÀ

L'analisi del rischio potenziale indotto da una situazione quale quella del bacino del torrente Torreggio non risulta di per sé agevole data la vastità della problematica e il difforme ordine di grandezza tra interventi ingegneristicamente attuabili ed eventi possibili. Al fine di basare l'analisi su elementi di oggettiva interpretazione si è in primo luogo provveduto ad individuare gli elementi antropici ed infrastrutturali nei confronti dei quali i rischi possono assumere valenza significativa. In tale sforzo di individuazione si è supportati dall'analisi di quanto avvenuto nel corso dell'evento del 1987 ove i punti di criticità del sistema sono stati posti in palese evidenza:

- il tratto “urbano” dell'asta del Torreggio in attraversamento a Torre S.Maria con pochi edifici nella ristretta fascia attorno all'alveo. Come evidenziato già nell'evento del luglio 1987 l'abitato di Torre S.Maria si sviluppa per lo più a Sud della confluenza del Torreggio nel Mallero e la porzione che può essere interessata dalle piene del primo è limitata alle poche abitazioni circostanti il nuovo alveo;
- i manufatti di attraversamento sul torrente Mallero a valle della confluenza del Torreggio e quindi l'accessibilità all'intera Valmalenco (specie il ponte della S.P. a valle di Torre S. Maria ed il ponte di Spriana);
- il tratto “urbano” dell'asta del torrente Mallero in attraversamento all'abitato di Sondrio.

In aggiunta a tale elenco occorre oggi inserire il manufatto di presa della galleria di by-pass della frana di Spriana che, per gli obiettivi funzionali su cui si fonda (deviazione delle acque in caso di sbarramento sul torrente Mallero per collasso del versante di Spriana) si pone come elemento infrastrutturale portante.

Le cause che inducono il rischio sulle infrastrutture sopra elencate risultano riconducibili in estrema sintesi alla medesima matrice: la componente di trasporto solido che caratterizza le correnti di piena del Torreggio e del Mallero durante un evento alluvionale estremo. L'analisi del danno indotto tuttavia porta a conclusioni difformi per le tre infrastrutture elencate:

- per Torre S. Maria l'onda anomala, che sembra essersi generata per effetto della tracimazione dello sbarramento creato dal collasso della frana A, ha prodotto un generale risezionamento dell'alveo che non è stato in grado di contenere la portata liquido-solida. L'insufficienza dell'alveo e il conseguente aggiramento delle difese (spalle dei ponti e muri) ha quindi prodotto il collasso delle strutture. Il rischio pertanto per la zona di Torre S.Maria risulta, oggi come nel 1987, connesso ad una possibile insufficienza dell'alveo e quindi ad un disalveamento delle correnti a monte (nella zona dell'abitato il torrente risulta incassato) con direzione preferenziale in sponda destra ove sono presenti anche le maggiori infrastrutture abitative. Dalle immagini relative all'evento alluvionale ed alla situazione post-evento, suffragate dai calcoli idraulici, non si rileva tendenza a sovralluvionamento del tratto che risulta infatti caratterizzato da notevole pendenza;

- per quanto concerne i manufatti di attraversamento il collasso è da ascrivere all'insufficiente luce libera al deflusso rispetto alle portate derivanti sia dal torrente Torreggio sia dal bacino del torrente Mallero che, alla confluenza, presenta un'estensione di circa 240 km² a fronte dei 25,2 km² del Torreggio. Indubbiamente i fenomeni di sovralluvionamento del corso del Mallero possono aver favorito la riduzione delle luci libere al deflusso e quindi accentuato la vulnerabilità delle strutture. Una quantificazione tuttavia della componente dovuta agli apporti del bacino del Torreggio rispetto agli apporti del bacino del torrente Mallero risulta difficoltosa alla luce delle aree di potenziale produzione del sedimento diffuse in tutta la Valmalenco. Il tratto di torrente Mallero immediatamente successivo alla confluenza con il Torreggio (per effetto delle pendenze e delle espansioni che lo caratterizzano) può essere sede di deposizione del materiale trasportato e quindi il ponte sulla S.P. della Valmalenco ed il successivo ponte di Spriana risultano esposti a rischio;
- per quanto concerne la città di Sondrio la problematica risulta ben nota in rapporto agli accadimenti dell'alluvione del 1987. La trattazione merita un paragrafo a parte. Infatti la conformazione della città attraversata dal torrente Mallero e la brusca riduzione della pendenza dello stesso allo sbocco della forra della Valmalenco costituiscono il naturale sedimentatore di buona parte degli apporti solidi dell'intero bacino.

