Le arginature del Fiume Adige nel tratto terminale da Verona alla foce
Una breve sintesi

Riccardo Zoppellaro, ingegnere geotecnico

Nel tratto veneto, dell'estesa di circa 150 km compreso fra la città di Verona e la foce, il fiume Adige corre pensile con sommità arginali sopraelevate rispetto alla campagna circostante per altezze per lo più dell'ordine di dieci metri (vedi ad esempio sezione di fig. 1, Rovigo, in destra idraulica).

fig. 1

Dal punto di vista storico la sezione arginale del fiume, a partire dal diciassettesimo secolo, è stata soggetta nel tempo a notevoli rialzi e ringrossi (fig. 2, sinistra Adige, Masi PD, Colleselli 1977).

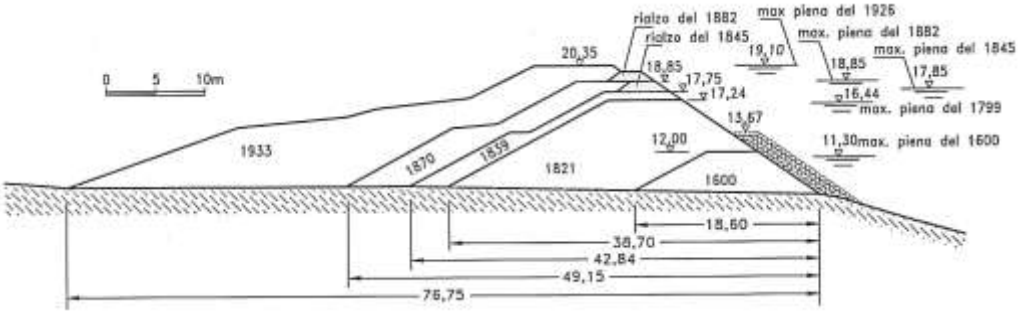


fig. 2

Nell'attuale situazione la sagoma arginale presenta in generale banche e sottobanche a campagna particolarmente pronunciate.
Sotto il profilo sismico il corso del fiume interessa, nel tratto in esame, zone di sismicità bassa (per qualche decina di chilometri a valle della città di Verona), classificabili come zone 3 (D.G.R. Regione Veneto 71/2008) e molto bassa più a valle (zone 4), con accelerazioni massime riferite a suoli rigidi degradanti da un massimo di 0,150-0,175 g a un minimo di 0,050-0,075 g (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni). In termini di Magnitudo vengono interessate più o meno direttamente le zone sismogenetiche 906 (Garda-Veronese) e 912 (Dorsale Ferrarese).
Con riferimento allo schema di fig. 3, gli interventi sulle arginature dell'Adige interessano generalmente la realizzazione di diaframmature (1), di opere di difesa in pietrame a fiume (2) e di rinforzi a campagna (3).

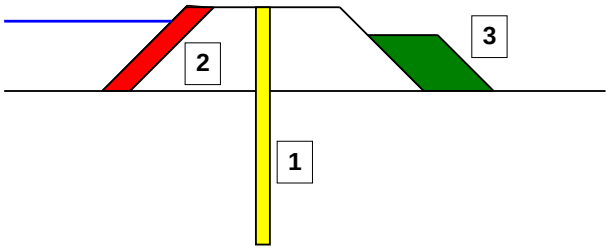


fig. 3

Negli anni 2002-2003 chi scrive ha condotto uno studio per conto della Regione del Veneto finalizzato all' "Individuazione del livello di sicurezza intrinseco delle strutture arginali del fiume Adige", seguendo gli sviluppi e valutando le conseguenze della piena del novembre 2002. Nel primo tratto di qualche decina di chilometri subito a valle della città di Verona prevalgono fenomeni di erosione lungo le scarpate (foto 1), per i quali risultano necessari interventi di difesa spondale in pietrame (e in qualche caso diaframmi strutturali in C.A.).
Nel lungo tratto più a valle risultano di importanza predominante, relativamente alle condizioni di piena del fiume, i fenomeni di filtrazione, che si manifestano più o meno diffusi, molto spesso accompagnati da pericolosi fenomeni di sifonamento ("fontanazzi"), questi ultimi necessitanti di urgenti interventi di ripresa (fig. 4).

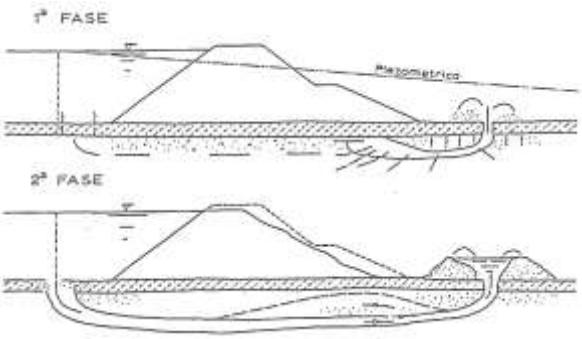


fig. 4 (Colleselli 1997)

