



**REGIONE
LAZIO**

**DIREZIONE REGIONALE INFRASTRUTTURE,
AMBIENTE E POLITICHE ABITATIVE**

**LAVORI DI RIPRISTINO DELL'OFFICIOSITA' DEL FOSSO DI
PRATOLUNGO COMPRESA LA M.S. DELL'ALVEO E LA COSTITUZIONE
DI OPPORTUNE OPERE DI ACCUMULO E
LAMINAZIONE DELLE PIENE - II LOTTO**

**PROGETTO ESECUTIVO
PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA**

**DIGA DI PRATOLUNGO
INTERVENTI SULLE CAVITA'
Relazione tecnica e descrittiva**

IMPRESA DI COSTRUZIONE:
ATI:

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Dario Maturro



(capogruppo)



(mandante)

PROGETTISTI:

DIREZIONE DEI LAVORI
Ing. Severino Marasco



(mandataria)
Prof. Ing. Marco Petrangeli
Ing. Geol. Massimo Pietrantonì



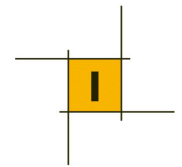
(mandante)
Ing. Luciano Landolfi
Ing. Roberto De Gennaro
Ing. Antonio Petti

STUDI GEOLOGICI:

Ing. Geol. Massimo Pietrantonì

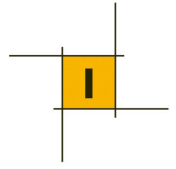
CODICE ELABORATO	RIFERIMENTO ELABORATO		SCALA
	File name:		
	R	IN 122RA - RE 103 - R 1	RIN122RA-RE103-R1
			-

rev	Data	Redazione	Verifica	Approvazione	Visto committente	Descrizione
0	11/2013	A. Tagliaferri	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		Istruttoria Direzione Generale Dighe
1	08/07/2015	A. Tagliaferri	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		Ottemperanza prescrizioni. Consegna definitiva
2						



INDICE

1.	PREMESSA.....	4
2.	DESCRIZIONE DELLE CAVITA'	5
2.1.	La cavità C1	6
2.2.	La cavità C2	11
2.3.	La cavità C3	16
3.	CONSIDERAZIONE SULL'INTERFERENZA CON IL FUTURO INVASO	19
4.	INTERVENTI DI PROTEZIONE DELLE CAVITA'	20
4.1.	Gli interventi nella cavità C1	20
4.2.	Gli interventi nella cavità C2	21
4.3.	Gli interventi nella cavità C3	22



1. PREMESSA

Nell'ambito delle attività di indagine e rilievo per il progetto esecutivo degli interventi di protezione idraulica del fosso di Pratolungo, sono stati effettuati specifici accertamenti per il rilievo geometrico e geologico delle cavità presenti sulla sponda destra dell'invaso di progetto, poco a monte della futura diga.

Poiché la presenza di queste cavità, non accertata in sede di progetto definitivo, potrebbe avere influenze sulla tenuta dell'invaso e/o ripercussioni sulla stabilità delle sponde, sono stati studiati ed inseriti in progetto specifici interventi di protezione.

Nella presente relazione sono quindi illustrate le caratteristiche delle cavità rilevate e vengono descritti e dimensionati gli interventi di protezione.

Per la trattazione degli argomenti si farà riferimento agli elaborati di rilievo topografico:

