

Interventi di: Francesco Alberti, Valentina Bassan, Danilo Belli, Annelore Bezzi, Aldino Bondesan, Massimo Cacciari, Tullio Cambruzzi, Paolo Canestrelli, Laura Carbognin, Ester Colizza, Enrico Conchetto, Ezio Da Villa, Marisa Fantin, Giulia Fonda, Alessandro Fontana, Giorgio Fontolan, Paola Furlanetto, Giuseppe Gisotti, Davide Lenaz, Sara Magri, Luigi Marinoni, Romana Melis, Mirco Meneghel, Paolo Mozzi, Simone Pillon, Maria Giovanna Piva, Sandra Primon, Federica Rizzetto, Laura Schiozzi, Enzo Siviero, Tazio Strozzi, Pietro Teatini, Luigi Tosi, Andrea Vitturi, Pietro Zangheri, Fulvio Zezza, Davide Zoggia.

AA.W.

Geologia Urbana di Venezia



con il contributo di



Titolari del brevetto e promotori del progetto



[www.alzarevenezia.it](http://www.alzarevenezia.it)



Supplemento 3/2008

Periodico della SIGEA

Società Italiana

di Geologia Ambientale

ISSN 1591-5352

Geologia  
dell'Ambiente



PROVINCIA DI VENEZIA



Società Italiana  
di Geologia Ambientale

Geologia Urbana



di Venezia

ATTI DEL CONVEGNO

Mestre-Venezia, venerdì 24 novembre 2006

Auditorium della Provincia di Venezia

a cura di Aldino BONDESAN, Valentina BASSAN e Andrea VITTURI







PROVINCIA DI VENEZIA



Società Italiana  
di Geologia Ambientale

# Geologia **U r b a n a**



## di Venezia

### ATTI DEL CONVEGNO

Mestre-Venezia, venerdì 24 novembre 2006  
Auditorium della Provincia di Venezia

a cura di Aldino BONDESAN, Valentina BASSAN e Andrea VITTURI

IL CONVEGNO È STATO ORGANIZZATO  
ANCHE GRAZIE AL CONTRIBUTO DI



Titolari del brevetto e promotori del progetto



[www.alzarevenezia.it](http://www.alzarevenezia.it)

Supplemento al numero 3-2008 di Geologia dell'Ambiente  
periodico della SIGEA - Società Italiana di Geologia Ambientale  
Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352  
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229 del 31 maggio 1994  
Direttore responsabile: Giuseppe Gisotti  
© 2008 SIGEA

Interventi al Convegno

## Geologia **Urbana** di Venezia

Mestre-Venezia, venerdì 24 novembre 2006

### *Segreteria del Comitato Scientifico*

Dr. Aldino Bondesan  
Dipartimento di Geografia  
Università di Padova  
Via del Santo, 26 - 35123 Padova  
Tel. 049 8274085 - Fax 049 827 4099  
[aldino.bondesan@unipd.it](mailto:aldino.bondesan@unipd.it)

### *Segreteria organizzativa*

La Sintesi Srl  
P.le R. Ardigò 31 - 00142 Roma  
tel. 06 5406964 - fax 06 233 239 783  
<http://www.lasintesi.eu>

### *Progetto grafico, redazione e impaginazione*

La Sintesi, Roma

### *Stampa*

Rotostampa group

Finito di stampare nel mese di \_\_\_\_\_ 2008



## **PATROCINI**

Regione del Veneto

Città di Venezia

Magistrato alle Acque di Venezia

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente  
e per i Servizi Tecnici (APAT)

Unione Province d'Italia (UPI)

Unione Regionale Province Venete (URPV)

Università Ca' Foscari di Venezia

Università IUAV di Venezia

Consiglio Nazionale Geologi

Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori  
della provincia di Venezia

Ordine degli Ingegneri della provincia di Venezia

Ordine Geologi - Regione del Veneto

Federazione Regionale degli Ordini degli Ingegneri del Veneto

Istituto Nazionale di Urbanistica (INU)

Associazione Nazionale degli Urbanisti e dei Pianificatori Territoriali e Ambientali

Società Geologica Italiana (SGI)

Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia (AIGEO)

Associazione Italiana per lo Studio del Quaternario (AIQUA)



## Presentazione

### **11** Presentazione del Convegno

a cura di Davide Zoggia (Presidente Provincia di Venezia)  
e di Ezio Da Villa (Assessore al Servizio Geologico - Difesa del Suolo  
della Provincia di Venezia)

---

## Prima Parte

### Risorse e rischi geologici a Venezia e nel Veneziano

#### **17** Introduzione di Ezio Da Villa

Assessore al Servizio Geologico - Difesa del Suolo  
della Provincia di Venezia

---

#### **19** Intervento di Massimo Cacciari

Sindaco di Venezia

---

#### **23** Intervento di Giuseppe Gisotti

Presidente SIGEA - Società Italiana di Geologia Ambientale

---

#### **25** La geologia nella pianificazione urbanistica

di Marisa Fantin

---

#### **39** Il ruolo del geologo nella geologia urbana

di Danilo Belli

---

**47** Lineamenti geologico-geomorfologici ed evoluzione paleo-  
idrografica del territorio urbano di Venezia, Mestre e Marghera

di Aldino Bondesan, Alessandro Fontana, Paola Furlanetto, Sara Magri,  
Mirco Meneghel, Paolo Mozzi, Sandra Primon

---

**77** L'idrogeologia del Veneziano

di Pietro Zangheri

---

**87** Nuove informazioni stratigrafiche sulla successione  
pleistocenica dell'area veneziana: il sondaggio CH1M a  
Malamocco

di Giorgio Fontolan, Laura Schiozzi, Ester Colizza, Annelore Bezzi,  
Romana Melis, Simone Pillon, Davide Lenaz, Luigi Marinoni, Giulia Fonda

---

**91** La subsidenza del Veneziano (Sintesi dei risultati)

di Laura Carbognin, Federica Rizzetto, Pietro Teatini, Luigi Tosi, Tazio Strozzi

---

**99** Dalla geologia al Servizio Idrico Integrato  
L'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"

di Tullio Cambruzzi, Enrico Conchetto

---

## Seconda Parte

### Le opere e le loro interferenze con l'ambiente geologico

**105** Attività per la salvaguardia di Venezia e della laguna:  
aspetti geologici e geotecnici

di Maria Giovanna Piva

---

**109** Il "Progetto Rialto - Alzare Venezia" di Soles - Mattioli  
di Francesco Alberti

---

**115** Come sollevare un edificio a Venezia  
di Enzo Siviero

---

**121** Implicazioni geologiche delle opere sotterranee nel  
Veneziano  
di Valentina Bassan, Andrea Vitturi

---

**129** Geologia proprieta' e deformazione dei terreni del centro  
storico di Venezia  
di Fulvio Zezza

---

**171** Le maree e le acque alte a Venezia  
di Paolo Canestrelli

---

**179** Conclusioni  
di Fulvio Zezza

---

## Appendice

**185** Mozione finale del Convegno

---

**189** Partecipanti

---

**Ore 9:00 - Registrazione**

**Indirizzi di Saluto**

*Davide Zoggia* - Presidente Provincia di Venezia

*Giuseppe Gisotti* - Presidente SIGEA

*Massimo Cacciari* - Sindaco di Venezia

**Ore 10:00 Risorse e rischi geologici a Venezia e nel Veneziano**

Moderatore *Aldino Bondesan* - SIGEA Triveneto

La geologia nella pianificazione urbanistica

*Marisa Fantin*

Presidente dell'Istituto Nazionale di Urbanistica - Sezione del Veneto

Il ruolo del geologo nella geologia urbana

*Daniilo Belli*

Presidente dell'Ordine dei Geologi del Veneto

La geologia del Veneziano

*Aldino Bondesan*

Università di Padova

Dipartimento di Geografia

L'idrogeologia del Veneziano

*Pietro Zangheri*

Geologo

La dinamica costiera

*Giorgio Fontolan*

Università di Trieste - Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine

La subsidenza del Veneziano

*Laura Carbognin*

CNR-Ismar Istituto di Scienze Marine

Dibattito

Conclusioni

*Carlo Magnani*

Rettore Università IUAV di Venezia

**Ore 13:00**

**Buffet**

**Ore 14:30 Le opere e le loro interferenze con l'ambiente geologico**

Moderatore *Ezio Da Villa*

Assessore Difesa del Suolo

Servizio Geologico Provincia Venezia

Le attività di salvaguardia nella Laguna di Venezia: aspetti geologici e geotecnici

*Maria Giovanna Piva*

Presidente del Magistrato alle Acque di Venezia

Opere di salvaguardia locali e puntuali

*Ivano Turlon*

Direttore PEL del Comune di Venezia

Il Progetto Rialto-Alzare Venezia di Soles - Mattioli

*Enzo Siviero*

Dir. Dipartimento di Costruzione dell'architettura - Università IUAV

*Francesco Alberti*

Geologo - membro del Consiglio

Direttivo dell'AGI - Associazione

Geotecnica Italiana

La bonifica di Porto Marghera

*Roberto Casarin*

Segretario Regionale Ambiente e

Territorio - Regione del Veneto

Implicazioni geologiche delle opere sotterranee nel Veneziano

*Andrea Vitturi, Valentina Bassan*

Provincia di Venezia Servizio Geologico

Il rischio idraulico di Mestre e del Miranese

*Lorenzo Del Rizzo*

Dir. Consorzio di Bonifica Dese Sile

Le maree e le acque alte a Venezia

*Paolo Canestrelli*

Dir. del Centro Maree di Venezia

Dibattito

Conclusioni

*Giovanni Maria Zuppi*

Presidente Corso di Laurea in Scienze

Ambientali Università Ca' Foscari di

Venezia

**Ore 17:30**

**Fine dei lavori**

---

---

# Presentazione

Ezio Da Villa

Assessore al Servizio Geologico  
Difesa del Suolo della Provincia di Venezia

Davide Zoggia

Presidente Provincia di Venezia

**S**e venisse chiesto agli uomini di oggi, con la loro tecnologia e il loro sapere scientifico, di fondare una nuova città in un sito analogo a quello della laguna di Venezia, certamente abbandonerebbero immediatamente l'idea a causa dei troppi condizionamenti negativi che un ambiente come quello lagunare pone alla creazione di un centro urbano. Eppure Venezia esiste in tutti i suoi aspetti di eccezionalità artistica, storica, culturale e, non ultima, ambientale.

All'uomo moderno resta allora il problema di conservare questo patrimonio urbano e di farlo non solo come se fosse un dorato museo affollato da milioni di turisti ogni anno. La vera sfida è quella di conservare alla città lagunare una complessità di funzioni che la mantengano viva, che conservino la residenzialità ed il lavoro insieme a tutelare un contesto ambientale che è unico al mondo. Il problema da affrontare quotidianamente è quello di conservare un equilibrio nel rapporto tra presenza antropica e peculiarità naturali di questo grande specchio d'acqua salata interno.

Per farlo abbiamo bisogno di un quadro scientifico completo: mentre però molti aspetti "esteriori", ben visibili, sono stati lungamente approfonditi e dibattuti, la conoscenza della situazione geologica veneziana è ben lungi dall'aver la necessaria completezza di conoscenze. E' allora particolarmente apprezzabile l'iniziativa della SIGEA (Società Italiana di Geologia Ambientale) che ha proposto il "caso Venezia" all'attenzione di specialisti di varie discipline facendo il punto sullo stato delle conoscenze circa la situazione geologica della città e della sua laguna. I dati che sono stati illustrati nell'ambito del convegno "La geologia urbana di Venezia", seconda tappa, dopo Roma e prima di Milano, del percorso promosso dalla SIGEA, sono stati messi a disposizione degli amministratori pubblici e di tutte le persone comunque interessate al problema della salvaguardia della città contribuendo ad arricchire il patrimonio di saperi sulla base dei quali fare le scelte di propria competenza sul futuro di Venezia e di tutto l'ampio territorio che la circonda.

La geologia in effetti rappresenta una fonte essenziale di conoscenza della realtà veneziana e la Provincia di Venezia, che è stata tradizionalmente molto attenta a que-

ste tematiche, lo sa bene. Si pensi alle fondazioni degli edifici che interessano gli strati geologici fino a vari metri di profondità; la conoscenza degli strati più profondi (con le acque sotterranee in essi racchiuse) è fondamentale per la conoscenza dell'insidiosissimo fenomeno della subsidenza che ha fatto fortemente temere sulla sopravvivenza stessa della città; l'ambiente lagunare e quello marino così vicini comportano tematiche (erosione e sedimentazione) fondamentali per la sussistenza stessa dell'intero sistema lagunare. Sono tutte questioni che oggi trovano ancor più interesse visto i grandi progetti (dal Mose alla Sublagunare) che hanno un'incidenza primaria sul fragile equilibrio lagunare.

Un ringraziamento quindi agli organizzatori ed ai relatori che hanno messo a disposizione una mole considerevole ed aggiornatissima di dati. Questa pubblicazione degli Atti del convegno, insieme alla diffusione a livello nazionale che sarà promossa dalla SIGEA, ci permetterà di rafforzare l'ormai consolidata rete di "educazione ambientale" realizzata dalla Provincia, aggiungendo le ultime acquisizioni geologiche al patrimonio di conoscenza che negli anni siamo andati costruendo.

## Prima Parte

# Risorse e rischi geologici a Venezia e nel Veneziano

---

---

# Introduzione

Ezio Da Villa

Assessore al Servizio Geologico - Difesa del Suolo della Provincia di Venezia

**L'**immagine dell'acqua alta che invade Venezia nel 1966 ha aperto una stagione di interesse completamente nuovo, e non solo per gli abitanti della Laguna di Venezia. In quegli anni i termini "subsidenza", "eustatismo" e "rischio idrogeologico" entrarono tra quelli d'uso comune ed il loro significato divenne comprensibile ai più, anche se, da allora, l'unico risultato di rilievo, assieme alle leggi speciali per Venezia, è stato quello della cessazione del prelievo sotterraneo d'acqua per usi industriali, una delle cause principali dell'abbassamento della superficie del suolo.

L'impatto di quell'evento, e gli approfondimenti successivi, ha comunque consolidato l'idea che una città come quella lagunare, con fondamenta antiche e profonde in un contesto mobile e dinamico come quello determinato dai corpi d'acqua dolce che arrivano dall'entroterra e dal mare dell'alto Adriatico, ha un rapporto assai stretto e "difficile" con gli elementi studiati dalle scienze geologiche. E qui più che altrove, gli assetti idrogeologici sono fondamentali per garantire l'equilibrio del complesso urbano e la sua conservazione storico-artistica e ambientale.

In tempi di stravolgimenti climatici, oggi chiaramente riguardanti non solo le calotte polari o i ghiacciai delle alte vette

di montagna, ma anche le nostre latitudini, si sta facendo strada, almeno tra gli addetti ai lavori, la convinzione che l'equilibrio idrogeologico di cui vivono sia Laguna che città deve condizionare le scelte insediative e quelle infrastrutturali in modo tale da impedire la perpetuazione di uno sfruttamento del territorio miope, ambientalmente e socialmente insostenibile.

In questa parte del paese, la tutela dei suoli fertili e delle risorse idriche sotterranee, gli assetti idraulici in territori soggetti a scolo meccanico, il governo dei corpi idrici superficiali di origine alpina o di risorgiva, sono tutti obiettivi condivisi e presenti in ogni momento di pianificazione territoriale ed urbana. Peccato che, dal livello nazionale a quello locale, la capacità di spendere le risorse pubbliche per il governo dei suoli e delle acque sia incredibilmente limitata, o solamente dichiarata a seguito di tragici eventi calamitosi come frane, alluvioni e allagamenti.

In questa città si sta realizzando il Mo.SE, una delle più grandi e impattanti opere pubbliche del paese, destinata ad impedire che la laguna più conosciuta del pianeta si trasformi in mare; sempre in questa città, sede del principale sito di interesse nazionale per quanto riguarda le contaminazioni industriali, Porto Marghera, si sta procedendo alla bonifica e messa in sicurezza di migliaia di ettari di quelle che furono zone umide, per decenni luoghi di sversamento di ogni tipo di sostanza chimica e che oggi sono suoli e falde contaminate utili almeno per ricordare gli effetti del modello industriale del Novecento.

La qualità di questo convegno può contribuire a fare sintesi di una cultura geologica che per essere utile deve poter condizionare i luoghi ove si decide la destinazione delle risorse economiche pubbliche.

Solo quando l'assetto idrogeologico dell'Italia avrà la stessa considerazione di quello delle infrastrutture primarie, potremo pensare di essere un paese consapevole.

---

---

# Intervento

Massimo Cacciari  
Sindaco di Venezia

Invito a riflettere i partecipanti a questo Convegno su una questione di particolarissimo rilievo per questo territorio veneziano.

In generale l'analisi di tutti i rischi connessi all'assetto geologico-idraulico del Comune di Venezia dovrà risultare in futuro decisiva nelle scelte di piano degli interventi di questa amministrazione. Ad una corretta e completa analisi dei rischi idrogeologici non si è proceduto in passato, con aspetti assolutamente negativi per quanto riguarda i livelli di sicurezza di questo territorio.

L'alluvione di qualche tempo fa lo dimostra. Quell'evento è anche dovuto a una non razionale politica di insediamenti, non solo residenziali, nel nostro territorio. Il fattore geologico-idraulico deve diventare determinante nelle nostre scelte urbanistiche e di pianificazione territoriale.

Esiste la nostra collaborazione anche per gli aspetti tecnici: la tutela a questo proposito deve diventare permanente. Questo è l'impegno dell'amministrazione in generale.

Per quanto riguarda temi specifici che verranno affrontati in questo Convegno, vorrei sottolineare quelli che per me rivestono maggiore importanza. Uno riguarda gli interventi di

salvaguardia e di riassetto morfologico nella laguna. In questo settore siamo indietro. Nella Delibera che è stata approvata dal Comitato Interministeriale l'altro giorno vi è una specifica ammissione, là dove si dice come accelerare tutte le operazioni, e prima di tutto gli studi per il *Piano del riassetto morfologico della Laguna*, piano che è in forte ritardo.

Mi chiedo e vi chiedo: occorre un Piano del riassetto morfologico della Laguna per decidere quali grandi opere sono assolutamente necessarie, o si può procedere con le grandi opere senza avere alcuna idea e alcun Piano di riassetto morfologico regolarmente approvato da qualche organo competente?

La Provincia cosa pensa al riguardo?

E siccome vedo qui che ci sono importanti relazioni, tra cui una del Magistrato alle Acque su questo tema, vi pongo la domanda.

Vorrei che questa mia domanda venisse dibattuta. Non mi pare una questione marginale da essere affrontata, anzi mi pare la questione fondamentale.

Sulle seconde e terze questioni vado molto rapidamente.

Vedo qui una relazione sulla *subsidenza* del veneziano. Come la mettiamo? Quale posizione ha la SIGEA a questo proposito? A me interessano, soprattutto in queste materie, i pareri tecnici, di competenti, non di comportamento politico.

I politici su queste questioni devono assumere le analisi tecniche più approfondite, più appropriate.

Questo è un Convegno che apprezzo particolarmente e ringrazio la SIGEA e la Provincia di Venezia di averlo organizzato, perché è un Convegno in cui la parte tecnico-scientifica è assolutamente predominante sulle questioni politico-amministrative.

Allora questa è una domanda precisa che vi faccio: io non conosco i criteri in base ai quali si calcolano o si prevedono questi fenomeni di subsidenza, però resto perplesso quando mi si dice che le previsioni riguardano un lasso di tempo dai dieci ai cinquanta anni.

Da un punto di vista della gestione corrente del territorio, questi dati mi sembrano ingestibili, mentre per prendere del-

le decisioni occorrono informazioni meno aleatorie, più sicure.

È fondamentale questo tipo di approccio, per una politica di salvaguardia che affronti i rischi geologici e idraulici connessi a questa straordinaria situazione della nostra regione.

Quindi, ripeto, mi aspetto delle indicazioni se non delle risposte da un Convegno così significativo e così importante.

Un altro aspetto (peraltro strettamente collegato a quello della subsidenza), sul quale il Comune di Venezia si è molto impegnato, senza avere per il momento avuto l'occasione di affrontarlo nel modo più opportuno, è il problema di procedere al *rialzo della città*; infatti siamo particolarmente esposti a uno dei rischi che questo territorio presenta, quello della frequenza dell'acqua alta.

Noi abbiamo avanzato al Comitato Interministeriale la richiesta di essere aiutati ad avviare una fase di sperimentazione significativa su questo aspetto, per porzioni importanti del nostro territorio, allo scopo di ottenere i finanziamenti per avviare queste operazioni in modo significativo, in modo concreto, tale da poter valutare, dopo una fase sperimentale di un certo periodo, se erano investimenti utili oppure no. Ci è stato risposto che sarebbe stato inopportuno avviare tali sperimentazioni.

Mi aspetto molto da questo Convegno a tal proposito. È una linea interessante, una linea importante, una linea che può essere utile per la città di Venezia, quella di pensare ad un progetto di rialzo dei monumenti, di alcuni settori della città. È una aspetto che ha un fondamento tecnico-scientifico sperimentato.

E allora vorrei che la Provincia, la Comunità scientifica, l'Università di questa città fossero con l'Amministrazione comunale per dire alto e chiaro, a chi di dovere, che occorrono dei finanziamenti per questa sperimentazione. Al momento non li abbiamo.

Concludo con un'altra questione fondamentale, senza la quale si chiacchiera solo sulla salvaguardia di Venezia, sulla sua rivitalizzazione, eccetera. Si tratta della bonifica di Marghera.

Se si continua con le beghe attuali, non ci sarà nessun riuso del territorio di Marghera. Infatti gli standard richiesti con i criteri imposti dalla legislazione vigente rendono assolutamente non economico l'intervento integrale, lo rendono cioè impossibile.

Questo problema lo stiamo dibattendo con le organizzazioni industriali, con i sindacati, da anni, ma invano.

La comunità scientifica, la SIGEA ci può dare una mano a questo proposito?

Può la comunità scientifica interiorizzare questo problema o non è compito suo?

Le procedure di bonifica sono queste, o

prendere o lasciare. Lascieremo. Lascerete.

La comunità scientifica ha idea di dare una mano su questo?

Insieme alla Provincia affrontiamo realisticamente questo tema?

Ho colto l'occasione per intervenire entrando, forse, un po' troppo nel merito, ma gli argomenti sono molto importanti e le relazioni in programma sono molto significative sugli argomenti che mi stanno a cuore.

Vi saluto nella forte speranza che gli amici, ingegneri, geologi, presenti a questa iniziativa possano aiutare a trovare alcune risposte ai problemi citati.

---

---

## Intervento

Giuseppe Gisotti

Presidente SIGEA

Società Italiana di Geologia Ambientale

**A**

nzitutto ringrazio la Provincia di Venezia che ha voluto collaborare con la nostra associazione per organizzare questo convegno e il Sindaco Cacciari, che ha posto in modo eloquente vari problemi sul tappeto.

Ringrazio anche la Società SOLES SpA perché ha contribuito a finanziare questo convegno e La Sintesi di Roma, che ci ha coadiuvato nella organizzazione.

Qual'è la filosofia della nostra associazione culturale senza fini di lucro?

Noi organizziamo corsi e convegni perché non siamo una associazione scientifica, siamo una associazione culturale per la diffusione delle scienze della terra, le scienze della terra applicate a risolvere i problemi correnti del territorio.

Abbiamo promosso e voluto fortemente organizzare i convegni riguardanti la geologia urbana. Questo sulla Geologia Urbana di Venezia segue quello sulla Geologia Urbana di Roma del novembre 2005. Le grandi città, le conurbazioni, sono i luoghi della Terra dove si concentra la gran parte della popolazione mondiale. Tali luoghi ad alta concentrazione demografica rappresentano, per chi ci vive, grandi opportunità di

accrescere le proprie conoscenze, le occasioni di lavoro, e così via, ma in essi sono presenti anche grandi rischi sia di origine naturale che antropica.

La Sigea ha cominciato con la geologia della città di Roma. Roma ha problemi diversi rispetto a Venezia: ad esempio l'instabilità di vari settori a causa di estese cavità sotterranee le cui volte crollano per motivi geologici e/o antropici, lesionando o provocando il cedimento dei manufatti soprastanti. Ma l'ambiente geologico urbano mette a disposizione dell'uomo anche delle risorse, come il sottosuolo che può ospitare i servizi oppure le risorse idriche sotterranee, oppure le risorse geotermiche.

Noi proponiamo di estendere l'indagine ad altre nostre grandi città, come Milano, dove il principale problema è il sollevamento della falda acquifera, che mette a rischio le strutture realizzate nel sottosuolo e i fabbricati soprastanti.

Per quanto riguarda i problemi affrontati dal sindaco Cacciari noi siamo qui oggi per trattare e parlare insieme alle autorità e al pubblico su quali siano i grossi problemi geoambientali ed eventualmente come affrontarli.

Dopo di me parleranno gli esperti, pertanto lascio a loro la trattazione scientifica e più circostanziata degli aspetti citati. Circa le spiegazioni di cui parlava il Sindaco Cacciari, rispondo brevemente con quanto posso attingere alla mia esperienza. Quando lavoravo al Ministero dell'Agricoltura e Foreste, fui nominato membro della Commissione di studio per indagare sulla subsidenza di Ravenna, dovuta in gran parte all'attingimento delle acque sotterranee per scopi industriali, civili, agricoli, balneari. Questa città presentava e presenta dei problemi simili a quelli di Venezia, per cui in seguito ai lavori della citata Commissione fu emanata la legge speciale per Ravenna, legge dello Stato che individuava gli interventi da realizzare e metteva a disposizione la somma necessaria. Ciò allo scopo di ripristinare, almeno in parte, le quote perdute e permettere quindi alla città una crescita adeguata. I problemi di Ravenna non

è che siano stati del tutto risolti, perché purtroppo la subsidenza è in parte un male irreversibile, ovvero una volta che si è fatto tutto il possibile per ripristinare il livello del terreno, solo una parte del materiale compattato può riprendere il suo volume iniziale (cosiddetta isteresi delle argille). Però qualcosa si può fare e infatti per il territorio di Ravenna si limitò moltissimo l'attingimento di acqua dai pozzi per contrastare l'abbassamento della falda acquifera, come anche per rimediare alla mancata risorsa idrica fu realizzato un invaso artificiale da cui attingere l'acqua.

Per finire, volendo l'uomo, con la sua scienza, con le sue conoscenze così come produce danni molto gravi al suo stesso territorio può anche ridurre, in maniera significativa, i problemi da lui stesso creati.

Per quanto riguarda il discorso che faceva Cacciari sui rapporti tra scienziati e politici, diciamo che gli scienziati hanno risolto dei grossi problemi, ma qualche volta certe conoscenze scientifiche non sono utilizzabili sul territorio, perché non permettono la loro messa in opera, per vari motivi, ad esempio perché i dati sono troppo vaghi. D'altra parte i politici non sempre stanno a sentire i pareri degli scienziati e sono tanti i casi in cui il mondo della scienza e della tecnica ha prodotto delle conoscenze che non sono state tenute in considerazione dai politici. Io stesso potrei ricordare alcuni episodi, nel campo della valutazione del rischio idrogeologico, nei quali le mie relazioni furono ignorate dai "decisori", qualche volta con danni gravi al patrimonio urbanistico in seguito al manifestarsi di calamità previste, ma voglio solo accennare al caso arcinoto della frana di Ancona (dicembre 1982) dove una collina, urbanizzata malgrado il parere contrario di vari esperti, fu soggetta a grandiosi movimenti gravitativi che devastarono ospedali, servizi, abitazioni, strade, linea ferroviaria, ecc.

Con questo io auguro ai relatori un buon proseguimento e al pubblico che trovi interessanti spunti per lo sviluppo delle sue conoscenze.

---

---

# La geologia nella pianificazione urbanistica

Marisa Fantin

Presidente Istituto Nazionale di Urbanistica  
Sezione Veneto

Da sempre il processo di pianificazione e gestione tanto delle aree ad alta concentrazione edificatoria che di quelle rurali presuppone la necessità di acquisire conoscenze dell'ambiente e delle risorse territoriali tali che sia possibile realizzare il progetto di studiare e incoraggiare quelle attività che sono compatibili con la situazione ambientale invece di modificare e costringere l'ambiente ad adattarsi ad esse.

La coscienza contemporanea della fragilità del contesto ambientale obbliga i programmi di modificazione e trasformazione del territorio, in particolare i piani e i progetti, a confrontarsi con la complessità dei rapporti che intercorrono tra specie viventi e ambiente:

- rapporti di continuità e indissolubilità in quanto le specie viventi non possono sottrarsi all'azione dell'ambiente;
- rapporti di specificità che si esplicano nel riconoscimento di differenti soglie di sensibilità;
- rapporti di reciprocità in quanto susseguirsi di azioni e retro-azioni.

All'interno della pianificazione urbanistica e territoriale l'esigenza di considerare i fattori ambientali come fattori determinanti per la comprensione degli assetti territoriali ha allargato la pratica di analisi pluridisciplinari: la geologia, lo studio della vegetazione e delle comunità animali in rapporto con la trasformazione storica dei paesaggi umani sono ricondotti ad un quadro globale. Le tematiche ambientali hanno rafforzato e innovato i significati del termine sistema; l'uso del termine testimonia la diffusione di modelli interpretativi di carattere relazionale che, diversamente da un modo di osservare gli oggetti, assoluti e discreti, mette al centro dell'osservazione il campo dei rapporti dinamici; il contesto non è più quindi interpretato come sfondo ma come

campo di relazione, ovvero ricerca della specificità ambientale, formale e funzionale, individuazione di differenze ed omogeneità, continuità e fratture, permanenze e trasformazioni.

Non stupisce quindi che anche la nuova legge urbanistica regionale veneta introduca la necessità della conoscenza geologica del territorio per una corretta pianificazione.

Tale richiamo è contenuto in modo esplicito nell'art. 2 "contenuti e finalità", dove tra le finalità della legge alla lett. e si cita: *messa in sicurezza degli abitati e del territorio dai rischi sismici e di dissesto idrogeologico*; nell'art. 13 "contenuti del PAT" dove, a proposito degli obiettivi di sostenibilità e delle trasformazioni ammissibili, si dice che *disciplina, attribuendo una specifica normativa di tutela, le invarianti di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica, paesaggistica, ambientale, storico-monumentale e architettonica, in conformità agli obiettivi ed indirizzi espressi nella pianificazione territoriale di livello superiore*; nell'art. 22 "contenuti del PTCP" dove si chiede di delineare gli obiettivi e gli elementi fondamentali dell'assetto del territorio in coerenza con ... *le sue caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, paesaggistiche ed ambientali*; inoltre alla lett. c si precisa: *definisce gli aspetti relativi alla difesa del suolo e alla sicurezza degli insediamenti determinando, con particolare riferimento al rischio geologico, idraulico e idrogeologico e alla salvaguardia delle risorse del territorio, le condizioni di fragilità ambientale*.

La VTR (art. 27) comprende obbligatoriamente al suo interno un rappresentante delle strutture regionali competente in materia di geologia e difesa del suolo.

Nell'art. 41 sono citate le zone di tutela e le fasce di rispetto che il PAT individua e disciplina e tra esse: *le aree sog-*

*gette a dissesto idrogeologico, a pericolo di valanghe ed esondazioni o che presentano caratteristiche geologiche e geomorfologiche tali da non essere idonee a nuovi insediamenti*.

Inoltre le conoscenze geologiche e la lettura delle caratteristiche del territorio hanno un ruolo importante nella cartografia di Piano, nella *carta dei vincoli* dove le voci che derivano dall'indagine geologica hanno un ruolo determinante sia attivo e diretto che nella configurazione e delimitazione di molti dei vincoli di legge; nella *carta delle invarianti* dove è prevista l'individuazione delle località dove è riconoscibile un interesse geologico e geomorfologico per la conservazione; nella *carta delle fragilità* che si appoggia sulla suddivisione del territorio comunale in zone idonee, idonee a condizione e non idonee oltre al riconoscimento delle aree interessate da fenomeni geologici, idrogeologici e idraulici che possono condizionare l'utilizzazione di un determinato ambito; infine nella *carta della trasformabilità* che deriva dalla valutazione di più elementi e indicatori tra i quali la conoscenza e la natura del territorio rivestono un ruolo determinante.

Non è un caso che l'indagine di tipo geologico costituisca parte integrante, obbligatoria e fondamentale dello strumento di pianificazione proprio nella fase di elaborazione strutturale-strategica della pianificazione. Essa infatti costituisce uno degli elementi fondamentali di una visione del territorio che prescinde dalle puntuali previsioni di trasformazione e si occupa in primo luogo di riconoscere l'assetto strutturale e in secondo luogo di assumere scelte e decisioni di lunga prospettiva e di carattere strutturale rispetto al territorio naturale e costruito.

In un contesto della progettazione urbanistica in cui in modo sempre più evidente la parola e il concetto di paesaggio si impongono nel lavoro di pianificazione,

la conoscenza della natura del territorio e della sua evoluzione assumono un ruolo fondamentale per diverse ragioni:

- la prima è quella che diversi territori producono paesaggi diversi perché nel tempo la relazione e lo scambio tra modalità di occupazione, tecniche culturali, permanenze dei segni, riproposizione dei tracciati hanno condizionato il lavoro dell'uomo nel modificare il paesaggio;
- la seconda dipende da come diverse condizioni del terreno hanno modificato i modelli costruttivi e condizionato l'immagine dell'architettura stessa. Ciò che oggi chiamiamo tradizione, modello tipologico, caratteri costruttivi dipendono in buona misura dalle esigenze abitative e operative, ma anche dalle condizioni che i terreni hanno imposto agli insediamenti, fino a provocare anche in modo manifesto e dichiarato la non raggiunta armonia tra assetto territoriale e modello insediativo. Le città del passato che sono state distrutte o fortemente trasformate dalle dinamiche fluviali piuttosto che dalla franosità dei versanti o da altre cause di questo tipo, testimoniano di questo rapporto a volte difficile tra terreno e costruzione;
- la terza dipende proprio dal nuovo modo di concepire il paesaggio che si è imposto all'attenzione con forza dopo l'approvazione della *Convenzione Europea del paesaggio* del 2000 nella quale si è chiaramente definito che il paesaggio non è solo da considerare sotto il profilo percettivo, ma anche in termini di capacità e qualità d'uso, di testimonianza della memoria delle popolazioni, dei loro usi e costumi di vita.

In questo senso il contributo che la geologia può apportare va ben al di là di una ricerca di vincoli da imporre all'espansione urbanistica o di prescrizioni normative da imporre all'architettura. Molto più in-

teressante l'approccio al territorio come sistema ecologico, caratterizzato da un grado di entropia, ma anche di autoregolazione, di relazioni continue tra città e territorio in cui va ricercato il migliore equilibrio tra i fattori. L'indagine geologica in questo senso diventa un contributo fondamentale alla costruzione di un modello ambientale che tenga conto di tutti i fenomeni fisici e morfologici.

La pianificazione urbanistica è oggi inevitabilmente multidisciplinare, non esiste un ruolo professionale capace di coprire tutte le conoscenze e le specificità che la complessità del territorio richiede. Viceversa ciascuna professionalità deve essere in grado di porsi in relazione con le altre sia in termini di contributo scientifico che di capacità di trasmissione e condivisione delle proprie conoscenze. Anche alla geologia è dunque chiesto di svolgere un ruolo che non può risolversi nella sola individuazione della pericolosità fisica del territorio o nella valutazione della fattibilità degli interventi che di solito costituisce un'operazione di sintesi da effettuarsi a scelte di piano. Al geologo è chiesta la capacità di condividere le proprie conoscenze e studi con il gruppo di lavoro descrivendo e interpretando i fenomeni geologici cercando di delineare le regole fondamentali alle quali il territorio ancora risponde nonostante lo stratificarsi delle attività antropiche. In questo modo le indagini geologiche concorrono alla costruzione di un sistema ambientale entro il quale gli elementi idrogeomorfologici, vegetazionali e paesaggistici opportunamente interpretati nelle loro dinamiche evolutive acquistano una forte valenza progettuale.

La componente e l'esperienza geologica costituiscono un contributo importante nella lettura dell'assetto del paesaggio sia naturale che costruito e conferiscono contributi e sostegno scientifico all'indagine di Piano.

L'andamento della rete viaria, le pendenze dei terreni, la presenza di particolari apparati vegetazionali, lo stesso modello insediativo sono più facilmente comprensibili e descrivibili se si ha conoscenza del terreno su cui appoggiano, sia nel caso che abbiano un rapporto armonico con esso, sia nei casi di conflitto.

Così come la lettura dell'evoluzione storica, delle ragioni sociali ed economiche, del configurarsi di determinati assetti contribuiscono a darci le motivazioni di una determinata condizione, ci aiutano a comprendere la trasformabilità di un territorio, altrettanto possono fare le indagini di tipo agronomico e geologico. Il problema, ad esempio, della regimazione delle acque è entrato prepotentemente nella pianificazione urbana non solo perché la città si è espansa negli ambiti di pertinenza fluviale, ma piuttosto perché non si è risolto il rapporto funzionale con il territorio.

Una visione integrata dei problemi si impone soprattutto nella odierna condizione in cui, almeno nella cultura disciplinare, ma in fondo anche nella pratica operativa, gli obiettivi di tutela, recupero e valorizzazione prevalgono su quelli d'uso. Gettare un ponte interpretativo tra i diversi settori di indagine consente di giungere a valutazioni complessive e comuni secondo una visione integrata dei problemi con particolare riferimento al tema del paesaggio.

Questo apre ad un progetto di pianificazione che, proprio perché prende le basi dalla lettura del paesaggio, si articola e si fonda su almeno tre momenti di pianificazione che consentono a tutte le discipline in gioco di avere un ruolo paritetico e di dialogo. Il primo coincide con l'azione di riconoscimento all'interno del sistema territorio delle unità di paesaggio in quanto ambiti territoriali omogenei che tengono conto degli elementi caratterizzanti, dell'equilibrio dei processi evoluti-

vi in atto, della possibilità di valutare la coerenza delle scelte urbanistiche che si andranno a proporre e che consentano di mettere a punto una normativa tecnica appropriata. Il secondo si esplica nella predisposizione di una carta della memoria storica nella quale siano messe in luce le dinamiche evolutive, gli elementi e le invariabili di natura antropica, la loro persistenza, scomparsa e grado di alterazione, mettendo in luce i punti di conflittualità eventuali generatisi nel corso dell'espansione urbana e infrastrutturale. Infine il terzo è rappresentato dalla costruzione della carta del sistema ambientale che utilizzando indicatori significativi evidenzia le situazioni di criticità o fragilità in relazione a tutti gli approcci molteplici previsti per la tematica territorio.

Credo che oggi il territorio, complicato, difficile, rischioso, inospitale, ricco di domande e di aspettative le più diverse e a volte contrastanti, chieda alla pianificazione una capacità di risposta che non sta certo nella soluzione di tutti i problemi posti sul tappeto, ma che comunque non può essere come in passato patrimonio di una sola disciplina che si fa raccoglitore e interprete di tutti i contributi. Per questo a ciascuna professione, nel ruolo che gli è proprio, è chiesta la capacità di collaborare e di sapere comunicare le ragioni e gli obiettivi delle proprie scelte con grande competenza e al contempo chiarezza, soprattutto all'interno di un confronto che investe numerose tematiche che vanno dalla disciplina urbanistica, alle pianificazioni di settore come quelle che riguardano la mobilità, il rumore, lo smaltimento delle acque e dei rifiuti solo per citarne alcune.

La progettazione del territorio è tutto questo e anche qualcosa in più e questo va al di là di qualunque normativa urbanistica e richiede invece una profonda riflessione professionale e la capacità di

adeguarsi alla contemporaneità delle trasformazioni, ai bisogni espressi ma anche nascosti, alla disponibilità, al confronto e alla relazione tra i ruoli per arrivare a risposte il più possibile adeguate e concrete.

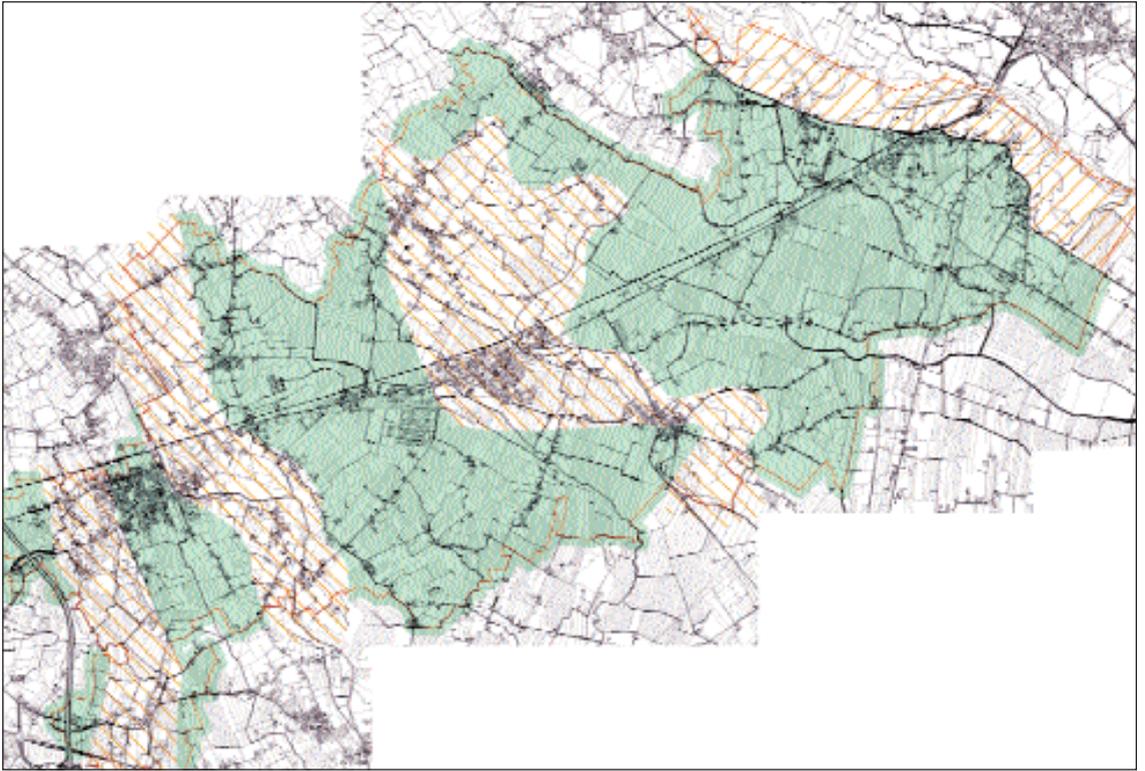
*Gli studi che seguono mettono a confronto le analisi geologiche con la lettura urbanistico-architettonica del paesaggio e fanno parte degli elaborati del Piano di Assetto del Territorio del Comune di San Biagio di Callalta (Treviso), in fase di stesura. Il gruppo di lavoro che sta redigendo il piano è composto per la parte urbanistica da Francesco Sbeti, Marisa Fantin, Franco Mancuso, Fiorenzo Zanin e per la parte geologica da Giuseppe Negri.*

## ORTOFOTO



San Biagio è caratterizzata da un tessuto insediativo diffuso che interessa ogni parte del territorio comunale con densità e caratteri diversi: più consistente in prossimità della strada Callalta e dei nodi viari importanti, più rarefatto mano a mano che ci si inoltra nella zona agricola. All'interno di questo sistema di città diffusa è riconoscibile una continuità che, malgrado le rilevanti trasformazioni economiche di questi ultimi cento anni, è tuttora leggibile nel modello di sviluppo.

## CARTA GEOLITOLOGICA



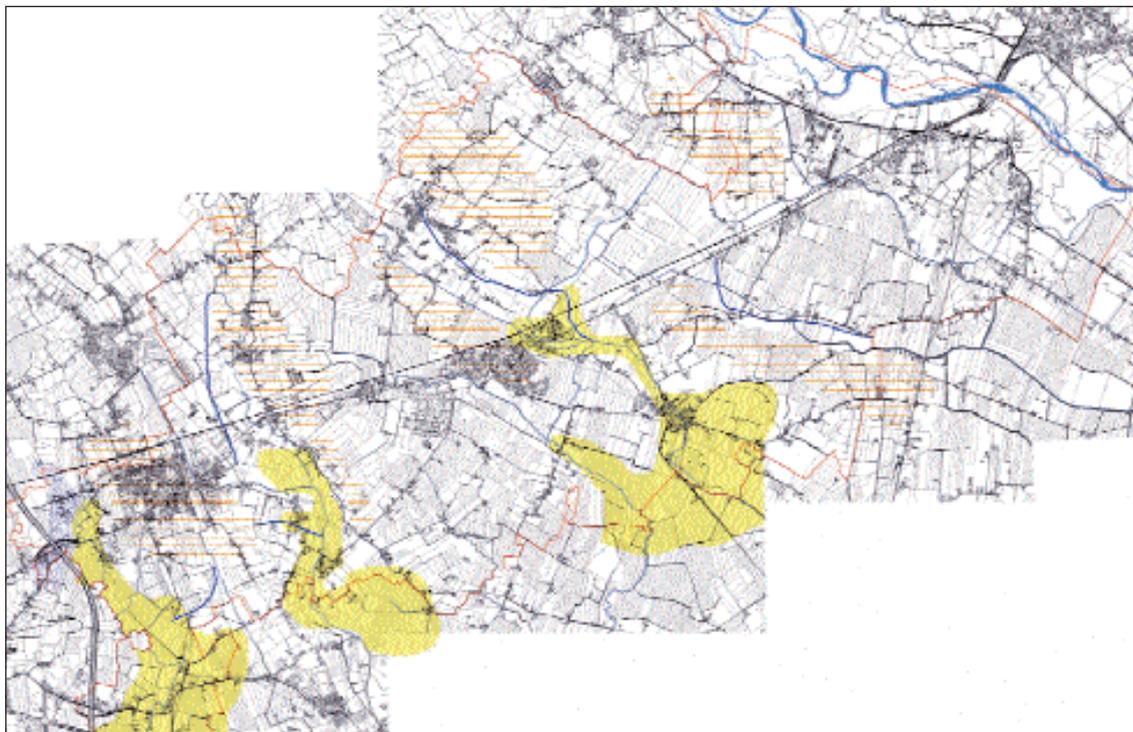
Sono state individuate 3 classi di terreno, la cui suddivisione è avvenuta su termini essenzialmente granulometrici essendo le varie formazioni praticamente coeve, fatta eccezione per le ghiaie dentro l'alveo del Piave. Il modello indica la presenza di facies estremamente varie che spaziano dai limi alle ghiaie.

Il territorio in esame si trova in una zona dove la conoide post wurmiana più antica è parzialmente ricoperta da alluvioni dei torrenti locali; le due formazioni sono ben separabili per la diversa distribuzione del fuso granulometrico, le alluvioni del Piave hanno una distribuzione granulometrica che indica un trasporto mediamente veloce.

I terreni appartenenti alla prima classe rappresentano la maggior parte dei litotipi affioranti o subaffioranti nel territorio comunale, essi sono maggiormente diffusi verso Est dove sono ben rappresentate le componenti limo sabbiose.

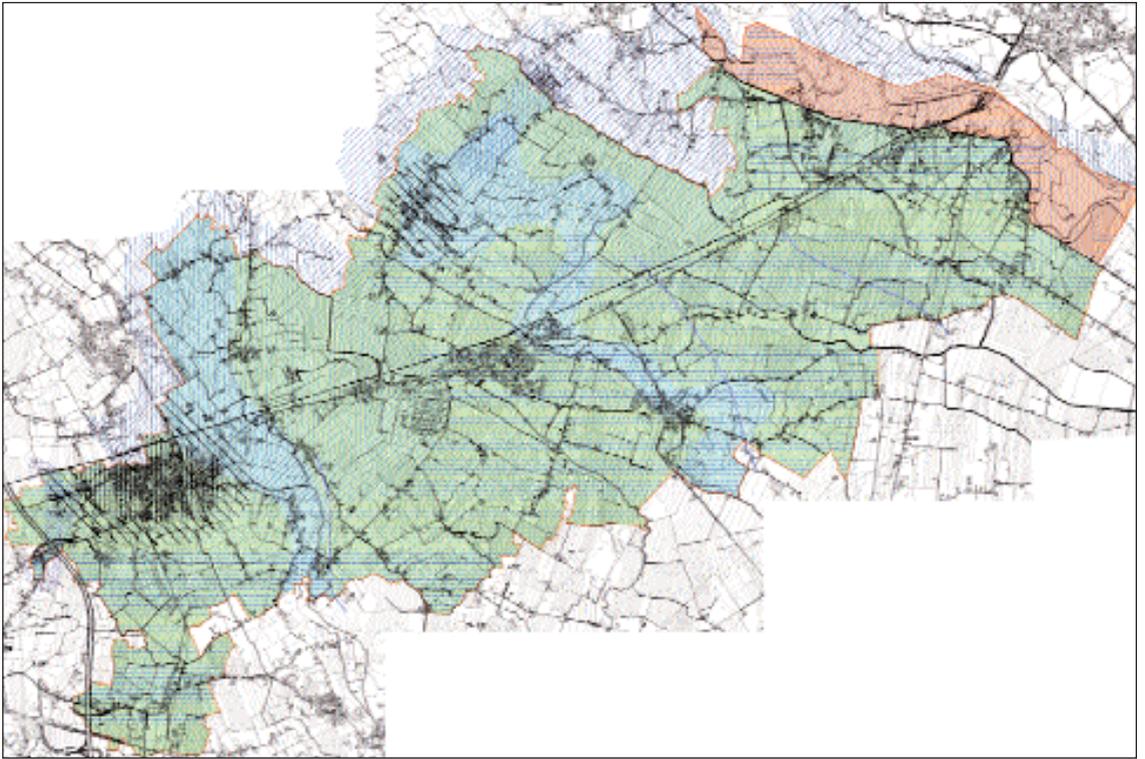
I terreni appartenenti alla seconda classe si trovano in corpi allungati nella direzione Nord Sud e diventano prevalenti per estensione ed importanza verso Ovest. Una terza classe è stata individuata nelle alluvioni ghiaiose attuali affioranti all'interno dell'alveo del Piave; si tratta di depositi attuali prevalentemente grossolani anche se non mancano corpi lenticolari sabbiosi.

## CARTA GEOMORFOLOGICA



Il comune di San Biagio di Callalta si trova nella zona di cerniera tra l'Alta e Bassa Pianura Veneta, divisione marcata dalla fascia delle risorgive. I lineamenti morfogenetici del territorio in esame appartengono comunque alla bassa pianura sia per la distribuzione e assetto della rete idrografica sia per l'assetto geografico generale. In particolare i valori di pendenza del piano campagna appartengono al dominio della fascia più meridionale della pianura veneta trevigiana. Sono da attribuirsi ad elementi peculiari della parte settentrionale della pianura la particolare successione di "alti" con aree leggermente depresse su assi ancora impostati Nord/Sud ; successione evidente nell'area centrale del territorio comunale. La valenza applicativa di questo assetto è notevole in quanto da esso dipendono direttamente le geometrie delle aree soggette a rischi idraulico, e per negativo delle aree maggiormente sicure. Da sottolineare come esista una sostanziale coincidenza tra i nuclei urbani storici e le aree relativamente elevate, fa eccezione solo un borgo nell'area a Sud la cui elevata penalità (area soggetta a rischio ed interessata in passato da alluvioni) si è venuta a determinare per variazioni a valle dell'assetto idraulico del fiume.

## CARTA IDROGEOLOGICA



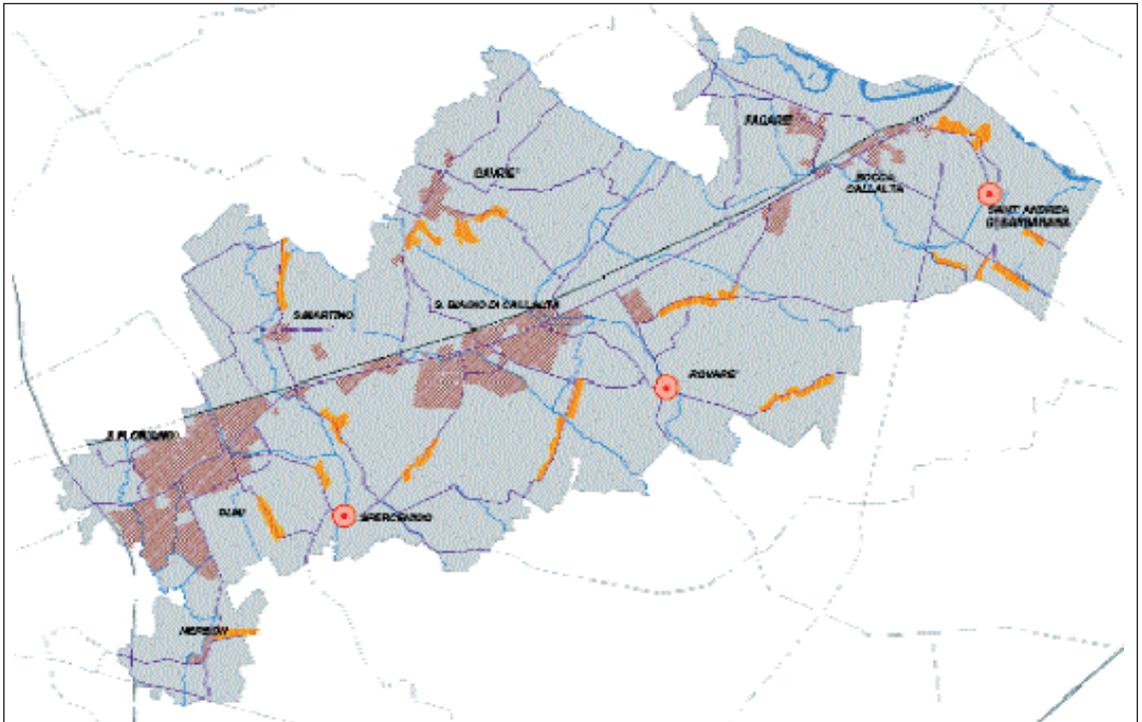
Il territorio di San Biagio è attraversato dal limite inferiore della fascia delle risorgive, e quindi l'area è posizionata nella zona fascia di transizione tra l'Acquifero Superiore indifferenziato ed il complesso multifalda tipico della bassa pianura. Da un punto di vista applicativo e conoscitivo del paesaggio assume importanza la posizione della prima falda, essa viene intercettata a profondità variabile a seconda dell'area. Nella maggior parte del territorio la falda viene intercettata a profondità minore di 1 m. Va comunque sottolineato che questa prima presenza idrica può avere diverse componenti, non ultima un ristagno al limite copertura agraria permeabile, depositi fini non manomessi e quindi relativamente impermeabili. Verso Nord la falda tende ad approfondirsi e diventa intercettabile a profondità maggiore di 1.5/2.0 m. Nella fascia centrale si ha ovviamente una transizione di profondità che diventa evidente in corrispondenza alle aree topograficamente più basse. Non è stato rilevato nessun legame tra la litologia e la presenza della falda, questo perché i terreni appartengono in ogni caso alle porzioni permeabili del fuso granulometrico e quindi consentono lo scambio orizzontale dei corpi idrici.

## KRIEGSKARTE DI ANTON VON ZACH (1798-1805)



Lo sviluppo del territorio, come dimostra il confronto con la Kriegskarte di Anton Von Zach (1798-1805), è avvenuto senza cancellare le tracce del passato, ma si è accostato, sovrapposto alle matrici originarie, che sono ancora leggibili e riconoscibili.

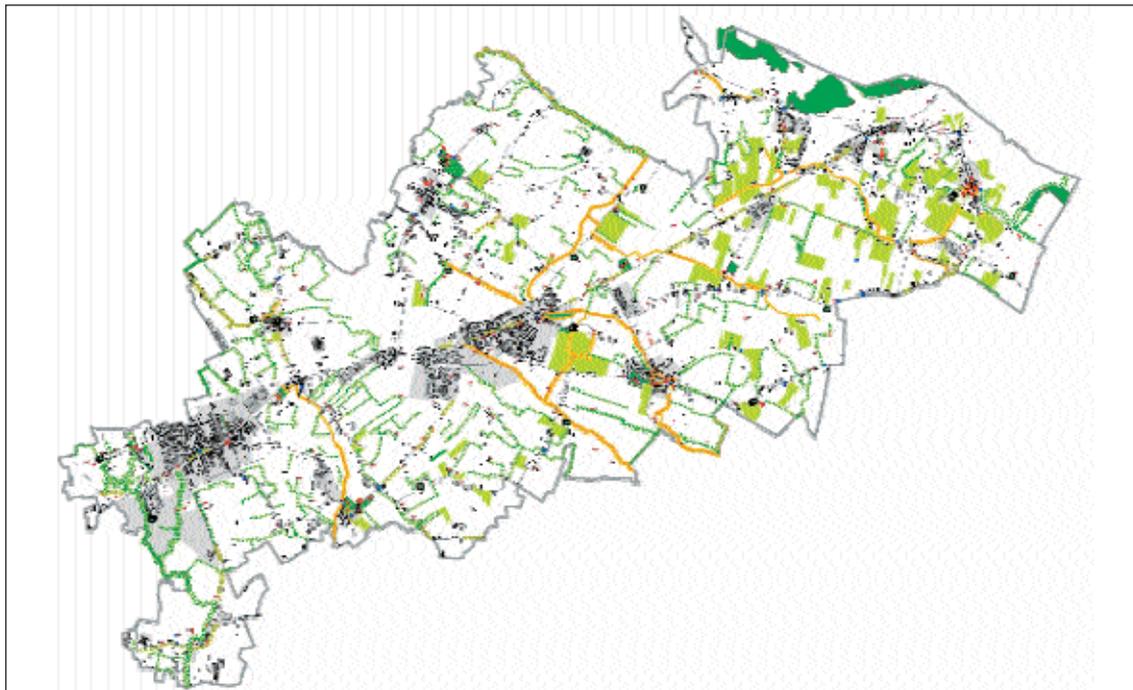
## CARTA DEL SISTEMA INSEDIATIVO



Contrariamente a quanto avviene per altre città venete San Biagio non ha mantenuto il centro storico più antico come cuore dell'insediamento urbano. Sono infatti nelle più piccole frazioni sparse sia a nord che a sud della Via Postumia a rappresentare, assieme ai complessi rurali delle ville, le matrici storiche sulle quali si è sviluppato l'attuale tessuto. Qui sono concentrati i nuclei storici e le testimonianze architettoniche del passato. Ciascuna frazione conserva una propria identità e riconoscibilità e una relativa autonomia, in quanto a dotazione di attrezzature pubbliche, rispetto ai luoghi centrali. Sono, procedendo da ovest verso est, San Floriano, San Martino, Cavrie e Fagarè quelle a nord della statale; a sud Nerbon, Spersengo, Rovarè e Sant'Andrea di Barbarana.

San Biagio e Olmi sono i due nuclei abitati più consistenti, entrambi dislocati lungo la Postumia, cresciuti su una fitta maglia edificata delimitata a nord dal tracciato della linea ferroviaria Treviso-Portogruaro e a sud estesi senza una precisa delimitazione, ampliati nel tempo in base al fabbisogno di nuove aree residenziali e produttive. Gli ispessimenti di costruzioni più consistenti sono quelli generati dalla strada statale lungo la quale si sono accostate nel tempo le aree edificate formate da un tessuto che è la somma di capannoni, villette, palazzine, contenitori commerciali, semplicemente accostati lungo il fronte strada e organizzati, invece, in lottizzazioni dotate di viabilità e regolamentate negli accessi e nelle tipologie a mano a mano che ci si allontana dalla strada verso sud.

## CARTA DEL PAESAGGIO



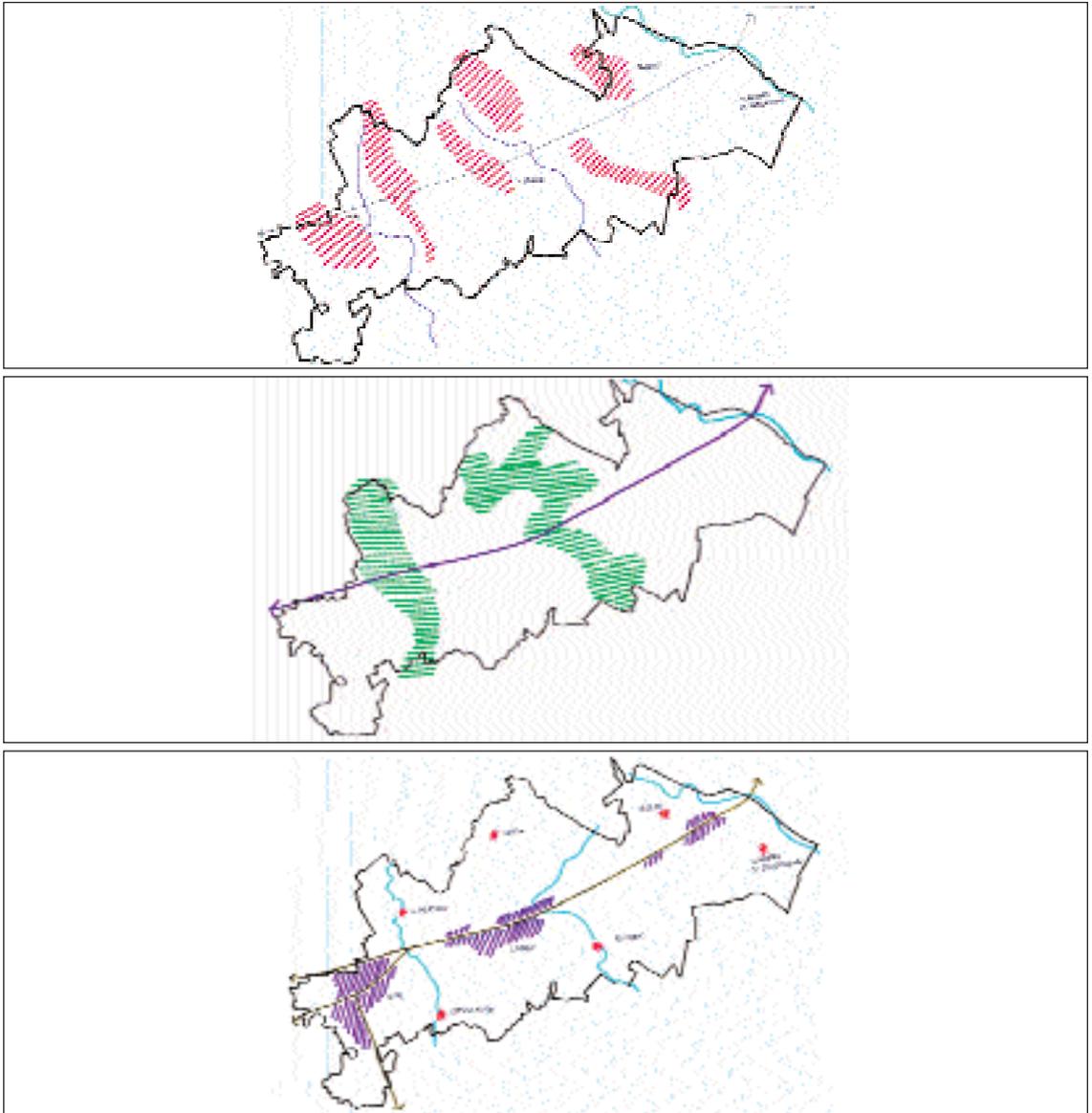
Il paesaggio di San Biagio di Callalta è l'esito della sovrapposizione dei diversi eventi storici e dei mutamenti che nel corso del tempo sono stati apportati per meglio adeguarlo alle necessità e agli eventi. Gli elementi in cui si articola sono costituiti dall'acqua, dalla vegetazione, dalle trame agricole storiche, dai caratteri morfologici dei siti.

