



COMUNE DI LUZZARA

PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

**VARIANTE GENERALE
AL PIANO COMUNALE DELLE ATTIVITA' ESTRATTIVE
IN ADEGUAMENTO ALLA VARIANTE GENERALE 2002 AL P.I.A.E.
DELLA PROVINCIA DI REGGIO EMILIA**

**Interferenze sulla sicurezza idraulica dell'argine maestro
e degli argini intragolenali indotte dall'attività di cava**

Gennaio 2005

COMUNE DI LUZZARA

PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

**VARIANTE GENERALE
AL PIANO COMUNALE DELLE ATTIVITA' ESTRATTIVE
IN ADEGUAMENTO ALLA VARIANTE GENERALE 2002 AL P.I.A.E.
DELLA PROVINCIA DI REGGIO EMILIA****Interferenze sulla sicurezza idraulica dell'argine maestro
e degli argini intragolenali indotte dall'attività di cava**

GEOLOGIA APPLICATA

Febbraio 2005

GEOFISICA

Indice

	1. PREMESSA	pag.	1
GEOTECNICA	2. ARGINE MAESTRO	"	1
	2.1. Inquadramento del problema	"	1
	2.2. Verifica relativa al settore 1	"	3
	3. ARGINI GOLENALI	"	5
IDROGEOLOGIA E IDROLOGIA	3.1. Situazione antecedente allo scavo	"	5
	3.2. Valutazione numerica	"	6
	3.3. Situazione conseguente allo scavo	"	7
	3.4. Contromisure	"	8
MODELLI MATEMATICI	4. CONCLUSIONI	"	9



3

COMUNE DI LUZZARA

PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

**VARIANTE GENERALE
AL PIANO COMUNALE DELLE ATTIVITA' ESTRATTIVE
IN ADEGUAMENTO ALLA VARIANTE GENERALE 2002 AL P.I.A.E.
DELLA PROVINCIA DI REGGIO EMILIA**

**Interferenze sulla sicurezza idraulica dell'argine maestro
e degli argini intragolenali indotte dall'attività di cava**

Gennaio 2005

Indice

1. PREMESSA	pag.	1
2. ARGINE MAESTRO	"	1
2.1. Inquadramento del problema	"	1
2.2. Verifica relativa al settore 1	"	3
3. ARGINI GOLENALI	"	5
3.1. Situazione antecedente allo scavo	"	5
3.2. Valutazione numerica	"	6
3.3. Situazione conseguente allo scavo	"	7
3.4. Contromisure	"	8
4. CONCLUSIONI	"	9

1. PREMESSA

Nell'ambito della Variante generale al P.A.E. del Comune di Luzzara (Reggio Emilia), chi scrive ha l'incarico di valutare le interferenze tra le cave del Polo Belgrado-Fogarino ed il vicino Argine maestro del Po, relativamente ai fontanazzi che qui s'innescano durante le piene del fiume.

E' richiesta altresì una verifica al sifonamento degli argini golenali Lorenzini ed Intercomunale, che cingono l'area estrattiva a nord e ad ovest.

2. ARGINE MAESTRO

2.1. Inquadramento del problema

Gli eventi documentati dell'ultimo decennio che hanno qualche attinenza con il tema sono i seguenti (vedi figura 1).

- 1994** In occasione della piena verificatasi nel novembre di tale anno, il Magistrato per il Po segnala un campo di fontanazzi su un fronte di circa 200 m nell'area contrassegnata 1.
- 1995 – 1996** Quale difesa dal sifonamento, il Magistrato per il Po realizza un diaframma bentonite-cemento profondo 20 m lungo il tratto contrassegnato 2.
- 1998** E' concessa l'autorizzazione a coltivare i settori 3 e 4 della cava D compresa nel Polo estrattivo Belgrado-Fogarino.
- 1998 – 1999** L'ortofoto del luogo che riporta tale data mostra un lago nel settore 3, segno che qui l'escavazione è già avvenuta.
- 2000** E' concessa l'autorizzazione a coltivare il comparto 5 della cava. In occasione della piena eccezionale verificatasi a metà ottobre, l'Ufficio provinciale della Protezione Civile registra un campo di fontanazzi su un fronte di circa 200 m nell'area contrassegnata 1.