EG-SZ-101

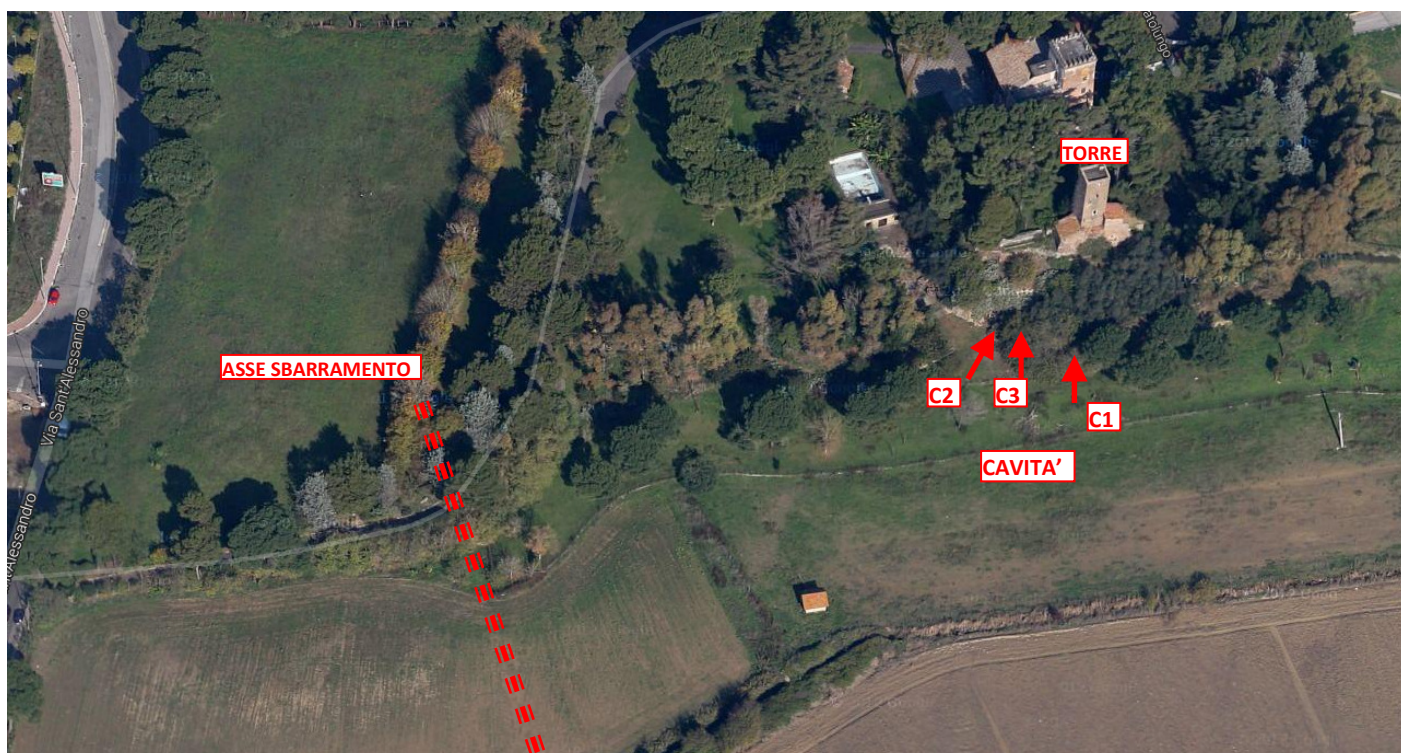
e agli elaborati progettuali:

CA-PL-101.

2. DESCRIZIONE DELLE CAVITA'

Nella descrizione delle caratteristiche geometriche e geologiche delle cavità si omette la descrizione delle caratteristiche geomorfologiche del sito, trattata nel dettaglio nella specifica Relazione Geologica di progetto e nei relativi elaborati cartografici.

Le cavità sono state individuate sulla sponda destra della valle, circa 150m a monte della sezione di sbarramento della futura diga.



Le cavità sono di epoca storica (non definita l'effettiva età) scavate verosimilmente per la coltivazione di materiali da costruzione. Sono state accertate in particolare tre cavità, a differenti quote, collegate tra loro e con l'esterno tramite condotti e cunicoli.

Tenuto conto dell'importanza che tale rete di cavità riveste nei riguardi della tenuta dell'invaso e della sicurezza delle aree circostanti, è stato condotto uno specifico rilievo topografico che ha permesso di ricostruire la geometria di questa rete di cavità. Nell'esposizione seguente si fa riferimento alla mappa delle cavità, riportata nell'elaborato EG-SZ-101 e alla documentazione fotografica inserita nei paragrafi successivi.

Le tre cavità sono state denominate con le sigle C1, C2 e C3.

