

OSSERVAZIONI SUL MONITORAGGIO GEOTECNICO DELLA DIGA DI FARNETO DEL PRINCIPE

Ernesto Ausilio, Giovanni Dente, Paolo Zimmaro
Università della Calabria
paolo.zimmaro@unical.it

Sommario

In questa nota si analizzano i risultati del monitoraggio della diga in terra zonata di Farneto del Principe (CS). L'analisi è finalizzata alla comprensione dello stato attuale dell'opera, anche in vista della successiva analisi di comportamento della stessa in presenza di sollecitazioni sismiche. I dati analizzati sono relativi essenzialmente alle letture piezometriche degli strumenti posti all'interno del corpo diga e a valle di essa.

1. Introduzione

Le dighe in terra in Italia hanno una storia ormai lunghissima, ma è dal secondo dopoguerra che la costruzione di queste grandi opere si è intensificata sul territorio italiano, subendo un brusco rallentamento negli ultimi 20 anni. Si può quindi affermare che la maggior parte delle grandi dighe in terra italiane, siano ormai da considerarsi entrate nella fase della così detta "vecchiaia". E' ampiamente dimostrato che gli incidenti a questo tipo di opere, in campo statico, occorrono o nell'immediatezza dopo la costruzione, oppure dopo un periodo più o meno lungo di vecchiaia (Foster et al. 2000). Queste considerazioni, unite alle esigenze dei gestori di garantire continua funzionalità alle opere, suggeriscono una attenta ed approfondita analisi riguardo la tematica del monitoraggio delle dighe in terra sul territorio italiano. Nel presente studio, l'attenzione è stata posta sul monitoraggio statico della diga di Farneto del Principe, situata a pochi chilometri da Cosenza (figura 1). Si tratta di una grande diga in terra zonata, con nucleo centrale di tenuta, con scopo irriguo e di laminazione delle portate. La diga in esame è stata realizzata tra l'inizio degli anni settanta e la fine degli anni ottanta ed è in esercizio dal 1989, allo stato attuale risulta essere un vaso sperimentale con quota massima autorizzata di 136,30 m s.l.m., la quota di coronamento si trova a 144,40 m s.l.m., mentre la quota di massimo vaso è fissata a 141,70 m s.l.m. L'altezza del rilevato è di circa 30 m e la lunghezza è di oltre 1200 m.

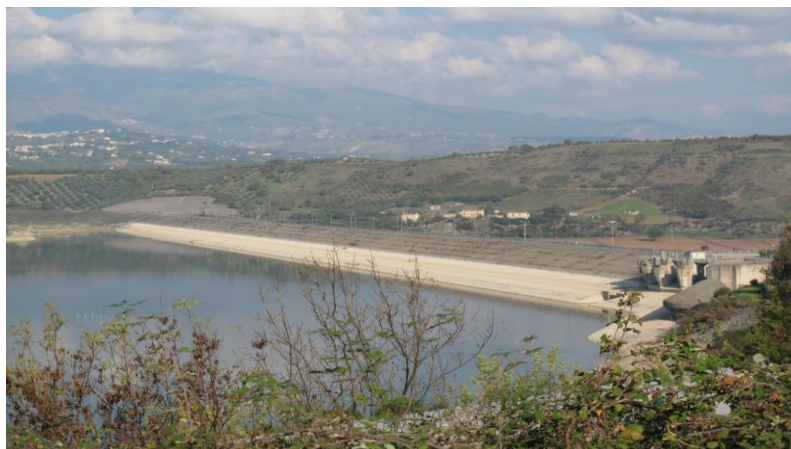


Fig 1. La diga in terra di Farneto del Principe (CS)