Il fiume Piave che costeggia il confine comunale a nord-est è una presenza di grande valore paesaggistico e di indubbia riconoscibilità, rafforzata dalle ampie aree marginali che accompagnano il letto del fiume e che si estendono fino alla provinciale 57, quasi del tutto libere da edificazioni. È il tracciato stradale, infatti, che da un lato definisce l'ambito fluviale e sull'altro, verso l'interno del territorio comunale collega le frazioni di Fagarè, Bocca di Callalta e Sant'Andrea di Barbarana. Ma la presenza del Piave si riconosce anche nei territori più a sud-ovest dove corsi d'acqua minori, strade, suddivisioni del territorio agricolo proseguono con andamenti paralleli al corso del fiume, lasciando ancora leggibili le tracce dei paleoalvei soprattutto in prossimità della frazione di Rovarè. La fitta rete delle acque organizza la sequenza dei campi coltivati, perimetra gli ambiti, determina gli andamenti e le pendenze.

Sono i tre fiumi, Nerbon, Musestre e Meolo, i corsi d'acqua che lungo il tragitto si relazionano e intrecciano con i borghi rurali di un tempo e con il tessuto edificato recente.

Il sistema delle permanenze ha, nella fitta rete idrografica rappresentata dai corsi d'acqua minori, quasi sempre affiancati da un apparato vegetativo che ne completa la struttura e li rende facilmente riconoscibili, uno degli elementi più rilevanti ed estesi.

## CONFRONTO TRA STRUTTURA GEOMORFOLOGICA E MODELLO INSEDIATIVO



Il primo schema mette in evidenza le zone altimetricamente più elevate, il secondo gli ambiti in cui la falda è meno profonda, il terzo il modello insediativo caratterizzato dalla costruzione lungo la strada Callalta e dalla presenza dei nuclei storici.

E' evidente come le caratteristiche del terreno e gli insediamenti storici coincidono su una maglia che ha nel sistema dei corsi d'acqua la sua matrice originaria, mentre gli insediamenti recenti dipendono in misura esclusiva dalla presenza delle infrastrutture e si sviluppano indifferenti alla struttura del territorio.

---

---

# Il ruolo del geologo nella geologia urbana

Danilo Belli

Presidente Ordine dei Geologi del Veneto

## 1. Introduzione

Parlare di geologia in ambiente urbano può apparire una forzatura giacché l'ambiente fisico può risultare in tutto o in parte occultato da interventi antropici, quali costruzione civili e industriali, infrastrutture, argini, terrapieni, riempiimenti e altri interventi di modellazione dell' ambiente fisico.

Invece proprio perché la fisicità dell'ambiente e quindi anche gli aspetti geologici sono occultati dall'intervento umano anche attraverso stratificazioni succedutesi nel tempo, ecco che il ruolo del geologo è fondamentale per poterli mettere correttamente in evidenza e relazione, per coglierne gli aspetti critici, per sottolineare quelli potenzialmente utili all'ambiente urbano.

Attraverso l'analisi della normativa sulle costruzioni si cercherà di evidenziare il ruolo e il contributo del geologo in ambito urbano.

### 1.1. Geologia in ambito urbano

E' doveroso sottolineare che in ambito urbano sono comunque sempre presenti tutti gli aspetti geologici, anche in presenza di un tessuto densamente costruito che può renderli immediatamente non riconoscibili o ingenerare una fuorviante percezione di non rilevanza degli stessi.

Infatti la presenza del tessuto urbano (e infrastrutturale) può, a torto o a ragione, finire per ingenerare una percezione sfalsata del rapporto con l'ambiente fisico e della rilevanza dei fenomeni, anche geologici, che lo coinvolgono, trasmettendo una percezione di sicurezza o irrilevanza, nei riguardi di fenomeni ed elementi comunque presenti e sempre potenzialmente attivi.

## 1.2. Modello geologico o inquadramento geologico

Innanzitutto va ribadita la necessità di affrontare queste tematiche attraverso un approccio interdisciplinare, favorendo l'utilizzo di un linguaggio comprensibile e applicabile nel mondo tecnico scientifico, orientando il contributo geologico alla efficacia progettuale, alla concreta utilità nella pianificazione territoriale, orientando le valutazioni sulla pericolosità e sul rischio su parametri il più oggettivamente comprensibili e valutabili, secondo gli schemi e gli approcci condivisi dallo stato dell'arte.

Va sottolineato anche che spesso non è facile declinare le realtà e le complessità geologiche alla luce delle esigenze concrete (tempistiche) e delle norme, facilmente meno elastiche e comprensive della creatività (e quindi delle sorprese!) dell'ambiente fisico.

Un approccio innovativo certamente viene dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (D.M. 14.9.2005) in cui al punto 7.2.1 si tratta della "Modellazione geologica del sito" esplicitandone i contenuti.

«Il modello geologico del sito deve essere orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Esso deve essere sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e a grande scala e del programma delle indagini.

Il modello geologico di riferimento sarà validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza dell'opera».

E' evidente l'accento innovativo posto sulla valutazione della pericolosità, il riferimento alla utilità progettuale del modello geologico e le necessità che indagini specifiche (commisurate all'importanza dell'opera) supportino e validino la coerenza dello stesso.

In questo senso pertanto devono essere compiutamente valutati i fenomeni storici, potenziali e in atto, i loro tempi di ritorno, tenendo presente che vanno confrontati con la vita utile dell'opera da realizzare, quest'ultima fissata nelle stesse *Norme tec-*

*niche per le costruzioni* in 50 o 100 anni rispettivamente per le strutture di classe 1 e 2 (punto 2.5).

E' pertanto auspicabile che la modellazione geologica caratterizzi tutti gli elementi utili e tutti i fenomeni rilevanti nell'ottica sopra esposta, evitando di scivolare su aspetti, sia pur geologici, non pertinenti con i termini imposti dalla normativa.

Ecco allora evidente che la modellazione geologica è un'operazione assai diversa dall'inquadramento geologico, che è di fatto un atto indifferenziato rispetto all'intervento, che può essere redatto e applicato genericamente ad un territorio.

Il nuovo approccio normativo invece pretende che il contributo del geologo nella modellazione geologica sia rapportato alla tipologia di intervento e che quindi sia specifico e puntuale, come lo sono ogni tipo di intervento progettuale.

## 2. Le competenze del geologo (DPR 5 giugno 2001 n. 328)

La normativa italiana (DPR 5 giugno 2001 n. 328) oggi attribuisce al geologo le competenze relative ad «attività implicanti assunzione di responsabilità di programmazione e di progettazione degli interventi geologici e di coordinamento tecnico-gestionale, nonché le competenze in materia di analisi, gestione, sintesi ed elaborazione di dati relativi alle attività ...» (art. 41).

Lo sviluppo normativo ha trasformato nell'arco di una quarantina d'anni il professionista geologo da rilevatore e consulente a geologo "Progettista" degli interventi geologici.

Non è un passaggio indifferente e la transizione non è completata, perché la funzione di progettista implica sia un'assunzione di responsabilità piena, ma anche un bagaglio tecnico e culturale assai articolato.

La progettazione infatti è un processo (anche formale) che trascende il dimensionamento tecnico degli interventi, per occuparsi di qualificazione e quantificazione del progetto in termini amministrativi e normativi, spaziali, temporali, economici, esecutivi e via dicendo.

## 2.1 Il ruolo del geologo in ambito urbano

Se il contesto geologico (e più dettagliatamente geomorfologico, geologico, idrogeologico, geotecnico, storico-stratigrafico, archeologico, ambientale, di protezione civile...) in ambito urbano può non apparire con immediatezza, non per questo è meno significativo e privo di rilevanza.

Ricorrendo ad esempio ai concetti di Pericolosità (P), Vulnerabilità (V) e Rischio (R) secondo il metodo Buwal' così come definiti nel *Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione*:

$$\text{si ha che } R = P \times V$$

e risulta immediato come a parità di pericolosità P, il rischio sia decisamente più elevato in ambito urbano rispetto ad altri contesti, sia per l'esposizione di vite umane, che dei beni immobili e dei beni funzionali (infrastrutture,...).

Infatti lo stesso grado di pericolosità può portare a rischi maggiori sia nella pianificazione (rischio idrogeologico, sismico, idraulico, vulcanico) che nelle costruzioni (progettazione), per cui il ruolo e le responsabilità del geologo possono essere assai rilevanti, più rilevanti di quanto non possa apparire di primo acchito.

Ne discende pertanto che il contributo professionale è spesso molto significativo e rilevante, è comunque necessario al fine di evidenziare le pericolosità e deve essere sempre apprezzato (nel senso di acquisirne la valutazione) al fine di escludere i rischi possibili.

## 2.2. Contenuti della relazione geologica per le costruzioni

Il D.M. 11.3.88 al punto B.5 recita che «la relazione geologica deve comprendere ed illustrare la situazione litostratigrafica locale, con definizione dell'origine e della natura dei litotipi, del loro stato di alterazione e fessurazione e della loro degradabilità, i lineamenti geomorfologici della zona, nonché gli eventuali processi morfologici e dissesti in atto o potenziali; deve precisare inoltre i caratteri geostrutturali ge-

nerali, la geometria, e le caratteristiche delle superfici di discontinuità e fornire lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea».

È evidente come il vecchio approccio normativo manchi del riferimento al comportamento del sito in relazione al tipo di opera da progettare, mentre invece nella formulazione del D.M. 14.9.2005 *Norme tecniche per le costruzioni* laddove si parla di Modellazione geologica del sito<sup>2</sup> è immediato e stringente il riferimento al sito, al territorio, all'opera, all'utilità progettuale e alle necessità di indagini specifiche proporzionate all'opera che ne supportino la validità.

## 2.3. Contenuti e responsabilità per le opere pubbliche

In materia di lavori pubblici il *Codice dei contratti pubblici di lavori, servizi, forniture* (Dlgs 12 aprile 2006, n. 163), mantiene l'articolato già presente nella precedente Legge ("Merloni") e recita all'art. 91 comma 3:

«In tutti gli affidamenti di cui al presente articolo l'affidatario non può avvalersi del subappalto, fatta eccezione per le attività relative alle indagini geologiche, geotecniche e sismiche, a sondaggi, a rilievi, a misurazioni e picchettazioni, alla predisposizione di elaborati specialistici e di dettaglio, con l'esclusione delle relazioni geologiche, nonché per la sola redazione grafica degli elaborati progettuali.

Resta comunque impregiudicata la responsabilità del progettista».

Al di là della poco lineare formulazione è rilevante come il geologo sia direttamente responsabilizzato dalla stazione appaltante che lo mette al riparo da possibili pressioni progettuali, prevedendo di affidargli direttamente l'incarico.

È notevole come il legislatore abbia voluto attribuire solo al geologo, parimenti al progettista, questa linea diretta di responsabilità.

### 2.3.1. La legge regionale del Veneto per i lavori pubblici

In materia di Lavori pubblici la Regione Veneto ha emanato proprie disposizioni

normative contenute nella L.R. 27/03 *Disposizioni generali in materia di lavori pubblici di interesse regionale e per le costruzioni in zone classificate sismiche*, in cui prevede esplicitamente, laddove identifica le funzioni del Responsabile del procedimento (art. 6 comma 4) che «le amministrazioni aggiudicatrici sono tenute altresì a nominare, su motivato giudizio del responsabile unico del procedimento, ovvero qualora la buona esecuzione dei lavori dipenda in maniera determinante dagli aspetti geologici, un geologo responsabile dei lavori geologici previsti».

È evidente come il legislatore Veneto abbia voluto dotare il responsabile del procedimento di uno strumento efficace per vagliare anche in fase esecutiva possibili interferenze dell'opera con gli aspetti geologici, ove non sufficientemente apprezzati in fase progettuale, al fine di consentire una esecuzione dei lavori adeguata alle problematiche geologiche e garantire la corretta realizzazione dell'opera.

### **2.3.2. Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici (DPR 21 dicembre 1999 n. 554)**

Il regolamento sui lavori pubblici all'art. 27 "Relazione geologica, geotecnica, idrologica e sismica" al punto 1 recita «la relazione geologica comprende, sulla base di specifiche indagini geologiche, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura e dei caratteri fisici del sottosuolo, definisce il modello geologico tecnico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli spetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici, nonché il conseguente grado di pericolosità geologica e il comportamento in assenza e in presenza delle opere».

Appare evidente la transizione normativa (1999) del contenuto delle prestazioni professionali del geologo tra gli enunciati del DM 11.3.88 e quelli del DM 14.9.2005.

### **2.4. Contenuti della relazione geotecnica per le costruzioni**

In merito alle prestazioni geotecniche il D.M. 11.03.1988 recita al punto B.5: «Essa

deve comprendere ed illustrare la localizzazione dell'area interessata, i criteri di programmazione ed i risultati delle indagini in sito ed in laboratorio e le tecniche adottate, nonché la scelta dei parametri geotecnici di progetto, riferiti alle caratteristiche della costruenda opera, ed il programma di eventuali ulteriori indagini, che si raccomandano per la successiva fase esecutiva».

Secondo l'art. 27 del Regolamento sui LL.PP. (D.P.R. 554/1999) la relazione geotecnica «definisce, alla luce delle specifiche indagini geotecniche, il comportamento meccanico del volume terreno influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che a sua volta influenzerà il comportamento del manufatto stesso.

Illustra inoltre i calcoli geotecnici per gli aspetti che si riferiscono al rapporto del manufatto con il terreno».

Il DM 14.9.2005 prevede al punto 7.2.2 (Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica) che «La caratterizzazione geotecnica consiste nella individuazione, in funzione del tipo di opera e/o intervento, delle caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche del terreno, necessarie alla definizione del modello geotecnico, alla valutazione della sicurezza, della funzionalità in relazione alle prestazioni attese, durabilità e robustezza delle opere.

I parametri fisici e meccanici da attribuire ai terreni, espressi questi ultimi attraverso valori caratteristici, devono essere desunti da specifiche prove eseguite in laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e/o attraverso l'elaborazione dei risultati di prove e misure in sito.

È responsabilità del progettista definire il piano delle indagini e la caratterizzazione geotecnica corrispondente alle diverse fasi di progetto (preliminare, definitivo ed esecutivo), tenendo conto anche delle ulteriori indagini e studi che dovranno essere svolte durante l'esecuzione dell'opera.

Le indagini e le prove devono essere eseguite e certificate dai laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380. I laboratori su indicati faranno parte dell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture

e dei Trasporti.

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione potrà essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista sulle ipotesi e sulle scelte progettuali».

Emerge come il dettato normativo non solo si arricchisca di elementi chiarificatori e di indirizzo, ma passi anche irreversibilmente dall'approccio deterministico della norma precedente (DM 11.3.88) allo statistico-probabilistico dell'attuale (DM 14.9.2005) in sintonia con gli indirizzi tecnici europei in materia (cfr. Eurocodici).

### **3. La progettazione in ambito urbano**

Di seguito si elencano in breve sintesi gli aspetti più rilevanti in materia di progettazione geologica in ambito urbano, illustrandone qualche esempio.

Si tratta di una carrellata di elementi fondamentali, certo non esaustivi, comunque da rapportare all'importanza e alle caratteristiche dell'opera.

#### **3.1. La geologia senso stretto**

La modellazione geologica prevede un inquadramento del contesto geologico, comprendente la struttura geologica, la stratigrafia dei terreni, le tipologie geotecniche e geomeccaniche, le eventuali eteropie, la presenza di corpi sepolti, le caratteristiche del substrato roccioso, anche in previsione della realizzazione di indagini geognostiche e/o geofisiche.

Devono essere valutati gli aspetti rilevanti anche in termini di risposta sismica del sito.

In presenza di strutture importanti infine non deve essere sottovalutata la composizione chimica mineralogica dei terreni in ragione della compatibilità con i materiali da impiegare.

#### **3.2. La geomorfologia**

L'analisi geomorfologica deve eviden-

ziare eventuali dissesti storici, analizzare quelli in atto ed escludere la presenza di quelli potenziali. Particolare attenzione va posta al fatto che gli elementi relativi ai dissesti storici possono essere stati cancellati dalla realizzazione di opere o dal progredire del tessuto urbano.

Inoltre devono essere compiutamente valutate le instabilità dei versanti intorno al tessuto urbano.

Infatti la presenza di edifici (in condizioni stabili o anche in assenza di danneggiamenti) può indurre, ad un'analisi superficiale, una errata percezione delle condizioni di pericolosità e rischio, mentre possono sussistere condizioni di instabilità (anche per evoluzione climatica) potenzialmente coinvolgenti anche aree urbane storicamente percepite come sicure o non interessate, in precedenza, da fenomeni di pericolo (vedi ad esempio Cancia a Borca di Cadore, Bolzano,...).

#### **3.3. L'analisi del stratificato "storico": recente e archeologico**

Le città (storiche e non) possiedono comunque una successione di terreni "artificiali" (storico e industriale) che va accertata sia per le problematiche relative alla stabilità, che per gli aspetti potenzialmente conseguenti, quali ad esempio fermo lavori, presenza di manufatti /o resti storici comprese cavità, presenza di "resti" di attività industriali.

Inoltre può risultare rilevante la caratterizzazione dei terreni anche ai fini del loro smaltimento o del loro riutilizzo, con ovvie ricadute economiche sulla fattibilità economica.

#### **3.4. Le indagini**

La corretta ed efficace progettazione delle indagini (geologiche, geotecniche in sito e di laboratorio, geofisiche, ambientali, sismiche...) consente una accurata e vantaggiosa progettazione dell'intervento.

La progettazione adeguata delle indagini deve tener conto dei volumi di interferenza dell'intervento (ad esempio in prospettiva idrogeologica), del volume significativo (AGI, 77) in prospettiva geotecnica

e della necessità della rappresentazione spaziale dei terreni e dei corpi sepolti.

Deve inoltre prevedere efficacemente l'ubicazione dei campionamenti e delle prove, siano esse geotecniche, che chimico ambientali.

Inoltre dovranno prevedere l'installazione delle eventuali strutture di monitoraggio (piezometri, inclinometri, piastre assestometriche,...).

### **3.5. Idrogeologia (Idrologia, idraulica, idrogeologia)**

La circolazione di fluidi sul terreno e nel terreno con l'interfaccia con la superficie topografica, non è un fenomeno semplicemente scomponibile nelle sue componenti (Idrologia, idraulica e idrogeologia). Tutti i termini sono in relazione tra loro e richiedono di poter articolare con interdisciplinarietà le valutazioni.

Infatti più che di falda è opportuno parlare di falde e inquadrare la complessità del sistema idrogeologico, distinguendo bene i dati dalle modellazioni.

Un approccio corretto ad esempio non può prescindere da una precisa identificazione delle misure di falda, indicando le incertezze di misura, le escursioni misurate, il periodo di investigazione. In sequenza si passerà alla estrapolazione o alla ricostruzione delle oscillazioni annuali attese, apprezzando le potenziali variazioni cicliche, inquadrando anche in un potenziale contesto evolutivo, ricollegandole ai fenomeni piovosi e ai tempi di ritorno.

La complessità e l'articolazione di queste valutazioni va rapportata alla complessità dell'intervento e alla vita utile dell'opera.

### **3.6. Modello idrogeologico di progetto**

Dalla ricostruzione idrogeologica si perviene ad un modello idrogeologico che identifichi i parametri di progetto, le soluzioni tecniche, preveda lo smaltimento degli scarichi e delle acque piovane, anche tenendo presente l'induzione di potenziali fenomeni di carsismo (in presenza di componenti dei terreni idrosolubili).

Nella modellazione devono essere valu-

tati anche gli effetti legati alla previsione di interventi quali: drenaggi, emungimenti, well point, paratie ...

### **3.7. La compatibilità del progettato**

L'intervento deve essere compatibile (o reso compatibile), a partire dalle varie fasi esecutive e fino alla sua realizzazione definitiva, con il tessuto esistente nelle aree contermini, fino al raggio di potenziale influenza opportunamente valutato.

Per le nuove costruzioni ad esempio andrà valutata la stabilità della struttura (stati limiti ultimi e di esercizio), l'entità dei cedimenti e il loro decorso nel tempo, le condizioni di sicurezza in fase esecutiva (ad es. la presenza di acqua in cantiere, la stabilità dei fronti di scavo, l'effetto delle vibrazioni sugli edifici contermini,...), l'efficacia delle impermeabilizzazioni, la stabilità delle strutture in presenza di ambienti aggressivi (ad esempio la presenza di acque solfatiche aggressive per il cls, la corrosione delle palandole sul lato di acqua libera), la stabilità delle infrastrutture connesse all'opera (pluviali, scarichi, pavimentazioni, etc...).

Nel caso di consolidamenti e ristrutturazioni di edifici dovranno essere valutate la realizzazione e gli effetti delle sottofondazioni, l'esecuzione di impermeabilizzazioni, la stabilità delle strutture contermini, e prevedere ad esempio monitoraggio strutturali e perizie giurate sullo stato dell'edificio.

In presenza di scavi (terreni e rocce) andranno definite le caratteristiche in vista della loro possibile destinazione (riutilizzi e/o smaltimento), ma anche dovranno essere valutate preventivamente la presenza di terreni contaminati.

Non vanno infine dimenticate le possibili presenze di cavità urbane (naturali e non).

Nella realizzazione di fondazioni speciali e opere in sotterraneo si richiederanno accertamenti di grado più approfondito anche in relazione alla fattibilità tecnica (accessibilità, disturbo, ...) ed economica.

Infine diventa sempre più rilevante va-

lutare anche le potenzialità di geoscambio in relazione alle problematiche di raffreddamento e riscaldamento dell'edificio.

### 3.8. La compatibilità con l'esistente

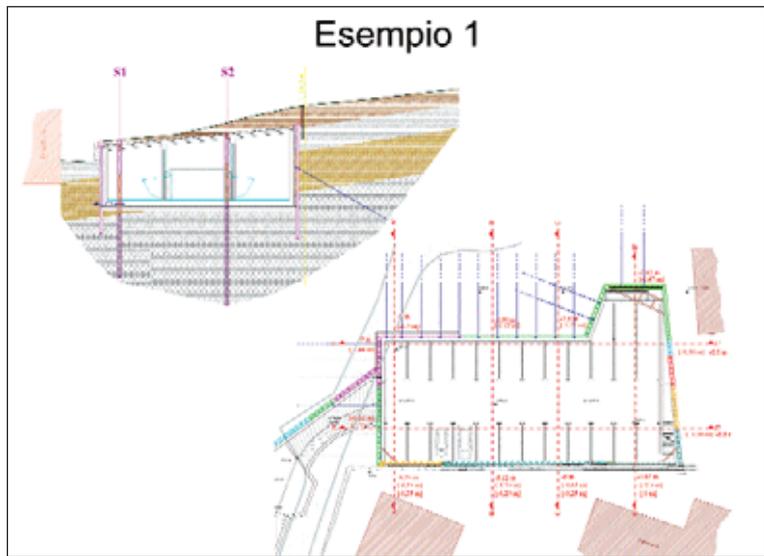
Ma la compatibilità va anche valutata per le interferenze esecutive con le strutture esistenti, ove ad esempio vi sia la necessità di deprimere la falda valutando i consolidamenti nei terreni limitrofi indotti sia a breve termine che a lungo termine.

Dovranno essere valutate la stabilità degli scavi e l'efficacia delle opere provvisorie, gli effetti delle vibrazioni, anche documentando lo stato fessurativo delle strutture esistenti circostanti.

Nel caso siano prevedibili interferenze stabili dovranno essere valutati i potenziali accertati raggi di influenza e sarà opportuno documentare le instabilità preesistenti.

#### ESEMPIO 1

Si tratta di un progetto di garage interrato in Cortina d'Ampezzo (BL) realizzato in prossimità di edifici esistenti (4-5 piani) con tutte le implicazioni in relazione alla stabilità, lavorazioni in fase esecutiva e alle vibrazioni. Il fronte di scavo presenta altezze massime di 11 m adeguatamente attrezzate

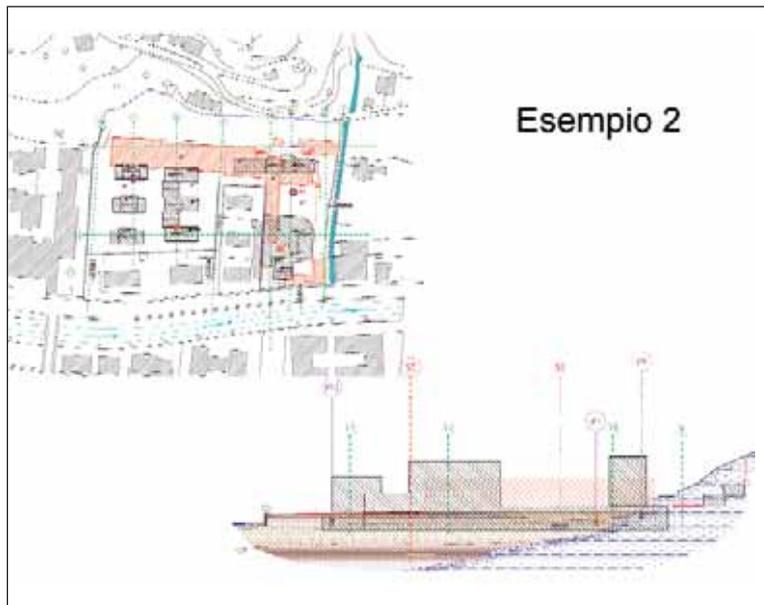


con opere di sostegno. I terreni sono costituiti da limi argillosi derivanti anche da instabilità storiche.

In planimetria sono evidenti le distanze esigue dall'esistente e le conseguenti scelte progettuali.

#### ESEMPIO 2

Si tratta di un progetto per la realizzazione di un centro commerciale in Val del



Chiampo (VI). Le problematiche sono complesse per l'interferenza differenziata delle strutture di fondazione con il substrato roccioso e la sequenza dei terreni (coesivi), complicata dalla presenza della falda a quote superiori al piano interrato. La prossimità con edifici e la complessa situazione geologica implica scelte differenziate nelle opere di stabilizzazione dei fronti di scavo, nonché sulle tecniche esecutive.

## 4. La gestione del patrimonio esistente in ambito urbano

Infine anche nella gestione del patrimonio immobiliare esistente in ambito urbano si apprezza sempre più il contributo geologico in campo di fattibilità e redditività delle ristrutturazioni, come pure nel caso di consolidamenti dell'esistente.

L'introduzione del Fascicolo del fabbricato (che comprende valutazioni sulle instabilità legate al sottosuolo, la presenza e la qualificazione di lesioni e fessurazioni, l'individuazione dei dissesti e delle criticità locali) favorisce un atteggiamento di maggiore responsabilità nelle compravendite di immobili, consentendo di evidenziare i margini per le operazioni economiche e acclearando la redditività dell'investimento.

Si segnala infine che esiste già nella gestione immobiliare una normativa di riferimento (UNI EN 10988) che indirizza in tal senso.

## Note

*1 - Pericolosità (P): probabilità che un fenomeno di una data intensità si verifichi entro un determinato periodo di tempo e in una data area di potenziale danno.*

*Vulnerabilità (V): grado di perdita per un dato elemento o per un gruppo omogeneo di elementi a rischio, risultante dal verificarsi di un fenomeno naturale di una data intensità ( $0 \div 1$ ).*

*Rischio Specifico (Rs): è il "prodotto" fra pericolosità (P) e vulnerabilità (V) ed è calcolato per ogni elemento a rischio. E' indipendente dal valore economico degli E.*

*Rischio Totale (Rt): è la sommatoria dei vari rischi specifici e pertanto si identifica con le vittime, i feriti, le distruzioni e i danni alle strutture, alle attività economiche e ai danni ambientali.*

*Associando il valore (W) agli elementi potenzialmente coinvolti si perviene ad una stima del danno che è il prodotto fra V e W)*

*2 - Punto 7.2.1 DM 14.9.2005 "Il modello geologico del sito deve essere orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.*

*Esso deve essere sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e a grande scala e del programma delle indagini.*

*Il modello geologico di riferimento sarà validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza dell'opera".*

## Bibliografia

Anna Lagonegro, Claudio Romano (2005) - *Professione geologo legislazione e giurisprudenza*. Editore Consiglio Nazionale Geologi.

---

---

# Lineamenti geologico-geomorfologici ed evoluzione paleoidrografica del territorio urbano di Venezia, Mestre e Marghera

Aldino Bondesan

Università degli Studi di Padova,  
Dipartimento di Geografia

Alessandro Fontana

Università degli Studi di Padova,  
Dipartimento di Geografia

Paola Furlanetto

Akeo, Padova

Sara Magri

Magistrato alle Acque,  
Consorzio Venezia Nuova

Mirco Meneghel

Università degli Studi di Padova,  
Dipartimento di Geografia

Paolo Mozzi

Università degli Studi di Padova,  
Dipartimento di Geografia

Sandra Primon

Università degli Studi di Padova,  
Dipartimento di Geografia

## Premessa

L'area urbana di Mestre e di Venezia occupa la porzione centrale della laguna e l'immediato entroterra. Lo studio dell'assetto geologico-geomorfologico urbano non può essere disgiunto da una trattazione più generale che illustri l'evoluzione della pianura veneto-friulana e gli aspetti più peculiari dello specchio lagunare. Negli anni recenti un complesso di ricerche riguardanti gli ambiti di pianura compresi tra l'Adige ed il Carso ha permesso di ricostruire la geologia e la geomorfologia delle pianure dell'Italia nord-orientale, consentendo notevoli progressi nelle conoscenze. Ciò è stato possibile sia nel quadro della ricerca istituzionale condotta nell'ateneo padovano (Mozzi *et alii*, 2003; Bondesan & Meneghel, 2004; Fontana 2006; Fontana *et alii*, in stampa; Bondesan *et alii*, in stampa) che attraverso specifici protocolli d'intesa con gli enti territoriali attraverso i quali è stato possibile condurre rilevamenti estensivi e di dettaglio su una superficie totale superiore a 10.000 km<sup>2</sup>.

La presente trattazione sintetizza i risultati ottenuti, con particolare attenzione all'ambito veneziano e in particolar modo alle aree di Venezia, Mestre e Porto Marghera.

## Inquadramento geografico della Laguna di Venezia

La laguna di Venezia (Figura 1) fa parte della fascia di ambienti anfibi che, da Ravenna a Monfalcone, borda la pianura padana e quella veneto-friulana. Essa si presenta come un bacino arcuato, allungato da sud-ovest a nord-est su una lun-



Figura 1 - La laguna di Venezia in un'immagine satellitare del marzo 1997 (Fonte: Telespazio - Elaborazione: Magistrato alle Acque di Venezia - Servizio Informativo).

ghezza di circa 55 km, mentre la larghezza è di circa 13 km. Ai lati la laguna è chiusa da sistemi di foci fluviali; a sud si protende verso il mare il grande apparato deltizio del Po e tra questo e la laguna trovano sbocco e apportano sedimenti sia l'Adige che il Brenta (che riceve anche le acque del Bacchiglione). A nord chiudono la laguna il Sile e il Piave, quest'ultimo con dossi fluviali e apparati deltizi ben individuati. Ancora in tempi storici, il Brenta e il Sile hanno versato le

proprie acque all'interno della laguna.

Sul lato a mare la laguna è delimitata a nord-est dalla freccia litoranea del Cavallino, cordone che si protende verso ovest-sud-ovest a partire dagli apparati di foce del Piave. Verso sud-ovest seguono le due isole barriera del Lido e di Pellestrina. Più a sud la laguna è divisa dal mare dall'ala sinistra del delta del Brenta. Tre bocche di porto consentono l'ingresso e la fuoriuscita dell'acqua del mare al variare della marea. Al-

l'interno della laguna si distinguono perciò tre bacini, separati da linee spartiacque, ognuno dei quali presenta una rete di canali lagunari a sviluppo dendritico che fa capo alla propria bocca di porto. Il bacino più esteso è quello della bocca di Lido, che comprende il 50% circa della superficie lagunare, quello di Malamocco interessa il 30% circa della laguna e quello di Chioggia il 20%. In corrispondenza delle bocche di porto, anche a seguito della costruzione dei moli foranei, il flusso e il riflusso delle acque creano forti correnti che hanno scavato profonde depressioni, che arrivano a 50 metri di profondità a Malamocco, a 38 metri a Chioggia e a 30 metri al Lido.

All'interno della laguna si trovano sia forme relitte e variamente elaborate, ereditate da altri ambienti, che forme tipiche dell'ambiente lagunare. Tra le prime, di ambiente continentale, sono i dossi fluviali, che ora, in parte o del tutto sommersi, si presentano come forme positive. Tratti della pianura costiera invasi dalle acque costituiscono parte del fondo lagunare, là dove è mancato un successivo apporto di sedimenti. Origine costiera hanno invece alcune forme ora inglobate all'interno della laguna; esempio tipico l'isola di Sant'Erasmus, un tratto di litorale chiuso all'interno della laguna per la successiva formazione, in posizione più avanzata verso il mare, del litorale del Cavallino e dell'isola del Lido.

Più diffuse all'interno della laguna sono le forme tipicamente lagunari, alcune delle quali hanno nomi locali che sono stati talvolta proposti come termini scientifici. Le *barene* sono piane situate pochi decimetri al di sopra del livello del mare, ospitano una vegetazione alofila che concorre alla loro conservazione, corrispondono (anche se non sempre perfettamente) alle forme definite all'estero con i termini di *salt marsh*, *haute slikke* o *schorre*. Piane limose a quota più bassa, situate appena sotto il livello del mare, sono le *velme*, che emergono solo in occasione delle basse maree più pronunciate; prive di vegetazione, sono indicate nella letteratura internazionale con i termini di *tidal flats*, *marsh flats* e *slikke*. Queste forme piane sono limitate

dalla rete dei canali lagunari, che a partire dalle bocche di porto vanno diramandosi in bracci minori; tra questi ultimi vengono indicati localmente come *ghebi* i canali poco profondi che si addentrano tortuosi tra velme e barene, mentre con il termine chiaro sono definiti i piccoli specchi d'acqua salmastra o piovana. Il termine *palude* viene utilizzato per indicare le porzioni di fondo lagunare che non emergono anche in occasione delle basse maree più pronunciate.

I corsi d'acqua, che in vari periodi hanno versato le proprie acque in laguna, hanno creato, con l'apporto dei loro sedimenti, *delti endolagunari*, con la conseguente riduzione dello specchio d'acqua lagunare. Altri sedimenti sono invece convogliati dal mare attraverso i canali lagunari, a lato dei quali si formano argini naturali; per essi, quando sommersi, è stato proposto il termine *gengive*, mentre quando emergono formano fasce di *barene di canale lagunare*.

Tra le forme lagunari vanno infine ricordate, per la loro frequenza e invasività, le forme antropiche: la maggior parte delle isole della laguna sono infatti legate all'intervento dell'uomo, che ha contribuito alla loro elevazione mediante riporti e alla loro conservazione con opere di difesa. Tra le isole vanno citate le casse di colmata, realizzate in più fasi dagli anni Venti ai Sessanta per l'espansione dell'insediamento industriale di Marghera. Altri elementi caratteristici sono le *valli da pesca*, che interessano un'estensione pari al 16% della laguna. Sono specchi d'acqua chiusi con argini artificiali utilizzati per l'allevamento del pesce.

## La superficie della bassa pianura del Brenta

La carta altimetrica (o del microrilievo) della Pianura Padana (Murst, 1997) della quale viene riportato uno stralcio (Figura 2), consente di descrivere agevolmente l'andamento altimetrico della bassa pianura originata dalle alluvioni del Brenta. Quest'ultima si estende a est di Padova ed è limitata a meridione dall'attuale corso del Bacchiglione e a settentrione dal corso del Sile, da Treviso

alla foce, comprendendo pertanto gran parte dell'entroterra lagunare. La morfologia di questo ampio settore può essere distintamente suddivisa in due comprensori caratterizzati da diversi stili morfologici. Il tratto settentrionale, racchiuso tra Naviglio Brenta e Sile, è legato alla grande conoide pleistocenica del Brenta e rivela andamenti piuttosto regolari con una generale pendenza verso est-sud-est; il tratto meridionale, compreso tra Naviglio Brenta e Bacchiglione di Pontelongo, è contraddistinto dalle divagazioni oloceniche del fiume e assume orientamenti variabili verso est, sud-est e sud, risultando in generale molto più articolato e frammentato in dossi e depressioni.

In riferimento al tratto settentrionale tra Naviglio e Sile è certamente un fatto

d'interesse l'osservazione che le aste dei principali fiumi di risorgiva, tra i quali Zerro e Dese, non scorrono in questi luoghi secondo la direzione di massima inclinazione, come sarebbe naturale. La spiegazione risiede nel fatto che l'intera area è stata interessata nei millenni passati da un basculamento generato da movimenti tettonici profondi connessi al substrato roccioso della pianura. Tale movimento è oggi testimoniato dalle direttrici di deflusso dell'idrografia minore che formano un angolo medio di  $23^\circ$  con la direzione di massima pendenza della pianura. Castiglioni (1997), usando queste informazioni associate all'età della pianura pleistocenica, ha potuto stimare un movimento verticale di circa 9 metri nell'arco di 14000 anni.



Figura 2 - Stralcio della "Carta altimetrica e dei movimenti verticali del suolo della pianura Padana", scala originale 1:250.000 (MURST, 1997).

Spostando l'attenzione al tratto meridionale della bassa pianura, tra Naviglio e Bacchiglione, si osserva una generale disposizione a ventaglio con pendenze rivolte verso la laguna nel tratto a ridosso del Naviglio Brenta ed una generale rotazione delle direttrici che, in senso orario, ponendo fulcro su Padova, si immergono a sud est verso Conche e a sud verso il Bacchiglione.

A meridione dell'asse est-ovest del Bacchiglione, l'andamento è estremamente irregolare con una generale disposizione verso est; una bassura allungata separa i due domini sedimentari più strettamente afferenti al Brenta, a nord, e all'Adige, a sud. La frangia endolagunare, fatta eccezione per l'area di Mestre e Tessera e alcuni altri ridottissimi lembi, mostra una successione di terreni posti sotto il livello del mare che si inoltrano verso l'interno per alcuni chilometri. La fascia depressa è appena più ampia nella regione del basso Sile e più ridotta nei settori meridionali. Tuttavia, superato il Bacchiglione, le bassure si ampliano a dismisura arretrando fin quasi a Rovigo e raggiungendo quote fino a 3-4 metri sotto il livello marino. Può essere interessante citare i valori medi delle aree situate sotto il livello del mare espresse in km<sup>2</sup> (Castiglioni & Pellegrini, 2001): tra Piave e Sile: 76,1; tra Sile e Brenta: 61,0; tra Brenta e Adige 199,9; tra Adige e Po di Venezia/Po di Pila: 318,1. I dislivelli tra Padova e la laguna sono di una decina di metri e arrivano a 14-15 metri nel territorio a sud di Chioggia; la bassa pianura settentrionale è posta a quote di circa 40 metri tra l'allineamento Cittadella e Castelfranco Veneto, corrispondente indicativamente alla fascia delle risorgive, valori che diminuiscono progressivamente verso il mare passando a 30 metri alle sorgenti del Sile, 15 metri a Noale, 8 metri a Mogliano e 2 metri a Mestre.

## L'origine della pianura

L'origine della pianura veneto-friulana, come quella padana, è dovuta al complesso insieme di processi legati all'orogenesi alpina e appenninica (Doglioni, 1993); tuttavia per la trattazione della geologia di superfi-

cie sono più rilevanti le vicende a partire dalla fine dell'ultima glaciazione. Come è noto, durante l'ultima età glaciale l'Adriatico fu interessato da una regressione marina che determinò un abbassamento massimo del livello del mare di circa 120 metri con un conseguente spostamento della linea di riva in posizioni molto avanzate nel Mar Adriatico, al largo di Pescara (Cattaneo & Trincardi, 1999; Correggiari *et alii*, 1996). In seguito alla deglaciazione la linea di costa fu ricondotta alle posizioni precedenti nel corso di un fenomeno di rapido innalzamento del livello delle acque, non più intrappolate sotto forma di ghiaccio nelle grandi calotte pleistoceniche (trasgressione flandriana; LAMBECK *et alii*, 2001). La linea di costa assunse posizioni diverse nel corso dell'Olocene e le ricerche più recenti attestano che nelle fasi finali della trasgressione flandriana essa raggiunse progressivamente Chioggia, il Lido (Tosi, 1994) e Venezia all'incirca 5000 anni <sup>14</sup>C BP (Serandei Barbero *et alii*, 2001). Questo fenomeno, che non fu immediato, impresso al territorio una graduale trasformazione che influì sulle modalità di sedimentazione costiera. Le aree poste in precedenza in condizioni continentali subaeree, furono interessate da fenomeni di sommersione causati dall'innalzamento del livello di base. Il progressivo arretramento della costa rallentò il deflusso delle acque fluviali e provocò quindi la graduale formazione di paludi e stagni costieri, che solo in seguito, a causa dell'ulteriore innalzamento del livello marino, furono definitivamente invasi dal mare, secondo un meccanismo comune in tutto l'Alto Adriatico (Correggiari *et alii*, 1996). Nel settore meridionale della laguna di Venezia e nella pianura romagnola l'avanzamento del mare, durante la massima trasgressione, produsse la formazione di linee di costa interne rispetto all'attuale, delle quali rimane testimonianza nei grandi complessi di cordoni litoranei e di dune. Secondo la ricostruzione di Favero & Serandei Barbero (1980), tra la fine del periodo Atlantico e la fine del Subboreale si formò una linea di costa più interna dell'attuale che determinò l'espansione verso la terraferma del bacino lagunare ed una trasformazione del

paesaggio da fluvio-palustre a lagunare. Dall'inizio del Subatlantico (circa 2700 anni <sup>14</sup>C BP) al XIV secolo il margine costiero fu coinvolto in un fenomeno di regressione marina con un assestamento della linea di costa all'incirca in corrispondenza dei litorali attuali. Questo evento fu accompagnato da una contemporanea regressione del bordo interno della laguna. Dal XIV secolo i grandi interventi di diversione fluviale impedirono alla laguna di evolvere secondo le proprie dinamiche naturali, trasformandola in un ba-

cino salmastro quasi interamente regolato dall'uomo, con le note conseguenze legate alla riduzione delle barene, all'erosione dei litorali e al fortissimo impoverimento della sedimentazione lagunare.

La laguna di Venezia si inserisce nel contesto della pianura veneto-friulana, sulla quale, nel Quaternario recente, i fiumi hanno ripetutamente cambiato percorso a valle del loro sbocco vallivo, interessando aree molto ampie fino a coprire migliaia di chilometri quadrati. Si sono co-

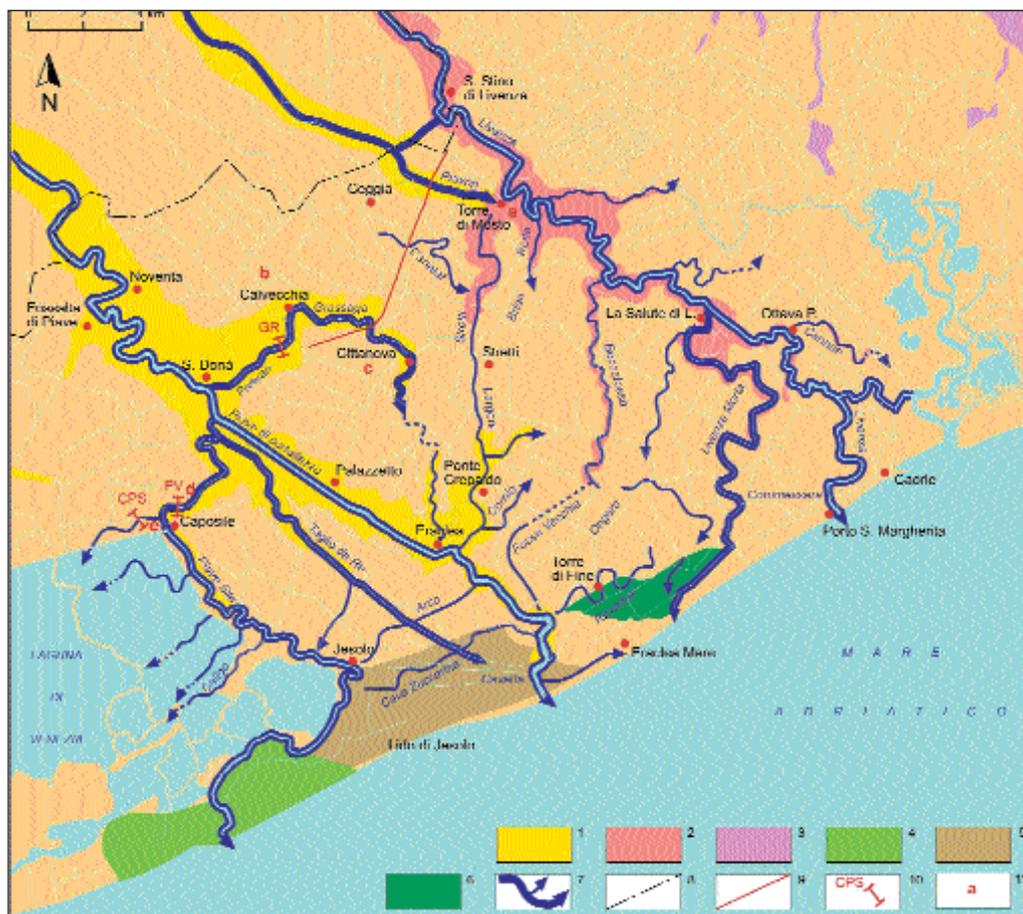


Figura 3 - Principali direttrici di deflusso del Livenza e del Piave.

Legenda: 1) dossi del Piave (Olocene); 2) dossi del Livenza (Olocene); 3) dossi del Tagliamento (Pleistocene); 4) antiche linee di riva del Piave; 5) medievali-moderne; 6) 3200-900 a.C.; 7) posteriori al 4500 a.C.; 8) antiche direttrici di deflusso; 9) confine provinciale; 10) via Annia; 11) sezioni stratigrafiche: PV-Piave Vecchia; GR-paleoalveo di Grassaga (Piveran); CPS-paleoalveo di Caposile; 11) datazione al <sup>14</sup>C: a) 430-650 d.C.; b) 5880-5640 a.C.; c) 2125-1735 a.C.; d) 530-680 d.C.; e) 1540-1390 a.C. (da Bondesan A. & Meneghel M. (a cura di), 2004).

si formati sistemi sedimentari che in pianta presentano una morfologia a ventaglio analogo a quella dei conoidi alluvionali, ma, per la loro notevole estensione, si adotta il termine di megafan (Fontana *et alii*, 2004; Fontana *et alii*, in stampa). Nell'area veneta e friulana, soprattutto a est del Naviglio Brenta, i diversi tratti di pianura costruiti dai maggiori fiumi sono distinguibili fra loro fino all'attuale linea di costa con un buon grado di approssimazione, sulla base di dati geomorfologici, stratigrafici, pedologici, mineralogici e archeologici (Bondesan *et alii*, 2002; Bondesan & Meneghel (a cura di), 2004; Fontana, 2006; Fontana *et alii*, in stampa). Nella zona di interdigitazione tra i maggiori megafan esistono i più importanti corsi di risorgiva o di risorgenza carsica che con i loro sistemi hanno occupato le aree depresse d'interfluvio. È questo il caso dei fiumi Sile, tra i megafan del Piave e del Brenta e Bacchiglione, tra pianura olocenica del Brenta e sistema dell'Adige. L'area del centro urbano di Mestre e di Venezia occupa le propaggini distali dei megafan di Bassano (Sistema del Brenta), a nord-ovest, e del megafan del Piave di Nervesa, a nord e a est.

## Megafan del Piave di Nervesa

La pianura che si estende tra il Piave di Cortellazzo e il Sile lungo i margini settentrionali della laguna di Venezia, è interamente compresa nell'ala sinistra del megafan di Nervesa. La sua genesi è intimamente connessa con le vicende del Piave e gli apporti sedimentari sono interamente da ascrivere a questo corso d'acqua. I principali elementi del rilievo possono essere collegati a diversi sistemi geomorfologici: a) i dossi del Piave che si diramano da San Donà di Piave (Figura 3); b) gli antichi apparati di foce lungo il litorale (Figura 4); c) i sistemi plavensi che si trovano nella pianura tra Sile e Piave datata in prossimità della superficie tra i 22.000 e i 16.000 anni <sup>14</sup>C BP (Bondesan & Mozzi, 2002; Miola *et alii*, 2006) (Figura 5).



Figura 4 - Antiche linee di riva lungo il margine costiero del Basso Piave (da Bondesan A. *et alii*, 2003, modificato).

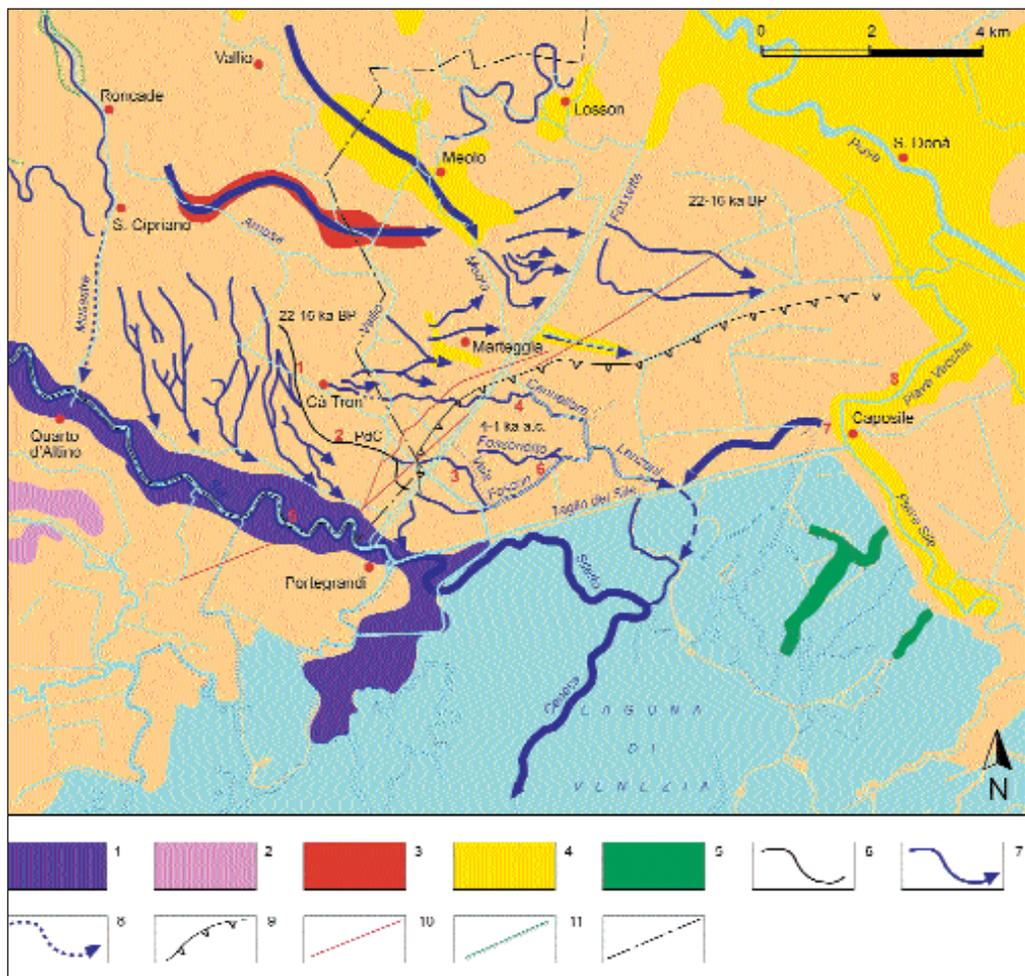


Figura 5 - Principali direttrici di deflusso tra Sile e Piave.

Legenda: 1) dossi del Brenta (Pleistocene); 2) dosso del Sile (Olocene); 3) importante paleoalveo pleistocenico; 4) dossi del Piave (Olocene); 5) dossi del Piave in laguna; 6) paleoalveo della Canna (PdC); antiche direttrici di deflusso: 7) certe, 8) incerte; 9) limite della massima ingressione lagunare; 10) limite provinciale; 11) datazione al 14C: a) 27-237 d.C.; b) 795-390 a.C.; c) 440-72d.C.; d) 1040-1290 d.C.; e) 2140-1910 a.C.; f) 440-720 d.C.; g) 1540-1390 a.C.; h) 530-680 d.C.; 12) canali lagunari attuali (fonte: Bondesan A. & Meneghel M. (a cura di), 2004).

## Megafan di Bassano (Sistema del Brenta)

La pianura compresa tra Sile e Naviglio Brenta ricade nelle propaggini distali del sistema deposizionale tardo-pleistocenico del Brenta, che si allunga verso sud-est dallo sbocco in pianura della valle del Brenta (Valsugana), presso Bassano del Grappa, fino all'area perilaguna-

re veneziana. L'importante apparato alluvionale è denominato megafan di Bassano; la sua formazione è da ascrivere all'ultimo massimo glaciale (LGM), tra 22.000 e 14.500 anni <sup>14</sup>C BP (Mozzi, 2005; Fontana *et alii*, in stampa). Quindi, fino all'ingressione lagunare olocenica la pianura non era più attiva, ed è stata passivamente ricoperta dai depositi lagunari. Il motivo va ricercato nella disattivazio-

ne dell'intero tratto orientale della grande conoide per effetto dell'incisione del suo apice e conseguente allontanamento dei deflussi del Brenta (Mozzi, 2002; Fontana *et alii*, in stampa). Il suolo, sviluppato al tetto dei sedimenti pleistocenici in questo settore distale del megafan di Bassano, ha potuto subire una prolungata pedogenesi con conseguente formazione di orizzonti calcici (Giandon *et alii*, 2001). Nel sottosuolo della laguna centrale questo suolo ("caranto") si è conservato sotto i sedimenti lagunari (Gatto & Previatello, 1974; Tosi, 1994; Mozzi *et alii*, 2003) e costituisce un importante marker stratigrafico e geotecnico.

## La pianura pleistocenica del Brenta

I dossi fluviali costituiscono gli elementi di maggior risalto morfologico nelle aree di pianura e il loro studio è particolarmente importante poiché la loro formazione è connessa ai periodi di grande attività dei corsi d'acqua che li hanno generati. Attraverso la loro rappresentazione è possibile pertanto ricostruire la paleoidrografia di un'area di pianura.

I principali antichi percorsi del Brenta osservabili a nord del Naviglio Brenta (Figura 6) sono distribuiti parallelamente tra loro secondo le linee di massima pendenza della conoide con direzione circa nord-ovest/sud-

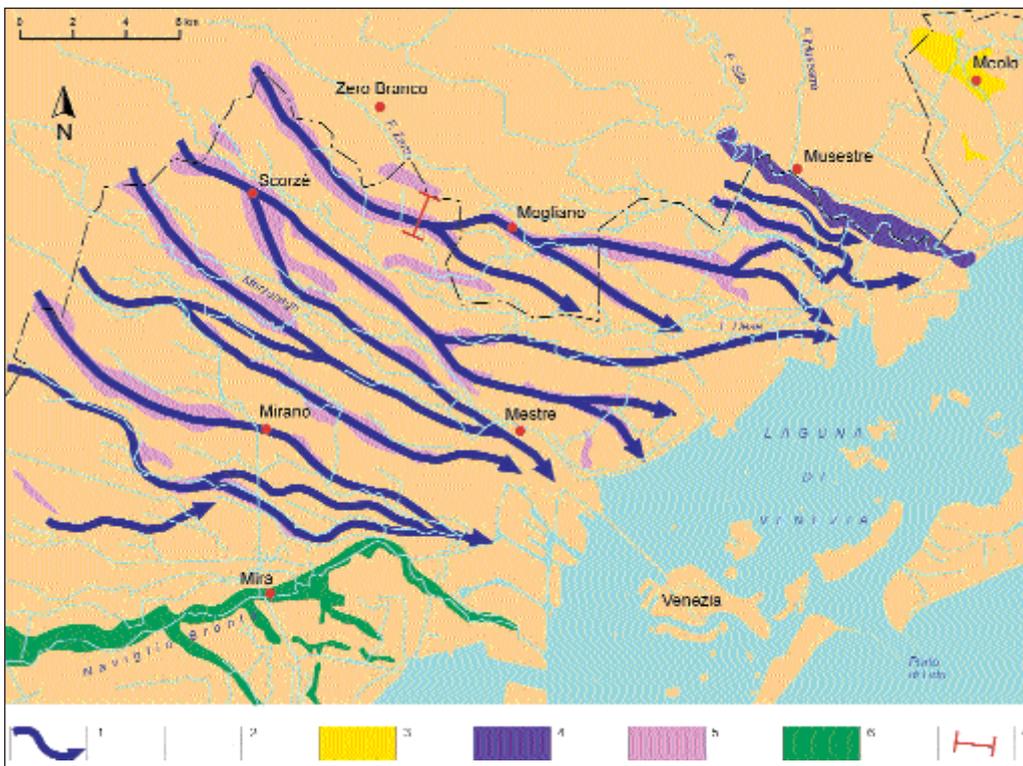


Figura 6 - Principali direttrici di deflusso tardo-pleistoceniche del Brenta, nell'area compresa tra Sile e Naviglio Brenta.

Legenda: 1) direttrici di deflusso; 2) confine della provincia di Venezia; 3) dossi del Piave; 4) dosso del Sile; 5) dossi del Brenta (Pleistocene); 6) dossi del Brenta (Olocene); 7) sezioni stratigrafiche

(Fonte: Bondesan A. & Meneghel M. (a cura di), 2004).

est. Essi sono individuati da dossi talora poco espressi e da paleoalvei mal definiti, spesso frammentati e discontinui, solitamente rettilinei o debolmente sinuosi. In seguito alla disattivazione della conoide, quando cioè il Brenta cessò di scorrere in questa area per portarsi da Bassano verso settori più meridionali, si è impostata una rete idrografica minore. I larghi e importanti tratti fluviali del Brenta sono stati quindi sostituiti dai percorsi dei fiumi di risorgiva che, pur avendo acquistato nel tempo una fisionomia propria, possiedono un evidente collegamento genetico, morfologico ed idrografico con le più antiche direzioni di deflusso del Brenta e successivamente del Musone. Infatti, l'orientamento dei dossi ha fortemente guidato l'idrografia dei fiumi di risorgiva che hanno occupato le depressioni allungate tra dosso e dosso. Tra i maggiori corsi d'acqua che attraversano il territorio mestrino, in sinistra idrografica del Naviglio Brenta, meritano menzione lo Zero, il Dese, il Marzenego, il Musone Vecchio nella sua prosecuzione col Cimetto e il Lusore.

A ridosso del Naviglio Brenta si snodano diversi tracciati antichi, all'incirca paralleli tra loro. Forse il più importante è indicato dal dosso di Borbiago che, con andamento a meandri molto ampi, si dispone lungo la direttrice Scaltenigo-Marano-Borbiago, a cavallo dello Scolo Lusore a nord e dello Scolo Zezenigo a sud. Le sabbie dalle quali è formato possono essere attribuite con sicurezza ai depositi del Brenta (Scortegagna, 1990). Nel suo tratto terminale è percorso da un paleoalveo molto evidente che piega verso Marghera e confluisce in laguna nel Canale Vecchio di Fusina.

Il secondo tra i maggiori elementi che merita di essere citato è il dosso di Mirano-Spinea. Esso si svolge lungo il tracciato Mirano-Spinea-Chirignago-Mestre assumendo un rilievo di circa 3 metri sulla pianura laterale. Altri dossi più o meno rilevati seguono le direttrici di deflusso sopradescritte, a volte in collegamento apparente con le divagazioni del Muson Vecchio.

Spostando l'attenzione verso il settore più settentrionale a ridosso del Sile, si segnala anche qui la presenza di alcuni dossi debolmente rilevati percorsi da paleoal-

vei probabilmente attribuibili al Brenta pleistocenico (dossi delle Crete e di San Liberale); essi si distinguono da altri paleoalvei con andamento ovest-nord-ovest/est-sud-est che sono invece tracce delle divagazioni dei corsi d'acqua di risorgiva Sile, Dese e Zero che tuttora attraversano l'area rimaneggiando localmente le alluvioni più antiche. Di estremo interesse è la recente individuazione nella fascia tra San Cipriano e Meolo di un tratto di paleoalveo orientato in senso ovest-est contraddistinto da un letto molto largo (250 metri circa), un raggio di curvatura molto ampio (superiore al chilometro) e la presenza di alcune isole fluviali all'interno dell'antico letto. Per la sua forma, sinuosità, dimensioni e antica direzione di deflusso la traccia testimonia condizioni idrauliche ben diverse dalle attuali e quindi difficilmente riconducibili ai corsi d'acqua moderni. Un'ipotesi stimolante è che possa trattarsi del ramo più orientale del Brenta fino ad oggi riconosciuto.

## Le antiche direttrici di deflusso del Brenta

La piatta distesa alluvionale dell'entroterra lagunare veneziano è solcata dai percorsi antichi e moderni del Brenta, ulteriormente arricchita da una fitta ragnatela di collettori, canali e reti idrauliche minori. L'impronta del Brenta si conserva nei sedimenti che formano la pianura, ma ancor più nella geometria dei diversi rami, molti dei quali ancora attivi, nei quali il fiume si divide, riassumendo in essi le plurisecolari manomissioni del basso corso.

Attraverso l'alta pianura padovana il Brenta si dirige sinuoso verso sud-est in direzione della città patavina, nodo idraulico sul quale converge da oriente un altro importante fiume veneto, il Bacchiglione. Arrivato a Vigodarzere, il Brenta cambia repentinamente direzione, aggira la città a nord e, pervenuto a Stra, si congiunge con le acque del Piovego. Quest'ultimo scavato dai padovani nel 1210 circa, attraversa Padova convogliando parte dei deflussi del Bacchiglione. Da Stra, il Brenta

si biforca nei due rami del Naviglio Brenta a est e della Cunetta a sud-est, che eredita e mantiene per il suo corso l'idronimo di Fiume Brenta.

Dal punto di vista morfologico il dosso del Naviglio è certamente l'elemento di maggior rilevanza nella piana di deposizione olocenica del Brenta; esso limita a settentrione l'insieme di dossi pleistocenici che proseguono affiancati in direzione est verso la laguna. È una forma relativamente giovane, essendosi formato in circa nove secoli di attività ed è costituito interamente da terreni sabbiosi. Lungo il suo corso si osservano alcuni dossi minori che in successione si distaccano da esso dirigendosi verso sud. Esso inizia ad essere morfologicamente riconoscibile già a nord di Padova (prima il fiume scorre incassato nella pianura) e compone un arco con la concavità rivolta a nord fino al margine lagunare. Con il suo percorso tortuoso, dato da anse ampie e poco sviluppate, privo di arginature, tocca i centri di Mira, Dolo, Oriago e Malcontenta. Sulle sue sponde si affacciano molte tra le più belle ville venete: è la nota e monumentale Riviera del Brenta. Dopo Oriago il Naviglio cambia direzione con un angolo brusco dirigendosi verso Fusina e portando le sue acque nella laguna.

