

AIUTARE IL MOSE ALZANDO VENEZIA CON ACQUA DI MARE

Giuseppe Gambolati



Fin dalle origini la laguna veneta protesse Venezia dagli invasori provenienti dall'entroterra. Al riparo di questa barriera la Città costruì un impero che spaziava fino al mar Egeo e al Mar Nero. Tuttavia, la laguna è soggetta ad una evoluzione non soltanto su tempi geologici ma anche su tempi storici. La Figura 1 mostra la laguna come presumibilmente era 1000 anni fa (secondo la ricostruzione dello storico veneziano Teodoro Viero), molto diversa da quella attuale (Figura

2). Incastrata tra terra e mare Venezia ha corso il rischio di essere inghiottita dall'una o dall'altro. Per evitare che questo accadesse i veneziani istituirono il Magistrato alle Acque, con enorme potere e col compito di preservare la laguna proteggendola dall'insabbiamento e dall'invasione del mare. Proprio nella conservazione di questo instabile equilibrio risiede la spiegazione della fortuna della Serenissima attraverso più di un millennio. Oggi il pericolo per la sopravvivenza della città viene dal mare che occasionalmente inonda la città con "l'acqua alta". Essa ha convissuto con Venezia per secoli (la prima menzione di acqua alta nelle cronache cittadine risale al 589 AD). La Figura 3 mostra l'acqua alta eccezionale del 4 novembre 1966 che raggiunse l'altezza di 194 cm sul medio mare, altezza che non è mai stata superata. Acqua Alta è convenzionalmente considerata quando il livello della laguna supera 110 cm sul medio mare del 1897. Tuttavia parti della città sono allagate anche per altezze inferiori. E' dalla metà del secolo scorso che il fenomeno ha subito una grande accelerazione (vedi Figura 13) come diretta conseguenza della subsidenza (cioè dell'abbassamento del suolo) di origine antropica (i.e. pompaggi di acqua dolce dalle falde di Porto Marghera) e dell'accresciuto livello del mare (Figura 4). Per proteggere Venezia dalle acque alte è in fase di completamento il progetto MOSE di chiusura delle 3 bocche di porto (Lido, Malamocco e Chioggia) con le barriere mobili. Tuttavia un risultato simile, con molto minore spesa, si potrebbe conseguire innalzando la città, pompando acqua sotto terra, vale a dire attivando il processo inverso all'emungimento che ne ha provocato l'abbassamento.

Venezia è soggetta anche a un abbassamento di origine naturale. Per capire ciò dobbiamo fare un passo indietro nel tempo, all'inizio dell'Era Quaternaria, circa un milione di anni fa, quando nella regione mediterranea si estendeva un vasto dominio marino da cui emergevano l'orogeno alpino e quello appenninico, quest'ultimo delineato da un corpo peninsulare e da una successione di isole. Il mare Adriatico vi creava in corrispondenza un profondo golfo, estendendosi fino a comprendere gran parte dell'attuale pianura piemontese. Fra le due catene emergenti si individuava un'estesa depressione, l'attuale pianura Padana, che risultava completamente sommersa (Figura 5). I prodotti della degradazione dei rilievi emersi confluivano copiosamente in questa depressione, dando