2.1. La cavità C1

La **cavità C1** si trova a quote poco superiori a quelle della piana (q. di ingresso 25.4) in corrispondenza della Torre lungo la perpendicolare alla parete tufacea. L'imbocco si trova in una zona recintata e coperta di rovi, infossata rispetto alla stradina che fiancheggia il fondovalle sotto la rupe della Torre.

L'imbocco ha una forma a ferro di cavallo irregolare, di 5m di larghezza e 3m circa di altezza (foto 1); l'ingresso a q. 25.4 è coperto in realtà da detriti che rialzano l'effettiva quota di fondo, rilevabile all'interno.



Foto 1 – L'imbocco della cavità C1

All'interno la galleria è scavata nel tufo nudo con una forma a ferro di cavallo regolare (foto 2). La base è sub-orizzontale a quote di circa 24, di larghezza da 5.5 a 6m circa.



Foto 2 – L'interno della cavità C1

Sui piedritti della galleria è sempre presente una sorta di gradino scavato nel tufo (foto 2 e 3). I piedritti verticali sono alti circa 2 m e si raccordano con la calotta a volta tramite un tratto rettilineo inclinato. L'altezza complessiva della galleria, dalla base alla chiave, varia da 3 a 3.3m circa. La cavità si estende in orizzontale per circa 28m e termina al di sotto della Torre di Pratolungo con un fronte verticale (foto 3).



Foto 3 – Il termine della cavità C1

Alla fine della galleria un condotto verticale arriva in superficie, attraverso una botola posta a fianco della torre (Foto 4). La quota battuta con laser, dall'interno della galleria, della botola superiore è di 42, corrispondente a quella del piano di campagna a fianco della torre.



Foto 4 - Il condotto di forma rettangolare che collega la galleria con l'esterno tramite una botola

All'interno della galleria si rinvennero numerosi altri condotti di forma circolare, a ferro di cavallo o rettangolare (foto 5÷8), di dimensioni decimetriche, ubicati al piede della sezione o sui fianchi di essa.



Foto 5 – Un “camino” verticale che si dirama dalla galleria



Foto 6 – Uno dei condotti ubicati al piede della galleria

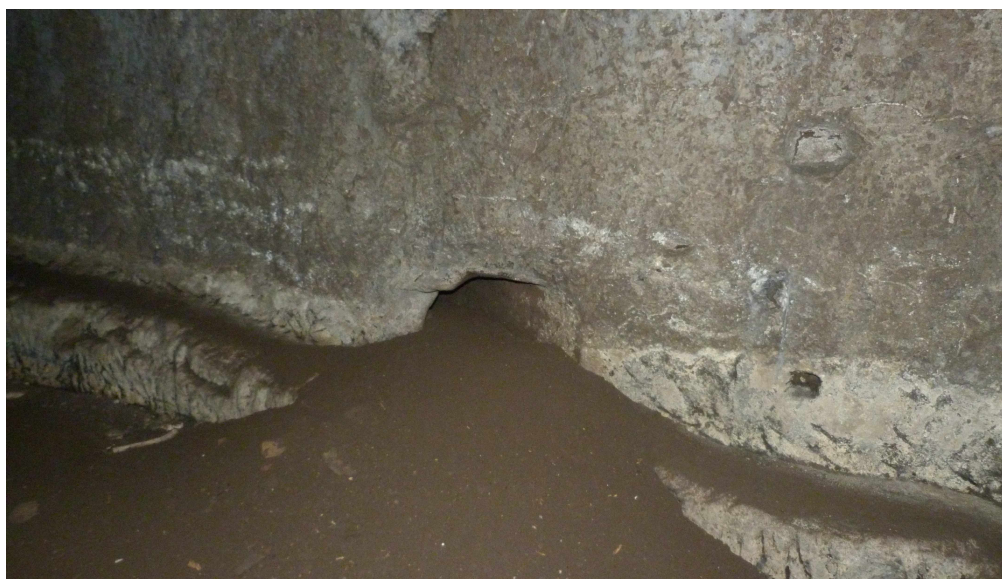


Foto 7 - Un piccolo condotto al piede della galleria, con fuoriuscita di materiale terroso

In considerazione delle piccole dimensioni e parziale ostruzione di questi condotti non è possibile (con metodi semplici) ricostruire l'esatto andamento e l'effettivo collegamento tra di essi.