La sintesi di tale cronistoria è che i fontanazzi in questione non hanno alcun nesso con la cava in golena, dato che

- # si presentavano prima dell'escavazione,
- # si sono ripetuti tali e quali dopo l'escavazione.

Il diaframma non ostacola quel fenomeno, visto che termina dove inizia l'area delle emergenze idriche.

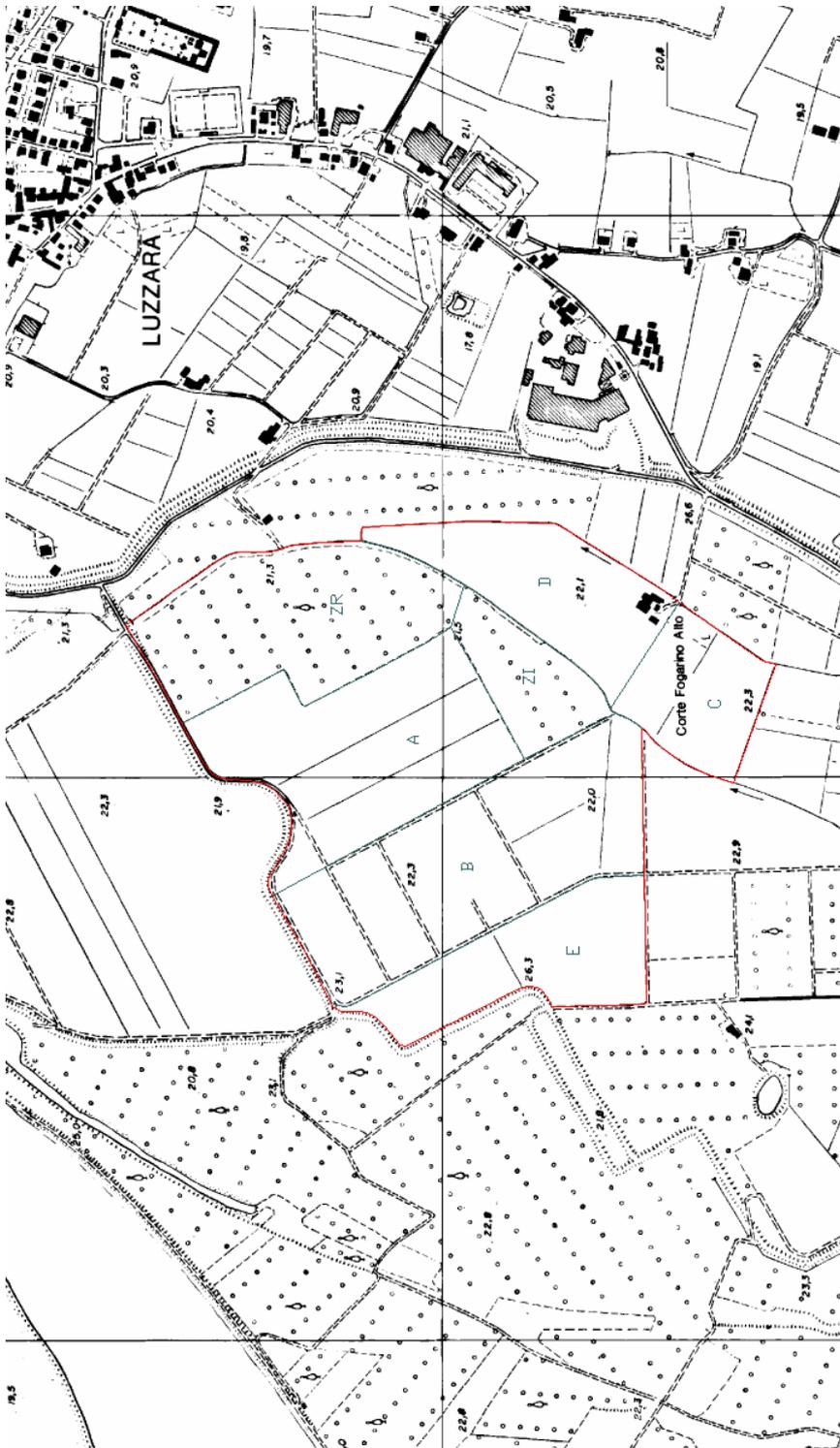


Fig. 1

D'altra parte si deve ritenere che il tratto di argine sotteso al setto impermeabile sia intrinsecamente protetto dalla filtrazione sotterranea, per cui

l'attuale lago di cava nel settore D e la prevista espansione C di quest'ultimo non dovrebbero innescare nuovi fontanazzi.