In tempi lontani si procedeva molto spesso con l'allargamento verso campagna delle banche e sottobanche, in modo tale da coprire con ringrossi in terra i pericolosi punti di fuoriuscita d'acqua e sabbia (foto 2). Procedendo in tal modo, con sistemi di difesa passiva, il problema non veniva risolto, dal momento che i "fontanazzi" si ripresentavano spostandosi verso campagna. Unitamente a sistemi di difesa passiva ben più efficaci nei confronti di fenomeni di filtrazione e sifonamento (diaframmi profondi di intercettazione del flusso idrico), sono stati previsti nel tempo interventi di difesa attiva, consistenti nella realizzazione di vere e proprie arginature di contenimento delle zone interessate da "fontanazzi" (denominati bacini di "contro pressione"), favorendo in tal modo una riduzione del carico piezometrico agente (vedi foto 3 e fig. 4). Nel corso dei vari sopralluoghi effettuati nel 2002, è stata segnalata la presenza in più punti di nuovi "fontanazzi", prontamente ripresi (foto 4-5) e di numerosissime zone di filtrazione (in corrispondenza di banche e sottobanche a campagna - foto 6-7-8 - e di muraglioni di difesa - foto 9).

Alla luce dei sopralluoghi effettuati lungo l'intero tratto in esame (in destra e in sinistra idraulica), tenuto conto delle caratteristiche geotecniche di sottosuolo e arginature, sono state espresse valutazioni in merito allo stato delle cose, condivise da parte degli apparati tecnici dei vari Uffici Regionali del Genio Civile. Lo scrivente ha così proceduto in un primo tempo al censimento delle numerose zone critiche e in un secondo momento alla formulazione di proposte

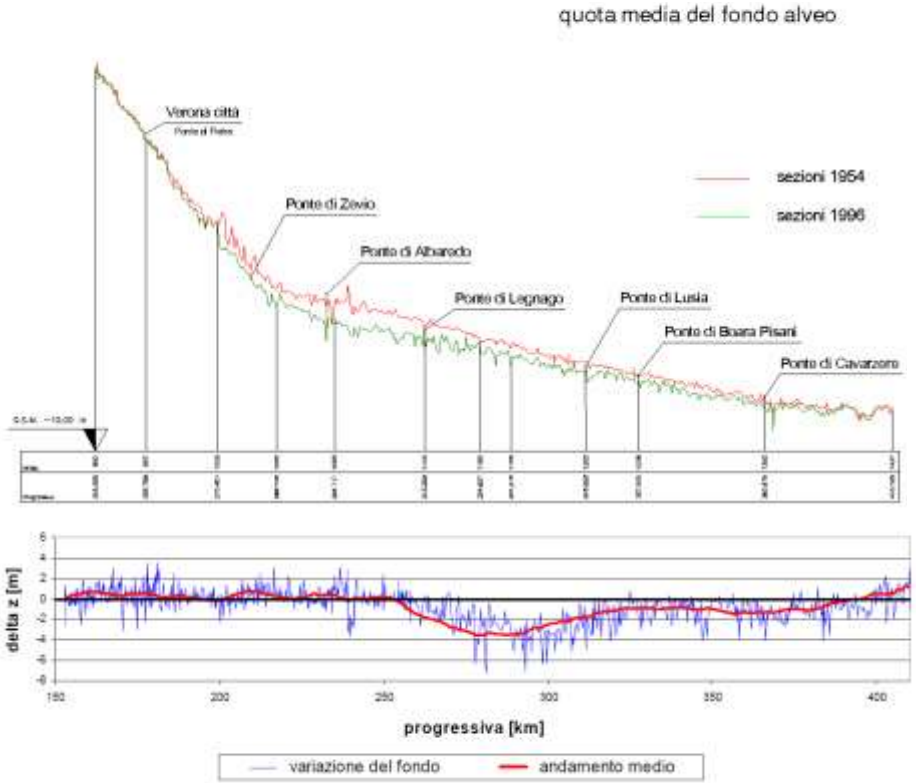
di intervento, accompagnate da dettagliate schede interessanti l'intero tratto in esame (con l'indicazione delle tipologie di interventi, l'individuazione planimetrica e la relativa estesa).
In sintesi, tenuto conto delle caratteristiche geotecniche di sottosuolo e materiale arginatura:

TRATTO DI MONTE (breve tratto a valle della città di Verona):
materiali arginatura: ghiaioso-sabbiosi (marcatamente permeabili)
sottosuolo: terreni di natura prevalentemente ghiaioso-sabbiosa
TRATTO DI VALLE (lungo tratto fino alla foce):
materiali arginatura: sabbiosi più o meno limosi (moderatamente permeabili)
sottosuolo: prevalentemente di natura sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa, con livelli argillosi e agilloso-limosi impermeabili (talora con inclusioni torbose) riscontrabili generalmente solo in profondità

le proposte di intervento allora formulate dallo scrivente (anno 2003), possono essere così riassunte:

