

**COMUNE DI LOVERE**

Provincia di Bergamo

**PROGETTO ESECUTIVO**

INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO IN LOCALITA' TRELLO

ALLEGATO:

**1**

COD:

**1/17**

**RELAZIONE TECNICA**

SETTEMBRE  
2006

Prof. Ing. BALDASSARE BACCHI

Dott. Ing. SERGIO TACCOLINI

Prof. Geol. ALBERTO CLERICI

Dott. Geol. GILBERTO ZAINA

## I · N · D · I · C · E

1. Premessa .....	2
2. Linee guida per la mitigazione delle condizioni di pericolosità.....	7
3. Indicazioni generali d'intervento .....	10
3.1. Interventi di eliminazione della circolazione di acque parassite conseguenti al malfunzionamento dei servizi .....	10
3.2. Intercettazione delle acque nell'area della sorgente Biff .....	10
3.3. Rifacimento del canale di allontanamento delle acque della sorgente Biff...	11
3.4. Altri drenaggi superficiali.....	12
3.5. Scarico a lago delle acque di drenaggio .....	12
3.6. Consolidamenti .....	12
4. Descrizione opere in progetto .....	14
4.1. Micropali .....	16
4.2. Piezometri.....	19
4.3. Trincee drenanti.....	19
4.4. Condotta acque sorgive e drenaggi .....	20
4.5. Rete fognaria separata.....	21
4.6. Acquedotto e sottoservizi vari .....	22
4.7. Condotta di scarico a lago .....	23
4.8. Piano di monitoraggio .....	25
5. Quadro economico .....	27
6. Atti del progetto.....	28
7. Considerazioni conclusive .....	29
8. Allegato: calcoli idraulici rete acque bianche.....	33

## 1. Premessa

Il territorio comprendente le località TRELLO, CORNASOLA e la fascia tra CORNASOLA e Via ADAMELLO (zona Lago) in Comune di Lovere (Provincia di Bergamo) è da tempo interessato da fenomeni deformativi collegabili ad un complesso quadro geologico ed idrogeologico.

Il progredire dei fenomeni ha determinato la comparsa di fessurazioni e lesioni in edifici e strutture murarie, improvvisi sprofondamenti di tratti della rete stradale con compromissione dei sottoservizi nonché avvallamenti d'aree prossime ad edifici esistenti.

I fenomeni di dissesto rilevati hanno manifestato accelerazioni nei periodi recenti che hanno indotto l'Amministrazione comunale ad avviare gli studi per la messa a punto di interventi di mitigazione del rischio idrogeologico.

Le aree del territorio Comunale nelle quali è stata rilevata la maggiore concentrazione di lesioni agli edifici ed alle strutture sono:

- AREA TRELLO: in tale area si sono manifestati cedimenti differenziali delle strutture con conseguenti lesioni che sono andate via via ampliandosi nel tempo, abbassamenti localizzati della superficie topografica ed improvvisi sprofondamenti che hanno influenzato anche la continuità laterale dei sottoservizi;
- AREA CORNASOLA: in tale area sono stati riconosciuti fenomeni franosi ad evoluzione lenta, nei quali si manifesta una componente traslativa orizzontale (espansione laterale) e movimenti di scivolamento s.l. con coinvolgimento della rete stradale esistente, in particolare la S.S. 42;
- AREA A LAGO: in questa area le lesioni presenti negli edifici esistenti sono da collegare essenzialmente a processi di suffosione.

Allo scopo di ricostruire il quadro geologico entro il quale si stanno sviluppando i processi in atto, l'Amministrazione Comunale di Lovere ha intrapreso, a partire dal mese di giugno 2004, una serie di campagne d'indagini costituita da:

- 1) catalogazione dei dissesti presenti negli edifici e ricostruzione del quadro geologico ed idrogeologico sulla base delle informazioni esistenti;
- 2) indagini geognostiche nell'area di Trello comprensive della conduzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, di linee tomografiche elettriche, di prove penetrometriche, di linee sismiche e di prove down-hole, oltre all'installazione di una rete piezometrica per il controllo della falda;

- 3) indagini geognostiche lungo la fascia a lago, comprensiva di sondaggi geognostici, prove penetrometriche, linee tomografiche elettriche, linee sismiche a rifrazione, l'installazione di una rete piezometrica per il controllo della falda acquifera e prove cross-hole;
- 4) indagini geognostiche lungo il versante di Cornasola comprensive di un sondaggio geognostico a carotaggio e di indagini geofisiche;
- 5) monitoraggio della rete di controllo topografico ed una campagna di letture della quota del livello freatico alla rete piezometrica.

I risultati delle indagini hanno permesso di formulare le ipotesi e le elaborazioni di calcolo riportate nella relazione geologica e nella relazione geotecnica allegate al presente progetto esecutivo.

Come meglio illustrato nelle pagine a seguire, il presente progetto sviluppa in termini più approfonditi le problematiche attinenti l'area del Trello già delineate sommariamente nel precedente studio di fattibilità, esteso a tutte le aree citate in precedenza, e soprattutto nel progetto preliminare.

Rispetto agli studi precedenti, questo progetto è stato sviluppato sulla scorta delle indagini geologico-tecniche e ai calcoli e modelli geotecnici nel frattempo eseguiti, di approfondimenti locali dei rilievi di carattere topografico e sui sottoservizi esistenti. È inoltre stata effettuata un'ulteriore campagna di indagini con il prelievo di 6 campioni di terreno indisturbato per effettuare prove edometriche, triassiali e di taglio. Dalle prove edometriche è stato ricavato un valore di stima della permeabilità del terreno indagato. Ciò ha consentito la messa a punto di un modello di calcolo geotecnico del terreno che ha guidato la scelta definitiva della soluzione progettuale adottata, come riportato nella corrispondente relazione.

Nella stesura del presente progetto esecutivo sono state inoltre esaminate e accolte, peraltro integralmente, le osservazioni ed i consigli tecnici formulati dai membri della Commissione Giudicatrice nominata dal Comune di Lovere per esprimere pareri in merito al progetto di sistemazione dell'area del Trello. I progettisti, valutata la puntualità delle singole osservazioni unitamente alla stessa Commissione ed in accordo con i responsabili tecnici del Comune di Lovere, si sono sostanzialmente trovati in accordo con le osservazioni stesse.

In particolare merita una apposita nota l'esigenza di lasciare ispezionabili i pozzi di perforazione per una futura funzione di drenaggio o per interventi integrativi che si rendessero necessari in futuro. Tale richiesta è stata accolta prevedendo un sistema di copertura dei pozzi di tipo prefabbricato per la struttura portante, in modo da poter

essere rimossa e riutilizzata, e di tipo gettato in opera per la parte di completamento in modo da garantire comunque la necessaria rigidità dell'opera. L'accessibilità è stata garantita con opportune botole di accesso mentre la disponibilità economica, come del resto era già stato accennato alla Commissione Giudicatrice, non ha consentito di prevedere in questa fase le attrezzature idrauliche ma è stato comunque previsto l'allaccio della tubazione di scarico delle future acque sollevate.

Il secondo punto che merita attenzione è sicuramente quello relativo all'effettiva orizzontalità dei micropali in base alla tecnologia tradizionale adottata in progetto. Si ricorda che fra le prime ipotesi di intervento era stata presa in esame la tecnologia della perforazione guidata ma la stima dei costi era decisamente incompatibile con le somme a disposizione. Solo a titolo orientativo si sarebbe potuto intervenire solo su due o tre edifici e non più. Per cercare di avere un riscontro delle opere qui progettate sono stati previsti cinque micropali realizzati con la misura, in fase di perforazione, della deviazione angolare rispetto all'orizzontalità richiesta. Questi micropali funzioneranno da test sia per verificare l'obiettivo la direzione effettiva sia per tarare la pressione di iniezione della miscela acqua/cemento. La localizzazione di questi micropali sarà accordata in fase di esecuzione delle opere con la Direzione Lavori.

Il terzo punto esaminato riguarda la compatibilità idraulica della condotta esistente nella quale verranno scaricate le portate drenata nella località Trello. La tubazione in oggetto è costituita da un condotto in acciaio tipo finsider del diametro sicuramente superiore ad 1.0 m. Non è stato possibile misurare il preciso diametro in quanto la condotta è perennemente sommersa dal livello d'invaso del lago d'Iseo. Tale condizione determina un funzionamento pressoché in pressione per lo scarico delle portate in arrivo da monte e la presenza dei salti di fondo nelle camerette in progetto a monte della SS 42, oltre alla pendenza di posa della condotta, garantisce tranquillamente il carico piezometrico necessario allo svuotamento degli afflussi. Si ricorda comunque, più che altro ai fini dello schema idraulico generale, che a monte della scalinata Adamello verrà realizzato uno scolmatore che sarà in grado di deviare una quota parte degli afflussi verso la fognatura delle acque bianche di Via Papa Giovanni XXIII. Codesta fognatura si troverà difatti decisamente "scarica" poiché, con il completamento delle opere fognarie di Via San Maurizio, l'afflusso che giungeva dalla Stradetta del Trello è stato completamente deviato e non interessa più il collettore di Via Papa Giovanni XXIII. In relazione alla stima delle portate drenate dalla località Trello, l'utilizzo dei dati pluviometrici della stazione di Bergamo è sicuramente una scelta obbligata a maggior ragione quando i dati di interesse riguardano eventi intensi di breve durata (inferiore ad un ora).

La quarta osservazione che merita una riflessione è relativa alle scarse caratteristiche meccaniche dei terreni. In base ai risultati delle prove effettuate sui campioni indisturbati è stato tarato il modello geotecnico che ha comunque mostrato l'inevitabile formazione di cedimenti durante la fase di drenaggio. Circa tale evenienza, previdibile in via di concetto senza analisi numeriche, era stata già avvisata la popolazione nell'incontro tenutosi alla fine di maggio. In quella sede si era comunque convenuto sul fatto che ad oggi il naturale progredirsi degli assestamenti porterebbe nel tempo all'inagibilità delle abitazioni e quindi in questa ottica andavano accettati gli assestamenti che si verificheranno nella fase di consolidamento. Eventuali simulazioni del modello geotecnico potrebbero rendersi necessarie durante l'esecuzione delle opere a seconda dei cedimenti realmente misurati. In tali condizioni, sarà possibile prelevare ulteriori campioni indisturbati ed effettuare nuove prove di laboratorio. Tale esigenza si renderà eventualmente necessaria in fase di direzione dei lavori. Rimane certamente di fondamentale importanza l'informativa che l'Amministrazione dovrà inviare ai singoli proprietari prima dell'inizio di tali opere. In accordo con la Commissione Giudicatrice tale lettera dovrà avere solo il carattere di informativa e non di richiesta di autorizzazione che, come appurato con i legali dell'Amministrazione, non risulta necessaria. Lo stato fessurativo degli edifici prima dell'inizio dei lavori sarà comunque oggetto di una prima fase del piano di monitoraggio che terminerà con la sottoscrizione, anche da parte dei privati, di schede informative degli edifici lesionati. Resta comunque un punto fisso da ribadire in quella sede, l'impossibilità da parte dell'Amministrazione di intervenire sul ripristino strutturale e/o architettonico delle singole abitazioni<sup>1</sup>.