3.2 IL RISCHIO PER L'ABITATO DI SONDRIO

I numerosi studi susseguenti all'evento del luglio 1987 hanno dimostrato che risulta critico, per determinare il rischio indotto sulla città di Sondrio, il

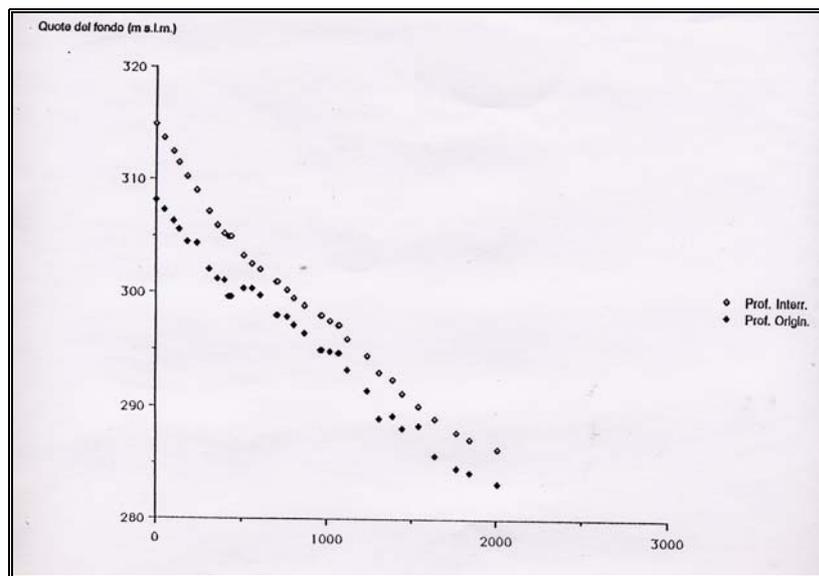
fenomeno di sovralluvionamento dell'asta del torrente Mallero nel tratto urbano arginato tra p.zza Cavour e il ponte Eiffel. Analizzando infatti gli eventi alluvionali più gravosi dei secoli 1800÷1900 si osserva che l'esondazione di maggior entità è stata quella del settembre 1927 (con il crollo di tre ponti e il danneggiamento degli ex palazzi della Provincia e della Prefettura) durante la quale il deposito del materiale solido convogliato a monte ha interrito l'alveo ostruendolo:

- nel 1817, il 26 agosto, in seguito a due giorni di precipitazione, il torrente Mallero fuoriuscì dall'alveo e inondò l'abitato di Sondrio, danneggiando mura ed abitazioni nella zona Gambero e nella zona che ora è denominata p.zza Garibaldi;
- nel 1834, il 27 agosto, in seguito ad un giorno di precipitazioni, il torrente Mallero straripò facendo crollare i ponti che congiungevano la parte in destra con quella in sinistra della città, danneggiando l'edificio dell'allora ospedale, del tribunale e distruggendo l'Albergo della Posta di allora;
- nel 1885, il 28 settembre, in seguito ad un giorno di precipitazioni, il torrente Mallero fece crollare il ponte a Torre S. Maria senza tuttavia far registrare inondazioni della città;
- nel 1911, il 21 agosto, in seguito ad un giorno di precipitazioni, si ebbero allagamenti e danni a Torre S. Maria e Spriana senza tuttavia rilevanti inondazioni a Sondrio.

Nel corso dell'evento del luglio 1987 il tratto terminale del torrente Mallero in Sondrio fu intensamente sovralluvionato. In tale evento la portata di piena al colmo è stata stimata con valore tra 350 e 400 m³/s, nettamente inferiore alla

capacità di deflusso dell'alveo calcolata in circa $700 \text{ m}^3/\text{s}$ al limite dei muri spondali con alveo libero. L'interrimento complessivo nel tratto è stato valutato in circa $200'000 \div 220'000 \text{ m}^3$, con sopraelevamento del fondo (Figura 14) di $5 \div 6$ metri nelle sezioni a monte del ponte Garibaldi, dell'ordine di 3 metri tra il ponte Garibaldi e il ponte Eiffel e dell'ordine di 2 metri al ponte della ferrovia.