La diga è stata costruita utilizzando per il nucleo materiali limosi a bassa permeabilità, per i rinfianchi

a valle e a monte, alluvioni grossolane con permeabilità relativamente elevate, il nucleo è protetto a valle e a monte da materiale da filtro costituito, nella parte a contatto col nucleo, da sabbia fina e nella parte a contatto con i rinfianchi da sabbia grossa e ghiaia fina e grossa. L'opera è fondata su un materasso alluvionale ghiaioso, di deformabilità poco difforme da quella dei fianchi e permeabilità elevate, sovrastante uno strato argilloso di base molto potente. Per garantire la tenuta in fondazione, vista l'alta permeabilità del materiale alluvionale su cui l'opera è fondata, è stato realizzato un diaframma, eseguito in parte attraverso due paratie parallele costituite da pannelli scavati in presenza di fango bentonitico e in parte attraverso una doppia fila di pali accostati di un metro di diametro, senza iniezioni di impermeabilizzazione. Il diaframma per tutta la lunghezza della diga è immerso nelle argille di base per un'altezza di almeno 3 metri. A valle del nucleo di tenuta, è posizionato un cunicolo d'ispezione che assolve anche alla funzione di raccolta delle acque di drenaggio provenienti dal corpo diga.

L'opera è stata progettata con estrema cura in campo statico, con la consulenza geotecnica sapiente e scrupolosa del prof. Arrigo Croce, ma gli strumenti di calcolo disponibili all'epoca non consentivano di effettuare analisi avanzate tenendo conto delle azioni sismiche. Si reputa quindi necessario, oltre che urgente, stante la sismicità evidenziatasi nell'area in cui ricade la diga (area del Pollino), caratterizzata da scuotimenti sismici intensi e particolarmente frequenti negli ultimi tempi, analizzare le problematiche inerenti il comportamento sotto sisma dell'opera.

Il terzo degli autori della presente nota, sta concentrando l'attività di ricerca nell'ambito della sua tesi di Dottorato sulle analisi del comportamento dinamico di grandi opere in terra, il caso di studio preso in esame è appunto quello della diga di Farneto del Principe. Dell'opera si ha la disponibilità dei dati sulla geometria e sui materiali costituenti il corpo diga, oltre che di quelli sul monitoraggio statico. Come è noto, per l'effettuazione di una analisi dinamica che consideri i possibili effetti del sisma sui materiali costituenti l'opera, è di fondamentale importanza valutare correttamente lo stato tensionale in esercizio, tenendo conto, dei moti di filtrazione e quindi del regime di pressioni neutre nell'istante immediatamente precedente quello dell'analisi dinamica (Seed, 1979). Risulta, quindi, essenziale l'analisi preliminare finalizzata alla conoscenza delle condizioni attuali dell'opera in campo statico, per far emergere eventuali problematiche già in atto che potrebbero ricevere una esaltazione sotto azioni sismiche.

2. Il sistema di monitoraggio della diga di Farneto del Principe

Purtroppo, come spesso accade quando l'età delle opere comincia a diventare ragguardevole, le informazioni di archivio sono più rare e confuse e i risultati del monitoraggio meno attendibili e lacunosi (Jappelli, 2003). Come era lecito attendersi, anche nella diga di Farneto del Principe, i dati del monitoraggio oggi disponibili sono limitati in numero e per qualità. E' necessario sottolineare che l'iter di progettazione della diga è iniziato nei primi anni '60, la costruzione a metà anni settanta, ed è entrata in esercizio nel 1989. La tempistica descritta è un chiaro indizio del fatto che a distanza di mezzo secolo, si è in una fase nella quale il volume degli archivi è enorme, ma la conoscenza diretta sull'opera è poca e limitata a pochi (figura 2). Attraverso la presente nota si intende, anche se in misura limitata, cercare di entrare nella fase di sintesi storico-tecnica, necessaria per la valutazione dello stato di salute attuale dell'opera e per potere eseguire analisi che abbiano valenza previsionale circa possibili eventi futuri, sia in campo statico sia in campo dinamico.

La diga di Farneto del Principe è stata dotata di un ampio sistema di monitoraggio, in particolare 4 sezioni sono strumentate con colonne assestometriche, sono inoltre presenti 32 piezometri elettropneumatici nel corpo diga, 24 piezometri elettropneumatici di falda che si dipartono dal cunicolo d'ispezione (figura 3), 4 piezometri Casagrande, 4 piezometri a tubo aperto all'esterno del corpo diga, poco distanti dall'unghia di valle e 3 piezometri a tubo aperto in spalla destra.