Il Naviglio raccoglie lungo il suo percorso le acque del Musone Vecchio che da Mirano venne portato artificialmente nel XVII secolo a immettersi a Mira, in sinistra idrografica, attraverso il Taglio. Ma non è questo il solo intervento antropico, poiché l'intero entroterra veneziano costituiti per secoli una sorta di grande laboratorio idraulico dove i provvedimenti adottati si scontrarono con l'irruenza delle acque determinando continue e profundissime trasformazioni nella rete idrografica superficiale. Certamente di grande rilievo è il seicentesco Canale Nuovissimo, che si allontana da Mira e, dirigendosi a sud, stabilisce una netta linea di demarcazione con la gronda lagunare. Giunto in laguna sud, il Nuovissimo attraversa la Bonifica Delta Brenta e, bordando la strada Romea, arriva in laguna nel Bacino di Chioggia. Rimangono in destra

idrografica del Naviglio i relitti di due canali che rammentano l'esistenza di importanti deviazioni artificiali del passato, la Brentella e la Brenta Secca.

Da Stra il Gran Taglio della Cunetta, identificato oggi come il ramo principale del fiume Brenta, attraversa diagonalmente la pianura dirigendosi verso il piccolo centro di Corte. Da qui con piccole curve appena accennate il fiume si avvicina al margine lagunare, mantenendo sulla sinistra il tratto finale del Nuovissimo e sulla destra il Bacchiglione col quale confluisce poco prima di Brondolo per arrivare finalmente alla foce tra Sottomarina e Isola Verde.

## **Il bacino di Malamocco e il percorso pre-romano del Brenta**

La zona situata all'interno del perimetro lagunare compresa tra il Porto Industriale di Marghera e la Bonifica Delta Brenta è caratterizzata dalla presenza di barene formatesi per ingressione marina su torbe e argille palustri che, a loro volta, si erano instaurate in un ambiente già invaso dalle acque salate. Questo tipo di barene è attualmente destinato alla graduale sommersione e all'erosione a causa dell'elevata compressibilità e disgregabilità del sedimento torboso e argilloso che forma il substrato stesso della barena. Questa tendenza evolutiva è inoltre accentuata dalla esposizione alle mareggiate legate ai venti di Bora e di Scirocco o, localmente, dal gioco delle correnti di marea e infine è legata alla attuale scarsità di apporti clastici da parte dei fiumi (Favero & Serandrei Barbero, 1983).

Le barene situate all'interno dell'area delle valli da pesca (Valle dell'Avorto, Valle Figheri, Valle Morosina tra le maggiori) denotano, al contrario, una tendenza evolutiva verso l'accrescimento dei margini. È probabile che l'isolamento di queste aree legato alla presenza degli argini delle valli da pesca abbia causato l'interruzione dei processi tipici dell'ambiente lagunare i qua-

li, al contrario, portano alla graduale erosione delle barene localizzate all'interno della laguna viva.

In base ai dati archeologici e geomorfologici si può ragionevolmente indicare nel dosso di Boion il fiume *Meduacus* menzionato da Livio e Strabone e attribuibile a un fiume attivo nel IV secolo a.C. fino all'età augustea. Sembrano coincidere le parole dei due scrittori e i riscontri archeologici. Livio riferisce dell'esistenza di un fiume profondo *Meduacus ammis erat*, della sua foce e del suo percorso endolagunare; Strabone ricorda un grande porto, *Medoacos*, e un fiume con lo stesso nome, risalendo il quale si poteva raggiungere Padova (Furlanetto, 2004).

Il percorso in terraferma è fortemente indiziato dalla presenza di una serie di reperti preromani rinvenuti sul "dosso di Boion" lungo tutto il percorso del fiume da Lova, probabile sede di un importante santuario (Bonomi, 2001), a Boion, Camin fino a Padova (Capuis, 1994). Si tratta per la quasi totalità di bronzetti rappresentanti guerrieri a cavallo e devoti, che gli studiosi attribuiscono a stipi votive di carattere familiare, luoghi di culto solitamente ubicati presso corsi d'acqua.

Il probabile percorso endolagunare partiva da Lova e proseguiva in laguna attraverso il Canal Mazor e la Fossa Malla per la stazione di San Leonardo in Fossa Mala, sito nel quale è stato trovato un numero considerevole di reperti ceramici attici, databili al V secolo a.C. fino a Malamocco, capolinea della via dove è stato localizzato il porto citato da Livio e Strabone in età augustea.

## Il Muson Vecchio e il Marzenego

La trattazione dell'assetto geomorfologico della pianura del Brenta e dell'attuale idrografia non può non rivolgersi anche ai principali corsi minori dell'entroterra veneziano, la cui evoluzione naturale antica dipende direttamente dalle vicende del Brenta, così come le trasformazioni idrauliche in epoca storica hanno condi-

zionato l'assetto idraulico e le scelte insediative nel territorio.

Il Muson Vecchio sorge dai fontanili nei pressi di San Martino di Lupari; l'attuale corso del Musone è il risultato di successivi interventi antropici e deviazioni naturali che si sono succeduti nel tempo. Secondo un'ipotesi di Brunello (1983), non confermata da dati geomorfologici o archeologici, in epoca romana il fiume si divideva in due rami distinti dopo aver ricevuto l'Astenigo ed il Volone nei pressi di Spineda di Asolo: il ramo del Musonello o Marzenego seguiva il percorso Castelfranco, Resana, Noale, Mestre per sfociare quindi in laguna all'altezza di San Giuliano scorrendo lungo un alveo del quale resta traccia nell'attuale Rio Cimetto e nel Canal Salso; l'altro ramo, il Muson, seguiva l'attuale tracciato del Rio Rustega fino a raggiungere il Muson Vecchio per proseguire esattamente sull'attuale corso (Brunello, 1983; Abati & Polo, 1989). Dal 1602 al 1613 ebbero luogo i lavori per deviare il Musone nel Brenta, mediante un nuovo "taglio" che portò il fiume a confluire quasi in linea retta presso Mira prendendo il nome di Canale di Mirano.

Il più importante corso d'acqua per lo studio degli antichi deflussi dell'entroterra mestrino è il fiume Marzenego, già interpretato come un ramo dell'antico Musone. Chiamato un tempo Canale di Mestre o Mestre, trae origine dalle risorgive in località Fratta di Resana, bagna Noale, Maerne e Zelarino e, giunto nei pressi di Mestre, viene a contatto con l'alveo del Rio Cimetto ad est della linea ferroviaria Venezia-Trieste. Il Marzenego probabilmente aggirava a nord l'attuale città di Mestre immettendosi in laguna nei pressi di Campalto. In quest'area sono stati segnalati paleoalvei di incerta interpretazione perché discordanti con le generali direzioni di deflusso e frammentari nella loro manifestazione superficiale. Brunello (1983) considera certo il collegamento tra l'antico percorso del Marzenego/Musone e i Canali di Campalto e di San Secondo, che confluiscono nel Canale La Nave. L'autore giudica inoltre meno evidente il collegamento con il Canal Grande, anche se è stato ipotizzato da più parti che anch'es-

so fosse in connessione genetica con il Musone. A questo proposito recenti studi hanno consentito di stabilire per Venezia che «la continuità delle sabbie nel sottosuolo di Piazza San Marco e le strutture di canale attivo identificate confermano la presenza, nel sottosuolo della città, di un paleoalveo tentativamente attribuibile all'ultimo massimo glaciale» (Seranderi Barbero *et alii* 2001). Un elemento d'interesse ai fini della ricostruzione dell'antica idrografia è la presenza della località Ponte di Pietra che si trova ad un chilometro e mezzo dal centro di Campalto. Il toponimo si riferisce al manufatto che permetteva alla Via Annia (131 a.C.) di superare il Marzenego il quale si immetteva in laguna passando attraverso il vasto Seno della Seppia. La conferma dell'antico assetto idrografico viene data dalla geomorfologia attraverso la presenza del dosso di Campalto. Questo elemento rilevato costituisce una diramazione in destra idrografica del dosso di Favaro Veneto, il quale a sua volta si collega a monte ai due grandi dossi di Scorzè-Martellago-Zelarino-Carpeneo e Scorzè-Maerne-Gazzera. È individuato da una lingua prevalentemente sabbiosa, rilevata e, pur non riscontrando su di esso tracce di idrografia superficiale relitta, esso trova la sua naturale prosecuzione in laguna nel Canale di Campalto. L'isola di Campalto è probabilmente l'ultimo lembo di terra emersa appartenente all'antico dosso creato dal fiume che, con tutta probabilità, ha contribuito a formare anche parte delle isole su cui oggi sorge Venezia. È necessaria tuttavia una considerazione importante. Mentre la viabilità romana permette di stabilire l'esistenza di un corso d'acqua attivo circa due millenni or sono, non è provata l'origine, né tanto meno l'età del corso d'acqua che ha formato i vari dossi nell'area perilagunare, tra i quali quello di Campalto. Non disponendo di datazioni geocronologiche dei sedimenti, né altre conferme di natura archeologica, l'origine potrebbe essere ben più remota e con ogni probabilità collegata a tracciati pleistocenici, quindi molto antichi, del Brenta (Favero, 1983), eventualmente ripresi dai fiumi che hanno solcato la pianura nel corso dei millenni suc-

cessivi.

## Cenni geologici sul sottosuolo di Venezia

I vari studi effettuati nell'area urbana hanno evidenziato che la sequenza dei depositi costituenti il sottosuolo di Venezia è chiusa verso l'alto da sedimenti legati all'attività antropica. Per uno spessore mediamente compreso tra 3,50 e 4,00 m, variabile da zona a zona anche in funzione della situazione altimetrica originaria del sito, si rinvencono riporti a diversa granulometria, ma in prevalenza sabbioso-limosi, ricchi di materiale sia di origine antropica (ceramiche, laterizi, intonaci) sia naturali, come ciottoli alluvionali, malacofauna lagunare, vegetali ecc. (Lezziero, 1999). Seranderi Barbero *et alii* (2001), attraverso lo studio sedimentologico e micropaleontologico di numerosi sondaggi, hanno ricostruito i paleoambienti di deposizione e la cronologia dei materiali tardo-pleistocenici e olocenici.

Al di sopra dei sedimenti situati alla profondità di 24,00 metri dal l.m.m. (Figura 7) si trovano depositi alluvionali deposti a partire da 23.000 anni <sup>14</sup>C BP, che denotano in prevalenza un ambiente di piana di esondazione.

Sono costituiti principalmente da materiali fini, legati a tracimazione di canali di tipo meandriforme (Lezziero, 1999); si rilevano inoltre sedimenti a maggiore granulometria riconducibili a episodi di rotta o ad ambienti di argine naturale e facies di canale attivo.

A una profondità variabile tra -10,50 e -9,40 metri è stato rilevato dagli autori un livello torboso diffuso in tutta l'area studiata, depostosi tra 19.000 e 21.000 anni <sup>14</sup>C BP, che attesta una fase di temporanea riduzione della sedimentazione nella piana alluvionale. La sedimentazione legata alla fase di deglaciazione dura fino alla fine del LGM.

Il tetto della sequenza pleistocenica, a causa della stasi sedimentaria che si è protratta fino alla trasgressione flandriana, è stato interessato da una prolungata pedo-

genesi: a una quota compresa tra -7 e -5 metri è presente l'orizzonte denominato *caranto* (Gatto & Previatello, 1974; Mozzi *et alii*, 2003) costituito prevalentemente da argille e limi, con screziature ocracee diffuse e concrezioni calcaree spesso organizzate in livelli.

Al di sopra della successione alluviona-

le pleistocenica si trova un livello fine ricco di resti vegetali interpretato come palustre; attraverso un contatto di tipo erosivo, a una profondità di circa -5 m, si passa ai depositi lagunari sovrastanti. Questi ultimi sono costituiti in prevalenza da sedimenti argilloso - limosi legati a fondali di bassa energia, ma non mancano livelli a

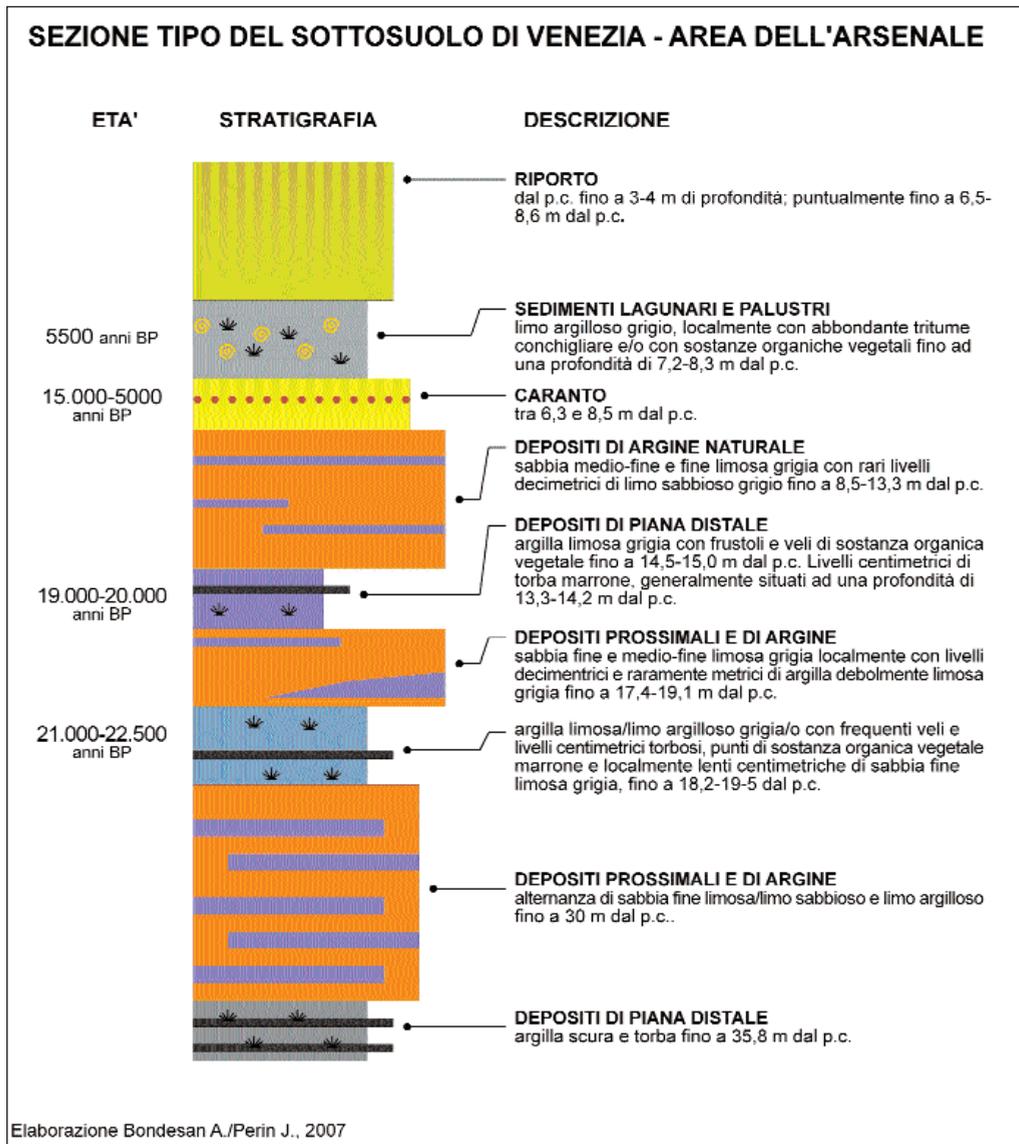


Figura 7 - Il modello geologico concettuale dell'Arsenale di Venezia può essere considerato rappresentativo per il centro storico veneziano (elaborazione originale Bondesan A., Perin J. da dati bibliografici e dati inediti).

energia maggiore connessi ad aree più esposte alle correnti di marea o alle bocche di porto (Lezziero, 1999).

Lo studio micropaleontologico ha evidenziato come l'area del centro storico di Venezia fosse una laguna aperta con canali mareali e prevalenza di apporti marini; a nord e a sud della città e a Murano, invece, si era impostato un ambiente lagunare chiuso con scarso ricambio (Serandrei Barbero *et alii*, 2001).

L'età dei primi depositi lagunari individuati nel sottosuolo di Piazza San Marco è risultata di  $4.670 \pm 70$  anni  $^{14}\text{C}$  BP, in accordo con l'età convenzionale calcolata per gli stessi sedimenti nella laguna settentrionale e con il lavoro di Mc Clennen *et alii* (1997).

All'interno della successione di depositi alluvionali a una profondità variabile tra -12,30 e -10,40 metri, nel sottosuolo di Piazza San Marco è stata osservata una sequenza di sabbie da fini a medio-grossolane, dello spessore di circa 5,00 metri legata alla presenza di un canale fluviale attivo prima dell'impostarsi dell'ambiente

lagunare (Lezziero, 1999).

Serandrei Barbero *et alii* (2001) fanno notare come lo spessore dei sedimenti lagunari sovrastanti e l'età più antica a essi associata evidenzia l'andamento regolare, attorno ai -5,00 m, della superficie di tetto dei depositi continentali. Non risultano quindi variazioni altimetriche importanti legate alla presenza del paleoalveo nel sottosuolo della città. Contrariamente a quanto ipotizzato da Favero (1983) in precedenza, l'area del centro storico di Venezia non sembra essere quindi la continuazione di quell'alto morfologico individuato nei pressi di Campalto, attribuito a un paleoalveo del Brenta e probabilmente collegato a un altro alto morfologico riconosciuto nel sottosuolo della bocca di Lido (Tosi, 1994). Nella figura 7 è riportato lo schema geologico ricostruito sulla base dei carotaggi disponibili per l'area dell'Arsenale di Venezia. Esso riassume la stratigrafia tipica che si può incontrare nel centro storico di Venezia.

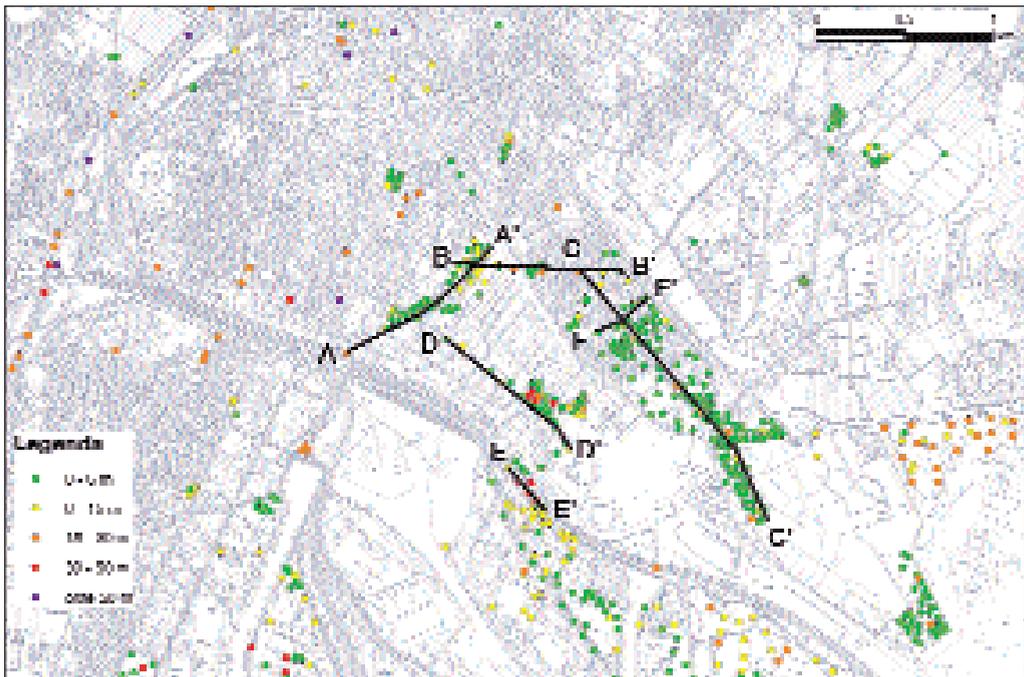


Figura 8 - Distribuzione dei sondaggi utilizzati per lo studio dell'area urbana di Mestre, tratti dalla banca dati della Provincia di Venezia e suddivisi per profondità d'indagine. Le linee nere rappresentano i tracciati delle sezioni geologiche.

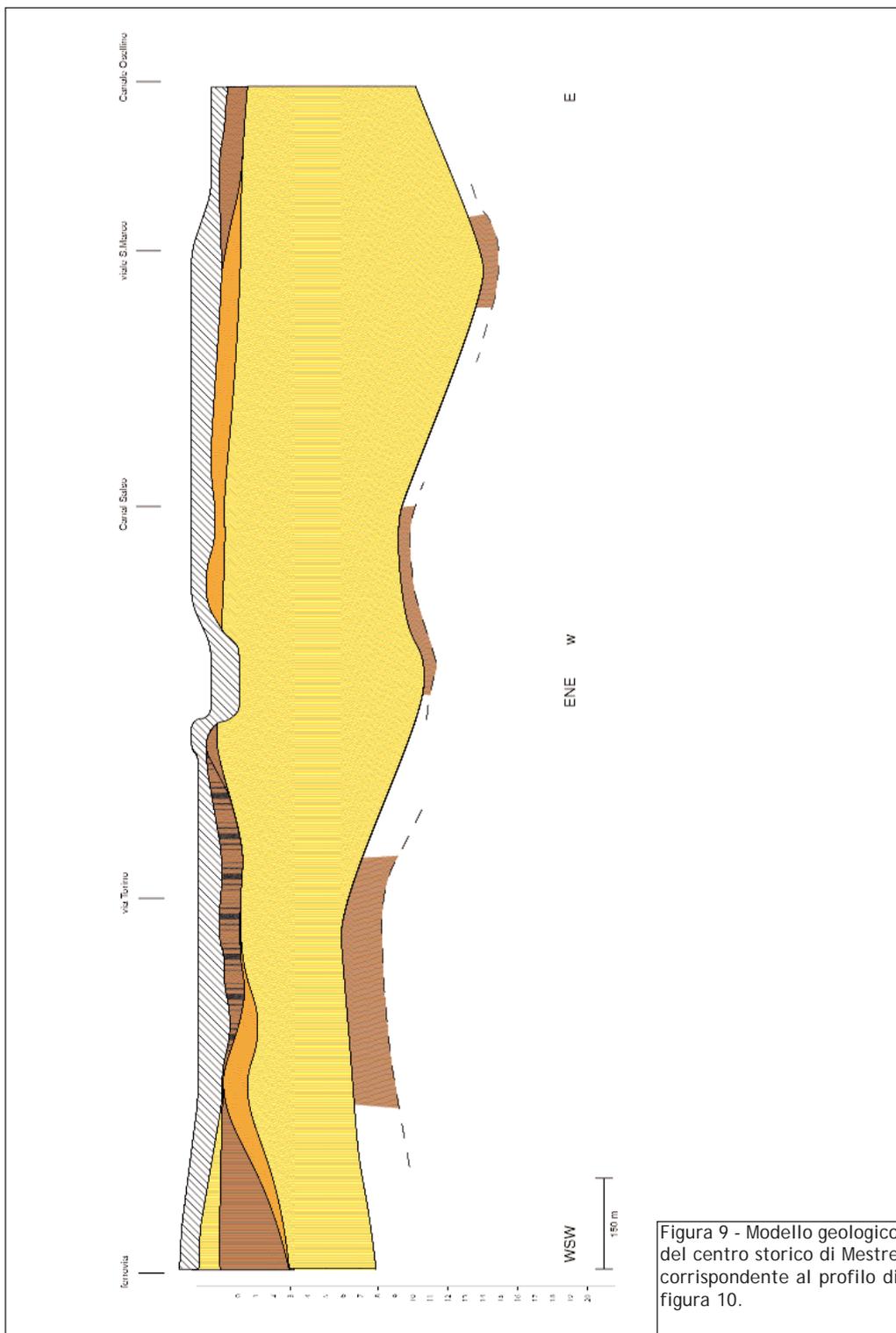


Figura 9 - Modello geologico del centro storico di Mestre corrispondente al profilo di figura 10.

## **Cenni geologici sul sottosuolo di Mestre**

I risultati preliminari dello studio geologico della provincia di Venezia (Progetto Geosinpav) consentono di delineare i caratteri geologici essenziali del centro storico di Mestre, riassunti nelle figure allegate.

Sono stati esaminati più di 500 log stratigrafici (Figura 8) che hanno consentito di definire il modello geologico del centro storico. Lo schema di figura 9 rappresenta un profilo che attraversa l'area urbana di Mestre, partendo dalla linea ferroviaria (presso il cavalcavia di via della Libertà) con direzione ovest-sud-ovest/est-nord-est fino al Canal Salso, e con direzione est-ovest fino al Canale Osellino (Figura 10).

Si osserva la continuità del livello di sabbie che nella zona centrale (in destra idrografica rispetto al Canal Salso) raggiunge la superficie e si trova direttamente a contatto con il riporto. Allontanandosi in direzione della ferrovia, il tetto delle sabbie sembra approfondirsi con una certa regolarità fino a una profondità di circa 3 metri s.l.m. Verso est il tetto delle sabbie si mantiene a una profondità minore (circa 0 metri s.l.m.) e si abbassa leggermente in corrispondenza del Canale Osellino.

Il letto delle sabbie si localizza verso ovest ad una profondità variabile tra gli 8 e 9 metri dal piano di campagna (p.c.) mentre si approfondisce nella zona centrale del profilo. In quest'area un livello poco potente di argille separa il primo strato di sabbie da un secondo strato, il quale arriva fino a una profondità di circa 16 metri dal p.c. Anche il sondaggio localizzato all'altezza di viale San Marco evidenzia una profondità del letto delle sabbie di circa 15 metri dal p.c., ma la correlazione con la parte centrale del profilo risulta complicata dall'assenza di carotaggi nelle immediate vicinanze. Lo spessore delle sabbie appare così variabile tra 4 e 9 metri fino a un massimo di 12 metri.

Sotto le sabbie si individua una sequenza costituita da alternanze di argille limose, limi argillosi e/o sabbiosi con frequenti li-

velli torbosi. In particolare alcuni livelli di torba si riscontrano ad una profondità costante di circa 10-11 m, 14-16, 18-20 e intorno ai 23-25 metri dal p.c.

Tra il tetto delle sabbie e lo strato di riporto troviamo livelli di limi argillosi e argille talora caratterizzati dalla presenza di concrezioni carbonatiche in concentrazioni variabili (caranto). Lungo il profilo le concrezioni si riscontrano in corrispondenza della zona di via Torino e all'interno della depressione situata nell'area centrale. Nella parte orientale della sezione non viene segnalata la presenza di concrezioni carbonatiche.

Lo schema di figura 11 mostra una sintesi dell'andamento del tetto del caranto. Appare in maniera chiara la presenza di un dosso fluviale pleistocenico, costituito da sabbie per spessori dell'ordine di una decina di metri, che si dirige verso l'area di San Giuliano e che potrebbe essere in continuità con i percorsi pleistocenici individuati nel centro di Venezia, garantendo così la saldatura tra l'attuale ambito lagunare e quello di terraferma che durante l'Ultimo Massimo Glaciale erano evidentemente in continuità.

## **Il modello geologico-concettuale di Porto Marghera**

Si riporta di seguito la descrizione stratigrafica e idrogeologica comunemente accettata relativamente alla geologia dell'area di Porto Marghera.

Questa successione è riportata in diversi documenti tecnici, tra i quali anche il master plan di Porto Marghera e il Protocollo operativo per la caratterizzazione dei siti ai sensi del DM 471/99 e dell'accordo di programma per la chimica di Porto Marghera (11 giugno 2001). In particolare le specifiche tecniche elaborate dal Comune di Venezia riportano la figura allegata (Figura 12).

Se nelle sue linee essenziali tale descrizione trova un certo riscontro nelle singole stratigrafie, le indagini tuttora in corso sembrano confermare la presenza di archi-



tette sedimentarie variabili che mostrano in realtà la presenza di soluzioni di continuità tra le diverse falde acquifere superficiali e settori caratterizzati da maggior concentrazione di sedimenti grossolani alternati a fasce dove la sedimentazione fine è prevalente.

I documenti ufficiali riportano (www.ambiente.venezia.it) pertanto come, sulla scorta nelle molteplici indagini condotte in area lagunare e di terraferma, si sia potuto elaborare un modello geologico concettuale che, pur all'interno di una variabilità laterale dovuta a processi di sedimentazione di tipo continentale e lagunare, mostra una successione alquanto regolare.

«La valutazione dei dati analitici dedotti dalle indagini effettuate su circa 1.149 stazioni d'indagine dalle Aziende firmatarie l' *Accordo di Programma per la Chimica a Porto Marghera*» (ex D.P.C.M. 12 Febbraio 1999), in esecuzione del Piano Generale di Indagine dei Suoli e delle Falde, ha consentito la formulazione di un modello concettuale del sottosuolo, modello chiaramente di massima e valido a questa scala.

In particolare, il sottosuolo dell'area

compresa all'interno della Penisola della Chimica è costituito da un insieme di litologie fra loro diverse, spesso interdigitate e con caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche anche molto diverse fra loro.

I terreni che si susseguono a partire dalla superficie verso il basso sono così riassumibili:

- il riporto, mediamente dello spessore di circa 3 metri, ma con punte anche di 9 - 10 - 12 metri, caratterizzato dalla presenza di lenti d'acqua e di materiali eterogenei (materiali inerti e limo argilloso ricavato dallo scavo dei canali lagunari), anche di origine industriale (ad esempio i fanghi bauxitici);
- limi argillosi e argille limose nere, con frequenti inclusioni vegetali o livelli di torba (barena o, comunque, sedimenti lagunari); o, in alternativa, limi argillosi grigi, sabbie grigie o gialle (depositi fluviali). Quando presenti (la loro distribuzione, infatti, non è continua) i materiali costituenti l'originale barena si trovano intorno allo zero marino, con spessori non superiori al metro - metro e mezzo - e costituiscono il primo livello impermeabile in posto;

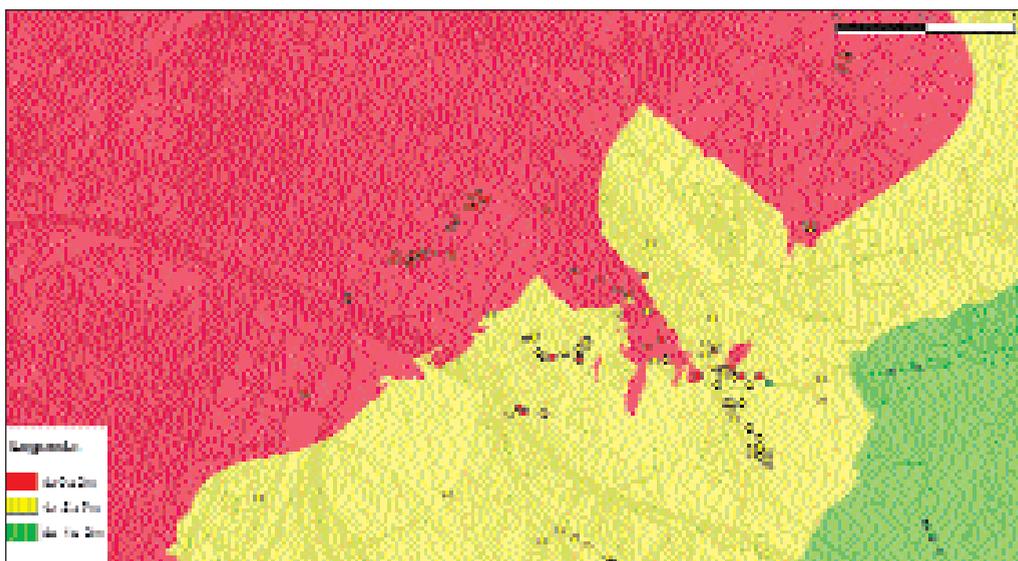


Figura 11 - Elaborazione della mappa del tetto del caranto ottenuta attraverso software GIS. E' interessante notare la presenza di una fascia di territorio caratterizzata dalla profondità del tetto del caranto compresa tra 0 e 2 metri s.l.m. che si sviluppa perpendicolarmente alla pendenza del tetto del caranto individuando un possibile alto morfologico (elaborazione originale Mazzuccato A.).

- argilla limosa nocciola molto compatta (sovracconsolidata), con inclusioni di noduli calcarei e fiamme di colore ocra. Anche tale livello (riconosciuto come "livello guida" formatosi durante la regressione marina), denominato a livello regionale come "caranto", non è sempre presente nel sottosuolo di Porto Marghera. Il suo spessore risulta variabile da zona a zona, ma di solito non supera il metro;
- sabbie medio-fini, sabbie fini limose e limi sabbiosi con interdigitati livelli più o meno spessi ed estesi di argille e limi argillosi, costituenti la prima falda. Questo livello è molto variabile in spessore e profondità, oltre a presentare notevoli discontinuità laterali dei parametri idrogeologici (Q, T, k, v, i, porosità, ecc.). Si può, comunque, dire che il tetto di questo livello sabbioso si aggira mediamente tra gli 8 e i 12 - 15 m, mentre il letto lo si trova fra i 10 e i 18 - 20 metri;
- argille e argille limose, spesso ricche di

materiale organico, costituiscono il letto della prima falda. Non si esclude che tale livello sia anch'esso privo di continuità laterale, anche se i dati a disposizione non sono ancora sufficientemente numerosi;

- sabbie fini-medie e sabbie fini limose presenti a partire dai 20 - 25 m, costituenti la seconda falda, avente anch'essa spessori variabili.

## Il Caranto

Con il termine caranto nell'area lagunare veneziana si identifica un livello ubicato alla base dei depositi lagunari, frapposto alla sottostante serie alluvionale. Questo intervallo, mediamente spesso 1-2 m, è costituito da limi argillosi e argille notevolmente compatti, con colorazioni screziate dall'ocra al grigio e comuni noduli carbonatici duri con diametro da pochi millimetri a 1-2 cm; il caranto è facilmente individuabile anche per le ottime caratteristiche fisiche e meccaniche.

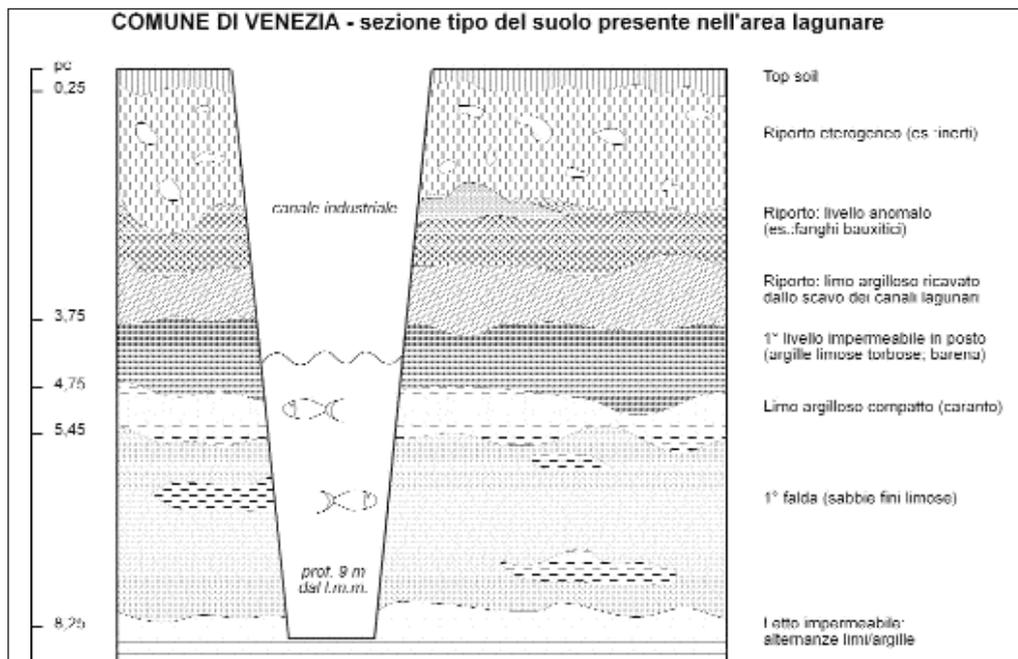


Figura 12 - Comune di Venezia - Sezione tipo del suolo presente nell'area perilagunare veneziana.

La sua presenza è subordinata sia a cause primarie, come le condizioni morfologiche preesistenti e la distribuzione dei litotipi, sia a processi erosivi secondari, probabilmente legati alla divagazione del Brenta (Gatto & Previatello, 1974); il caranto tende ad affiorare in terraferma e si affossa gradualmente, con una pendenza media superiore a quella della bassa pianura veneta, verso i litorali sotto una coltre olocenica di oltre 13 metri di spessore (Bassan & Vitturi, 2003).

Il caranto è stato oggetto di uno studio stratigrafico, paleopedologico e palinologico, basato sull'analisi di 4 sondaggi ubicati al margine interno del settore centrale della laguna di Venezia, tra la foce del F. Dese e Porto Marghera (Mozzi *et alii*, 2003). In accordo con il contesto stratigrafico generale già definito negli studi precedenti, una sequenza lagunare riferibile probabilmente agli ultimi 2000 anni e ancora in aggradazione in età medievale e moderna, ricopre con uno spessore esiguo una serie fluviale datata 21.000-18.000 anni <sup>14</sup>C BP ma in sedimentazione almeno fino a circa 14.500 anni <sup>14</sup>C BP. Inquadrandosi i depositi fluviali nell'ambito del quadro cronostatigrafico della pianura veneta centrale si evince che il sistema sedimentario attivo nell'area di studio durante il Pleistocene finale era quello del Brenta (megafan di Bassano). Al tetto dei depositi alluvionali è presente il caranto.

Lo studio paleopedologico di queste serie sedimentarie, con l'esecuzione di analisi chimico-fisiche e micromorfologiche, ha dato riscontro della natura pedogenetica delle figure di alterazione che contraddistinguono il caranto. In particolare sono stati riconosciuti i tipici orizzonti di accumulo dei carbonati, con anche fenomeni di mobilizzazione del ferro e riprecipitazione come ossidi e idrossidi, caratteristici degli orizzonti gley.

Il caranto è stato dunque interpretato come un suolo sepolto, che si è sviluppato al tetto della serie alluvionale pleistocenica sulla superficie del tratto distale del megafan di Bassano. L'arco temporale per la sua formazione è compreso tra la cessa-

zione dei processi fluviali, avvenuta successivamente a 14.500 anni <sup>14</sup>C BP e probabilmente prima dell'inizio dell'Olocene e dell'ingressione lagunare.

Sulla base di circa 700 sondaggi geognostici Gatto & Previatello (1974) hanno ricostruito una carta del caranto in cui si evidenzia che il livello di caranto è presente lungo tutto il margine interno della laguna, nel settore compreso tra San Leonardo e le Motte di Volpego, a Venezia e sul litorale, mentre è assente in un'ampia zona posta alle spalle del Lido. Questo livello è però sempre lateralmente discontinuo, interrotto da fasce sabbiose nastriformi larghe da poche centinaia di metri a 1-2 km e lunghe alcuni chilometri, con direzione complessiva nord-ovest/sud-est. Nel lavoro di Mozzi (2004) viene evidenziato che almeno in parte le lenti sabbiose che interrompono la continuità laterale del caranto sembrano corrispondere alla trama dei dossi del Brenta tardo-pleistocenico, formatisi precedentemente alla fase di pedogenesi, e non a ipotetici canali fluviali attivi successivamente alla formazione del paleosuolo. Tenendo conto che l'alterazione pedogenetica dei depositi sabbiosi di dosso non crea quelle evidenze macroscopiche che si verificano sui sedimenti fini di esondazione e che contraddistinguono il caranto, ma può esplicarsi solo in termini di una locale decarbonatazione e sviluppo di screziature, è normale che essa possa essere sistematicamente omessa nelle descrizioni di carotaggi fatti a fini applicativi, dove risulteranno semplici sabbie.

Mozzi (2004) precisa quindi che le interruzioni nell'estensione della aree a caranto sono interpretabili in termini di variazioni delle caratteristiche geopedologiche del substrato alluvionale pleistocenico, su cui si è sviluppata la medesima fase pedogenetica. Non è necessario ipotizzare episodi di incassamento del reticolo fluviale e conseguente erosione localizzata del caranto per spiegare la sua discontinua distribuzione areale (Mozzi *et alii*, 2003).

## Analisi cartografica e da fotointerpretazione della terraferma: Mestre e Marghera

Le prime carte che raffigurano la gronda lagunare di Mestre e Marghera, delineanti un paesaggio naturale in evoluzione costante ed in un contesto sociale organizzato ed attivo, risalgono alla metà del XV secolo. Al fine di riconoscere i trend evolutivi principali sono stati esaminati i più rilevanti prodotti cartografici noti tra le migliaia di carte disponibili grazie all'inflessibile lavoro dei cartografi veneziani, oggi con-

servati perlopiù all'Archivio di Stato di Venezia. L'analisi si è concentrata su una serie di carte specifiche, selezionate per scala, anno di edizione e dettaglio di rappresentazione cartografica. Sono state inoltre esaminate la Carta del Regno Lombardo Veneto del 1833 e le Tavole IGM Mestre 51 II N.O del 1903, del 1931 e del 1968.

Attraverso il ridisegno dei segni cartografici rappresentanti l'antica idrografia lagunare e continentale e i limiti delle terre emerse, è stata prodotta una serie di tavole in grado di descrivere e confrontare la paleogeografia dell'area relativa a ciascun anno di edizione delle carte. È stato fatto un largo impiego degli strumenti informa-

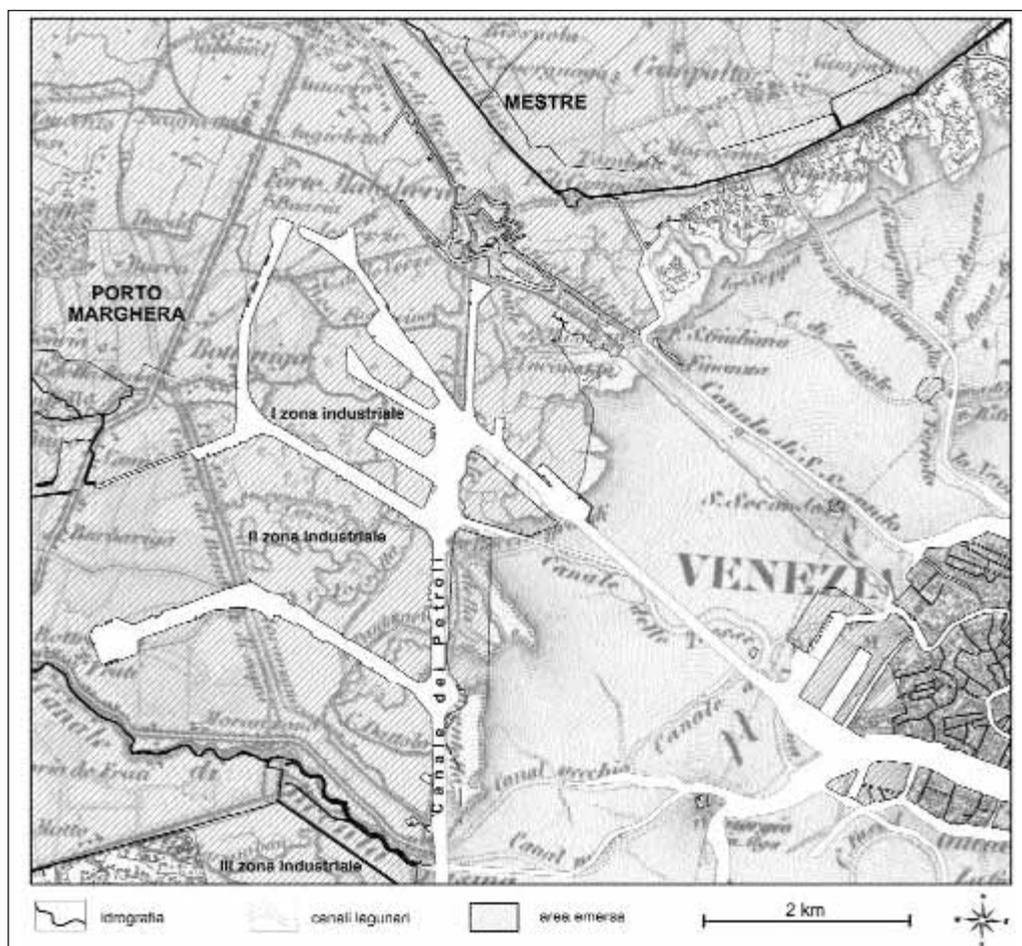


Figura 13 - Stralcio della Carta del Regno Lombardo Veneto (1833) relativa all'area di Porto Marghera. In colore bianco è sovrapposta l'attuale rete di canali lagunari e portuali (elaborazione Magri S.)

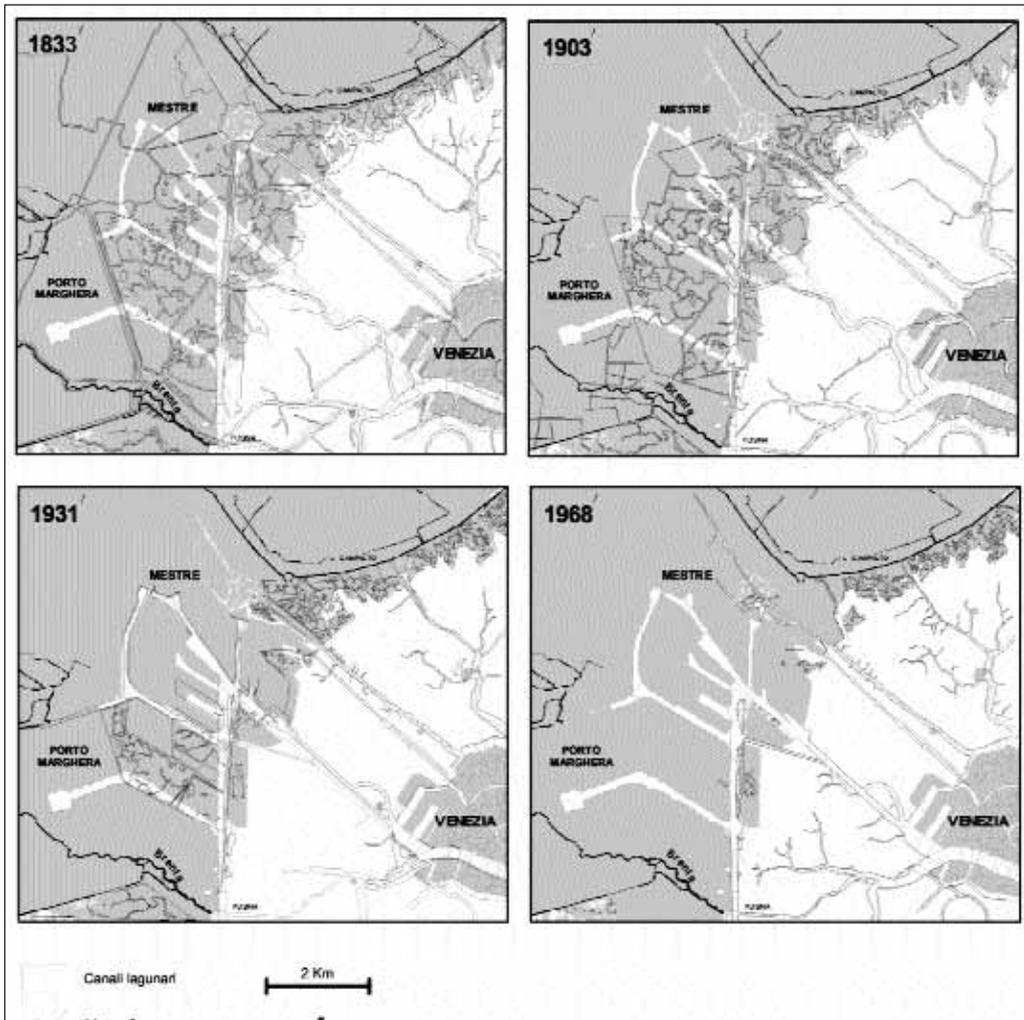


Figura 14 - Antica idrografia ed estensione delle aree emerse desunte dalla Carta del Lombardo Veneto (1833) e dalla serie storica delle tavolette IGM (1903, 1931, 1968; elaborazione Magri S.)

tici (GIS) per poter utilizzare i livelli informativi prodotti in successive applicazioni volte allo studio geologico-ambientale di Porto Marghera.

Dal punto di vista metodologico, si è proceduto in prima istanza ad acquisire in formato digitale la carta del Lombardo-Veneto e la serie storica delle tavolette IGM. Stanti le deformazioni dovute alle diverse proiezioni cartografiche e alle alterazioni subite dagli originali cartacei, le carte sono state georeferenziate per renderle sovrapponibili all'attuale Cartografia Tecnica.

Successivamente, gli elementi paleoidrografici sono stati ridisegnati ottenendo un insieme di linee e tratteggi diversi, ciascuno corrispondente ad un determinato tematismo, riportati in un piano di coordinate geografiche. Tali grafici sono stati quindi sovrapposti alle carte tecniche regionali (CTR) del quadrante Venezia-Mestre.

Sono stati distinti e confrontati tra loro i seguenti elementi: limite delle barene, idrografia lagunare, idrografia continentale, elementi antropici.

Carta del Regno Lombardo Veneto, 1833 (figg. 13 e 14) - È una carta monocromatica, molto particolareggiata e accuratamente rilevata, in scala 1:86.400. Ben delineato è il percorso del Marzenego nel centro di Mestre, dove il fiume si divide in due rami, per poi riunirsi presso il ponte di Via Colombo e da qui continuare fino a raggiungere le acque dell'Osellino per sfociare in laguna. Le barene sono alquanto estese, in particolare nel settore ad ovest di Marghera, dove si estende oggi il Porto Industriale. Esse sono delimitate verso la terraferma dal canale detto "Ramo delle Verze" e si protendono verso la laguna con la "Punta dei Lovi", antica foce lagunare del Brenta. Il Brentella è l'unico canale rettificato, che, partendo dal Borgo di Marghera, attraversa completamente l'area. Tra i vari canali naturali spicca, sia per la sua ampiezza, sia per il suo peculiare tracciato, il Canale di Marghera, il quale inizialmente è perpendicolare e poi, piegando ad angolo retto, scorre parallelamente al Brentella, congiungendosi, infine, al Canale di Mestre. Altro elemento idrografico di rilievo, localizzato lungo il Brentella, è la "Bocca Grande di Bottenigo", dalla quale si dipartono vari "rami" contrassegnati da tipici nomi di oggetti e mestieri veneziani.

Anche ad est di Marghera le barene sono irriconoscibili rispetto ad oggi: si vede il Canale Tombel al posto dell'attuale Seno della Seppia e una barena solcata da numerosi "ghebbi". In più, nei pressi di Tessera è evidente "la Palude del Monte", oggi scomparsa in seguito alla costruzione dell'aeroporto Marco Polo. Come allora, le barene sono delimitate dall'argine del Canale dell'Osellino, si scorge il porticciolo a Campalto, la cavana nell'isola di San Giuliano e la "Punta Lunga", che è più avanzata sulla Laguna.

Riguardo ai canali lagunari, infine, è da notare il loro andamento parallelo. Essi, da ovest verso est, sono: il Canale delle Tresse, che con andamento leggermente sinuoso, parte dalla "Bocca Grande di Bottenigo" e si congiunge al Canale della Giudecca; si immettono nel Canal Grande e hanno andamento rettilineo, invece, il Canale San Secondo (Canale Vittorio Emanuele III) che ini-

zia dal Canale di Marghera, il Canale di Zeniole che prosegue dal Canale Tombel e si divide in varie "cime" e il Canale di Campalto, il quale, invece, si divide in "rami".

Oltre agli argini dell'Osellino che separano le barene ad est di Marghera, ci sono ben evidenti anche i confini nell'area ovest: a nord è ancora delimitata dal Canale delle Verze, a ovest il suo confine è dato dagli argini del nuovo Canale Bondante di Sopra e a sud è interrotta dalla foce del Naviglio Brenta presso Fusina.

Tavoletta IGM Mestre 51 II N.O, 1903 (Figura 14). È una carta monocromatica e geometrica che rappresenta la gronda lagunare prima della costruzione del Porto Industriale di Marghera

L'edificazione sul territorio è ancora limitata e ciò rende più facile ed evidente la lettura degli elementi naturali. Le barene conservano ancora un aspetto pressoché integro in quanto non sono cominciati ancora i massicci interventi che interessarono la zona di Porto Marghera né tanto meno quella dell'attuale aeroporto. I canali lagunari sono ancora naturali e non rettificati artificialmente. Sono visibili i primi scoli e piccoli canali artificiali che si diramano nell'entroterra soprattutto nella zona di Fusina. Molti di questi ultimi scompariranno dalle carte successive o saranno artificialmente ampliati. Da una rapida lettura della carta, appare evidente la presenza del solo ponte ferroviario a collegare Venezia alla terraferma.

Tavoletta IGM Mestre 51 II N.O, 1931 (Figura 14). Compagno sostanziali differenze rispetto al passato. Nonostante i soli 30 anni trascorsi, appare chiaro l'avanzamento del fronte lagunare ad invadere le superfici barenicole. Tale fenomeno è probabilmente legato al massiccio e perentorio sviluppo del porto industriale. Nella carta emerge poi il prolungamento del canale Vittorio Emanuele III fino al canale della Giudecca e la presenza di nuovi canali artificiali, costruiti a scopo industriale sulla terraferma (Canale Industriale Nord, Canale Industriale Ovest e bacino commerciale 1).

Tavoletta IGM Mestre 51 II N.O, 1968 (Figura 14). La ricostruzione di Marghera dopo la guerra porta ulteriori cambiamenti; i



sultati più apprezzabili si sono ottenuti nelle aree di Mestre e Campalto dove le tracce risultavano più evidenti, nitide e riscontrabili in vari fotogrammi appartenenti a levate successive.

I paleoalvei di dimensioni maggiori, riconosciuti in foto aerea, si snodano tutti da ovest verso est con andamento subparallelo. È ragionevole l'attribuzione al sistema fluviale del Brenta, costituito da rami divergenti che si dirigevano verso la laguna e che hanno originato alcuni dossi. I corsi minori, tuttavia, seguono anche percorsi diversi, da nord a sud, in maniera perpendicolare ai precedenti. Non è chiara l'origine della rete idrografica secondaria che potrebbe essere ascritta sia agli antichi canali lagunari che all'idrografia minore continentale.

Risulta evidente la rettifica operata negli ultimi secoli su molti corsi d'acqua ancora oggi attivi, tra questi il Musone e il Marzenego, ora denominati rispettivamente Rio Cimetto e Osellino. Un tempo questi fiumi si snodavano attraverso numerose anse dividendosi in rami che si aprivano per ricongiungersi in prossimità della laguna; altre tracce sono riconducibili con minore evidenza a tracciati noti. Più in dettaglio, il Musone, dopo aver lambito Chirignago e la zona di Asseggiano, giunge a Mestre con il nome di Rio Cimetto il quale, piegando a sinistra, confluisce nel Marzenego, nel ramo della Campana. Prosegue solcando Piazza XXVII Ottobre e termina il suo corso immettendosi nell'ormai rettificato Canal Salso.

Da un attento esame dei risultati ottenuti dalla fotointerpretazione sembra, inoltre, che lo stesso fiume presenti un secondo percorso: traendo origine dalle zone di Mirano, muove verso est e dopo un tratto tortuoso di oltre una decina di chilometri, durante il quale assume successivamente i nomi di Canale Cime e Canale Tron, entra nel Lusore-Scolo Brentella per confluire con questo nel Naviglio Brenta il quale si immette in laguna presso Fusina.

Lo stesso Lusore è stato notevolmente rettificato, dal momento che dalla fotointerpretazione si vede chiaramente che un

tempo presentava anse e meandri anche se di modeste identità.

Il Marzenego, invece, giunge nel centro di Mestre da nord e si divide, apparentemente, in due rami: il ramo delle Beccherie, che attraversa la Vecchia Pescheria, e il già citato ramo della Campana. Questi due corsi d'acqua confluiscono nell'Osellino nella località in cui ora sorge il Ponte di Via Colombo. L'Osellino, a sua volta, fluisce verso il Forte Marghera dove entra nel vecchio alveo del Musone e a San Giuliano sfocia in laguna.

Proprio dell'Osellino, dai fotogrammi consultati, si ottiene una ricostruzione fedele del suo letto caratterizzato da repentini cambi di direzione e da elevata sinuosità. Termina in laguna passando per la località Ponte di Pietra, sulla quale sorgeva, appunto, il ponte lungo l'antica Via Annia.

Di difficile interpretazione sono i tre paleoalvei che si trovano nella carta di Campalto, poiché seguono la direzione nord-sud che è completamente diversa rispetto dalla direzione seguita da tutti i corsi d'acqua originatisi dal Brenta, cioè, la direzione nord-ovest/sud-est.

La traccia di maggior importanza, che spicca anche per la sue dimensioni, è quella che segue il Naviglio Brenta, taglia il Canale Oriago e poi si biforca: di un ramo si perdono le tracce, dell'altro invece si vede nitidamente tutto il suo percorso fino all'immissione in laguna, poco sopra la foce del Naviglio, dove oggi sorgono stabilimenti industriali.

Lungo il Naviglio Brenta si vedono alcune tracce: quella più a ovest ha una forma arcuata che può far pensare ad un meandro, sede di un antico braccio del Brenta che fluiva in questa zona in epoca storica; un po' più ad est, nei pressi del centro di Malcontenta, si nota una sagoma di dimensioni inferiori e a raggio di curvatura più piccolo di tonalità chiara, che rappresenta anch'essa la vestigia di un meandro dell'antico corso del Brenta.

Nell'area indagata, è evidente, inoltre, la traccia della Via Annia, antico tracciato viario romano. Si situa a sud-ovest di Malcontenta, ed appare lunga circa 2000 me-

tri con direzione nord-est e larga circa 20 m, ha un segno centrale più chiaro, al quale si accompagnano altri due paralleli, più scuri, che rappresentano rispettivamente la base del terrapieno e i fossati che ne delimitavano la probabile sopraelevazione su argine (Marchiori, 1986).

Lo studio della cartografia storica in ambienti altamente dinamici si è rivelato di estrema utilità ai fini delle ricostruzioni dell'antico assetto territoriale, così come le foto aeree più vecchie, specialmente quelle relative ai voli eseguiti sugli obiettivi militari della seconda guerra mondiale, si sono rivelate di grande efficacia per la scarsa estensione delle aree urbanizzate. L'analisi degli elaborati grafici (Figura 14) ha permesso di svolgere le seguenti considerazioni (Magri, 2004). In generale, si osserva che negli ultimi 70 anni del XIX secolo, dal 1833 al 1903, le barene nella zona a nord del ponte ferroviario sono rimaste pressoché invariate, mentre si registra una modesta riduzione nella zona compresa tra il ponte ferroviario e Fusina. In questa zona le barene sono ancora separate dalla terraferma dal canale Bondante. I canali lagunari sono immutati, mentre la rete artificiale in pianura si differenzia solamente per la presenza di alcuni nuovi canali rettificati nei pressi di Fusina. In circa 30 anni, nel periodo tra le due guerre (vedi carte del 1931 e 1968), sono avvenuti i cambiamenti più evidenti: l'area di Porto Marghera ha subito un trasformazione radicale con l'interramento del Canale Bondante ma soprattutto con la formazione delle casse di colmata. Gran parte della frangia barenicola, caratterizzata da lineamenti naturali, solcata da canali sinuosi, è stata occlusa dalle casse di colmata, dai contorni geometrici, fiancheggiata da larghi e profondi canali portuali. È da notare, inoltre, l'arretramento delle barene ancora presenti alla testata del ponte translagunare e nella zona di Campalto-Tessera a causa dell'erosione.

Nell'entroterra è da segnalare, da una parte, l'estinzione dei canali rettificati che dal Naviglio Brenta, presso Fusina, arrivavano fino a Marghera in località Rana, e dal-

l'altra, la creazione di nuovi canali, soprattutto tra il centro di Mestre e i dintorni di Forte Marghera.

Anche in laguna l'idrografia ha subito cambiamenti: sono stati scavati il Canale Vittorio Emanuele III e il Canale dei Petroli; sono stati costruiti il Ponte della Libertà e l'aeroporto; sono scomparsi, oppure semplicemente modificati, alcuni rami dei canali naturali e sono stati rettificati i tratti dei canali adiacenti alla terraferma. Dagli anni ottanta ad oggi, invece non si registrano cambiamenti degni di nota, poiché, per l'inversione di tendenza dell'attività industriale e la stagnazione delle imprese presenti a Marghera, non si sono realizzati altri interventi strutturali di rilievo.