Chiariti i principali punti delle osservazioni e delle riflessioni fatte con la Commissione Giudicatrice, è necessario affrontare un ultima problematica inerente il monitoraggio delle opere eseguite. Ad oggi esiste già una buona banca dati relativa agli stati fessurativo degli edifici e ai livelli della falda nonché alla caratterizzazione chimica della sorgente Biff. Come è stato sopra descritto, tale banca dati andrà aggiornata all'inizio dei lavori e durante l'esecuzione delle stesse opere. Tale monitoraggio è stato ricompresso fra le opere a base d'appalto. Per ragioni di compatibilità economica, non è invece stato possibile prevedere in appalto anche l'attivazione del monitoraggio ad opere eseguite. Tale fase è comunque di fondamentale importanza in considerazione

---

<sup>1</sup> E' qui fondamentale sottolineare che la normativa in base alla quale sono attuati gli interventi di sistemazione in Comune di Lovere è quella delle 'leggi di difesa del suolo' che, a partire dalla L.183/89 per proseguire con le successive leggi decreti hanno stabilito dei precisi criteri per la conduzione delle sistemazioni. In particolare in questo caso l'area in questione è stata perimettrata ai sensi dell'art.1 della L. 267/98 che prevede la possibilità di mitigazione del rischio idrogeologico solo con interventi mirati alla messa in sicurezza di un intero territorio e che non vadano ad esclusivo beneficio di singoli privati.

della tempistica dei processi di consolidamento e del "bene esposto" nell'area in esame. I progettisti hanno quindi ritenuto opportuno redigere anche questo piano monitoraggio post-opera pervenendo ad una stima dei costi per la sua possibile applicazione. Tale spesa dovrà essere affrontata dall'Amministrazione considerando che il monitoraggio previsto è parte integrante della manutenzione delle opere realizzate, quindi non rappresenta una maggior spesa bensì è una quota parte che completa la funzionalità dei lavori in appalto.

## 2. Linee guida per la mitigazione delle condizioni di pericolosità

Dal modello geologico fino ad ora ricostruito per l'area del Trello si evidenzia un sottosuolo caratterizzato da eterogeneità laterali sia in seno al substrato roccioso che ai terreni di copertura. Dalle prime osservazioni emerge come l'area sia soggetta ad evoluzione morfologica attiva in relazione ai processi di dissoluzione nel substrato roccioso ed a processi di suffosione.

In sintesi, il territorio è soggetto a processi evolutivi veloci ed attivi che si sviluppano su due livelli:

- livello profondo: interessano il substrato roccioso e sono da collegare all'evoluzione dei fenomeni di dissoluzione carsica e di trasformazione fisico chimica delle rocce evaporitiche;
- livello superficiale: si sviluppano nei terreni di copertura e sono da ricondurre ai processi profondi per crolli di cavità carsiche ed erosioni differenziate causate da flussi canalizzati delle acque di falda, nonché a processi d'alterazione delle caratteristiche meccaniche a seguito di modifiche delle condizioni d'umidità.

I processi di dissoluzione sono favoriti da alterazioni dell'equilibrio chimico del complesso assetto idrogeologico.

In relazione alle caratteristiche granulometriche ed idrogeologiche dei terreni superficiali, i sedimenti sono riconducibili ad assestamento delle aree a seguito di fenomeni di fluidificazione occasionalmente indotta da sismi ed anche localmente da vibrazioni di superficie oltre che a fenomeni di suffosione: le acque, infatti, tendono a defluire a lago seguendo direttive definite dall'assetto stratigrafico e morfologico del substrato. Non é da escludere inoltre che i processi d'infiltrazione delle acque dalla superficie (per infiltrazione degli scarichi non centralizzati e rotture da condotti sottosuperficiali) determinino progressive riduzioni della caratteristiche geotecniche degli orizzonti superiori; l'afflusso d'acque ricche in CO<sub>2</sub> e cariche di batteri influisce sulle condizioni geologiche modificando l'equilibrio chimico e favorendo i processi d'alterazioni del gesso.

I processi attivi in entrambi i livelli si traducono in superficie con collassi e fenomeni d'abbassamento del piano campagna spesso localizzati ma diffusi nel territorio in esame, con la formazione di lesioni alle strutture rigide.

In sintesi, i fenomeni rilevati possono essere sintetizzati in termini di cause ed effetti nei seguenti punti:

<b>SUBSTRATO ROCCIOSO: GESSO ED ANIDRITI</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ alterazioni idrogeologiche indotte</li> <li>➤ deflussi canalizzati della falda</li> <li>➤ oscillazioni sensibili del livello della falda</li> <li>➤ afflussi idrici dalla superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ accelerazione dei processi di dissoluzione dei gessi ed alterazioni fisico chimiche delle evaporiti;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ alterazioni e sviluppo di cavità nel substrato roccioso</li> <li>➤ sprofondamenti di cavità per ampliamenti delle esistenti</li> </ul>

<b>DEPOSITI DI COPERTURA</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ sprofondamenti di cavità per ampliamenti delle esistenti</li> <li>➤ sismi e vibrazioni</li> <li>➤ erosioni e riduzioni della capacità meccanica degli orizzonti superficiali</li> <li>➤ afflussi d'acque mineralizzate ricche in solfati</li> <li>➤ variazioni dei livelli piezometrici della falda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ fluidificazione delle sabbie limose</li> <li>➤ suffosione</li> <li>➤ sprofondamenti localizzati</li> <li>➤ riduzioni delle capacità meccaniche degli orizzonti superficiali</li> <li>➤ corrosione degli elementi ferrosi (condutture, componenti di fondazione e sottofondazione non idonei)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ cedimenti localizzati</li> <li>➤ fessurazioni delle abitazioni e dei manufatti</li> <li>➤ lesioni ai sottoservizi con dispersione delle acque nel primo sottosuolo, infiltrazioni delle acque superficiali per assenza di collegamento delle acque bianche al sistema fognario esistente</li> <li>➤ diminuzione delle capacità meccaniche degli elementi di fondazione</li> </ul>

In prima misura è dunque possibile ricondurre le lesioni presenti negli edifici e nelle strutture, nonché il verificarsi di sprofondamenti nelle aree, al deflusso delle acque sotterranee, che aumentano le dimensioni delle cavità nel gesso e determinano fenomeni d'erosione del materiale detritico a granulometria fine che riempie le cavità.

Gli interventi dovranno pertanto mirare, innanzi tutto, al rallentamento dei processi dissolutivi nelle unità evaporitiche e di suffosione degli orizzonti superficiali.

In relazione ai fenomeni in atto, si ritengono necessari interventi da realizzare nelle zone circostanti la sorgente Biff mediante la definizione corretta dell'opera di derivazione, la realizzazione di opere di drenaggio e controllo della falda superficiale, nonché l'installazione di strumenti per il controllo ed il monitoraggio dei suoi livelli. In futuro, qualora necessario, si potrà pensare di regolare e contenere i deflussi delle acque di falda nei settori a valle, mediante la realizzazione di un sistema di pozzi. La realizzazione delle opere dovrà essere accompagnata da un attento monitoraggio dell'evoluzione dei fenomeni e la verifica degli effetti.

Dovranno inoltre essere realizzati interventi atti all'eliminazione delle possibili perdite dei sottoservizi ed il collegamento di tutte quelle opere che immettono in maniera non articolata acque nel primo sottosuolo.

Le linee guida degli interventi per la riduzione delle condizioni di rischio delle aree dovranno pertanto prevedere:

- la sistemazione dei sottoservizi;
- l'allontanamento delle acque d'infiltrazione superficiale derivanti dalle perdite dei condotti interrati e dei pluviali;
- la realizzazione d'opere adeguate alla raccolta ed al drenaggio delle acque dalla sorgente Biff e del settore posto nell'immediato intorno;
- la realizzazione di ulteriori trincee drenanti per la limitazione della circolazione idrica sub-superficiale;
- il consolidamento dei livelli superiori dei terreni soggetti a carichi mediante la formazione di micropali orizzontali o sub-orizzontali;
- la realizzazione di una condotta di scarico di tutte le acque drenate direttamente a lago con materiali a tenuta idraulica.

### 3. Indicazioni generali d'intervento

Complessivamente le fenomenologie in atto possono essere riconducibili a problematiche legate alle scadenti caratteristiche geologico-tecniche del suolo e del sottosuolo su cui si innesta una potente circolazione idrica sia di origine locale che proveniente da zone circonvicine. Ciò determina, rimandando alla relazione geologica per un analisi più dettagliata:

- 1)fenomeni di suffosione degli elementi più asportabili del sottosuolo con formazione di crolli ed avvallamenti della superficie topografica nella zona di Trello;
- 2)dissoluzione delle evaporiti con accentuazione del conseguente carsismo e messa in circolo di acque fortemente aggressive anche nei confronti delle strutture di fondazione degli edifici;

A fronte di queste problematiche, è possibile prospettare i seguenti interventi finalizzati alla mitigazione del rischio e al risanamento delle aree dissestate.

#### 3.1. Interventi di eliminazione della circolazione di acque parassite conseguenti al malfunzionamento dei servizi.

Le indagini effettuate nella zona del Trello hanno mostrato che lo stato di conservazione ed efficienza della rete fognaria deve essere molto migliorato. A volte i tronchi fognari non risultano a perfetta tenuta ed in alcuni casi la fognatura è semiriempita di materiale solido trasportato dalle acque per dilavamento. Ciò comporta che parte delle acque raccolte in fognatura dalle caditoie non viene trasportato verso valle, ma viene in realtà infiltrato nel sottosuolo, accentuando i fenomeni di suffosione dei terreni e di circolazione sotterranea. E' chiaro che questo ruolo parassita delle acque piovane va tenuto sotto controllo e il più possibile eliminato.

Un analogo discorso vale anche per le acque di approvvigionamento. La rete di acquedotto va risanata eliminando tutte le perdite esistenti.

#### 3.2. Intercettazione delle acque nell'area della sorgente Biff

La zona della sorgente Biff è, come detto, sede di una intensissima circolazione idrica sotterranea. Essa trae origine dal carsismo presente sulla montagna posta alle spalle dell'abitato e si concentra nella zona della sorgente ove affiora in più polle, molte delle

quali sono intercettate dall'opera di presa. Per quanto prima illustrato, si è potuto notare che, a seguito della costruzione della galleria di sottopasso della SS 42 e della conseguente intercettazione di molte delle acque di circolazione sotterranea nei carbonati sovrastanti l'abitato di Lovere, il chimismo della sorgente si è spostato verso una moderata accentuazione della concentrazione dei solfati (connessi alla dissoluzione delle evaporati soggiacenti ai carbonati fessurati e carsificati del monte di Lovere). A fronte di questo fatto, comunque, non è possibile riscontrare con certezza una diminuzione delle portate della sorgente. Anzi, per quanto si è potuto constatare visivamente, la sistemazione della vasca di carico ha suscitato l'emergenza di altre polle sorgentizie non intercettate che tendono a infiltrarsi nel manufatto creando un certo disagio.

Dato l'effetto negativo della circolazione delle acque sub-affioranti sia sui terreni superficiali su cui sono poste le fondazioni degli edifici sia nel substrato del sottosuolo ove tende a formarsi un carsismo del gesso (la cui manifestazione più macroscopica è costituita dall'intera dolina del Trello) appare necessario un intervento di drenaggio della circolazione sotterranea. L'intervento verrà attuato tramite trincea drenante ad anfiteatro che dovrebbe intercettare tutta la circolazione idrica fino a 3-6 m sotto al piano campagna. La stima delle portate da evacuare non è fattibile con precisione. Tuttavia, tenendo presente che la portata ordinaria della sorgente dovrebbe aggirarsi intorno a 25 l/s, una stima di una portata 1-2 volte maggiore non intercettata appare attualmente ragionevole.

### 3.3. Rifacimento del canale di allontanamento delle acque della sorgente Biff.

Il rifacimento del canale di allontanamento delle acque della sorgente Biff è reso indispensabile per diverse ragioni. In primo luogo esso è attualmente poco efficiente e perde acqua. Ma il fatto che esso dovrà essere destinato a raccogliere tutte le acque dell'area della sorgente, anche quelle che verranno catturate intorno all'attuale manufatto di presa, rende necessario un suo ridimensionamento. Il tracciato del canale, come indicato nella Tavola 7, sarà corrispondente a quello attuale. Orientativamente esso dovrà essere costituito da una tubazione di diametro idoneo (630 mm) perfettamente impermeabile e dotata di un adeguato numero di pozetti di ispezione da utilizzare anche come punti di recapito di tutti i drenaggi dell'area.

### 3.4. Altri drenaggi superficiali

Per quanto possibile il canale prima indicato dovrà accogliere le acque che si intercetteranno tramite le trincee drenanti da posizionare in tutte quelle zone di Trello ove sarà possibile allocarle. Indicativamente, quindi, lungo la Via Stradetta Trello, Via IV Novembre e la Via 2 Giugno. In questo modo si pensa di poter significativamente abbattere la circolazione sub-superficiale e limitare quella profonda riducendo a valori accettabili la velocità di dissoluzione del substrato roccioso e di suffosione dei terreni di copertura.