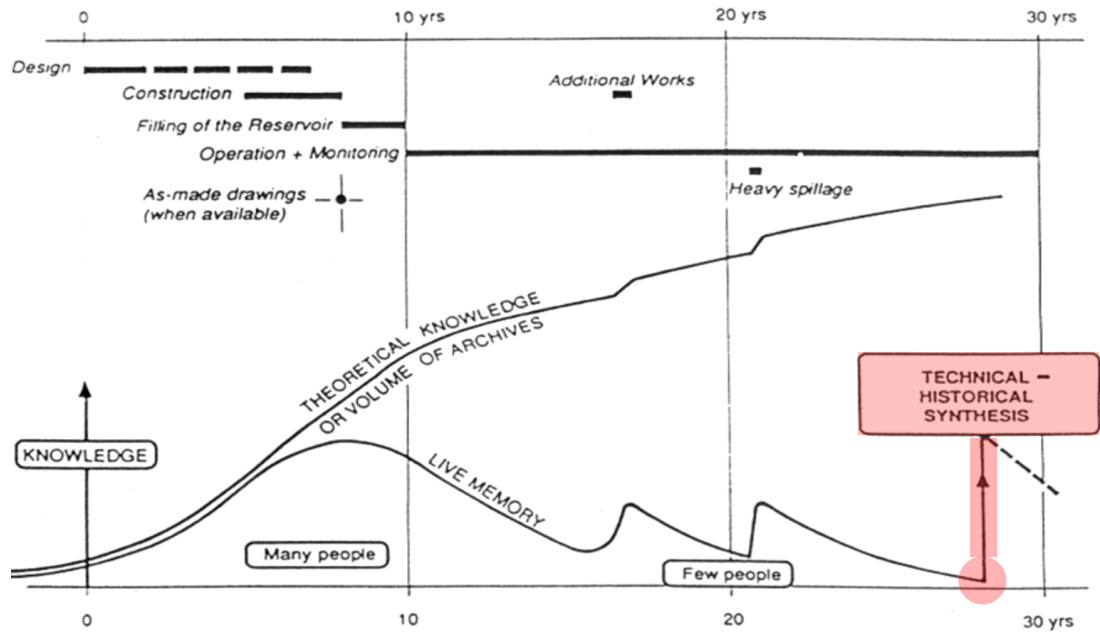


Fig 2. La conoscenza delle informazioni d'archivio di una diga nel tempo (da Bonazzi, 1991)