## Bibliografia

- Abati R. & Polo M. P. (1989) - *Le acque del Muson*. Biblioteca Comunale di Santa Maria di Sala.
- Bassan V. & Vitturi A. (2003) - *Studio geoambientale del territorio provinciale di Venezia, parte centrale*. Provincia di Venezia, Venezia, 112 pp.
- Bondesan A., Calderoni G. & Mozzi P. (2002) - *L'assetto geomorfologico della pianura Veneta centro-orientale: stato delle conoscenze*. In: Zunica & Varotto, 2002, 19-38.
- Bondesan A. & Mozzi P. (2002) - *La geomorfologia dell'area del Basso Sile*. In: Ghedini F., Bondesan A. & Busana S. (a cura di), "La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e Storia nella terra dei Dogi". Cierre Ed., Verona, 57-61.
- Bondesan A. & Mozzi P. (2002) - *Aspetti geomorfologici della tenuta di Ca' Tron*. In: Ghedini F., Bondesan A. & Busana S. (a cura di), "La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e Storia nella terra dei Dogi". Cierre Ed., Verona, 61-68.
- Bondesan A. & Mozzi P. (2002) - *La paleogeografia della pianura in sinistra Sile*. In: Ghedini F., Bondesan A. & Busana S. (a cura di), "La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e Storia nella terra dei Dogi". Cierre Ed., Verona, 68-71.
- Bondesan et al. (in stampa) - *Carta Geologica d'Italia*, Foglio 107 Portogruaro, scala 1:50.000. APAT, Regione Veneto, 2 fogli, 180 pp.
- Bondesan & Meneghel S. (2004) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*, Esedra ed., 516 pp.
- Bondesan A., Bonomi S. (2001) - *Il santuario di Lova di Campagna Lupia*. In: "Orizzonti del Sacro, culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale". Quasar, Roma, 245-254.
- Brunello L. (1993) - *Antica idrografia della terra-*

- ferma veneziana*. In: "Quaderni di Studi e Note", Centro Studi Storici Mestre, 2 (nuova serie), pp. 61.
- Capuis L. (1994) - *Il territorio a sud di Padova in epoca preromana*. In: Scarfi B.M., "Studi di archeologia della X regio in ricordo di Michele Tombolani", "L'Erma" di Bretschneider, Roma, 73-84.
- Cattaneo A. & Trincardi F. (1999) - *The Late-Quaternary transgressive record in the Adriatic epicontinental sea: basin widening and facies partitioning*. In: Bergman K. & Snedden J. (Eds.), *Isolated Shallow marine sand bodies: Sequence stratigraphic analysis and sedimentologic interpretation*. SSEPM, 64, 127-146.
- Castiglioni G.B., 1997 - *A tentative evaluation of vertical movements in the alluvial plain near Venice, based on geomorphological evidence*. In: Atti Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, 155 (1996-1997), 301-314.
- Castiglioni G.B. & Pellegrini G.B., 1981 - *Geomorfologia dell'alveo del Brenta nella pianura tra Bassano e Padova*. In: Zunica M. (a cura di), *Il territorio della Brenta, Provincia di Padova, Università di Padova*, 12-32.
- Correggiari A., Roveri M. & Trincardi F. (1996) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. *Il Quaternario*, 9, 697-704.
- Doglion C. (1993) - *Some remarks on the origin of foredeeps*. *Tectonophysics*, 228, 1-20.
- Favero V. (1983) - *Evoluzione della Laguna di Venezia ed effetti indotti da interventi antropici sulla rete fluviale circumlagunare*. In: Atti del Convegno "Laguna, fiumi, lidi; cinque secoli di gestione delle acque nelle Venezia", Venezia, 10-12 giugno, Memoria II-18, pp. 1-18.
- Favero V. & Serandrei Barbero R. (1980) - *Origine ed evoluzione della laguna di Venezia - bacino meridionale*. *Lavori della Società Veneziana di Scienze Naturali*, 5, 49-71.
- Favero V. & Serandrei Barbero R. (1983) - *Oscillazioni del livello del mare ed evoluzione paleoambientale della Laguna di Venezia nell'area compresa tra Torcello e il margine lagunare*. *Lavori della Società Veneziana di Scienze Naturali*, 8, 83-102.
- Fontana A. (2006) - *Evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana e sue relazioni con le dinamiche insediative antiche*. Pubblicazione n. 47, Edizioni del Museo Friulano di Storia Naturale, Comune di Udine, 287pp.
- Fontana A., Mozzi P. & Bondesan A. (2004) - *L'evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana*. In: Bondesan A. & Meneghel M. (a cura di) (2004) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 113-136.
- Fontana A., Mozzi P. & Bondesan A. (in stampa) - *Alluvial megafans in the Veneto-Friuli Plain: evidence of aggrading and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene*. *Quaternary International*.
- Furlanetto P. (2004) - *Le direttrici fluviale e lagunari dell'area centro-sud in epoca antica: una proposta di lettura archeologica*. In Bondesan & Meneghel S. (2004) - *Geomorfologia della provincia di Venezia*, Esedra ed., 516 pp.
- Gatto P. & Previatello P., 1974 - *Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella laguna di Venezia di un'argilla sovraconsolidata nota come "caranto"*. C.N.R., Istituto per lo Studio Dinamica Grandi Masse, Rapporto Tecnico 70, Venezia, 45 pp.
- Giandon P., Ragazzi F., Vinci I., Fantinato L., Garlando A., Mozzi P & Bozzo G.P. (2001) - *La carta dei suoli del bacino scostante in laguna di Venezia*. *Boll. Soc. It. Sc. del Suolo*, 50, 273-280.
- Lambeck, K. & Chappell J. (2001) - *Sea-level change during the last glacial cycle*. *Science*, 292, 679-686.
- Lezziero A. (1999) - *Il sottosuolo di Venezia: sedimentologia e paleoambienti*. In: AA.VV. (a cura di), *Atti del convegno, Le Pianure. Conoscenza e salvaguardia. Il contributo delle Scienze della Terra*, Ferrara, 8-11 novembre, 195-197.
- Magri S. (2001) - *Studio dell'antica idrografia dell'area di Porto Marghera attraverso la fotointerpretazione e l'analisi cartografica*. Tesi di laurea (inedita), Relatore A. Bondesan, Univerità di Padova - Dipartimento di Geografia, Anno Accademico 2000-01, pp. 160.
- Marchiori A. (1986) - *Un tratto di strada romana ai margini occidentali della Laguna di Venezia (area di Malcontenta): da una fotointerpretazione il contributo per un'analisi territoriale*. *Quad. Arch. Veneto*, II, Padova, 140-153.
- McClennen C.E., Ammerman A.J. & Schock S.G. (1997) - *Framework stratigraphy for the Lagoon of Venice, Italy: revealed in new seismic-reflection*. *Journal of Coastal Research*, 13 (3), 745-759.
- Miola, A., Bondesan, A., Corain, L., Favaretto, S., Mozzi, P., Piovan, S. & Sostizzo, I. (2006) - *Wetlands in the Venetian Po Plain (north-eastern Italy) during the Last Glacial Maximum: vegetation, hydrology, sedimentary environments*. *Rev. Paleobotany and Palynology*.
- Mozzi P. (2005) - *Alluvial plain formation during the Late Quaternary between the southern Alpine margin and the Lagoon of Venice (northern Italy)*. *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, suppl. 7, 219-230.
- Mozzi P. & Bondesan A. (2002) - *Lo studio del sottosuolo: trivellate, carotaggi e datazioni assolute*. In: Ghedini F., Bondesan A. & Busana M. S. (a cura di), "La tenuta di Ca' Tron. Ambiente e Sto-

- ria della terra dei Dogi". Cierre, Verona, 30-33.
- Mozzi P., Bini C., Zilocchi L., Becattini R. & Mariotti Lippi M. (2003) - *Stratigraphy, palaeopedology and palinology of Late Pleistocene and Holocene deposits in the landward sector of the Lagoon of Venice (Italy)*, in relation to the "caranto" level. *Il Quaternario*, 16, 1b, 193-210.
- Murst (1997) - *Carta altimetrica e dei movimenti verticali del suolo della Pianura Padana*. 3 fogli, scala 1:250.000, S.EL.CA., Firenze.
- Scortegagna U. (1990) - *Geomorfologia e paleovalvei del fiume Brenta nei dintorni di Mira e Spinea*. Tesi di laurea (inedita). Relatore G.B. Castiglioni, Università di Padova - Dipartimento di Geografia, Anno Accademico 1989-90, pp.221.
- Serandrei Barbero R., Lezziero A., Albani A. & Zoppi U. (2001) - *Depositi tardo-pleistocenici ed olocenici nel sottosuolo veneziano: Paleoambienti e cronologia*. *Il Quaternario*, AIQUA, 14, 9-22.
- Tosi L. (1994) - *L'evoluzione paleoambientale tardo-aternaria del litorale veneziano nelle attuali conoscenze*. *Il Quaternario*, AIQUA, 7 (2), 589-596.

---

---

# L'idrogeologia del Veneziano

Pietro Zangheri  
Geologo - Padova

## Introduzione

La presente relazione sintetizza lo stato dell'arte sulla idrogeologia del veneziano e ne valuta le sue interazioni con l'ambiente urbano. Essa si basa sulle molteplici attività conoscitive svolte negli ultimi 20 anni dalla Provincia di Venezia, in sinergia con numerosi altri enti ed i cui risultati sono stati oggetto di varie pubblicazioni precedenti (vedasi bibliografia).

Il veneziano è caratterizzato da un sistema multifalda. Nel sottosuolo per alcune centinaia di metri si sovrappongono, con geometria complessa, acquiferi alloggiati in sedimenti sabbiosi e ghiaiosi e acquicludi costituiti da sedimenti a bassa permeabilità. Le falde, in generale, diminuiscono di trasmissività ed in qualità naturale delle acque, spostandosi da nord a sud.

Nei primi metri di sottosuolo, si ha una falda freatica (localmente semiconfinata) con notevole variabilità laterale di trasmissività. Quest'ultima, generalmente di limitato interesse ai fini dell'approvvigionamento idrico, risulta comunque di grande interesse geologico-applicativo, in quanto si trova in diretta relazione con moltissime attività antropiche.

## Interazioni tra ambiente urbano ed ambiente idrogeologico

In un'area geologicamente fragile come il veneziano, numerosissime sono le interazioni tra l'ambiente urbano e l'ambiente idrogeologico. Le relazioni tra pressioni antropiche ed effetti ambientali possono distare tra loro anche di molte decine di chilometri.

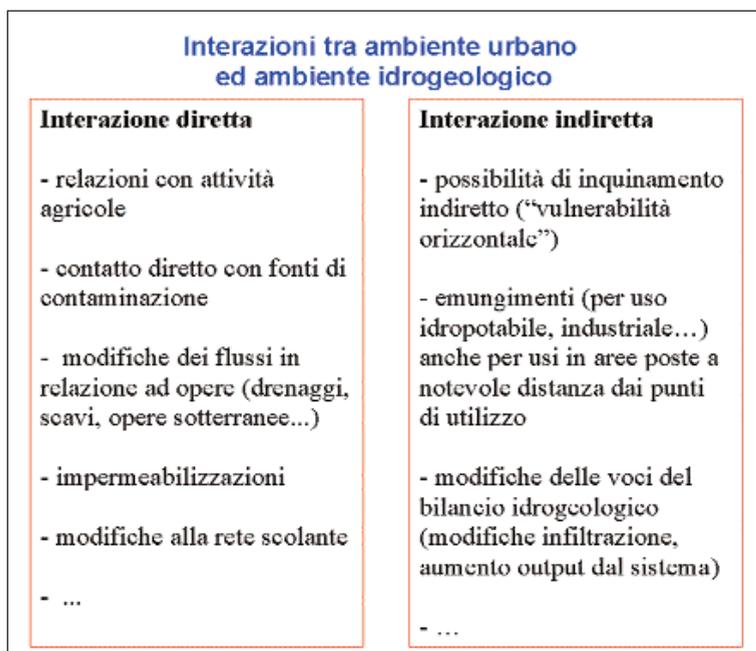


Figura 1 - Schema delle interazioni tra ambiente urbano ed ambiente idrogeologico nell'area veneziana.

Per chiarezza espositiva appare utile distinguere tra interazioni di tipo diretto e di tipo indiretto, le prime comunemente interessano la falda freatica in un intorno ristretto, le seconde interessano più frequentemente le falde confinate.

La figura 1 sintetizza le principali interazioni nell'area veneziana.

Ne consegue che una corretta valutazione delle interazioni e degli impatti delle attività antropiche sul sistema idrogeologico non può che basarsi, come tipicamente avviene in analisi di tipo geologico, su analisi contemporaneamente a diverse scale e considerando l'intero volume di sottosuolo di potenziale interesse e non solo un ristretto intorno delle opere.

La schema di figura 2 esemplifica il concetto esposto.

## Quadro di riferimento idrogeologico

In quest'ottica, una corretta gestione del territorio non può prescindere dalla rico-

struzione di un quadro idrogeologico di riferimento adeguatamente approfondito e dettagliato. Esso sarà la base sia per valutare interazioni ed impatti anche molto distanti dal punto di pressione, sia il riferimento di area vasta per tutte le indagini geologiche/idrogeologiche di carattere puntuale (per opere di ingegneria, per approvvigionamenti idrici, per progetti di bonifica di siti contaminati, per piani urbanistici...).

Ciò non può essere che il risultato di un lavoro sistematico di progressivo approfondimento, coordinato da specifiche strutture interne alla amministrazione pubblica (*Servizio Geologico*), e di sinergia tra i molti Enti che hanno competenza in tema di acque.

Duole dover nuovamente notare come in gran parte della Regione Veneto, nonostante il ruolo chiave che riveste nell'economia italiana, il quadro di riferimento geologico ed idrogeologico sia ancora frammentario e lacunoso e comunque insufficiente ad una corretta gestione dell'ambiente idrogeologico nel suo complesso.

Per un progressivo miglioramento del quadro idrogeologico, le metodologie messe a punto, in oltre 20 anni, dalla Provincia di Venezia, si ritiene siano un valido e collaudato riferimento metodologico, esportabile all'intera pianura veneta.

## Banche dati

Strumento per incrementare progressivamente le conoscenze sono risultate una serie di banche dati georeferenziate, svi-

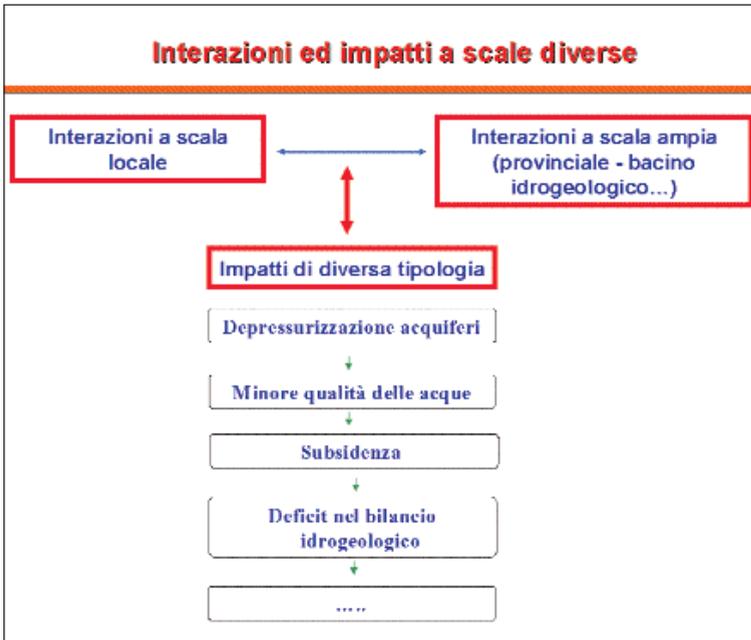


Figura 2 - Interazioni ed impatti a scale diverse.

luppate ed aggiornate negli ultimi 15 anni dalla Provincia di Venezia.

Tutti i principali dati relativi ai rilevamenti idrogeologici svolti sono archiviati e gestiti tramite G.I.S. Non ci si dilunga su queste banche dati, in quanto ormai comune strumento di lavoro in geologia; in figura 3 si riporta l'attuale schema generale della banca dati idrogeologica, che di recente è stata condivisa con altri Enti. (Figura 3)

## **Idrogeologia del veneziano - acquiferi confinati**

Negli anni Novanta, mediante un rilevamento idrogeologico effettuato su oltre 3000 pozzi esistenti, il monitoraggio sistematico di un centinaio di pozzi, l'informaticizzazione e la rielaborazione di dati geologici pregressi ed altre attività, si è giunti ad avere un primo quadro di riferimento sugli acquiferi confinati della provincia di Venezia. Il lavoro è stato pubblicato in una monografia di sintesi nel 2000 (Dal Prà, Gobbo, Vitturi e Zangheri, 2000).

Successivamente sono stati eseguiti approfondimenti (tuttora in corso) su aree di peculiare interesse (vedasi bibliografia).

I pozzi oggetto di rilevamento sono riportati in figura 4. Si nota la distribuzione disuniforme dei pozzi che è da porre in relazione con la disuniforme distribuzione della risorsa idrica. (Figura 4)

Il lavoro ha permesso di definire le aree di "risorsa idropotabile" (Figura 5), in relazione alla quantità e soprattutto alla qualità delle acque sotter-

ranee. Le acque sotterranee di questi acquiferi confinati, in condizioni riducenti, sono normalmente caratterizzate da concentrazioni di "origine geologica" di ferro, ammoniacale, manganese ed altri elementi al di sopra del limite di potabilità. Si tratta di un fenomeno ormai largamente noto, anche se sicuramente risulta indispensabile chiarire ed approfondire i meccanismi che controllano le concentrazioni ed i range di valori di variabilità. Stupisce perciò che vari Enti, nell'ambito di procedure di caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99 (ora sostituito dal D.Lgs. 152/2006), attribuiscono erroneamente ed immotivatamente tale "fondo naturale" a fenomeni di contaminazione antropica.

Nell'area centrale della provincia (Figura 5), l'area di risorsa idropotabile si localizza nei comuni di Scorzé, Noale, Salzano e Martellago e si estende a monte nelle limitrofe province di Treviso e Padova. Il suo limite è stato recepito sia nei documenti del Piano Territoriale Provinciale (mai approvato) sia nel Piano d'Ambito dell'AATO Laguna di Venezia.

Si tratta di un'area strategica per l'ap-

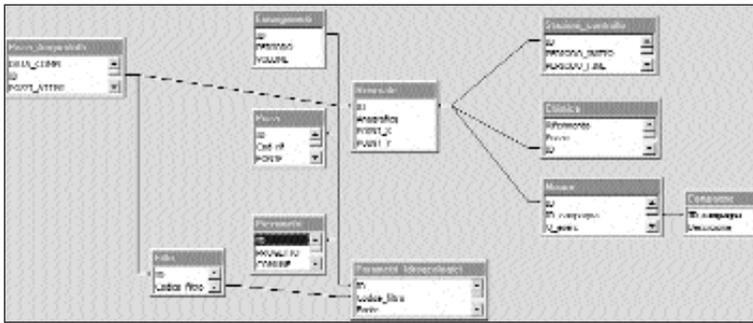


Figura 3 - Struttura database idrogeologico del Servizio Geologico della Provincia di Venezia.

provvigionamento idropotabile di un vasto territorio della bassa pianura veneta. Anche la città di Venezia soddisfa il suo fabbisogno idropotabile prelevando da queste aree che distano circa 30 chilometri dall'isola, andando quindi indirettamente ad influenzare l'ambiente idrogeologico anche a molte de-

cine di chilometri. Nella fascia perilagunare gli emungimenti sono stati sospesi negli anni Settanta, in relazione al problema della subsidenza.

Nell'area di risorsa idropotabile ricadente tra la provincia di Venezia e la provincia di Treviso è in corso uno specifico approfondimento in capo all'AATO Laguna di Venezia i cui primi risultati, nell'ambito di questo convegno sono esposti nel poster: *Dalla geologia al Servizio Idrico Integrato. L'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"* (Cambruzzi T., Conchetto, E., Fabbri P., Zangheri P., Marcolongo E. & Rosignoli A.).

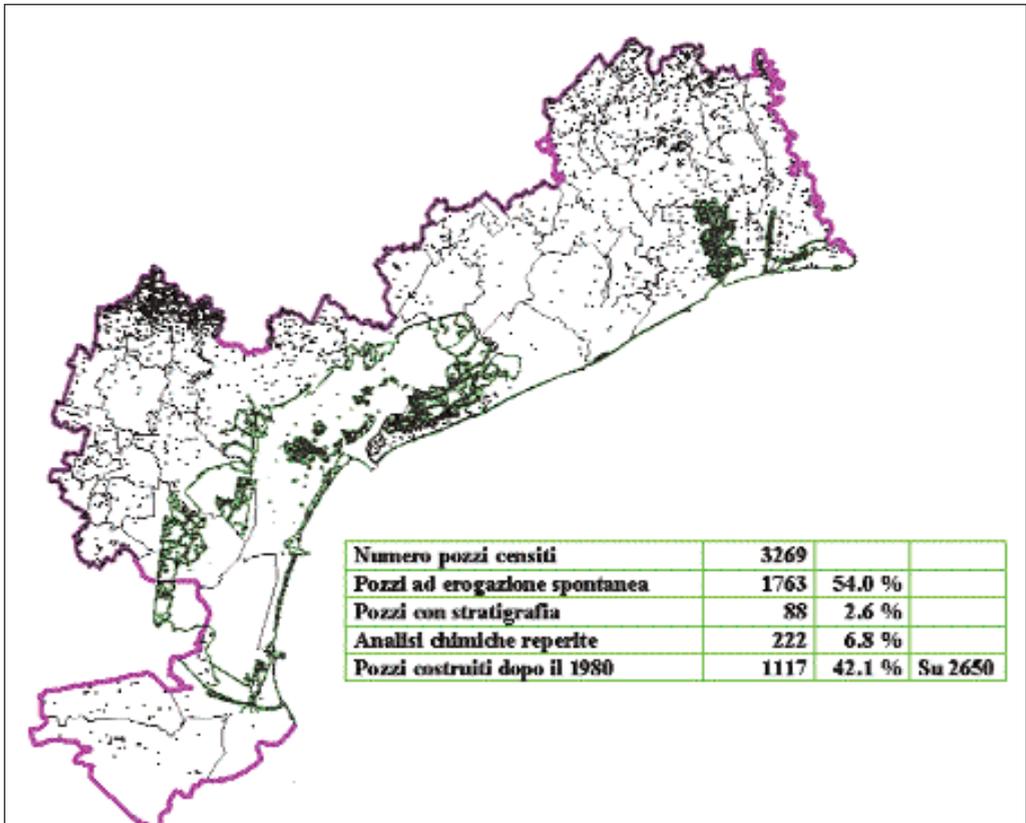


Figura 4 - Carta dei punti di rilevamento e sintesi di alcuni dati rilevati nell'ambito della Indagine Idrogeologica del territorio provinciale di Venezia.

Tale lavoro ha tra gli obiettivi l'approfondimento di alcuni elementi fondamentali per la gestione delle risorse idriche come i parametri idrogeologici, la struttura geologica di dettaglio ed il monitoraggio in tempo reale dello stato di salute della risorsa idropotabile, con il fine ultimo di giungere ad un primo bilancio idrogeologico che funga da elemento base per la gestione della risorsa acqua.

Dal citato poster si riporta un profilo idrogeologico (Figura 6) che ben sintetizza gli elementi principali della struttura del sottosuolo dell'area di risorsa idropotabile.

Nei primi 300-350 metri si riconoscono una decina di acquiferi confinati, pressoché tutti di interesse idropotabile e dotati di artesianità che ne permette lo sfruttamento tramite pozzi privi di pompa.

Per comprendere l'importanza di questa risorsa si osservi che:

- garantisce l'alimentazione di acquedotti che soddisfano il fabbisogno idropotabile

di centinaia di migliaia di persone;

- ha permesso la nascita di attività agricole di pregio quali ad esempio la coltivazione del radicchio a Scorzé;
- viene utilizzata tramite migliaia di pozzi privati per scopi estremamente diversificati, che si concentrano nell'area di risorsa idropotabile.

La risorsa è quindi quantitativamente e qualitativamente di notevole interesse.

Una carente programmazione del suo uso la sta esponendo però ad un progressivo depauperamento.

In particolare si evidenzia un notevolissimo spreco di risorsa (quantificata pari a quella di un acquedotto di medie dimensioni) per la "consuetudine" di lasciare i pozzi artesiani in erogazione continua; a questo corrisponde una progressiva depressurizzazione degli acquiferi dell'area di risorsa idropotabile.

La progressiva perdita di pressione è correlata ad una diffusa tendenza di realizza-

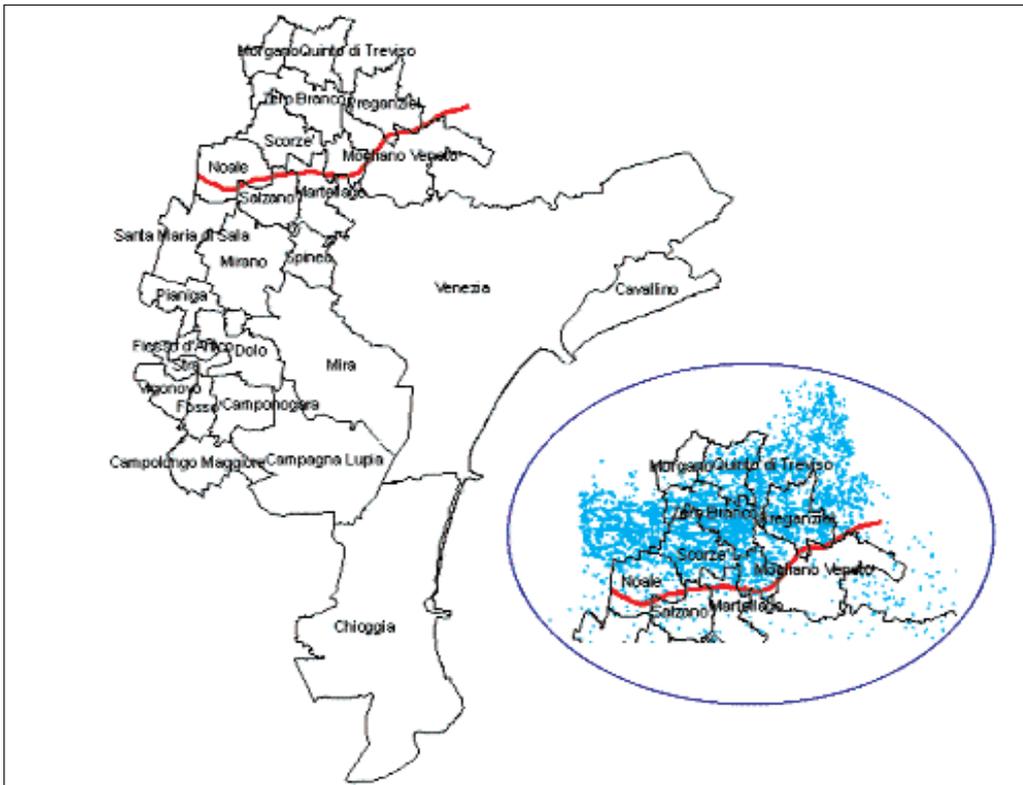


Figura 5 - Limite sud dell'area di risorsa idropotabile.

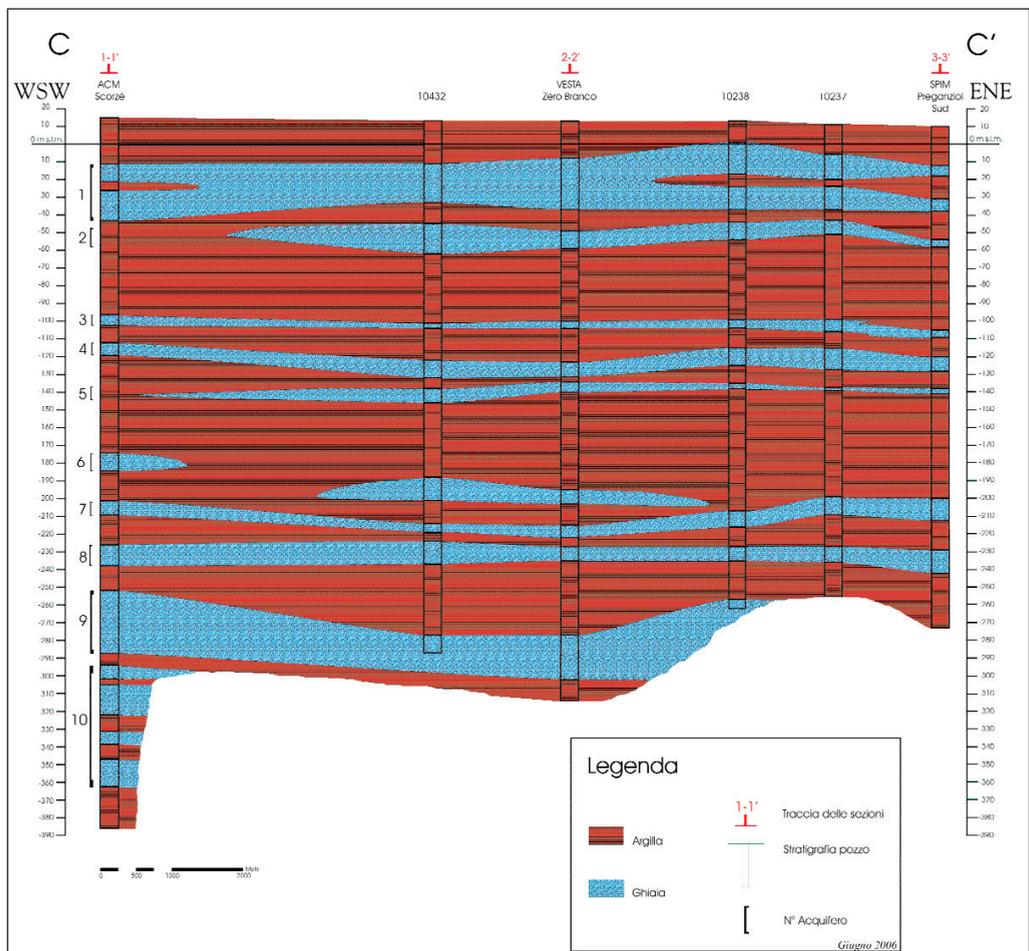


Figura 6 - Profilo geologico con direzione WSW-ENE nell'area di risorsa idropotabile.

re nuovi pozzi per acqua (soprattutto privati) a profondità sempre maggiori, tanto che oramai i nuovi punti di attingimento superano comunemente i 300 m di profondità, come evidenzia l'elaborazione, relativa all'intera area centrale della provincia, dei dati raccolti sull'anno di costruzione e la profondità dei pozzi esistenti (Figura 7). E' da notare che questa tendenza, oltre ad essere incompatibile con l'ambiente geologico, non può proseguire indefinitamente in quanto le acque sotterranee, con l'aumento della profondità, accrescono presumibilmente il contenuto salino.

In sintesi quindi non è più procrastinabile la definizione di un corretto uso delle risorse

idrogeologiche salvo impatti negativi non solo sull'ambiente geologico ma anche sulle numerose attività antropiche ad esse collegate.

Relativamente al quadro di riferimento idrogeologico i temi aperti di maggior interesse sono quelli della parametrizzazione idrogeologica e del bilancio idrogeologico.

## Idrogeologia del veneziano - acquifero freatico

La complessità e l'estrema variabilità geologica dei primi metri di sottosuolo fanno sì che l'idrogeologia del primo sotto-

suolo sia estremamente complessa. A ciò va aggiunta l'interazione tra acque sotterranee ed un sistema idraulico ampiamente artificiale spesso governato da impianti idrovori che indirettamente determinano anche i livelli e le direzioni di deflusso della falda freatica.

Al momento non è quindi possibile definire un quadro d'insieme per questa falda (o, più propriamente, per questo insieme di falde) anche se le numerose interazioni tra falda superficiale ed attività antropica indicano l'importanza di una sua più precisa conoscenza.

Da un punto di vista metodologico, si osserva che al momento sono pochi gli esempi di indagini a carattere provinciale/regionale su acquiferi di questo tipo.

I lavori sull'acquifero freatico si sono

concentrati, anche in rapporto a precisi adempimenti normativi, sul tema della vulnerabilità all'inquinamento.

È stata realizzata, utilizzando il metodo standardizzato SINTACS, una carta della vulnerabilità degli acquiferi, attualmente in fase di aggiornamento.

La carta, riportata in figura 8, evidenzia l'estrema variabilità del grado di vulnerabilità, che raggiunge i massimi livelli nei fragili ambienti costieri. (Figura 8)

Si tratta di uno strumento che ha già trovato applicazione in una serie di attività di pianificazione (spargimento liquami, protezione civile...) e nelle istruttorie di progetti da parte del Servizio Geologico Provinciale.

Al momento, copre l'intero territorio provinciale con l'eccezione dell'area di Me-

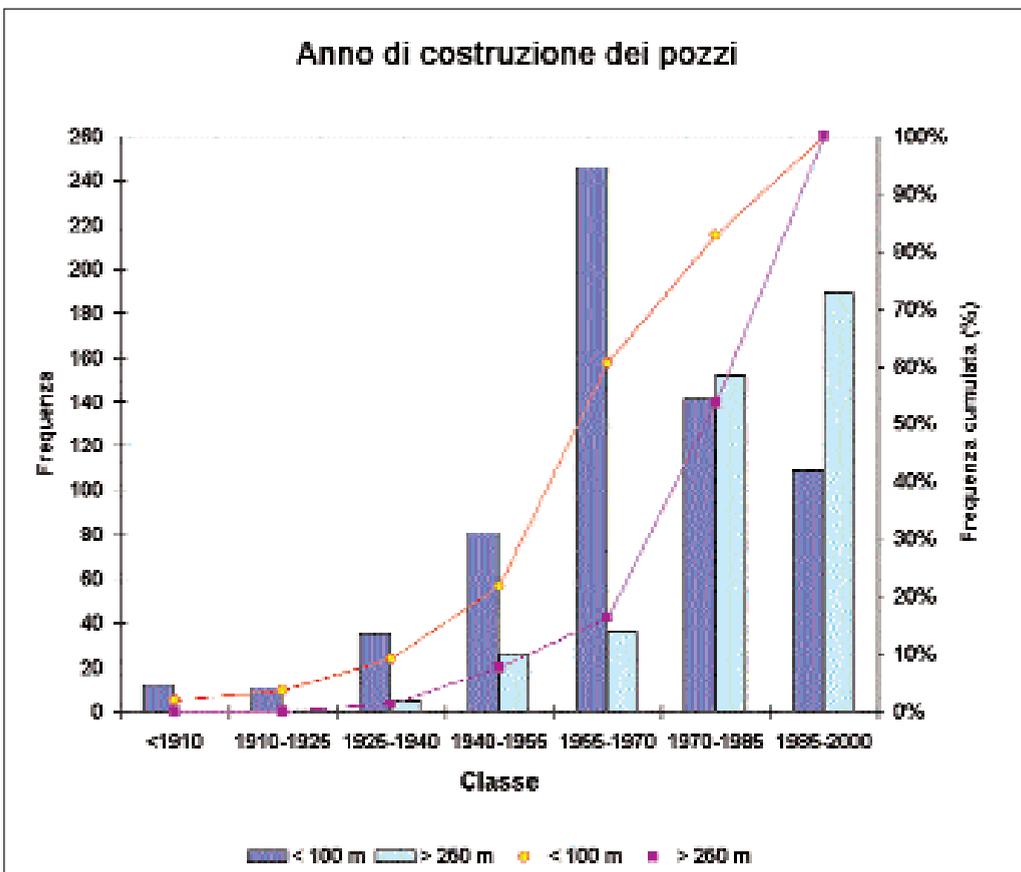


Figura 7 - Istogramma di frequenza dell'anno di costruzione dei pozzi suddivisi per profondità (< 100 m e > 250 m).

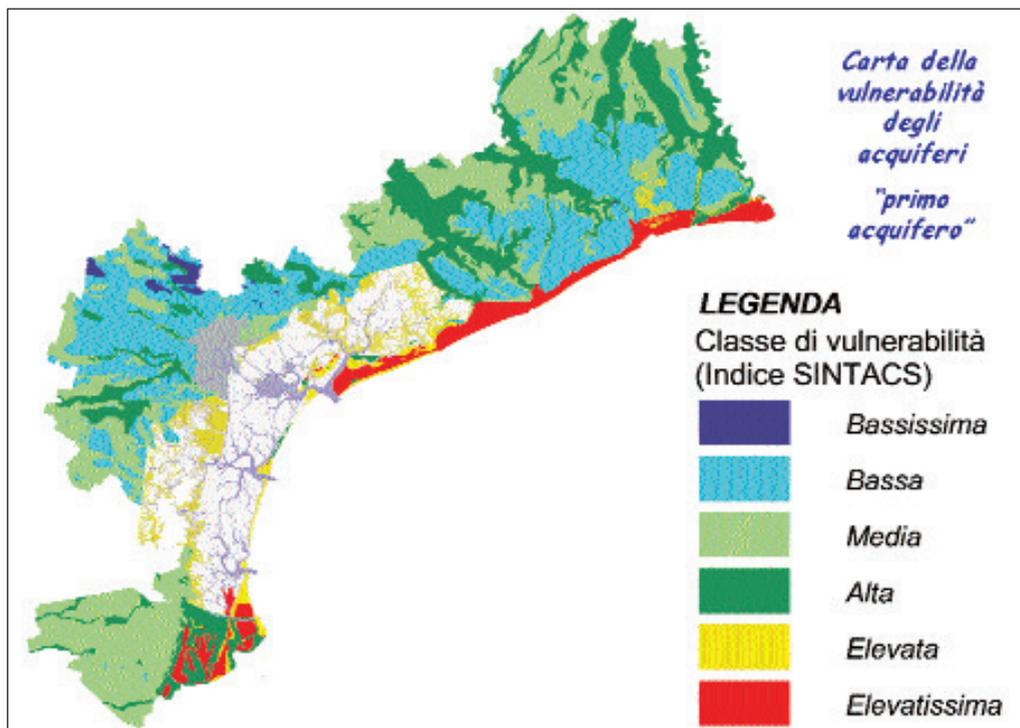


Figura 8 - Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento della Provincia di Venezia.

stre-Marghera. Per quest'area alla complessità geologica naturale si aggiungono molteplici ed imponenti interventi antropici (riporti, scavi di canali, estese impermeabilizzazioni...) che hanno profondamente modificato la struttura idrogeologica. Un'analisi di queste aree necessita quindi di un lavoro appositamente dedicato. Si osserva come la Regione Veneto abbia di recente deliberato il completamento della "Indagine Idrogeologica sull'area di Porto Marghera", un lavoro specificatamente finalizzato, partendo dalle numerosissime indagini puntuali disponibili, a fornire un quadro idrogeologico d'insieme che rappresenta l'imprescindibile base per la valutazione della correttezza di qualsiasi intervento di bonifica e/o messa in sicurezza che si effettui sull'area e che ad oggi è ancora assente.

## Conclusioni

Sul principio che una corretta gestione delle risorse territoriali non possa prescindere da un rigoroso e progressivamente ag-

giornato quadro di riferimento geologico ed idrogeologico, si sono oramai consumati fiumi di inchiostro.

Ancora oggi, molto spesso, anche in relazione alla carente presenza di Servizi Geologici negli enti locali, queste attività vengono svolte in maniera estemporanea e al di fuori di un disegno complessivo.

Lo stato dell'arte sulla idrogeologia del veneziano, qui molto sinteticamente esposto, è un eloquente esempio di come un'attività sistematica di analisi territoriale in cui le singole attività intereaggiscono e via via arricchiscono il livello di conoscenza, permetta di avere un quadro delle risorse geologiche ed idrogeologiche organico ed aggiornabile. Ciò oltre a facilitare le attività istituzionali dell'ente (pianificazione, progettazione, istruttorie di progetti...) permette di valutare le correlazioni tra attività antropiche ed impatto sull'ambiente geologico anche quando, come nel caso illustrato, esse possono svilupparsi a decine di chilometri di distanza.

## Bibliografia

- Aurighi M., Zangheri P., Ferronato A., Franz L. & Vitturi A. (1999) - *Monitoraggio di sistemi multifalde. Il caso della Provincia di Venezia*. Quaderni di Geologia Applicata. Atti 3° Conv. Naz. sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13-14-15 ottobre 1999, Pitagora Ed., Bologna.
- Carbognin L. & Tosi L. (a cura di) (2003) - *Il progetto ISES per l'analisi dei processi di intrusione salina e subsidenza nei territori meridionali delle province di Padova e Venezia*. C.N.R., Città di Chioggia, Consorzio di Bonifica Adige Bacchiglione, Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta, Consorzio di Bonifica Delta Po Adige, Magistrato alle Acque per la Laguna di Venezia, Provincia di Padova, Provincia di Venezia.
- Carbognin L., Gatto P. & Mozzi G. (1974) - *Situazione idrogeologica del sottosuolo di Venezia - Ricostruzione degli acquiferi soggetti a sfruttamento sulla base dei dati relativi ai pozzi artesiani*, T.R. no. 32, CNR, ISDGM, Venezia.
- Dal Prà A., Gobbo L., Vitturi A. & Zangheri P. (2000) - *Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia*. Provincia di Venezia.
- Dazzi R., Gatto G., Mozzi G. & Zambon G. (1994) - *Lo sfruttamento degli acquiferi artesiani di Venezia e suoi riflessi sulla situazione altimetrica del suolo. Parte prima: relazione generale. Parte seconda: la rete di monitoraggio delle pressioni di stato. Parte terza: andamento evolutivo delle pressioni di stato*. C.N.R. I.S.D.G.M., Venezia.
- Leonardi P., Morelli C., Norinelli A. & Tribalto G. (1973) - *Sintesi geologica e geofisica riguardante l'area veneziana e zone limitrofe*. III gruppo di lavoro. Comitato per lo studio dei provvedimenti a difesa della città di Venezia ed a salvaguardia dei suoi caratteri ambientali e monumentali.
- Lorito S., Vitturi A. & Zangheri P. (2002) - "Carta dell'attitudine dei suoli allo spargimento dei liquami zootecnici: l'applicazione della metodica regionale nella provincia di Venezia", *Modello integrato di monitoraggio su differrenti realtà territoriali collegate ad un sistema informativo geografico*. Franco Angeli Ed., Milano.
- Zangheri P. & Aurighi M. (2001) - *Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia - rete di monitoraggio*. Pubblicazione edita su CD-ROM. Regione Veneto - Provincia di Venezia.
- Zangheri P. (2002) - *Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera. Prima Fase. Rapporto finale*. Regione Veneto, Provincia di Venezia, Comune di Venezia, ARPAV. Inedito.
- ZANGHERI P., GARBELLINI A., GREGO S., PAULON G. & VITTURI A. (2001) - *Indagine sulle acque sotterranee del Portogruarese*. Consorzio di Bonifica "Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento" - Provincia di Venezia.

---

---

# Nuove informazioni stratigrafiche sulla successione pleistocenica dell'area veneziana: il sondaggio CH1M a Malamocco

**Giorgio Fontolan**

Università degli Studi di Trieste, Dipartimento  
di Scienze Geologiche Ambientali e Marine

**Laura Schiozzi**

Università degli Studi di Trieste, Dipartimento  
di Scienze Geologiche Ambientali e Marine

**Ester Colizza**

Università degli Studi di Trieste, Dipartimento  
di Scienze Geologiche Ambientali e Marine

**Annelore Bezzi**

Università degli Studi di Trieste, Dipartimento  
di Scienze Geologiche Ambientali e Marine

**Romana Melis**

Università degli Studi di Trieste, Dipartimento  
di Scienze Geologiche Ambientali e Marine

**Simone Pillon**

Università degli Studi di Trieste, Dipartimento  
di Scienze Geologiche Ambientali e Marine

**Davide Lenaz**

Università degli Studi di Trieste, Dipartimento  
di Scienze della Terra

**Luigi Marinoni**

Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di  
Scienze della Terra

**Giulia Fonda**

Università degli Studi di Modena e Reggio  
Emilia, Dipartimento del Museo di  
Paleobiologia e dell'Orto Botanico

Un nuovo sondaggio svolto dal Magistrato alle Acque di Venezia in corrispondenza della bocca di Malamocco fino alla profondità di -100 m dal l.m.m. fornisce nuove indicazioni sulla stratigrafia locale, in particolare sull'evento trasgressivo Tirreniano.

Sono state riconosciute 9 macrounità deposizionali, corrispondenti ad altrettanti ambienti che si sono succeduti nel tempo a partire dal Pleistocene medio (parte alta dello Ioniano) e per gran parte del Pleistocene superiore. Le macrounità deposizionali individuate ben si inseriscono nel contesto della successione litostratigrafia tipo dell'area veneziana (Favero *et al.*, 1973; Gatto & Previatello, 1974; Gatto, 1980) e nel più ampio ambito Adriatico-Padano (Correggiari *et al.*, 1996; Amorosi *et al.*, 1999, 2004). Di particolare rilevanza è stato il riconoscimento dell'evento trasgressivo Tirreniano, corrispondente alla penultima fase interglaciale, datato 125.000 anni BP, che si sviluppa entro le profondità di 86÷69 m dal l.m.m. A causa dei numerosi mancati recuperi il riconoscimento è avvenuto su base biostratigrafica, grazie alla determinazione delle microfaune fossili. Il passaggio trasgressivo non è infatti evidente macroscopicamente, a causa di una facies monotona e di tipo ubiquitario. Considerato che 15 metri basali del son-

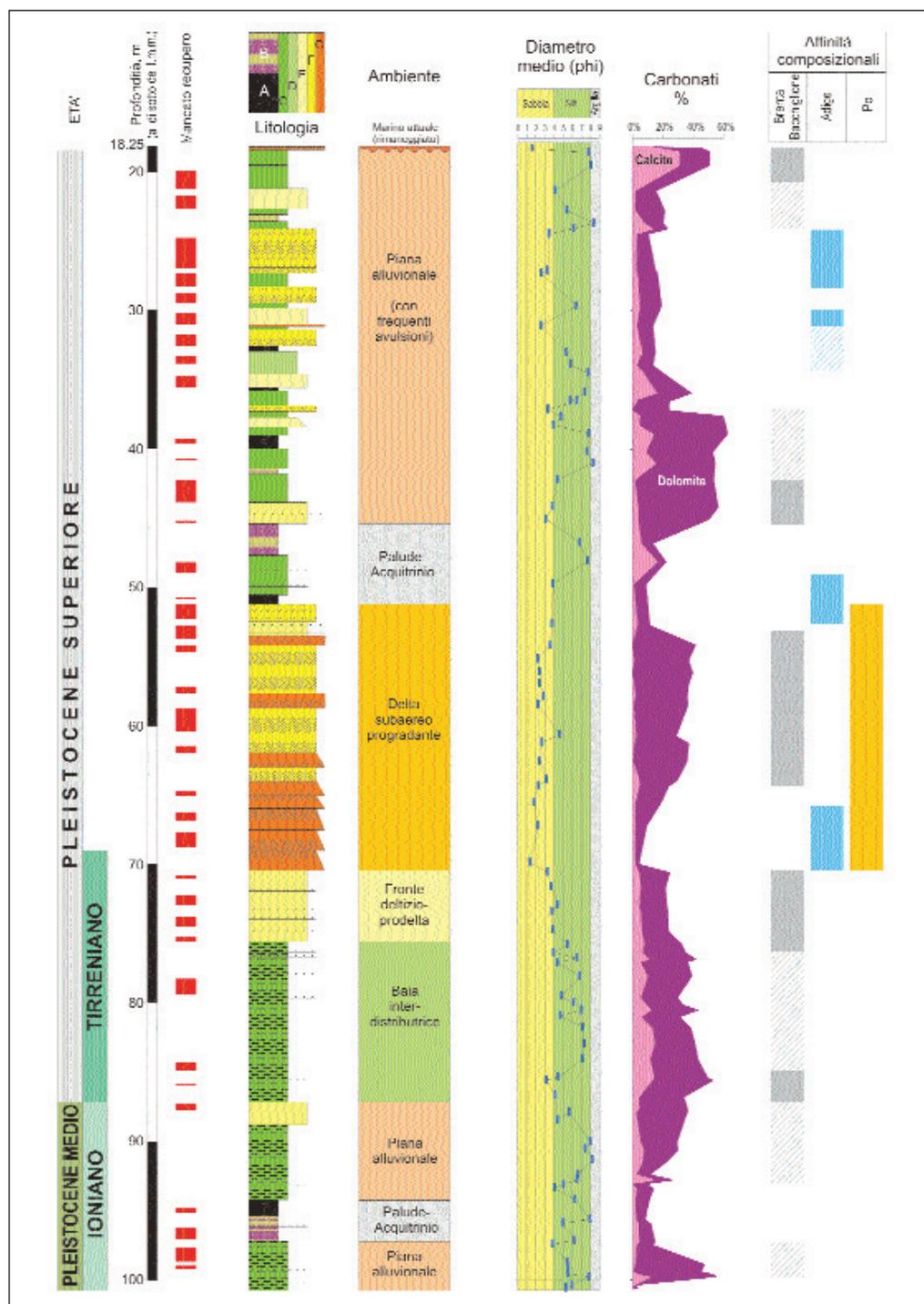


Figura 1 - Log stratigrafico e informazioni sedimentologico-mineralogiche del sondaggio CH1M (Malamocco). Per la litologia: A) torba, B) argilla, C) limo, D) limo sabbioso, E) sabbia limosa, F) sabbia fine e molto fine, G) sabbia medio-fine.

daggio sono certamente pre-Tirreniani (Ioniano), si può presumere che l'intera serie campionata copra un intervallo di tempo pari a non meno di 140.000 anni.

Le singole unità deposizionali ed uno schema sintetico dei risultati più importanti desunti dallo studio del sondaggio vengono riassunti in figura 1. Procedendo dal basso verso l'alto, il Pleistocene medio (Ioniano) è marcato dalla successione di unità continentali, date quasi esclusivamente da fanghi prevalentemente argillosi, a tratti con torbe, tipici di piana alluvionale, con acquitrini paludosi. A circa -86 m una facies fangoso-sabbiosa monotona e quasi priva di strutture è contraddistinta dall'apparizione di microfaune marine, senza alcuna evidente superficie trasgressiva. Questa caratteristica permane per numerosi metri ed è stata interpretata come un annessamento della paleopiana alluvionale in condizioni protette dall'ondazione, che inibiscono l'instaurazione di litologie sabbiose. Viste le caratteristiche di facies e la tipologia delle microfaune, spesso indicatrici di condizioni paraliache, questo ambiente è stato interpretato come una baia protetta, simile ad una laguna aperta, prossima a sorgenti d'acqua dolce, che in un contesto deltizio può essere rappresentata da una baia interdistributrice.

Con questa facies inizia il ciclo trasgressivo Tirreniano, che segna l'inizio del Pleistocene superiore. L'acme dell'annegamento, cioè la fase di stazionamento alto del mare, è marcato dalla facies più profonda rinvenuta nel sondaggio. Litologicamente è costituita da una serie fangosa con numerosissime lamine sabbioso-siltose, tipica del contesto deposizionale di fronte deltizio distale-prodelta prossimale, cioè di sedimentazione controllata dai flussi fluviali nella zona costiera. Viste le caratteristiche morfologiche del bacino nord-adriatico, si può presumere che tale facies si sviluppi al di sotto della profondità di chiusura (5-6 m circa di profondità), indicando quindi un annessamento relativo dell'area non inferiore a 6-7 m. La facies di fronte deltizio marca inoltre l'inversione di regime, poiché al ciclo trasgressivo segue quello regressivo. La regressione, che culminerà

nell'emersione dell'area, è rappresentata da una tipica sequenza "coarsening upward". Ciò avviene in modo evidentissimo nel sondaggio, attraverso il graduale incremento delle dimensioni medie del sedimentazione, la diminuzione del coefficiente di sorting e l'instaurazione finale di livelli massivi di sabbia medio-fine, con presenza di macrofossili marini. È questo il netto passaggio litologico che marca la fine del Tirreniano (a circa -69 m dal l.m.m.), con l'instaurazione di una spessa coltre sabbiosa (circa 18 m di spessore), probabilmente data da più fasi indistinte, tipica di un delta progredante in condizioni subaeree.

La successione sedimentaria da qui prosegue con una fitta alternanza di sedimenti ora fangosi ora sabbiosi, con episodi di stagnazione (torbe). Una prima fase è marcatamente paludosa, per la presenza di argille torbose e di torbe ed indica un evidente cambio ambientale, associabile all'abbandono del delta.

La frequenza delle alternanze litologiche porta successivamente all'identificazione di una piana alluvionale con frequenti episodi avulsivi, dovuti al cambiamento del tracciato dei corsi d'acqua, molto anastomizzati ed intrecciati. Il sondaggio chiude con queste litologie erose alla sommità, a causa del forte contesto erosivo della bocca attuale, molto sovraescavata. Un'esile coltre rimaneggiata superficiale, data da sabbie con abbondante detrito conchigliare è l'unica testimonianza del contesto marino attuale. L'Olocene è quindi praticamente assente. Sotto il profilo composizionale un forte marker delle aree di influenza fluviale è rappresentato dalla dolomite, nettamente dominante sulla calcite. I tenori elevati di dolomite in matrice sabbiosa sono ascrivibili al sistema Brenta-Bacchiglione. Al contrario i bassi tenori in carbonati e l'incremento in termini quarzoso-feldspatici denotano la maggiore influenza dei fiumi meridionali, Adige e Po. È evidente che l'area è stata influenzata da più fonti terrigene, in cui dominano alternativamente o congiuntamente sia quelle di origine alpina orientale che centro-occidentale.

## Bibliografia

- Amorosi A., Colalongo M.L., Pasini G. & Preti D. (1999) - *Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy)*. *Sedimentology*, 46, 99-121.
- Amorosi A., Colalongo M.L., Fiorini F., Fusco F., Pasini G., Vaiani S.C. & Sarti G. (2004) - *Paleogeographic and paleoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records*. *Global and Planetary Change*, 40, 55-78.
- Correggiari A., Roveri M. & Trincardi F. (1996) - *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. *Il Quaternario*, 9, 697-704.
- Favero V., Alberotanza L. & Serandrei Barbero R. (1973) - *Aspetti paleoecologici, sedimentologici e geochimici dei sedimenti attraversati dal pozzo VE 1 bis CNR*. Technical Report, 63, Marzo 1973.
- Gatto P. (1980) - *Il sottosuolo del litorale veneziano*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Technical Report n. 108.
- Gatto P. & Previatello P. (1974) - *Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella Laguna di Venezia di un' argilla sovraconsolidata nota come "caranto"*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia, Technical Report n. 70.

# La subsidenza del Veneziano (Sintesi dei risultati)

Laura Carbognin

C.N.R. - Istituto di Scienze Marine (già ISDGM)

Federica Rizzetto

C.N.R. - Istituto di Scienze Marine (già ISDGM)

Pietro Teatini

Università di Padova - Dipartimento di Metodi  
e Modelli Matematici per le Scienze Applicate,  
C.N.R. - Istituto di Scienze Marine (già ISDGM)

Luigi Tosi

C.N.R. - Istituto di Scienze Marine (già ISDGM)

Tazio Strozzi

Gamma Remote Sensing, Svizzera  
C.N.R. - Istituto di Scienze Marine (già ISDGM)

È noto che alla riduzione altimetrica del veneziano avvenuta nel corso del XX secolo, e valutata 23 cm rispetto al livello del mare, hanno contribuito, con diversa incidenza, la subsidenza geologica, la subsidenza indotta dai pompaggi di acque artesiane e l'innalzamento del livello del mare (Figura 1).

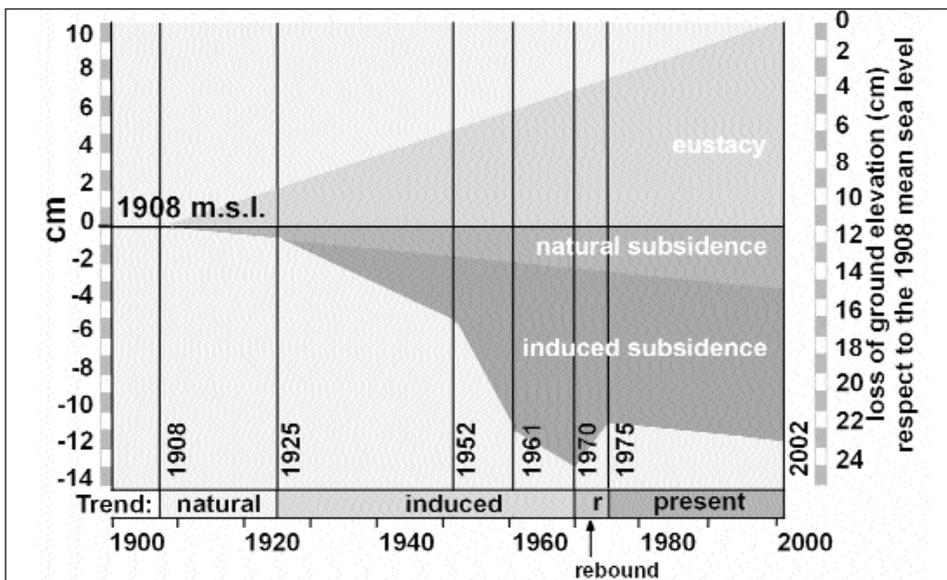


Figura 1 - Rappresentazione schematica dei tre fattori responsabili della perdita altimetrica del veneziano (da Carbognin et al., 2005a;aggiornata da Gatto P. & Carbognin L., 1981).

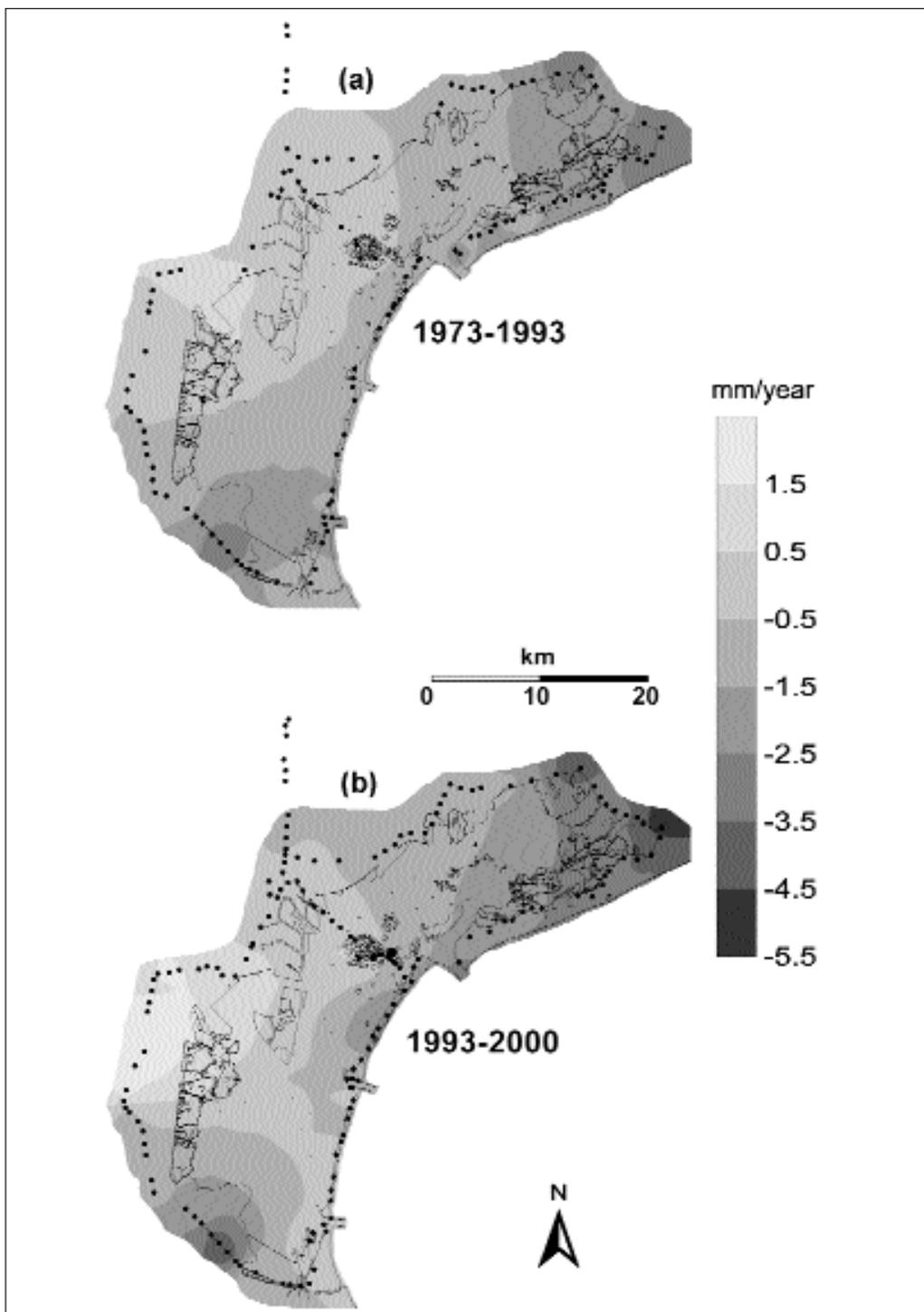


Figura 2 - Mappa dei movimenti verticali rilevati nel comprensorio lagunare per i periodi 1973-1993 (progetto CNR "Sistema lagunare veneziano") e 1993-2000 (Progetto ISES).

La ricerca sulla subsidenza di Venezia, iniziata nel 1969 con la nascita dell'Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse del CNR, oggi Istituto di Scienze Marine, concluse la prima complessa fase negli anni Novanta, dimostrando, tra le altre cose, l'arresto del processo antropico indotto dagli sfruttamenti artesiani intensivi operati per uso industriale, soprattutto nel ventennio 1950÷1970, e registrando nel 1975 un esiguo ma significativo *rebound* a Venezia (Figura 1). L'avvenuta *subsidenza geomeccanica* aveva comunque provocato 10-14 cm di irreversibile abbassamento del suolo, con le relative conseguenze.

Gli studi a carattere geologico (litostratigrafici, sedimentologici, idrogeologici, ecc.), geofisico, le analisi modellistiche, le misure *in situ* ed i rilievi altimetrici condotti, se da un lato rassicurarono sull'arresto della subsidenza indotta e sulla stabilità della città lagunare, dall'altro attestarono la necessità di approfondire alcuni aspetti della ricerca ed evidenziarono che

il processo subsidenziale era ancora in atto con tassi non trascurabili lungo certi tratti litoranei, alle estremità lagunari e zone limitrofe (vedi carta a in figura 2).

Si sono quindi approfonditi ed ampliati gli studi riguardo alle cause naturali e antropiche della perdita altimetrica del suolo.

La subsidenza naturale è stata quantificata con maggiore accuratezza individuandone le cause agenti sul breve e lungo periodo; il tasso medio di lungo periodo, calcolato sull'intera serie quaternaria, variabile da 0.3 a 0.5 mm/anno (Kent *et al.*, 2002), è principalmente ascrivibile all'attività tettonica regionale, mentre il tasso medio di breve periodo stimato in circa 1.3mm/a per gli ultimi 40'000 anni è imputabile alla consolidazione naturale dei sedimenti di apporto recente (Bortolami *et al.*, 1984). Negli ultimi secoli il valore della consolidazione naturale veneziana è sensibilmente diminuito fino a  $\leq 0.5$ mm/anno (Gatto & Carbognin, 1981; Brambati *et al.*, 2003; Carbognin *et al.*, 2005a).

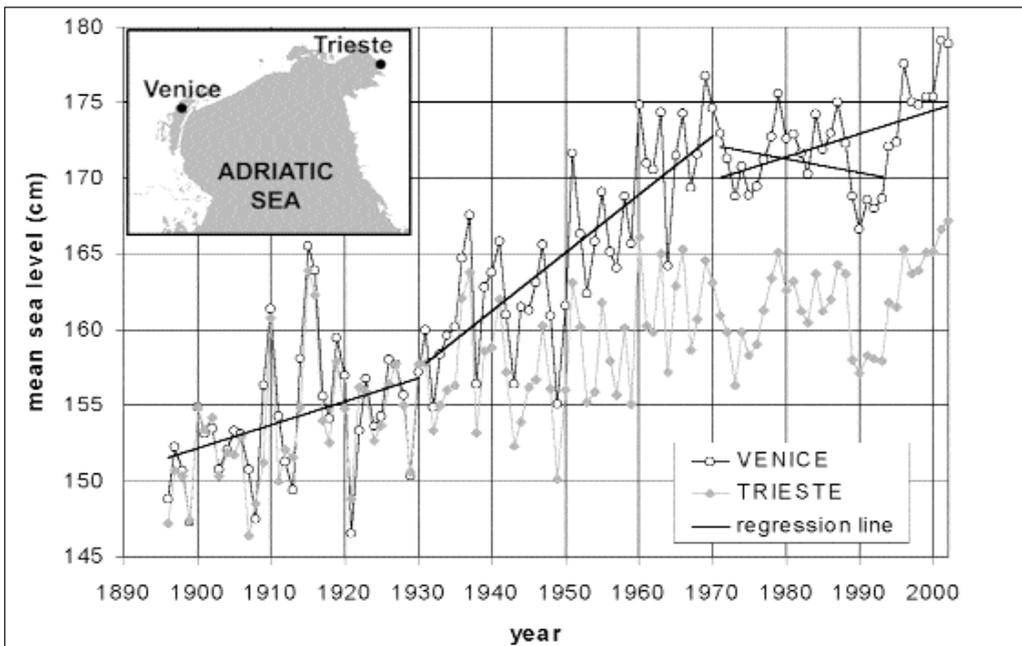


Figura 3 - Andamento del livello medio mare a Venezia e Trieste dal 1896 al 2002 (aggiornato e modificato da Carbognin & Taroni, 1996). Fino al 1930 le due curve erano coincidenti; dal 1930 al 1970 evidenziano una "anomala" crescita del mare a Venezia corrispondente alla subsidenza antropica; tornano ad avere uguale trend dopo il 1970, con differenza corrispondente alla subsidenza irreversibile (da Carbognin *et al.*, 2004).

Stime attendibili sul *trend* eustatico sono state calcolate su serie storiche secolari, cioè sufficientemente lunghe da non risentire dei "cicli di breve periodo", non significativi nella valutazione di tendenza (Carbognin & Taroni, 1996). L'innalzamento del livello del mare, uno dei 3 fattori responsabili della perdita altimetrica relativa misurata a Venezia, è stato calcolato in circa 1.2 mm/anno (depurato dall'effetto subsidenza) per il periodo 1896 - 2002 (Figura 3).