Tali considerazioni sono basate sui documenti disponibili, ma in loco è sostenuta la versione che il tratto di diaframma in questione sia il prolungamento sud di un'analogia difesa eseguita in passato, notizia questa smentita da AIPO.

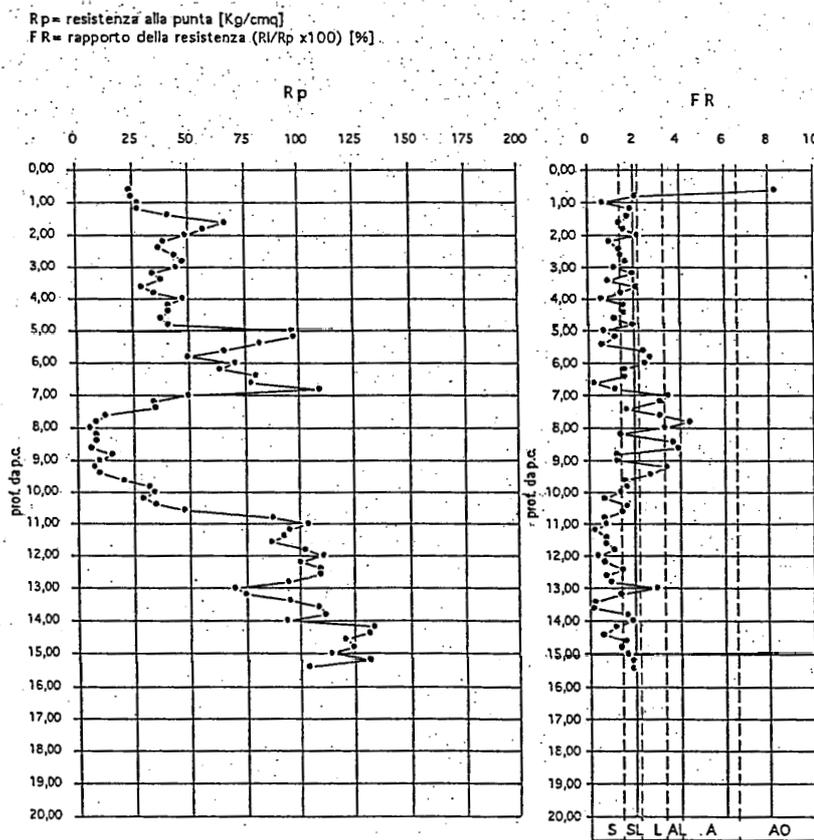
Esistono anche dubbi sull'esatta localizzazione del campo di fontanazzi, che alcuni ricordano spostato più a nord.

L'eventuale conferma di tali varianti non inficerebbe comunque la sintesi esposta più sopra.

2.2. Verifica relativa al settore 1

Per tentare una modellazione realistica dei fontanazzi segnalati in tale settore, è necessario considerare in primo luogo la stratigrafia del luogo.

Il sondaggio più prossimo a disposizione è CPT6 (1992-3), ubicato come in figura 1, che fornì il diagramma di figura 2.



In termini litologici, le misure penetrometriche indicano sabbie tra -1 e -2 m, tra -5 e -7 m ed oltre i -10 m, gli strati restanti sono composti da argilla (suolo), loam (tra -2 e -5 m) e di nuovo argilla (tra -7 e -10 m).

Nella presunzione che tale assetto si estenda sotto la vicina difesa, si può ritenere che i corpi filtranti siano le sabbie, mentre argille e loams fungano da confinamento impermeabile, unitamente al corpo arginale.