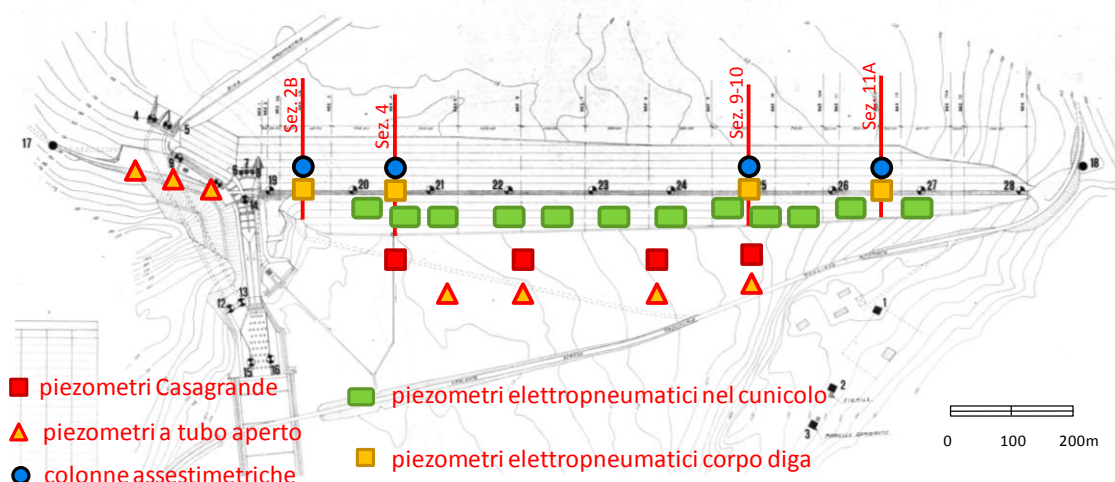


Fig 3. Vista planimetrica del sistema di monitoraggio della diga

2.1 Piezometri elettropneumatici nel corpo diga e nel cunicolo d'ispezione

Per meglio comprendere il dettaglio della strumentazione si riporta la sezione trasversale 2B in figura 4, nella quale è descritta la corretta distribuzione dei piezometri elettropneumatici nel nucleo e nel filtro di valle e il posizionamento delle colonne assestimeriche. In particolare, sono presenti 3 piezometri a tre quote differenti nel filtro di valle, 4 nel nucleo ed uno nel diaframma che si immorsa nelle fondazioni, quest'ultimo piezometro è particolarmente utile per la valutazione della tenuta del diaframma.

Ad oggi, una analisi critica delle misure ha permesso di concludere che i piezometri elettropneumatici del corpo diga funzionanti sono 7, dei 32 inizialmente previsti in fase di progetto, questi piezometri dovrebbero fornire utilissime informazioni sull'andamento della piezometrica nel nucleo e sui moti di filtrazione all'interno del corpo diga. I piezometri elettropneumatici di falda funzionanti, al di sotto del cunicolo d'ispezione, sono invece 14 sui 24 inizialmente previsti. L'utilità di questi piezometri è da inquadrarsi nella possibilità di valutare l'andamento della falda al di sotto del cunicolo, e quindi a

valle dei diaframmi in fondazione, per individuare eventuali moti di filtrazione al di sotto del corpo diga.

Ulteriori considerazioni sui piezometri elettropneumatici, sono legate al loro funzionamento già pochi anni dopo l'inizio dell'esercizio della diga. Questi piezometri, che dovrebbero caratterizzarsi per una buona affidabilità e bassi tempi di risposta, anche in terreni con basse permeabilità, come quelli del nucleo, hanno evidenziato fin da subito malfunzionamenti che non hanno permesso, al momento, di analizzare in maniera agevole i moti di filtrazione all'interno del corpo diga.