Figura 14 - Il tratto terminale del Mallero in Sondrio (1987)



Dalle tracce lasciate dal deflusso di piena e dalle elaborazioni idrauliche successive si è mostrato come il colmo della piena defluisce in condizioni di ancora modesto interrimento d'alveo e che il deposito di materiale avvenne in prevalenza durante la fase di esaurimento dell'onda. I livelli massimi idrici si ebbero pertanto con alveo interrato e portata ridotta a circa $100 \div 150 \text{ m}^3/\text{s}$. Una successiva ondata di piena nelle condizioni di alveo interrato avrebbe avuto conseguenze ben più gravi per l'abitato.

Dalle modellazioni eseguite si nota come i fenomeni di esondazione infatti iniziano in sponda destra, a valle del ponte della ferrovia. Successivamente, al crescere della portata e dell'interrimento, il ponte di via Garibaldi entra in

pressione e le acque iniziano a sormontare l'impalcato ed interessare le vie cittadine. Al crescere ulteriore della portata o dell'interrimento, a monte del ponte di via Garibaldi si instaura un regime di corrente lenta che favorisce il deposito e aumenta le portate di esondazione sia in destra che in sinistra. I massimi livelli di allagamento si raggiungono in sinistra idrografica nella zona di p.zza Cavour, ove tuttavia le acque giungono senza elevata energia cinetica (tiranti di circa 2 m) come anche in destra in zona piazzetta Carbonara. In meno di mezz'ora l'inondazione raggiunge la linea ferroviaria e le condizioni stazionarie: i livelli cessano di crescere ed iniziano a diminuire all'esaurirsi della piena. In poche ore le acque si ritirano in Adda seguendo l'orografia e le vie di deflusso salvo alcune zone depresse della città vecchia.

Tale dinamica induce un ulteriore fattore di incertezza nella determinazione del rischio indotto alla città di Sondrio da fenomeni di trasporto solido di massa dal bacino del torrente Torreggio. La probabilità infatti di un evento concomitante di piena e sovralluvionamento a Sondrio non può essere stimata a priori perché il fatto è regolato essenzialmente da fattori accidentali (caduta di briglie, franamenti interessanti il Mallero o gli affluenti, collasso di sbarramenti da frana, saturazione di strutture di ritenuta, ecc.). Risultano tuttavia evidenti, dalle calcolazioni idrauliche relative alla dinamica che induce l'allagamento della città di Sondrio, due fattori:

- il rischio per la città si genera principalmente a seguito di eventi di sovralluvionamento che riducono drasticamente l'efficienza dell'alveo o a seguito di onde anomale (portate al colmo superiori a $600 \div 700 \text{ m}^3/\text{s}$) originate da collassi di sbarramenti in alveo da frana di versanti;

- il volume di materiale che induce limitazioni al deflusso in alveo risulta di entità minima pari a circa 200'000÷250'000 m³ e tende ad essere deposto durante la fase di esaurimento dell'onda di piena.

3.3 SINTESI DEL RISCHIO

Come evidenziato l'interpretazione del rischio indotto dalle instabilità di versante e dalla produzione di trasporto solido nel bacino del torrente Torreggio è connesso a fattori locali e generali.

In Tabella 4 sono riportati gli elementi a rischio e le cause di pericolo individuate. A quanto esistente nel 1987 occorre aggiungere come detto il manufatto di imbocco della galleria di Spriana e le opere di regimazione stesse sul Torreggio che, se danneggiate, potrebbero indurre esse stesse rischi alle infrastrutture di valle.

Tabella 4 - Elementi a rischio

Elementi a rischio	Cause di rischio
Opere di regimazione a monte abitato (briglie 17-25) di Torre S. Maria	Disalveamento da monte ed aggiramento delle strutture
Frazioni Val Torreggio e viabilità di accesso	Frana
Ponte a monte abitato di Torre S. Maria	Disalveamento a monte, aggiramento dei muri d'ala e demolizione degli stessi
Opere di regimazione nell'abitato di Torre S. Maria. N. 3 abitazioni prossime all'alveo Ponte di accesso dalla S.P.	Disalveamento a monte e spagliamento delle acque e dei detriti con interessamento del ponte sul Mallero
Ponte S.P. sul Mallero a valle Torre S. Maria	Sovralluvionamento e piena
Ponte Spriana	Sovralluvionamento e piena
Imbocco by-pass Spriana	Sovralluvionamento
Abitato di Sondrio	Sovralluvionamento

3.4 RIDUZIONE DEL RISCHIO INDOTTA DAGLI INTERVENTI ESEGUITI

Individuati gli elementi a rischio e le dinamiche per cui gli stessi possono essere nuovamente interessati da fattori calamitosi quali quelli del 1987 si analizzano ora i fattori di mitigazione introdotti con le opere eseguite sull'asta del Torreggio.