E' da ritenere molto probabile che uno dei condotti diretti verso l'altro dal fianco sinistro della galleria si colleghi con la diramazione della cavità C2 (v. planimetria) che è stata solo parzialmente esplorata, ma non rilevata per motivi di sicurezza (vedi oltre).

Secondo il rilievo geometrico, la cavità C3 interseca la cavità C1, ma a quote più elevate. Nella cavità C3 non sono stati rilevati condotti rivolti verso il basso.

In ogni caso, il fatto che, allo sbocco di questi condotti nella galleria, sia presente materiale terroso evidentemente trasportato dalle acque o in qualche modo veicolato all'interno (foto 7), fa ritenere che questi condotti siano collegati con l'esterno o con altre cavità.

Uno di questi condotti (sulla destra procedendo verso l'interno) potrebbe terminare in superficie al piede della parete tufacea che contorna il lato est della Torre (vedi planimetria).

Al piede di questa parete tufacea si rileva infatti un cunicolo, di forma analoga a quella dei condotti (foto 8), che però è ubicata oltre la Torre rispetto alla fine della galleria nel sottosuolo (vedi foto 9 e planimetria).

E' da supporre che il cunicolo proceda all'interno inclinato per raggiungere la cavità C1 (il primo tratto del cunicolo e lo sfogo del materiale all'interno della cavità in corrispondenza del cunicolo stesso sembra far ritenere che il cunicolo sia inclinato e non perpendicolare alla galleria, v. foto 7).



Foto 8 – Il cunicolo al piede della rupe est della torre



Foto 9 – La rupe est della torre con la posizione del cunicolo della foto 8 (cerchio) e il mucchio di detriti dove potrebbero esserci altri cunicoli (freccia)

E' possibile inoltre che altri cunicoli siano presenti sempre al piede della parete tufacea, oggi coperta da detriti e rifiuti (foto 9).

Il volume complessivo di questa galleria, calcolato estrapolando con un modello tridimensionale semplificato ricostruito con i dati di rilievo, è di circa 570 m³.

2.2. La cavità C2

La **cavità C2** è ubicata al piede della rupe sud della torre, leggermente spostata verso ovest rispetto alla torre, all'interno di una proprietà privata (foto 10). L'imbocco è a quota 29.9; è di forma regolare a ferro di cavallo, di dimensioni 2.9m di larghezza e 3.4m, di altezza ed è rivestito con mattoncini. All'interno la grotta è molto più ampia (dalla foto 11 si evidenzia che l'ingresso è in realtà una tamponatura della grotta); la grotta è scavata nel tufo nudo, sempre a ferro di cavallo di forma abbastanza regolare e di dimensioni 6.3m di larghezza e 3.5m di altezza circa. I piedritti verticali hanno un'altezza di circa 2m e si raccordano direttamente con la calotta ad arco ribassato che ha una freccia di circa 1.5m.



Foto 10 – L'imbocco della cavità C2

La cavità è attualmente utilizzata per lo stoccaggio di legna e materiali vari: all'interno si rinvencono oggetti, utensili e mezzi abbandonati (foto 11 e 12).

La galleria ha una lunghezza di 36m circa e termina con un fronte verticale (foto 12); poco prima del fronte, sulla sinistra procedendo verso l'interno, si rileva un crollo del fianco della galleria, che forma uno squarcio di circa 2.5x5m all'altezza delle reni, che comunica con l'esterno (foto 18). Da questo crollo si evidenzia come la copertura della galleria in questo tratto sia solo di un paio di metri (o anche meno).



Foto 11 – L'ingresso della cavità C2 visto dall'interno



Foto 12 - La parte terminale della cavità C2



Foto 13 – il crollo della parete sinistra della cavità C2

Anche all'interno di questa cavità sono stati rilevati condotti e cunicoli che si diramano verso l'altro in verticale o lateralmente. In particolare un condotto verticale di forma sub-circolare comunica sicuramente con l'esterno attraverso una botola; una fune collegata con l'alto dovrebbe costituire un rudimentale meccanismo di apertura della botola, mentre si notano anche i segni di quella che doveva essere probabilmente una scala di accesso (foto 14).