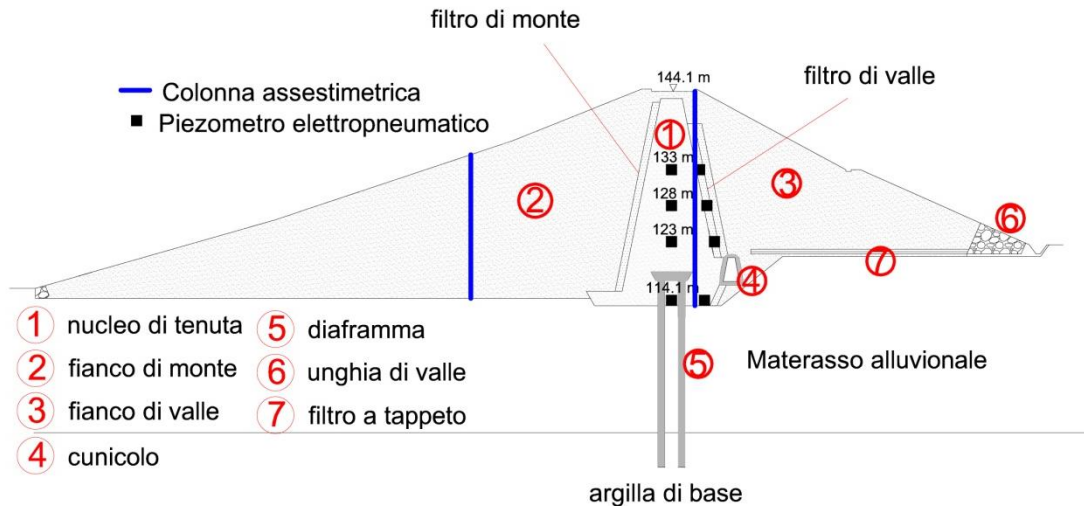


Fig 4. Disposizione degli strumenti di misura nella sezione 2B

2.2 Piezometri Casagrande a tubo aperto a valle e in spalla destra

Per quanto riguarda i piezometri del tipo Casagrande e a tubo aperto a valle della diga e in spalla destra, risultano ad oggi tutti funzionanti, tranne uno (il piezometro Casagrande posto in corrispondenza della sezione 6). Questi piezometri sono di vitale importanza per meglio comprendere numerosi aspetti legati allo stato di salute dell'opera, il primo e fondamentale dei quali è la valutazione di eventuali rapporti tra la falda a valle della diga e l'escursione del livello dell'invaso. Se siffatti rapporti sussistessero essi denuncerebbero possibili moti di filtrazione al di sotto del corpo diga. Stante la buona affidabilità di tali piezometri, le informazioni che da essi scaturiscono sopperiscono a quelle fornite da i piezometri elettropneumatici malfunzionanti del cunicolo, contribuendo a comprendere, almeno in parte, i fenomeni di filtrazione in atto.

3. Interpretazione dei dati del monitoraggio piezometrico

Allo stato attuale e con il livello di conoscenza acquisito sull'opera, non risulta semplice utilizzare i risultati delle misure dei piezometri elettropneumatici, pur essendo disponibili i dati dal 1991 al 2011. Si può solo ragionevolmente risalire alle possibili cause del malfunzionamento di alcuni e alla dismissione di altri. Gli inconvenienti riscontrati sono da ascrivere a eventuali perdite o intasamenti nei tubi, problemi con la saturazione della pietra porosa, problematiche relative alle membrana della camera di misura.

Per ciò che concerne i piezometri Casagrande e quelli a tubo aperto, posti in prossimità dell'unghia di valle e in corrispondenza di numerose sezioni trasversali della diga, invece, si può asserire che forniscono informazioni di rilievo per l'analisi di eventuali moti di filtrazione al di sotto del corpo diga. In figura 5 (b) sono riportati gli andamenti delle misure nei piezometri Casagrande posti in corrispondenza delle sezioni 8 e 9 e di quelli a tubo aperto in corrispondenza delle sezioni 5, 8 e 9, da

gennaio 2002 a giugno 2008. I dati di questi piezometri sono confrontati con il livello dell'invaso nello stesso periodo (figura 5 (a)). Sempre nella stessa figura sono riportati i dati relativi alle precipitazioni medie mensili registrate nelle stazioni di Tarsia e Roggiano (figura 5 (c)), a pochi chilometri di distanza dalla diga. Dall'esame della figura 5 è possibile affermare che i piezometri a valle della diga non registrano variazioni nel livello piezometrico che possano essere riconducibili alle variazioni del livello nell'invaso. Questa prima conclusione permette di riconoscere che allo stato attuale non sono in atto significativi fenomeni di filtrazione al di sotto dell'opera, grazie alla tenuta del corpo diga e al buon funzionamento del diaframma al di sotto del nucleo. Le variazioni stagionali che si riscontrano nei piezometri Casagrande e in quelli a tubo aperto, sono riconducibili alla stagionalità degli eventi piovosi che, verosimilmente, alimentano la falda che si trova a valle della diga. Ciò è deducibile in qualche misura dall'analisi comparata dei dati di pioggia con le letture nei piezometri, i quali manifestano picchi nelle altezze con ritardi temporali fissi rispetto ai valori massimi mensili delle precipitazioni.

