



COMUNE DI
LOVERE
uno fra 'I Borghi più belli d'Italia'

COMUNE di LOVERE

Settore IV - Opere Pubbliche

OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DA SPROFONDAMENTO IN LOCALITA' TRELLO

1° LOTTO STRALCIO _ OPERE PRESSO SORGENTE BIFF

PROGETTO ESECUTIVO

Gruppo di Progettazione:

Gruppo di Progettazione:



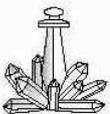
via Felice Cavallotti, n 1 tel 0331-549480 fax 0331-457130
20025 - LEGNANO (MI) e-mail: tecnico@ingarc-lab.com

progettista dell'opera, delle strutture e
coordinatore delle prestazioni specialistiche

Rolando ing. CRESPI
Ordine Ingegneri Milano nr A18035

progettista dell'opere architettoniche

Simona arch. VISCONTI
Ordine Architetti Milano nr 13735



Studio Associato di Geologia Spada di Orlandi G.M. e Bianchi S.
Via Zuccala Locatelli 3 - Bergamo (BG)
Tel: 035/516090 - fax: 035/513738 - e-mail: info@studiogeospada.it



						per approvazione
02						
01	06-2022	REV01 - aggiornamento prezzi				
00	08 - 2021	Emissione	--	--	--	
N°	DATA	REVISIONE	DIS	VER	APP	Responsabile del Procedimento

Titolo:

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

DOC. N.

01

COMMESSA

FASE

DOC

PROGR.

REV.

3 1 1

PE

GE

0 0 1

0 1

SCALA

INDICE

<i>1.0 PREMESSE, ELEMENTI DI CRITICITA', SCOPI E LIMITI.....</i>	<i>3</i>
<i>2.0 ITER AMMINISTRATIVO, PRESCRIZIONI E GESTIONE DELLE STESSE</i>	<i>5</i>
<i>3.0 ELEMENTI DI CRITICITA', SCOPI E LIMITI DELL'INTERVENTO</i>	<i>11</i>
<i>4.0 INTERVENTI PREGRESSI, PROBLEMATICHE E NECESSITA' DELLE PRESENTI OPERE</i>	<i>13</i>
<i>5.0 OPERE DI PROGETTO.....</i>	<i>15</i>
<i>6.0 LIMITI, OBIETTIVI E GESTIONE NEL TEMPO DELL'INTERVENTO.....</i>	<i>22</i>

1.0 PREMESSE, ELEMENTI DI CRITICITA', SCOPI E LIMITI

La presente relazione ha lo scopo di illustrare le scelte e le motivazioni che stanno alla base del presente progetto.

L'intervento previsto, nel caso specifico, è relativo ai lavori di *“mitigazione del rischio idrogeologico da sprofondamento nei pressi dell'area del Trello – 1° LOTTO STRALCIO – opere presso la sorgente Biff”*, in Comune di Lovere (BG) ed il grado attuale di progettazione è quello esecutivo.

Il presente intervento è finanziato dalla Regione Lombardia ai sensi della DGR 2075 del 31 luglio 2019 – allegato B - con il “Programma Regionale 2019-2021 di interventi prioritari di manutenzione straordinaria nelle aree a rischio idrogeologico molto elevato”, per un importo di € 600.000,00.

Il presente documento fa parte della REV01 del giugno 2022 del progetto esecutivo.

La presente revisione si è resa necessaria per gli aumenti dei prezzi dell'ultimo periodo, per le ben note contingenze economiche-geopolitiche ecc., aumenti che hanno fatto andare deserte le gare per l'aggiudicazione dei lavori.

In accordo con il RUP e con l'Amministrazione Comunale si è quindi proceduto alla presente revisione del progetto esecutivo, con un aggiornamento ed un adeguamento dei prezzi alle nuove condizioni di mercato.

Il progetto riprende il precedente esecutivo senza alcuna riduzione: tutte le opere di mitigazione del rischio idrogeologico e di monitoraggio geologico sono interamente riprese anche nella presente revisione progettuale.