La sezione di quest'ultimo è progettata tradizionalmente per contenere al suo interno la cosiddetta "linea di saturazione", imponendo che questa abbia una pendenza di 1/5; in altri termini si suppone che lo sbarramento determini un gradiente idraulico pari a 0.2 per la filtrazione a pelo libero.

Nel caso in esame, l'insorgenza di fontanazzi oltre l'unghia a campagna testimonia di una superficie piezometrica a pendenza sensibilmente minore e di un regime artesiano interferente con quello a pelo libero.

Nella stratigrafia descritta, è logico associare il regime artesiano agli strati di sabbia e le risorgive a quello più superficiale, considerando assai aleatorio il confinamento di un solo metro di suolo argilloso.

Dunque i fontanazzi in questione potrebbero derivare semplicemente dalla ridotta copertura delle prime sabbie; l'insorgenza di polle piuttosto che di essudazioni generalizzate va attribuita a discontinuità preesistenti, quali ad esempio le comuni fratture che si aprono in estate nei suoli argillosi.

Va detto inoltre che l'emergenza associata alle piene non è qui particolarmente grave: durante l'evento dell'ottobre 2000 quei fontanazzi furono fermati con coronelle di circa 1 m d'altezza.

L'unica vera difficoltà che dovettero affrontare i volontari della Protezione Civile fu il trasporto dei sacchetti di sabbia dalla sommità arginale al piede della difesa.

In termini quantitativi, la valutazione di chi scrive (che peraltro visionò le operazioni di bonifica) fu di un flusso intorno ad $1 \text{ m}^3/\text{ora}$ per metro lineare di fronte.

Ciò premesso, è il caso di chiedersi dove entri l'acqua che poi fuoriesce a campagna, visto che, nonostante l'evidenza a piena scala insita nella cronistoria degli eventi, si temono pericolose interconnessioni tra i laghi di cava aperti in golena ed il fenomeno delle risorgive.

La risposta può essere ricavata in termini semplici tramite la relazione

$$Q = k i A \quad (\text{Darcy})$$

dove Q è la portata d'efflusso, k il coefficiente di permeabilità, i il gradiente idraulico ed A la sezione filtrante.

Attribuendo alla sabbia un coefficiente di permeabilità nel campo

$$1000 \cdot 10^{-4} \leq k \leq 3000 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s,}$$

per ottenere la portata di $1 \text{ m}^3/\text{ora}$ per metro di fronte da uno strato spesso 1 m, il gradiente idraulico deve essere:

$$0.09 \leq dh/dy \leq 0.28$$

Con un differenziale piezometrico di 7.5 m tra golena e campagna, il percorso di filtrazione deve dunque comprendersi tra 27 e 83 m, come dire che,

depurata la larghezza dell'argine in quel punto (46 m), l'ingresso è collocabile tutt'al più a 37 m dall'unghia interna della difesa.

Così come per l'efflusso, può ritenersi che l'infiltrazione sia favorita da fratture nel suolo argilloso.

La distanza di rispetto imposta tra argine e cava (100 m) è quindi tripla di quella delle possibili interferenze con i fontanazzi dell'area.

Gli ordini di grandezza in gioco confermano quindi l'inconsistenza dello scenario temuto.

Tutto ciò riguarda la meccanica della filtrazione in un mezzo poroso.

D'altra parte non è credibile l'ipotesi che le perdite avvengano lungo vie d'acqua aperte nel sottosuolo e tantomeno che queste colleghino aree così distanti tra loro: fenomeni del genere sono normali nelle rocce, non nelle terre.

In queste ultime e soprattutto nelle sabbie, i condotti d'erosione per sifonamento (piping) sono la conseguenza catastrofica di un'eccessiva velocità della filtrazione, non la causa di tale problema.

3. ARGINI GOLENALI

E' richiesta una valutazione d'impatto dell'attività estrattiva nei settori A, B ed E, relativamente al sifonamento degli argini golenali Lorenzini ed Intercomunale.

La distanza di rispetto tra limite di cava ed unghia arginale è 15 m, l'altezza dello sbarramento è intorno a 4.5 m su una base larga mediamente 16 m; la profondità dell'escavazione è prevista in -10.5 m circa dal piano campagna con fronte inclinato 2/3 nel settore B ed 1/2 nei restanti.