luogo a un processo di progressiva colmata, che continuerà fino ad oggi. L'accumulo dei sedimenti fu più accentuato nelle aree depresse dove si esplicava di conseguenza un loro più rapido processo di compattazione naturale per il maggior carico dei materiali presenti. Il territorio romagnolo, coi suoi potenti sedimenti, è quello che ha subito un più notevole processo di subsidenza geologica che fu invece più limitato nell'area veneziana. Per la maggior parte dell'Era Quarternaria questa condizione paleografica non si modificò e nella bassa pianura veneta l'ambiente marino, o marino costiero, salvo alcuni brevi periodi intermedi, permase fino a circa 150.000 anni fa; solo in seguito con l'abbassamento del livello del mare prevalsero i depositi continentali. L'Era Quaternaria si presenta dunque abbastanza monotona e allo stato attuale delle conoscenze non è facilmente suddivisibile stratigraficamente. Dal punto di vista cronologico essa risulta di difficile correlazione con le fasi paleo dinamiche che si sono succedute. Quest'era infatti fu caratterizzata dalla successione alterna di periodi climatici molto diversi che portarono allo sviluppo di enormi coltri glaciali e alla loro successiva fusione. Le grandi glaciazioni quaternarie (Gunz, Mindel, Riss e Wurm) avrebbero causato di volta in volta un sensibile abbassamento del livello marino con l'emersione di vaste aree costiere. Viceversa le fasi climatiche glaciali intermedie calde, con la fusione dei ghiacci, avrebbero provocato un innalzamento del livello del mare e un conseguente arretramento delle linee di spiaggia con ingressioni marine anche di centinaia di chilometri nel dominio delle terre basse. Intorno a 120.000 anni or sono ebbe inizio il ciclo wurmiano, contestualmente si verificò la progressiva emersione di vaste regioni. Al massimo dell'espansione glaciale il livello marino si sarebbe abbassato di un centinaio di metri rispetto all'attuale, per cui sarebbe emerso anche tutto l'alto bacino adriatico, grossomodo fino alla fossa mesoadriatica antistante Pescara (Figura 6). Ai depositi marino-costieri più antichi si sovrapposero allora i depositi continentali del ciclo wurmiano, distribuiti e poi rimaneggiati dalla divagazione dei grandi fiumi che solcavano la vasta pianura adriatica. Alla fine della glaciazione wurmiana (17.000-20.000 anni fa) inizia l'ultimo periodo dell'Era Quaternaria, l'Olocene, che continuerà fino ai giorni nostri. Il miglioramento climatico postglaciale raggiunse il suo apice circa 6.000 anni orsono (*optimum climatico primario*), quando il livello dei mari nella sua ascesa toccò la massima quota, sommergendo progressivamente le basse pianure, facendo regredire sensibilmente le linee di costa. Questa fase di generale ingressione del mare è conosciuta come *trasgressione flandriana* o *olocenica*. Da allora il livello del mare non si modificò sostanzialmente più, salvo piccole oscillazioni. Spesso al processo di avanzamento e arretramento delle linee di spiaggia si accompagnò la formazione di lagune di cui le attuali romagnolo-venete rappresentano l'ultima fase della lenta evoluzione ambientale. Secondo alcuni l'attuale laguna veneta si sarebbe configurata all'inizio dell'era volgare; secondo altri già prima esisteva un ambiente analogo, più spostato a levante rispetto all'attuale. In concomitanza al processo di arretramento dei lidi per effetti eustatici si è verificato un fenomeno di subsidenza naturale che ha colpito tutta l'attuale fascia litoranea dell'Alto Adriatico occidentale. Il rinvenimento di una particolare formazione lapidea (*beachrock*) avvenuta ad una decina di metri di profondità al largo del litorale veneto e riconosciuta come relitto fossile di una antica linea di costa, databile intorno a 4.000 anni fa, dimostrerebbe sia il notevole arretramento della costa, sia il marcato processo di subsidenza verificatesi da allora. L'evoluzione finale dei cicli eustatici ed i concomitanti fenomeni di subsidenza avrebbero conferito infine alla laguna veneta l'aspetto morfologico storico (Figura 1, mille anni fa) ed attuale (Figura 2).

Dunque nel corso dei secoli la quota di Venezia non sarebbe stata stabile, in particolare l'abbassamento relativo al medio mare sarebbe continuato (e nel secolo scorso aggravato dagli emungimenti idrici di acqua di falda nell'area), come dimostrato anche dal confronto delle vedute fotografiche dipinte da Bellotto (detto Canaletto del Nord), vedi Figure 7, 8 (cfr *D. Camuffo e G. Sturaro, Sixty-cm submersion of Venice discovered thanks to Canaletto's paintings, Clim. Change 58, 333-343, 2003*), che evidenziano che nel XVIII secolo la linea delle alghe sugli edifici veneziani era circa mezzo metro più bassa dell'attuale. Se ne concluderebbe che il livello del mare è salito di circa 50 cm relativamente alla quota altimetrica della terra per effetto combinato dell'innalzamento del mare e dell'abbassamento del suolo.