Una ulteriore importante considerazione sullo stato di salute dell'opera può essere tratta partendo dai dati delle misurazioni delle perdite nel cunicolo di drenaggio. In particolare, sulla base delle misurazioni eseguite nel ventennio 1991-2011, si constata che i valori minimi misurati si attestano intorno a 0,015 l/s e i massimi intorno a 0,53 l/s. Tali valori, tenuto conto che sono relativi praticamente all'intera lunghezza del corpo diga, sono da giudicare sufficientemente bassi e tali da non far temere circa la tenuta della diga.

4. Conclusioni

Le grandi dighe in terra italiane costituiscono un patrimonio di rilevante importanza strategica, molte di esse sono entrate da tempo nella fase di vecchiaia, rendendo necessarie analisi sul loro stato di salute attuale. Inoltre, sono state progettate per lo più con riferimento ad azioni statiche e molte non sono state mai verificate per azioni sismiche. Nel presente lavoro, sono stati analizzati i dati del monitoraggio della diga di Farneto del Principe. Sono state riscontrate alcune difficoltà derivanti soprattutto dalla vecchiaia dell'opera e del conseguente stato degli archivi, come già precedentemente enfatizzato da Jappelli (2003): "... *Quando l'età dell'opera incomincia ad essere ragguardevole ed il ciclo vitale copre più di una generazione e differenti concessionari, il rischio della dispersione di notizie importanti è assai più grande di quanto si possa credere; e la ricostituzione di un archivio disordinato e lacunoso è un'impresa difficile, come ha sperimentato chiunque abbia dovuto affrontare questo lavoro per portare a compimento un incarico o a scopo di ricerca scientifica. Proprio come è difficile ricomporre da frammenti sparsi l'unità di un'opera originariamente sconosciuta ...*". Queste considerazioni fotografano bene la situazione della diga di Farneto del Principe, infatti, dopo avere ricostruito faticosamente gran parte dei dati d'archivio con l'intento di pervenire ad una sintesi storico-tecnica, si è concluso che i dati dei piezometri elettropneumatici all'interno del corpo diga, non consentono di svolgere in maniera semplice considerazioni appropriate sui moti di filtrazione in atto nell'opera. La situazione è migliore per quanto riguarda i piezometri Casagrande e quelli a tubo aperto posti a valle dell'opera. L'analisi delle misure di questi piezometri permette di escludere problematiche di filtrazione al di sotto del corpo diga, ciò, unitamente al fatto che le perdite misurate nel cunicolo di drenaggio sono di modesta entità consente di asserire che allo stato attuale, la diga di Farneto del Principe non presenta particolari criticità circa la tenuta. Queste analisi, ovviamente, sono preliminari e andranno ulteriormente verificate, ma costituiscono un buon punto di partenza per la valutazione del comportamento globale dell'opera, anche sotto azioni sismiche.