La stratigrafia è articolata in due bancate: quella superficiale, spessa 4 ÷ 5 m, è limo-argillosa con intruse saltuarie lingue di sabbia; quella profonda è francamente sabbiosa.

3.1. Situazione antecedente allo scavo

Durante la piena del 2000 l'argine fu tagliato nel punto indicato con 6 in figura 1.

Il successivo ripristino fu preceduto dalla realizzazione di una semi-corona provvisoria lungo il contorno sud della conca d'erosione.

Durante la piena del 2002 il nuovo tratto di argine crollò e la causa fu attribuita all'insufficiente assestamento del materiale riportato.

Dunque non si hanno notizie di rotture recenti imputabili a sifonamento.

Per quanto riguarda il passato, si può supporre un importante evento distruttivo in corrispondenza dell'area contrassegnata 7, visto il singolare andamento arcuato dell'argine Lorenzini.

Già la cartografia del 1888 riporta quella semi-corona con in più un laghetto nel suo centro, per cui sembra configurarsi un intervento ricostruttivo della difesa inteso ad evitare la conca erosa da una precedente rottura, semmai l'argine fosse stato originariamente rettilineo.

Nelle attuali carte geomorfologiche del comparto è segnalata una lingua sabbiosa superficiale (dosso) che interseca l'argine ad ovest della semi-corona; i sondaggi eseguiti nel 2004 in questa zona confermano la presenza di un banco di

sabbia sepolto a 2 m di profondità e addirittura ad 1 m nei punti CPT5 e CPT6 (vedi fig. 1).

Tale scenario avvalorava l'ipotesi che quell'antica rottura si produsse per sifonamento, probabilmente perché la sabbia là affiorava.

3.2. Valutazione numerica

Si possono stimare i fattori di sicurezza nei confronti del sifonamento sulla scorta del diagramma di figura 3.

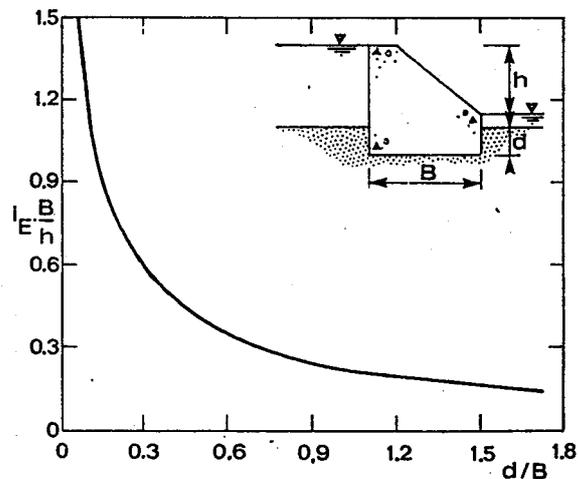


fig. 3

Con $B = 16$ m ed $h = 4.5$ m, i gradienti d'efflusso i_E sono rispettivamente 0.28 per $d = 2$ m e 0.42 per $d = 1$ m.

Secondo Terzaghi, 1922, il fattore di sicurezza al sifonamento è dato dalla relazione:

$$F_S = i_C / i_E$$

con $i_C = \gamma' / \gamma_w$ (peso di volume immerso del terreno su peso di volume dell'acqua), per cui, posto $\gamma' = 0.8$ si ha:

$$F_S = 2.8 \text{ per } d = 2 \text{ m,}$$

$$F_S = 1.9 \text{ per } d = 1 \text{ m.}$$

Estrapolando il calcolo per $d = 0$, risulta $F_S = 1$.

Dunque è realistico pensare che laddove la sabbia dovesse affiorare il sifonamento è probabile.

D'altra parte occorre sottolineare che il fattore di sicurezza raccomandato in letteratura a fronte del sifonamento è pari a 4 - 5 (Harr, 1962; Taylor, 1948) e quindi sensibilmente superiore a quello stimato per il tratto di argine in argomento, ammesso che la modesta copertura argillosa non rappresenti un manto continuo impermeabile.