Come sopra indicato, qualora in futuro si ritenga opportuno, si potranno realizzare alcuni drenaggi profondi tramite pozzi di aggottamento che potrebbero significativamente contribuire a limitare la circolazione profonda. Gli effetti di tali pozzi andranno comunque opportunamente valutati.

### 3.5. Scarico a lago delle acque di drenaggio

Raccolte in prossimità dell'incrocio fra la Stradetta Trello e la Via II Giugno, tutte le acque di greggio sub-superficiale e di scorrimento superficiale saranno convogliate in un'unica condotta che proseguirà direttamente sino al lago d'Iseo. L'esigenza di creare uno scarico ad hoc già era stata esaminata nello studio di fattibilità ma successivamente stralciata dal progetto preliminare per insufficienza economica. Rivedendo le priorità degli interventi, anche in relazione a quanto espresso dalla Commissione Giudicatrice, e approfondendo la stima dei costi alla fase definitiva è stato possibile re-inserire la condotta di scarico fra le opere in gara d'appalto. Ciò consentirà quindi di non alterare o appesantire le fognature esistenti a valle che, anzi, si troveranno "alleggerite" in quanto comunque ad oggi ricevono gli afflussi della rete delle acque bianche della località Trello.

### 3.6. Consolidamenti

I sistemi di drenaggio proposti ridurranno il contenuto idrico del sottosuolo con benefici effetti sulle cause primarie del dissesto. Tale fenomeno però incrementerà lo stato di tensione dei terreni che, conseguentemente, potranno assestarsi e compattarsi dando luogo a temporanee accelerazioni dei fenomeni cinematici in atto. In altri termini è da presumere che, almeno in una prima fase, si possa verificare una accelerazione dei movimenti a componente verticale attualmente in essere. Appare perciò importante, anche per rendere socialmente più accettabile l'opera di sistemazione complessiva, combinare i precedenti interventi con altri mirati a

consolidare il suolo e impedirne dislocazioni laterali troppo pronunciate. Ai precedenti converrà quindi associare degli interventi di consolidamento del terreno da ottenere tramite sistemi orizzontali essenzialmente monodimensionali (micropali). La localizzazione più opportuna dalla quale realizzare il ventaglio di micropali sub-orizzontali appare lungo la Via 2 Giugno dalla quale si raggiungerà il limite della Via IV Novembre e della Stradetta del Trello. I micropali, infissi da trincea o da opportuni pozzi, formeranno un reticolo a maglie romboidali che meglio si presta a reggere i carichi che vi graveranno. La scelta progettata è stata naturalmente operata a seguito dei risultati di calcolo del modello geotecnico del terreno illustrato ampiamente nell'Allegato 3.

## 4. Descrizione opere in progetto

Verranno di seguito descritte le opere previste nel presente progetto esecutivo raggruppandole nelle categorie secondo la stessa classificazione adottata per la redazione del computo metrico estimativo. In particolare la suddivisione operata individua le presenti categorie d'opera:

- micropali sub-orizzontali: il consolidamento in progetto prevede la realizzazione di una serie di micropali orizzontali (circa 216) di lunghezza variabile da un minimo di 23 m ad un massimo di 42 m per l'area compresa fra la Via II Giugno e la Via IV Novembre. Anche il consolidamento dell'area del condominio Trello verrà effettuata con la stessa tecnica prevedendo circa 70 micropali, infissi a quota più bassa, che verranno trivellati da due pozzi opportunamente dislocati in modo da ottenere un incrocio fra le due maglie di perforazione.
- trincee drenanti: nell'area verde della sorgente Biff si realizzeranno due trincee di scavo riempite con materiale drenante e tubazioni microforate il tutto rivestito con tessuto non tessuto. Le trincee saranno contraddistinte in ramo est, che si dipartirà dalla sorgente Biff, prevedendo anche una tubazione a tenuta idraulica che condurrà le acque sorgive verso il collettore di scarico a lago, e il ramo ovest che sarà realizzato a quote leggermente superiori rispetto alla precedente e confluirà anch'esso nel collettore di scarico. Al fine di consentire il raggiungimento delle necessarie quote di fondo scavo, sarà necessario prevedere il sostegno dello stesso tramite l'infissione di palancole metalliche con profilati tipo Larssen.
- piezometri: per il monitoraggio dei livelli di falda si realizzeranno N. 2 piezometri con profondità massima di circa 30 m. Il primo sarà realizzato all'interno dell'area della sorgente Biff mentre il secondo si realizzerà nella zona del parco di Via II Giugno. Altri piezometri sono già in funzione in vari punti dell'area di interesse (vedi Allegato 6).
- condotta acque sorgive e drenaggi: verrà realizzata una tubazione di scarico delle acque sorgive DE 630 mm in PeAD che partirà dal piazzale antistante l'area verde della sorgente Biff e seguirà la Via IV Novembre sino alla strada di collegamento con la Via II Giugno. Quindi il percorso in progetto intercetterà il tracciato della condotta esistente seguendo lo stesso sino alla Via Papa Giovanni XXIII. Parallelamente alla condotta a tenuta DE 630 mm nella zona del Trello, si realizzeranno due tubazioni di drenaggio microforate DE 250 mm. Il drenaggio verrà inoltre realizzato anche sulla restante parte della Via IV Novembre e con una linea su Via II Giugno appena dinnanzi al condominio Trello.

- lungo le vie interessate dalla realizzazione dei drenaggi si rifaranno tutti i sottoservizi esistenti quali: la rete fognaria di tipo separato, la rete dell'acquedotto, la rete Telecom, la pubblica illuminazione, la rete del metano (a cura della società erogatrice del servizio). In particolare la rete fognaria prevede la realizzazione di una linea per le acque bianche che verrà costituita da tubazioni a completa tenuta idraulica in PeAD PN 6.3. I diametri adottati variano da un minimo di 400 mm ad un massimo di 630 mm. Il dimensionamento e la verifica dei collettori è riportato nell'allegato annesso alla presente relazione e comunque lo schema riconferma quanto esistente ad oggi mentre il recapito finale sarà costituito dalla condotta di scarico a Lago descritta a seguire. Verrà realizzato un nuovo manufatto scolmatore all'incrocio fra la nuova fognatura e quella discendente lungo la Via Papa Giovanni XXIII. La rete delle acque nere verrà realizzata con tubazioni in PeAD DE 315 mm PN 6.3 con una linea lungo la Via II Giugno ed una lungo la Via IV Novembre. Quindi le due si uniranno in prossimità della Stradetta del Trello e si innesteranno nella rete esistente all'incrocio con Via Papa Giovanni XXIII. La rete dell'acquedotto prevede il rifacimento sia della linea di adduzione dall'Eremo sia di distribuzione (rete Dossello).
- A partire dalla Via Papa Giovanni XXIII si realizzerà una condotta di scarico a lago che, con una tubazione in PVC Ø 630 mm, discenderà lungo la gradinata Adamello proseguendo poi in direzione rettilinea per Via Adamello, a seguire nel giardino della scuola Elementare e raggiungerà l'isola pedonale in prossimità delle piscine ove si immetterà in una tubazione di scarico già esistente.

## 4.1. Micropali

La tipologia di intervento prevede la realizzazione di micropali orizzontali (o eventualmente inclinati di qualche grado (1-2°) al fine di facilitare l'iniezione di miscela cementizia) da realizzare a profondità variabile in funzione del piano delle fondazioni degli edifici interessati dal consolidamento. Data la presenza dell'area verde di Via II Giugno, si è previsto di realizzare una trincea lungo tutto il parco a partire dal campetto sportivo sino all'area presente in sinistra del condominio Trello. La trincea avrà una lunghezza complessiva di circa 103 m e la quota del fondo sarà leggermente variabile e mediamente equidistante dal piano campagna ad una profondità di circa 4.5 m. La larghezza di base della trincea sarà di 5.5 m in modo da consentire il transito dei mezzi di lavoro e le manovre di infilaggio della macchina perforatrice, mentre le sponde avranno una pendenza approssimativa di  $y/x = 1/1$ . Le acque di falda saranno incanalate in una cunetta che verrà realizzata sul lato interno della trincea in modo da convogliare le stesse verso un pozetto all'interno del quale si posizionerà una pompa di potenza adeguata in grado di scaricare gli afflussi nella rete esistente delle acque bianche. Il perforo dei micropali suborizzontali sarà di 190 mm realizzato mediante una perforazione a circolazione diretta con impiego di tubazioni in acciaio che verrà poi lasciata a perdere nel foro. Sarà quindi necessario prevedere delle "scarpette" di perforazione a perdere mentre la circolazione avverrà direttamente con miscele di acqua e cemento pozzolanico (rapporto minimo a/c 0.5), con aggiunta di filler o additivi da concordare con la Direzione Lavori, con adeguata pressione in modo da realizzare comunque un volume pari a 5 volte quello teorico del foro di perforazione. L'armatura sarà costituita da pali in acciaio del diametro esterno di 168.3 mm spessore 8 mm (peso al m pari a 31.5 kg) in acciaio N80 (tubazioni di recupero da perforazioni petrolifere). Nell'arco dell'esecuzione dei micropali, secondo la tempistica e la localizzazione definita dalla Direzione Lavori, verranno realizzati N. 5 micropali dotati di strumentazione di misura delle deviazioni angolari al fine di verificare l'orizzontalità e tarare la pressione di iniezione della miscela.

Come indicato nella Tavola N. 16, i micropali verranno sfalsati in verticale di circa 0.5 m mentre la lunghezza lineare degli stessi è variabile ed in particolare, per la trincea di perforazione, essa va da un minimo di 22 m ad una massima di 42 m. Al fine di realizzare un reticolo incrociato dei micropali è necessario deviare l'inclinazione in pianta degli stessi alternando in destra ed in sinistra di circa 22.5°. In questo modo l'angolo di incrocio fra i micropali sarà di circa 45°. Tale schema sarà possibile per gran parte della trincea (settore N. 2 e N. 3 Tavola N. 14) ma non per la parte sommitale dove gli spazi si riducono e quindi è necessario realizzare lo schema romboidale realizzando una fila di micropali dall'area antistante la sorgente Biff. In

particolare quindi si realizzerà un prima fila di micropali (quella a quota inferiore) a partire dalla trincea (vedi settore N. 2 della Tavola N. 14) mentre il secondo ventaglio si realizzerà a quote leggermente superiori (di circa 50 cm) direttamente da un pozzo da realizzarsi in prossimità dell'area parcheggio a monte del passaggio pedonale (vedi settore N. 1 Tavola N. 14). Per raggiungere la quota di perforazione del secondo ventaglio sarà necessario realizzare un pozzo del diametro interno di 8.0 m con profondità finale di circa 5.5 m. Il primo metro e mezzo di terreno verrà asportato con uno scavo di sbancamento dopodiché si realizzerà un cordolo in cls della larghezza di circa 1.0 m circolare con diametro utile netto di 8.0 m. Codesto muro servirà per centrare i pali trivellati di diametro Ø 60cm da realizzare in modo da formare una coronella cerchiata con spessore medio di 40 cm. I pali trivellati verranno quindi realizzati in modo alternato in modo da consentire la sovrapposizione e con interasse di circa 45 cm. Al fine di completare la coronella, con lo schema riportato nella Tavola N. 16, sarà necessario realizzare N. 60 pali con una lunghezza di 8.5 m. I pali verranno realizzati mediante la tecnologia di elica continua con supporto di un casing estraibile senza l'ausilio di fanghi bentonitici. L'eventuale utilizzo di fanghi bentonitici, resi necessari per le difficoltà operative constatabili in situ, verrà valutato dalla Direzione Lavori effettuando un primo tratto campione. In questo modo sarà possibile valutare l'alterazione della circolazione delle acque presente nelle aree di intervento e valutare di conseguenza la compatibilità dell'uso dei fanghi in relazione alla complessa caratterizzazione geologica dei terreni sottostanti. Durante la fase di scavo del pozzo si procederà irrigidendo i pali mediante la realizzazione di cordoli in c.a. della sezione 40 x 40 cm da realizzare ancorando le opportune staffe ai pali verticali mediante la solidarizzazione con resine epossidiche. L'interasse dei cordoli è all'incirca pari a 1.5 m (si vedano le Tavole 15.b e 15.c) e saranno realizzati in c.a.  $R_{ck} > 30 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ . Al fine di evitare fenomeni di sifonamento dal fondo del pozzo, sarà realizzato un tappo di in cls dello spessore di circa 2.0 m.