Innalzare l'altezza di Venezia di 25-30 centimetri grazie a iniezioni di acqua di mare sotto la laguna: è un progetto per la salvaguardia della città dei Dogi che ho sviluppato assieme al mio gruppo di ricerca nell'Università di Padova. E' stata effettuata una serie di simulazioni numeriche che traggono spunto da tecnologie già adottate nell'industria petrolifera. Dalla ricostruzione della litostratigrafia del sottosuolo lagunare (Figura 9) sulla base delle indagini geosismiche condotte da ENI (allora AGIP) negli anni 70 del secolo scorso, abbiamo sviluppato un modello geoidrologico/ geomeccanico del sottosuolo lagunare (Figura 10), La Figura 11 mostra una lito-stratigrafia di dettaglio nel pozzo profondo VE-1 perforato dal CNR al Tronchetto. L'ipotesi, da verificare attraverso una fase sperimentale, è di iniettare acqua di mare a 600-1000 metri di profondità in acquiferi salini sotto la laguna veneta tramite 12 pozzi collocati su una circonferenza di 10 km di diametro che racchiude la città (puntini gialli in Figura 12). L'intervento, su un arco temporale di dieci anni, permetterebbe di integrare e potenziare gli effetti del MOSE, il sistema di difesa di Venezia dalle maree in fase di realizzazione, basato su paratoie mobili. Il sollevamento tramite immissione di acqua di mare, infatti, consentirebbe di mitigare gli effetti delle acque alte e prevenire un uso troppo frequente delle paratoie: l'impatto sull'ecosistema lagunare risulterebbe così molto ridotto, e la funzionalità del MOSE potrebbe essere prolungata oltre i 50 anni previsti come sua durata massima. Una volta ottenuto l'innalzamento, i pozzi resterebbero in funzione con portate di iniezione ridotte per mantenere nel tempo il livello altimetrico conseguito in 10 anni che è dell'ordine di 30 cm (Figura 12). Un innalzamento di quest'ordine di grandezza avrebbe abbattuto la stragrande maggior parte delle acque alte registrate dal 1870 ad oggi (Figura 13).

Il progetto dell'ateneo padovano, il primo a prevedere l'utilizzo di acqua finalizzato al sollevamento del suolo in misura così estesa e rilevante, contempla un periodo di sperimentazione triennale con l'analisi del sottosuolo lagunare fino a 1000 metri di profondità e la perforazione di tre pozzi pilota attraverso i quali verrebbero eseguite le prove di infiltrazione dell'acqua marina, con la successiva rilevazione dei livelli di innalzamento risultanti. Con i dati così ricavati sarebbe possibile elaborare un modello complessivo del sottosuolo lagunare, a conferma della fattibilità dell'opera e di una previsione attendibile dei risultati attesi. Il progetto è descritto nel libro segnalato in Figura 14.



Figura 1. Laguna veneta 1000 anni fa secondo la ricostruzione dello storico veneziano Teodoro Viero (174-1821). La laguna comunicava col mare attraverso 9 bocche di porto.



Figura 2 la laguna veneta attuale vista dallo spazio. Si riconoscono le tre bocche di porto di Lido (a nord), Malamocco e Chioggia (a sud).



Figura 3 Piazza S. Marco sotto la disastrosa alluvione del 4 novembre 1966 in cui l'acqua alta raggiunse 194 cm sul medio mare.