L'unica modifica riguarda una differente modalità tecnica di realizzazione degli scarichi dei pozzi drenanti verso la condotta di scarico a lago: in sostituzione della

perforazione direzionale si utilizzerà uno scavo tradizionale, adeguatamente armato e sostenuto. Questa soluzione risulta nettamente meno onerosa, alla luce delle nuove condizioni di mercato, e consente comunque un migliore controllo delle pendenze di posa delle tubazioni, evitando “corde molli”, che potrebbero, nel tempo favorire i fenomeni di deposito chimico ed intasamento delle condotte.

Stante l'aumento dei costi ed il mantenimento di tutte le opere, la presente revisione progettuale diviene maggiormente costosa.

I lavori a base di gara passano da € 380.000,00 ad € 473.389,17, cui si aggiunge anche un aumento dell’IVA sui lavori pari ad € 20.545,62.

Il quadro economico complessivo del progetto passa da € 600.000,00 a € 713.934,79.

Gli extra costi, rispetto al finanziamento Reginale, pari ad € 113.934,79 sono coperti dall’Amministrazione Comunale.

Il progetto è il 1° lotto stralcio di un intervento globale più ampio, che prevede anche attività sui sottoservizi e per la tutela e la protezione delle aree pubbliche (viabilità, parcheggi, ecc.) per un importo complessivo superiore ad 1,2M€.

Lo stesso è stato progettato a livello preliminare dagli Scriventi nel gennaio 2018 e dovrà trovare completamento nel prossimo futuro, in abbinamento ad un sistema di monitoraggio e controllo in continuo nel tempo, per mitigare il rischio in questa complessa situazione.

Questo 1° lotto stralcio di intervento si propone di intervenire sull’assetto idrogeologico per rallentare il “motore” dei fenomeni di dissoluzione in continua evoluzione, intervenendo in una zona che è ritenuta, in base alle indagini effettuate nel tempo, fondamentale per questo aspetto: la sorgente Biff.

2.0 ITER AMMINISTRATIVO, PRESCRIZIONI E GESTIONE DELLE STESSE

Il presente grado di progettazione esecutiva fa seguito a quella definitiva, redatta dagli Scriventi nell'ottobre 2020.

Il progetto era stato sottoposto a conferenza decisoria con modalità asincrona in data 23/11/2020 ottenendo un parere favorevole con prescrizioni, secondo quanto di seguito indicato:

Ente	Nota	Parere
Regione Lombardia Territorio e Protezione Civile Difesa del suolo e Gestione attività commissariali Programmazione interventi di difesa del suolo	Protocollo n.18193 del 24/11/2020	FAVOREVOLE con richiesta di specificazioni: <ol style="list-style-type: none">1) Come si prevede di valutare l'efficacia nel tempo degli interventi previsti (in particolare l'adduzione di CO₂).2) Quale cadenza per i campionamenti chimici delle acque.3) Prevedere un aggiornamento sistematico sull'andamento dei monitoraggi in base alla velocità di evoluzione dei fenomeni.
Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Bergamo e Brescia	Protocollo n.18065 del 23/11/2020	Per vincolo paesaggistico FAVOREVOLE senza condizioni. Per vincolo archeologico FAVOREVOLE con condizioni: <ol style="list-style-type: none">1) Presenza di assistenza archeologica durante le opere di scavo.
Comune di Lovere Area Gestione del Territorio	Protocollo n.18063 del 23/11/2020	Per vincolo paesaggistico FAVOREVOLE con condizioni/richiesta di specificazioni: <ol style="list-style-type: none">1) Al termine dei lavori vengano curate le opere di ripristino ed inerbimento.2) In caso di manufatti esterni, questi vengano mitigati con piantumazioni.3) Verificare se l'aumento di CO₂ non abbia effetti negativi sugli equilibri dell'acqua del lago.

CRESPI E VISCONTI – laboratorio di ingegneria ed architettura
STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA

<p>Comune di Lovere</p> <p>Area Gestione del Territorio</p>		<p>Per polizia idraulica (sorgente Biff – RIM) FAVOREVOLE con condizioni:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Le opere non alterino in alcun modo l'alveo. 2) Vengano effettuati periodici interventi di manutenzione. 3) Le opere non siano di ostacolo per il regolare deflusso delle acque e non creino danni a terzi.
<p>Uniacque S.p.A.</p>	<p>Protocollo n.18001 del 20/11/2020</p>	<p>Per vicinanza al Bacino dell'acquedotto FAVOREVOLE con condizioni:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Garantire sempre l'accesso del personale Uniacque al serbatoio comunale durante i lavori. 2) I manufatti dovranno avere una distanza minima dalle strutture gestite da Uniacque di almeno 50 cm. 3) I pozzi drenanti dovranno avere una distanza minima dalle strutture gestite da Uniacque di almeno 2 metri.