Prima dell'inizio dei lavori verrà attuato il piano di monitoraggio realizzato con un rilievo fotogrammetrico con l'individuazione di stazioni di ripresa e battuta con sistemi ad alta risoluzione. A partire dai dati di campagna verrà redatta una documentazione che integrerà la documentazione relativa ai singoli edifici contenuta nell'Allegato 6. Al fine di monitorare gli effetti indotti dalle opere qui previste, in corso d'opera sarà necessario eseguire periodiche e costanti riprese e letture in modo da aggiornare passo per passo il quadro degli assestamenti. Tale monitoraggio consentirà di valutare gli effetti delle iniezioni e delle opere di drenaggio. Per una descrizione dello schema previsto si rimanda al § 4.8.

Relativamente all'area del condominio Trello, data la presenza di un piano interrato, l'esecuzione di un intervento di consolidamento della stessa tipologia prevista per

I'area compresa fra la Via II Giugno e la Via IV Novembre richiede uno scavo di circa 6-7 dal piano campagna. A queste profondità la presenza della falda diviene assai limitante per le operazioni di scavo ed inoltre le quote necessarie a realizzare i micropali orizzontali al di sotto delle fondazioni comporterebbero uno sbancamento ingente e "pericoloso" date le scadenti caratteristiche meccaniche dei terreni esistenti. Si è quindi preferito operare in modo localizzato prevedendo due pozzi: il primo in prossimità della piazzola adiacente all'accesso lato est del condominio (profondità del piano di lavoro pari a circa -5.80 m dal piano campagna) ed il secondo in prossimità nell'accesso lato ovest (profondità ~ 6.3 m). La tipologia prevista per la realizzazione dei pozzi è identica a quella descritta sopra per l'area di Via IV Novembre. La perforazione avverrà realizzando circa 69 micropali, di cui 34 dal pozzo lato ovest, denominato n. 2 in Tavola N. 14, ed i restanti dal pozzo lato est caratterizzati da una quota inferiore di circa 50 cm. I micropali previsti saranno identici a quelli della trincea già sopra descritti.

I tre pozzi di perforazione verranno posati coperti con un sistema che in futuro consentirà l'accessibilità all'intero pozzo per eventuali altre lavorazioni (drenaggi orizzontali, perforazioni integrative etc). La copertura prevista è riportata nella Tavola N. 1 e consiste in una struttura portante in travi prefabbricate a sezione ad I con altezza 60 cm e larghezza 75 cm affiancate l'una con l'altra mentre superiormente verrà realizzata una soletta in c.a. gettata in opera dello spessore di 18 cm. La superficie di contatto fra la soletta integrativa e le travi verrà rivestita con uno strato di separazione in pead in modo da facilitare le future operazioni di rimozione della copertura. L'accesso ai pozzi avverrà a mezzo di una botola di dimensioni pari a circa 1.2 x 0.9 m con chiusino in ghisa sferoidale a doppia anta. Dai singoli pozzi verrà predisposta una tubazione allacciata al collettore delle acque sorgive per l'installazioni di future pompe. La botola di accesso consentirà sia la posa e l'estrazione delle future attrezzature idrauliche sia l'accesso ai micropali strumentati (N. 2 ogni pozzo). In particolare verranno realizzati due micropali dotati di tubo inclinometrico in ABS DE 70 mm per la misura del movimento dall'orizzontalità mediante un inclinometro fisso e mediante la misura progressiva lungo l'asse del micropali con sonde removibili. Lungo la trincea verranno realizzati N. 4 pozzetti di dimensioni in pianta 1.20 x 1.40 m con elementi prefabbricati all'interno delle quali verranno innestate le teste dei micropali strumentati. In analogia ai pozzi, per ognuno dei quattro pozzetti si prevedono N. 2 micropali strumentati. Il pozzetto sarà dotato di camino di accesso DN 80cm con chiusino superiore in ghisa sferoidale Ø 80 cm tipo pamrex.

## 4.2. Piezometri

Nell'area della sorgente Biff e nell'area del parco di Via II Giugno verranno realizzati N. 2 piezometri dell'altezza di circa 30 m realizzati con perforo DN 300 mm e tubazione di rivestimento in PVC DE 120 mm sp. 5.3 m tipo 312 UNI 7441-75 protetta da una idonea calza di tessuto non tessuto. La parte finestrata avrà una lunghezza di circa 20 m e con fessure di apertura prossima a 5.0 mm. Il drenaggio sarà effettuato con ghiaietto siliceo selezionato di granulometria 6-8 mm. Il coperchio di protezione verrà realizzato in acciaio inox DN 250 mm h ~ 1.0 m dotato di tappo filettato o flangiati con lucchetto di sicurezza. Questi piezometri si aggiungono a quelli già in funzione nell'area del Trello.

## 4.3. Trincee drenanti

Nell'area parco in corrispondenza della sorgente Biff, si realizzeranno due trincee drenanti costituite da tubazioni in PeAD De 250 mm corrugate esterne classe di rigidezza SN 8. La foratura per il drenaggio sarà realizzata con N. 4 fessure distribuite su un angolo di 240° (vedi Tav. N. 10.b). Lo scavo verrà riempito con materiale drenante selezionato, in particolare ghiaia lavata e pulita, che sarà fornita e costipata previa la stesa di uno strato di tessuto non tessuto di 385 [gr/m<sup>2</sup>]. L'ultimo metro a partire dal piano campagna sarà ripristinato mediante la stesa del terreno di scavo più superficiale (idoneo alla crescita vegetale), mentre comunque verrà posato in superficie uno strato di 20 cm di terreno fornito in cantiere idoneo alla crescita vegetale. La trincea denominata ramo est, oltre alle due tubazioni drenanti, conterrà anche la tubazione di scarico delle acque sorgive prevista in PeAD DE 400mm PN 6.3 da collegare al manufatto di presa delle sorgenti. Di conseguenza la trincea est avrà una quota del fondo, nella sezione di partenza, leggermente inferiore alla quota di presa delle sorgenti. L'altezza di scavo varierà da un minimo di 3.0 m ad un massimo di 5.5 m; la pendenza del fondo sarà pari a 5% e la lunghezza all'incirca prossima a 48 m. L'immissione delle acque, sia dei dreni che del collettore DE 400mm, avverrà nella cameretta N. 2. La galleria drenante del ramo ovest avrà, invece, una lunghezza complessiva di circa 50 m ed un'altezza compresa fra i 3.50 m ed i 2.4 m. Gli ultimi metri delle tubazioni drenanti, per il tratto al di fuori dell'area verde, saranno realizzate con identiche tubazioni in PeAD DE 250 mm SN 8 ma non drenanti bensì con sezione integra.

Lo scavo avrà una pendenza delle sponde di circa  $y/x = 1/1$  e la parte a monte della sezione XX (vedi Tav. N. 8.b) sarà protetta con un armatura dello scavo sul fronte verso la collina. Tale armatura sarà realizzata mediante l'infissione di palancole

metalliche tipo Larssen profilato L604 del peso di 124 kg/m<sup>2</sup> in acciaio FE 510 della lunghezza totale di 12 m (di cui l'altezza fuori terra lato di valle sarà variabile da 3 a 4 m). Nella parte sommitale dello scavo, dove l'arco di spinta sarà maggiore si provvederà a puntellare le palancole fra di loro in modo da irrigidire il sostegno.

#### 4.4. Condotta acque sorgive e drenaggi

A partire dalla zona della sorgente Biff, si realizzerà una condotta di convogliamento delle acque sorgive e delle eventuali e future acque di sollevamento meccanico che percorrerà la località Trello. In particolare la tubazione sarà in PeAD DE 630 mm PN 6.3 con saldatura testa-testa e posata ad una quota di circa -3.0 m dal piano campagna. Nell'area della sorgente Biff e nell'area del parco di Via II Giugno si predisporranno N. 3 allacci per ogni sito per la futura connessione di eventuali pozzi di controllo delle acque profonde.

La lunghezza della tubazione sarà di circa 305 m, mentre la pendenza di posa varierà fra 2.5 % e 5.8 % e discenderà lungo la Via IV Novembre sino all'incrocio con Via II Giugno dove piegherà in destra per poi seguire lungo l'attuale tracciato fuori dalla sede stradale. Lungo il tratto della zona del parco, di circa 125 m, si dovrà preventivamente rimuovere la tubazione ammalorata esistente demolendo il passaggio pedonale. In prossimità dell'incrocio con Via Papa Giovanni XXIII si realizzerà una cameretta che convoglierà tutti i dreni e la rete delle acque meteoriche e dalla stessa uscirà la sola tubazione DE 800 mm. Lungo il tracciato della tubazione DE 630 mm verranno realizzate complessivamente N. 4 camerette in polietilene a media densità DN 1000 mm con tronchetto già saldato e previste di scala interna e soletta di ripartizione dei carichi in c.a.. L'elemento di fondo non dovrà avere accessi o immissioni oltre a quelle strettamente necessarie. I chiusini saranno in ghisa sferoidale circolari classe D 400 tipo pamrex del peso minimo di 97 kg cad. Parallelamente alla condotta delle acque sorgive, si poserà anche una tubazione drenante in destra ed una in sinistra del diametro DE 250mm con N. 4 fori distribuiti su un angolo di 240° classe di rigidezza SN 8.0. Per il tratto di Via IV Novembre non interessato dalla posa del collettore delle acque sorgive, si poserà una sola tubazione drenante che percorrerà anche la Stradetta del Trello e confluirà nel Ø 630mm all'altezza della cameretta N. 5.BIFF. La lunghezza totale sarà di circa 191 m e la pendenza compresa fra un minimo di 2.0% ed un massimo di 3.9%. Anche in Via II Giugno, appena dinnanzi al condominio Trello, si realizzerà una tubazione drenante DE 250 mm in PeAD della lunghezza di circa 132 m che confluirà nel collettore Ø 630 mm nella cameretta N. 5.BIFF L'ispezione sulle tubazioni drenanti sarà realizzata mediante camerette in PeAD o PeMD solo in prossimità di bruschi cambi di direzione ed in testa ad ogni ramo

della tubazione. Il rinterro dello scavo avverrà con ghiaietto di fiume arrotondato e costipato per strati non superiori a 40-50 cm e l'ultimo metro dal piano campagna sarà invece ripristinato con mistone naturale di cava. Le tubazioni drenanti, sia quelle parallele alla condotta delle acque sorgive sia quelle indipendenti, saranno protette con uno strato di tessuto non tessuto di densità minima 385 [gr/m<sup>2</sup>] steso all'esterno del materiale drenante di rinterro.

Infine si provvederà al ripristino dell'area del Parco mediante la formazione del camminamento pedonale come pre-esistente, la rimessa in opera delle panchine, dei pali della pubblica illuminazione. L'area a verde verrà ripristinata con la stesa e la modellazione di uno strato di terra vegetale dello spessore di 20 cm sul quale verrà fatta la semina di essenze da giardino ed inoltre si provvederà alla piantumazione di alberi di alto fuso. Si procederà quindi alla ricostruzione dei muri di recinzione del campo polivalente esistente oltre al suo completo rifacimento rimettendo in opera le attrezzature sportive precedentemente rimosse.