3.3. Situazione conseguente allo scavo

Nello scenario di piena, la cava aperta modifica in qualche misura la rete di filtrazione sotterranea, riducendo o annullando le risalienze presso l'unghia interna dell'argine a vantaggio del flusso in direzione della fossa.

I fattori che influenzano il fenomeno sono essenzialmente i seguenti:

- # il tempo e l'entità di variazione della quota idrometrica,
- # il ritardo di risposta locale dell'acquifero,
- # la distanza tra argine e fossa,
- # il dislivello transitorio tra golena sommersa e lago di cava,
- # l'anisotropia del terreno.

La possibilità che s'innesci un sifonamento dipende da ulteriori fattori, quali:

- # la presenza di orizzonti incoerenti,
- # la velocità di filtrazione in essi,
- # l'inclinazione dei fronti d'efflusso.

Il problema non è affrontabile in questi termini con i dati disponibili, né tantomeno sembra il caso di migliorare il quadro conoscitivo, consapevoli che il fenomeno in questione riguarda generalmente singolarità sfuggenti all'approccio matematico o statistico.

Al di là di ogni modellazione idrodinamica, è comunque opportuno valutare il fattore di stabilità sulla testata dello strato sabbioso più superficiale, ipotizzando diverse inclinazioni λ delle linee di filtrazione al suo sbocco sulla scarpata di cava.

La figura 4 schematizza il problema; la stratigrafia è quella rilevata nel punto CPT26 di fig. 1

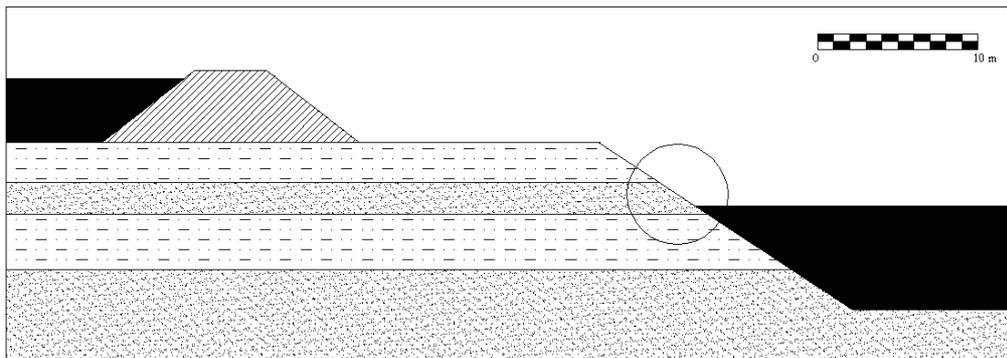
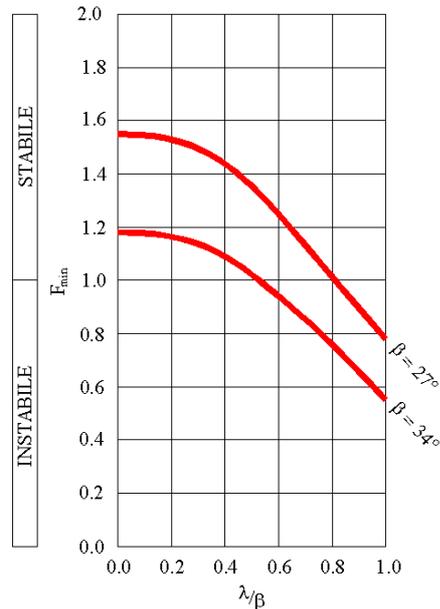
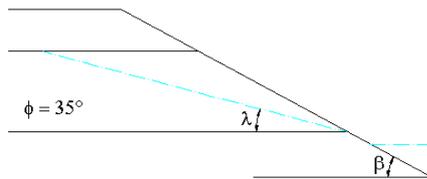


fig. 4

Per un terreno privo di coesione, la stabilità dipende dalla pendenza del pendio β , oltre che da λ e dall'angolo di resistenza al taglio del materiale ϕ' , per cui la verifica può essere ottenuta anche per un tratto parziale del versante.