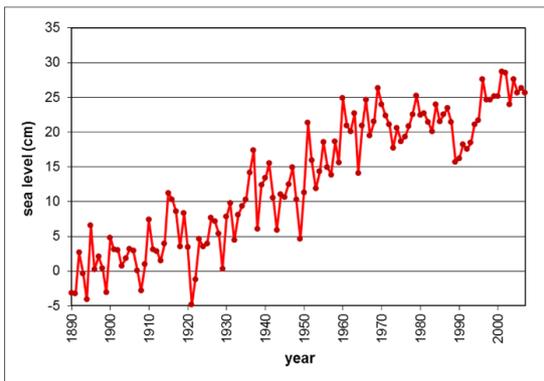


Figura 4 Perdita altimetrica di Venezia relativamente al medio mare a Venezia (Punta della Salute) dal 1890.

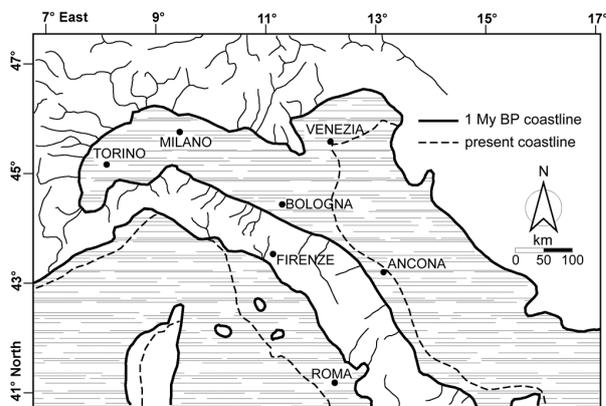


Figura 5 Ingressione del mare Adriatico un milione di anni fa, all'inizio dell'Era Quaternaria, nella Pianura Padana.

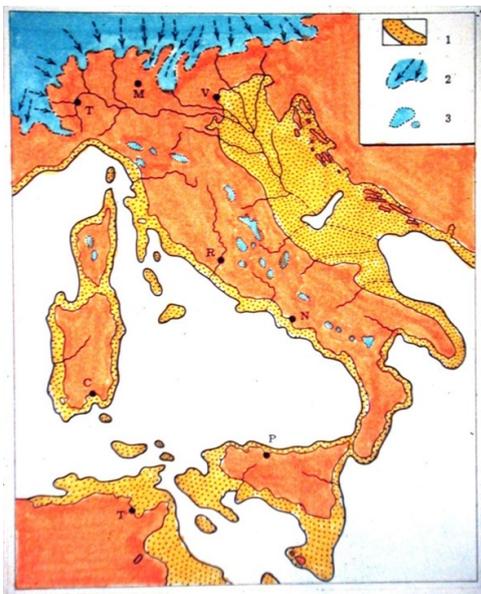


Figura 6. Regressione marina massima durante la glaciazione wurmiana (17.000-20.000 anni fa).

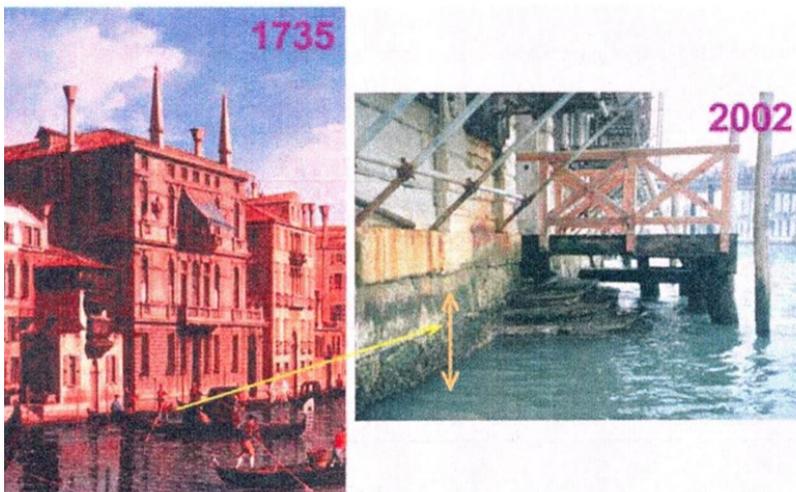


Figura 7. Confronto dell'ingresso del palazzo Giustinian-Lolin dipinto da Bellotto (1735, a sinistra) con l'ingresso attuale. La scala originale di ingresso è ora sommersa e un attracco di legno è stato costruito per consentire l'ingresso al palazzo.