Come riportato nei dettagli di calcolo della relazione idraulica (B.02.00), le regimazioni d'alveo eseguite dal 1987 al 1992 tra la confluenza in Mallero e la briglia 25 a monte garantiscono il transito delle portate di piena (derivanti dall'ipotetico collasso di sbarramenti con altezza compatibile con le masse instabili) con adeguato franco di sicurezza rispetto all'abitato di Torre S.Maria. Nella verifica idraulica dei manufatti nella configurazione attuale si sono individuati taluni limitati aspetti di debolezza tra la briglia selettiva 17 ed il ponte alto attraverso le quali le piene (di ordine di grandezza maggiore di 250 m³/s e quindi associabili, secondo i calcoli idrologici, a collasso di sbarramenti da frana) possono disalveare e quindi scorrere a tergo dei muri del cunettone e giungere ad interessare le case di Torre S. Maria prossime all'alveo ed il ponte di collegamento con la S.P..

Le sistemazioni esistenti (ad eccezione del breve tratto commentato al capoverso precedente) pertanto conducono ad una mitigazione del rischio idraulico a carico dell'abitato precludendo il ripetersi dell'evento di disalveamento e forte erosione che ha condotto alla distruzione delle abitazioni poste alla confluenza. Rispetto alla configurazione ante 1987 pertanto nei confronti di un normale evento di piena (seppur di elevato tempo di ritorno come del resto già avvenuto nel corso degli anni dal 1987 ad oggi – vedi

relazione idrologica B.01.00) la struttura viaria e la zona circostante l'alveo presentano un grado di rischio residuo modesto.

In merito alla possibile formazione di portate liquido-solidi di entità pari a quelle del 1987 e quindi superiori a quelle liquide determinate a livello idrologico, si sono individuate due possibili cause di innesco:

- per formazione di sbarramento a seguito di collasso di porzioni di versante e successiva tracimazione e rapida erosione;
- per innesco di fenomeni di debris-flow e slope-failure.

Per quanto concerne la prima delle due cause (collasso di porzioni di versante) si rimanda alla relazione geotecnica (B.05.01), ove sono descritte in dettaglio le possibili zone di instabilità e le relative masse movimentabili. A fronte di tali scenari le opere eseguite hanno operato una riduzione del rischio per quanto concerne l'evoluzione della frana denominata Av. Il rialzamento e il corazzamento d'alveo al piede di tale frana (tra le briglie 18 e 25), generatasi come detto nel 1988, ha di fatto sostanzialmente annullato le possibilità che in tale zona possano verificarsi gli scivolamenti ipotizzati con le più profonde superfici di scorrimento e quindi con le maggiori masse. Dai dati relativi al sistema di monitoraggio emerge infatti come la frana (estensimetro E6/A) sia sostanzialmente stabilizzata. Risultano immutate viceversa le condizioni di potenziale instabilità dei versanti di frana A e B non interessati dalle opere eseguite; peraltro i meccanismi di movimento della frana B sono caratterizzati da velocità di deformazione basse e, quindi, da ridotte probabilità di un collasso tale da provocare lo sbarramento dell'alveo. Vi è tuttavia da menzionare la, seppur provvisoria, opera di allontanamento delle acque (del

Torreggio) dal piede dell'ammasso di frana A che ha contribuito a ridurre le probabilità di evoluzione della parte bassa del versante (sino a quota 1'200 m s.m. circa). La pericolosità dell'erosione al piede di tale ammasso (che può sviluppare un volume di franamento seppur superficiale pari a $100'000\div 150'000\text{ m}^3$) è testimoniata dall'azione visibile delle poche acque di ruscellamento dal versante che tramite il canale A2 giungono al fondo valle e poi scorrono per 200 m prima di raggiungere l'alveo principale (vedi Figura 15).

Figura 15 - Acque di ruscellamento al piede della frana A



Per quanto concerne le frane B, C e D ed E e le instabilità minori che caratterizzano la Val Torreggio le opere esistenti non hanno indotto, dal punto di vista della mitigazione del rischio di collasso, alcun effetto. Come detto gli

effetti di minor pericolosità di tali ammassi sono dovuti al notevole miglioramento della capacità di deflusso dell'alveo nel tratto "urbano" e al contenimento degli effetti di allargamento e erosione dello stesso.