#### 4.5. Rete fognaria separata

Dato l'ammaloramento delle reti esistenti ed in conseguenza della realizzazione dei dreni, sarà necessario ricostruire ex-novo la rete delle acque nere e parallelamente la rete delle acque bianche. Le reti copriranno l'intera località Trello ed in particolare si realizzerà una condotta in PeAD DE 315 mm PN 6.3 lungo la Via IV Novembre per circa 255 m, lungo la Via II Giugno di lunghezza prossima a 132 m, lungo la Stradetta del Trello per circa 30 m ed infine per il tratto di allaccio alla rete esistente di Via Papa Giovanni XXIII per circa 45 m. Complessivamente si realizzeranno N. 13 camerette in PeAD DN 800 mm di tipologia identica a quelle descritte per il collettore delle acque sorgive. La rete delle acque bianche sarà realizzata con tubazioni identiche (PeAD PN 6.3 UNI EN 12201 PE100) ,ma con diametri che coprono le classi dal 400 mm al 630 mm. L'ispezione sarà garantita con pozzetti DN 1000 in PeAD dell'altezza di circa 1.75. Durante le fasi di posa della condotta, procedendo da valle verso monte, verranno intercettati tutti gli allacci delle acque nere esistenti e l'innesto verrà realizzato mediante la carotatura e la saldatura di tronchetti DE 160 o DE 200 mm. L'innesto sul tronchetto avverrà con un raccordo fra PeAD/PVC e quindi l'allaccio continuerà con curve e tubazioni in PVC. Complessivamente sono stati previsti N. 50 allacci.

La raccolta delle acque di dilavamento superficiale verrà garantita dalla realizzazione di n. 34 caditoie con pozzetti 45x45x50 cm. Il rinterro delle tubazioni avverrà come descritto per la condotta delle acque sorgive e quindi con ghiaietto arrotondato sino a -1.0 m dal piano campagna oltre il quale si poserà mistone di cava.

In prossimità della cameretta 5.a (vedi TAV. N. 8.a) si realizzerà uno scolmatore fra la tubazione in PeAD DE 800mm prevista in progetto ed il collettore esistente che scende lungo la Via Papa Giovanni XXIII. Il manufatto scolmatore avrà la funzione di limitare l'afflusso al collettore lungo la scalinata Adamello e consentire di scaricare l'eccedenza lungo la rete esistente delle acque bianche che sarà completamente alleggerita sia per la nuova rete del Trello sia per gli interventi della fognatura di Via San Maurizio. Lo scolmatore sarà dotato di paratoia in acciaio inox BxH=0.6x0.8m con asta di guida come rappresentato nel particolare di Tavola N. 10.

#### 4.6. Acquedotto e sottoservizi vari

Relativamente alla rete dell'acquedotto, si è previsto il completo rifacimento di tutte le tubazioni esistenti lungo le vie interessate dai lavori. In particolare si dovrà realizzare un tratto di tubazione DE 225mm PN 16 compreso fra il serbatoio esistente e il camminamento pedonale e successivamente dal camminamento pedonale sino al fondo della scalinata Adamello. La condotta, che attualmente funziona in doppio senso, riceve gli afflussi dalla sorgente Eremo e, in caso di erogazione, distribuisce l'acqua alle abitazioni a partire da Viale Dante. La tratta di rifacimento nella località Trello presenta una lunghezza di 225 m.

Parallelamente alla tubazione di adduzione si poserà una condotta che andrà a servire le piscine di Lovere. La tubazione prevista conferma il diametro di quella oggi esistente, pari a DE 90 mm PN 16 PE 100, che partirà dalla cameretta N. 2 della condotta di scarico delle acque della sorgente Biff. Tale condotta seguirà la tubazione di scarico a lago sino all'incrocio con la SS 42.

Infine si procederà al rifacimento della rete di distribuzione che serve la località Trello (rete Dossello) che attualmente è costituita da una tubazione in PeAD DE 75 mm che verrà sostituita con una tubazione DE 110 mm in grado di servire opportunamente anche l'idrante presente in prossimità della Via IV Novembre.

Lo scorrimento della tubazione sarà all'incirca pari a -1.3 m da piano campagna ed il rinterro verrà effettuato con ghiaietto arrotondato. La segnalazione della tubazione verrà effettuata con nastro segnalatore per condotte interrate in materia plastica colorata con banda metallica.

Gli allacci alla rete esistente andranno ripristinati realizzando ex-novo dei pozzetti di dimensioni 1.00x1.00x1.50 m con all'interno le saracinesche di intercettazione in ghisa sferoidale DN 80 mm ed in particolare sono previsti i seguenti allacci:

- in prossimità dell'incrocio fra la Stradetta del Trello e Via IV Novembre;

- in prossimità dell’incrocio fra la Via II Giugno e la Stradetta Trello;
- in prossimità dell’incrocio fra la Stradetta Trello e Via Papa Giovanni XXIII;
- in prossimità dell’incrocio fra la Via San Pietro e la Via II Giugno.

Durante l’esecuzione dei lavori il servizio dovrà essere garantito a mezzo di tubazioni volanti che seguiranno l’avanzamento dei lavori. Gli allacci di utenze private verranno ripristinati con tubazioni in PeAD con diametri di 1.5” – 2.0” per un complessivo totale di 40 collegamenti.

Oltre alla rete dell’acquedotto si provvederà al rifacimento delle reti dei sottoservizi esistenti ed in particolare:

- per la pubblica illuminazione si prevede un nuovo cavidotto in PeAD doppia parete DE 125 mm lungo la Via IV Novembre e lungo la Via II Giugno. Il tracciato seguirà quello della linea esistente in quanto i pali, pari a n. 32, dovranno essere riposizionati nelle medesime posizioni. Complessivamente il cavidotto coprirà una lunghezza di 700 m e sarà dotato di 35 pozzi con chiusini in ghisa classe D400;
- per la linea telefonica si realizzerà un cavidotto DE 160 mm della lunghezza di 565 m. Nonostante la linea Enel sia in parte aerea, è stato comunque previsto un cavidotto parallelo a quello Telecom per l’eventuale interramento della linea elettrica. I pozzi previsti sono N. 20 per la linea telefonica e N. 10 per la linea elettrica delle dimensioni 60x60 dotati di chiusini in ghisa sferoidale classe D400.

Per il ripristino stradale, verrà realizzato uno strato di tout-venant bituminoso dello spessore di 10 cm e un tappetino d’usura dello spessore di 3.0 cm. L’area interessata dal ripristino sarà di circa 5090 m<sup>2</sup> e coprirà le intere strade del Trello come meglio indicato nella Tavola N. 7. Infine dovranno essere ripristinate le strisce stradali di bordo e centro strada, di stop e precedenza e delimitazione dei parcheggi.

#### 4.7. Condotta di scarico a lago

Le acque raccolte dai dreni, quelle direttamente intercettate alla fonte della sorgente Biff e quelle della fognatura delle acque bianche saranno inviate allo scarico a lago mediante una apposita tubazione in PVC Ø 630 mm in modo che i deflussi non vadano a gravare sul collettore fognario delle acque bianche esistente in Via Papa Giovanni XXIII. Il tracciato previsto interesserà tutta la scalinata Adamello che dovrà essere demolita per consentire la posa della tubazione ed il rifacimento dei sottoservizi. Difatti sarà necessario tagliare il fondo in cls che delimita la scalinata dalle cunette di scolo laterali che saranno, ove possibile, mantenute. Successivamente si posizionerà la tubazione in PVC Ø 630 mm centralmente con un sopratubo minimo di circa 25 m e

con una pendenza costante prossima al 23-24% si percorrerà tutta la scalinata per una lunghezza di circa 82.0 m. La scalinata sarà ripristinata realizzando un massetto di calcestruzzo armato dello spessore di 20 cm sul quale verranno posati i rivestimenti in lastre di pietra di Credaro per uso esterno bocciardata. In particolare i gradini saranno rivestiti con lastre, per la pedata, BxL=2.70x0.38 dello spessore di 5 cm. I pianerottoli, che dovranno essere in numero e dimensioni uguali all'esistente, saranno rivestiti con lastre della medesima pietra (idonea alla posa all'esterno) di dimensioni 0.9x0.6 cm spessore 5 cm. Si dovrà quindi ripristinare il corrimano centrale con una barriera metallica verniciata a nuovo secondo le prescrizioni della Direzione Lavori. Lungo la stessa scalinata sarà necessario ripristinare tutti i sottoservizi esistenti che sono stati individuati quali: enel, telecom, metano media pressione e metano bassa pressione, pubblica illuminazione e la rete acquedotto. In particolare si poserà un DE 90 mm diretto alle piscine ed un DE 50mm a servizio della prima abitazione scendendo la scalinata in sinistra. La rete dell'acquedotto in arrivo dall'Eremo sarà ripristinata, lungo la scalinata, con un tubazione in PeAD PN 16 DE 225 mm che sarà posata parallelamente al collettore in PVC ed in prossimità dell'incrocio con Viale Dante si rifarà la cameretta con gli allacci dotati di N. 5 saracinesche PN 16 a cuneo gommato DN 100 mm. A partire dalla stessa cameretta si dipartirà una tubazione DE 75 mm PN16 che verrà realizzata sino al parcheggio in fregio alla SS 42. Al termine della scalinata Adamello il collettore di scarico delle acque sorgive dovrà subire un salto di fondo al fine di sottopassare la rete esistente delle acque bianche e delle acque nere di Viale Dante. Sarà quindi necessario realizzare una cameretta, indicata al numero 7 nella Tavola 11, in c.a. di dimensioni nette BxLxH=1.20x2.0x3.5m con rivestimento in mottoncini di gres tipo Milano per la parete frontale al salto e piastrelle in gres ceramico per il fondo. Superato Viale Dante, la condotta seguirà Via Adamello con una pendenza pari al 7.0% e devierà in destra in corrispondenza dell'incrocio con Via Castelli. Proseguendo lungo il tracciato la condotta discenderà lungo lo scivolo delle scuole elementari, percorrerà il piazzale sottostante per poi tagliare nell'area verde e compiere un ulteriore salto di fondo realizzando una cameretta appena a monte del muro di contenimento che delimita il parcheggio a servizio del ipermercato LD. La cameretta di salto, indicata al numero 12 nella Tavola 11, avrà le seguenti dimensioni BxLxH=1.60x2.5x5.0m ed il rivestimento identico alla cameretta n. 7. Per il tratto dalla scalinata Adamello alla cameretta di salto si poserà una tubazione drenante DE 250 mm in Pead SN8 affiancata al collettore di scarico Ø 630mm in PVC e circondata da materiale drenante protetto da uno strato di tessuto non tessuto con grammatura di 385 gr/m<sup>2</sup>. Tale tubazione partirà da una apposita cameretta realizzata a fianco della cameretta N. 7 e concluderà innestandosi nella cameretta di salto.

Contestualmente alla realizzazione della cameretta N. 12, sarà necessario sottopassare il muro di sostegno che dovrà essere opportunamente punteggiato e ripristinato a regola d'arte. A seguire la condotta si dirigerà verso il lago, percorrendo lo scivolo in cls e l'area di manovra comunale sino all'incrocio con la SS 42. Attraversata la Via Paglia con uno scorrimento prossimo a 2.0 m, la condotta verrà allacciata ad una cameretta esistente nei pressi dell'area verde appena prima del camminamento in cubetti di porfido. La stessa cameretta esistente, che dovrà essere in parte rifatta, è collegata allo scarico a lago che scorre lungo la recinzione che delimita l'area delle piscine dal limitrofo parco. Lo scarico a lago è infatti visibile in prossimità della scogliera con una tubazione in acciaio corrugato DN ~ 1.0 m.

La condotta in PVC Ø 630 mm complessivamente della lunghezza di 262 m sarà posata, rinfiancata e parzialmente ricoperta con calcestruzzo con dosaggio di 150 kg di cemento per ogni m<sup>3</sup> di impasto. Il superiore ricoprimento verrà eseguito con mistone di cava mentre i ripristini stradali, ad eccezione dell'attraversamento della Via Paglia, prevedono uno strato di tout-venant dello spessore di 10 cm sull'area di rinterro. Il tappetino, dello spessore di 2.5 cm, interesserà invece tutta la superficie di via Adamello mentre per i tratti restanti avrà una larghezza di circa 2.5 m. Il ripristino della Via Paglia sarà effettuato come da particolare riportato in Tavola 13 cioè con uno strato di misto cementato spessore 20 cm, uno strato di tout-venant bituminoso spessore 15 cm che poi sarà fresato ad un netto di 10 cm. Superiormente si poserà la geogriglia e a seguire uno strato di tappetino dello spessore di 5 cm. Lo scivolo dell'area a parcheggio e quello della scuola elementare saranno ripristinati con cls con scanalature a lisca di pesce. L'area del parcheggio a lato del muro di sostegno sarà invece ripristinata con lastre di graniglia identiche a quelle esistenti.