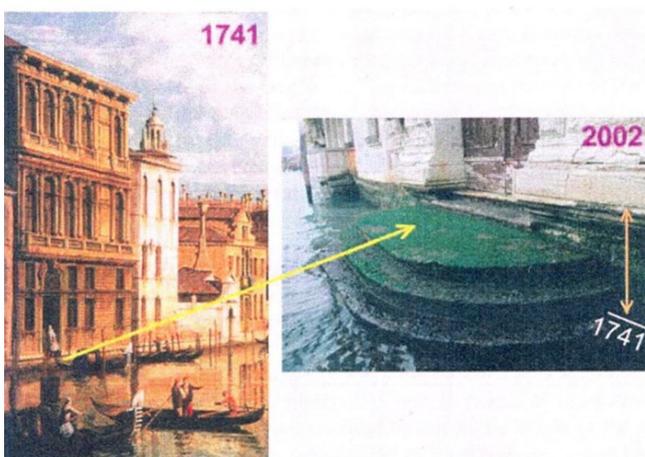


Figura 8. Palazzo Flangini nel 1741 dipinto da Bellotto (a sinistra) confrontato con la scala di ingresso nel palazzo come appare oggi.

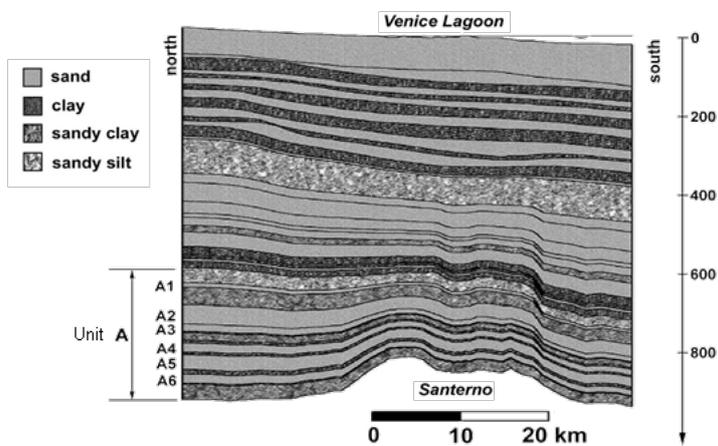


Figura 9 Litostratigrafia del sottosuolo lagunare fino a 1000 m di profondità sulla base delle indagini geosismiche condotte da ENI (ex-AGIP) negli anni 70 del secolo scorso e del pozzo geognostico VE-1 fatto perforare dal CNR all'inizio anni 70.

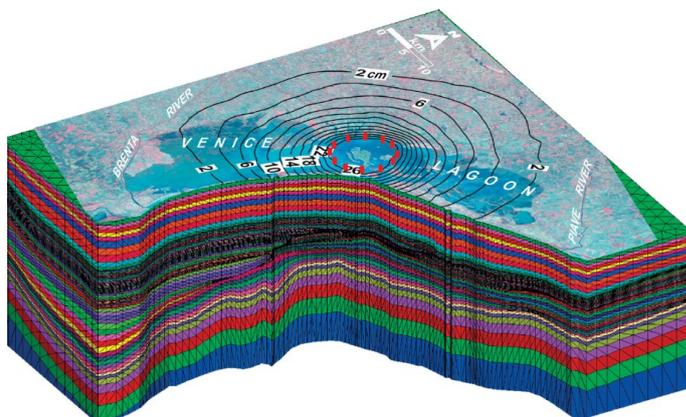


Figura 10 Rappresentazione assometrica del modello idrologico/geomeccanico del sottosuolo lagunare veneziano. I colori rappresentano le diverse formazioni lito-stratigrafiche (sabbie, silt, argille) che compongono il sottosuolo veneziano.