In sintesi pertanto le opere eseguite hanno condotto alla riduzione significativa del rischio di formazione di sbarramento per effetto della frana Av mentre non hanno sostanzialmente mutato lo scenario di rischio per formazione di sbarramento da collasso degli altri versanti. Dalle calcolazioni eseguite tuttavia il collasso delle masse instabili porta a produrre sbarramenti d'alveo di entità tale da indurre ondate di ipotetico collasso compatibili con l'alveo nel tratto sistemato (cfr. relazione idraulica B.02.00 e relazione geotecnica B.05.01).

In merito alla formazione di debris-flow e slope-failure si evidenzia quanto segue:

- nel tratto sistemato (briglie 17-25) le opere risultano dimensionate per resistere a sollecitazioni derivanti dal possibile urto di colate liquido-solidi delle caratteristiche in oggetto. Tale dimensionamento e la conseguente stabilizzazione del fondo e delle sponde dell'alveo nell'intero tratto riduce il rischio di instaurarsi di fenomeni di debris-flow nella zona terminale del corso d'acqua. Sulla base dei calcoli esecutivi condotti, infatti, le condizioni teoriche di innesco senza possibilità di arresto del fenomeno si hanno per pendenze dell'ordine del 35% mentre l'arresto avviene per pendenze inferiori al 25% ben superiori a quelle esistenti pari al 13%;
- nei confronti di fenomeni che si instaurino a monte del tratto sistemato ed in particolare sino alla confluenza del torrente Arcogliasco (ove la pendenza media si attesta su valori pari al 27%) le opere di sistemazione

e eseguite non possono garantire l'impedire dell'insorgere del fenomeno. Dai calcoli eseguiti tuttavia i possibili fenomeni di debris-flow (battente circa 4,00 m; velocità circa 6,5÷7 m/s) vedono attenuata la loro violenza sia nel tratto tra le briglie 25 e 17 (battente circa 4,0 m; velocità 4÷5 m/s) sia nel tratto tra la briglia 15 e la confluenza in Mallero (battente 5,5 m; velocità 4÷4,3 m/s). Tali opere risultano, come detto, in grado di controllare ed evacuare le portate liquido-solido da debris-flow (calcolate in circa 250 m³/s – cfr. relazione idraulica B.02.00) con franchi di sicurezza adeguati, anche in caso di completo attonamento dei salti per effetto del trasporto solido stesso. Inoltre il presidio rappresentato dalla briglia selettiva 17 consente di limitare il rischio che massi ciclopici possano interessare il successivo tratto a cunettone.

- nel tratto a monte, ove la pendenza media del corso d'acqua (rilievo ottobre 2001) è pari in media al 19%, l'innescò di colate trova adeguato contrasto naturale alla propagazione.

In sintesi, le opere di regimazione eseguite, seppur non conducano ad escludere in toto la possibile formazione di movimenti di massa in alveo, garantiscono che gli stessi si possano generare in zone ben localizzate (tra la confluenza Arcogliasco e la briglia 25) e possano subire attenuazione determinante ai fini della salvaguardia dei beni a valle e della concentrazione impulsiva di massa alla confluenza in Mallero.

A quest'ultimo aspetto si legano le valutazioni di più difficile quantificazione legate ai seguenti fattori:

- la città di Sondrio, come visto al par. 3.2, risulta soggetta a rischio

esondazione per effetto di portate di piena connesse a fenomeni di sovralluvionamento d'alveo;

- tali fenomeni di sovralluvionamento non sono stati infrequenti nel corso degli ultimi due secoli;
- la probabilità che un collasso dei versanti in Val Torreggio possa contribuire al sovralluvionamento d'alveo del Mallero nel tratto urbano di Sondrio è collegata alla possibilità di concomitante piena del Mallero stesso con conseguente capacità di trasporto del materiale dalla confluenza a Sondrio. Le caratteristiche del Mallero indicano che vi sono circa 4 chilometri a valle della confluenza del Torreggio in cui il torrente tende a depositare e, proseguendo verso valle, altri 4 chilometri in cui le pendenze e la ristrettezza dell'alveo ne fanno un puro canale di trasporto;
- l'entità dei volumi di sedimento in grado di indurre una situazione di crisi del tratto urbano di Mallero (circa 200'000÷250'000 m³ al netto della porzione convogliata in Adda) risultano incompatibili con i valori di normale produzione del bacino del Torreggio (la produzione media annua è stimata in circa 30'000 m³) e anche con le ipotesi di franamento di versante e successivo collasso dello sbarramento indotto. Come detto le stime conducono a volumetrie massime di circa 150'000÷200'000 m³ per quanto concerne le zone instabili (e a valori decisamente inferiori se si esclude la zona bassa delle frane A e B, il presente progetto prevede le maggiori opere di stabilizzazione ed intervento). Di questi volumi complessivi, tuttavia, solo quelli che presentano meccanismi di franamento rapidi sono potenzialmente in grado di provocare lo sbarramento dell'alveo ed il loro ammontare non