Foto 14 - Il condotto verticale della cavità C2

Sulla destra della galleria, procedendo verso l'interno, si dirama, all'altezza di circa un paio di metri di altezza (foto 15), un cunicolo di dimensioni che permette il passaggio di persone (foto 16).

All'ingresso il cunicolo ha una forma ad ogiva di dimensioni circa 80x180cm e dopo pochi metri si nota un vecchio setto in muratura (oggi parzialmente abbattuto, v. foto 16 e 17). Oltre il setto in muratura il cunicolo continua dapprima con una sezione analoga (ad ogiva ma di forma più stretta ed allungata, vedi foto 18) e poi con dimensioni più ridotte percorribile difficilmente per un tratto, poi poco accessibile anche per motivi di sicurezza. L'accesso è stato effettuato per una lunghezza di circa 15-20m; nel tratto successivo le condizioni di sicurezza appaiono molto precarie a causa di crolli e instabilità del fondo (probabile presenza di cunicoli che si diramano lateralmente e verso il basso parzialmente riempiti).

E' possibile che alcuni di questi condotti siano collegati alla cavità C1.

La prosecuzione dell'accesso e dei rilievi sarebbe possibile solo previa messa in sicurezza delle cavità e utilizzando personale specializzato e/o macchinari per ispezioni teleguidate



Foto 15 – L'interno della cavità C2 e l'ingresso del cunicolo laterale



Foto 16 - Il cunicolo che si dirama dalla destra della cavità C2



Foto 17 - Il setto in muratura all'interno del cunicolo che si dirama dalla destra della cavità C2



Foto 18 – La prosecuzione del cunicolo che si dirama dalla destra della cavità C2

2.3. La cavità C3

La **cavità C3**, è stata scoperta (non nota dai proprietari) a pochi metri dalla cavità C2 (sulla destra guardando la torre, vedi foto 10), nascosta tra vegetazione. La cavità è posta a quote poco superiori alla C2 (q. 31.3). La cavità ha un imbocco rettangolare parzialmente ostruito da terra, che ne permette comunque l'ingresso (foto 19). All'interno la galleria, scavata nel tufo nudo, ha una sezione regolare, di forma rettangolare (foto 20), di dimensioni 2.5 di larghezza e 1.8m di altezza circa.



Foto 19 – L'imbocco della cavità C3



Foto 20 – L'ingresso della cavità C3

Superato l'ingresso (solo parzialmente ostruito), la base della cavità si abbassa a q. 30 circa (quindi alla stessa quota della C2) e si mantiene all'incirca alla stessa quota fino al termine della cavità stessa.

La cavità si addentra nel sottosuolo con un tratto rettilineo di circa 6m (foto 20), quindi compie una stretta curva a 90° verso destra (foto 21) e quindi prosegue per un ulteriore tratto di circa 5m. Poco prima del termine della cavità si apre una diramazione verso sinistra (foto 22) che però ha una lunghezza di soli 2m circa e termina con un fronte verticale (foto 23).

Sulle pareti si notano visibilmente i segni dello scalpello utilizzato per lo scavo



Foto 21 – L'interno della cavità C3 (fotografia presa dall'interno verso l'esterno)



Foto 22 – La diramazione cieca sulla sinistra



Foto 23 – Il termine della diramazione cieca in sinistra



Foto 24 – Il cunicolo che comunica con la cavità C2

In corrispondenza della curva prima citata si dirama un cunicolo largo poco meno di un metro e alto circa 1.6m che si addentra per circa 6m. Il fondo di questo cunicolo è ostruito dalla catasta di legna stoccata all'interno della cavità C2 (foto 24). Le cavità C2 e C3 sono quindi comunicanti attraverso questo cunicolo.

3. CONSIDERAZIONE SULL'INTERFERENZA CON IL FUTURO INVASO

I rilievi effettuati per la ricostruzione del reticolo delle cavità hanno evidenziato che delle tre gallerie, la cavità C1 ricade al di sotto delle quote di invaso con un battente di 4.5m rispetto alla quota di regolazione (28.5) e circa 4.5m rispetto alla quota di massimo invaso (30.18).