Una serie di prescrizioni sono state direttamente recepite nel presente progetto esecutivo e precisamente:

- Regione Lombardia – DG Territorio e Protezione Civile: le tematiche sono state affrontate in un documento specifico del presente progetto esecutivo, il “Piano di monitoraggio”;
- Soprintendenza Archeologica: è stato aggiornato il quadro economico e sono previste tra le somme a disposizione dell'Amministrazione le risorse per incaricare un Archeologo abilitato per l'assistenza alle operazioni di scavo;
- Uniacque SpA ed Eurogasmets (indicazioni ricevute dopo la chiusura della conferenza dei servizi): verifica delle indicazioni nel presente progetto esecutivo ed attenzioni per la fase esecutiva.

Alcune delle prescrizioni del Comune di Lovere sono risultate dubbie e quindi gli Scriventi hanno formulato una serie di controdeduzioni all'Ente con PEC prot. n. 071.21.311 del 26/01/2021, che vengono di seguito riprese nelle parti essenziali:

1- Verificare se l'aumento di CO2 non abbia effetti negativi sugli equilibri dell'acqua del Lago

I monitoraggi che verranno previsti nel progetto, anche su richiesta di Regione Lombardia, si concentreranno sulla valutazione dell'efficacia "geotecnica" del trattamento.

Gli Scriventi, per la tipologia di professionalità, non sono in grado di effettuare le verifiche richieste: nel caso in cui il Comune intenda proseguire con la richiesta dovrà affidare un incarico ad un professionista specifico per tali analisi in fase progettuale e per il monitoraggio in corso d'opera.

In assenza di tale incarico, si riterrà la richiesta annullata.

2- Al termine dei lavori vengano curate le opere di ripristino ed inerbimento

Il progetto esecutivo rispetterà la prescrizione, peraltro già accolta in sede di definitivo.

3- In caso di manufatti esterni, questi vengano mitigati con piantumazioni

Il progetto esecutivo rispetterà la prescrizione prevedendo espressamente una serie di opere volte alla mitigazione ambientale degli eventuali manufatti mediante paramenti verdi composti da piantumazioni.

4- Le opere non alterino in alcun modo l'alveo

Le aree sottoposte a vincolo nel piano del reticolo idrico minore sembrano coincidere con le trincee drenanti realizzate nel 2007-2009 con il progetto di

messa in sicurezza delle aree e con il tubo di scarico a lago delle acque della sorgente Biff.

Si tratta quindi di aree sotterranee, che sono raccolte in tubazioni, per ridurne la dispersione nel sottosuolo, ed addotte a lago.

Nella zona di intervento, presso la sorgente Biff non esiste alcun alveo.

Pertanto la prescrizione non è pertinente con il contesto del progetto e quindi non può essere recepita nel progetto esecutivo in esame.

5- Vengano effettuati periodici controlli di manutenzione

Nel progetto esecutivo verrà predisposto, come previsto dalle vigenti normative, il Piano di Manutenzione delle opere, che prevedrà puntualmente attività di controllo, manutenzione ordinaria e straordinaria da mettere in essere.

L'Ente che poi si dovrà occupare di eseguire tali attività è lo stesso Comune di Lovere in qualità di Ente appaltante dei lavori e proprietario delle opere.

La prescrizione sarà recepita nel progetto esecutivo.

6- Le opere non siano di ostacolo per il regolare deflusso delle acque e non creino danni a terzi

Come già indicato in precedenza nella zona di intervento presso la sorgente Biff non esiste un alveo con scorrimento delle acque, ma delle tubazioni interrato che raccolgono acque sotterranee e le portano al lago.