Infine l'allacciamento di valle necessiterà di verifiche sul collegamento fra le numerose camerette esistenti che sarà possibile solo con l'apertura dello scavo ed in fase di esecuzione dei lavori.

#### 4.8. Piano di monitoraggio

Parallelamente alla realizzazione delle opere, dovrà essere istituito un apposito piano di monitoraggio volto a verificare i cedimenti e gli assestamenti in particolare degli edifici sotto i quali si opererà il consolidamento mediante l'infilaggio dei micropali sub-orizzontali. Tale monitoraggio si inserisce in un contesto di integrazione e aggiornamento di quanto già ad oggi effettuato sia in relazione al censimento dei fabbricati lesionati, i cui dati sono raccolti in schede relative ad ogni edificio, sia per la rete di controllo installata. In particolare la rete di controllo installata è costituita da:

- **N. 24** mire topografiche (n. 5 punti di controllo esterni);
- **N. 20** estensimetri a parete, collocati in corrispondenza di edifici ritenuti maggiormente sensibili all’evoluzione dei fenomeni in atto;
- **N. 10** piezometri per il controllo della falda ai quali si aggiungeranno i due previsti in progetto.

In particolare il piano richiesto dovrà prevedere tre fasi:

- Fase ante opera: ricostruzione del quadro di distribuzione dei dissesti, mediante il rilievo diretto dello stato fessurativo degli edifici esistenti, in contraddittorio con i singoli proprietari, e di tutte le opere accessorie esistenti.
- Fase esecutiva: le aree di Trello e quelle nelle immediate vicinanze dovranno essere oggetto di un monitoraggio mirato alla verifica delle conseguenze degli interventi. Le attività di monitoraggio dovranno prevedere, in sintesi, :
  - un controllo dello stato fessurativo delle strutture;
  - un controllo degli spostamenti superficiali;
  - letture periodiche della rete piezometrica esistente;
  - Aggiornamento delle schede edifici.
- Fase post opera: le attività di monitoraggio previste per la fase precedente dovranno essere protratte anche dopo la conclusione dei lavori integrando i controlli precedentemente illustrati con la misura degli spostamenti dei micropali strumentati.

Si rimanda all’Allegato 6 per un analisi più approfondita del piano di monitoraggio previsto e per l’analisi delle schede relative ai fabbricati lesionati. Relativamente alla fase di monitoraggio delle opere a conclusione dei lavori si rimanda al piano di manutenzione dell’opera nel quale è stato dedicato un apposito capitolo nel quale si illustrano le strumentazioni da installare ad integrazione di quelle esistenti e si definiscono le misure ed i controlli da effettuare secondo determinate scadenze temporali. La fase di monitoraggio post-opera, illustrata nel piano di manutenzione, così come la manutenzione delle opere qui progettate, resta al di fuori dei lavori oggetto di appalto.

## 5. Quadro economico

Descrizione	Importi parziali	Importi totali
<b><u>QUADRO ECONOMICO</u></b>		
<b>1) LAVORI :</b>		
A) MICROPALI ORIZZONTALI DI CONSOLIDAMENTO E OPERE ACCESSORIE	€ 1 438 400.00	
B) TRINCEE DRENANTI E PIEZOMETRI	€ 120 000.00	
C) FOGNATURE E DRENAGGI LOCALITA' TRELLO	€ 540 000.00	
D) ACQUEDOTTO LOCALITA' TRELLO	€ 74 600.00	
E) SOTTOSERVIZI E RIPRISTINI PAVIMENTAZIONE	€ 200 000.00	
F) CONDOTTA DI SCARICO A LAGO	€ 235 000.00	
<b>1.1) TOTALE LAVORI soggetti a ribasso (A+B+C+D+E+F)</b>		€ 2 608 000.00
<b>1.2) TOTALE ONERI PER LA SICUREZZA non soggetti a ribasso</b>		€ 18 000.00
<b>TOTALE A BASE D'APPALTO (1.1+1.2)</b>		€ 2 626 000.00
<b>2) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE:</b>		
IVA 20% SUI LAVORI	€ 525 200.00	
Imprevisti, spese per servitù, concessioni, pubblicità e generali	€ 52 212.17	
Indagini geologiche geotecniche	€ 113 701.83	
Spese per l'applicazione di tecniche di laser scanner	€ 10 000.00	
Spese tecniche per:		
Studio di fattibilità, progetto preliminare, progetto definitivo ed esecutivo, D.L., contabilità, sicurezza e Collaudi ( 2% compresi)	€ 329 166.67	
IVA 20% sulle spese tecniche	€ 65 833.33	
Responsabile del procedimento (1.1% DI 1.1+1.2)	€ 28 886.00	
<b>TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE</b>		€ 1 125 000.00
<b>1+2) IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO</b>		€ 3 751 000.00

## 6. Atti del progetto

Il presente progetto esecutivo si compone dei seguenti elaborati:

- Allegato 1 – Relazione tecnica;
- Allegato 2 – Relazione geologica;
- Allegato 3 – Relazione geotecnica;
- Allegato 4 – Dossier indagini;
- Allegato 5 – Sezioni stratigrafiche;
- Allegato 6 – Piano di monitoraggio;
- Allegato 7 – Computo metrico e preventivo di spesa;
- Allegato 8 – Relazione di calcolo c.a.;
- Allegato 9 – Piano di manutenzione;
- Allegato 10 – Piano di sicurezza e coordinamento;
- Allegato 11 – Fascicolo dell'opera;
- Allegato 12 – Capitolato speciale d'appalto con elenco prezzi;
- Allegato 13 – Schema di contratto con cronoprogramma;

Disegni:

Tavola N. 1	Corografia generale	(scala: 1:10.000)
Tavola N. 2	Ubicazione ed inquadramento	(scala: 1:1.000)
Tavola N. 3	Ubicazione indagini geognostiche	(scala: 1:500)
Tavola N. 4	Rilievo topografico: località Trello – foglio A	(scala: 1:200)
Tavola N. 5	Rilievo topografico: località Trello – foglio B	(scala: 1:200)
Tavola N. 6	Planimetria generale degli interventi	(scala: 1:1000)
Tavola N. 7	Opere idrauliche -Planimetria generale opere in progetto	(scala: 1:500)
Tavola N. 8.a	Opere idrauliche -Planimetria di dettaglio – foglio A	(scala: 1:200)
Tavola N. 8.b	Opere idrauliche -Planimetria di dettaglio – foglio B	(scala: 1:200)
Tavola N. 9.a	Opere idrauliche -Profilo longitudinale: collettori acque bianche	(scala: 1:500 – 1:100)
Tavola N. 9.b	Opere idrauliche -Profilo longitudinale: collettori acque nere	(scala: 1:500 – 1:100)
Tavola N. 9.c	Opere idrauliche -Profilo longitudinale condotta acque sorgive	(scala: 1:500 – 1:100)
Tavola N. 9.d	Opere idrauliche -Profilo longitudinale e sezioni trincee drenanti	(scala: 1:200 – 1:100)
Tavola N. 10.a	Opere idrauliche - Particolari costruttivi	(scala: varie)
Tavola N. 10.b	Opere idrauliche – Sezioni di posa	(scala: varie)
Tavola N. 11	Condotta di scarico a lago – Planimetria opere in progetto	(scala: 1:500)
Tavola N. 12	Condotta di scarico a lago – Profilo longitudinale	(scala: 1:200 – 1:100)
Tavola N. 13	Condotta di scarico a lago – Particolari costruttivi	(scala: varie)
Tavola N. 14	Interventi di consolidamento - Planimetria opere in progetto	(scala: 1:200)
Tavola N. 15.a	Interventi di consolidamento - Sezioni trasversali – dalla 1 alla 4	(scala: 1:100)
Tavola N. 15.b	Interventi di consolidamento - Sezioni trasversali – dalla 5 alla 7	(scala: 1:100)
Tavola N. 15.c	Interventi di consolidamento - Sezione trasversale condominio Trello	(scala: 1:100)
Tavola N. 16	Interventi di consolidamento - Particolari costruttivi	(scala: varie)
Tavola N. 17	Interventi di consolidamento – Copertura pozzi	(scala: varie)

## 7. Considerazioni conclusive

Le indagini e gli studi sin qui condotti hanno consentito di inquadrare il problema tecnico che interessa l'abitato di Lovere, di predisporre un modello concettuale relativo all'assetto geologico-tecnico del sito e di formulare un progetto di interventi per limitare l'entità dei dissesti in atto.

L'evoluzione dei processi geomorfologici attivi sul versante ove si è sviluppato l'abitato di Lovere è senza dubbio da ricondursi, innanzi tutto, all'assetto geologico del sito, peculiare per la presenza diffusa nel substrato roccioso di litologie fortemente solubili.

Le deformazioni e le lesioni in edifici della cittadina non sono una novità degli ultimi anni, ma piuttosto una costante che ha sempre interessato l'evoluzione urbanistica della stessa; va sottolineato però che le forme macroscopiche caratteristiche di tale evoluzione, come l'anfiteatro di località Trello, sono senz'altro antecedenti qualunque urbanizzazione e, quindi, testimoniano la naturalità dei processi che si sono avuti e che sono tuttora in atto.

Occorre peraltro aggiungere che alcuni processi deformativi sono stati certamente indotti o accelerati da interventi antropici specifici, in ogni caso legati ad una insufficiente attenzione nella gestione delle acque sotterranee, bianche o di fognatura.

La densità di urbanizzazione che si è raggiunta attualmente, con interessamento di aree che, sino a pochi anni or sono erano state risparmiate dalla edificazione, le aspettative sempre crescenti in materia di sicurezza, l'aumento del valore degli immobili ed una attesa altrettanto in crescita di qualità della vita portano a considerare gli eventi deformativi, che si manifestano con lesioni alle proprietà private così come a quelle pubbliche, non tollerabili oltre.

L'Amministrazione comunale si è fatta quindi carico di individuare delle soluzioni tecniche che possano portare ad un miglioramento sostanziale della situazione attuale. L'importanza del problema di Lovere, così come la sua complessità, hanno portato gli Enti pubblici a tutti i livelli ad interessarsi del caso anche con finanziamenti significativi.

Dal punto di vista geologico-tecnico si possono distinguere due ordini di problemi. Da un lato vi è la già citata elevata solubilità delle rocce che costituiscono il substrato: la morfologia sepolta di questo è fortemente irregolare proprio a seguito della solubilizzazione di gessi e anidridi, che porta alla creazione di una serie di forme tipiche del processo carsico, come solchi, inghiottitoi, cavità, doline. Proprio il crollo

del tetto di una vasta cavità sotterranea ha portato alla formazione della dolina di Trello.

Il secondo ordine di problemi deriva invece dalle scadenti caratteristiche tecniche dei terreni presenti tra il substrato roccioso e la superficie topografica. Nella conca formatasi come prima detto, le acque meteoriche si sono concentrate formando un piccolo lago che si è via via colmato a seguito dell'accumulo progressivo di sedimenti di diversa granulometria, tra i quali abbondavano limi, sabbie, argille e, localmente, torbe, tutti terreni con scadenti caratteristiche di resistenza che hanno portato all'attuale cinematismo del sito. A peggiorare la situazione locale si aggiunge una intensa circolazione idrica nel sottosuolo: questa deriva sia dalla morfologia generale del versante sovrastante (che porta ad una concentrazione delle acque in quest'area), sia dalla circolazione sotterranea che interessa gli ammassi rocciosi carbonatici sovrastanti l'area di Trello (che sono interessati, a loro volta, da diffuso carsismo). La grande quantità di acqua che affluisce dal sottosuolo nella conca va così a saturare i terreni presenti e, oltre a portare ad uno scadimento delle caratteristiche tecniche di questi, causa il fenomeno della suffosione, cioè l'asportazione delle frazioni granulometriche più fini da parte dell'acqua circolante con (relativa) velocità nei pori del terreno con conseguente ulteriore e progressivo scadimento delle caratteristiche meccaniche di questi.