supera i 50'000÷80'000 m³. Tali volumetrie non risultano incrementare il grado di rischio per la città di Sondrio in quantità significativa rispetto al rischio indotto dalla totalità del bacino del Mallero (cfr. relazione sul trasporto solido B.06.00). Anche nell'ipotesi di movimentazione di materiali in quantità pari a quella stimata nel corso dell'evento del luglio 1987 (0,6-1,0 milioni di m³ di cui la quasi totalità dal solo versante A) la capacità di trasporto del Torreggio e del successivo tratto di torrente Mallero (da sopporre in piena durante la fase di collasso dello sbarramento momentaneo ipotizzato sull'affluente) non risultano compatibili con scenari di sovralluvionamento marcato e decisivo del tratto urbano di Sondrio. Analogamente, per quanto detto e per quanto operato dal presente progetto, si possono ritenere minimi i rischi di possibile sovralluvionamento dell'imbocco della galleria by-pass di Spriana.

Alla luce di quanto sopra le opere eseguite, perseguendo l'obiettivo di ridurre sia le instabilità di versante più pericolose prechè più prossime alla zona urbanizzata e quindi insistenti su un tratto di alveo incassato e compresso tra versanti ed urbanizzazione (frana Av) sia la capacità di mobilitazione e trasporto di sedimenti a valle, hanno conseguito anche una riduzione del rischio indotto alla città di Sondrio ed alla galleria di Spriana, seppur tale rischio appare (analisi di dettaglio in relazione sul trasporto solido B.06.00) non elevato se correlato al solo bacino del Torreggio. Questo perché, come detto in relazione sul trasporto solido (B.06.00), la disponibilità di materiale lungo l'asta del Torreggio (per dissesto dei versanti) e quella lungo l'asta del Mallero (per alterazione del regime idrometrico medio annuo a seguito dei prelievi

idroelettrici), hanno origine assai dissimile e pertanto sono caratterizzate da modi, tempi e volumetrie difformi e non paragonabili tra loro. Negli stessi studi propedeutici alla valutazione di impatto ambientale sono state condotte analisi a scala di bacino in merito all'individuazione delle zone di alimentazione e deposito lungo l'asta del Mallero.

I risultati, in estrema sintesi, mostrano quanto segue: lungo l'asta del Mallero si alternano zone di trasporto e zone di deposito localizzate principalmente: a valle della morena del Sissone, in Comune di Chiesa, ove, sempre in riferimento all'evento campione del 1987, si sarebbe accumulato più del 30% del materiale mobilitato; nel tratto compreso tra Torre S. Maria e Scilironi (20% circa); nel tratto tra Arquino e Gombaro (10% circa); in Sondrio (poco più del 10% circa).

Emergerebbe pertanto una sistemazione complessiva per cui Sondrio e Spriana risultano a valle di tratti fluviali con tendenza al deposito (tratto Torre S.Maria-Scilironi e tratto Arquino-Gombaro) di sicuro effetto specie a seguito dell'esecuzione di opere di ritenuta (cfr. briglie di ritenuta e briglia selettiva a valle di Torre S.Maria – loc. Prato) e della ricostruzione di opere di regimazione (interventi relativi alle schede ML/5,6/1...8 e ML/5/1 tra Chiesa Valmalenco e Sondrio).