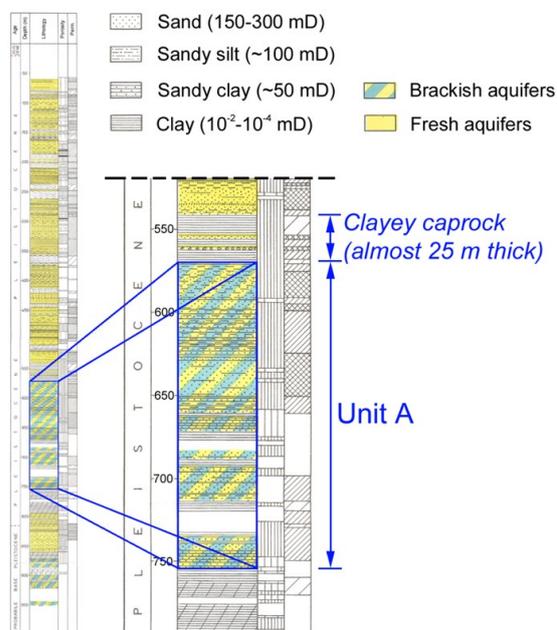


Figura 11. Litostratigrafia di dettaglio della formazione A di Figura 9, in cui verrebbe effettuata la iniezione di acqua marina nei pozzi prossimi alla località Tronchetto, come risulta al pozzo VE1-CNR perforato a scopo geognostico dal CNR all'inizio anni 70 del secolo scorso

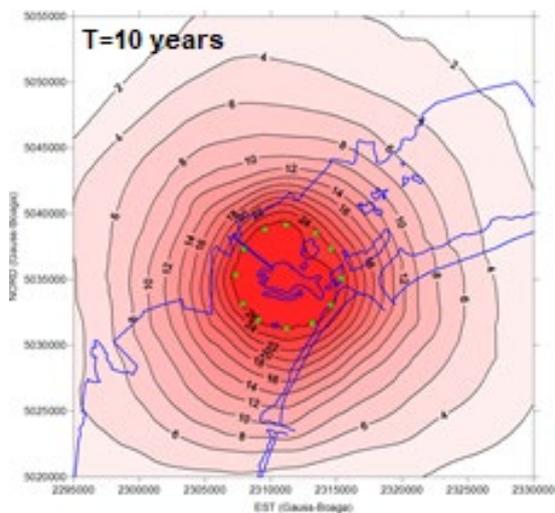


Figura 12. Innalzamento antropico di Venezia previsto dopo 10 anni dal modello idrogeologico/geomeccanico del sottosuolo lagunare.