Per l'analisi delle cause della subsidenza, per le conseguenze sull'ambiente e per gli sviluppi metodologici, la ricerca si è ampliata anche al di fuori del bacino lagunare dapprima verso il comprensorio meridionale Veneziano-Padovano, dove, per le caratteristi-

che geomorfologiche del territorio, la subsidenza in atto induce un serio impatto ambientale e socio-economico. In particolare è stata analizzata la *subsidenza geochimica* che interessa il bacino scolante meridionale, la cui causa principale è da attribuirsi alla perdita di massa per ossidazione che avviene in corrispondenza delle aree bonificate ad uso agricolo in presenza di terreni torbosi superficiali. Nelle zone studiate, dove vaste zone si trovano a quote decisamente inferiori al l.m.m., fino a -4 m, solo per gli ultimi 70 anni è avvenuta una subsidenza superiore a un metro (Figura 4). Anche la contaminazione salina dei suoli, molto estesa in quest'area, è causa di compattazione geochimica dei terreni limo-argillosi.

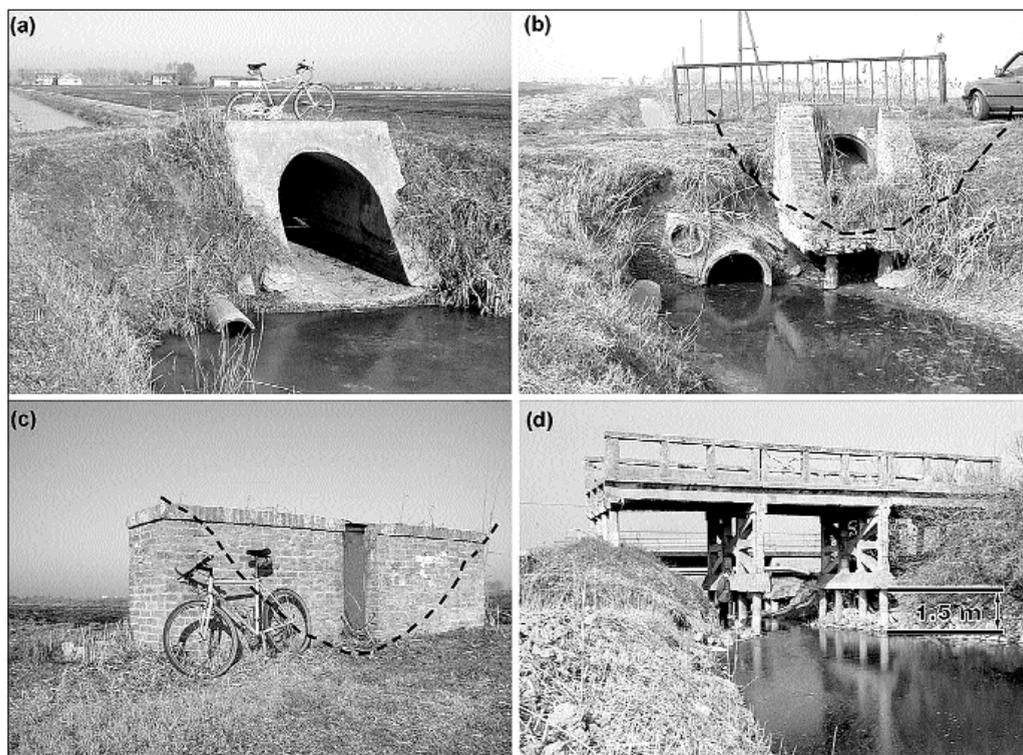


Figura 4 - Bacino scolante meridionale. Testimonianze della subsidenza antropica ascrivibile principalmente all'ossidazione dei terreni torbosi. a) struttura inutile di un vecchio ponte; b) condotta di collegamento sotterranea a mattoni costruita negli anni 1930, attualmente sopra il livello dell'acqua e sostituita inferiormente da due tubi di scolo in cemento, il più elevato dei quali già inutilizzabile. Rappresentazione della sezione della vecchia condotta secondo quella che doveva essere la sua ubicazione originale; c) una vecchia chiusa abbandonata, costruita negli anni 1930 per controllare un canale di scolo è oggi completamente protrusa sopra il piano campagna. Rappresentazione della sezione della vecchia fognatura secondo quella che doveva essere la sua ubicazione originale; d) un ponte costruito negli anni 1920 mostra una protrusione della sua fondazione di circa 150 cm (da Gambolati et al., 2005).

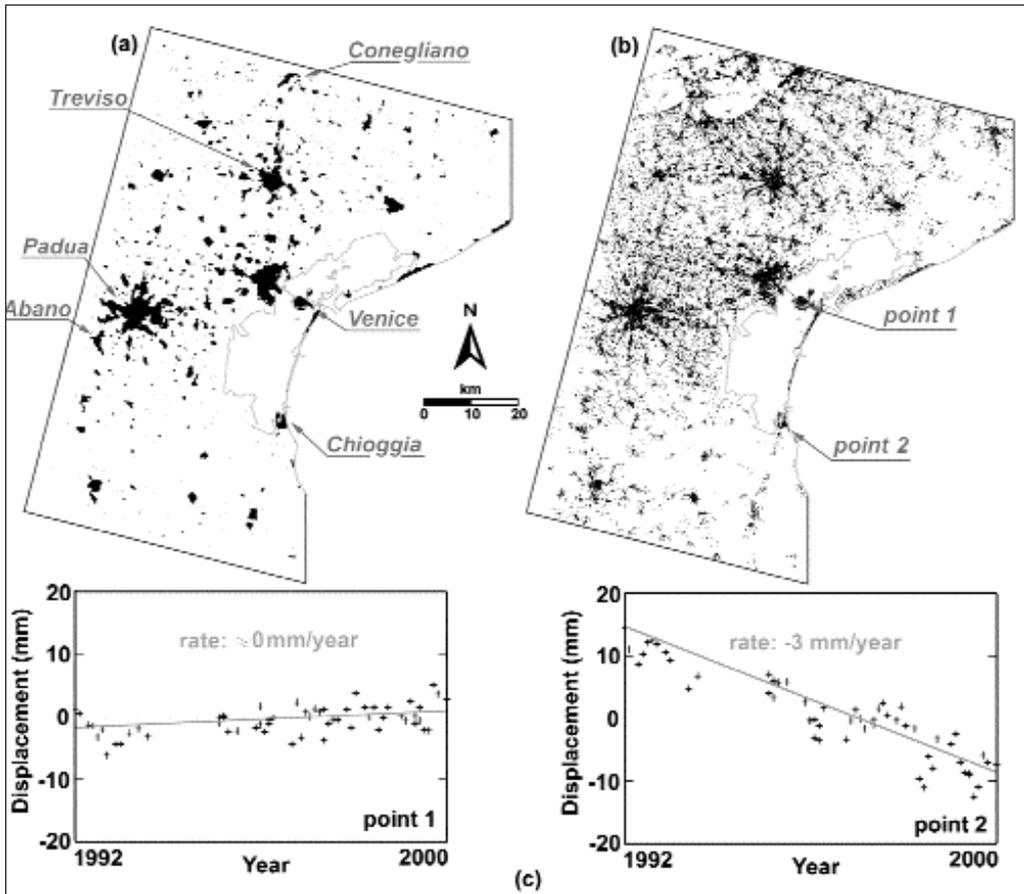


Figura 5 - Rete altimetrica (a) InSAR e (b) IPTA nella parte orientale del territorio provinciale veneziano. (c) log di subsidenza sui riflettori permanenti 1 e 2 di (b) (da Strozzi et al., 2005).

In seguito gli studi hanno interessato le aree nord-orientali della Provincia di Venezia, dove il confronto spazio-temporale dei rilievi altimetrici 1993/2000 (vedi carta b in figura 2) aveva evidenziato, tra l'altro, un aumento dei tassi di subsidenza nei settori litorali a vocazione turistica di Cavallino-Jesolo-Caorle ( $\cong 4$  mm/anno). La livellazione 2004, sebbene confrontabile con la precedente solo su alcuni tratti, conferma questi valori dimostrando la gravità del processo in atto in diversi centri urbani di terraferma e nei litoranei turistici.

Per quanto riguarda il monitoraggio della subsidenza, che avveniva principalmente con le livellazioni geometriche, in anni recenti le tecniche basate su misure satellitari con il GPS e l'analisi di immagini ra-

dar di tipo SAR, hanno allargato il numero dei sistemi utilizzabili.

Con l'intendimento di migliorare le possibilità e la qualità del monitoraggio, sia in specifiche aree urbane di interesse che a scala regionale, è stata sviluppata un'originale procedura di integrazione dei risultati forniti dalle diverse metodologie di rilevamento, cioè livellazioni, GPS differenziale ed in continuo, interferometria satellitare convenzionale (InSAR) e interferometria su riflettori permanenti (IPTA), in modo da superare i limiti di ogni singola tecnica. Tale sistema di monitoraggio integrato (SIMS) è stato applicato per ricostruire gli spostamenti verticali del territorio nel decennio 1992-2002, con elevata risoluzione spaziale e precisione verticale millimetrica (Figure 4 e 5).

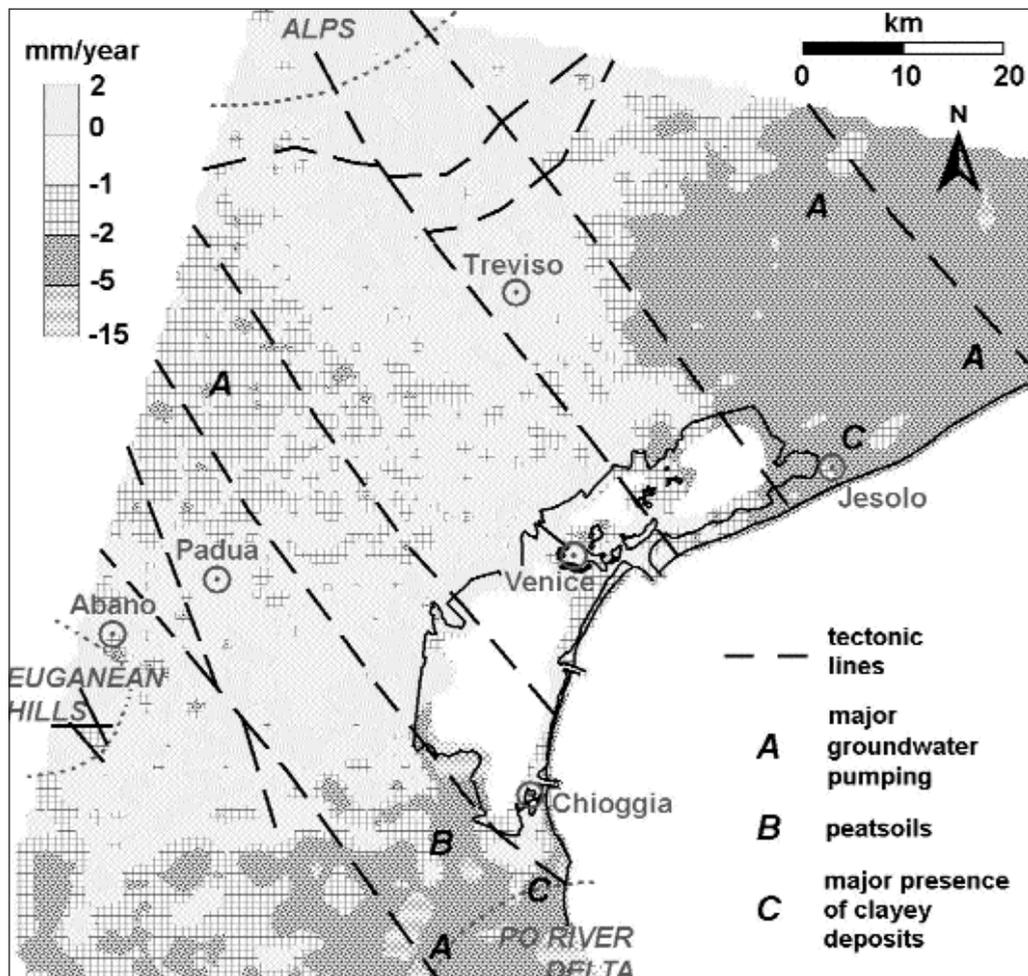


Figura 6 - Mappa dei movimenti verticali del suolo (mm) ottenuta col sistema di monitoraggio integrato (SIMS) per il decennio 1992-2002 (da Teatini et. al., 2005).

## Bibliografia

*L'elenco che segue riporta lavori significativi pubblicati dal 2000, per il periodo 1970-2000 solamente i tre lavori citati.*

Bortolami G., Carbognin L., Gatto P. (1984). "Natural subsidence in the lagoon of Venice", *Land Subsidence*, IAHS Publ. n.151, 777-788.

Brambati A., Carbognin L., Quaia T., Teatini P., Tosi L. (2003). "The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence", *Episodes*, 26(3), 264-268.

Carbognin L., Gambolati G., Marabini F., Taroni G., Teatini P. & Tosi L. (2000). Analisi del processo di subsidenza nell'area veneziana e sua simula-

zione con un modello tridimensionale non lineare. *La Ricerca Scientifica Per Venezia, Il Progetto Sistema Lagunare Veneziano, Modellistica del Sistema Lagunare Studio di Impatto Ambientale* Ist. Ven. SS.LL AA, Vol.II, Tomo II,1017-1048. IV-SLA Ed., Venezia (Italy).

Carbognin L., Teatini P., Tosi L. (2004). "Eustasy and land subsidence in the Venice Lagoon at the beginning of the new millennium" *Journal of Marine Systems*, 51(1-4), 345-353.

Carbognin L., Teatini P., Tosi L. (2005a). "Land Subsidence in the Venetian area: known and recent aspects", *Giornale di Geologia Applicata*, 1, 5-11. DOI: 10.1474/GGA.2005-01.0-01.0001.

Carbognin L., Rosselli R., Strozzi T., Teatini P., Tosi L., Vitturi A. (2005b). "A new Monitoring Strategy to Control Land Movements. The Veneto Re-

- gion Test Area, Italy”, *Land Subsidence, Proc. SI-SOLS*, Shanghai China, Vol. 1, 435-444. Zhang A, Jonson AI, Carbognin L (eds).
- Carbognin L., Tosi L. (2003). Il Progetto ISES per l'analisi dei processi di intrusione salina e subsidenza nei territori meridionali delle Province di Padova e Venezia, © Ed. Progetto ISES, 95 p, 12 Tav. f.t., Grafiche Erredici, Padova (Italy).
- Carbognin L., Taroni G. (1996). “Eustatismo a Venezia e Trieste nell'ultimo secolo”, *Atti Istituto Veneto SS.LL.AA., Classe di Scienze Fis., Mat. e Nat.*, Venezia: Tomo CLIV, 281-298.
- Gambolati G., Putti M., Teatini P., Camporese M., Ferraris S., Gasparetto Stori G., Nicoletti V., Rizzetto F., Silvestri S., Tosi L. (2005). “Peatland oxidation enhances subsidence in the Venice watershed”, *EOS-Trans. Amer. Geophys. Union*, 86(23), 217-224.
- Gatto P., Carbognin L., (1981). “The lagoon of Venice: Natural environmental trend and man-induced modification”. *Hydrol. Sci. B.*, 26(4), 379-391.
- Kent V.D., Rio D., Massari F., Kukla G., Lanci L. (2002). Emergence of Venice during the Pleistocene. *Quaternary Science Review*, 21, 1719-1727.
- Rizzetto F., Tosi L., Carbognin L., Bonardi M., Teatini P. (2003). “Geomorphological setting and related hydrogeological implications of the coastal plain south of the Venice Lagoon (Italy)”, E. Servat, W. Najem, C. Leduc and A. Shakeel (eds.), *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions*, IAHS Red Book Ser., 278, 463-470.
- Strozzi T., Wegmüller U., Werner C., Wiesmann A., Tosi L., Teatini P., Carbognin L. (2003). “Venezia, subsidence monitoring service in the Lagoon of Venice for Regional Administrative and Water Authorities, Data User Programme II Period. Executive Summary”, *European Space Agency*, 25
- Strozzi T., Wegmüller U., Werner C., Teatini P., Tosi L., (2005). “SAR Interferometric Point Target analysis and application to the monitoring of land subsidence in the Venice Lagoon”, *Land Subsidence, Shanghai Scientific & Technical Publ.*, 417-425. Zhang A, Jonson AI, Carbognin L (eds).
- Teatini P., Tosi L., Strozzi T., Carbognin L., Wegmüller U., Rizzetto F. (2005). “Mapping regional land displacements in the Venice coastland by an integrated monitoring system”, *Remote Sensing of Environment*, 98, 403-413.
- Teatini P., Strozzi T., Tosi L., Wegmüller U., Werner C. & Carbognin L. (2007). “Monitoring land subsidence in the Venice Lagoon environment with SAR Interferometric Point Target Analysis”, *J. Geophys. Res.*
- Tosi L., Carbognin L., Teatini P., Strozzi T., Wegmüller U. (2002). “Evidence of the present relative land stability of Venice, Italy, from land, sea, and space observations”, *Geophys. Res. Lett.*, 29 (12), DOI: 10.1029/2001 GL 013211.
- Tosi L., Teatini P., Carbognin L., Frankenfield J. (2006). “A new project to monitor land subsidence in the northern Venice coastland (Italy)”, *Environ. Geol.* DOI 10.1007/s00254-006-0530-8

---

---

# Dalla geologia al Servizio Idrico Integrato L'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia"

Tullio Cambuzzi  
AATO Laguna di Venezia

Enrico Conchetto  
AATO Laguna di Venezia

L'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" è l'Autorità che governa e regola il Servizio Idrico Integrato nel territorio quasi del tutto corrispondente al bacino scolante nella laguna di Venezia; la sua istituzione deriva dagli obiettivi, ambientali e gestionali, prefissati sin dalla legge "Galli" nel 1994. Gli obiettivi ambientali sono la razionalizzazione nell'uso della risorsa idrica e la sua tutela e salvaguardia, mentre, dal punto di vista gestionale, la legge "Galli" mira all'organicità, all'economicità del servizio e al superamento della frammentarietà delle gestioni preesistenti. L'AATO Laguna di Venezia si avvale del Piano d'Ambito (PdA) per il raggiungimento degli obiettivi di tutela del delicato ecosistema, rappresentato dalla laguna di Venezia, che costituisce il corpo ricettore degli scarichi civili e industriali del sistema idrico integrato.

Il Piano d'Ambito rappresenta inoltre lo strumento pianificatorio di tutte le fasi del Servizio Idrico Integrato e consente la completa gestione e tutela delle risorse idriche per uso civile ed idropotabile.

L'AATO Laguna di Venezia ripone particolare interesse al sistema della risorsa, cioè all'acqua sotterranea e al sottosuolo che la contiene, poiché rappresenta il punto di partenza e alimentazione di tutto il Servizio Idrico Integrato; il PdA, infatti, più volte interviene in merito alle questioni geologiche e idrogeologiche, soprattutto per quanto riguarda l'aspetto della corretta gestione della risorse idriche sotterranee e la vulnerabilità e sicurezza dei punti di presa. Ciò deriva dalla consapevolezza che sia la corretta gestione qualitativa e quantitativa delle acque sotterranee, sia la sicurezza delle captazioni (pozzi) non è compiutamente attuabile senza una conoscenza approfondita degli aspetti geologici/idrogeologici di base e senza un piano di acquisizione di dati con adeguati strumenti di monitoraggio. Per tale motivo, ma soprattutto per programmare l'utilizzo delle risorse idriche sotterranee nel quadro di uno sviluppo sostenibile del territorio e di una ten-

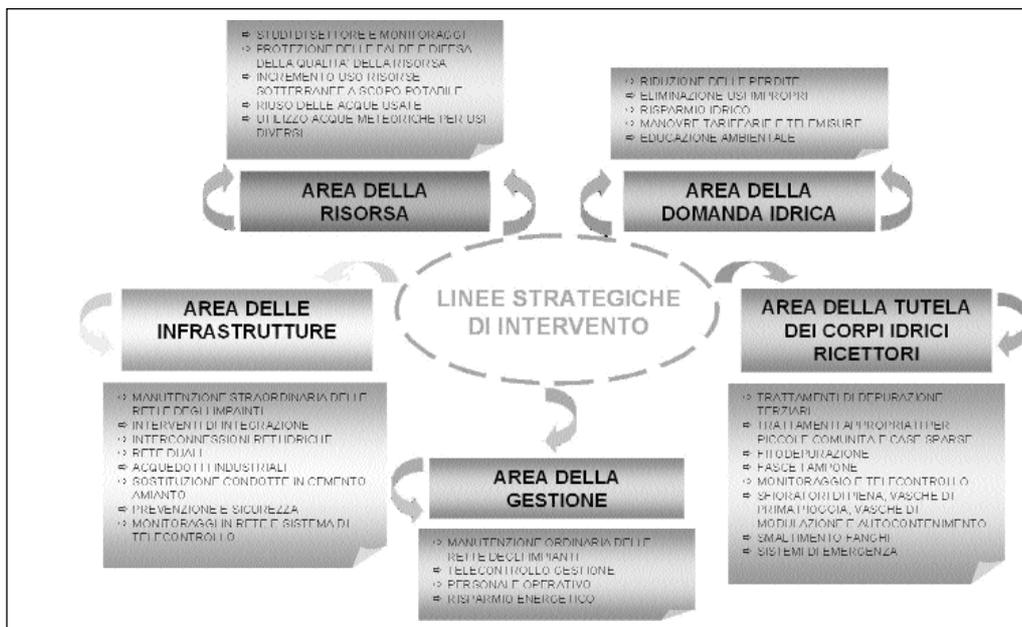


Figura 1 - Linee strategiche di intervento previste dal Piano d'Ambito dell'AATO Laguna di Venezia.

denza evolutiva della domanda, sono state poste in essere le seguenti fasi di lavoro:

- la definizione di un chiaro quadro geologico/idrogeologico di riferimento;
- l'implementazione delle conoscenze per la redazione di un bilancio idrogeologico;
- il miglioramento dei controlli sull'evoluzione quali-quantitativa della risorsa idrica sotterranea;
- la definizione delle modalità di intervento per il riequilibrio del bilancio idrogeologico;
- l'aumento della sicurezza sulle opere di captazione, grazie alla realizzazione di reti di monitoraggio e d'allarme.

L'attività pianificatoria dell'AATO Laguna di Venezia riguarda sia il sistema di GESTIONE, sia l'analisi della RISORSA per giungere, attraverso l'analisi della qualità e quantità delle INFRASTRUTTURE, a soddisfare la stima della DOMANDA, ottemperando agli obblighi di TUTELA dei corpi idrici ricettori (Figura 1).

Le risorse idriche profonde, però, sono anche oggetto di uno sfruttamento incontrollato dovuto all'approvvigionamento idrico autonomo che, nella maggior parte

dei casi, avviene per mezzo di pozzi lasciati in erogazione spontanea "a perdere". Il fenomeno, nel territorio di competenza, assume proporzioni considerevoli tanto che rappresenta, assieme ad altri fattori concomitanti, una delle principali cause della depressurizzazione degli acquiferi profondi. Tale processo si ripercuote anche sulla matrice suolo e sottosuolo innescando sensibili effetti di subsidenza sul territorio del comprensorio lagunare.

Nella fascia di maggior ricchezza di risorsa sotterranea idropotabile, a fronte di 68 pozzi degli Enti Gestori del servizio acquedottistico, sono stati censiti anche oltre 5000 pozzi privati (Figura 2). Per quanto riguarda l'attingimento autonomo i prelievi in gioco, nei comuni in cui il fenomeno è particolarmente accentuato, superano complessivamente i 1831 l/s, con una densità di prelievo calcolata pari a 12 l/s/km<sup>2</sup>. La portata media complessiva dei 68 pozzi acquedottistici nell'AATO Laguna di Venezia, invece, nonostante sia superiore (pari a 2900 l/s) rispetto all'attingimento autonomo, corrisponde ad una densità di prelievo pari a 2.3 l/s/km<sup>2</sup>.

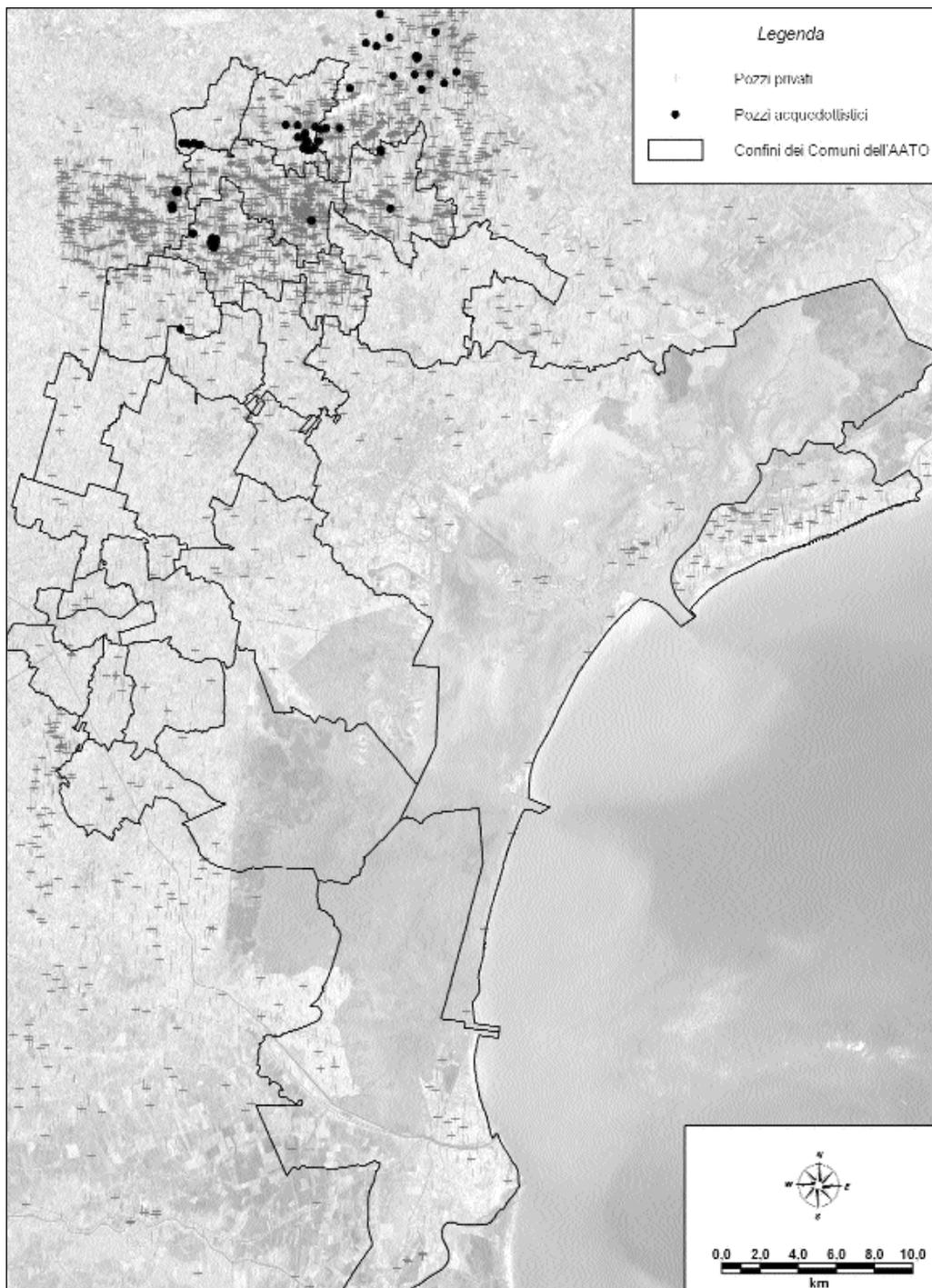


Figura 2 - Nella porzione di media pianura, laddove gli acquedotti attingono l'acqua dagli acquiferi sotterranei, è particolarmente accentuato il fenomeno dell'approvvigionamento idrico autonomo, come visibile dalla concentrazione dei pozzi nella zona nord della provincia di Venezia e nei comuni di confine della provincia di Treviso.

In considerazione delle attuali tendenze evolutive dei livelli piezometrici nell'alta pianura veneta e delle conseguenti pressioni di strato nella bassa pianura veneta, l'AATO Laguna di Venezia deve pianificare l'utilizzo della risorsa idrica sotterranea in modo da evitare al massimo gli sprechi e le perdite dalla rete idrica, avendo cura, d'altra parte, di garantire alle generazioni future, in funzione dello sviluppo prevedibi-

le e sostenibile, un servizio idrico adeguato alle esigenze.

Il Servizio Idrico Integrato deve garantire anche che, al prelievo d'acqua per uso acquedottistico, corrisponda una restituzione all'ambiente di egual volume d'acqua, attraverso la rete fognaria e gli impianti di depurazione, disinquinata, a tutela del corpo idrico ricettore.

---

## Seconda Parte

# Le opere e le loro interferenze con l'ambiente geologico



---

---

# Attività per la salvaguardia di Venezia e della laguna: aspetti geologici e geotecnici

Maria Giovanna Piva  
Presidente del Magistrato alle Acque di Venezia

## Introduzione

Il Magistrato alle Acque di Venezia è da anni impegnato nella realizzazione degli interventi per la salvaguardia di Venezia e della laguna che la legislazione speciale ha affidato allo Stato, i cui obiettivi sono la difesa dalle acque alte e dalle mareggiate e la tutela ambientale dell'ecosistema lagunare.

Un compito tra i più complessi, che ha comportato un rilevante programma interdisciplinare di analisi, studi, sperimentazioni e monitoraggi, mediante il quale si è pervenuti ad un quadro conoscitivo approfondito e aggiornato dell'ecosistema lagunare in tutti i suoi aspetti che costituisce la base informativa necessaria per definire strategie di intervento, programmi operativi e politiche di gestione e controllo in grado di affrontare e risolvere i problemi rilevati e di anticipare, ove possibile, eventuali elementi di crisi, prevedibili per il futuro.

Parte rilevante delle indagini eseguite riguarda anche gli aspetti geologici del territorio. I dati raccolti in questo campo hanno comportato, tra l'altro, la realizzazione di numerose stratigrafie, letture piezometriche anche prolungate nel tempo, prove di laboratorio geotecnico, prove di permeabilità, prove di pompaggio, prove penetrometriche, prove geo-fisiche e hanno interessato numerosi contesti lagunari, naturali o urbanizzati. Tra questi, i principali centri abitati e, in particolare, il centro storico di Venezia; le bocche di porto; i litorali; le isole; aree di barena e bassofondale oltre alle zone oggi occupate dalle casse di colmata e dall'area industriale di Porto Marghera.

Le indagini geognostiche hanno consentito di ottenere una definizione di dettaglio della stratigrafia del suolo lagunare, spesso quale elemento complementare alla conoscenza delle caratteristiche geo-meccaniche dei terreni, necessaria per il dimensionamento delle opere di fondazione e utile, più in generale, per comprendere il regime degli acquiferi e definire le modalità di intervento e di gestione dei flussi di falda.

Non essendo possibile relazionare su "tutte" le attività svolte, di seguito vengono descritte, a grandi linee, alcune delle principali attività condotte dal Magistrato alle Acque nell'ambito degli interventi di salvaguardia che hanno consentito di acquisire dati per la conoscenza della geologia della laguna di Venezia. Si illustrano, in particolare, le indagini geognostiche condotte nell'ambito degli interventi nei centri abitati e nelle isole lagunari e in quello degli interventi nell'area di Porto Marghera.

## **Indagini geognostiche nell'ambito degli interventi nei centri abitati e nelle isole**

Nel centro storico veneziano sono state realizzate numerose indagini geognostiche e verifiche sul sottosuolo, soprattutto in relazione alla progettazione di specifici interventi per la difesa dagli allagamenti e per il restauro e consolidamento di strutture architettoniche "di bordo".

Le principali aree interessate sono state quelle di San Marco, di Rialto, dei Tolentini, delle Zattere e della Giudecca, dell'Arsenale, delle Fondamente nuove, dei Giardini napoleonici, mentre analoghe attività sono state eseguite anche nel comprensorio di Chioggia-Sottomarina, oltre che a Murano, Burano, Malamocco e Sant'Erasmo e in molte isole minori (San Servolo, Certosa, Lazzaretto Vecchio, Lazzaretto Nuovo, Torcello).

Le indagini e le analisi sono state estese fino a profondità non superiori a 15-20 m ed erano finalizzate, principalmente, alle definizioni delle caratteristiche geo-meccaniche

dei terreni per definire gli aspetti dimensionali degli elementi di fondazione.

Nell'ambito di alcune di queste attività, sono stati anche approfonditi temi del tutto particolari, connessi con lo sviluppo urbano e architettonico dei centri abitati. Per esempio, ricostruendo le reti dei vecchi "gatoli" (le tradizionali condotte fognarie) per lo scolo delle acque o approfondendo la conoscenza delle fondazioni su palificate e assiti di legno, su cui spesso appoggiano i muri delle rive, oltre che gli edifici.

Di particolare importanza, la ricostruzione della rete di scolo sotto la piazza San Marco e ai Tolentini o nella zona del Palazzo dei Camerlenghi a Rialto. Per queste indagini si sono impiegate tecnologie innovative come il georadar che ha dato risultati molto significativi anche nello studio dei murazzi di Pellestrina, ricostruiti dopo la mareggiata del 1966.

## **Indagini geognostiche nell'ambito degli interventi nella zona di Porto Marghera**

Il Magistrato alle Acque di Venezia è impegnato da tempo nell'attività di progettazione e realizzazione degli interventi tesi a ottenere l'arresto del degrado della laguna di Venezia. Una parte importante di questi interventi riguarda la zona industriale di Porto Marghera dove sono state completate e sono in corso numerose opere finalizzate a impedire la dispersione delle sostanze contaminanti presenti nell'area.

Sull'intero territorio di Porto Marghera sono state infatti individuate vaste zone con una presenza distribuita di sedimenti a elevata concentrazione di inquinanti soggetti a continuo dilavamento per effetto delle piogge e delle escursioni delle maree e per il normale defluire delle acque di falda. Per queste zone sono state previste e in ampia parte attuate opere di conterminazione a tenuta idraulica le cui tipologie, dimensioni e caratteristiche dei materiali variano in relazione al tipo di inquinante esistente nei terreni e alla funzione della riva.

In particolare, le conterminazioni devono essere dimensionate per tenere conto di profondità dei fondali tipiche delle darsene e dei canali portuali (variabili tra 10 e 12 metri e ben superiori a quelle esistenti in altre zone della laguna che hanno, in genere, fondali di pochi metri). Esse, inoltre, devono essere dimensionate in relazione al possibile utilizzo come banchine portuali.

Le nuove opere di sponda devono, quindi, raggiungere profondità notevoli per costituire un reale ostacolo al rilascio dei contaminanti, ma anche per assicurare la stabilità della conterminazione rispetto ai sovraccarichi previsti e ai nuovi fondali antistanti.

Per l'importanza, anche economica, di tali interventi si è ritenuto di procedere alla loro progettazione e realizzazione sulla base di una più approfondita e sistematica base conoscitiva dei processi idrogeologici che interessano le diverse falde presenti nel sottosuolo dell'area di Marghera. Questi processi sono infatti responsabili del trasferimento degli inquinanti nelle acque lagunari e sono influenzati da condizioni al contorno che agiscono su un territorio molto vasto. Per ottenere un più vasto quadro conoscitivo, che ha consentito e consente di ottimizzare gli interventi al di là di quanto sia normalmente possibile nell'ambito di una progettazione esecutiva, il Magistrato ha perciò dato avvio a un ampio studio consistente nella raccolta di numerosi dati geologici dell'area industriale e della zona retrostante, acquisiti direttamente o da una pluralità di altri soggetti competenti.

Dopo l'analisi dei dati e la loro omogeneizzazione secondo codifiche comuni, essi sono stati ordinati in un organico data base allestito presso il Servizio Informativo dello stesso Magistrato alle Acque. È stata questa un'occasione sia per organizzare una prima caratterizzazione completa delle falde presenti nella zona di Marghera e delle strette relazioni esistenti tra di esse e le acque lagunari, sia per formulare un modello concettuale della loro dinamica, da utilizzare come riferimento nella valutazione del grado di miglioramento ambientale conseguito con gli interventi sui terreni inquinati. Ciò ha rappresentato anche

un'occasione irripetibile per correlare tale quadro conoscitivo alle azioni di salvaguardia della laguna, in generale, e quindi alle conoscenze già consolidate e a quelle ancora in via di acquisizione, da parte del Magistrato alle Acque, sulle componenti fisiche e ambientali dell'ecosistema.

La banca dati della zona industriale di Porto Marghera riguarda la stratigrafia dei suoli, le caratteristiche fisiche dei terreni dei diversi strati, le caratteristiche meccaniche e di resistenza, oltre che l'assetto dell'area dal punto di vista idrogeologico. I dati raccolti e confluiti nel database sono: stratigrafie; parametri idrogeologici; parametri geotecnici; prove penetrometriche; dati chimico-fisici. Nella banca dati sono disponibili sia le informazioni puntuali, in corrispondenza al sito di indagine, sia quelle derivanti dalla loro interpolazione per ottenere un quadro e una rappresentazione continue delle stratigrafie e degli acquiferi dell'area.

## **Conclusioni**

L'attività di indagine geognostica svolta negli anni dal Magistrato alle Acque e la conduzione di studi specialistici volti a definire le caratteristiche stratigrafiche e idrogeologiche del territorio lagunare hanno consentito all'Istituto di sviluppare un sistema di attività per la salvaguardia della laguna integrate in un contesto geologico particolarmente articolato. Gli interventi, infatti, devono interagire con un sottosuolo che, per la variabilità stratigrafica spaziale e per l'interazione con le pressioni neutrali (spesso cicliche perché connesse alle fasi della marea), rende la progettazione altamente complessa. Le indagini svolte hanno perciò consentito di chiarire, in ciascun contesto esecutivo, la geologia di riferimento che, esaurita la progettazione dello specifico intervento, è divenuta tassello fondamentale di quel mosaico di conoscenza che il Magistrato ha ottenuto nel corso degli anni, per cui oggi, si dispone di una buona conoscenza della stratigrafia della laguna e delle caratteristiche geotecniche dei terreni.

La raccolta di tutti i dati geognostici acquisiti durante le campagne di indagine e durante le attività di studio (che hanno previsto anche attività di prelievo di dati già disponibili presso gli archivi dei vari enti che operano nell'area lagunare) ha consentito inoltre al Magistrato alle Acque di al-

lestire anche un database amplissimo, continuamente integrabile e facilmente consultabile presso il Servizio Informativo da quanti operano sul territorio o necessitano di confrontarsi con il complesso tema della geologia lagunare.

---

---

## Il "Progetto Rialto-Alzare Venezia" di Soles - Mattioli

Francesco Alberti  
Geologo  
Componente Consiglio Direttivo AGI

L'intervento del sindaco Cacciari, nell'auspicio di una proficua collaborazione tra la Provincia e la comunità scientifica Sigea, ha invitato i partecipanti a questo convegno a produrre idee, studi e progetti per la salvaguardia di Venezia, dell'ambiente lagunare e dell'entroterra industriale.

Per la città ha evidenziato come il sollevamento puntuale di edifici, monumenti e settori urbani debba far parte di un piano generale per la salvaguardia di Venezia. A tal proposito occorre finanziare, studiare, sperimentare questa operazione.

Ormai esistono tecnologie sicure per questa realtà, come il "Progetto Rialto-Alzare Venezia".

Vediamo come la finalità del Convegno SIGEA, ed in particolare con l'oggetto di questa sessione, coincida con alcune finalità di questo progetto. Occorre innanzi tutto evidenziare quali sono le tecnologie in gioco.

Il "Progetto Rialto-Alzare Venezia" è un intervento di salvaguardia, risanamento strutturale e ambientale, restauro e manutenzione immobiliare e abitativa della città per quelle zone compromesse dall'acqua alta dove sono più sensibili gli effetti dei fenomeni di subsidenza ed eustatismo.

Il progetto consiste nell'alzare i fabbricati con una specifica e brevettata tecnologia che permette di operare in modo assolutamente non invasivo e rispettoso dell'ambiente e di lasciare gli edifici abitati durante i lavori.

Il Progetto Rialto indipendentemente da qualunque intervento alle bocche di porto rientra tra gli interventi integrativi e sinergici, comunque necessari alla salvaguardia di Venezia, finalizzati al sollevamento puntuale di edifici o di porzioni di territorio urbano e lagunare.

L'opera epocale composta da interventi assimilabili a manutenzioni cittadine, concertati dagli stessi veneziani darà il risultato di una grande opera senza provocare impatti sconvolgenti e migliorando la qualità della vita.

Tra gli elementi tecnici inseriti nel progetto uno dei punti di forza è il palo Soles® impiegato con una duplice funzione: quella di nuovo elemento fondale e quella di punto di reazione al sistema di sollevamento. L'altro punto di forza è la realizzazione di una platea rigida collegata alle strutture murarie in modo da esercitare il sollevamento completo in maniera isostatica senza influenzare le strutture.

Il palo Soles® infisso staticamente, per le sue peculiari caratteristiche, si identifica come la tipologia di pali di fondazione che meglio riesce a limitare le interferenze negative nell'ambiente geologico, in generale, e nel sottosuolo in particolare.

Ogni opera d'arte, che interessi anche il terreno, porta con sé delle implicazioni geologiche. In particolare, tra le opere nel sottosuolo, i pali di fondazione sono gli elementi che più generano interferenze con "l'ambiente geologico" e con l'ecosistema cittadino "aria - acqua - suolo". I pali di fondazione sono immersi nella "struttura terreno" spesso in modo traumatico con trivellazioni, battiture ecc. I pali non si vedono perché spariscono nel terreno, ma spesso si sentono vibrazioni durante l'esecuzione, si vedono decompressioni o compressioni all'interno degli stessi, si vedono comparire acque del sottosuolo, si vedono instabilità di fori, si misurano quantità di terreno estratto superiori ai volumi teorici, si sentono onde d'urto sotto i piedi che corrono nelle varie stratificazioni ecc.

A volte con i pali di fondazione si mettono in comunicazione tra di loro falde ac-



Figura 1 - Il palo infisso senza estrazione di terreno. Questa tipologia di pali affonda le sue radici nella storia, il primo palo di questo tipo impiegato dall'uomo è il palo in legno noto ed utilizzato nei secoli. Venezia ne è una testimonianza.

quifere che se inquinate provocano problemi ambientali non di poco conto, così come si possono lasciare negli stati profondi elementi terrosi inquinati.

Oggi si raggiungono, con certi tipi di pali, profondità superiori ai 70 metri, per questo i suddetti fenomeni si possono ritrovare a profondità significative.

Insomma il sottosuolo, interessato da pali di fondazione, che fa parte dell'ambiente geologico, può subire anche interferenze negative per l'esecuzione di pali, che spesso sono invasivi secondo le caratteristiche del terreno interessato e le modalità esecutive.

Il Palo Soles® è un particolare palo di fondazione specificamente studiato per ridurre in modo sensibile le

interferenze delle opere di fondazione con l'ambiente geologico.

Si tratta di un palo infisso senza estrazione di terreno che, mantenendo le caratteristiche positive di questa categoria di pali, annulla quegli aspetti negativi di applicabilità in ambienti urbani in quanto infisso senza percussione con un particolare sistema statico, silenzioso, senza vibrazioni e senza estrazione di terreno.

Il Palo Soles® nasce dall'esperienza che la Soles di Forlì ha maturato negli anni nel settore dell'oleodinamica brevettando un sistema di costruzione di serbatoi pensili per acqua costruiti a terra e sollevati con speciali martinetti fino ad altezze di 50-60 metri.

Il Palo Soles®, a struttura mista acciaio-calcestruzzo, si realizza spingendo con attrezzature idrauliche un tubo di acciaio chiuso alla base da una punta allargata, prendendo la reazione dai piedi ancorati nella struttura di fondazione vecchia o nuova attraverso speciali tubi guida di acciaio precedentemente in essa solidarizzati. Il tubo durante la sua infissione nel terreno viene contornato dal conglo-

merato cementizio messo in opera a pressione assolutamente in contemporanea all'infissione del palo, in modo da saturare lo spazio anulare generato dalla punta allargata del palo. Questo calcestruzzo formerà la camicia esterna del palo proteggendo il tubo interno che a sua volta verrà riempito di calcestruzzo.

Un sistema di manometri consente di misurare metro per metro la portata limite alla punta del palo che quindi autodetermina in modo diretto la propria capacità portante durante l'infissione.

La pressione del conglomerato cementizio potrà essere modulata a vari livelli impedendo quindi, ove richiesto, la comunicabilità delle falde e degli strati in terreni inquinati.

Quest'ultima *performance* del palo Soles® trova tra l'altro specifica applicazione per palificate di fondazione nei terreni inquinati delle aree industriali del Veneto tra le quali Marghera.

Le attrezzature di infissione sono modulari e ne esistono di dimensioni molto contenute, tanto da poter operare in ambienti angusti come l'interno degli scantinati di palazzi.

Sempre con sistemi idraulici applicati sulla testa dei Pali Soles eseguiti, ma non ancora vincolati alla struttura di fondazione, si possono attivare operazioni di sollevamento di strutture o fabbricati previa opportune preparazioni.

Il palo Soles® è parente stretto del palo in legno, anch'esso infisso senza estrazione di terreno, ma con sistemi dinamici per percussione.

Questo palo affonda le sue radici nella storia: Venezia ne è una testimonianza.

Oggi, se non all'aperto, è difficile e pericoloso battere pali perché i martelli battipalo o i vibromagli mobilitano grandi energie con onde d'urto, vibrazioni e rumori.

Pertanto i pali battuti hanno un impiego limitato in vicinanza di strutture esistenti e non possono essere impiegati per sottofondazioni.

Dalle caratteristiche del "Palo Soles®" dalle sue *performances* e dalle sue specifiche applicazioni come mezzo di reazione per realizzare sollevamenti di struttu-

re e manufatti è nata l'idea oggi sviluppata in progetto esecutivo di poter sollevare gli edifici della città di Venezia.

Il "Progetto Rialto-Alzare Venezia" si basa sulla possibilità di sollevare un edificio realizzando a livello del suolo una platea collegata alle strutture murarie ed adeguata a ripartire il peso dell'edificio su un nuovo sistema di fondazioni. Interponendo un sistema di martinetti idraulici tra platea e nuove fondazioni è possibile esercitare la forza necessaria per il sollevamento senza comprometterne l'integrità.

I costi previsti per il sollevamento ipotizzato di circa 1,50 metri e per le opere di finitura e riqualificazione di una superficie significativa di 1000 mq è di 1500 euro/mq per le strutture e il sollevamento più 500 euro/mq, per un totale ad oggi di 2000 eu-

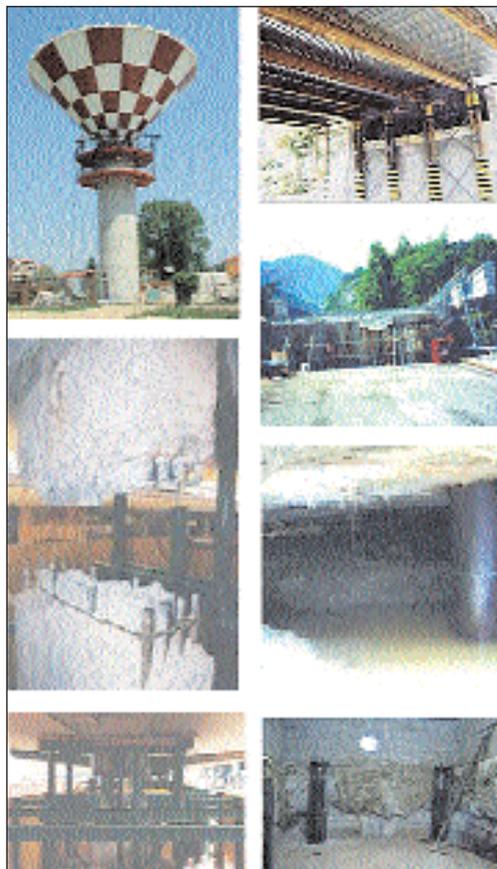


Figura 2 - Esempi di sollevamento effettuati con tecnologia brevettata Soles

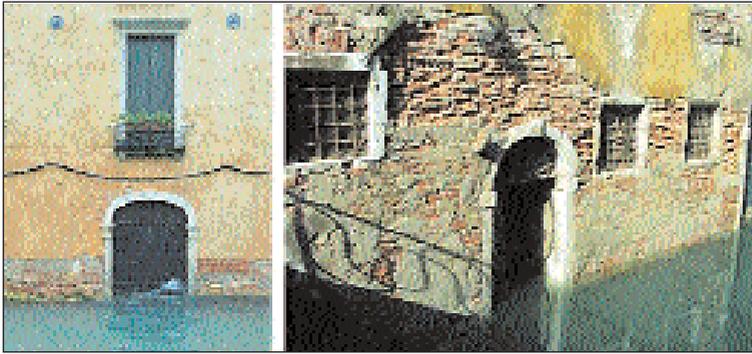


Figura 3 - Fenomeni di subsidenza ed eustatismo.

ro/mq. Il costo dell'opera verrebbe coperto dall'aumento del patrimonio immobiliare, in quanto verrebbero realizzati al piano terra dei locali abitabili, con altezze regolamentari al posto delle attuali altezze insufficienti. Inoltre i locali al piano terra risulterebbero asciutti e bonificati. Indubbiamente questo rapporto tra costi e benefici è suggestivo e può essere realizzato ottimizzando le varie entità in gioco.

Il progetto è pronto e realizzabile, è stato studiato, è una realtà imprenditoriale, è oggetto di un piano di finanziamento che può coinvolgere i privati, le istituzioni o gli ambienti internazionali che guardano Venezia come patrimonio dell'umanità, quindi è realizzabile.

I tempi e le risorse umane impiegate

previsi per il sollevamento per ogni settore di intervento, chiavi in mano, è il seguente: 7 mesi per strutture e sollevamento, 3 mesi per opere di finitura e riqualificazione per un totale di 10 mesi, durante i quali si rende necessario lo sgombero del solo piano terra, mentre restano agi-

bili e abitabili i piani superiori anche nel momento del sollevamento dell'edificio. È possibile operare contemporaneamente con più imprese e con più squadre di lavoro.

Questi parametri subiranno variazioni nel caso di interventi puntuali relativi a singoli edifici.

I benefici indiretti originati dall'applicazione della tecnologia proposta si possono così riassumere:

- incrementare le opportunità operative per tutte le attività commerciali ed artigiane;
- procurare una efficace ricaduta di immagine per l'elevato impatto mediatico e l'ampia risonanza internazionale collegata all'applicazione di una tecnologia particolarmente innovativa, dai risultati rapidi nella sua applicazione ed immediati negli effetti;
- creare non solo un punto focale di attrazione turistico-tecnologica ma, soprattutto, un polo finanziario sostenuto dal flusso di finanziamenti prima e di investimenti poi;
- produrre un numero molto elevato di nuovi posti di lavoro



Figura 4 - Attrezzatura di infissione del palo Soles® e strumenti di misura.

e dare origine alla formazione di maestranze altamente specializzate;

- alimentare un vasto indotto di imprese locali coinvolte nella realizzazione delle opere accessorie e di completamento;
- studiare per ogni singolo edificio, o gruppo di essi, specifici progetti esecutivi;
- offrire costi di intervento certi, chiavi in mano, per il sollevamento degli immobili di oltre un metro;
- fornire ampie garanzie tecniche ed assicurative;
- provocare, come naturale conseguenza, un notevole incremento di reddito e di valore immobiliare degli edifici oggetto degli interventi.

Benefici diretti conseguenti il sollevamento degli edifici sono:

- salvaguardare definitivamente gli edi-



Figura 5 - Costruzione di serbatoi pensili . La vasca è costruita a terra e poi sollevata con speciali martinetti fino ad altezze di 50 -60 m

- ficci dagli effetti nocivi provocati dalla periodica presenza di acqua di mare nei loro piani terra, dalla sua risalita capillare nelle strutture murarie, dai danni causati dal moto ondoso;
- recuperare le altezze interne originali, la funzionalità ed abitabilità dei vani collocati ai piani terra;
- conseguire il completo rifacimento delle fondazioni;
- realizzare il pieno adeguamento sismico degli immobili;
- bonificare e consolidare l'intero edificio;

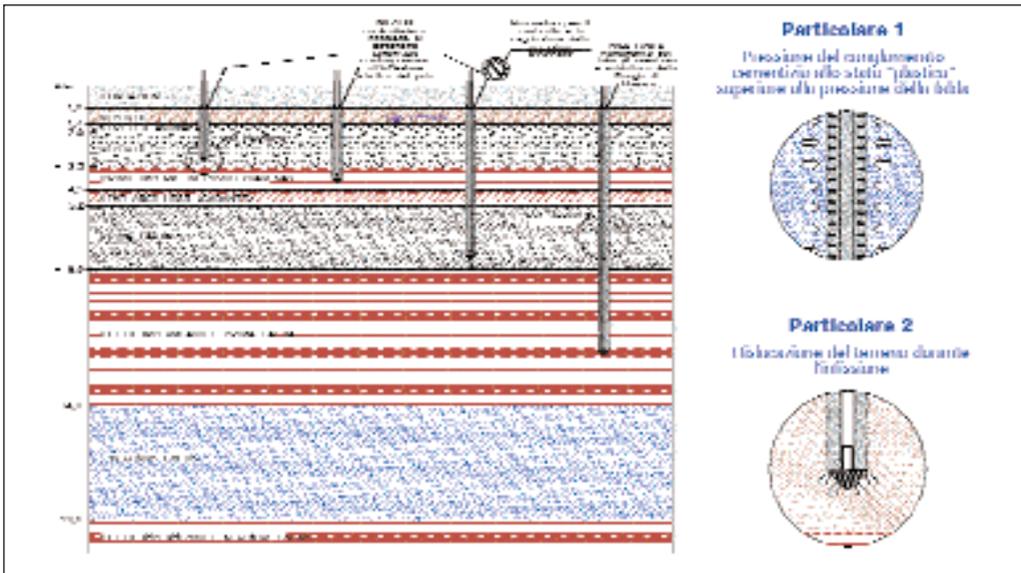


Figura 6 - Il Palo Soles® trova specifica applicazione per palificate di fondazione nei terreni inquinati come per esempio nelle aree industriali del Veneto tra le quali Marghera.

- bloccare la risalita dell'acqua nelle murature;
- consentire il rifacimento ed ammodernamento di tutti i sottoservizi, fognature comprese;

Per quanto riguarda l'ambiente, in nessuno dei suoi aspetti il progetto incide negativamente sul rapporto della città con il mare e con l'ambiente della sua laguna ma, al contrario, coesiste molto opportunamente con la serie di attività di recupero sociale ed ambientale già in atto.

La città con il Progetto Rialto mantie-

ne le sue caratteristiche e lascia inalterato l'aspetto attuale con rivalutazione del patrimonio immobiliare.

La flessibilità del sistema consente di modulare l'entità del sollevamento isolato per isolato, sestriere per sestriere o addirittura fabbricato per fabbricato in base alle effettive necessità.

L'operazione di sollevamento può essere ripresa nel tempo, poiché la struttura rimane predisposta, nel caso di imprevedibili aumenti dei livelli delle acque.

---

---

# Come sollevare un edificio a Venezia

Enzo Siviero

Università IUAV di Venezia

Dipartimento di Costruzioni dell'Architettura

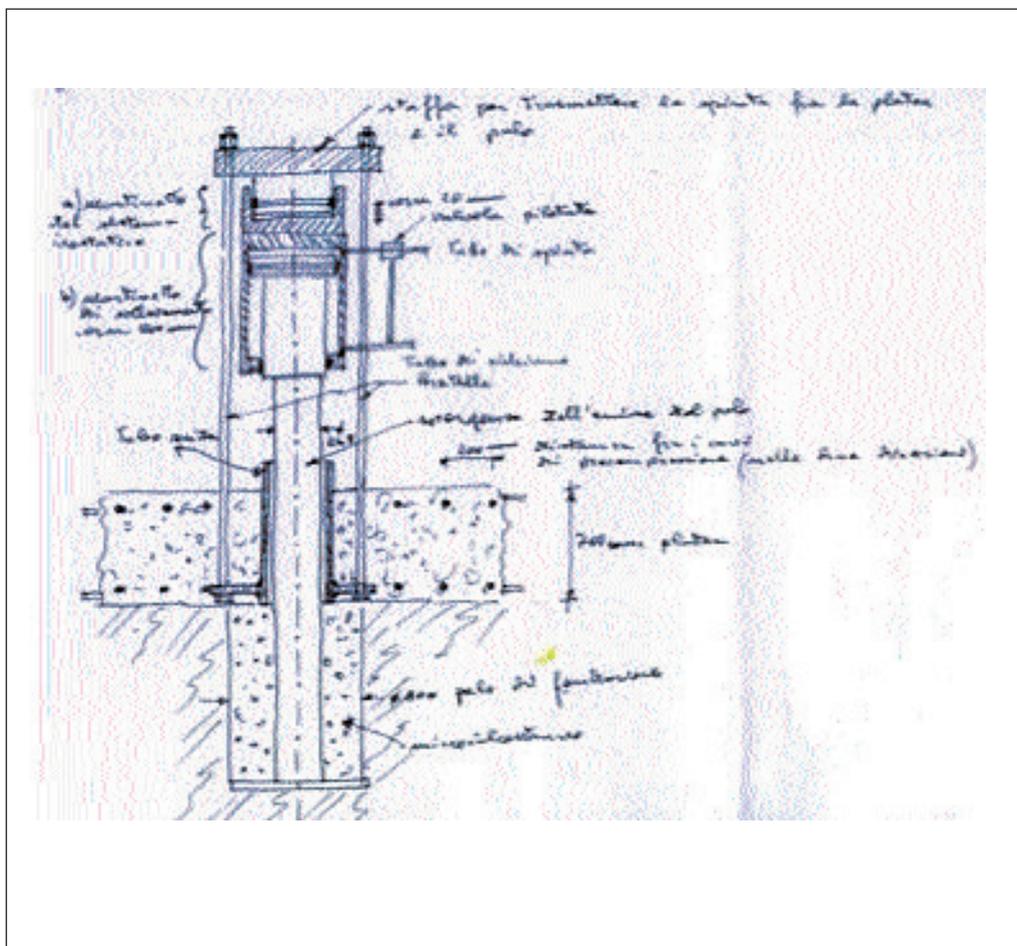
Dirigo il Dipartimento di Costruzione dell'Architettura dell'ex IUAV, ora Università Libera di Venezia. Dodici anni fa circa, ho pensato di creare all'interno della Facoltà di Architettura un ambiente che fosse tecnicamente più aderente alle necessità locali, più operativo nel rapporto col mondo esterno, non solo con le Istituzioni (che già c'era) ma anche col mondo dell'Industria.

Accanto a quello che storicamente è il luogo accademico, della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni penso di aver operato un passaggio interessante "portando a casa" il Professor Furio Zezza, Geologo, che stamattina avete ascoltato e il Professor Alberto Mazzucato, docente di Geotecnica.

A fronte di queste premesse si giustifica questo mio intervento, collegato al rapporto istituito con la SOLES, che ci ha finanziato in carenza di risorse governative e che ci ha permesso di portare all'esterno un'opera che ritengo meritoria: perché il tema di Venezia ci sta a cuore storicamente, lo vogliamo portare avanti e vogliamo dare quell'impronta non solo accademica negli studi teorici ma anche nella applicazione specifica.

È quando ci sono questioni innovative come queste, anche se presentano numerose problematiche, forse proprio per questo, che l'Università deve essere presente per dare delle risposte.

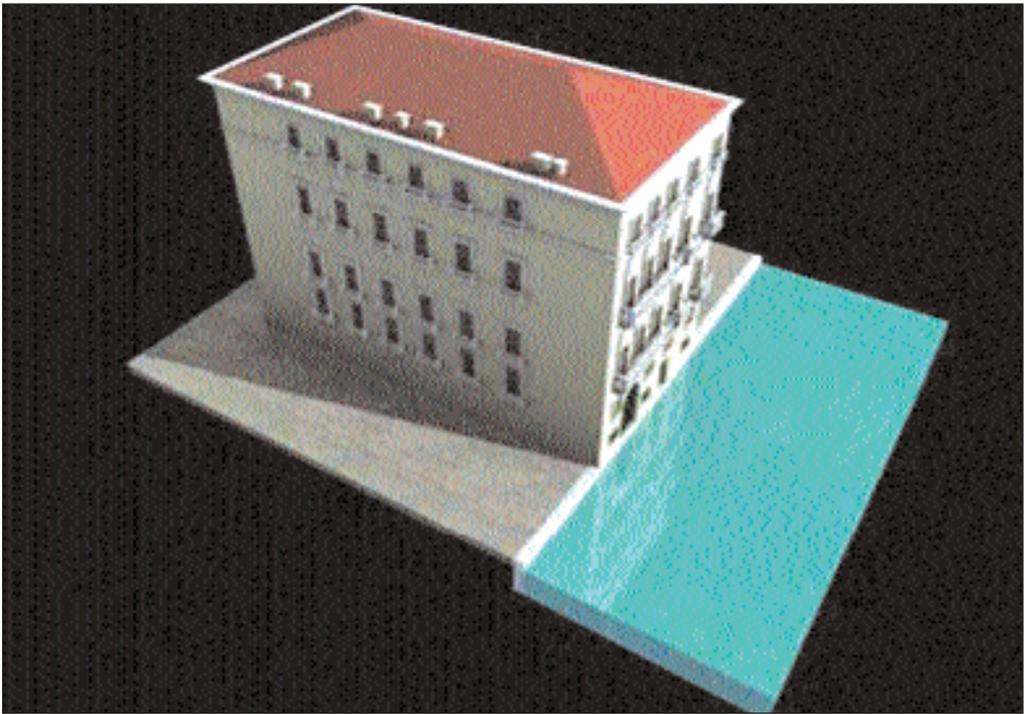
È un segnale di apertura dell'Università verso il mondo esterno, e dal mondo imprenditoriale a quello delle istituzioni, col quale abbiamo peraltro già molte iniziative in comune.



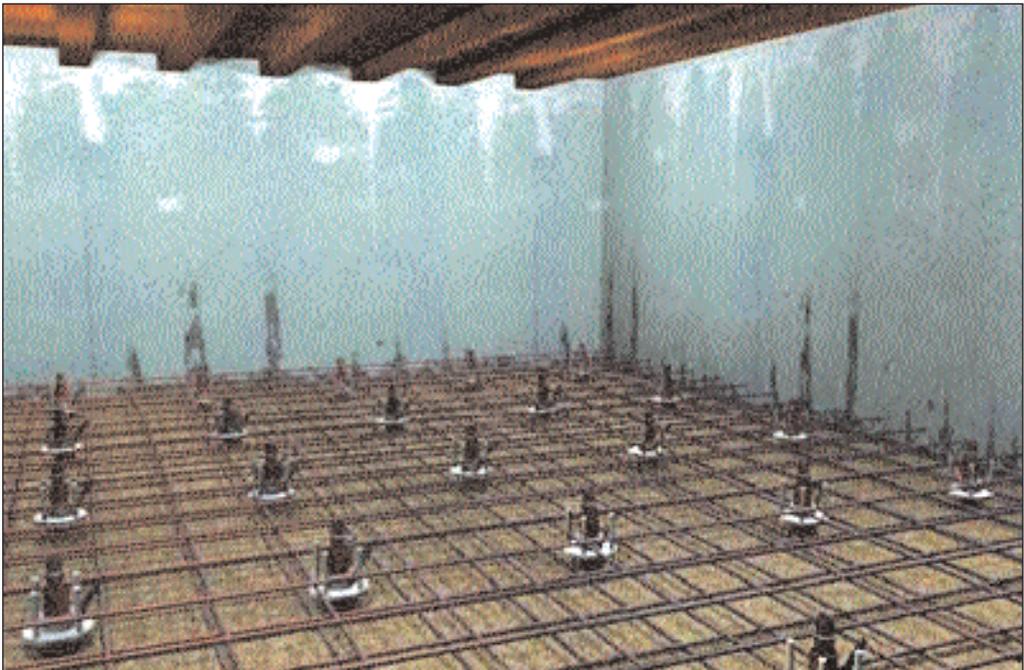
Illustrerò con l'ausilio di alcune immagini il procedimento di sollevamento di un palazzo.