Da quanto sopra segue una considerazione operativa fondamentale: poiché l'acqua sotterranea è il principale agente di degradazione, qualsiasi intervento deve innanzi tutto prevedere una consistente diminuzione del quantitativo dell'acqua presente nei terreni e dell'entità della circolazione idrica sotterranea nell'area.

Si intende realizzare tale obiettivo operando in due modi: da un lato diminuendo significativamente la quantità di acqua che viene involontariamente immessa nei terreni lungo le vie d'acqua costituite dalla rete fognaria ammalorata e, inoltre, creando un sistematico collettamento delle acque di raccolta dei pluviali; la seconda attività consiste invece nell'asportare acqua dalla parte superficiale dei terreni eseguendo alcune trincee drenanti. Tutto ciò porterà ad una diminuzione significativa dell'umidità del terreno, con un sicuro miglioramento delle caratteristiche tecniche di questo.

Va però considerato che questa stessa diminuzione d'acqua causerà inizialmente un incremento delle tensioni efficaci nel terreno che potrebbe tradursi in una accelerazione del processo di consolidazione. Questa potrebbe tendere a produrre ulteriori sedimenti nei terreni di fondazione e, conseguentemente, ulteriori lesioni nei manufatti. Per contrastare questa accelerazione del processo deformativo, si ritiene quindi di intervenire preliminarmente con una consolidazione diffusa dei terreni, tale

da portare ad un incremento preventivo delle caratteristiche meccaniche di questo. Inoltre, per tenere sotto oggettivo controllo questa possibile accelerazione del processo deformativo, sarà necessario intervenire preliminarmente con un diffuso monitoraggio degli edifici esistenti, tale da consentire di rilevare e quantificare con immediatezza e precisione qualunque eventuale deformazione. Un rete di punti con misure GPS di elevata precisione potrà anche aiutare questi controlli. La predisposizione di schede relative alle condizioni degli edifici interessati dai consolidamenti sarà effettuata prima di qualsiasi perforazione e tale documentazione sarà sottoscritta dai singoli privati. A conferma della volontà di coinvolgere la popolazione residente, sarà opportuno da parte dell'Amministrazione, inviare delle note informative circa l'esecuzione dei lavori e la loro tempistica.

L'elevata urbanizzazione dell'area, l'impossibilità (di carattere amministrativo) di operare in maniera puntiforme in corrispondenza di ogni singolo edificio<sup>2</sup>, tratto stradale o infrastruttura, così come le caratteristiche granulometriche medie dei terreni presenti nell'area e, naturalmente, i costi limitano fortemente le possibilità tecniche di intervento, impedendo la scelta di una serie di trattamenti consolidanti del terreno. Da ciò deriva la proposta di intervenire con la tecnica dei micropali suborizzontali da realizzarsi diffusamente nelle aree di Trello maggiormente soggette a deformazioni. I micropali verranno realizzati da una trincea poco profonda e da opportuni pozzi e saranno iniettati con miscela cementizia a bassa-media pressione.

La combinazione dei due interventi (consolidamento e drenaggio) porterà ad un consistente miglioramento delle condizioni dei terreni presenti nell'area e ad una sostanziale riduzione dei processi deformativi in atto.

In concreto, nulla si può fare invece per impedire l'evoluzione del processo di soluzione del substrato roccioso, sia per le profondità di questo dalla superficie topografica, sia per la vastità dell'area coinvolta. Un rallentamento di questo processo dovrebbe comunque derivare dall'allontanamento delle acque superficiali sopra descritte: poiché l'entità della dissoluzione dipende anche dalla concentrazione di sali nelle acque che vanno a contatto con i gessi, l'allontanamento delle acque a minor salinità dai livelli più superficiali del sottosuolo porterà ad un minore mescolamento delle acque profonde più ricche in sali, che tenderanno ad aumentare ulteriormente la propria concentrazione, con minore capacità di promuovere il processo di soluzione sui gessi del substrato. L'evoluzione delle condizioni geologiche dei terreni sarà comunque monitorata attuando quanto i monitoraggi previsti per la fase post-opera. Tale monitoraggio diviene parte integrante della corretta "manutenzione" delle opere che saranno realizzate e quindi si ravvede la necessità di avvertire l'Amministrazione per

---

<sup>2</sup> In proposito si veda la precedente nota 1 a pag. 5.

una corretta attuazione dei controlli a termine dei lavori che restano esclusi dalle opere a base d'appalto. L'acquisizione delle misure relative ai controlli della falda, degli assestamenti dei micropali, nonché dei dati pluviometrici sarà possibile solo attuando il piano di manutenzione relativo al monitoraggio post-opera e al contempo la banca dati che si avrà a disposizione potrà incrementare la rete di monitoraggio regionale dell'ARPA attualmente in fase di sviluppo.

Bergamo, Settembre 2006

I PROGETTISTI

Prof. Ing. Baldassare Bacchi

Prof. Geol. Alberto Clerici

Dott. Ing. Sergio Taccolini

Dott. Geol. Gilberto Zaina

## 8. Allegato: calcoli idraulici rete acque bianche

A seguire verranno illustrati i criteri adottati nel dimensionamento e nella verifica dei condotti costituenti la rete di drenaggio delle acque meteoriche.

### 8.1 Curva di possibilità climatica

Al fine del calcolo delle portate critiche che solleciteranno la rete delle acque bianche è necessario procedere alla parametrizzazione idrologica dell'area in esame. In particolare si procederà all'analisi dei dati di pioggia per eventi intensi di breve durata sulla scorta delle registrazioni effettuate negli anni passati.

In sintesi si è proceduto alla determinazione della curva di possibilità climatica ricostruita indagando gli afflussi meteorici conseguenti a piogge di breve durata e forte intensità.

Detta  $h$  l'altezza di precipitazione in funzione della durata delle piogge stesse, la tecnica idrologica abituale fornisce, per le curve di possibilità climatica, una relazione assai semplice:

$$h = a \cdot t^n \quad \text{Eq. 8.1}$$

dedotta andando a classificare in ordine decrescente le massime precipitazioni verificatesi in passato ed inviluppando superiormente i dati di pari ordine.

Oggi si preferisce affidarsi ad un'indagine probabilistica che consenta di trovare una relazione di tipo (8.1) collegata ad una assegnata probabilità: in termini pratici si vuole trovare l'altezza di pioggia  $h$ , relativa ad una certa durata  $t$ , che abbia probabilità piuttosto bassa di essere eguagliata o superata.

Per il calcolo delle portate di piena in una rete di fognatura è conveniente assegnare probabilità di non superamento inferiori o uguali al 90% o, come si dice, tempi di ritorno superiori o uguali a 10 anni.

La portata di piena viene cioè calcolata in base a piogge che mediamente, in senso probabilistico, sono superate al più una volta ogni **10 anni**. Tale indagine idrologica può essere effettuata per comprensori in cui sia cioè funzionante da alcuni decenni un

pluviometro registratore. E' il caso del comprensorio in oggetto, per il quale sono ragionevolmente adottati i valori di pioggia registrati a **Bergamo** e pubblicati sugli Annali Idrologici del Servizio Idrografico Italiano.

Nella Tabella 8.1 sono riportati gli eventi registrati dal 1936 al 1984 relativi a durate di 10, 15, 20, 30 minuti e 1, 3, 6, 12, 24 ore.

Riportati tali dati sulla carta probabilistica di Gumbel (esprimente una legge di distribuzione di probabilità normalmente verificata per le piogge intense), si sono ottenute le equazioni delle Tabella 8.2 e Tabella 8.3 qui allegate, relative ai diversi tempi di ritorno.

Nella Tabella 8.2 sono riportate le curve di possibilità climatica relative a tempi di ritorno da 5 a 100 anni per piogge di durata da 10 minuti ad 1 ora.

Nella Tabella 8.3 invece sono riportate quelle relative a piogge di durata compresa tra 1 e 24 ore.

Per il calcolo degli idrogrammi di piena, relativi al bacino in esame, si è fatto riferimento a durate di pioggia inferiori ad 1 ora; la curva di possibilità climatica utilizzata è quindi quella riportata nella Tabella 8.2 corrispondente ad un tempo di ritorno di 10 anni. Essa ha la seguente espressione:

$$h = 49,885 \cdot t^{0,5779} \quad \text{Eq. 8.2}$$

**Tabella 8.1:** Serie storica dei massimi annuali delle piogge.

Stazione Pluviometrica del S.I.I. 1021 BERGAMO - (quota 366 m.s.m.)

SERIE STORICA DEI MASSIMI ANNUALI DELLE PIOGGE (in mm) DELLA DURATA DI: 10 min, 15 min, 20 min, 30 min, 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore.

ANNO	10 min	15 min	20 min	30 min	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
<b>1936</b>	14.6	19.4	-	-	21.6	31.6	-	46.0	74.6
<b>1937</b>	-	15.0	34.4	49.8	55.0	56.6	-	69.6	87.6
<b>1938</b>	-	-	-	46.0	51.4	54.6	54.8	-	-
<b>1939</b>	12.0	16.0	39.4	-	45.4	52.4	77.8	109	151
<b>1940</b>	19.4	23.0	-	-	39.4	48.0	73.0	97.6	-
<b>1941</b>	13.0	-	-	-	27.8	29.2	30.6	44.0	46.0
<b>1942</b>	-	-	-	21.0	28.0	37.0	42.0	47.0	75.0
<b>1943</b>	-	-	-	17.0	20.0	31.4	36.0	43.6	56.4
<b>1944</b>	-	-	-	29.0	31.0	42.4	58.6	74.2	78.0
<b>1945</b>	-	-	-	15.5	19.0	32.6	43.5	53.6	60.0
<b>1946</b>	-	-	-	17.0	23.0	26.2	40.0	46.2	48.0
<b>1947</b>	-	-	-	21.8	35.8	42.6	43.2	43.2	80.0
<b>1948</b>	-	-	-	25.0	26.0	35.0	55.0	56.0	67.0
<b>1950</b>	-	-	-	37.0	44.6	54.0	54.0	64.4	71.8
<b>1951</b>	-	-	11.8	-	28.0	30.8	48.0	63.0	116
<b>1952</b>	-	-	-	-	38.0	42.2	46.0	57.0	69.0
<b>1953</b>	-	-	-	-	43.6	50.0	57.4	59.0	66.4
<b>1954</b>	-	-	-	16.8	18.0	23.4	24.6	38.6	49.4
<b>1955</b>	9.2	12.2	-	-	39.0	40.6	46.4	54.4	55.0
<b>1956</b>	8.8	-	16.8	11.8	18.2	20.0	24.6	40.6	62.0
<b>1957</b>	-	17.8	22.4	-	36.0	42.6	45.0	45.2	67.4
<b>1958</b>	-	-	-	13.8	22.6	32.0	37.4	43.4	59.0
<b>1959</b>	-	-	-	26.8	60.0	87.8	107	109	109
<b>1960</b>	-	22.2	-	-	41.2	52.4	58.0	86.4	103
<b>1961</b>	-	-	-	34.0	35.2	39.8	39.8	47.0	58.4
<b>1963</b>	-	15.6	-	-	36.8	55.2	55.2	74.2	119
<b>1964</b>	-	-	20.2	-	32.8	36.4	45.6	47.6	70
<b>1965</b>	-	-	-	-	41.4	48.2	51.8	56.2	76.4
<b>1966</b>	13.0	14.8	-	-	35.3	45.0	67.6	73.8	93.2
<b>1967</b>	-	-	19.8	-	24.8	25.8	33.6	46.6	60.8
<b>1968</b>	17.0	-	26.0	50.8	53.0	54.2	61.6	68.2	78.0
<b>1969</b>	-	20.0	-	-	33.4	41.0	41.4	42.6	51.8
<b>1970</b>	-	-	-	29.0	36.0	47.8	68.2	73.8	85.6
<b>1971</b>	-	9.4	14.0	-	21.8	24.0	46.0	56.4	68.6
<b>1972</b>	-	-	-	31.0	35.0	56.6	64.6	66.8	79.6
<b>1973</b>	14.4	15.6	17.6	28.8	38.5	45.8	46.8	76.4	98.4
<b>1974</b>	7.5	8.6	9.8	12.2	15.2	42.0	42.0	42.0	59.2
<b>1975</b>	13.9	18.4	24.3	31.2	33.5	43.6	45.4	54.5	57.4
<b>1976</b>	15.7	21.4	23.6	28.1	28.8	32.7	50.9	65.0	70.4
<b>1977</b>	12.9	16.5	21.1	31.3	34.3	37.6	40.0	57.9	84.5
<b>1978</b>	10.9	11.2	11.6	12.8	20.7	40.7	50.2	50.2	62.6
<b>1979</b>	11.3	13.4	15.6	20.0	25.7	44.5	58.2	90.9	118.8
<b>1980</b>	6.1	6.6	7.1	8.1	11.2	16.8	22.8	32.5	65.0
<b>1981</b>	13.6	17.5	23.4	30.9	34.5	38.4	52.8	76.4	114.4
<b>1982</b>	13.5	13.9	14.3	15.6	18.9	39.8	45.9	63.0	64.8
<b>1983</b>	14.4	17.0	18.7	26.4	27.6	29.4	30.6	31.0	62.0
<b>1984</b>	11.3	13.1	148	18.2	29.8	35.6	48.3	54.0	54.6

**Tabella 8.2:**Parametri della distribuzione di Gumbel per durata minore di un ora.

Stazione pluviometrica del S.I.I.