Le opere di progetto vanno ad agire sulle acque sotterranee con l'obiettivo di ridurne la quantità nel sottosuolo, aumentandone lo scorrimento nella tubazione della Biff in cui appunto verranno scaricate. E ancora, i pozzi drenanti alterano il regime di velocità (diminuendola) delle acque sotterranee nonché ne

modificano il chimismo proprio per poter andare a ridurre gli effetti fisici (dissoluzione) e chimici (aggressività) dei fenomeni di dissesto progressivo già oggi particolarmente attivi.

Se la prescrizione è da intendersi relativa alle sole acque superficiali, la stessa non è pertinente e quindi inapplicabile al caso in esame.

La prescrizione, poi, impone che non “si creino danni a terzi”. Tale prescrizione risulta “inappropriata” e “non pertinente”, non solo per il contesto di cui stiamo parlando (già sufficientemente maltrattato nel passato), ma anche perché il grado di danneggiamento delle abitazioni e delle strutture presenti è in atto da anni come conseguenza di interventi precedenti non sempre opportuni e corretti, e le cui conseguenze permangono e non si sono ancora esaurite. Da oltre un decennio, il territorio è stato sottoposto ad interventi invasivi, interferenti con il deflusso e la circolazione idrica sotterranea.

Viceversa, l’approccio tecnico alla base del progetto in esame, (come del resto quello del piazzale II Giugno o di via IV Novembre con i riempimenti in pomice, leggera ed inerte), si armonizza con le ipotesi di non interferire con il contesto né tanto meno presupporre aggravamenti o andare in contrasto con il contesto esistente.

Il territorio è oggetto da oltre un decennio di interventi ciò è sotto le evidenze di tutti gli interlocutori. Pertanto, la stessa non è applicabile al progetto in esame.

Gli Scriventi con la comunicazione sopra riportata nelle sue linee essenziali richiedevano o delle controdeduzioni al Comune oppure l'approvazione, quale presa d'atto delle controdeduzioni formulate e della non applicabilità al caso in esame delle prescrizioni ai punti 4 e 6 sopra riportati, che sarebbero da intendersi integralmente ritirate e vengono pertanto annullate.

Il Comune con PEC REG_PROT - 0001577 del 02/02/2021 ha **ritenuto di APPROVARE le controdeduzioni e di AUTORIZZARE la ripresa dei lavori necessari per la redazione del progetto esecutivo.**

Le prescrizioni di cui ai punti 4 e 6 sono quindi state ritirate ed annullate, come anche la prescrizione 1 stante l'assenza di incarichi da parte del Comune ad un Tecnico specifico.

Le prescrizioni 2-3-5 sono state recepite nel presente progetto esecutivo, insieme a quelle della Regione Lombardia e della Soprintendenza Archeologica ed alle indicazioni dei gestori delle Reti di Acquedotto, fognatura e gas metano.

3.0 ELEMENTI DI CRITICITA', SCOPI E LIMITI DELL'INTERVENTO

Il presente progetto rientra nell'ambito degli interventi di difesa del suolo, atti a mitigare il rischio da sprofondamento per sinkholes, nella zona urbanizzata del Trello.

L'area è classificata quale area a rischio idrogeologico molto elevato ex L. 267/98 ed è già stata oggetto in passato di interventi di consolidamento.

Il proseguire di alcune dinamiche di cedimento, concentrate lungo le viabilità principali, richiede ulteriori interventi, finalizzati a ridurre la formazione delle cavità sotterranee ed a garantire una maggiore protezione rispetto a cedimenti improvvisi, sia delle reti dei sottoservizi sia delle viabilità.

Lo scopo ultimo è quello di mitigare il rischio idrogeologico nella zona fortemente urbanizzata del Trello.

Il Trello è una porzione molto complessa e delicata del territorio Comunale, con la forma di un ampio avvallamento subpianeggiante, aperto verso il lago, legato verosimilmente a dinamiche molteplici (fenomeni carsici nel substrato gessoso, fenomeni di rilascio tensionale, azione glaciale e post glaciale, ecc.).

Si parla di mitigazione del rischio perchè in natura, in materia di difesa del suolo, non è mai possibile eliminare completamente il rischio; a maggior ragione questo vale per un contesto complesso ed articolato come quello del Trello, per un tema fortemente evolutivo e tempo-dipendente come la dissoluzione dei gessi.