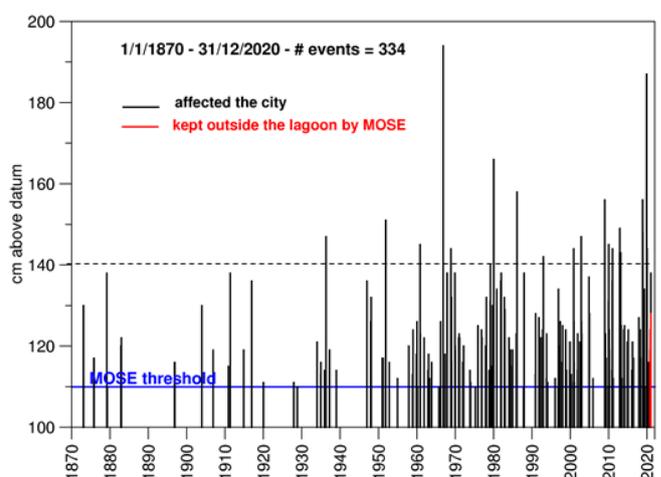


Figura 13. L'innalzamento di Venezia di 30 cm abbatterebbe la maggior parte delle acque alte. Un'acqua alta ufficiale, che attiverebbe il funzionamento del MOSE a regime, è maggiore od uguale a 110 cm sul medio mare. La figura mostra che delle 334 acque alte verificatesi dal 1870 al 2020 (barre verticali) solo 25 sarebbero state tali con un innalzamento antropico di Venezia di 30 cm. Le barre rosse si riferiscono ad acque alte che non sono entrate in laguna grazie all'attivazione sperimentale del MOSE.

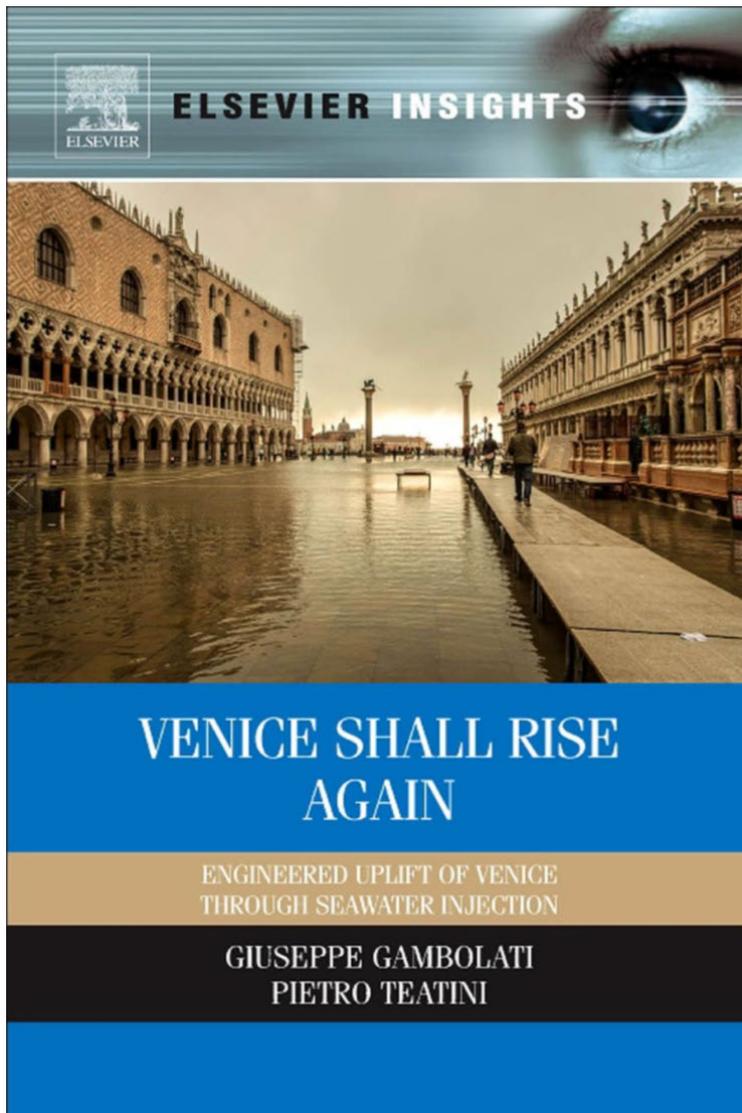


Figura 14. Il progetto di sollevamento antropico di Venezia è ampiamente descritto nel libro "VENICE SHALL RISE AGAIN" pubblicato da Elsevier (2014).



RIFLESSI ON LINE

Iscrizione presso il Tribunale di Padova
n.2187 del 17/08/2009

Direttore Responsabile
Luigi la Gloria
luigi.lagloria@riflessionline.it

Vice Direttore
Anna Valerio
anna.valerio@riflessionline.it

Coordinatore Editoriale
Gianfranco Coccia

www.riflessionline.it