È possibile sollevare un edificio realizzando al livello del suolo una platea adeguata a ripartire il peso dell'edificio su una nuova struttura di fondazione. Interponendo un sistema di martinetti idraulici fra platea e nuove fondazioni, è possibile esercitare la forza necessaria per il sollevamento dell'intero edificio senza comprometterne l'integrità. Al termine del sollevamento l'edificio si trova collocato alla quota desiderata e in condizioni statiche migliori perchè dotato di una nuova struttura di base più rigida e stabile rispetto alla precedente.

Nella immagine successiva abbiamo un edificio nella sua rappresentazione tridimensionale che viene analizzato in ogni suo particolare al fine di studiare il modo migliore per imbragarlo nella sua parte inferiore.



Viene eseguito con accuratezza il rilievo dell'edificio al fine di determinarne lo stato, la massa e l'ubicazione del baricentro. Con questo metodo verranno poi inseriti dei martinetti per rialzare gradualmente fino a 2 metri.

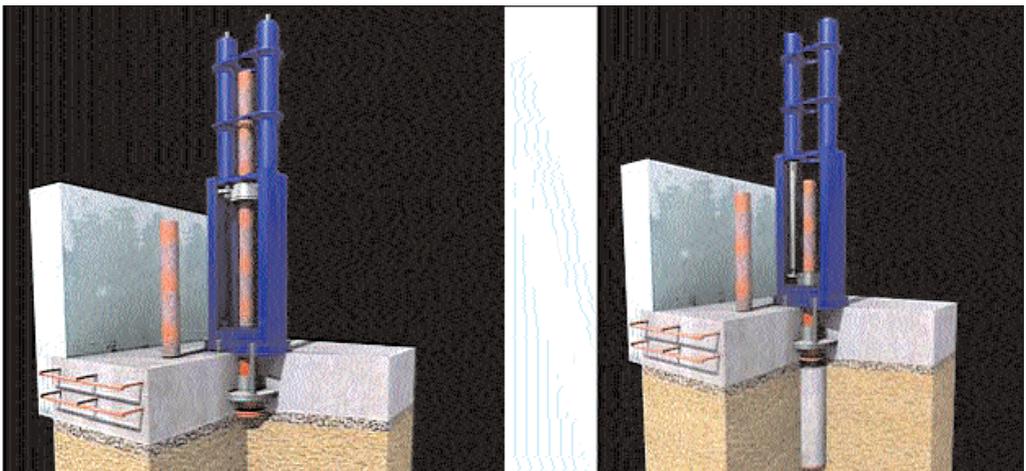


Vengono posizionate le scatole guida dei pali predisposte con i tiranti di sollevamento; si procede quindi al posizionamento dell'armatura.



Viene eseguito il getto della platea di fondazione. Tale platea dovrà garantire il sostegno dell'edificio e deve quindi essere integrata con le murature esistenti

La platea consente di innestare il sistema di sollevamento attraverso questi pali che essendo infissi per contrasto, non hanno bisogno di battipalo, come si chiamavano storicamente.



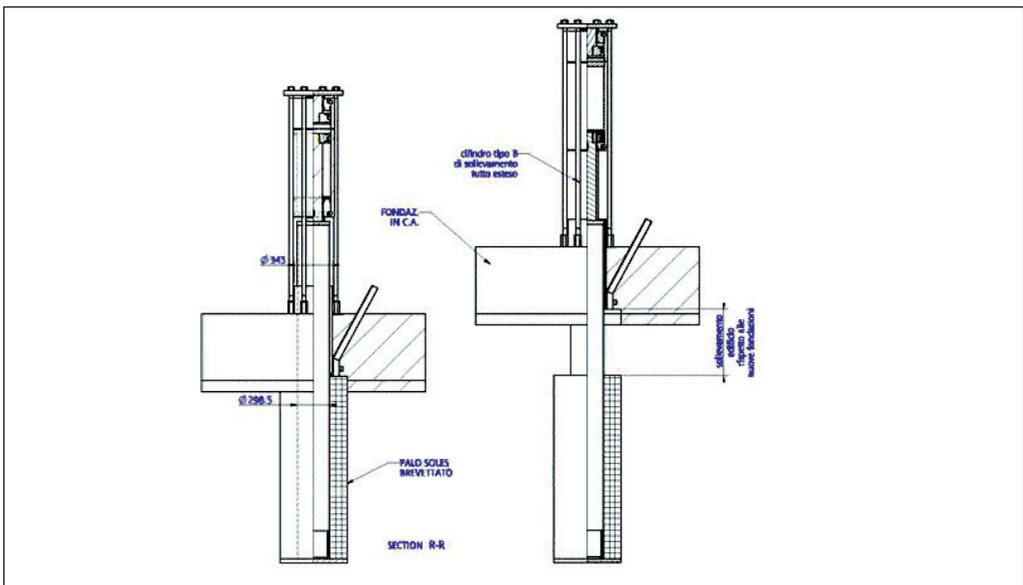


La macchina pianta pali opererà su ciascun punto di infissione per volta.

La macchina dotata di potenti martinetti infigge il palo nel terreno lasciando l'estremità superiore emergente dalla scatola di guida. In seguito verranno poi applicati su ciascun palo i dispositivi di sollevamento.

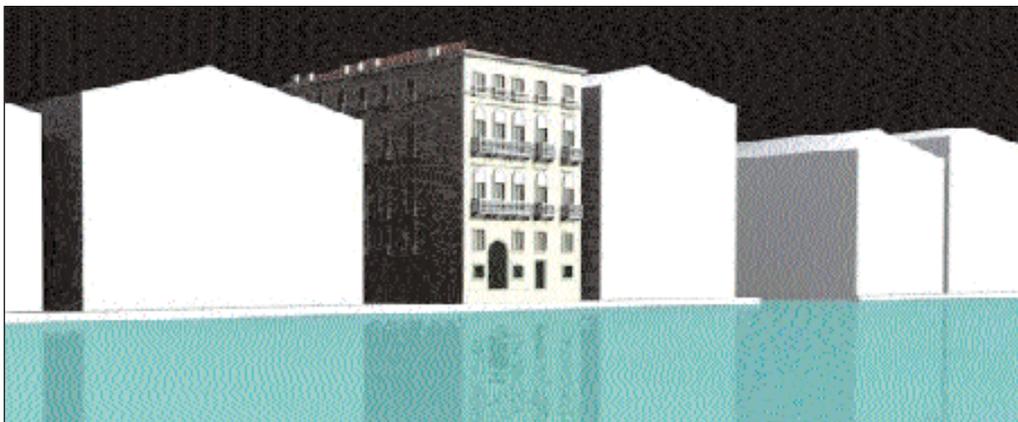
Terminata l'infissione su ciascun palo viene applicato un dispositivo di spinta. I dispositivi sono suddivisi sulla pianta dell'edificio, in tre gruppi indipendenti.

I dispositivi di spinta di un singolo gruppo sono azionati in maniera sincronizzata da una centrale oleodinamica.



L'estensione dei gruppi in sequenza produce il sollevamento dell'edificio. Il sollevamento avverrà in maniera isostatica e sarà lento così da evitare qualsiasi danno alle murature.

Non è una cosa facile. È una cosa che sulla carta sembrerebbe tranquilla, non lo è affatto però vi posso assicurare che gli studi che sono stati effettuati, per il loro approfondimento tecnologico costruttivo ma soprattutto per le implicazioni che determina sul tessuto delicato di Venezia, dove probabilmente non è che alziamo gli edifici con una struttura in cemento armato molto robusti, qui alziamo dei piccoli castelli di carta che hanno un equilibrio instabile tra di loro e che funzionano gli smorzamenti complessivi dei solai prevalentemente in legno.



Terminato il sollevamento vengono effettuate le opere di finitura, ripristino delle murature, accessi, eventuali restauri ecc. L'edificio raramente è isolato, nella maggioranza dei casi confina con altri edifici, questa è la problematica più importante, ed ecco che si giustifica la nostra presenza, naturalmente gli aspetti del sottosuolo competono di più a geotecnici e geologi, mentre la parte superiore e sul piano strutturale vero e proprio e sul piano tecnologico impiantistico, questo è il punto più delicato che è stato affrontato anche nei rialzi delle rive e bisogna fare un ragionamento specifico caso per caso.

Complessivamente il risultato è estremamente interessante perché alla fine non solo si guadagna una superficie intera a piano terra mettendola a presidio ma anche si riesce a risanare l'insieme dei sottoservizi e quindi creando le condizioni perché il sistema si mantenga nel tempo in modo adeguato e ci consenta di trasmettere a chi verrà dopo di noi l'insieme del nostro essere all'interno di una città che vive e che noi non vorremmo che morisse.

---

---

# Implicazioni geologiche delle opere sotterranee nel Veneziano

Valentina Bassan  
Provincia di Venezia  
Servizio Geologico

Andrea Vitturi  
Provincia di Venezia  
Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo

Il territorio provinciale di Venezia si trova nella bassa pianura veneta, costituita per centinaia di metri da sedimenti alluvionali e marini depositi dal Terziario ad oggi.

Il territorio, in buona parte sotto il livello del mare, si affaccia sull'Adriatico e comprende le lagune di Venezia, di Caorle e Bibione. E' attraversato dai principali corsi d'acqua del Veneto: Tagliamento nel Portogruarese, Piave e Livenza nel Saronatese, Brenta e, secondariamente, Bacchiglione nell'area centro meridionale e Adige in quella meridionale.

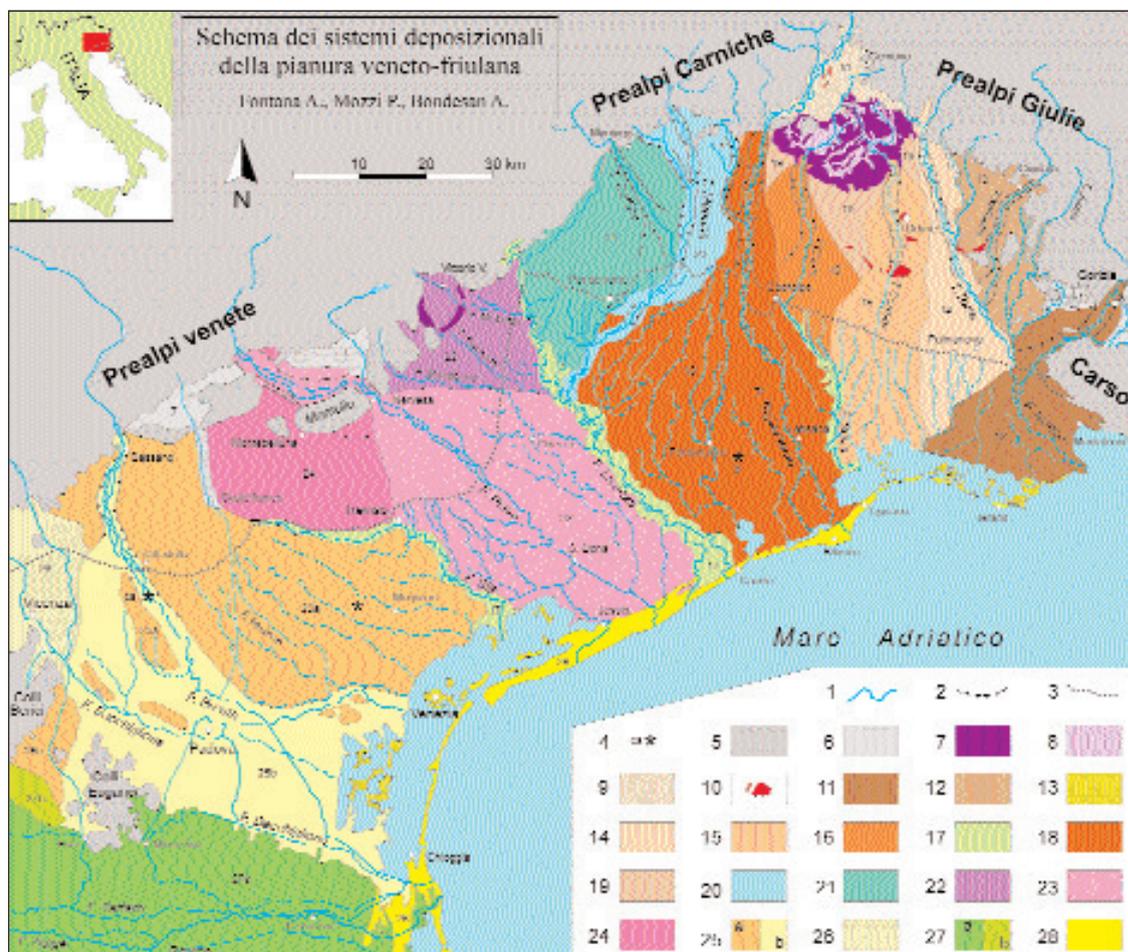
La porzione quaternaria superficiale del sottosuolo è stata fortemente condizionata dalla presenza di questi corsi d'acqua e dai rami più settentrionali del Po che hanno lambito la parte meridionale della Provincia. Essi hanno deposto sedimenti nell'antichità formando geometrie a ventaglio (conoidei); morfologicamente ben evidenti allo sbocco in pianura, dove sono state deposte ghiaie (a nord delle fascia delle risorgive, fuori del territorio provinciale), ma che sono ancora riconoscibili mediante l'esame del microrilievo fino alla costa adriatica. Queste grandi strutture sono i cosiddetti "megafan" e prendono il nome dai corsi d'acqua che li hanno costituiti (Figura 1).

I corsi d'acqua di risorgiva hanno ulteriormente rielaborato la porzione superficiale di tali sedimenti.

Lungo la fascia costiera si trovano sedimenti litorali, trasportati a mare dai corsi d'acqua e successivamente rideposti ad opera delle correnti marine e rielaborati dalle onde e dal vento.

Date le condizioni morfologiche e geologiche del territorio veneziano, l'urbanizzazione è sempre avvenuta sfruttando la superficie, il suolo.

L'urbanizzazione è stata guidata fin dai tempi più remoti dalle caratteristiche



Legenda: 1) idrografia; 2) orlo delle principali scarpate fluviali; 3) limite superiore delle risorgive; 4) ubicazione delle sezioni stratigrafiche citate nel testo: figg. 3.6a, 3.6b e 3.10; 5) Prealpi, Colli Euganei e Berici; 6) aree alluvionali di corsi d'acqua prealpini; 7) cordoni morenici degli anfiteatri di Piave e Tagliamento; 8) depressioni intermoreniche; 9) piana di Osoppo; 10) terrazzi tettonici dell'alta pianura friulana; 11) megafan dell'Isonzo-Torre; 12) conoide del Natisone-Judrio; 13) isole lagunari; 14) megafan del Torre; 15) megafan del Cormor; 16) megafan del Corno di San Daniele; 17) sistemi dei principali fiumi di risorgiva (Stella, Livenza e Sile), localmente incisi; 18) megafan del Tagliamento; 19) aree interposte tra megafan, appartenenti al sandur del Tagliamento; 20) megafan del Meduna; 21) conoide del Cellina; 22) conoidi dei fiumi Monticano, Cervada e Meschio, e degli scaricatori glaciali di Vittorio Veneto; 23) megafan del Piave di Nervesa; 24) megafan del Piave di Montebelluna; 25) sistema del Brenta: a) settore pleistocenico (megafan di Bassano), b) pianura olocenica del Brenta con apporti del Bacchiglione; 26) conoide dell'Astico; 27) sistema dell'Adige: a) pianura olocenica con apporti del Po; b) pianura pleistocenica; 28) sistemi costieri e deltizi.

Figura 1 - Estratto da "Geomorfologia della provincia di Venezia" (Bondesan A., Meneghel M. et al., 2004).

geologiche e geomorfologiche del territorio: le aree urbanizzate nel passato sono state le porzioni di territorio più antiche, le superfici di età pleistocenica poste sopra il livello del mare e maggiormente consolidate. Le aree palustri nord orientali (Portogruarese e Sandonatese) e quelle meridionali (Cona, Cavarzere e Chioggia), bonificate a più riprese a partire dal XVII secolo, ma con forte impulso nel ventennio fascista, sono invece scarsamente abitate e i centri abitati si sono localizzati lungo i corsi d'acqua, sugli "alti" costruiti dagli argini naturali. Unica eccezione è rappresentata dai centri abitati insulari, con particolare riferimento a Venezia, Torcello, Burano e Murano, sorti, per ragioni storiche, in condizioni geologicamente pessime che ne hanno determinato la peculiarità.

Solo negli ultimi cinquant'anni l'incremento demografico e le esigenze socio economiche hanno indotto ad un sovra utilizzo della superficie geologica disponibile e l'urbanizzazione ha iniziato ad interessare anche le aree a più forte penalizzazione geologica. Così, grazie a vecchie e nuove tecniche costruttive, l'urbanizzazione ha pesantemente coinvolto i litorali (soprattutto Sottomarina, Lido, Jesolo, Bibione), andando così ad irrigidire un fronte naturalmente variabile, quale è la linea di costa.

Un altro esempio è stato la costruzione delle casse di colmata che hanno dato vita al polo industriale di Porto Marghera e al centro urbano di Marghera.

L'urbanizzazione, ancorché della superficie, coinvolge e interessa comunque anche porzioni di sottosuolo mediante l'esecuzione di opere di fondazione, di canalizzazione, di infrastrutture quali reti acquedottistiche, metanodotti, reti fognarie, trincee e sottopassi stradali, garage interrati.

Quindi il sottosuolo da una ventina d'anni è oggetto di attenzione, in genere spinta da qualche evento disastroso.

L'eccessivo utilizzo del territorio mediante urbanizzazione ha però condotto ad un livello di saturazione della superficie utilizzabile: non è più possibile individuare un'infrastruttura di una certa importanza senza interessare qualche centro abitato, scontrandosi

quindi con i relativi "comitati contro".

Un esempio per tutti è il caso del passante autostradale di Mestre: dovendo attraversare diversi centri abitati di notevole importanza, è stato fortemente osteggiato fino a che, nel 2001, con la legge obiettivo, il problema del consenso è stato by-passato e si è potuto procedere con la progettazione dell'opera. La scelta del tracciato è stata comunque problematica e si è dovuto far ricorso per situazioni irrisolvibili a tratti in galleria.

La saturazione del suolo in superficie è la ragione per cui l'attenzione dell'attività antropica si sta spingendo all'uso del sottosuolo.

Se lo scavo di gallerie in terreni sciolti è una pratica in uso in molte parti del mondo e anche in Italia (linee metropolitane), è sicuramente una novità per il territorio del Veneto, almeno per opere di un certo rilievo che non si limitino ai pur diffusi sottopassi, garage e scantinati.

La cosa è una novità soprattutto in relazione alla tipologia del sottosuolo veneziano, composto in prevalenza da granulometrie fini e, talora, da sedimenti organici.

Ciononostante, l'attenzione al sottosuolo veneziano - fino a circa 50 m di profondità - nelle aree ad intensa urbanizzazione (principalmente nell'area centrale dove il suolo superficiale è stato sovrasfruttato) è dimostrata dal moltiplicarsi dei progetti presentati presso gli Enti competenti (Figura 2 numero nel disegno):

- 1 tunnel autostradale di Mestre;
- 2 collegamento ferroviario con l'aeroporto di Venezia;
- 3 sublagunare;
- 4 STG (Sistema di Trasporto a Guida vincolata);
- 5 terminal petrolifero al largo dei lidi veneziani;
- 6 passante autostradale di Mestre;
- 7 cassoni per opere mobili alle bocche di porto;
- 8 garage interrato multipiano.

Nell'area centrale della terraferma veneziana le opere in superficie intercettano sedimenti sciolti quaternari della bassa pianura costiera veneta (Figura 3), e più in particolare:

- alluvioni del Brenta Pleistocenico;
- alluvioni del Brenta Olocenico;
- sedimenti lagunari;
- sabbie litorali.

Le opere in sotterraneo, poste tra 0 e fino a 50 m di profondità intercettano invece principalmente alluvioni del Brenta Pleistocenico costituite da:

- argille e limi più o meno consistenti;
- livelli di torba o argille molto organiche;
- sabbie medio fini più o meno limose;
- a tratti fitte alternanze dei vari litotipi.

Ne consegue un'elevata variabilità stratigrafica e idrostratigrafica (Figura 4).

Le difficoltà tecniche nell'esecuzione e nella gestione di infrastrutture sotterranee a tali profondità su questa tipologia di sedimenti è evidente.

Le spesso scadenti caratteristiche geomeccaniche dei terreni (deformabilità e resistenza molto ridotte), la loro elevata variabilità laterale e verticale, il carico dovuto ai terreni sovrastanti le gallerie, il carico idrostatico, la spinta idrostatica dovuta alla pressione delle falde negli acquiferi artesiani ecc., determinano notevoli problematiche geotecniche. Tali proble-



Figura 2 - Principali opere in progetto a fine 2006 che interessano il sottosuolo tra 10 e 40 m di profondità - in rosso i tratti in sotterraneo.

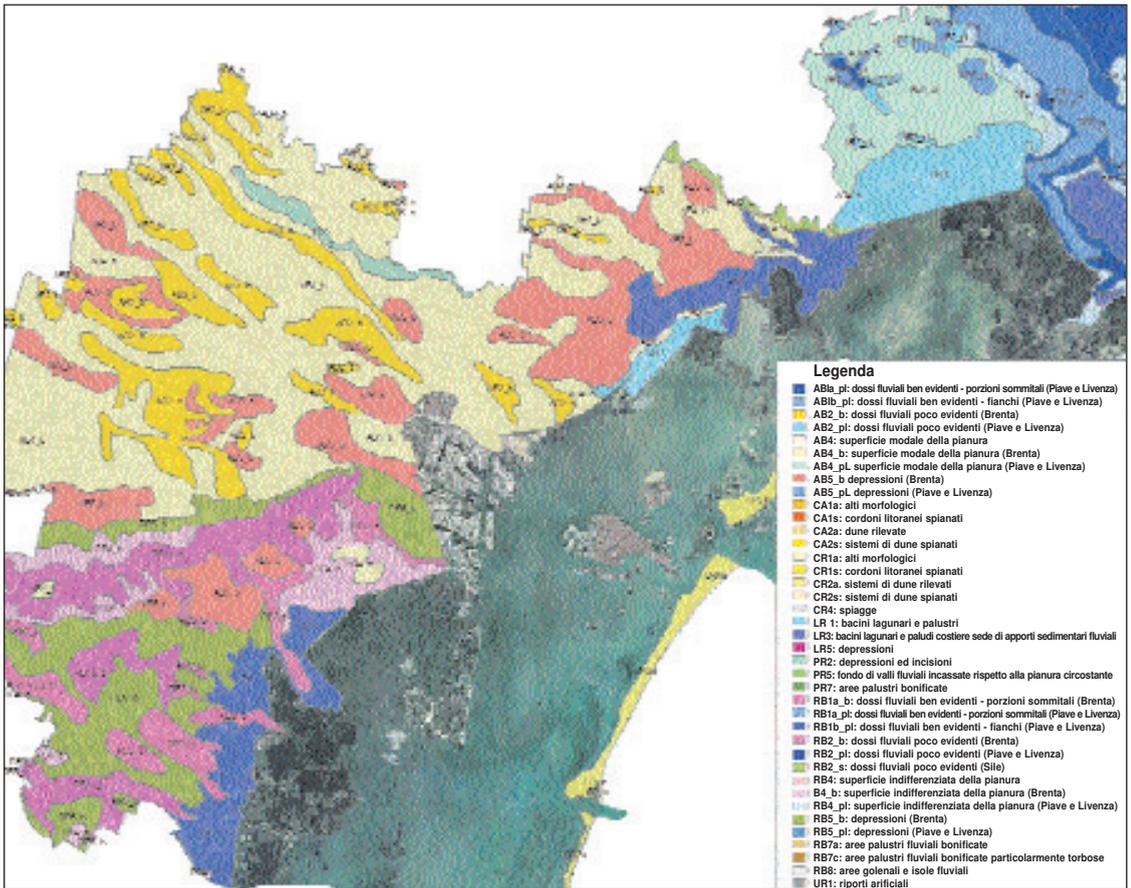


Figura 3 - Carta delle Unità di Paesaggio del territorio provinciale di Venezia - stralcio relativo all'area centrale (A. Fontana, Provincia di Venezia, 2006 - inedito).

matiche condizionano le scelte progettuali (modalità di escavazione, tecniche di consolidamento, adeguatezza statica della soluzione progettuale proposta, controllo dello stato tensionale indotto nel terreno dallo scavo della galleria stessa e relativamente alle sollecitazioni risultanti sui rivestimenti definitivi ecc.) e determinano comunque un impatto sull'attuale equilibrio statico.

La discontinuità degli acquiferi e la variabilità verticale ed orizzontale dei parametri idrogeologici determinano notevoli **problematiche idrogeologiche** condizionando anche in questo caso le scelte progettuali (modalità di escavazione per mantenere l'isolamento idraulico, tecniche di consolidamento, ecc.) determi-

nando comunque un impatto sull'attuale equilibrio idrogeologico (interconnessione tra i vari acquiferi, variazione delle condizioni idrodinamiche ed idrochimiche variazione delle condizioni idrochimiche).

Non si devono inoltre dimenticare altre importanti problematiche connesse con le opere nel sottosuolo profondo, quali l'**intercettazione di sacche di metano**, lo **stoccaggio del materiale scavato**, il **drenaggio delle acque**, le **vibrazioni**, la **subsidenza**, ecc.

## Considerazioni

La domanda che viene posta al geologo è: <<SI PUO' FARE?>>.

Partendo dal presupposto che QUASI tutto si può fare, vale l'equazione:

MAGGIORI DIFFICOLTÀ

=

MAGGIORI RISCHI

=

MAGGIORI COSTI

sia economici che ambientali.

Nello sfruttamento del sottosuolo mediante opere in sotterraneo, si evidenzia una serie di vantaggi quali il minor consumo di suolo, la minor interferenza con la rete idraulica superficiale (che nell'area di Venezia non è poca cosa), il minor impatto visivo, il minor inquinamento dell'aria, ecc.

C'è però di contro una serie di svantaggi: un maggior consumo di sottosuolo, con inevitabile innesco della serie di problematiche di cui si è detto sopra, una maggior interferenza con la rete idrogeologica, una maggior difficoltà di realizzazione tecnica, una maggior difficoltà di gestione (areazione, smaltimento acque, fumi ecc.) e maggiori rischi sia in fase di realizzazione che di utilizzo (possibili esplosioni, ecc) nonché maggiori difficoltà di manutenzione.

E' da notare che si tratta di opere che richiedono investimenti, oltre che per la fase di realizzazione e gestione durante l'esercizio, comunque per la gestione - manutenzione a tempo in(finito)determinato qualora l'opera, per un motivo qualsiasi, cessasse la sua funzione.

Al di là delle considerazioni, neanche poi

tanto filosofiche, sulla convenienza ad investire su opere così impattanti, poiché comunque è evidente la necessità/volontà di procedere in questo senso, è importante **investire anche nella ricerca**, al fine di avere un quadro di conoscenze sul sottosuolo che possa concretizzarsi in **strumenti di lavoro a efficace supporto delle decisioni**.

A questo scopo il Servizio Geologico della Provincia di Venezia, che da oltre un ventennio sta studiando il suo territorio mediante tecnici propri, collaborazioni con Enti di Ricerca e tecnici di varie professionalità, sta con il tempo spingendo le attività di ricerca e le conoscenze nel territorio a profondità maggiori.

I dati raccolti dalle varie ricerche confluiscono in **banche dati del sottosuolo**, indispensabili strumenti per l'elaborazione di modelli stratigrafici e idrogeologici per la comprensione e la previsione di fenomeni evolutivi naturali e indotti dalle opere.

Il Servizio Geologico della Provincia di Venezia è a buon punto per quanto riguarda l'organizzazione dei dati stratigrafici, avendo raccolto e organizzato in un database collegato a GIS quasi 10.000 stratigrafie, principalmente relative ai primi 10 - 20 m di profondità (Figura 5). Molto meno frequenti sono i dati stratigrafici a profondità maggiori, fino al massimo a 100 m. Solo sei sono i pozzi profondi oltre 1000

m in terraferma e sono quelli dell'AGIP o il VE1 del CNR.

Per quanto riguarda la conoscenza dell'idrogeologia nei primi 50 - 80 m c'è ancora molta strada da fare, in quanto la banca dati idrogeologica (Figura 6) contiene per il momento solo informazioni su pozzi per acqua che attingono da falde artesiane, principalmente poste a profondità maggiori.

Il DPR 554/99 "Regolamento di attua-

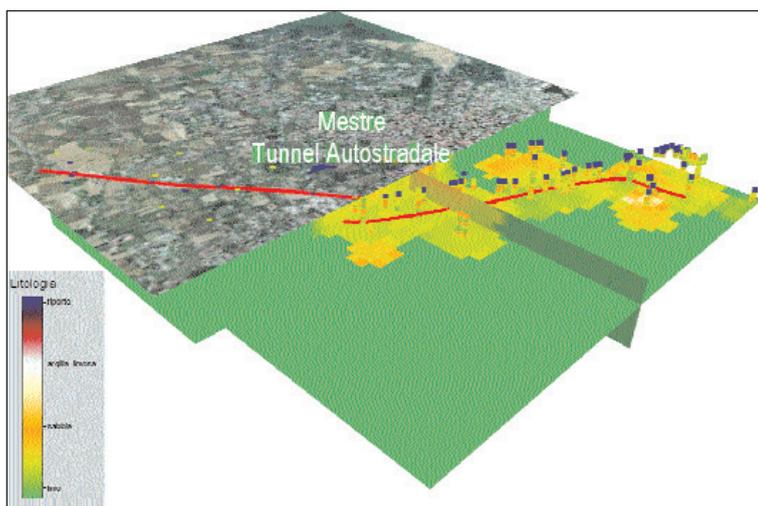


Figura 4 - Rappresentazione delle stratigrafie note intercettate dal tunnel autostradale di Mestre.

zione della L. 11 febbraio 1994, n. 109 legge quadro in materia di lavori pubblici, e successive modificazioni prevede che già nello studio di prefattibilità ambientale sia compreso lo studio sui prevedibili effetti della realizzazione dell'intervento sulle componenti ambientali e sulla salute dei cittadini.

Di solito il progetto preliminare viene impostato sulla base di dati esistenti. Per la porzione "superficiale" di sottosuolo, come sopra detto, la Provincia dispone di una notevole mole di informazioni organizzate. Ma se servono dati più in profondità non si arriva ad un grado di conoscenza che sia sufficiente a sviluppare un progetto, ancorché preliminare. Si ricorda che sono assolutamente inefficaci modelli previsionali non supportati da dati reali che consentano la calibrazione e validazione dei modelli idrogeologici.

Si ritiene che, se non ci sono dati esistenti, i progetti per grandi opere devono essere corredati da **adeguate indagini** eseguite appositamente già nella **fase preliminare** al fine di fornire strumenti di valutazione della fattibilità tecnica ed economica al progettista e agli Enti preposti al rilascio dei pareri e autorizzazioni.

È da ribadire inoltre l'importanza dell'**istituzione di reti di monitoraggio** relative a suolo e sottosuolo (principalmente idrogeologiche ed altimetriche) distribuite sul territorio da parte degli Enti istituzionalmente preposti, finalizzate alla validazione dei modelli previsionali e a monitorare la bontà del progetto realizzato.

Devono essere quindi sempre previste nei progetti delle varie opere specifiche reti di monitoraggio mirato relative a suolo e sottosuolo nelle tre fasi *ante operam*, in fase di esecuzione e *post operam*.

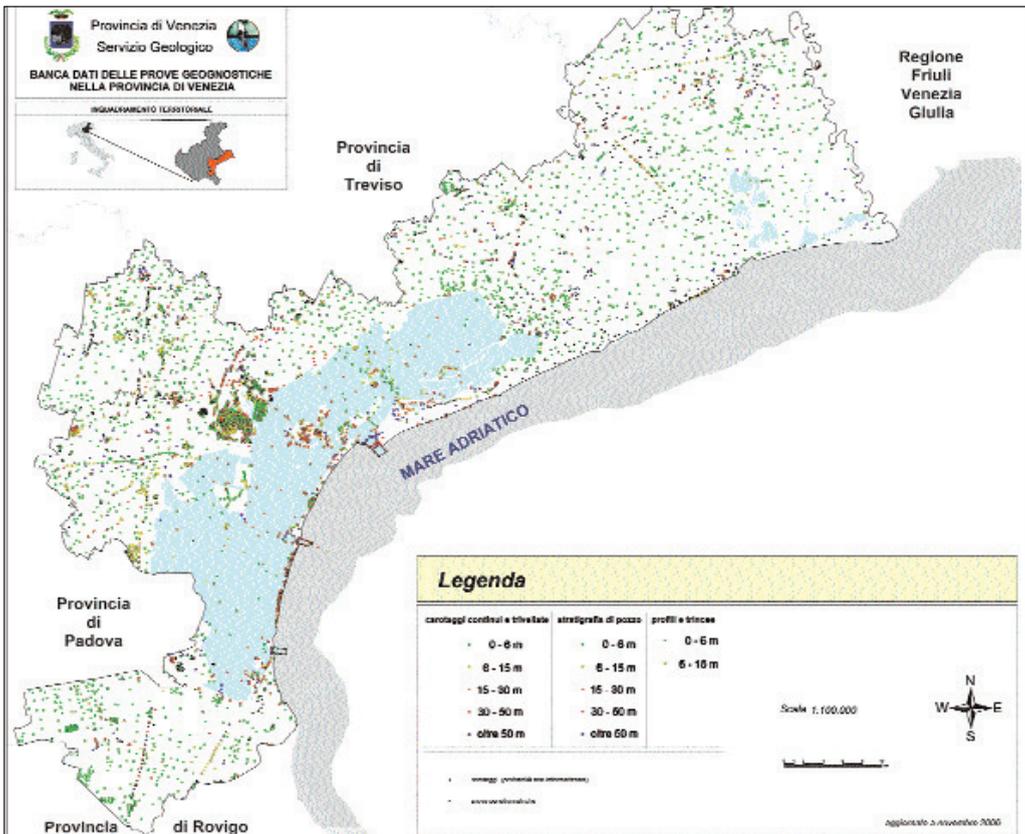


Figura 5 - Ubicazione delle stratigrafie nella banca dati stratigrafici della Provincia di Venezia - aggiornamento al novembre 2006.

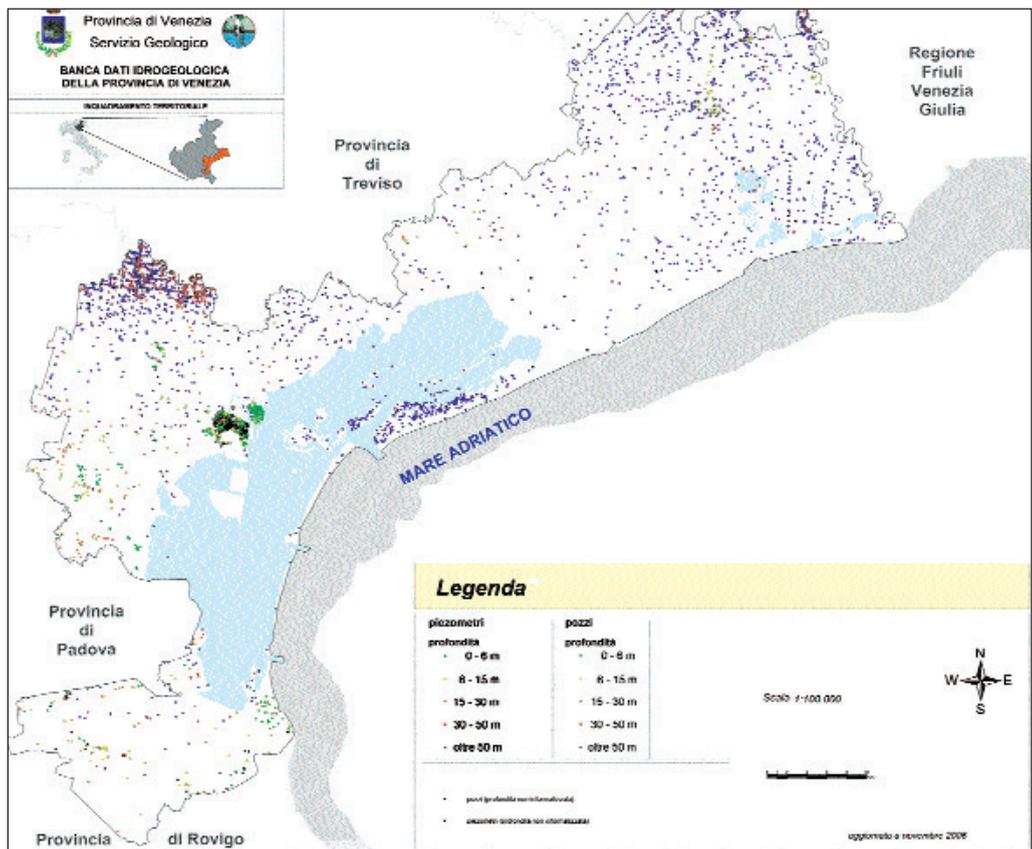


Fig. 6 - Ubicazione dei pozzi per acqua nella banca dati idrogeologica della Provincia di Venezia - aggiornamento al novembre 2006.

## Conclusioni

Facendo un rapido *excursus* dei progetti relativi alle opere in sotterraneo nel territorio provinciale di Venezia, questa relazione è stata anche l'occasione per una riflessione sull'importanza che sta sempre più acquisendo il sottosuolo nella programmazione e progettazione del territorio veneziano conseguente alla raggiunta saturazione del suolo superficiale.

E' evidente l'importanza, anzi la necessità, di sviluppare la ricerca al fine di implementare ed approfondire le conoscenze sul sottosuolo almeno fino ad una cinquan-

tina di metri di profondità, per dotarsi di strumenti (banche dati e modelli) indispensabili a supportare le decisioni.

In particolare è necessario che per progetti di rilievo a notevoli profondità, già in fase preliminare vengano condotte specifiche indagini e vengano realizzati modelli previsionali ben calibrati e validati da dati reali.

E' quindi necessaria l'istituzione di reti di monitoraggio, principalmente idrogeologico ed altimetrico, per la raccolta di misure e dati reali in fase *ante operam*, di esecuzione e *post operam*.

---

---

# Geologia: proprietà e deformazione dei terreni del centro storico di Venezia

Fulvio Zezza  
Università IUAV di Venezia  
Facoltà di Architettura

## 1. Introduzione

Nella letteratura specialistica sono ampiamente trattate l'origine e l'evoluzione del bacino lagunare di Venezia per l'evidente fine della ricerca di approfondire la conoscenza sulle cause che determinano la fragilità di un sistema ambientale complesso, per il quale sono stati avviati da tempo gli interventi di salvaguardia. Allo stato attuale le questioni più importanti ruotano attorno all'incidenza di una serie di fenomeni naturali e di fattori antropici, come la subsidenza, l'eustatismo, il moto ondoso, l'erosione e l'inquinamento, dai quali dipendono le condizioni critiche del sistema lagunare (Figura 1). Il quadro degli interventi di salvaguardia è orientato a difendere i centri storici della laguna dalle "acque alte" e dalle mareggiate e considera prioritaria, assieme alla salvaguardia fisica, la difesa ambientale per migliorare la qualità di acque e sedimenti e per proteggere e ricostruire strutture e habitat nelle zone umide. Punto nodale resta, tuttavia, il nucleo storico di Venezia insulare per il quale le scelte di progettazione e le azioni di riequilibrio della laguna che lo circonda, debbono tenere conto della coesistenza dell'edificato con la situazione attuale e con le trasformazioni future. Progettazione e interventi nel centro urbano di Venezia si trovano a doversi confrontare con le diverse realtà fisiche, tra le quali figura la geologia dell'area urbana; l'analisi dei fenomeni naturali riguarda, infatti, un sistema in evoluzione e le scelte progettuali sono vincolate alle proprietà dei terreni, alla presenza dell'acqua e alla subsidenza differenziata.



Figura 1 - Le azioni di riequilibrio della laguna e le scelte di progettazione risentono dell'incidenza di una serie di fenomeni naturali e di fattori antropici legati da un lato alla subsidenza, all'eustatismo, al moto ondoso e all'erosione e, dall'altro, all'inquinamento.

Le città restano esposte a rischi geologici di diverso tipo; per gli antichi centri urbani la decadenza e l'abbandono sono sopraggiunti spesso per cause comuni connesse ad eventi naturali, derivanti dalle condizioni geologiche dei siti, e all'azione antropica. Per le città costiere, in particolare, l'ubicazione è stata sempre dettata, sia pure inconsapevolmente, da fattori geologici: la morfologia (promontori e isole), la presenza d'acqua (foci di fiumi e canali)

e gli approdi (porti naturali) hanno condizionato la scelta dei siti; la loro fragilità è stata in varia misura determinata dai processi geologici in atto nei siti stessi ed accentuata da forme di attività antropica che hanno interferito in modo eccessivo con i fattori naturali. Le informazioni geologiche hanno cominciato ad essere utilizzate dalla fine del secolo XVIII e la geologia è entrata a far parte integrante della pianificazione e della progettazione solo a parti-

re dalla seconda metà del secolo appena trascorso. L'introduzione dei metodi geologici di analisi e di sperimentazione ha rafforzato la convinzione che l'uso appropriato dei territori e la stabilità delle strutture progettate si raggiungono a condizione che la tendenza evolutiva della morfologia dei luoghi, la natura dei terreni e la dinamica degli eventi geologici siano conosciute con certezza.

Venezia è priva di carte tematiche e le rappresentazioni geologiche dalle quali possa derivare una sintesi stratigrafica interpretativa che consideri il centro urbano nel suo insieme senza ampi margini di incertezza sulle reali condizioni del sottosuolo della città non dimostrano di essere il risultato di specifiche indagini di approfondimento per la restituzione geologica, in scala adeguata, dell'intera area sulla quale l'edificato insiste. Il Foglio 51, in scala 1:100.000, della Carta Geologica delle Tre Venezie (Magistrato alle Acque, 1954) contiene informazioni geologiche poco indicative a tal riguardo in considerazione del fatto che la rappresentazione è orientata a stabilire la dispersione e la granulometria dei depositi dei fiumi attestati sulle sponde del bacino lagunare. Tra le cartografie recenti, la Carta Geomorfologica della Provincia di Venezia (2004) si sofferma sulle condizioni geo-litologiche della gronda lagunare e non fornisce alcuna informazione su Venezia preferendo indugiare sulla presenza della coltre superficiale di materiale di riporto, contraddistinta con il simbolo di terrapieno; dal canto suo, il F. 128 Venezia della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Progetto CARG per la Regione Veneto) non fornisce la chiave di lettura per comprendere nel dovuto dettaglio la reale architettura sedimentaria e i relativi processi che hanno portato all'aggradazione delle sequenze dei corpi sedimentari. Le carte geologiche dei terreni sciolti, sia che si tratti di spesse coltri di materiale di riporto sia di sedimenti di copertura di un substrato profondo, sono essenziali per le informazioni geologiche connesse alle attività in superficie; esse sono elaborate allo stesso modo delle carte del substrato con l'aggiunta di puntuali indicazioni per l'uso dei terreni relative al-

la loro classificazione dal punto di vista idrogeologico e geologico-tecnico. Numerosi sono, pur tuttavia, gli studi sulle serie stratigrafiche dei sondaggi profondi VE1 e VE2, che hanno attraversato la successione quarternaria fino a 950 metri di profondità nel sottosuolo di Venezia, e sui carotaggi del bacino lagunare; essi hanno progressivamente dettagliato ogni aspetto legato alla conoscenza dei paleoambienti e delle condizioni di deposito dei sedimenti durante il Pleistocene e l'Olocene. I metodi e le tecniche analitiche utilizzate nei settori della sedimentologia, della paleoecologia e della geochemica hanno, inoltre, stabilito l'attribuzione cronologica e il tasso di subsidenza, variabile nel tempo e nello spazio, dei terreni che formano l'intera sequenza avvalendosi di datazioni di età assoluta, di analisi polliniche e dell'impiego della magneto-bio-ciclo stratigrafia integrata dei sedimenti campionati sino alla sopra citata profondità. Ulteriori dati litostratigrafici provengono dai sondaggi di media profondità che hanno perforato il sottosuolo fino a metri 400 circa per indagini di tipo idrogeologico e da studi su campioni di sondaggi superficiali, i quali hanno fornito ulteriori dettagli sul rapporto sedimentazione-paleoambienti della serie stratigrafica del Tardo Pleistocene-Olocene dei depositi sedimentari presenti fino a 25 metri di profondità.

In mancanza di una cartografia geologica e di sezioni geologiche aggiornate, punto di riferimento per la ricostruzione geologica del sottosuolo della città restano gli schemi stratigrafici elaborati negli anni Settanta. Riguardo ai primi 10 metri di profondità si dispone di uno schema dei rapporti stratigrafici che delinea le condizioni di deposito dei terreni d'ambiente lagunare e alluvionale e la posizione stratigrafica del "caranto", allo scopo, soprattutto, di aggiornare le conoscenze sulle proprietà geotecniche di tale livello, ben noto nell'ambito dell'attività edilizia. Dal canto suo, un profilo stratigrafico, che ricostruisce gli acquiferi presenti tra 80 e 320 metri di profondità, indica un "complesso indifferenziato" nei primi 50 metri formato da argilla, torba, limo e sabbia.

L'obiettivo difficoltà di elaborare carte e profili stratigrafici del sottosuolo di Venezia è, tuttavia, riconosciuta dagli specialisti del settore e trova riscontro nelle osservazioni di Amadeus W. Grabau contenute nel classico *Principles of Stratigraphy* (1960). L'Autore scrive, a tal proposito, che «[...] la successione si rivela estremamente eterogenea nell'area veneziana e che tutti gli strati si interrompono lateralmente in modo brusco [...] mentre, infatti, la stratificazione assume una giacitura generalmente orizzontale, disturbata soltanto da ondulazioni secondarie, la successione si rivela diversa in due sondaggi anche vicini [...]». Del resto, anche in campo geotecnico gli specialisti impegnati sia nell'analisi delle cause alle quali si collegano i dissesti del centro storico sia nello studio dei terreni di fondazione hanno rimarcato la notevole varietà che caratterizza i depositi sedimentari e la conseguente difficoltà di poter elaborare carte ad indirizzo geotecnico ad ampio raggio per il sottosuolo.

Allo stato attuale, la mancanza o la frammentazione delle informazioni di base introducono la questione, non formale ma sostanziale, sulla certezza che può derivare da una progettazione basata su un modello geologico incompleto o presupposto. I criteri per la formulazione di nuove concezioni strutturali e metodologie costruttive possono scaturire da un processo di diagnosi il quale, ancorché basato su singole stratigrafie di sondaggio, sia in grado di elaborare in modo organico gli elementi che provengono dall'analisi del sottosuolo. Tra i molteplici fattori dai quali dipende la salvaguardia di Venezia, all'aspetto fisico compete un ruolo importante per l'analisi delle cause che alterano le condizioni di equilibrio del sistema lagunare. Tale aspetto, il quale si rivolge con particolare attenzione sia alla natura e alla giacitura dei terreni che alle proprietà di questi, non si esaurisce nella risoluzione del problema relativo alla stabilità di edifici e infrastrutture ma riguarda pure la questione dell'adeguamento delle strutture al sito che, nel caso particolare di Venezia, è interessato dal fenomeno della subsidenza.

## 2. La struttura del complesso sedimentario

La pubblicazione della *Sintesi geologica e geofisica dell'area veneziana e delle zone limitrofe* (Leonardi P. et alii, 1973) ha delineato negli anni settanta il modello strutturale del sottosuolo veneziano elaborato in base alla letteratura geologica esistente e ai risultati delle prospezioni geofisiche condotte da compagnie petrolifere (Agip e Gulf) nell'Alto Adriatico. Il centro storico della città, con riferimento a tale modello, si situa sul bordo (soglia) meridionale della piattaforma veneta, di probabile impostazione tardo-miocenica, al passaggio con una blanda piega (periclinale Venezia-Chioggia) oltre la quale il substrato si abbassa considerevolmente verso la fossa padano-veneta (Figura 2a). Sul complesso sedimentario mio-pliocenico, che costituisce la parte superiore di detto substrato subsidente, giace la potente serie dei depositi del Pleistocene, formati da argilla e sabbia che si ispessiscono notevolmente verso sud passando da circa mille metri in corrispondenza della soglia a tre-quattro mila metri nella fossa padano-veneta. A motivo della tettonica del substrato, la piattaforma veneta e la periclinale di Venezia-Chioggia fanno registrare, a livello regionale, valori di subsidenza moderati e differenziati rispetto al delta del Po, che appartiene ad un'area connotata da una subsidenza sensibilmente più elevata. Attraverso rilievi sismici ("sparker" monocali), che completano il quadro delle indagini per definire la serie dei terreni presenti nel centro urbano fino a 30 metri di profondità, si individuano nella parte alta della successione pleistocenica due complessi sabbiosi (A e B, Figura 2b) i quali formerebbero un alto morfologico che conferisce a Venezia «[...] pur interessata da una moderata subsidenza [...]» la tendenza a restare emersa nell'ambito dell'ambiente lagunare.

L'alto morfologico sepolto veniva posto in discussione da Gatto e Previatello (1974) i quali hanno ravvisato, viceversa, nella presenza di banchi di argilla sovraconsolidata ("caranto") la risposta data dalle su-

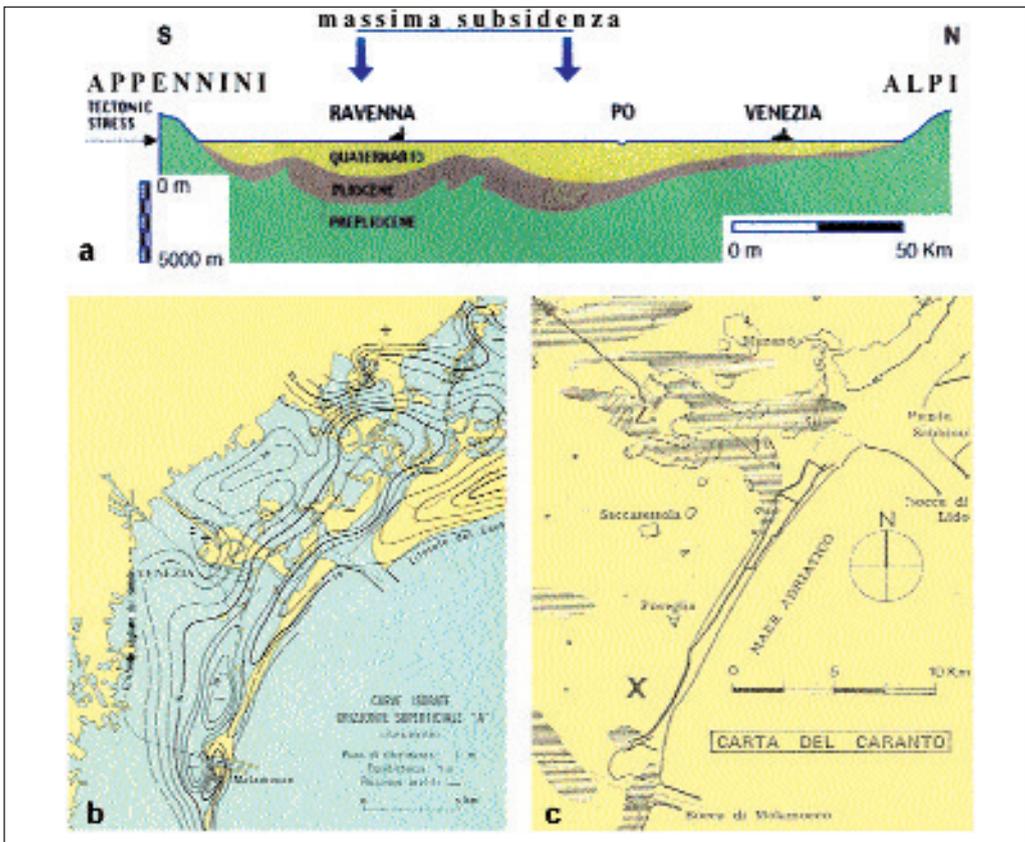


Figura 2 - a) Sezione geologica schematica della Pianura Padana in prossimità dell'Adriatico (da Brambati et al., 2003 e Agip Mineraria 1969, modif.); b) curva delle isobate relativa all'orizzonte sabbioso superficiale A interpretato come alto morfologico sepolto nel sottosuolo di Venezia (da Leonardi P. et al., 1973); c) condizioni paleogeografiche preesistenti alla fase di deposizione del caranto (da Gatto P. e Previatello F., 1974, modif.).

perfici riflettenti; hanno scritto, infatti gli Autori che «[...] non solo il livello B, ma nemmeno l'orizzonte A possa corrispondere alla sommità delle suddette sabbie[...]» e che «[...] la mappa dell'orizzonte A torna comunque utile per verificare le condizioni paleogeografiche di massima preesistenti alla fase di deposizione del caranto. [...]» (Figura 2c). In precedenza, infatti, le ricerche che hanno considerato gli acquiferi artesiani della città (Frassetto R. 1970, Gatto P. 1970, Carbognin L. et al, 1976) avevano indicato nei primi 50 metri di profondità successioni ricorrenti di sabbia, argilla e torba connesse con la ciclicità di ambienti deposizionali (3a). Tali alternanze ritmiche, formate dagli apporti del Brenta

e del Piave, sono state identificate come complessi "misti", costituiti da livelli francamente sabbiosi e argillosi e da livelli argilloso-sabbiosi e sabbioso-argillosi (Gatto P. 1970). Il livello denominato "caranto" corrisponde ad un limo-argilloso di spessore irregolare (1÷3 metri) segna il passaggio Pleistocene-Olocene; esso appartiene alla parte più superficiale della coltre alluvionale che durante la regressione wurmiana è rimasta esposta a processi di ossidazione e di compattazione (Gatto P., Previatello F., 1974). Nello schema generale della serie tipo veneziana relativo ai primi 10 metri di profondità (Figura 3b) vengono indicati dai suddetti AA : a) i depositi continentali tardo pleistocenici, sottostanti al caranto, sot-

to forma di alternanze di argille e limi chiari, talora compatti, con sabbie più o meno limose; b) la successione, al di sopra del caranto, composta da argille nerastre conchigliifere e limi scuri, più o meno sabbiosi, di tipo lagunare e da un complesso argilloso-limoso ricco di sostanza organica e di torba, a sua volta coperto da limi sab-

biosi e sabbie limose di laguna aperta i quali, in corrispondenza delle aree di depositi più interne e a circolazione più ristretta, si arricchiscono di sostanza organica.

Nell'ambito delle ricerche più recenti, che hanno analizzato i paleoambienti di deposizione tardopleistocenico-olocenici, sono state riconosciute nei depositi di laguna

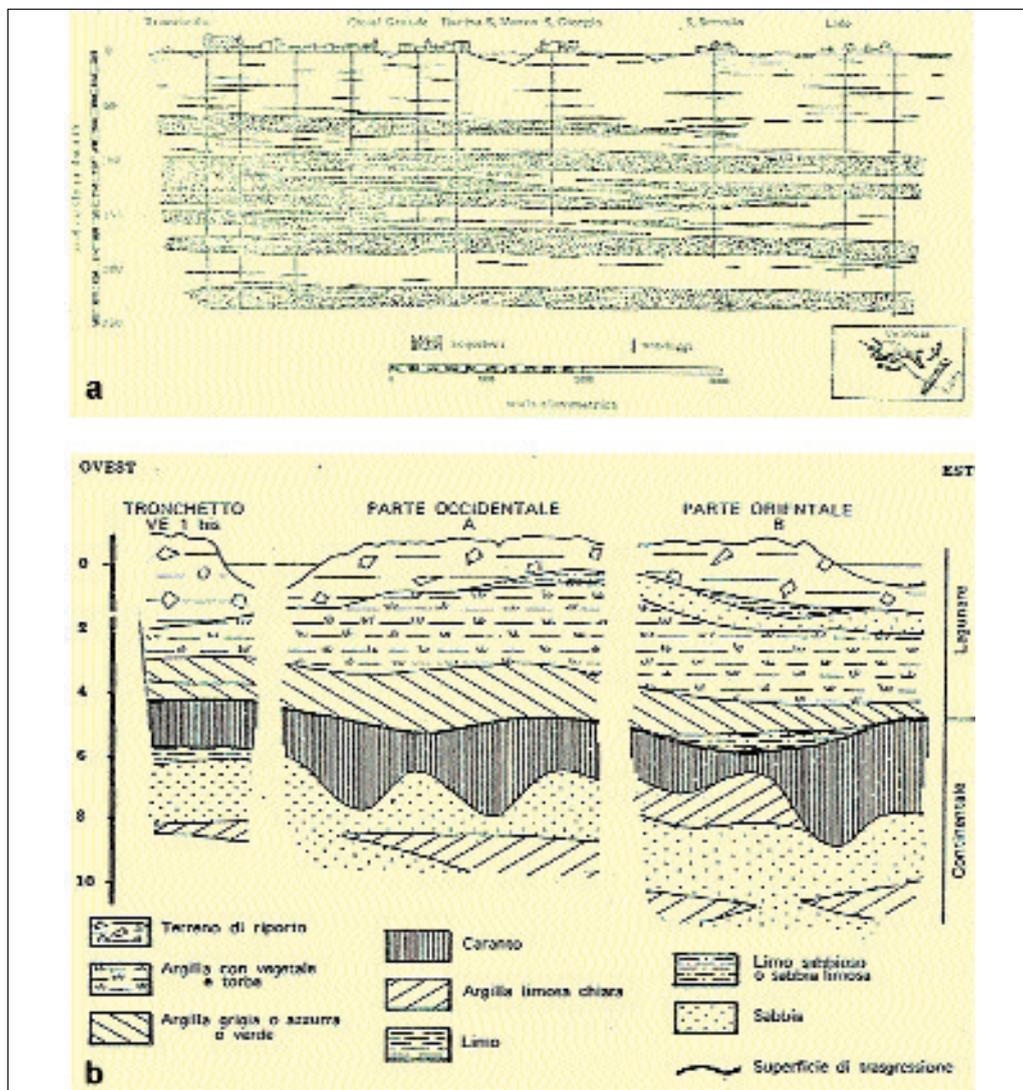


Figura 3 - Successioni ricorrenti di sabbia, limo, argilla e torba sono state indicate nel sottosuolo di Venezia fino a 50 metri di profondità (Frassetto R., 1970, Gatto P. 1970), fig.3a. Lo schema della serie tipo veneziana relativa ai primi 10 metri comprende, secondo Gatto - Previatello (1974), alternanze di argilla, limo e sabbia (Pleistocene superiore) e argille nerastre conchigliifere con limi, argille limose, ricche di sostanza organica e torba, e sabbie (Olocene), fig.3b.

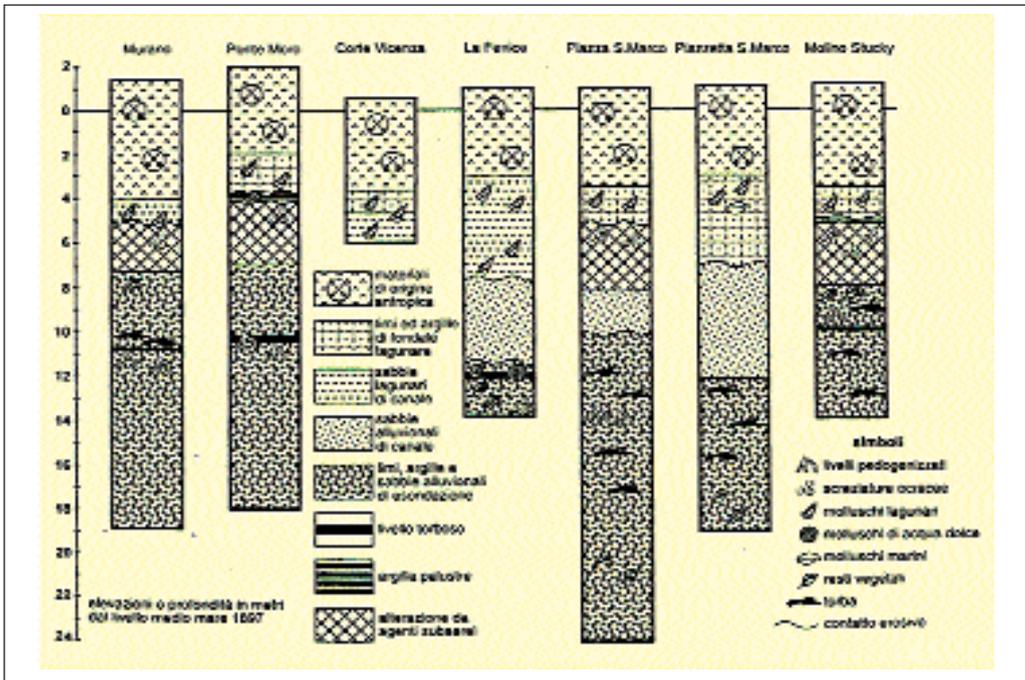


Figura 4 - Sequenze stratigrafiche identificate fino a profondità dell'ordine dei 14-24 metri per la ricostruzione dell'evoluzione degli ambienti sedimentari dall'ultimo pleniglaciale all'attuale (da Serandrei Barbero R. et al., 2000).

facies di canale di marea e facies di laguna aperta e chiusa, e per quanto attiene i depositi continentali, sabbie di canale alluvionale e depositi fini di piana fluvio-palustre con presenza di episodi di rotta e di traccimazione (Lezziero A., 1999; Serandrei Barbero R. et alii, 2001), (Figura 4). Le sabbie di canale, individuate nel sottosuolo di Piazza San Marco in seno alla successione dei depositi di piana alluvionale a profondità dell'ordine di -12,30 metri e -10,40 metri e appartenenti ad «[...] un paleoalveo tentativamente attribuibile all'ultimo massimo glaciale [...]» (Sarandrei Barbero R. et alii, 2001), sono state poste in continuità con le sabbie presenti a -10 metri nel bacino lagunare centrale, le quali sono state assegnate ad un paleoalveo del Brenta (Bonatti E., 1968). Le stesse ricerche hanno provato l'assenza di strutture morfologiche nel sottosuolo per la regolarità sia della superficie di tetto dei depositi continentali che dello spessore dei sedimenti lagunari soprastanti (Sarandrei Barbero R. et alii, 2001) e, pertanto, «[...] dai dati provenienti dal centro

storico della città, non risultano variazioni altimetriche importanti legate alla presenza di un alto morfologico sepolto, che pure affiora nella pianura a monte di Venezia (Favero V., 1983) ed è stato riconosciuto anche a valle nel sottosuolo della bocca di Lido (Tosi L., 1994) [...]».

Nei due sondaggi VE1 e VE2 i depositi alluvionali del Pleistocene superiore raggiungono lo spessore di 60 metri circa (Mullenders W. et alii, 1996; Kent V. D. et alii 2002). La consistente potenza di tali depositi deriva dalla sedimentazione molto attiva durante l'ultima glaciazione operata dal sistema sedimentario pleistocenico del Brenta (megafan) che ha l'apice posizionato in prossimità di Bassano del Grappa (Mozzi P., 1998; Bondesan A. et alii, 2002). I processi di aggradazione sono continuati fino a 14.000 anni B. P. nelle porzioni distali del megafan e si sono arrestati con la disattivazione del sistema tributario subentrata con la deglaciazione dell'area alpina (Mozzi P. et alii, 2003).