Per l'elaborazione del presente progetto sono state effettuate indagini geologiche specifiche e monitoraggi (dettagliati nelle relazioni specialistiche allegate) al fine di migliorare sempre di più la conoscenza del sistema idrogeologico di riferimento.

Per il tipo di intervento, che punta ad agire proprio sul contesto idrogeologico, la conoscenza di questi aspetti è certamente fondamentale.

Le risultanze di tali ulteriori misure e monitoraggi potrebbero comportare la necessità di apportare modifiche e variazioni alle opere di progetto, in sede esecutiva, in relazione ai monitoraggi che verranno attuati.

Per questo il progetto è stato strutturato a misura, con controlli e monitoraggi durante lo sviluppo dei lavori stessi, che potranno comportare modifiche e/o adeguamenti, da gestire secondo i limiti di legge, al fine di ottimizzarne le risultanze.

Questo soprattutto perché si tratta di un intervento sperimentali e prive di precedenti esperienze, che dovrà essere verificato e gestito in fase operativa, come meglio specificato di seguito.

4.0 INTERVENTI PREGRESSI, PROBLEMATICHE E NECESSITA' DELLE PRESENTI OPERE

L'area del Trello è stata oggetto di imponenti interventi di consolidamento nel tempo, di cui il principale tra il 2009 ed il 2013 per una spesa di oltre 5M€.

Il perdurare di elementi di cedimento, principalmente su viabilità ed aree pubbliche, ha riportato l'attenzione su questa area e comportato la necessità di ulteriori interventi.

Un intervento in tal senso è stato completato nel 2018, sotto il coordinamento degli Scriventi, ed ha previsto attività di riempimento di cavità e vuoti in zone di cedimento delle sedi stradali, con il solo scopo di tamponare la situazione, in attesa di opere “più strutturate e coordinate”, come quelle del progetto globale di cui al precedente paragrafo e di cui il presente progetto rappresenta un primo stralcio particolarmente importante ed urgente.

Per cercare di rendere l'idea della complessità geologica, logistica, cantieristica, idrogeologica, infrastrutturale ecc. si evidenziano alcuni elementi di criticità emersi durante i lavori di tamponamento dei cedimenti stradali di via 2 giugno e IV novembre:

- diffusa presenza, spesso disordinata di sottoservizi, che impedisce di operare adeguatamente;
- scarsa conoscenza dei sottoservizi, con presenza di linee non mappate e di cui non sono disponibili dati (alimentazione acqua alle piscine e/o al supermercato dalla sorgente Biff);
- forte dinamicità del sistema con progressivo cedimento ed autoriempimento, con conseguente difficoltà di operare riempimenti, considerata anche l'impossibilità

di iniettare a pressioni elevate stante il rischio di innescare ulteriori fenomeni ecc.

Gli elementi di cui sopra, ravvisati durante gli ultimi lavori, nonostante le verifiche e le indagini preventive, confermano la necessità di sviluppare nel prossimo futuro, a tutti gli interventi previsti dal progetto globale del gennaio 2018:

1. tentativo di gestione delle acque in afflusso dalla zona della sorgente Biff, sotto vari aspetti: velocità delle acque (puntando ad una riduzione di velocità), quantità dei deflussi (cercando di ridurre i flussi verso valle) e chimismo (cercando di ridurre l'aggressività nei confronti della dissoluzione del gesso);
2. riorganizzazione delle reti dei sottoservizi nella zona di via 2 giugno, con spostamento all'esterno della zona critica di tutte quelle reti che è possibile rimuovere, consolidamento e ripristino di quelle lesionate e realizzazione di un tunnel tecnologico sul lato non interessato dai cedimenti di via 2 giugno, in cui inserire tutte le reti. Il tunnel garantisce una maggiore tenuta del sistema a fronte di eventuali cedimenti localizzati ed una maggiore facilità di controllo e manutenzione;
3. opere di consolidamento delle sedi viarie con la messa in opere di geogriglie ad alta resistenza, adeguatamente ancorate, stabilizzate e monitorate.

Le opere del presente progetto sono quelle di cui al punto 1, particolarmente importanti, ma parimenti complesse e delicate.

5.0 OPERE DI PROGETTO

Il presente progetto prevede una serie di opere di difesa del suolo e riduzione del rischio idrogeologico.