Dagli abachi che danno direttamente il fattore di stabilità F_{min} per diversi ϕ' , λ e β (Kérisel, 1967), si ricava il grafico sottostante, valido per $\phi' = 35^\circ$.



Da questo risulta che laddove l'angolo β è previsto in 27° (settori A ed E della cava) l'instabilità si raggiunge per i valori maggiori di λ , mentre dove β è di 34° (settore B della cava) bastano pendenze intermedie di λ per prevedere il collasso del fronte.

Ovviamente tale fenomeno non equivale al sifonamento dell'argine, ma ne crea le premesse qualora s'innesci la fluitazione della sabbia.

Il caso $\lambda/\beta = 0$, che comunque rappresenta una condizione stabile, è valido sia in assenza di filtrazione, sia per il fronte completamente immerso.

3.4 Contromisure

Rimane il dubbio che il sifonamento dell'argine sia possibile nello scenario di fattori sfavorevoli concomitanti.

Mancano purtroppo riscontri oggettivi a piena scala che possano rimuovere tale ipotesi pessimistica.

Cosa fare, dunque?

In questi casi, all'approccio speculativo sembra preferibile quello ingegneristico, come dire che è più produttivo e sicuro contenere gli effetti di un evento imprevedibile piuttosto che studiarne l'essenza.

In tale logica, la via più semplice è l'osservazione degli eventi durante le piene; in altre parole, se il livello del lago dovesse risultare particolarmente depresso, converrà da un lato procedere all'evacuazione della golena chiusa, dall'altro misurare la ragione di crescita naturale dell'invaso, monitorando nel contempo la sponda in fregio all'argine.

La possibilità d'innescio di sifonamenti sarà tanto più remota quanto più il livello idrometrico si avvicinerà al piano campagna, perché, in tal caso, la situazione risulterà in pratica quella già sperimentata nell'esercizio precedente della golena.

Qualora si dovesse accertare oggettivamente l'inconsistenza del fenomeno, la gestione speciale dell'area potrà aver termine.

In caso contrario occorrerà ricorrere a soluzioni tecnologiche quali, ad esempio, il pilotaggio artificiale del livello idrometrico, dirottando nel lago l'acqua del fiume tramite un'opportuna opera di presa.

4. CONCLUSIONI

Relativamente al tratto in questione dell'Argine maestro, si è accertato che non c'è un rapporto di causa ed effetto tra laghi di cava in golena e fontanazzi a campagna.

Ciò non rimuove ovviamente la potenziale pericolosità delle risorgive segnalate a più riprese nell'area; queste, una volta lasciate a sé stesse, potrebbero evolvere in un reale sifonamento dell'argine; pertanto, in assenza di opere specificamente predisposte ad eliminare la filtrazione, occorrerà proseguire sulle vie del controllo sistematico dell'area durante gli eventi di piena e del pronto intervento di bonifica.

Al fine di rendere meno gravoso il lavoro della Protezione Civile, si potrà migliorare il piano della sicurezza sotto il profilo dell'approvvigionamento dei materiali a pie' d'opera.

Relativamente agli argini golenali Lorenzini ed Intercomunale, l'analisi lascia qualche dubbio sulla possibilità di sifonamenti laddove si rinvergono sabbie prossime alla superficie (comparto nord-ovest), seppur limitatamente allo scenario di una rapida crescita del livello idrometrico in golena aperta, stante il livello del lago in condizione depressa.

In tal caso, dato che le eventuali risorgive andrebbero a localizzarsi lungo la scarpata di cava, non ci sarà modo di contenerle mediante la tradizionali coronelle e pertanto va ipotizzata in prima istanza un'evoluzione progressiva del fenomeno.

Il piano della sicurezza dovrà tener conto di ciò, anche se un esito infausto non è assolutamente prevedibile.

Va comunque sottolineato che un ipotetico collasso dell'argine per sifonamento equivarrebbe qui all'inevitabile rottura per sormonto o al taglio artificiale programmato.

Durante la crisi occorrerà controllare ed annotare quanto succede, in modo da affrontare quella successiva con più certezze o per predisporre le opportune opere intese a ridurre le eventuali problematiche.