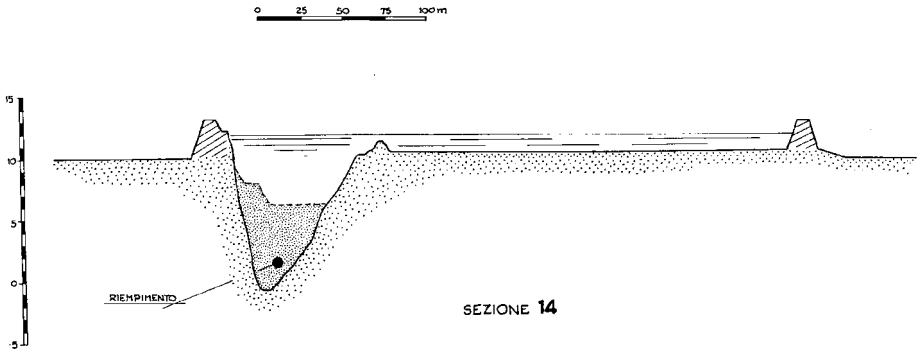
diaframmature esistenti (anno 2003):	estesa 44,6 km
nuove diaframmature (urgenti):	estesa 16,2 km
nuove diaframmature (meno urgenti):	estesa 10,3 km
nuove difese a fiume (pietrame):	estesa 32,9 km
nuovi rinforzi/ringrossi arginali:	estesa 7,0 km .

Altre considerazioni riguardano la presenza di diffusi fenomeni di erosione sul fondo del fiume, che hanno interessato in varia misura l'intero percorso da Verona alla foce (con punte massime di 6-7 m - vedi fig. 4).



f ig. 4

Una particolare situazione di pericolosità viene evidenziata in fig. 5 (rilievi 1985 foce Adige), con "arature del fondo" profonde una decina di metri in prossimità dell'argine sinistro "in froldo".



f ig. 5

Un'ultima considerazione in merito alle diaframmature, quali elementi profondi di intercettazione dei moti di filtrazione, talora con possibile funzione strutturale. Per assolvere a tale funzione, i diaframmi devono essere previsti in profondità, fino ad intestarsi in corrispondenza di livelli argilloso-limosi impermeabili (vedi fig. 6).

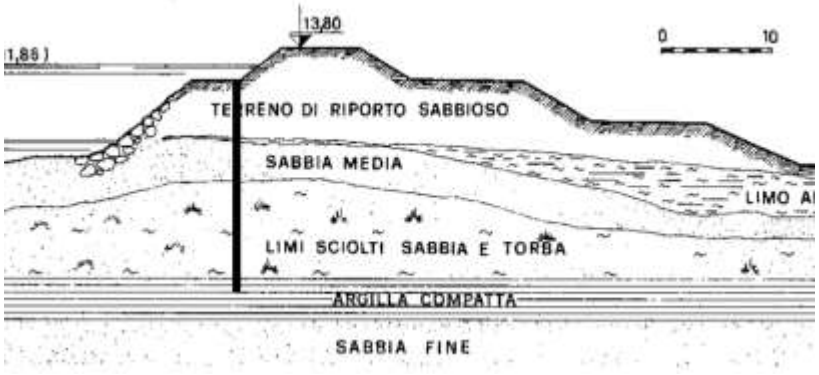


fig. 6

Esistono due diverse tipologie di diaframmi:

1) diaframmi strutturali in conglomerato cementizio armato, con duplice funzione:
   garantire l'impermeabilità
   conferire un adeguato sostegno all'arginatura (ad esempio nei confronti di erosioni in atto)
2) diaframmi plastici (miscele di cemento-bentonite) con la sola funzione di intercettazione delle filtrazioni.

I diaframmi del primo tipo (in C.A.) realizzati in corrispondenza delle arginature dell'Adige, presentano spessori variabili di norma fra 0,50 e 0,60 m (per terreni a granulometria fine quali sabbie, limi, argille), profondità generalmente dell'ordine di 20 m (naturalmente legate alla presenza di livelli impermeabili profondi).
I diaframmi del secondo tipo (plastici) vanno previsti laddove sia già garantita la stabilità della sezione arginale, con il solo scopo di intercettare i moti di filtrazione; spessori e profondità risultano dello stesso ordine dei precedenti.

Nelle foto 10-11 sopra riportate (diaframma plastico di recente realizzazione in destra Adige, a valle di Rovigo, estesa 400 m circa, spessore 0,60 m, profondità variabile) vengono evidenziate le operazioni relative alla fase di scavo (larghezza pannelli primari 2,50 m, successiva chiusura di 2,20 m con i pannelli secondari). Il fango bentonitico utilizzato (miscela auto indurente) risulta avere la seguente composizione:

- bentonite: 50 kg/m^3
- cemento pozzolanico R 32,5: 250 kg/m^3
- acqua: 905 litri/m^3
- densità: $\rho \sim 1{,}20$ Mg/m^3.

Le norme di capitolato prevedono per i provini (maturazione 28 gg) i seguenti requisiti:

conducibilità idraulica: $k \leq 10^{-9}$ m/s
resistenza compressione semplice: $R_C \geq 150$ kPa.

La profondità del diaframma (variabile) è stata stabilita in base ai risultati di un'accurata indagine geognostica e di un successivo studio geotecnico.
Per il monitoraggio della situazione, al fine di valutare l'efficacia dell'intervento, sono stati installati piezometri nella parte retrostante il diaframma (spostati verso campagna).