Lo stesso è un 1° stralcio di un progetto globale, predisposto dagli Scriventi nel gennaio 2018 a livello di progetto di fattibilità tecnica ed economica, di cui ad oggi è stata finanziata solo la porzione oggetto della presente progettazione.

Nello specifico si prevedono opere a carattere “idrogeologico” di mitigazione del rischio da effettuarsi nei pressi della sorgente Biff, che è ritenuta il motore idrogeologico di una serie di fenomeni di dissoluzione dei gessi e cedimento dei terreni e delle strutture presenti.

Per quanto riguarda gli aspetti di carattere geologico, idrogeologico, la disamina delle indagini e dei monitoraggi effettuati, le modellazioni e le simulazioni, si rimanda alla corposa documentazione specialistica allegata.

Il presente intervento deve quindi comprendere tre linee operative:

- 1) riduzione dei flussi dalla zona della Biff verso il Trello,*
- 2) trattamento chimico per ridurre l'aggressività delle acque*
- 3) monitoraggio dei parametri idrochimici e degli spostamenti nel tempo.*

Si tratta di concetti semplici in linea generale, ma certamente complessi da attuare nel caso specifico.

1) Riduzione dei flussi dalla zona della Biff verso il Trello

Un intervento di riduzione delle portate di deflusso dalla zona della sorgente Biff all'anfiteatro del Trello deve agire sulle oscillazioni a seguito delle precipitazioni.

In questi momenti le portate del sistema aumentano in modo impulsivo, importante, apportando al sistema acque molto aggressive chimicamente.

L'eliminazione di questi picchi di portata può apportare un significativo beneficio al sistema, riducendo le forti variazioni di portata e di velocità, nonché di chimismo, principali fattori che agiscono sulla dissoluzione del gesso.

Infatti, una eccessiva riduzione dei quantitativi di acqua verso il Trello potrebbe risultare negativa ed innescare cedimenti e/o sprofondamenti parziali (in alcune cavità la presenza e la spinta dell'acqua contribuiscono certamente al sostentamento).

La posizione per attuare questi interventi è lungo l'allineamento dei sondaggi Sa2-Sa3-Sa4, unici piezometri che tendono a reagire in modo significativo alle precipitazioni e che possono consentire di definire delle quote di drenaggio / emungimento delle acque, senza alterare il deflusso di base.

La riduzione dei flussi potrà avvenire sia per gravità, compatibilmente con le quote dell'acqua, che, per la maggior parte, con emungimento in pozzo.

Per intercettare le acque si è prevista la realizzazione di una serie di pozzi di grande diametro, perforati fino a 12-16 metri di profondità (intestati nel gesso) e sostenuti ad un lamierino metallico, del tutto analoghi a quelli utilizzati per il drenaggio profondo dei pendii in frana.

In strutture di questo tipo, che non costituiscono ostacolo al flusso normale della falda per la loro natura permeabile, è possibile:

- realizzare un dreno di scarico per gravità delle acque verso il tubo di deflusso della sorgente Biff, alla minima quota possibile, per ridurre per gravità i picchi di innalzamento conseguenti alle piogge;

- inserire dei sistemi di pompaggio, controllati da un galleggiante, per emungere le acque in afflusso solamente nel momento in cui il livello delle stesse si inizia ad alzare nel sottosuolo, alle quote definite progettualmente.

Per il dreno a gravità la quota è condizionata da quella del recettore.

Per il sistema di pompaggio la regolazione dei galleggianti potrà essere modificata nel tempo, in base ai controlli ed ai monitoraggi.

Per l'emungimento delle acque e la regolazione dei flussi sarà possibile, in futuro, eventualmente utilizzare anche le opere già presenti, nello specifico i pozzi sostenuti da pali a grande diametro costruiti per realizzare i micropali suborizzontali.

L'attuale punto di recapito è rappresentato dalla grande tubazione interrata (diametro 800 mm) che già adesso scarica le acque della sorgente Biff verso il lago.

Tale tubazione è posata a profondità variabile da 2,5 ad oltre 4 metri dal p.c. nell'area del Trello e quindi può consentire lo scarico delle acque in parte per gravità.