Le datazioni di età assoluta relative agli

ultimi livelli di formazione continentale (18.000 anni circa dal presente) e ai depositi basali di ambiente lagunare (6.000 anni circa dal presente) indicano che la formazione del caranto si è verificata in un intervallo di tempo pari a circa 12.000 anni (Fontes J. C., Bortolami G., 1973) in seguito all'alterazione dei sedimenti argilloso-limosi esposti sulla superficie della piana alluvionale.

I depositi di laguna, a loro volta, raggiungono lo spessore medio di circa 5 metri; essi sono interessati da canali di marea, profondi anche oltre 8-10 metri (Alberotanza L. *et alii*, 1977; McClennen *et alii* 1997). I due episodi principali della trasgressione flandriana coincidono con la formazione del bacino lagunare settentrionale (circa 6.000 anni dal presente) e con il massimo avanzamento del mare sulla terraferma (circa 2.000÷3.000 anni dal presente). La datazione dei primi depositi della trasgressione nel sottosuolo di Venezia fa assegnare a questi un'età di 5090±100anni BP (Serandrei Barbero R. *et alii*, 2001).

2.1 L'analisi comparata di 115 stratigrafie di sondaggi superficiali (Figura 5), correlate adottando il criterio litologico, ha

costituito l'approccio metodologico per ricostruire le modalità deposizionali dei terreni di sedimentazione continentale del Pleistocene superiore e di facies lagunare dell'Olocene durante il periodo della glaciazione wurmiana e la successiva trasgressione flandriana. Sinora il criterio litologico non era stato pienamente utilizzato per interpretare a largo raggio le condizioni litostratigrafiche del sottosuolo della città. Il riferimento ai metodi di correlazione stratigrafica, di norma adottati per correlare su vasta scala le formazioni geologiche, si rivela particolarmente idoneo per aree relativamente ristrette; nel caso specifico, adottando il criterio litologico si possono ricostruire i rapporti tra le diverse facies utilizzando la natura e la sovrapposizione normale degli strati, la continuità stratigrafica e le superfici di erosione, oltre al contenuto organico e i livelli guida.

Dal metodo di correlazione adottato proviene una prima evidenza relativamente alle caratteristiche che connotano la successione sedimentaria del Pleistocene superiore, la quale mostra nel suo insieme rapporti di facies più articolati e complessi rispetto a quanto lasci supporre la ricorrenza di ciclotemi (Kent V. D. *et alii*, 2002)

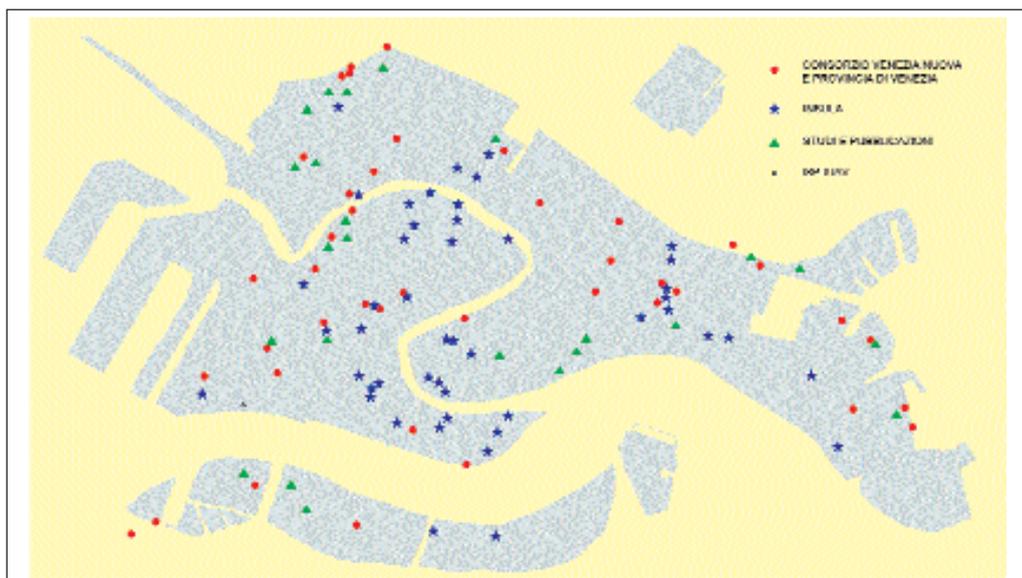


Figura 5 - Ubicazione dei sondaggi superficiali (profondi da 10 a 54 metri) utilizzati per l'analisi comparata delle litostratigrafie correlate adottando il criterio litologico.

formati da sabbia, limo argilla e torba. Le diverse condizioni del regime fluviale della piana alluvionale durante il Pleistocene superiore hanno avuto, infatti, l'effetto di determinare la formazione di differenti facies, fundamentalmente rappresentate da: a) sabbie ben classate e sabbie medio-fini e limo di canale alluvionale attivo; b) sabbie medie e medio-fini di riempimento di canale erosivo; c) sabbie e limi in corpi sedimentari stratiformi; d) limi e limi argillosi con sabbia fine in depositi sottili e spessi; e) argille massive a granulometria eterogenea, talora con presenza di limo; e) depositi di natura organica (torba) e inorganica (lamine limonitiche).

Le litofacies spettano alla bassa pianura alluvionale per l'assenza di depositi a granulometria grossolana. In relazione alla distribuzione areale e alla ricorrenza verticale delle litofacies presenti, spesso prive di continuit  per contatti erosivi, i depositi della successione alluvionale mostrano nell'insieme una struttura sedimentaria in-

dice di condizioni litostratigrafiche complesse. Tali condizioni si riscontrano, in genere, nelle basse pianure alluvionali per processi geologici alternati, di erosione e di deposito. Le basse pianure sono soggette ad eventi erosivi o deposizionali in relazione alle variazioni del livello di base che si ripercuotono in modo opposto nei tratti di pianura interna o medio-alta. Nel basso corso ogni fiume, infatti, forma deposito durante i periodi di clima temperato (interglaciali e interstadiali) ed erosione nei periodi di clima freddo e secco (glaciali). Quando il livello del mare   alto, come negli interglaciali, o relativamente alto, come negli interstadiali, i fiumi producono l'aggradazione della pianura con il deposito di materiale fine; si tratta di un'azione compensatrice dell'erosione che il fiume provoca a monte dove, viceversa, il corso d'acqua incide la pianura medio-alta e forma i terrazzi. In condizioni di clima freddo, la deposizione si verifica nell'alta pianura interna mentre in quella bassa preva-

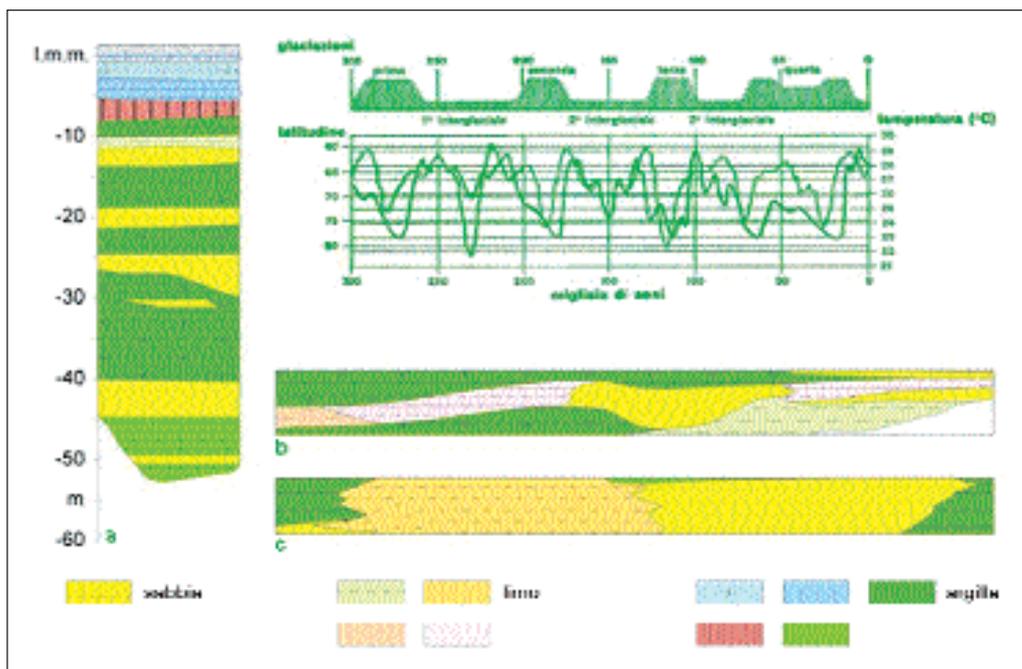


Figura 6 - Ricorrenza verticale e distribuzione areale delle facies di piana alluvionale che compongono i ciclotemi del Pleistocene superiore. Gli intervalli di sabbia e di argille limose con torba sono connessi a processi geologici alternati, di erosione e di deposito, dipendenti dalle variazioni climatiche, mentre i passaggi laterali di facies in seno a tali intervalli sono legati alle variazioni del regime fluviale.

le l'azione erosiva delle acque di scioglimento dirette verso il mare in fase di ritiro. I riflessi del passaggio da una condizione all'altra lungo i corsi fluviali dipendono dall'intensità di ogni periodo glaciale e dai conseguenti movimenti relativi tra terraferma e mare e, pertanto, in una stessa area possono realizzarsi processi di erosione e di deposito che variano da una fase alla seguente e che sono all'origine di condizioni stratigrafiche tanto complesse da essere difficilmente individuabili appieno.

Le sezioni stratigrafiche ricostruite lungo direttrici trasversali e oblique alle direzioni di flusso delle acque evidenziano la portata di tali effetti sulla stratigrafia dei terreni del sottosuolo del centro storico di Venezia per la relazione che si individua tra facies alluvionali e variazioni delle condizioni del regime fluviale e per il rapporto che lega i processi di erosione e di deposito ai cambiamenti climatici verificatisi durante il periodo della glaciazione wurmiana (Figura 6).

Le variazioni delle condizioni del regime fluviale hanno impresso alla successione dei depositi alluvionali due caratteri distinti, l'uno tipico degli intervalli stratigrafici a prevalente componente sabbiosa, ascrivibili alle fasi glaciali, e l'altro altrettanto caratteristico degli interstadiali a prevalente componente argillosa. Ai primi appartengono le *sabbie* ben classate, disposte sotto forma di corpi sedimentari, a sezione lenticolare (facies di canale), che segnano il percorso di canali alluvionali con spostamenti di alveo in ambiti relativamente ristretti e delimitati da argini naturali, a loro volta formati da depositi di *sabbie fini e sabbie limose*. *Sabbie medie e medio-fini* con inclusioni di lenti di sabbie limose formano, dal canto loro, il riempimento di canali di erosione marcati da contatti erosivi; si tratta di corpi sedimentari (facies di canale) che colmano alvei profondi e non hanno continuità laterale con i sedimenti entro i quali si trovano incisi. *Limi con argille e limi con sabbie* appartengono rispettivamente alla fascia di pianura più distante (facies distali) dagli alvei dei corsi d'acqua o a questi vicini (facies prossi-

mali). Il secondo tipo di intervalli è caratterizzato dalla prevalenza di *argille* massive o a granulometria eterogenea, con presenza di limo, sostanza organica e livelli di torba essa si trova sempre oltre gli argini dei corsi d'acqua, dopo gli eventi di piena, quando il flusso delle acque che traboccano dagli alvei è piuttosto lento e, con il ritiro delle acque, si deposita il materiale fine trasportato in sospensione. *Sabbie fini limose* sotto forma di corpi sedimentari, a sezione leggermente convessa verso l'alto e alquanto piatta alla base (facies di canale), interrompono la continuità degli strati argillosi suddetti ai quali, tuttavia, restano legati per il carattere sin-sedimentario dei depositi. *Limi sabbiosi con lenti sabbiose e argillose (facies prossimali)* sono talora presenti al bordo delle facies di canale oltre le quali si riconoscono pure corpi sabbioso-limosi stratiformi dovuti ad episodi di rotta degli argini; le acque che si espandono nella piana depositano il materiale grossolano trasportato in sospensione per la diminuzione improvvisa della velocità. Depositi di natura sia organica che chimica interessano le zone morfologicamente depresse che hanno ospitato delle estese paludi; lenti di *torba* e *lamine limonitiche* si ritrovano con frequenza in questi intervalli di sedimentazione fluviale.

La ricostruzione delle sezioni litostratigrafiche evidenzia che le variazioni delle condizioni del regime fluviale hanno determinato una distribuzione areale delle facies variabile nello spazio e nel tempo; pertanto, a motivo dei passaggi laterali di facies la sequenza alluvionale non è contraddistinta da orizzonti regolari e continui. Negli intervalli a prevalente componente sabbiosa, le sabbie sono spesso sostituite lateralmente da limo sabbioso e da limo argilloso; esse, inoltre, sono ora fini ora debolmente limose e presentano intercalazioni di livelli argilloso-limosi; il limo sabbioso può contenere, a sua volta, al pari del limo argilloso, livelli francamente sabbiosi ed argillosi. Dal canto loro, gli intervalli a prevalente componente argillosa mostrano variazioni granulometriche non soltanto dipendenti da passaggi late-

rali di facies tra i depositi di piana di esondazione e le sabbie di canale alluvionale; i depositi di piana alluvionale, infatti, a seconda dei livelli stratigrafici di appartenenza, rivelano passaggi laterali di argille massive con lenti di torba ad argille con intercalazioni di limo e sabbia limosa o di limi sabbiosi e argillosi ad argille limose con sostanza organica e torba. Tale evidenza sottrae ulteriore spazio alla ricostruzione, già citata in precedenza, che attribuisce ai primi 50 metri di sottosuolo soltanto successioni ricorrenti di sabbia, argilla e torba, connesse con la ciclicità di ambienti deposizionali. La ricorrenza ritmica, per quanto inoppugnabile nel quadro stratigrafico del sottosuolo del bacino lagunare organizzato secondo una successione ciclotemica nella parte alta (Kent V. D. *et alii*, 2002; Brambati A. *et alii*, 2003) va, infatti, ridefinita per buona parte del centro urbano.

Il rapporto che lega i processi di deposito e di erosione ai cambiamenti climatici è rispettivamente evidenziato dagli inter-

valli a prevalente componente argillosa e sabbiosa, a stratificazione suborizzontale. La ricorrenza verticale, tuttavia, resta alterata dalla presenza dei corpi sabbiosi di canale alluvionale i cui alvei, a loro volta, mostrano una geometria che varia in relazione alle oscillazioni del livello di base dei corsi d'acqua in seguito alle fasi di avanzamento (interstadiali) e di ritiro (acmi glaciali) del mare durante il Pleistocene superiore (Figura 7). Incisioni di tipo lineare, riempite di sabbia, conseguenti a processi di intensa erosione della piana alluvionale (acmi glaciali) si riscontrano a varie profondità, tra -7,40 metri e -22,50 metri al di sotto del livello medio del mare; sabbie di canale alluvionale si riscontrano pure, a profondità variabili tra -8,10 metri e -33,00 metri, in seno agli intervalli a granulometria fine che si sono formati per processi di aggradazione della piana durante gli interstadiali. I canali alluvionali si trovano distribuiti su cinque livelli, tre dei quali appartengono distintamente a fasi erosive e due a fasi di inondazione e di alluviona-

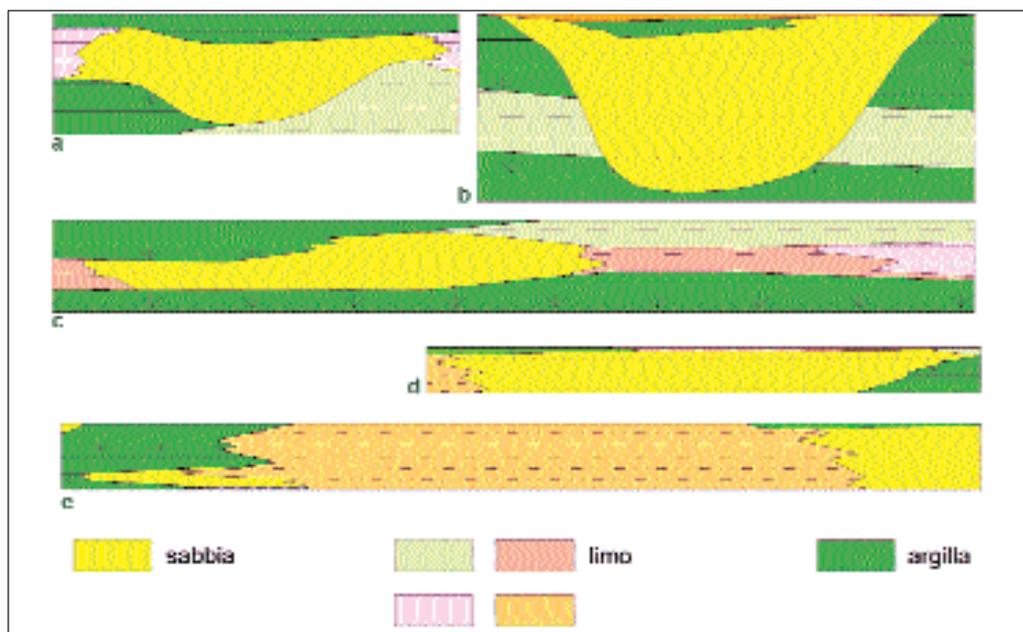


Figura 7 - Corpi sabbiosi di canale alluvionale di ampiezza e geometria variabile a seconda della rispettiva formazione durante fasi erosive (a-c) o di alluvionamento (d), e corpi limoso-sabbiosi (facies prossimali e distali a-c-e) interrompono la regolarità dell'organizzazione ciclotemica dei depositi presenti nel sottosuolo del centro urbano.

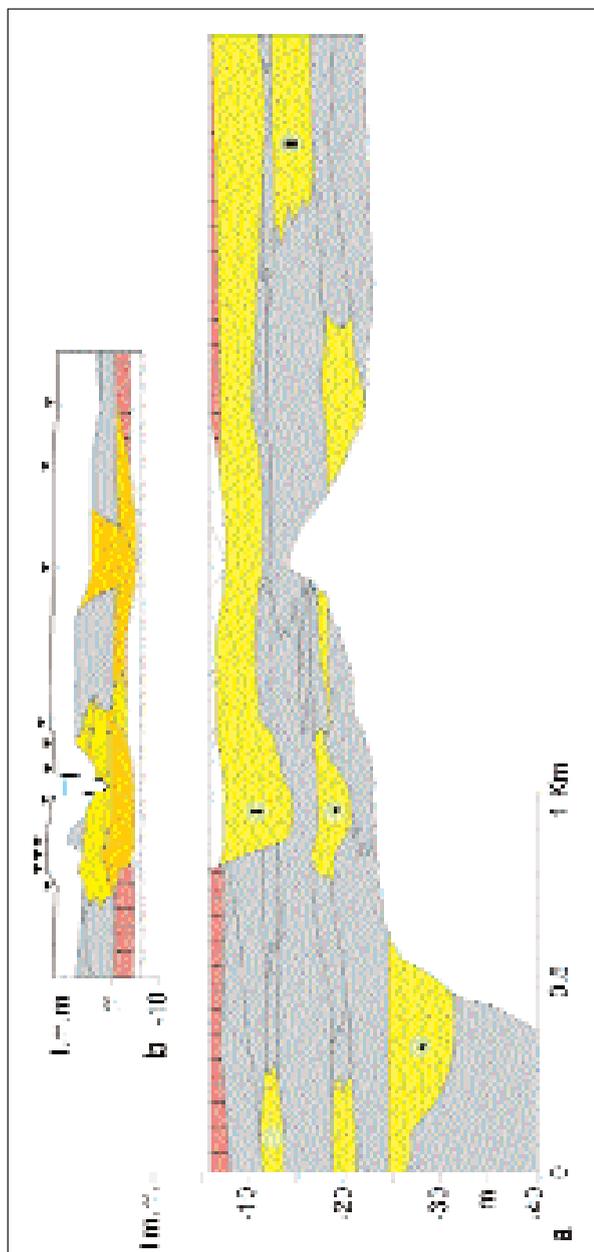


Figura 8 - I corpi sabbiosi di facies alluvionale sono disposti in successione verticale e formano nell'insieme cinque ordini attribuibili cronologicamente all'ultimo massimo glaciale (L.G.M.) 25 Kanni - 15 Kanni B.P. (ordini I-IV) e al periodo glaciale precedente (V ordine, fig.8a). I processi fluviali perdurati sino alle soglie dell'Olocene hanno contribuito a formare alvei riempiti da sabbie limose, successivamente modellati dalle correnti di marea in seguito alla trasgressione flandriana (fig.8b).

mento della piana (Figura 8). I primi hanno la caratteristica di svilupparsi verso il basso e di incidere i sottostanti depositi più antichi; la profondità delle incisioni varia da 4 a 8 metri a partire da superfici di erosione della piana riscontrabili attorno a -7 -8 metri; -13 -14 metri e -18 -21 metri rispetto al livello marino. Le superfici di erosione sono suborizzontali e irregolari perchè segnate da deboli depressioni nelle quali il temporaneo incanalamento di acque superficiali ha formato depositi di sabbie, ben classate, di modesto spessore (m1, 10 -2, 50). Il secondo tipo di canali alluvionali si sviluppa a partire da due livelli situati a circa -17 metri e -32 metri rispetto al livello marino; essi sono contraddistinti da un ampio alveo, svasato verso l'alto, che, a differenza dei canali precedenti, presenta un fondo piuttosto piatto. Il deposito è formato da sabbia fine limosa a tetto argilla e livelli di torba, che segnano la fase di colamento del canale.

I cinque ordini di canali alluvionali appartengono tutti al periodo della glaciazione wurmiana e sono attribuibili al Pleistocene superiore. Il primo ordine, a partire dall'alto, si sviluppa al di sotto del caranto; il deposito sabbioso di riempimento ha uno spessore di 7÷8 metri e resta prevalentemente coperto dalle sabbie alterate con screziature ocracee, le quali, dove l'alterazione ha interessato le facies di canale sostituiscono lateralmente il caranto; (Serandrei Barbero R. *et alii*, 2001); l'incisione è, pertanto, attribuibile alla fase regressiva coincidente con l'ultimo massimo glaciale. I canali del secondo e quarto ordine si collocano in seno ai depositi di piana alluvionale limoso-argillosi con torba assegnati da Mullenders W. *et alii* (1996), in base a

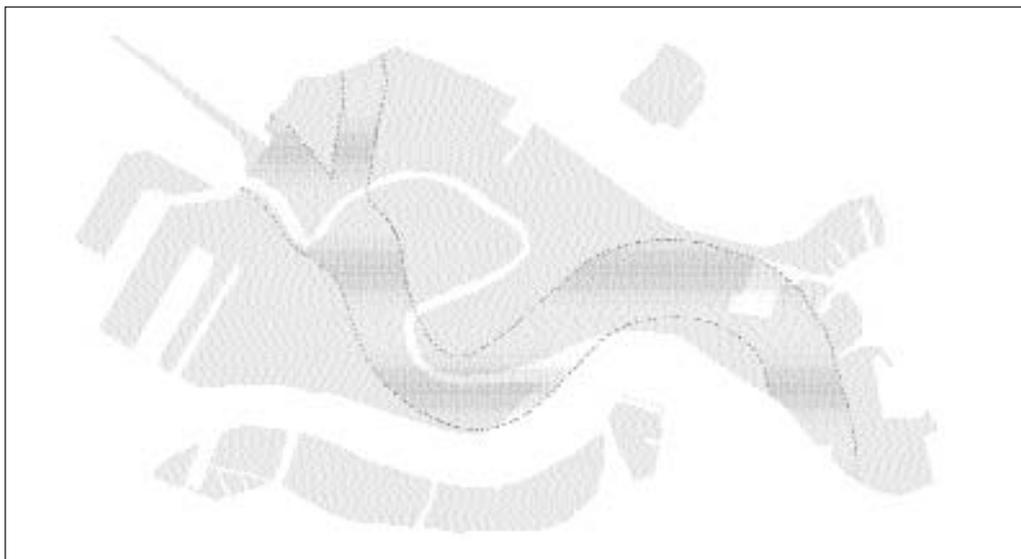


Figura 9 - Ricostruzione paleogeografica dell'area del centro storico di Venezia durante l'ultima regressione wurmiana. L'alveo del canale alluvionale profondo 7-8 metri incide, a partire dalla base dei sovrastanti depositi di ambiente lagunare, i depositi di piana alluvionale appartenenti all'ultimo interstadiale .

datazioni su pollini, agli interstadi Laugerie e Tursac; di conseguenza il secondo e il quarto ordine di canali dovrebbero appartenere rispettivamente ai due suddetti interstadi. Il terzo e il quinto ordine di canali spettano a fasi erosive avvenute in coincidenza di periodi freddi e secchi dell'ultima glaciazione; in quest'ottica, essi trovano una collocazione cronologica che coincide rispettivamente con l'ultimo massimo glaciale (Late Glacial Maximum, 25 Ka-15 Ka B. P.) e il periodo precedente.

Una apparente contiguità sembra legare la presenza dei cinque ordini di canali alluvionali nell'area del centro storico: la tendenza dei percorsi dei canali stessi a restare contenuti entro una fascia relativamente ristretta della piana alluvionale del Pleistocene superiore sia durante le fasi erosive che in quelle di alluvionamento e deposito. Nel sottosuolo della città tale fascia è identificata, per quanto riguarda il Tardo Pleistocene, dalle sabbie di canale che si ritrovano lungo la direttrice Piazzale Roma-San Marco-Giardini Sant'Elena a partire da circa 7 metri rispetto al livello del mare (Figura 9). Il canale, formatosi du-

rante la fase erosiva alla fine dell'ultimo glaciale, incide per 7÷8 metri i depositi di piana alluvionale dell'ultimo interstadiale; altri canali alluvionali confluiscono verso questa direttrice provenienti da Cannareggio e, più in profondità, dalla parte più occidentale della Giudecca.

Dalla ricostruzione della successione dei processi sedimentari durante il periodo dell'ultima glaciazione wurmiana emerge lo stretto rapporto tra il quadro litostratigrafico del sottosuolo e i processi geologici alternati, di erosione e di deposito. Superfici di erosione troncano a tetto i depositi degli interstadi evidenziando la relazione tra le fasi di ritiro del mare e i periodi freddi e secchi della glaciazione wurmiana. Corpi sabbiosi di canale alluvionale, con depositi di tracimazione prossimali (sabbie fini limose e limi) indicano la presenza di una rete di canali con migrazioni di alveo, che si sviluppa sulla piana alluvionale in coincidenza di ogni periodo freddo e secco dell'ultima glaciazione. Corpi sabbiosi di canale fluviale (sabbie fini) e depositi di tracimazione prossimale e distale (limi argillosi, argille limose, argille organiche e tor-



Figura 10 - Correlazioni litostratigrafiche nei depositi del Pleistocene superiore - Olocene del centro storico di Venezia tra la Giudecca - Canal Grande - San Marco e Sant'Elena.

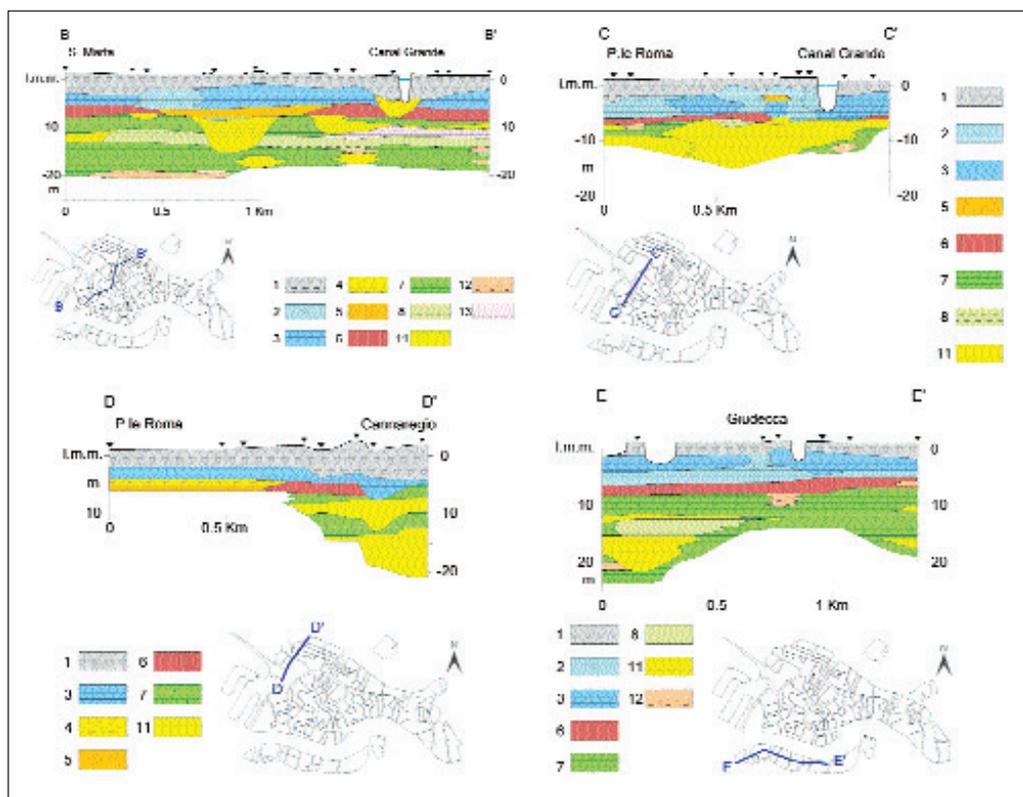


Figura 11 - Correlazioni litostратigrafiche nei depositi del Pleistocene superiore - Olocene del centro storico di Venezia lungo le direttrici Santa Marta - Canal Grande (Sez. B-B'), P.le Roma - Canal Grande (Sez. C-C'), P.le Roma - Cannaregio (Sez. D-D') e Giudecca (Sez. E-E').

be) appartenenti agli interstadiali segnano, a loro volta, le fasi di alluvionamento e di deposito che subentrano con i periodi di clima temperato.

L'effetto cumulativo di fasi erosive alternate a fasi di alluvionamento e di deposito durante l'ultima glaciazione ha determinato una struttura sedimentaria nella quale la sovrapposizione multipla di corpi sedimentari sabbiosi di canale alluvionale prevale nettamente, come indicano le sezioni litostратigrafiche (Figure 10 e 11), sulla successione ciclotemica formata da depositi di sabbia, limo, argilla e torba che, in genere, caratterizza la parte superiore della sequenza pleistocenica nell'area del bacino lagunare. Secondo questa ricostruzione non trova spazio l'ipotesi di una struttura assimilabile ad un "alto morfologico" sepolto nel sottosuolo della città (Leonar-

di P. *et alii*, 1973), del resto, i cinque ordini di canale fluviale sono distintamente separati da superfici di stratificazione o di erosione suborizzontali. La sovrapposizione multipla delle facies di canale alluvionale determina, nel suo complesso, una successione di corpi sabbiosi, senza l'interposizione o quasi di depositi fini, e caratterizza la struttura sedimentaria *multistorey sandbody* che occupa buona parte del sottosuolo del centro urbano (Figura 12).

**2.2** La trasgressione flandriana determina l'avanzamento del mare sulla piana alluvionale wurmiana. Il caranto, sostituito localmente da sabbie con screziature ocracee, segna il passaggio ai depositi lagunari la cui serie stratigrafica è sovente contrassegnata alla base da uno strato di tritume conchigliare misto a sabbia limose rima-

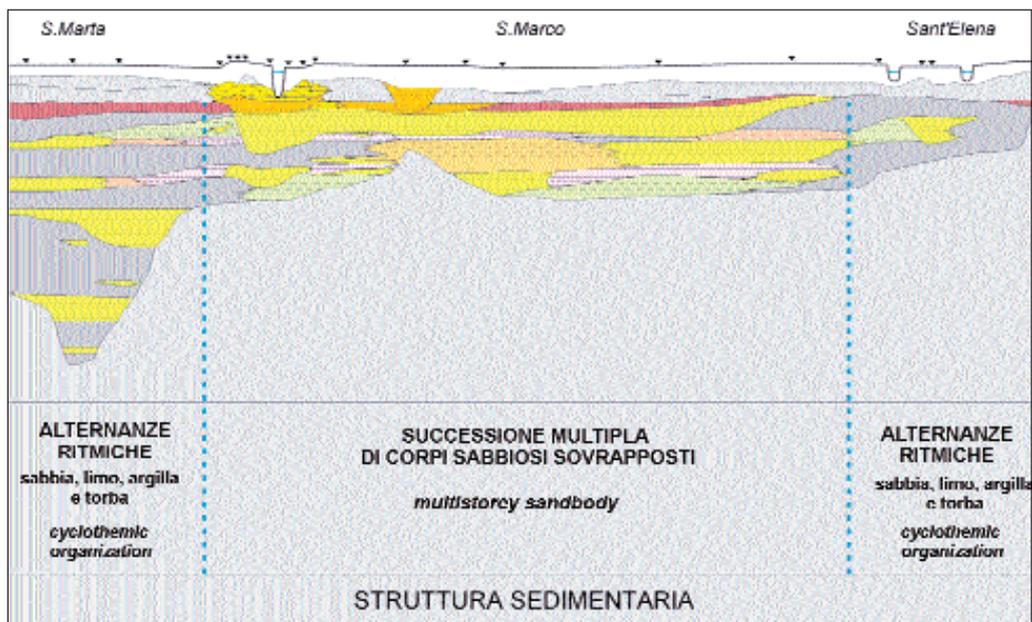


Figura 12 - La successione multipla di corpi sabbiosi sovrapposti (multistorey sandbody) interrompe la regolarità dell'organizzazione ciclotemica della sequenza del Pleistocene superiore in corrispondenza del centro storico di Venezia.

neggiate della piana alluvionale. Nell'area di interesse un deposito stratiforme di sabbie, associate a limi sabbiosi e lenti di tritume conchigliare, giace al di sopra del riempimento sabbioso del canale alluvionale dell'ultimo massimo glaciale. I fianchi della blanda depressione che contiene il deposito interrompono il livello di caranto e di sabbie con screziature ocracee del Tardi-glaciale. Il deposito non è delimitato a tetto dal livello (caranto) che chiude la serie dei terreni pleistocenici d'ambiente continentale e, pertanto, non appartiene alla stessa fase di riempimento del sottostante canale alluvionale ma ad un canale di marea che alla base conserva ancora i caratteri propri dell'ambiente fluviale. La sua singolare forma mista deriva dal fatto di essere stato originato dalla erosione fluviale e modellato successivamente, a seguito dell'ingressione marina, dalle correnti di marea. Il quadro paleoambientale consente di ammettere che i processi fluviali siano perdurati sino alle soglie dell'Olocene e che l'ingressione flandriana abbia determi-

nato l'ampliamento del canale e la sua parziale colmata. I primi studi e datazioni delle biofacies contenute nei sedimenti della laguna di Venezia (Ascoli P., 1967; Bertolani Marchetti D., 1967; Cita B. M.-Premoli Silva I., 1967 in Colantoni P. et al, 1980) hanno dato, del resto, le indicazioni sulla serie di episodi intermedi, documentati dai diversi stadi di adattamento delle specie ai differenti valori della salinità delle acque, che hanno segnato il passaggio dal tipico ambiente continentale a quello di transizione o lagunare. Inoltre, è stato pure posto in risalto il rapporto tra le variazioni della salinità delle acque e l'ambiente deposizionale (Serandrei Barbero R. *et alii*, 2001; Mozzi P. *et alii*, 2003) relativamente ai sedimenti lagunari di piana intertidale e di palude salmastra.

Per le facies di canale, nella zona di interesse si possono trarre elementi utili di valutazione sulle condizioni di passaggio da canale fluviale a canale di marea dalla morfologia dell'alveo e dai caratteri della deposizione. L'area dello specchio laguna-

re in via di formazione deve essere rimasta esposta alle correnti provocate dal moto ondoso quando la variazione del livello di base dell'originario corso d'acqua in seguito all'ingressione marina ha modellato ed ampliato il canale. L'azione di trasporto è stata influenzata dalla corrente di marea che incide sensibilmente sulla portata solida nelle fasi di flusso e di riflusso. Un netto vantaggio a favore della prima fase è da attendersi, infatti, all'elevarsi del livello dell'acqua nel canale sia perchè il moto ondoso introduce una componente fissa sia perché la quantità di materiale trasportato è massima nelle fasi crescenti della marea e minima in quelle decrescenti. Il trasporto di materiale tende a prevalere verso l'interno e, pertanto, il processo di riempimento aumenta progressivamente per la cospicua quantità di materiale proveniente dall'esterno. D'altro canto, quando il livello dell'acqua si abbassa la capacità di trasporto della corrente di riflusso provoca l'erosione dell'alveo del canale che continua a mantenersi attivo con spostamenti che seguono il senso della corrente derivata dal moto ondoso.

Nell'Olocene, pertanto, l'influenza della marea sul trasporto solido e le correnti del moto ondoso hanno costituito il fattore principale del riempimento della depressione fluviale originaria sulla quale si sono sviluppati i canali di marea dello specchio lagunare (Figura 8b), una volta costituitasi la barra litorale con il cordone dunare nella zona antistante dei frangenti. I corpi sabbiosi di canale di marea passano lateralmente ai depositi di piana tidale e di paludi salmastre e, pertanto, la struttura sedimentaria formata dalla sovrapposizione multipla di corpi sabbiosi di canale alluvionale del Pleistocene superiore si completa nell'Olocene con le facies di canale, disposte lungo la stessa fascia della sottostante piana alluvionale. Tali sabbie costituiscono il culmine della struttura sedimentaria formata dai corpi sabbiosi sovrapposti (*multistorey sandbody*), ormai assottigliata verso l'alto nell'Olocene.

La forma decisamente allungata di Venezia insulare, da ovest ad est, normale sia

ai cordoni dunari del Lido prospicienti il mare aperto sia alla linea di riva interna della laguna sulla quale si arresta la bassa pianura, riflette i percorsi dei canali pleistocenici ed olocenici. Il materiale di riporto che oggi ricopre l'intera area proviene da una serie di interventi adottati a partire dal primo millennio per contrastare gli effetti dell'eustatismo e della subsidenza. Lo spessore della copertura detritica indicato nelle sezioni litostratigrafiche (Figure 10, 11) rende evidente la portata complessiva di detti interventi, i quali sono stati consistenti non soltanto nelle zone morfologicamente più depresse ma hanno pure interessato le zone maggiormente in rilievo accentuandone ulteriormente la quota altimetrica.

### 3. Le proprietà dei terreni

L'architettura sedimentaria della serie del Pleistocene superiore-Olocene del centro urbano desumibile dalle stratigrafie di sondaggio analizzate in forma integrata fornisce gli elementi fondamentali per il modello geologico del sottosuolo. Nel campo della progettazione è molto avvertita l'esigenza di disporre di affidabili ricostruzioni della litostratigrafia dei depositi quaternari, sia nell'ambito delle scelte inerenti l'adeguamento delle strutture alle caratteristiche del sito che per gli interventi di salvaguardia. Per le opere di fondazione, in particolare, i dati del sottosuolo offrono l'opportunità al progettista di individuare le soluzioni possibili, anche in riferimento al necessario confronto tecnico-economico per la definitiva scelta del progetto. La difficoltà di giungere ad una «rappresentazione geognostica» (Gambini F., 1967) del sottosuolo del centro urbano era stata già evidenziata negli anni sessanta e tuttora si sostiene che «[...] l'elevata eterogeneità e la natura prevalentemente limosa dei terreni coesivi sono le principali caratteristiche del sottosuolo lagunare cui sono connessi i problemi legati da un lato alle difficoltà di definire profili stratigrafici rappresentativi e dell'altro alla scarsa rappresentatività delle prove di laboratorio [...]» (Ricceri G., 2007). Un inquadramento organico degli aspetti geolo-

gico-applicativi e geotecnici del sottosuolo non è stato eseguito, infatti, in mancanza di studi specifici. Quasi sempre, in passato, la fase di indagine ha avuto compiti semplicemente esplorativi, ovvero la classificazione puramente descrittiva dei terreni interessati, trascurando l'ambiente in cui si è operato; di conseguenza, anche la registrazione dei parametri geotecnici è stata limitata alle zone di interesse e risulta incompleta; del resto, con particolare riguardo alla sequenza del Pleistocene superiore-Olocene, anche l'aspetto idrogeologico è rimasto fino ad oggi sostanzialmente estraneo a valutazioni inerenti le modalità di circolazione idrica e la qualità delle acque. E' evidente che l'indagine del sottosuolo, nel contesto di una situazione così eterogenea e complessa, può assumere un ruolo determinante solo se collocata in un quadro organico e completo.

I modelli geologici vengono incontro alla pratica costruttiva quando non esauriscono il proprio contributo nella mera rappresentazione descrittiva dei terreni ma contengono le informazioni sulle caratteri-

stiche dei depositi, che comprendono i parametri degli strati concretamente individuati e le loro proprietà così come esse risultano dai logs stratigrafici e dalle prove. Mediante il concetto operativo di facies (Krumbein W. C. Sloss L. L., 1979), che supera il classico significato attribuito alle facies per ricostruire il tipo e la distribuzione degli ambienti sedimentari, possono essere messe in risalto unità tangibili di strati, basate sulla litologia. Le facies rappresentano il senso di variazione e di diversità delle condizioni del sottosuolo e sono lo strumento per formulare l'interpretazione logica dell'ambiente in cui si opera, necessariamente preceduta da un'analisi delle proprietà dei depositi.

3.1 Il quadro geologico-formazionale del sottosuolo comprende una varietà di depositi di ampio spettro granulometrico, spettanti a fasi di sedimentazione in ambiente dapprima continentale e successivamente lagunare, differenziabili in due complessi, l'uno superiore, caratterizzato

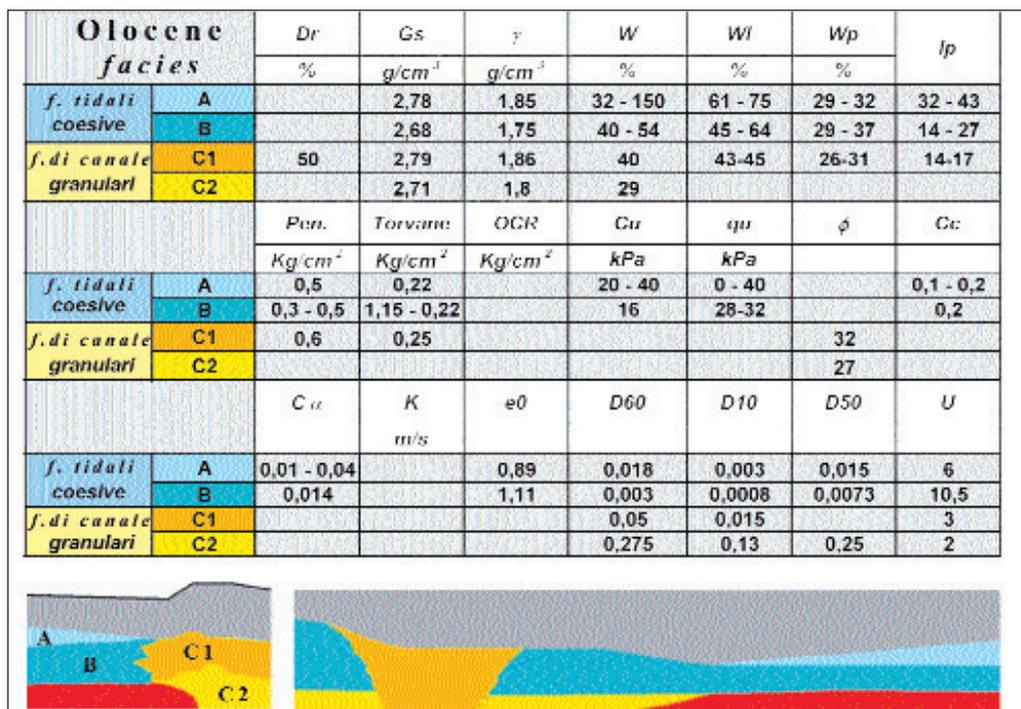


Figura 13 - Caratteristiche fisico meccaniche delle facies pseudocoerenti (coesive) e incoerenti (granulari) del complesso lagunare.

dai terreni lagunari sotto la coltre di copertura superficiale di origine antropica, e l'altro, inferiore, formato dai terreni di piana alluvionale.

Il complesso di bacino lagunare dell'Olocene e il complesso di piana alluvionale del Pleistocene superiore sono costituiti sia da depositi coesivi sia da depositi granulari. A tali complessi spettano differenti indici e parametri geotecnici correlabili con le facies sedimentarie legate alle diverse condizioni di deposito nei rispettivi ambienti di formazione. Le litostratigrafie e i dati geotecnici che gli studi, a partire da Matteotti G. (1962), Colombo P., Matteotti G. (1963) e Ricceri G., Previatello L. (1972), hanno fornito in notevole quantità, trovano maggiore rappresentatività se considerati in relazione alle facies dei due complessi indicati (Figure 13 e 14).

Il complesso di bacino lagunare com-

prende principalmente facies pseudocoerenti e incoerenti rispettivamente appartenenti agli ambienti *tidale* (A, B) e di *canale di marea* (C).

La facies caratterizzata dal punto di vista litologico da argille e argille limose con sostanza organica (tidale, tipo A) è frequentemente presenti nell'area urbana al di sotto della coltre superficiale di materiale di riporto. Il deposito è disposto in sottili lamine e lenti e si rinviene generalmente a profondità variabili tra -2 metri e -5 metri rispetto al l. m. m. ; può essere dotato di una certa continuità oppure passare lateralmente ad argille con resti di molluschi, che si trovano spesso anche alla base; localmente, tuttavia, tali argille sono pure sottostanti alle suddette argille con resti conchigliari e ciò in dipendenza di una deposizione avvenuta su bassi fondali in condizioni di circolazione ristretta delle acque.

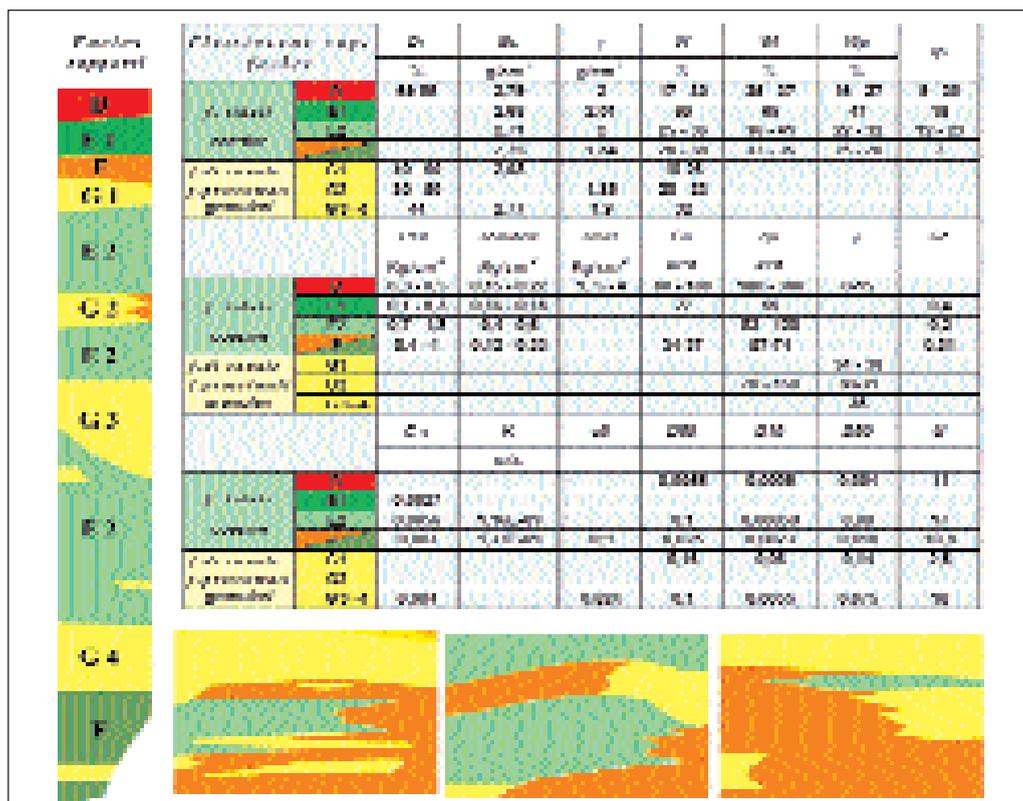


Figura 14 - Caratteristiche fisico meccaniche delle facies pseudocoerenti (coesive) e incoerenti (granulari) della successione stratigrafica del Pleistocene superiore.

La facies rappresentata da argille molli debolmente limose con resti di molluschi (tidale, tipo B) poggia solitamente sul "caranto", ad eccezione di aree limitate dove la facies argilloso-limosa con sostanza organica si presenta alla base.

Dal punto di vista granulometrico la facies A rientra in due principali classi del sistema USCS (CL÷ML) che corrispondono ad argille siltose e silt, con sostanza organica. Tali argille risultano, in genere, di elevata plasticità (LL=61÷75% e LP=29÷32%); il contenuto naturale d'acqua (W) è spesso molto vicino e talvolta superiore al limite di liquidità. Il deposito coesivo denota scarse caratteristiche meccaniche ( $C_u=20\div40$  kPa), tipiche dei terreni poco consolidati, elevati valori di compressibilità (indice  $C_c=0.1\div0.2$  e  $C_s=0.02\div0.04$ ) e resistenza al taglio molto bassa (Figura 13). La facies B rivela, dal punto di vista granulometrico, un coefficiente di uniformità quasi doppio ( $U=10,5$ ) rispetto alla facies A ( $U=6$ ); nel diagramma di plasticità di Casagrande essa ricade tra le argille inorganiche di media plasticità e i limi inorganici di alta compressibilità. I valori dell'indice di plasticità risultano inferiori rispetto alla facies A al pari del contenuto d'acqua e della coesio-

ne. Entrambi le facies presentano coefficienti di consolidazione secondari ( $C_s$ ) dell'ordine di 0,01 e 0,04.

Le facies a prevalente componente sabbiOSO-limosa (C1, C2) appartengono ai depositi di canale di marea e, in parte, fluviali dell'Olocene. Il coefficiente di uniformità (U) varia rispettivamente da 3 a 2 a motivo dell'incremento della frazione sabbiosa con la profondità; pertanto, la facies C1 è più ricca in frazione limosa rispetto alla facies C2. A testimonianza del grado di addensamento con la profondità, il contenuto d'acqua varia dal 40 % (C1) al 29% (C2). Il deposito C1, dotato della frazione fine limosa, ricade nel campo competente ai limi inorganici di media compressibilità. (Figura 15)

Al complesso di piana alluvionale del Pleistocene superiore spettano facies appartenenti a depositi pseudocoerenti e incoerenti che si sono formati in ambiente subaereo (alterazione (D)) e continentale subacqueo: distali (E), prossimali (F) e di canale (G).

L'argilla limoso-sabbiosa sovraconsolidata, nota con la denominazione di caranto, è una facies di alterazione(D). Il livello di caranto ha uno spessore variabile tra m1,00 e metri 3, 10 nel sottosuolo di Venezia

e si presenta sotto forma di deposito molto compatto, che contiene, talora, concrezioni calcaree. Il caranto si differenzia dai restanti terreni argilloso-limoso-sabbiosi della serie continentale del Pleistocene-superiore anche per il colore screziato ocreo, in contrasto con le tonalità grigie, da chiare a scure; che i terreni coesivi in genere assumono. Questo livello deve la sua formazione un processo di sovraconsolidazione per essiccamento e compattazione. Il grado di consolidazione e le

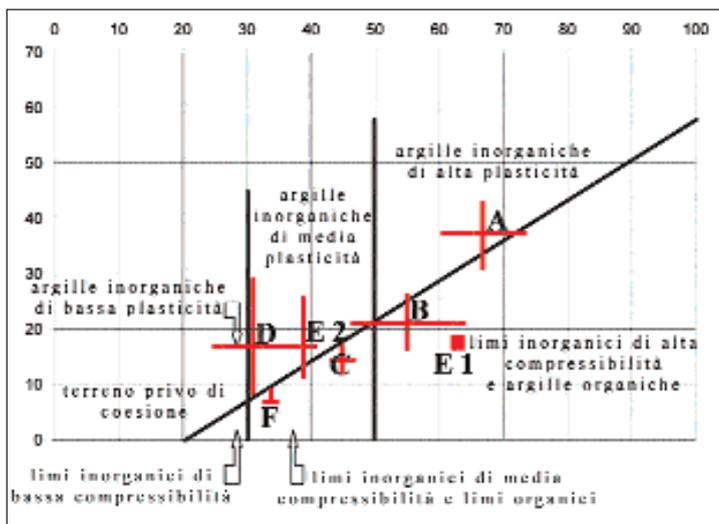


Figura 15 - Depositi coesivi e depositi a comportamento prevalentemente coesivo del complesso lagunare (A-C) e del complesso di piana alluvionale (D-F): diagramma di plasticità di Casagrande.

caratteristiche meccaniche del caranto variano in relazione alla composizione granulometrica e all'essiccamento subito dal deposito (Figura 14.)

Argille e limi argillosi (facies distali E1÷2) sono sovente presenti tra -10 metri e -40 metri circa di profondità. Due facies compongono fundamentalmente i depositi coesivi in esame, l'una formata da argilla molle con sostanza organica (E1) e l'altra rappresentata da argilla e argilla limosa con sostanza organica e torba (E2); intervalli sabbiosi e sabbioso-limosi si trovano intercalati alle due suddette facies. L'argilla molle con sostanza organica (E1) forma un deposito che si rinviene generalmente tra -9, 8m e -14 metri di profondità rispetto al livello medio del mare. Tale deposito coesivo ricade nel diagramma di Casagrande nel campo delle argille organiche e limi inorganici di alta compressibilità (Figura 15). Dal canto suo, l'argilla limosa con sostanza organica e torba (E2) degli intervalli coesivi di maggiore profondità (da -15 metri a -40 metri) ricade, viceversa, tra le argille di media plasticità. La facies argillosa molle con sostanza organica (E1) ha elevati valori di contenuto naturale d'acqua, mediamente attorno al 60%, del limite di liquidità e il limite plastico sono rispettivamente dell'ordine del 65% e del 47%; la coesione è piuttosto bassa (27 kPa) al pari del basso grado di consolidazione. La facies argilloso-limosa (E2) è di media plasticità e denota un contenuto d'acqua e un limite liquido decisamente inferiori rispetto a E1; il limite plastico, inoltre, il cui valore è dell'ordine di 22÷32%, è notevolmente inferiore a quello che contraddistingue le sovrastanti argille molli (E1). Del resto, anche il confronto tra i valori della resistenza alla compressione delle due facies indica la sensibile differenza di comportamento alle sollecitazioni (Figura 14) dei due rispettivi intervalli.

Argille con livelli limosi e sabbiosi (facies prossimali F1÷2) formano depositi lenticolari a profondità variabili da -8,5m a -15 m, nella parte superiore della sequenza, fino a -45/-50m in quella inferiore. Le facies F1 e F2 sono in parte coeve ai depositi di argilla molle con sostanza organica

(parte superiore della sequenza) o passano lateralmente alla facies sabbiosa di canale (parte intermedia e inferiore) ove sono ricostruibili eventi di laminazione associati alla vicinanza di aste fluviali. Tali facies, rispetto a quelle distali, risultano chiaramente distinguibili per i bassi valori del contenuto d'acqua e degli indici di consistenza (Figura 14), soprattutto rispetto alle argille molli (E1), e per il valore dell'indice di plasticità (IP=7) più basso rispetto all'argilla limosa con sostanza organica E2 (IP = 12÷29) oltre che all'argilla molle E1 (IP= 18) Nel diagramma di plasticità, infatti, i depositi di facies prossimali ricadono nel campo dei limi inorganici di medio-bassa compressibilità (Figura 15).

Le facies pleistoceniche granulari (facies di canale alluvionale) sono costituite da sabbie medio-fini e fini, da poco a moderatamente addensate, differentemente distribuite nel sottosuolo. Le sabbie, presenti tra -8 metri e -16 metri circa di profondità (facies sabbiosa G1), passano lateralmente (contatto erosivo) a facies sia distali che prossimali di piana alluvionale e si trovano (sabbie G2÷4) oltre detta profondità sia in alternanza a facies di depositi coesivi o mostrano variazioni laterali con questi depositi. La diversa composizione tessiturale e origine genetica che contraddistingue le facies sabbiose e sabbioso-limose (G2, G3, G4) è testimoniata dai valori del coefficiente di uniformità attorno a 17÷18, che si distinguono nettamente dai depositi sabbiosi di canale lagunare olocenico più o meno addensati (C1 e C2), i cui coefficienti di uniformità risultano di un ordine di grandezza inferiori (U=2÷3), e da quelli di canale pleistocenico più recenti (G1) che assumono valori attorno a 2, 6. Sempre dal punto di vista granulometrico le sabbie di canale più superficiali (G1) dimostrano un carattere più grossolano rispetto alla sottostante facies a matrice sabbiosa (G2). Il contenuto naturale d'acqua dei sedimenti competenti ai livelli sabbiosi G2, che includono episodi di rotta, presenta valori superiori (W=32%) rispetto a quelli dei depositi sabbiosi di riempimento di canale G1, per i quali i valori sono compresi tra 18% e 26%, e a quel-

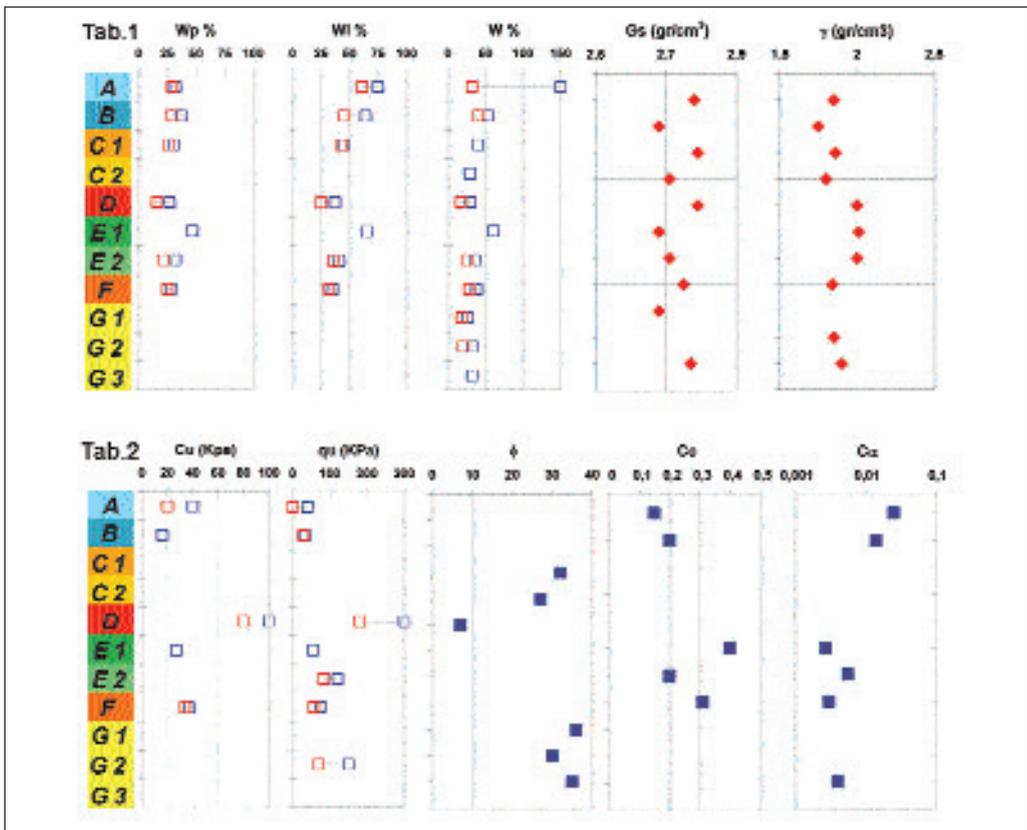


Tabella 1-2 - Variazione dei parametri geotecnici in funzione della profondità delle facies del complesso lagunare (A-C) e del complesso di piana alluvionale (D-F). Caratteristiche volumetriche e ponderali e limiti di consistenza (Tab.1), parametri attritivi, resistenza e indici di compressibilità (Tab.2).

li dei livelli a componente sabbiosa presenti nei depositi limoso-argillosi prossimali con valori che variano tra 20 e 26%. In figura 15 sono riportati i parametri fisico meccanici più significativi in riferimento ai litotipi riscontrati nella successione veneziana. Per quanto attiene la coesione e l'attrito, risulta abbastanza evidente la differenza di valori tra le facies sabbiose pleistoceniche (D, G3) e i livelli sabbiosi di canale (C) olocenici, più recenti e meno addensati, e, soprattutto, rispetto a quelli che appartengono alle facies argillose della parte superiore della sequenza stratigrafica; la differenza è confermata anche dagli indici di resistenza a compressione (Tabelle 1 e 2) dei termini sabbiosi, limosi ed argillosi

Nel complesso, le caratteristiche fisico-

meccaniche dei depositi pleisto-olocenici evidenziano differenti proprietà dei sedimenti sia tra quelli a granulometria molto fine che tra quelli che contraddistinguono le sabbie a granulometria media e medio-fine dell'area centrale del nucleo urbano (Tabelle 1 e 2). Gli intervalli coesivi, in particolare, formati da argille molli mostrano indici di compressibilità e valori di plasticità elevati sia alla base che a tetto del livello di caranto.

**3.1.2** Le operazioni indispensabili per delineare le facies e per costruire le carte relative comprendono fondamentalmente la determinazione e l'espressione dell'*aspetto* e, pertanto, il problema della rappresentatività dei profili stratigrafici e del-

le prove geotecniche può trovare la soluzione adeguata. Le condizioni stratigrafiche complesse sono interpretabili, infatti, se inquadrare in intervalli di variabilità litologica (*facies*) il cui *aspetto* è direttamente restituito dalle informazioni che provengono dal sottosuolo (dati litologici), dalle prove in sito e di laboratorio (indici e parametri geotecnici). Le diverse situazioni, definite dai rapporti di facies, richiedono una organizzazione secondo un approccio (*concetto operativo di facies*) basato su «[...] un linguaggio di comunicazione con termini chiaramente delineati, obiettivamente definiti e subordinati a formali procedure [...]» (Krumbain W., C.-Sloss L. L., 1979). In tal modo, per quanto articolata e complessa possa risultare la distribuzione dei depositi sedimentari, come nel caso di Venezia divisa tra settori di canale (lagunare/fluviatile) e ambiti areali organizzati secondo una successione ciclotemica, le variazioni degli *aspetti* risultano restituite (Figura 16) qualora si faccia riferimento al modello geologico elaborato secondo la definizione operativa delle facies.

3.2 Alla scarsa importanza che può es-

sere assegnata dal punto di vista idro-potabile alle acque circolanti nei depositi del Pleistocene superiore-Olocene non corrisponde un significato altrettanto trascurabile per quanto riguarda il rapporto acqua-terreno.