Le cavità C2 e C3 verrebbero solo lambite per pochi decimetri nel caso di sfioro con raggiungimento della quota di massimo invaso (q. 30.18) con le portate massime per le quali è stato dimensionato lo sfioratore (tempo di ritorno 1000 anni).

I rilievi effettuati indicano che le tre cavità terminano alcune decine di metri all'interno del sottosuolo e non vi sono indizi che possano far prevedere una prosecuzione della cavità stesse tale da provocare l'aggiramento del futuro sbarramento. E' possibile che esistano cunicoli di piccole dimensioni, non accessibili, che si estendano in profondità oltre quella direttamente rilevata (a causa di ostruzioni o riempimenti che oggi li rendono non visibili), ma è da ritenere assai difficile che questi eventuali cunicoli proseguano per centinaia di metri per sbucare a valle del futuro sbarramento.

Escludendo quindi il rischio di aggiramento, rimane il problema dell'effetto dei ripetuti riempimenti e svuotamenti provocati dall'invaso. Non si può infatti escludere che questi cicli di immersione possano con il tempo portare ad una degradazione delle pareti tufacee, con la possibilità di crolli. La presenza di manufatti storici al di sopra delle cavità, che già oggi appaiono in condizioni di stabilità non del tutto soddisfacente, impone di procedere con un intervento che impedisca la formazione di questi cicli di sommersione delle cavità.

Alla luce di queste considerazioni, sono stati previsti specifici interventi descritti e dimensionati nel capitolo seguente.

4. INTERVENTI DI PROTEZIONE DELLE CAVITA'

4.1. *Gli interventi nella cavità C1*

Come precedentemente detto questa cavità sarà soggetta a ripetuti cicli di sommersione e svuotamento anche con frequenze elevate (tenuto conto che il fondo si trova a q. 24, quindi appena un paio di metri al di sopra della quota della piana di fondovalle).

Per i motivi descritti in precedenza si è optato per il riempimento totale della cavità e dei relativi condotti che si diramano dall'interno.

L'intervento sarà realizzato con le seguenti lavorazioni:

- a) Ripulitura e scavo di raschiamento del fondo per asportare detriti e fogliame e riportare a nudo il tufo. Apertura completa dell'imbocco fino alla quota di fondo della galleria, con rimozione della terra e dei detriti ivi presenti.
- b) Costruzione di un setto in calcestruzzo gettato in opera a chiusura dell'ingresso. Il setto in calcestruzzo sarà effettuato all'interno di una doppia cassetta (quella interna a perdere) e gettato contro la volta della galleria in tufo. Il setto è stato dimensionato a gravità in quanto dovrà sostenere solo la spinta del riempimento ancora fluido durante il riempimento (che avverrà comunque per fasi, vedi punto d). È stata disposta quindi una leggera armatura solo per scopi di antiritiro (fuori calcolo).
- c) Il setto sarà dotato di un piccolo cordolo perimetrale (sull'intero contorno, compreso alla base) con predisposizione di fori a interasse 50 cm per le successive iniezioni di sigillatura. Si tratta di semplici iniezioni (di lunghezza 2m) che hanno lo scopo di impermeabilizzare i terreni vulcanici e il contatto tra questi e il setto di calcestruzzo.
- d) Riempimento della cavità con una miscela di pozzolana, cemento, sabbia e bentonite (e additivi per garantire elevata fluidità), pompata dalla superficie attraverso i condotti esistenti e fori appositamente realizzati. Sono stati previsti in particolare tre fori dalla superficie allineati lungo l'asse della galleria e inoltre verrà utilizzato l'ampio condotto verticale la cui apertura è posta a fianco della torre. In fase esecutiva si valuterà l'opportunità di utilizzare anche altri condotti esistenti, se questi permetteranno di riempire in maniera più omogenea la cavità. In ogni caso è verosimile che in fase costruttiva si possa decidere di eseguire la prima fase di riempimento (fino a circa q. 26) direttamente dall'interno della cavità, eseguendo solo una prima parte del setto in modo da permettere la stesa dei tubi di pompaggio e l'entrata della maestranza che provvederà alla stesa omogenea della miscela. La fase finale del riempimento dovrà necessariamente essere effettuata dai fori fino a raggiungere una quota leggermente superiore a quella massima rilevata della volta della galleria (q. 28.5 circa in corrispondenza dell'entrata). Il controllo del riempimento verrà effettuato tramite misuratori di livello (o anche semplice rilevazione laser) a partire da fori eseguiti in affiancamento a quelli di iniezione, oltre che dalla botola ubicata a fianco della torre,