2) *Trattamento chimico per ridurre l'aggressività delle acque*

L'effetto di dissoluzione chimica agisce verosimilmente nelle fasi iniziali del fenomeno di dissoluzione; nel seguito domina l'effetto di piping.

L'idea progettuale è di agire su due fronti:

- 1) aumentare il contenuto di solfati nelle acque per ridurre l'aggressività nei confronti delle rocce gessose;
- 2) cercare di spingere il sistema idrochimico e depositare sul fondo dei canali di deflusso un sale insolubile, che possa aiutare a ridurre i fenomeni di erosione nel tempo.

Il primo intervento può essere attuato in maniera relativamente semplice in modalità analoga a quello utilizzato nel campo prove dall'Università Bicocca: realizzare delle perforazioni nel sottosuolo, a profondità tali da interferire con l'acqua presente, e riempirle con materiale con elevato contenuto di solfato di calcio (frammenti di gesso).

Le acque sotterranee nel loro naturale deflusso sciolgono il gesso, aumentano il loro carico di solfati e divengono, in conseguenza, meno aggressive nei confronti del substrato gessoso.

Per potenziare l'efficacia di questo trattamento è stato previsto di:

- realizzare una cortina molto fitta (per es. con perforazioni ravvicinate), con una profondità di 10-12 metri,
- localizzare la zona di trattamento con i solfati a valle dei pozzi di emungimento (nella zona compresa tra i pozzi e la strada), in modo da dover trattare dei quantitativi ridotti di acque sotterranee,
- utilizzare un solfato di calcio velocemente solubile, per esempio già ridotto in polvere oppure in soluzione.

Per il secondo punto l'idea progettuale è quella di utilizzare e forzare artificialmente il fenomeno della dissoluzione incongruente che si verifica naturalmente nelle grotte di gesso e che permette il naturale deposito di speleotemi ed incrostazioni di carbonato di calcio.

Questo ultimo è un sale praticamente insolubile, che tende a ricoprire il gesso ed a “proteggerlo” nei confronti dell'erosione.

Il fenomeno si innesca quando le acque meteoriche si arricchiscono in CO₂: quando le acque solubilizzano solfato di calcio biidrato, sciogliendo il gesso, si saturano e depositano il carbonato di calcio.

L'idea progettuale è quindi quella di aggiungere la acqua di CO₂ (anidride carbonica): all'aumentare del contenuto in solfato di calcio le stesse dovrebbero depositare naturalmente carbonato di calcio.

Il trattamento potrebbe essere attuato o nei pozzi di emungimento presso i sondaggi Sa2-Sa3, sia nel pozzo esistente nel parcheggio di via IV novembre.

Allo stato attuale non esistono esperienze specifiche di trattamento chimico analoghe a quelle sopra indicate ed anche le esperienze di laboratorio sono poco rappresentative, stante la complessità idrogeologica ed idrochimica dei sistemi naturali.

Il cantiere sarà quindi impostato come un grande campo prove, per il trattamento chimico, monitorando i parametri delle acque a monte ed a valle delle opere, al fine di verificare l'efficacia degli stessi.

La parte relativa alla cantierizzazione dell'impianto di alimentazione di CO₂ ed alla fornitura delle CO₂ stessa sono un'attività specialistica, che poche Ditte e realtà produttive sono in grado di curare e gestire con competenza.

Si tratta per altro di attività non usuali e generalmente non connesse alle opere di difesa del suolo.

Gli importi relativi a queste attività (stoccaggio, cantierizzazione, controllo, gestione e fornitura CO₂) sono quindi state inserite la tra somme a disposizione dell'Amministrazione e potranno essere affidate ad una Ditta / Società con esperienza e comprovata esperienza nel settore.

3) Monitoraggio dei parametri idrochimici e degli spostamenti nel tempo.

Il tutto sarà accompagnato da un potenziamento delle attività e dei sistemi di monitoraggio idrogeologico e dei movimenti del suolo, già in atto anche oggi, per verificare la funzionalità delle opere e la possibilità di integrarle nel tempo.

Il tema dei monitoraggi in questo contesto è fondamentale per acquisire maggiori elementi conoscitivi sul comportamento del sistema geologico-idrogeologico, verificare l'evoluzione dei fenomeni di dissesto, l'efficacia delle opere, le possibili necessità di intervento aggiuntive e le possibili criticità per strutture ed infrastrutture.