4. RISCHIO RESIDUO, CORRELAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO CON LE OPERE ESISTENTI E ANALISI DEGLI EFFETTI ATTESI A SCALA DI BACINO

Come evidenziato nei capitoli precedenti gli interventi eseguiti sull'asta del torrente Torreggio hanno conseguito una riduzione del rischio locale e a scala di bacino, che oggi consente di focalizzare le linee di intervento alla soluzione delle seguenti problematiche residue (tra quelle di scala affrontabile con opere di natura ingegneristica):

- la riduzione della possibilità di erosione del piede dei versanti A e B nel tratto compreso tra confluenza Arcogliasco e briglia 25 e del conseguente innesco di fenomeni di collasso di volumi quantificati in 150'000÷200'000 m³ e pertanto tali da condurre a ostruzioni seppur parziali d'alveo. Tale opera, già oggi presente e razionalizzata nel progetto, è determinante se si pensa all'innesco del fenomeno del 1987 (cfr. Relazione generale A.01.00);
- la riduzione della possibilità di collasso dell'ammasso di frana A per effetto della saturazione da acque di falda come evidenziato oggi dalle numerose emergenze tra quota 1'080 m s.m. e quota 1'125 m s.m. e dall'assoluta assenza di emergenze da quota 1'125 a quota 1'300 m s.m.;
- la riduzione in generale delle acque di superficie che possano circolare liberamente sulle masse giudicate a maggior rischio di instabilità o maggiormente impattanti sulle opere in essere o in progetto;
- il consolidamento dell'alveo nella zona critica tra Arcogliasco e briglia 25 (in appoggio al tratto considerato stabilizzato) al fine di ridurre la possibilità di innesco di fenomeni di colata detritica che coinvolgano tutta

la tratta di lunghezza totale 600 m circa;

- l'adeguamento delle opere esistenti finalizzato alla riduzione delle possibilità di disalveamento e quindi di interessamento della zona urbana di Torre S.Maria a confluenza Mallero in caso di fallimento o ridotta efficacia degli interventi volti a ridurre i rischi precedenti.

L'insieme dei rischi residui elencati e delle conseguenti strategie di contenimento implica come effetto anche la riduzione dei rischi indotti a scala di bacino dalla notevole dinamicità dei versanti e dell'asta del Torreggio, sebbene tali rischi (sia per l'abitato di Sondrio sia anche per l'imbocco della galleria di Spriana) siano ridotti. Come relazionato infatti gli effetti di apporti di materiale solido seppur in quantità notevoli dal Torreggio non risultano determinanti ai fini dell'esposizione al rischio di cose o infrastrutture lungo l'asta del Mallero sino all'abitato di Sondrio. Le calcolazioni eseguite dal 1988 (fonte ISMES) ad oggi (Studi Propedeutici di Impatto Ambientale) di fatto inducono un ridimensionamento dell'influenza del Torreggio come causa principale degli eventi alluvionali in Sondrio. A tal proposito si deve anche aggiungere il confronto tra i possibili sbarramenti stimati per collasso di versanti sul Torreggio (altezza 8÷15 m e volumetrie di invaso a tergo di poche migliaia di metri cubi, stante la pendenza media del 27% dell'alveo e la relativa larghezza della valle) e per collasso della frana di Spriana (altezza 45÷68 m e volumetrie di invaso a tergo di milioni di metri cubi). Analogamente le analisi dell'evento del luglio 1987 indicano come nei confronti dei fenomeni di sovralluvionamento nel centro di Sondrio l'apporto delle masse derivanti dal Torreggio sia una percentuale non di entità elevata e che per concorrere

all'instaurarsi di pericolo occorra il contributo derivante da buona parte del bacino del torrente Mallero. Sulla base di quanto esposto si ritiene che un'efficace riduzione del rischio locale e quindi il raggiungimento degli obiettivi elencati ad inizio capitolo possano rappresentare un sufficiente contenimento del rischio indotto a scala di bacino.

Per quanto detto, e per le dinamiche (cfr. Relazione generale A.01.00) in atto, non si ritiene utile (ed anzi potrebbero aversi controindicazioni non solo a livello gestionale ma anche di rischio di indurre fenomeni di erosione in un alveo oggi stabile), proporre ulteriori bacini di accumulo del trasporto solido sul Torreggio.

5. PROPOSTA DI PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO AI SENSI DELLA LEGGE 267/98

Per concludere la presente analisi connessa al rischio di carattere idrogeologico residuo relativo all'asta del Torreggio a seguito delle opere contenute nel presente progetto si riporta nelle tavole A.02.02 e A.02.03 le perimetrazioni delle aree a rischio idrogeologico ai sensi della legge 267/98 nella situazione attuale e a seguito delle opere di progetto.