1021 BERGAMO - (quota: 366 m.s.m.)

Parametri A ed N della curva di possibilità climatica e coefficiente di correlazione R alle durate di 10 min, 15 min, 20 min, 30 min, 1 ora

<b>Tempo di ritorno</b>	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>R</b>
2	31,331	0,5214	0,9957
5	42,487	0,5605	0,9848
10	49,885	0,5779	0,9786
20	56,988	0,5909	0,9737
50	66,188	0,6040	0,9687
100	73,086	0,6119	0,9656
200	77,300	0,6201	0,9436

**Tabella 8.3:**Parametri della distribuzione di Gumbel per durate superiori ad un ora.

Stazione pluviometrica del S.I.I.

1021 BERGAMO - (quota: 366 m.s.m.)

Parametri A ed N della curva di possibilità climatica e coefficiente di correlazione R alle durate di 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore.

<b>Tempo di ritorno</b>	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>R</b>
2	28,045	0,2672	0,9956
5	38,439	0,2621	0,9939
10	45,320	0,2600	0,9930
20	51,919	0,2586	0,9922
50	60,461	0,2571	0,9845
100	66,862	0,2563	0,9856
200	73,240	0,2556	0,9639

## 8.2 Dati di progetto

I calcoli idraulici relativi alla stima delle portate meteoriche sono stati svolti sulla base dei dati relativi ai bacini scolanti come individuati nella figura N. 1 riportata a seguire e riassunti nella Tabella di seguito.

Tabella 8.4:Principali parametri dei bacini scolanti.

ID.	BACINO	Area [ha]	Ø m.p. [-]	Tc
1	Parco sorgente Biff	1.600	0.20	15
2	Via IV Novembre (comprende bac. N. 1)	3.310	0.40	18
3	Stradetta Trello	0.830	0.60	10
4	Via Il Giugno	0.660	0.60	10
5	Via San Pietro	0.680	0.60	10
6	Totale chiusura Via Papa Giovanni XXIII	5.870	0.54	20

Il coefficiente di afflusso medio ponderale ed il tempo di corrievazione Tc sono calcolati come di seguito illustrato.

## 8.3 Portate acque meteoriche

Sono state calcolate le portate meteoriche relative ai sottobacini indicati nella tabella precedente sottolineando come il bacino identificato al N. 6 rappresenti l'intero perimetro scolante chiuso in corrispondenza dell'incrocio con Via Papa Giovanni XXIII. A tale scopo è stato utilizzato un modello matematico che applica la convoluzione dello ietogramma di progetto con l'idrogramma istantaneo unitario.

Lo ietogramma di progetto è stato supposto ad intensità costante e con volume di pioggia congruente, per ogni durata, con la curva di possibilità pluviometrica relativa al tempo di ritorno pari a 10 anni e durata inferiore ad un ora già illustrata nel capitolo precedente.

Tale ietogramma è stato depurato applicando il metodo percentuale e utilizzando la seguente formula (proposta da Larcani, Mignosa e Paoletti,1988) per il calcolo del coefficiente d'afflusso:

$$\varphi = IMP + Cf \cdot (1 - IMP) \quad \text{Eq. 8.3}$$

dove:

IMP: percentuale di area impermeabile;

Cf: coefficiente d'afflusso delle aree permeabili dovuto all'infiltrazione e stimato in funzione sia della durata dell'evento, dalla forma dello ietogramma e dal tipo di suolo (per aree urbanizzate con verde pubblico si adotta un valore prudenziale pari a 0.30). Recenti studi (Rasulo G. e Gisonni C., 1997) propongono un coefficiente  $\phi_{imp}$  di contributo per le aree impermeabili e di conseguenza l'espressione finale diviene:

$$\varphi = \Phi_{imp} \cdot IMP + \Phi_{perm} \cdot (1 - IMP) \quad \text{Eq. 8.4}$$

I coefficienti parziali  $\phi$  di contributo sono comunque da intendersi come valori non determinati da analisi deterministiche bensì da procedimenti statistici, di conseguenza i valori assunti di seguito sono da riferirsi ad eventi con probabilità di accadimento determinata dal tempo di ritorno di 10 anni.

Tabella 8.5: Coefficienti di afflusso parziali e medio ponderali.

COEFFICIENTI DI AFFLUSSO PARZIALI	
$\phi_{imp}$ .	0.85
$\phi_{perm}$ .	0.15

Si è poi adottato, come modello di risposta del bacino, il metodo della corrievazione con IUH (idrogramma istantaneo unitario) costante, che ipotizza quindi una crescita lineare dell'area drenata lungo la rete di drenaggio, ed il tempo di corrievazione è stato così calcolato:

$$T_{CORRIVAZIONE} = T_{INGRESSO} + \sum T_{RETE_i} \quad \text{Eq. 8.5}$$

Il bacino totale chiuso all'incrocio con Via Papa Giovanni XXIII è caratterizzato da una portata stimata in 0.70 [m<sup>3</sup>/s]. Tale stima è stata effettuata ipotizzando che dalla

Stradetta del Trello pervenga solo l'afflusso relativo al bacino strettamente connesso alla stessa via, quindi senza considerare alcun afflusso dalla Via San Maurizio.

Le portate critiche calcolate per i diversi sottobacini sono riassunte nella tabella a seguire.

Tabella 8.6: Coefficienti di afflusso parziali e medio ponderali.

ID.	BACINO	Area [ha]	$\bar{\theta}$ m.p. [-]	Tc	Q crit [l/s]
1	Parco sorgente Biff	1.600	0.20	15	80
2	Via IV Novembre (comprende bac. N. 1)	3.310	0.40	18	305
3	Stradetta Trello	0.830	0.60	10	147
4	Via II Giugno	0.660	0.60	10	117
5	Via San Pietro	0.680	0.60	10	120
6	Totale chiusura Via Papa Giovanni XXIII	5.870	0.54	20	700

#### 8.4 Calcolo portate nere

Il calcolo delle portate delle acque nere è stato effettuato sulla base della popolazione che si stima quale gravante sull'area del bacino scolante. La dotazione idrica pro-capite è stata supposta pari a 350 [l/ab·d] ed un coefficiente di afflusso pari a 0,8. Per la stima della popolazione è stata considerata la superficie coperta degli edifici all'interno del bacino scolante, risultata pari a 1.21 [ha], e quindi stimato il volume edificato ipotizzando un'altezza media degli edifici di 6.0 m.. Attribuendo un volume pro-capite di 110 [m<sup>3</sup>/ab] la popolazione totale è risultata pari a:  $12100 \cdot 6.0 / 110 = \sim 700$  abitanti.

Ne consegue che la portata media giornaliera delle acque nere sarà pari a:

$$Q_{mn} = \frac{350 \cdot n^o ab}{86400} \cdot 0,8 = 0,00324 \times n^o ab [l/s] = 2.3 [l/s] \quad \text{Eq. 8.6}$$

La portata da inviare alla depurazione, come previsto dal P.R.R.A della Regione Lombardia, sarà calcolata nel seguente modo:

$$Q_{nd} = \frac{1000 \cdot n^o ab}{86400} \cdot 0,8 = 0,011574 \times n^o ab [l/s] = 8.10 [l/s] \quad \text{Eq. 8.7}$$

## 8.5 Dimensionamento e verifica dei condotti

Per la rete di collettamento è previsto l'utilizzo di tubazioni in polietilene ad alta densità sino alla scalinata Adamello ed seguire tubazioni in PVC.

Il calcolo è stato effettuato, trattandosi di tubi lisci, utilizzando la formula di Prandtl-Colebrook considerando una pendenza variabile per ogni tratto. La formula ha la seguente espressione:

$$V = -2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D_i \cdot J} \cdot \log \left( \frac{K}{3,71 \cdot D_i} + \frac{2,51 \cdot v}{D_i \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D_i \cdot J}} \right) \quad \text{Eq. 8.8}$$

dove:

V = velocità media della corrente [m/s]

g = 9,81 = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]

D<sub>i</sub> = diametro interno del tubo [m]

J = pendenza della tubazione [-]

K = 2,5 × 10<sup>-4</sup> = scabrezza assoluta della tubazione [m]

v = 1,31 × 10<sup>-6</sup> = viscosità cinematica dell'acqua [m<sup>2</sup>/s]

La tabella a seguire riassume i risultati dei calcoli di verifica sia per la rete delle acque nere che per la rete delle acque bianche. La verifica risulta superata se il rapporto fra la portata critica e la portata a riempimento è inferiore a 0.75-0.80 [-].

In particolare si sottolinea che per il tratto della condotta di scarico a lago, che verrà realizzata con tubazioni in PVC Ø 630 mm, si è ipotizzata la portata critica massima gravante sull'intero bacino scolante senza che lo scolmatore, che verrà realizzato con la rete delle acque bianche esistente in Via Papa Giovanni XXIII, scarichi alcun contributo verso il vecchio collettore.

Tabella 8.7: Verifica dei condotti in progetto.

ID. BACINO	Qp: PORTATA PROGETTO	DE COLLETTORE	SPESSORE	DI COLLETTORE	V VISCOSETÀ CINEMATICA	ACCELERAZIONE DI GRAVITÀ	PENDENZA FONDO	K SCABREZZA ASSOLUTA	PORTATA A RIEMPIMENTO	VELOC RIEMPIMENTO	GRADO DI RIEMP. [Qp/Qr]
	[l/s]	[m]	[mm]	[m]	[m <sup>2</sup> /s]	[m/s <sup>2</sup> ]	[-]	[m]	[l/s]	[m/s]	[-]
1	80	0.400	15.3	0.3694	1.31E-06	9.81	3.1%	2.50E-04	376	3.50	0.21
2	305	0.630	24.1	0.5818	1.31E-06	9.81	1.6%	2.50E-04	884	3.32	0.35
2+3	147	0.630	24.1	0.5818	1.31E-06	9.81	4.2%	2.50E-04	1438	5.41	0.10
4	117	0.400	15.3	0.3694	1.31E-06	9.81	3.6%	2.50E-04	405	3.78	0.29
4+5	120	0.500	19.1	0.4618	1.31E-06	9.81	4.3%	2.50E-04	795	4.75	0.15
6	700	0.800	30.6	0.7388	1.31E-06	9.81	4.0%	2.50E-04	2620	6.11	0.27
6	700	0.630	15.4	0.5992	1.31E-06	9.81	1.5%	2.50E-04	924	3.28	0.76
nere	8	0.315	12.1	0.2908	1.31E-06	9.81	1.5%	2.50E-04	139	2.09	0.06

**Figura N. 8.1:** Bacini scolanti