che potrà permettere di controllare direttamente il riempimento. Per garantire un riempimento omogeneo della galleria, senza il rischio di formazione di setti o asperità che costituiscano poi un ostacolo alle successive fasi di riempimento, si opererà contemporaneamente dai 4 condotti previsti. L'ultima fase di pompaggio, cioè quella che porterà la quota di riempimento da 28 a 29 circa, poiché potrà provocare una leggera messa in pressione della cavità, sarà effettuata dopo aver atteso un tempo ragionevole di presa del riempimento (almeno a tergo del setto in calcestruzzo di chiusura).

Il volume stimato di riempimento di questa galleria è di circa 570 m³.

Nella planimetria e nelle sezioni della tavola di progetto CA-PL-101 sono indicati gli interventi prima descritti.

La miscela di riempimento avrà un contenuto di cemento (tipo 32.5) dell'ordine di 100÷150 kg/m³, un rapporto acqua/cemento ≥0.5, e sarà confezionato con inerti leggeri e porosi, tipo granello pozzolanico e/o scorie vulcaniche per gli inerti grossi 5/25 mm, e pozzolana fine 0/5 mm. La miscela sarà additivata con prodotti che migliorino la fluidità e l'autocompattazione (autolivellanti).

Dovranno essere garantite le seguenti caratteristiche fisiche meccaniche

Resistenza meccanica a compressione a 28 giorni:

$$R_c \geq 2 \text{ MPa}$$

Massa volumica allo stato indurito:

$$M_v = 1400 \div 1800 \text{ kg/mc}$$

Modulo elastico:

$$E = 400 \div 600 \text{ MPa}$$

4.2. Gli interventi nella cavità C2

Il fondo di questa cavità è stata rilevata a quote minime di 29.9 (in corrispondenza dell'ingresso. Il battente d'acqua nella condizione di massima piena è dell'ordine di 30 cm e tale quindi da non provocare effetti indesiderati nei riguardi della stabilità del cavo.

Tuttavia, visto che questa grotta è utilizzata da privati, per evitare che anche in condizioni eccezionali (come già detto con tempo di ritorno 1000 anni), si possano verificare parziali allagamenti, anche con battenti modestissimi, è stato previsto di realizzare una piccola soglia in calcestruzzo che innalzerà la quota di ingresso a q. 30.2. Questa soglia provocherà un gradino che però non limita l'accesso e la fruibilità della cavità, la cui volta (all'ingresso) è a quota 33.36, quindi con un franco di 3m rispetto alla futura soglia.

La soglia sarà realizzata sull'ingresso, previo scavo di scotico fino a q. 28.5 da dove verrà realizzato un piccolo zoccolo di fondazione alto 50 cm e il gradino alto 20 cm.

4.3. Gli interventi nella cavità C3

Analogamente alla cavità C2 anche il fondo di questa cavità è a quote poco inferiori a quella di massimo invaso (30.0-30.1). Sarà sufficiente anche in questo caso un una piccola soglia in calcestruzzo che innalzerà la quota di ingresso a q. 30.2. Per realizzare questa soglia sarà necessario ripulire l'ingresso dai materiali detritici che attualmente riempiono parzialmente l'ingresso fino a q. 31.3. Anche in questo caso l'ingresso dovrà essere ripulito fino a q. 28.5 per poi realizzare la soglia costituita da un piccolo zoccolo di fondazione alto 50 cm e il gradino alto 20 cm.