Per quanto detto in precedenza la perimetrazione è relativa unicamente al bacino del Torreggio in quanto i fenomeni di piena e sovralluvionamento dello stesso non inducono effetti tali da poter correlare le perimetrazioni lungo il Mallero agli eventi del Torreggio. Nelle tavole sono dunque riportate le perimetrazioni che si riferiscono sia alle fasce prossime all'alveo (esondazioni) sia alle zone di rischio per franamenti e collasso di versanti.

Come rilevabile, l'attenta analisi dei dati e delle dinamiche in atto hanno consentito non solo di focalizzare le necessità di intervento lungo il bacino ma anche di circoscrivere le zone da assoggettare a vincolo.

Per la perimetrazione dei rischi di frana si è fatto riferimento alle metodologie di studio sviluppate dalla Struttura Rischi Idrogeologici della Regione Lombardia – U.O. Attività Generali e Conoscenza del Territorio (*Procedure per la Valutazione e la zonazione della Pericolosità e del rischio da frana in Regione Lombardia – Milano, dicembre 2000*).

Le principali tipologie di frana individuate nella zona in esame possono essere riferite a fenomeni di crollo di roccia, eventualmente con collegati fenomeni di valanga di roccia (rock-avalanch), scivolamenti traslazionali e rotazionali

complessi con grandi volumi mobilizzati e colate di detrito.

La prima tipologia è rilevabile in corrispondenza delle pareti in roccia presenti a partire da circa 1350 m di quota a nord di Ciappanico: data la rarità di eventi rilevanti e considerata l'ininfluenza sui nuclei abitativi, la zonazione è stata fatta in modo speditivo, individuando unicamente l'area di distacco dei singoli massi e l'area di accumulo dei blocchi.

La seconda tipologia è stata osservata lungo entrambi i versanti della media e bassa valle. In particolare, prendendo in considerazione le frane già avvenute, anche di importanza storica, sono state perimetrare la paleofrana in destra orografica e la paleofrana in sinistra orografica di Rocca di Castellaccio.

Al loro interno, le paleofrane sono state zonate, in seguito all'analisi della bibliografia verificata ed integrata con apposite indagini in sito ed elaborazioni di modelli numerici per la definizione della probabilità di accadimento effettuate dagli scriventi, in base allo stato di attività nelle condizioni attuali.

All'interno della paleofrana in destra orografica sono state distinte le seguenti aree:

- una zona di fondovalle, lungo il cordone che separa l'area in esame dal Torrente Arcogliasco, considerata quiescente e con classe di pericolosità H3,
- una fascia lungo tutto il fronte della paleofrana considerata quiescente di classe H4,
- la zona centrale, che per l'area più a monte è considerata inattiva, con pericolosità H2, e per l'area più a valle è relitta con pericolosità H1,
- alcune fasce a monte, al coronamento della frana A del 1987,

considerate quiescenti di classe H3.

La paleofrana Rocca di Castellaccio è stata suddivisa in sole due zone:

- la prima a partire dal fondovalle fino a circa a quota 1260 m, che individua l'attuale zona B, considerata quiescente e con pericolosità H3,
- la seconda che interessa tutta la zona a monte ormai inattiva di classe H2.

Gli interventi previsti nel presente progetto, comportano una significativa riduzione della pericolosità dell'area; infatti l'intera zona identificata dalla frana Rocca di Castellaccio verrà migliorata così da potere essere considerata inattiva e quindi con classe di pericolosità molto bassa (H2).

Per quanto riguarda la paleofrana in destra orografica, gli interventi sono previsti solo nella fascia di fondovalle: tale zona verrà quindi ad uniformarsi con la zona centrale e potrà essere considerata tutta inattiva. Nella zona sommitale non verranno effettuati interventi di entità rilevante atti a modificare l'attuale pericolosità dell'area, per i seguenti motivi:

- le aree sono di limitata estensione e quindi coinvolgono volumi di entità poco rilevante, come evidenziato nella Carta della pericolosità allo stato post interventi (cfr. Tav. A.02.03);
- le possibili zone di scorrimento del materiale e le zone di accumulo non influenzano l'abitato di Ciappanico e di Torre Santa Maria, e non sono quindi da considerare un pericolo per persone e infrastrutture o servizi.

Analogamente per il rischio di esondazione gli interventi in progetto circoscrivono all'alveo, anche nella zona di Torre S.Maria che oggi può essere

interessata da inondazione indiretta per disalveamento da monte, le fasce di vincolo.

Milano, dicembre 2006

I PROGETTISTI

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

Dott. Geol. Lamberto Griffini