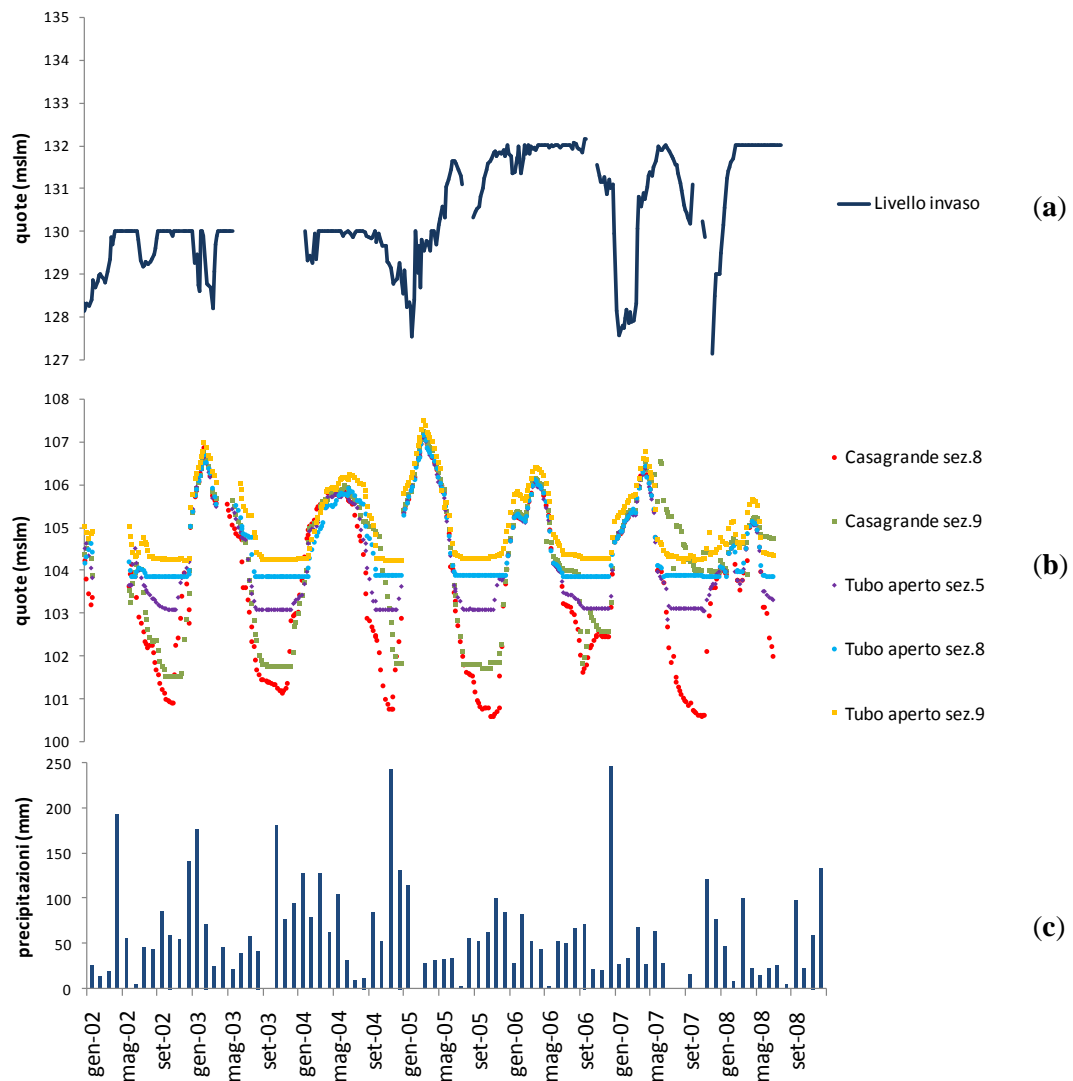


Fig 5. Livello d'invaso (a), letture nei piezometri Casagrande e a tubo aperto (b) e dati di pioggia annate 2002-2008 (c)

Ringraziamenti

Si ringrazia il Consorzio di Bonifica Integrale dei Bacini Settentrionali del Cosentino, la Direzione generale per le dighe, le infrastrutture idriche ed elettriche (Ufficio tecnico per le dighe di Palermo - Sezione staccata di Cosenza) e l'ARPACAL per i dati forniti.

La presente nota è cofinanziata con il sostegno della Commissione Europea, Fondo Sociale Europeo e della Regione Calabria. L'autore è il solo responsabile di questa nota e la Commissione Europea e la Regione Calabria declinano ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute.

Bibliografia

- Bonazzi D. (1991) "La maintenance du savoir sur les ouvrage en exploitation: l'expérience internationale d'un ingénieur. Conseil". XVII ICOLD, vol. V, Q 65, R23.
- Foster M, Fell R, Spannagle M. (2000) "The statistics of embankment dam failures and accidents". *Canadian Geotechnical Journal*. 37, 1000-1024.
- Jappelli R. (2003) "Le costruzioni geotecniche per le grandi dighe in Italia", Terza conferenza "Arrigo Croce". *Rivista Italiana di Geotecnica*, vol. III, 17-78.
- Seed H. B. (1979) "Considerations in the earthquake-resistant design of earth and rockfill dams." *Geotechnique* 29(3): 215-263.