Il monitoraggio riguarderà:

- assetto idrogeologico: potenziamento dei piezometri nell'area di intervento e nella zona del Trello, a valle delle opere (stante la presenza di numerosi piezometri a monte ed in linea con le nuove opere), misura dei livelli idrici nei pozzi, misura portate emunte per gravità e dai pompaggi;
- assetto idrochimico: campagne di misura dei parametri di temperatura, PH, conducibilità ed ossigeno disciolto lungo tutta la verticale dei piezometri con apposita sonda multiparametrica, per la verifica delle modifiche del chimismo delle acque a valle delle opere e campagne di campionamento delle acque con analisi chimica per solfati, carbonati e ione calcio presenti nell'acqua;
- deformazioni del suolo: realizzazione e messa in opera di estensimetri multibase in foro, proseguo dei controlli topografici tradizionali e con laserscanner.

Alcune delle opere e delle attività relative al monitoraggio sono state inserite tra i lavori in appalto (principalmente il potenziamento della strumentazione sia idrogeologiche che sulle deformazioni).

I monitoraggi per la parte chimica ed idrogeologica, da gestire sia durante i lavori che per ulteriori 4 mesi al termine degli stessi, sono inseriti tra le somme a disposizione, per una gestione più consona da parte del Comune, con affidamenti specifici a Tecnici qualificati e competenti e soprattutto svincolati dalla Ditta esecutrice dei lavori, che sarà oggetto di controllo proprio con tali monitoraggi.

Maggiori dettagli su questo aspetto sono contenuti nell'apposito documento "Piano di Monitoraggio" del presente progetto esecutivo.

6.0 LIMITI, OBIETTIVI E GESTIONE NEL TEMPO DELL'INTERVENTO

La complessità dei fenomeni del Trello, come già evidenziato più volte, è tale che non è ipotizzabile una soluzione univoca e definitiva ma saranno necessari interventi di mitigazione nel tempo, abbinati a monitoraggi e controlli.

Anche nella scelta degli interventi del presente progetto è fondamentale avere in mente un elemento cardine: le opere NON devono avere impatti, anche solo potenziali, negativi sul contesto (come per esempio il possibile sbarramento dei flussi che potrebbe comportare uno spostamento degli stessi). L'unico rischio accettabile, in un contesto così delicato, è quello della bassa efficacia delle opere stesse.

In sintesi, mutuando dall'ambito medico "Primum non nocere".

Si tratta, come detto più volte, di opere delicate che devono essere approcciate e gestite con attenzione, tenendo conto del carattere fortemente sperimentale della soluzione adottata.

Le opere puntano a mitigare il fenomeno, a ridurre la velocità di sviluppo dei cedimenti, ma non è possibile ipotizzare una risoluzione del problema.

L'intervento è affiancato da un sistema di monitoraggio delle aree in grado di controllare diversi aspetti: idrogeologico, cedimenti del suolo e comportamento delle principali strutture nel tempo.

Nel tempo sarà necessario:

- *completare le opere per la salvaguardia dei sottoservizi e delle viabilità previste nel progetto di fattibilità globale;*
- *consolidare eventuali cedimenti puntuali con miscele cementizie permeabili e leggere;*

- *mantenere operativi i monitoraggi, per tenere sotto controllo l'evoluzione della situazione, l'efficacia delle opere e definire ulteriori necessità di intervento per il futuro.*

Questo ultimo aspetto è fondamentale perché la verifica nel tempo di tutti questi parametri consentirà di ottimizzare la gestione dell'opera (emungimenti, trattamenti chimici, ecc.) e di definire la necessità o meno di ulteriori opere analoghe più a valle.

Gli interventi, che hanno carattere puntuale, possono quindi essere depotenziati e/o potenziati in base alle necessità ed in base ai risultati del monitoraggio stesso.

Si tratta quindi di opere modificabili ed eventualmente implementabili nel tempo, in base all'evoluzione dei fenomeni, in modo flessibile ed in relazione con le attività di monitoraggio, con lo scopo ultimo di ottenere un sistema integrato di mitigazione dei fenomeni e di miglioramento delle condizioni di sicurezza della popolazione locale.