La struttura sedimentaria *multistorey sandbody* influenza la diversa distribuzione dei caratteri di permeabilità nel sottosuolo. I livelli mediamente permeabili corrispondono alle facies sabbiose mentre i livelli a permeabilità molto bassa o praticamente impermeabili sono rispettivamente rappresentati dai limi argilloso-sabbiosi e dalle argille; in condizioni di alternanza di tali livelli la serie dei depositi continentali del Pleistocene superiore identifica, dal punto di vista idrogeologico, un sistema multifalda. I limi sabbiosi di canale di marea dell'Olocene e la coltre superficiale di materiale di riporto ospitano, dal canto loro, dei livelli idrici sospesi. Le modalità di circolazione delle acque presenti nel sottosuolo del centro urbano sono delineate nello schema idrogeologico di figura 17, che identifica le litofacies permeabili e impermeabili.

L'acquifero sospeso presente nel mate-

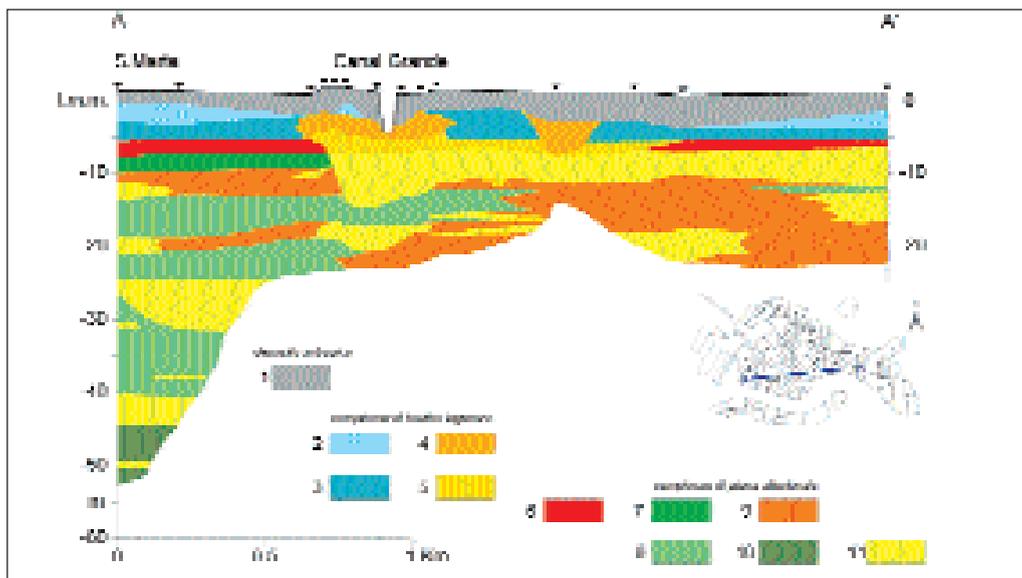


Figura 16 - Sezione del sottosuolo di Venezia definita in base al concetto operativo di facies. Le informazioni che provengono dal sottosuolo (dati litologici), dalle prove in sito e di laboratorio (indici e parametri geotecnici) determinano l'espressione delle facies e i relativi intervalli di variabilità .

riale di riporto (A) ha uno spessore medio dell'ordine di 3, 5÷4 metri e valori di permeabilità piuttosto elevati ( $k=10^{-1} - 10^{-3}$  cm/s); tale acquifero è sostenuto alla base dal primo livello impermeabile, formato da argille e argille limose del complesso lagunare olocenico. È possibile ricostruire il suo comportamento mediante l'analisi dei dati raccolti in una serie di piezometri ubicati in varie località del centro storico (Figura 18) e posizionati a distanze progressive dalla sponda dei canali lagunari. Il terreno di riporto è un orizzonte stratigrafico in comunicazione diretta con la laguna; l'elevata

permeabilità idraulica consente all'acquifero sospeso di risentire in modo istantaneo delle variazioni di pressione idrostatica indotte dalle maree. Le oscillazioni di marea trasmettono all'interno dalle sponde dei canali variazioni del livello di falda che diminuiscono gradualmente da cm 10÷15, in media, a cm 2÷3 alla distanza di 8÷9 metri (Figura 19). L'acquifero sospeso si comporta in modo analogo in tutto il centro storico: le quote assolute del livello piezometrico durante l'anno sono comprese tra metri 0,70 e metri 0,05 sul l. m. m. e tendono a salire verso l'interno; le oscillazioni massime e mi-

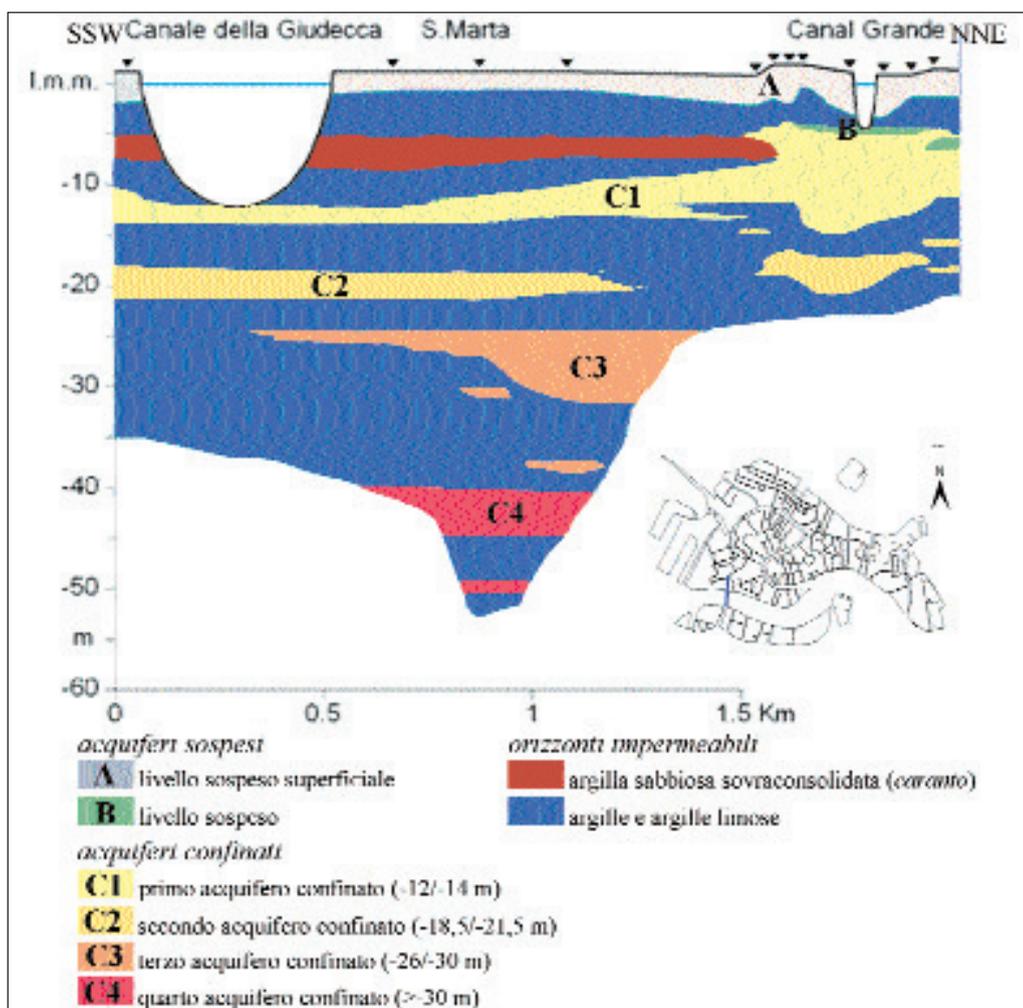
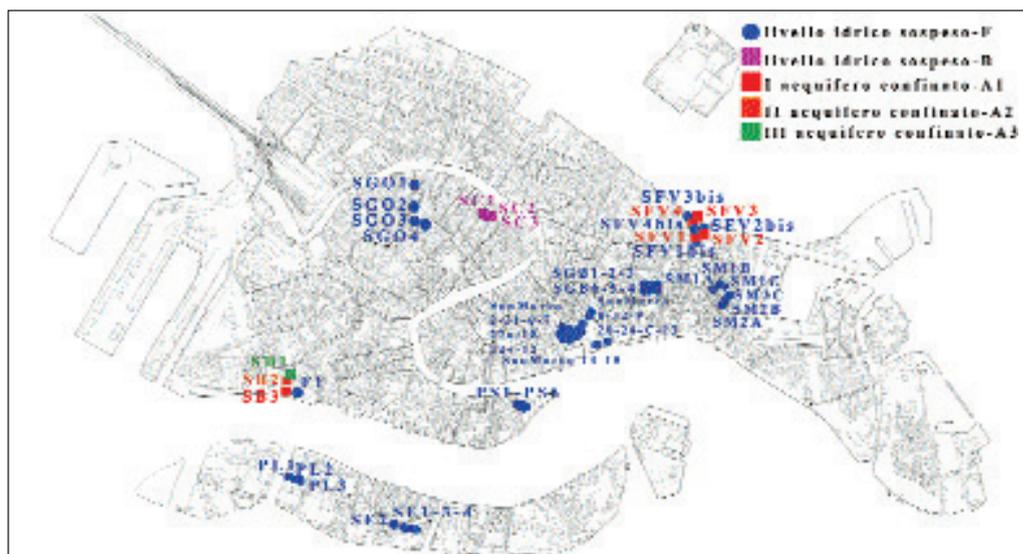


Figura 17 - Schema della circolazione idrica sotterranea nei depositi del Pleistocene superiore - Olocene del centro storico di Venezia.

nime indicano valori rispettivamente pari a circa metri 1,00 e metri -0,30 rispetto al l. m. m. . In occasione di maree medio-alte o molto basse il rapporto diretto tra la falda nel detrito e i canali lagunari resta confermato dalla corrispondenza delle oscillazioni, sia per ampiezza che per andamento temporale. I punti di massimo e di minimo della falda coincidono con quelli di marea; le ampiezze di tali oscillazioni si attenuano, tuttavia, a distanza dalla sponda dei canali e in presenza del maggiore contenuto di frazione fine nel materiale di riporto. I due fattori incidono anche sui ritardi di propagazione dell'onda di marea verso l'interno, valutabili nell'ordine di alcune ore (Figura 20). A distanze superiori a 8÷9 metri dalle sponde dei canali, la superficie piezometrica mostra, in genere, un andamento regolare e costante nel tempo, con oscillazioni dell'ordine di cm 5÷10; valori maggiori possono registrarsi, tuttavia, in occasione di maree eccezionali o di eventi meteorologici piuttosto intensi. L'alimentazione dell'acquifero sospeso ospitato dal materiale di riporto è in larga misura legata all'acqua di intrusione lagunare e subordinata-

tamente al contributo di una aliquota delle acque di precipitazione meteorica, rilevabile nei punti di osservazione più distanti dalle sponde dei canali.

Le sabbie limose e i limi sabbiosi semi-permeabili, presenti localmente al di sotto del materiale di riporto, ospitano altri livelli idrici sospesi (B). Le prime appartengono ai canali di marea olocenici in corrispondenza dei quali esse formano dei corpi di limitata estensione contenuti all'interno di depositi lagunari argilloso-limosi restando, pertanto, separate idrogeologicamente dai livelli permeabili sottostanti. I secondi appartengono alle facies di colmamento di canale e possono trovarsi a diretto contatto con le sottostanti sabbie di canale fluviale del tardo pleistocene rispetto alle quali, tuttavia, rivelano coefficienti di permeabilità inferiori che giustificano un comportamento del tipo aquitard. Tali livelli idrici sospesi si rinvennero a circa 6÷8 metri di profondità rispetto al piano di campagna ed hanno spessori dell'ordine di 2 metri. L'andamento della superficie piezometrica è in genere regolare e presenta valori medi compresi tra metri 0,70



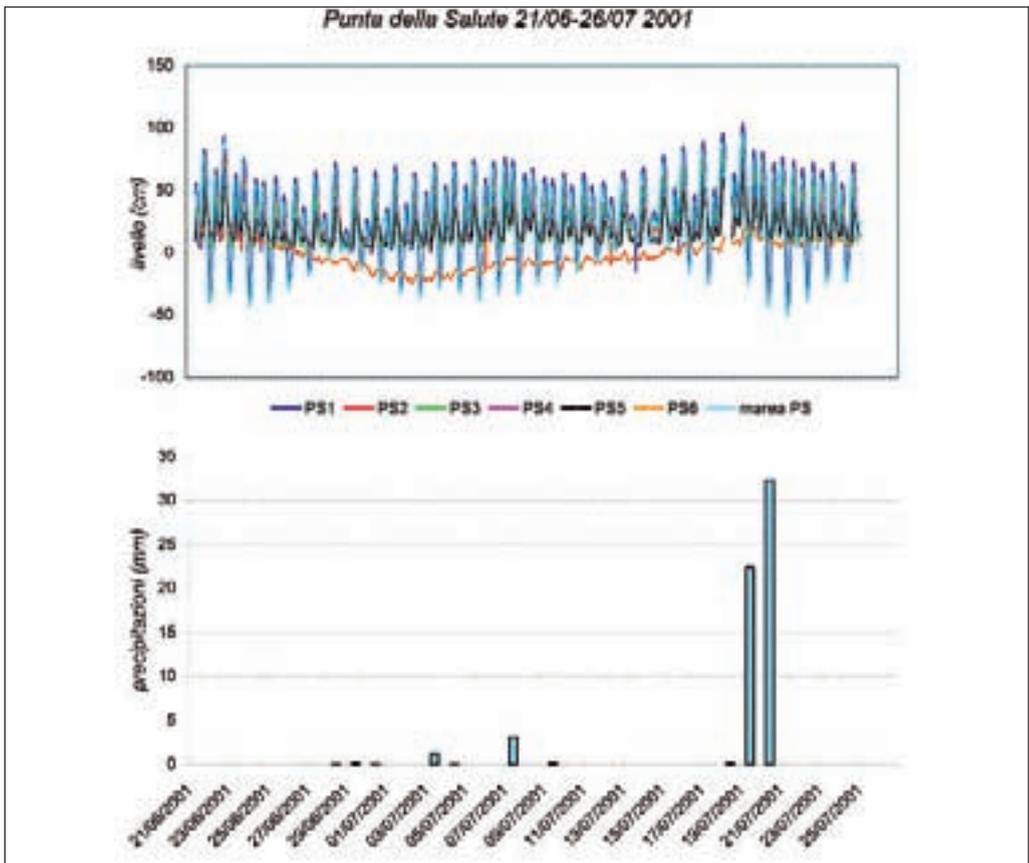


Figura 19 - Relazione tra livelli freatici, oscillazione di marea e precipitazioni nell'area di Punta della Salute, nel periodo 21 giugno - 26 luglio 2001. Il piezometro più lontano dalla sponda del canale (PS6) indica che la falda non risente delle oscillazioni di marea; l'innalzamento della superficie piezometrica si registra in occasione di eventi meteorici (es. 19-20 luglio 2001).

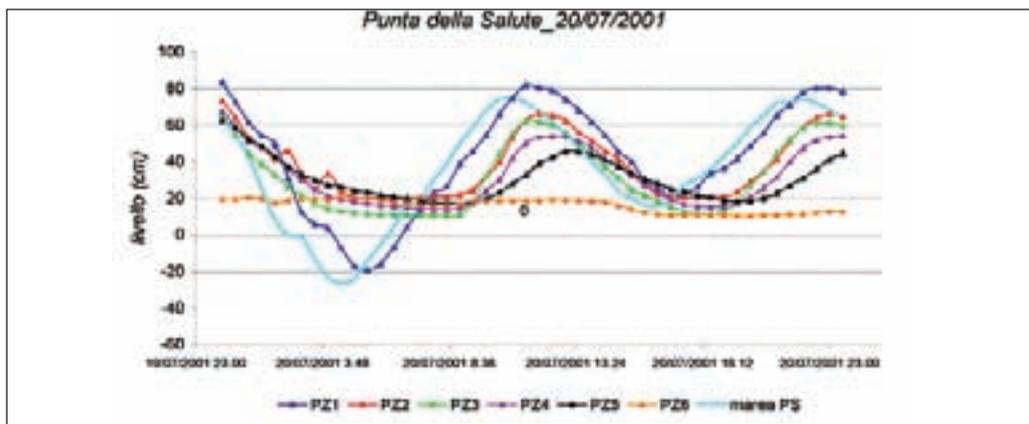


Figura 20 - Rapporto tra la variazione del livello della falda e le oscillazioni di marea. Il ritardo di propagazione dell'onda di marea incrementa nel tempo: dai 30 minuti circa registrati nei piezometri più vicini al limite lagunare (PS1-PS2) si arriva a ritardi di circa 1 ora - 2.30 ore in quelli più interni (PS3-PS4-PS5), fino all'attenuazione completa degli effetti di marea (PS6).

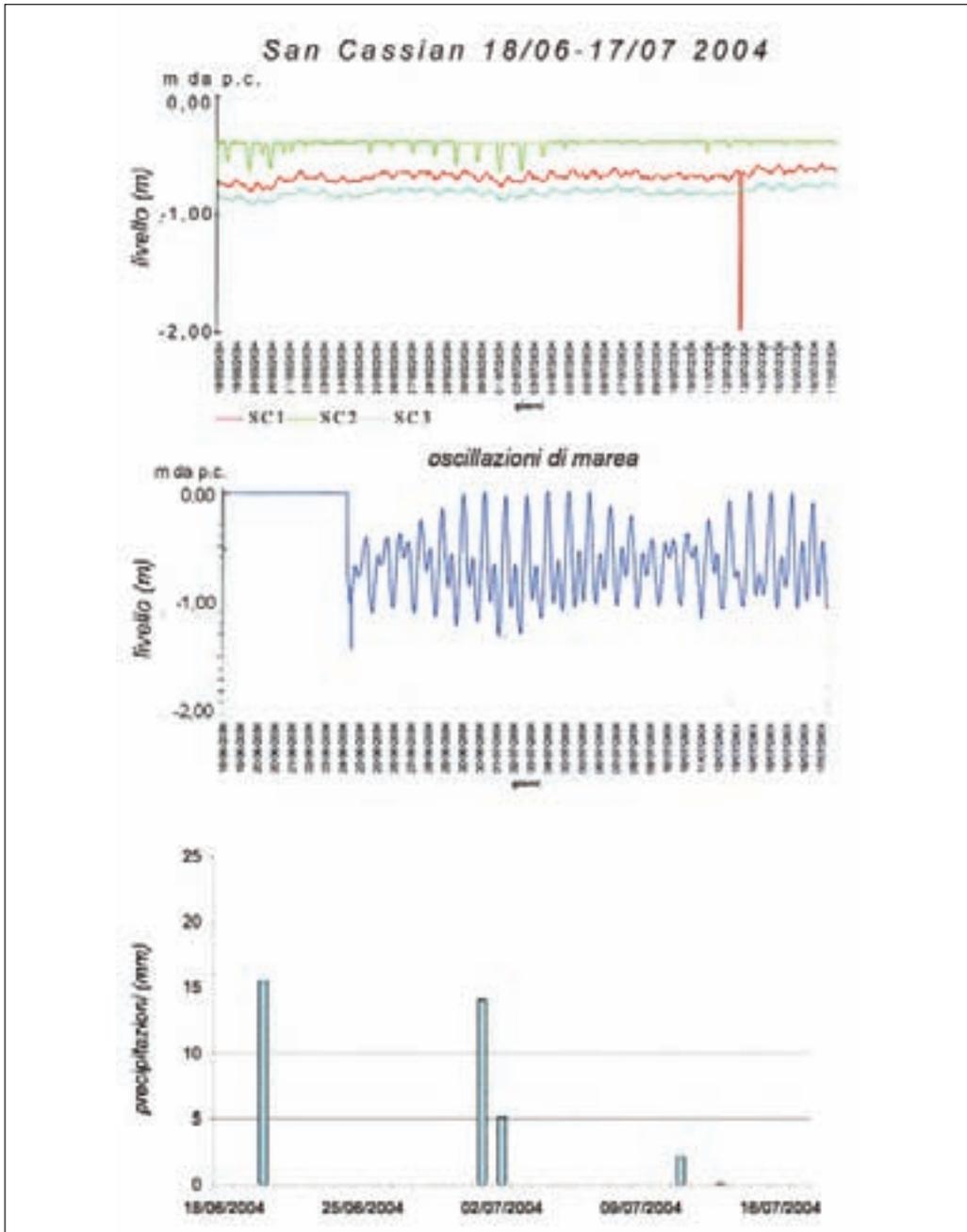


Figura 21 - Rapporto tra variazione del livello della falda, oscillazioni di marea e precipitazioni meteoriche nei piezometri siti in località San Cassian (SC1-SC3) nel periodo 18/06-17/07 2004. I tre piezometri, infissi fino a 8 metri di profondità dal piano campagna (p.c.), posti a distanze progressivamente maggiori dal rio, forniscono informazioni relative all'andamento dei livelli idrici sospesi ospitati da sabbie e sabbie limose e da limi sabbiosi semipermeabili (B), posti a diretto contatto con il materiale di riporto sovrastante e le sabbie pleistoceniche sottostanti, rispetto ai quali presentano coefficienti di permeabilità inferiori.

e metri -0,80 metri dal piano di campagna. L'influenza delle escursioni di marea appare evidente in concomitanza delle fasi di minima mentre è piuttosto scarsa quella legata alle precipitazioni (Figura 21). A differenza dell'acquifero sospeso superficiale, il quale ha una vasta distribuzione areale e presenta una omogeneità di comportamento, i sottostanti livelli idrici sospesi in seno ai depositi olocenici di laguna risultano irregolarmente distribuiti e di estensione molto limitata.

A loro volta, gli acquiferi confinati interessano la successione alluvionale del Pleistocene superiore direttamente collegati alla presenza delle facies sabbiose, distribuite a varie profondità a partire dal livello di caranto e alternate con orizzonti impermeabili di argilla e limo argilloso. Abbastanza indicativa, a tal riguardo, è la zona di San Basilio, la quale dal punto di vista idrogeologico si connota come un'area campione per lo studio degli acquiferi confinati del Pleistocene superiore. Tre acquiferi in pressione sono riscontrabili alle profondità di metri 12,00÷14,00 m18,5÷21,5 e metri 26,00÷30,00 dal piano di campagna in seno ad una alternanza di sabbie con argille e limi -argillosi che è stata attraversata da quattro sondaggi stratigrafici, profondi da 30 a 50 metri; nella stessa località sono stati installati tre piezometri in fori di sondaggio per la misura delle oscillazioni del livello piezometrico (dati ISP -IUAV). Uno dei quattro sondaggi stratigrafici perforati in zona ha raggiunto un deposito sabbioso stratiforme, tra le profondità di metri -41 e metri -46, il quale ospita verosimilmente un ulteriore livello acquifero confinato.

Il *primo acquifero confinato (C1)*, localizzato al di sotto del *caranto*, è identificato dall'orizzonte sabbioso presente nella parte superiore della serie alluvionale il quale passa lateralmente a limo-sabbioso a diretto contatto (erosivo) con le sabbie di canale alluvionale dell'ultimo massimo glaciale. La profondità di tale acquifero può variare localmente in relazione allo spessore e alla giacitura delle sabbie; infatti, da profondità dell'ordine di -12 e -14 metri dal piano di

campagna nell'area di San Basilio (SB) si passa a quelle di -9 e -13 metri di San Francesco della Vigna (SFV), anch'essa dotata di sondaggi allestiti con piezometri (piezometri SB3-SFV1-SFV2-SFV3-SFV4). Dall'analisi dei livelli della falda effettuata nei punti di osservazione suddetti risulta che il primo acquifero confinato: a) presenta quote assolute variabili tra metri 0,30 e metri -0,20 sul l. m. m.; il valore assoluto tende ad aumentare con la distanza dalle sponde dei canali lagunari; b) risente delle oscillazioni di marea, che si propagano verso l'interno con ritardi progressivamente crescenti e con ampiezze attenuate; c) non è influenzata dalle acque di precipitazione meteorica (Figura 22). In particolare, a San Basilio nel periodo giugno -agosto 2003 l'andamento della falda ha presentato valori in media pari a metri 0,15 sul l. m. m., con massimi e minimi rispettivamente di 0,45 e -0,66 metri.

Il *secondo acquifero confinato (C2)*, individuato tra metri -18,5 e metri -21,5 di profondità dal piano di campagna è ospitato da un altro deposito sabbioso della sequenza alluvionale wurmiana ed è separato dall'acquifero soprastante da un livello impermeabile generalmente continuo. Le quote assolute del livello della falda si attestano mediamente intorno a metri 0,16 sul l. m. m., con valori massimi e minimi rispettivamente di metri 0,34 e di metri -0,55 (Figura 22). L'influenza delle maree è riconoscibile per un lieve incremento delle quote in corrispondenza dei picchi positivi di marea mentre non è riscontrabile alcun effetto delle precipitazioni sull'andamento della falda.

Il *terzo acquifero confinato (C3)* è situato tra metri -26 e metri -30 metri di profondità dal piano di campagna, in corrispondenza di depositi di sabbie fini alluvionali, ed è idrogeologicamente isolato dall'acquifero soprastante da un livello impermeabile di sedimenti argillosi. Tale acquifero non ha un andamento continuo per la presenza di alternanze di depositi argillosi e limosi in seno alle sabbie. Taluni dati raccolti nel periodo di osservazione (giugno-agosto 2003) indicano quote assolute della falda pari in media a metri 0,10 sul l. m. m., con valori massimi e minimi rispettivamente di metri

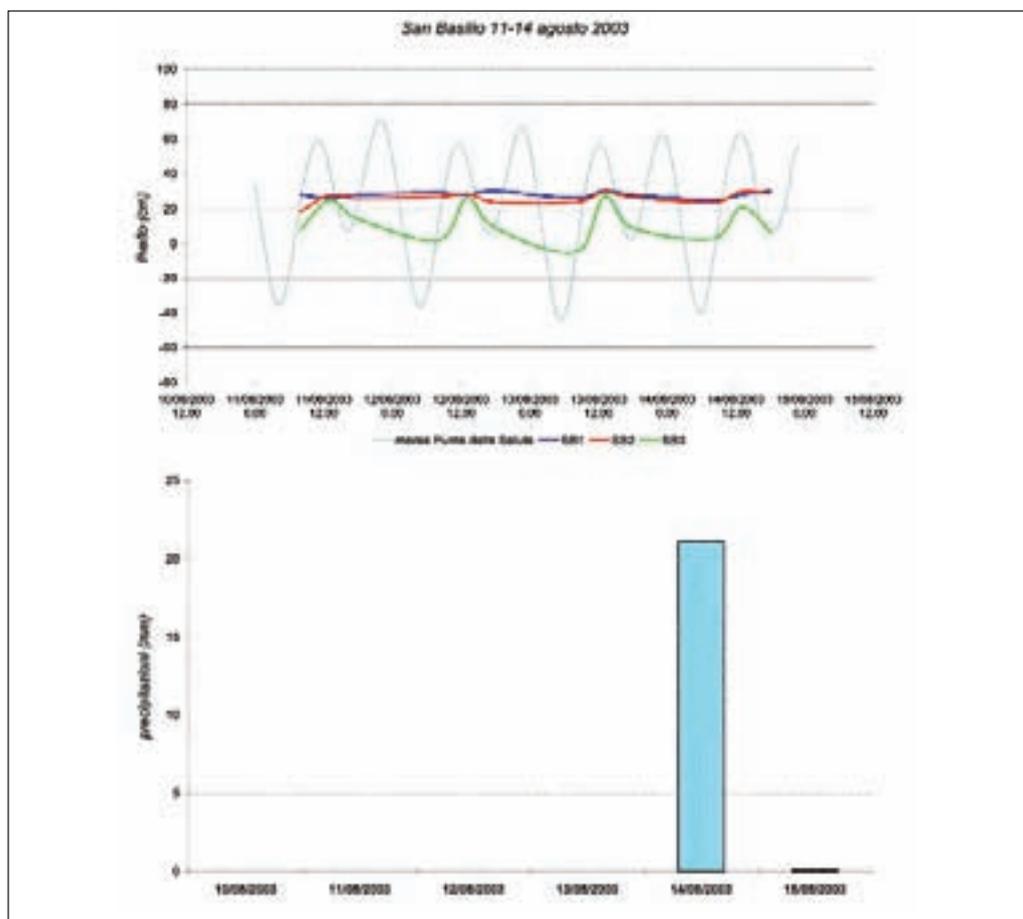


Figura 22 - Relazione tra la variazione del livello piezometrico degli acquiferi confinati, le oscillazioni di marea e le precipitazioni meteoriche nell'area studio di San Basilio-Santa Marta nel periodo 11/08-14/08 2003. I piezometri (SB1-SB3), nonostante i valori della superficie piezometrica non siano stati registrati in modo continuativo, non risentono del verificarsi di eventi piovosi.

0,33 e di metri -0,45, ed una notevole attenuazione delle oscillazioni di marea, che sono appena percepibili. Il livello della falda, inoltre, non è influenzato dalle precipitazioni meteoriche (Figura 22).

Nel complesso, gli acquiferi confinati mostrano di non essere influenzati dall'andamento delle precipitazioni meteoriche e che la variazione del livello piezometrico indotta dalla variazione di pressione legata alle oscillazioni di marea si attenua progressivamente con la profondità.

La determinazione delle caratteristiche chimico-isotopiche delle acque e l'acquisi-

zione dei valori di conducibilità elettrica (EC) permettono di riconoscere le diverse facies idrochimiche. La composizione chimica delle acque dipende dall'interazione di diverse variabili tra le quali assumono un ruolo determinante le caratteristiche delle acque di precipitazione, che alimentano le falde, e la composizione mineralogica dei terreni presenti in superficie. Nel sottosuolo, inoltre, le proprietà idrogeologiche dei terreni condizionano l'entità dell'interazione acqua-roccia poiché la velocità del flusso sotterraneo incide sul tenore dei sali disciolti, che è tanto minore quanto più bre-

		<i>piez</i>	<i>pH</i>	<i>T</i>	<i>EC (mS/cm)</i>
<b>livello idrico sospeso superficiale</b>	<b>A</b>	<b>F1</b>	<b>7,05</b>	<b>21,9</b>	<b>28,9</b>
		<b>SFV1bis</b>	<b>8</b>	<b>17,4</b>	<b>4,17</b>
		<b>SFV2bis</b>	<b>7,3</b>	<b>16,5</b>	<b>9,3</b>
		<b>SFV3bis</b>	<b>7,4</b>	<b>16,3</b>	<b>8,6</b>
		<b>SFV4bis</b>	<b>8</b>	<b>15,6</b>	<b>2,95</b>
<b>acquiferi confinati</b>	<b>C1</b>	<b>SB3</b>	<b>7,48</b>	<b>17,4</b>	<b>21,2</b>
		<b>SFV1</b>	<b>7,2</b>	<b>16,9</b>	<b>11,1</b>
		<b>SFV2</b>	<b>7,4</b>	<b>16,4</b>	<b>12,1</b>
		<b>SFV3</b>	<b>7,1</b>	<b>17,7</b>	<b>12,4</b>
		<b>SFV4</b>	<b>7,1</b>	<b>17,2</b>	<b>12,9</b>
	<b>C2</b>	<b>SB2</b>	<b>7,8</b>	<b>18,9</b>	<b>3,8</b>
	<b>C3</b>	<b>SB1</b>	<b>7,8</b>	<b>17,4</b>	<b>27,7</b>

Tabella 3 - Parametri fisici delle acque dei livelli idrici sospesi superficiali e degli acquiferi confinati (area di San Francesco della Vigna maggio 2005; area di San Basilio giugno 2007).

vi sono i tempi di contatto. In aggiunta, lungo le zone costiere si verifica la contaminazione delle acque dolci di falda provocata dal fenomeno di intrusione marina; il contenuto in cloruri (Na e Cl) può essere convalidato dai valori ottenuti dall'analisi della conducibilità elettrica i quali permettono di distinguere le acque dolci da quelle salmastre e salate. Parametri importanti da considerare sono la temperatura e il contenuto isotopico poichè consentono di individuare l'esistenza di fenomeni di diluizione e miscelamento tra acque continentali e marine; il contenuto isotopico, in particolare, offre il vantaggio di determinare l'origine delle acque e di evidenziare i vettori preferenziali di scorrimento delle stesse nel sottosuolo ( $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$ ).

A partire dal livello sospeso superficiale, i dati disponibili dimostrano l'esistenza di un collegamento diretto tra la falda idrica e l'acqua dello specchio lagunare. La determinazione dei valori di pH e T e l'acquisizione dei valori di conducibilità elettrica (EC) dei campioni superficiali prelevati nelle aree studio di San Basilio (F) e di San Francesco della Vigna (SFV) permettono di verificare il fenomeno dell'intrusione marina (Tabella 3). Le acque campionate, leggermente basiche, hanno valori di pH compresi tra 7, 1 e 8; le

temperature sono alquanto elevate sia per processi di torbificazione (esotermici) che per la presenza di acqua salata, caratterizzata da una maggior conducibilità termica, in grado di trasmettere le temperature stagionali medie dell'ambiente esterno le quali oscillano tra 21, 9 e 15, 6 °C nel semestre primavera-estate (Tabella 3).

Le misure di conducibilità elettrica (EC) effettuate nello stesso periodo indicano tenori variabili da 2,9 a 28,9 mS/cm, tipici di acque salmastre, dovute al miscelamento di acque di falda con acque lagunari (48,2 mS/cm nel canale lagunare di San Nicolò, presso San Basilio), come in figura 23. Anche il contenuto in cloro conferma quanto noto dai logs di conducibilità (Tabella 4); i tenori, infatti, sono assai prossimi a quelli tipici delle acque salate,  $\text{Cl}^- = 10,000 \text{ mg/l}$ ; (Oude-Essink G., 2001). Le acque del primo acquifero confinato si rivelano pure leggermente basiche, con pH compreso in genere tra 7,1 e 7,5, e presentano valori medi di temperatura pari a 17,1 °C. I valori di conducibilità registrati variano, nello stesso periodo, da zona a zona pur appartenendo ad acque tipicamente salmastre. Infatti, a San Francesco della Vigna nel mese di maggio 2005 i tenori di EC rilevati sono risultati sempre superiori ai 10 mS/cm

		piez	HCO3	Cl	SO4	Na	K	Ca	Mg
livello idrico sospeso superficiale	A	F1	622	10865	1537	6055	218	390	774
	C1	SB3	3630	9949	2	5857	254	78	892
acquiferi confinati	C2	SB2	702	912	114	698	86	69	82
	C3	SB1	1714	7838	476	4568	190	40	646

Tabella 4 - Analisi chimiche delle acque del centro storico di Venezia (livelli idrici sospesi superficiali ed acquiferi confinati) espresse in mg/l .

mentre a San Basilio, nel periodo marzo-giugno 2007 essi hanno mostrato progressivi incrementi, da 10 mS/cm ad oltre 20 mS/cm. La quantità di cloro rilevata (9948, 81 mg/l) conferma che le acque di circolazione sono salmastre (300÷10000 mg/l), come in tabella 4. Nel secondo acquifero confinato le acque continuano ad essere leggermente basiche (pH = 7, 8); i valori di T registrati sono di poco superiori, in genere di 1 °C, rispetto a quelli del primo acquifero confinato (Tabella 3) mentre tanto i valori di conducibilità quanto il tenore in cloruri risultano attenuati rispetto a quelli del primo acquifero confinato; infatti, durante lo stesso periodo di misurazione essi si sono rispettivamente rivelati sempre inferiori ai 10 mS/cm e non superiori a 911,79 mg/l. Il terzo acquifero pure è caratterizzato da acque leggermente basiche (pH = 7,8) e da temperature in linea con quelle rilevate per il secondo acquifero. I valori di conducibilità elettrica nel periodo marzo-giugno 2007 aumentano progressivamente da 12 ad oltre 20 mS/cm e confermando il consistente tenore in sali anche a profondità di -26 -30 metri. Il contenuto in cloruri (7837, 61 mg/l), che si attesta nuovamente su valori prossimi a quelli ri-

scontrati in C1 (Tabella 4), indica, del resto, per il primo e per il secondo acquifero confinato, la presenza di acque salmastre (300 < Cl < 10, 000 mg/l).

Le caratteristiche fisiche (T, pH), i valori di conducibilità elettrica (EC) e il contenuto in cloro (Cl) evidenziano che gli acquiferi confinati sono interessati dal fenomeno di contaminazione salina. Quanto alla caratterizzazione delle facies idrochimiche secondo il metodo di Piper, le acque del centro storico di Venezia, superficiali e profonde, sono classificabili come cloruro-solfato-alcaline. Nel diagramma ternario degli anioni (Figura 24) si può riconoscere, inoltre, l'esistenza di un processo di miscelamento tra acque dolci e salate per il graduale incremento del contenuto in Cl. Il rapporto Na/Cl dei campioni d'acqua ana-

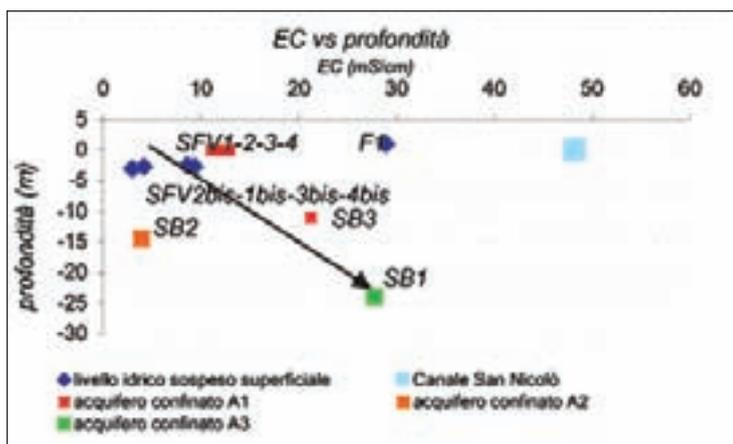


Figura 23 - Il confronto tra valori di EC e profondità su l.m.m. per i dati raccolti nei piezometri dell'area studio di San Basilio-Santa Marta conferma l'esistenza del fenomeno di contaminazione salina delle acque sotterranee.

		piez	Na/Cl	(K/Na)	(Ca+Mg)/(K+Na)	SO <sub>4</sub> /Cl	(Cl-(Na+K))/Cl
acqua di mare			0.86	0.02	0.27	0.10	0.12
livello idrico sospeso superficiale	A	F1	0.86	0.02	0.31	0.10	0.12
acquiferi confinati	C1	SB3	0.91	0.03	0.30	0.00	0.07
	C2	SB2	1.18	0.07	0.31	0.09	-0.27
	C3	SB1	0.90	0.02	0.27	0.04	0.08

Tabella 5 - Confronto tra i rapporti ionici caratteristici dell'acqua di mare e quelli delle acque del centro storico di Venezia.

lizzati evidenzia la presenza di acqua marina in tutti gli acquiferi considerati (Tabella 5) come, del resto, viene confermato dai rapporti tra i cationi principali (Ca+Mg)/(Na+K) e dal rapporto tra K/Na. Dal canto suo, il rapporto di disequilibrio cloro-alcantino (Cl-Na+K)/Cl conferma l'influenza delle acque marine sulla composizione chimica delle acque di falda ed evi-

denzia per il secondo acquifero confinato (SB2) un minor grado di contaminazione salina o un apporto di acque dolci per i valori negativi registrati (-0,27) ai quali è pure dovuto l'incremento del valore di K/Na. La relazione tra ione solfato e cloruri conferma, infine, il carattere tipicamente salmastro delle acque sia dei livelli idrici sospesi superficiali che di quelli confinati e, per

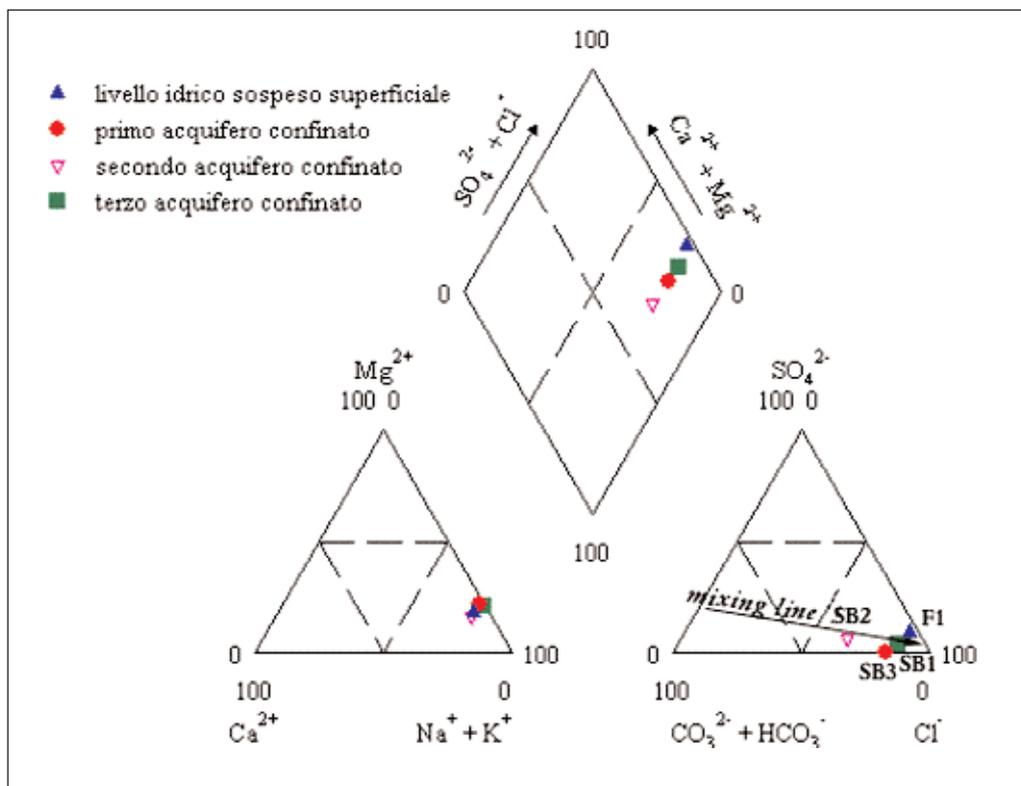


Figura 24 - Classificazione geochimica delle acque del centro storico di Venezia secondo Piper (meq/l). Le acque dei livelli idrici superficiali e degli acquiferi confinati sono acque cloruro solfato alcaline.

quanto attiene nel primo acquifero confinato, l'assenza di solfati riconducibile all'esistenza di un ambiente riducente per la presenza di sostanza organica e torba.

Le acque dei livelli sospesi superficiali e delle falde in pressione appartengono, in conclusione, alla stessa facies idrochimica; esse presentano tenori tipicamente marini e possono essere considerate come acque attuali. Ciò trova conferma nei risultati delle analisi isotopiche, condotte sui campioni d'acqua dei primi tre acquiferi confinati dell'area di San Basilio-Santa Marta, i quali indicano che le acque sotterranee sono interessate dalla contaminazione salina. La figura 25 mostra, in particolare, che il fenomeno va attenuandosi con la distanza dalle sponde del canale lagunare (campioni SB3-SB1) oppure è condizionato dalle variazioni di permeabilità dei terreni (campioni SB3-SB2-SB1); sembra, infatti, esistere un comportamento analogo tra il primo e il terzo acquifero mentre il secondo appare maggiormente protetto dalle litofacies in cui è confinato.

## 4. Deformazione dei terreni

La città ha dovuto contrastare fin dalle origini ripetute condizioni di crisi ambientale per gli effetti dell'eustatismo e della subsidenza. Le fonti storiche attestano che «[...] le variazioni di quota ipotizzabili fra il culmine delle emergenze (dette *tumbae*) e le altre relativamente asciutte nel X-XI secolo non dovettero essere rilevanti in senso assoluto [...]» e che «[...] possibili ricariche iniziali, secondo pratiche ancor oggi in uso, poterono accrescerle [...]». Secondo tali fonti «[...] altre emergenze, minori, si costruirono per opera antropica ai margini dei rii scavati nella palude...il sedime di colonizzazione che si stava costituendo in città si presentava dunque come un ondulato occasionale aggregato di terra battuta [...]» (Dorigo W., 2000).

Nel secolo XII la *Civitas Rivoalti* raggiungeva quote variabili da due a cinque piedi sul livello medio dello specchio lagunare e da quel secolo le colmate e gli in-

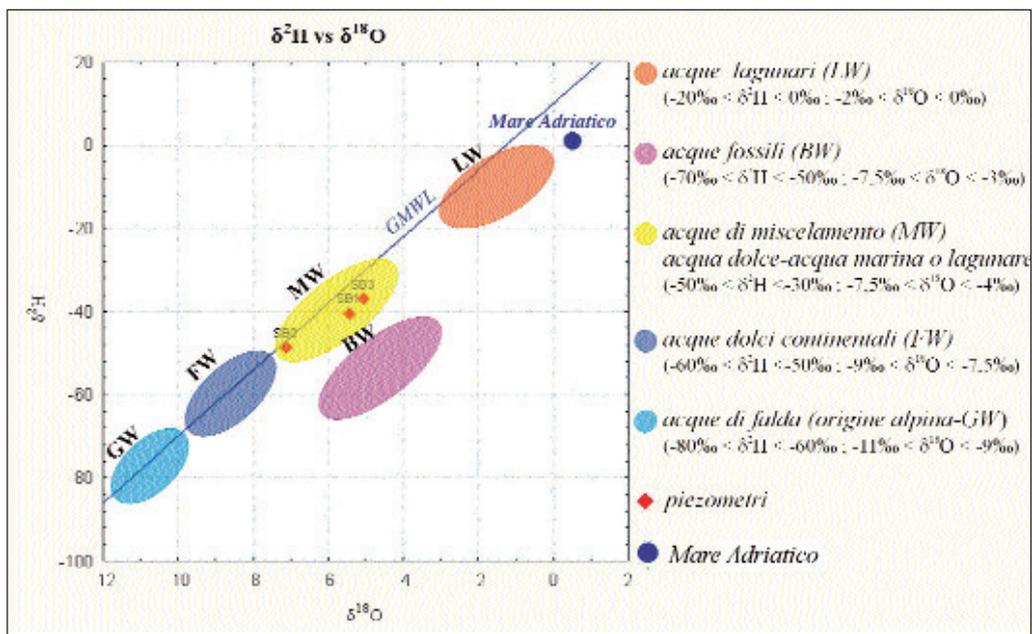


Figura 25 - L'analisi isotopica ( 2H vs 18O) dei campioni d'acqua provenienti dagli acquiferi confinati del sottosuolo di San Basilio-Santa Marta confrontata con l'andamento della Ground Meteoric Water Line (GMWL) conferma la presenza di un fenomeno di miscelamento tra le acque dolci continentali e le acque salate di origine marina e lagunare.

terramanti aggiunsero altro sedime (*terrena nova*) sino agli inizi del Trecento per lo sviluppo del centro urbano (*Civitas Veneciarum*). Verso la fine del Quattrocento, che coincide con il notevole abbassamento del livello marino (metri 1,40) subentrato in seguito ad una fase di clima freddo, la pratica dei "rialzi" subisce una stasi per essere successivamente ripresa, in modo consistente, nel Cinquecento quando il livello del mare torna ad aumentare. Da un lato, infatti, alla fine del Quattrocento «[...] le quote di riva originali dei palazzi gotici sul Canal Grande erano a assai inferiori a quelle dei palazzi romanici precedenti[...]» mentre, dall'altro, «[...] è dalla seconda metà del XVI secolo che si impone una pratica di rialzi, sia di soglie d'ingresso sia di pubblica pavimentazione, che deve essere calcolata complessivamente in media fra i 50cm e i 60 cm, sulla scorta di numerose situazioni monumentali datate [...]» (Dorigo W., op. cit.). Gli interventi sono continuati nei secoli successivi; «[...] la maggior parte, comunque, è stata fatta nel corso degli ultimi due secoli, come testimonia il confronto tra lo stato attuale e l'abbondantissima documentazione, anche iconografica, esistente [...]» (Leandro G., 2000).

Dagli studi svolti negli anni Settanta emerge il dato che l'abbassamento del suolo è dovuto a due distinti ordini di fenomeni, l'uno regionale, di tipo geologico, legato alla tettonica che coinvolge il substrato, il cui tasso di subsidenza è stato compensato almeno a partire dal Terziario inferiore dagli apporti terrigeni, e l'altro, alquanto localizzato, di origine naturale e/o antropica, provocato dagli interventi dell'uomo (Leonardi P. *et alii*, 1973).

Lo straordinario evento di "acqua alta" del novembre 1966 diede l'avvio ad una serie di studi e indagini sulla subsidenza e l'eustatismo e condusse all'attuazione di un piano pluridecennale di interventi integrati per migliorare le condizioni del tessuto urbano. Agli interventi di consolidamento statico, riguardanti sia le sponde dei canali che le fondazioni di edifici e ponti per impedire o mitigare le varie forme di dissesto, spesso causate da refluentamenti e sottopressioni ri-

spettivamente all'origine di cedimenti differenziali e di dissesti statici (Creazza G., 1992), si aggiunse l'escavazione dei canali e la sistemazione delle bocche dei collettori. Attualmente, in vista delle trasformazioni in atto e future si avverte l'esigenza di approfondire le conoscenze sul suolo subsidente dello spazio urbano.

La perdita totale di quota altimetrica di Venezia negli ultimi 100 anni è stata quantificata in 23 centimetri circa ed è comprensiva della subsidenza del suolo (cm 12) e dell'aumento del livello marino (cm 11), (Carbognin L. *et alii* 2004 e 2005). La componente naturale sul tasso di abbassamento del suolo comprende la subsidenza geologica nel lungo periodo che riflette i processi tettonici e la consolidazione naturale dei sedimenti, determinante tra il Tardo Pleistocene e l'Olocene, soprattutto dopo la formazione del bacino lagunare (Kent V. D. *et alii* 2002).

$$\eta_{\text{media di lungo-periodo}} < 0,5 \text{ mm/anno} \\ \text{(processi tettonici)}$$

$$\eta_{\text{media tardo Pleistocene-Olocene}} \cong 1,3 \text{ mm/anno} \\ \text{(consolidazione dei sedimenti)}$$

L'ulteriore componente, che ha determinato ulteriori perdite di quota altimetrica del centro storico fino al 1973, appartiene alla subsidenza antropica provocata dallo sfruttamento intensivo delle acque emunte dalle falde artesiane situate nel sottosuolo tra -100 metri e -320 metri di profondità. L'emungimento, avvenuto soprattutto tra il 1935 e il 1970 nell'area di Marghera, aveva provocato una notevole depressurizzazione degli acquiferi e un tasso di subsidenza dell'ordine di  $5 \div 6$  mm/anno, con valori massimi di  $7 \div 8$  mm/anno e di 10 mm/anno, riscontrati rispettivamente a Marghera e al Lido (Ricceri L., 1975). A quell'epoca, la carta della subsidenza del centro storico, relativa al periodo di misurazioni 1961÷1968 (Caputo M. *et alii*, 1972), comparata con la carta relativa al periodo 1908÷1961 (Dorigo L., 1968) dimostrava che il pattern di subsidenza si manteneva sostanzialmente analogo in ogni parte della

città pur essendo notevolmente aumentati i valori risultano, passati da 15 cm (valore medio) in 53 anni a 3÷4 cm in 8 anni.

Gli studi sulla subsidenza svolti dal CNR (Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse) a partire dagli anni settanta hanno ben ricostruito il quadro evolutivo del fenomeno di subsidenza del centro storico con livellazioni di alta precisione combinate all'impiego di tecniche avanzate (SRI, Satellite Radar Interferometry), figura 26, e con misurazioni di marea. Mediante i dati acquisiti, che riguardano fondamentalmente tre periodi di analisi

(1961÷1969; 1973÷1993; 1993÷2000) è stato possibile pervenire ad una messa a punto delle variazioni di perdita di quota altimetrica della città negli ultimi 40 anni. A tal riguardo, dalle sintesi più recenti (Carbognin L. *et alii*, 2005; Carbognin L. *et alii*, 2004; Tosi L. *et al*, 2002), che si collegano ad indagini precedenti (Gatto P. & Carbognin L., 1981; Bortolami G. C. *et alii*, 1984), si rileva quanto segue:

- a. tra il 1961 e il 1969 il tasso di subsidenza del centro storico ha superato 7 mm/anno di subsidenza (tasso massimo = 14 mm/anno nel 1968÷69); in quel periodo l'area della città risultava interessata, verso ovest, dal cono di subsidenza provocato dagli emungimenti nell'area industriale di Marghera e, verso est, dall'abbassamento del territorio costiero per l'estrazione di acque dal sottosuolo per uso potabile ed agricolo;
- b. la subsidenza antropica, dovuta allo sfruttamento intensivo delle acque sot-

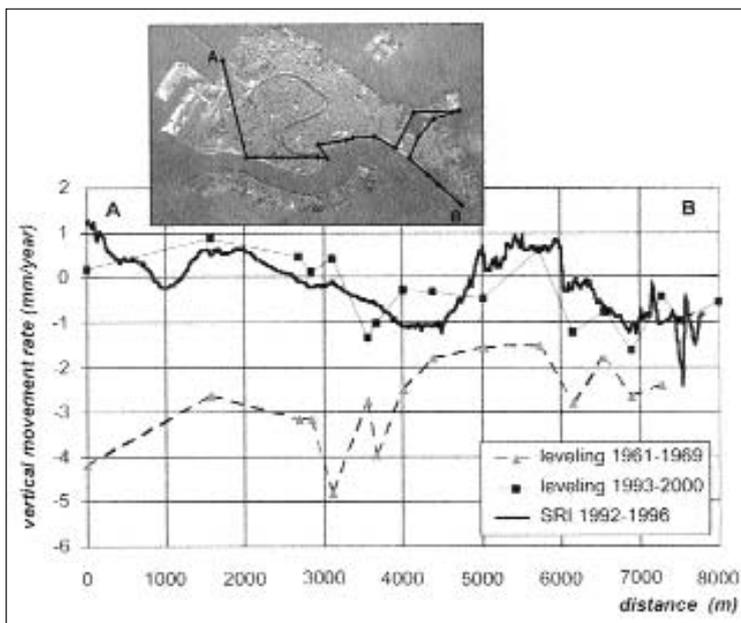


Figura 26 - Il quadro evolutivo del fenomeno di subsidenza del centro storico ricostruito con livellazioni di alta precisione combinate all'impiego di tecniche avanzate (Satellite Radar Interferometry) eseguite tra il 1961-69 e il 1993-2000 (da Carbognin *et al.*, 1995; da Tosi *et al.*, 2002).

- c. i risultati delle analisi relative al periodo 1973÷93 dimostravano che le perdite di quota altimetrica della città si erano praticamente annullate ad eccezione di due aree, definite "occasional", localizzate soprattutto nelle zone estreme (occidentale e orientale) del centro urbano; le perdite di quota altimetrica, pari a 1,4mm/anno, sono attribuite allo sviluppo urbano degli ultimi secoli; ulteriori aree con perdite di quota altimetrica interessano un numero limitato di siti che ricadono lungo i canali dove la velocità delle correnti provoca erosione;
- d. le misurazioni del 1993÷2000 confermano sostanzialmente che il centro urba-

no è quasi-stabile ad eccezione delle due aree poste ad occidente e ad oriente in corrispondenza delle quali si raggiunge un tasso fino a 2,00 mm/anno, ritenuto significativamente inferiore rispetto a quello misurato durante il periodo critico 1969÷1991;

e.i risultati delle misure mediante SRI, eseguite tra il 1992 e il 1996 (Figura 27a) sono in linea con i dati complessivamente rilevati nel periodo 1973÷1993 (Figura 27b); essi costituiscono l'ulteriore conferma della stabilità del centro storico con l'eccezione delle due zone suddette, occidentale ed orientale, per le quali viene ribadito che la causa determinante le perdite di quota altimetrica è da ricercarsi nell'espansione urbana avvenuta nei secoli recenti su aree che sono state oggetto di interventi

di bonifica e colmata di canali, incluse parti di specchio lagunare (Figura 27c); f. una subsidenza di origine geochimica, indotta dalla ossidazione dei suoli torbosi e soprattutto dall'intrusione marina in grado di esaltare la compattazione dei sedimenti fini per processi elettrochimici (U. S. Geological Service, 1964 in Carbognin L. et al, 2005) spiega, infine, le perdite di quota altimetrica in corrispondenza delle zone marginali, meridionale e settentrionale, della gronda lagunare presso Chioggia e lesolo, dove i processi di consolidazione in atto interessano depositi compressibili, di recente deposizione (Olocene) e di consistente spessore.

Anche le considerazioni conclusive di Caputo M. *et alii* (1972), elaborate sulla scorta di dati di misurazioni eseguite nel periodo 1961÷1968 per la stima della sub-

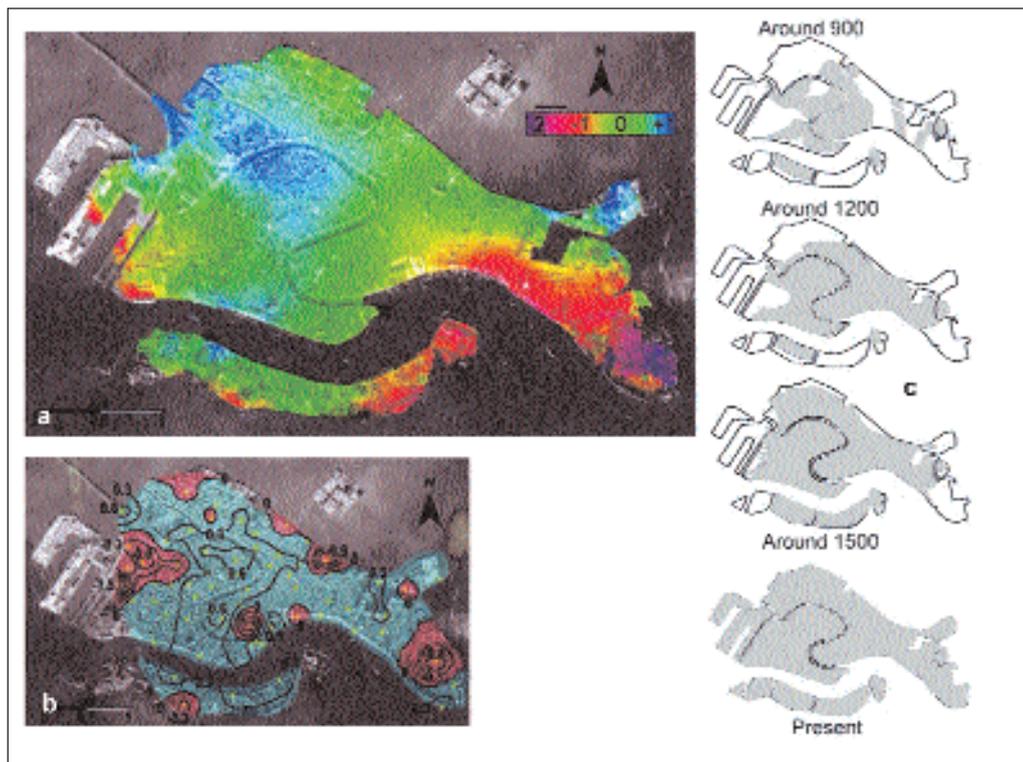


Figura 27 - Il tasso di subsidenza (mm/anno) nel centro storico nei periodi 1992-1996 (fig. 27a, Tosi et al., 2002) e 1973-1993 (fig. 27b, da Carbognin et al., 1995). Le perdite di quota altimetrica delle aree occidentale ed orientale del centro storico sono state messe in relazione con lo sviluppo urbano che ha interessato zone soggette ad interventi di bonifica e di colmata (fig. 27c).

sidenza naturale e indotta, indicano nello sviluppo urbano una delle concause delle locali perdite di quota altimetrica e ciò in accordo con le considerazioni svolte in precedenza da Leonardi P. (1969).

I dati delle misurazioni aprono ad un approfondimento sulla interpretazione della causa che tuttora determina l'abbassamento del suolo nell'area più occidentale e in quella più orientale del centro storico. Il lasso di tempo trascorso, dal 900 d. C. alla seconda metà del 1900, è tale che le perdite di quota attribuibili al sovraccarico del costruito debbono verosimilmente essere attribuite all'aliquota secondaria del cedimento di consolidazione, potendosi ormai considerare esaurita la consolidazione primaria. Attribuire all'aliquota secondaria del cedimento di consolidazione le perdite di quota altimetrica non significa che esse siano state innescate soltanto dal sovraccarico del costruito ma può indicare ancora una componente residuale della consolidazione secondaria di lungo termine (subsidenza naturale); il contesto geologico-ambientale del bacino lagunare non consentirebbe del resto, di individuare chiaramente una consolidazione secondaria innescata dall'intervento antropico e differenziarla dalla consolidazione di lungo termine.

La possibilità che possa ancora perdurare una componente residuale della consolidazione di lungo termine è data dalla distribuzione e dallo spessore dei terreni coesivi nel sottosuolo del centro urbano. Le carte che riproducono le perdite di quota altimetrica, tra le quali l'elaborato in base alle misure SRI eseguite nel periodo 1992÷1996 (Tosi L. et al, 2002) e in linea con i dati complessivamente rilevati nel periodo 1973÷1993, non mostrano soltanto analogie con quelle dello sviluppo urbano dei secoli passati ma anche, se lette in relazione alla geologia del sottosuolo, con la distribuzione e lo spessore dei terreni coesivi (Figura 28). Per stabilire questo tipo di rapporto occorrono tre tipi di considerazioni basate sulla geologia del sottosuolo, sulla proprietà fisico-meccaniche dei terreni e sulle ipotesi di verifica.

La struttura sedimentaria, formata dal-

la sovrapposizione di corpi sabbiosi (*multi-storey sandbody*), è posizionata con il culmine in corrispondenza del centro urbano ed è sostituita lateralmente, tanto verso occidente (Santa Marta-San Basilio) quanto verso oriente (Sant'Elena), da una successione di strati argillosi ed argilloso limosi con sostanza organica e torba. A partire dalla zona di San Marco, la profondità del letto dei depositi coesivi aumenta sia verso occidente da -12,35 metri a 13,80 metri (-11,55 metri e -12,50 metri rispetto al livello marino) che verso oriente da -12,60 metri a 14,00 metri (-11,30 metri e -13,60 metri rispetto al livello marino). Le caratteristiche fisico-meccaniche dei depositi pleisto-olocenici evidenziano che le proprietà dei sedimenti a granulometria fine, presenti nel sottosuolo delle aree interessate da perdite di quota altimetrica, sono sostanzialmente differenti da quelle che contraddistinguono le sabbie a granulometria media e medio-fine dell'area centrale del nucleo urbano; gli strati pelitici, infatti, hanno indici di compressibilità e valori di plasticità elevati e sono formati da argille molli presenti sia alla base che a tetto del livello di caranto. Tale livello, inoltre, per quanto di spessore irregolare, mostra una giacitura leggermente inclinata sia verso ovest che verso est; sul lato occidentale della struttura sedimentaria *multistorey sandbody* la profondità del caranto aumenta progressivamente da -7,40 metri a -8,50 metri rispetto al livello marino mentre la superficie di tetto, a partire dalle corrispondenti sabbie con screziature ocracee, si abbassa da -4,60 metri a -5,30 e -5,40 metri rispetto al suddetto livello. I valori, infine, dei coefficienti di consolidazione secondaria desumibili dalle prove geotecniche (par. 3. 1, Figura 14) porterebbero ad ammettere che in corrispondenze delle suddette zone il processo di consolidazione dei livelli lagunari sia ancora in atto e che esso interessi, anche se con un ordine di grandezza inferiore, pure i depositi competenti alle unità tardo-pleistoceniche. Del resto, è noto che il contenuto di sostanza organica e i livelli di torba aumentano i tempi di consolidazione e che i depositi a granulometria fine e di bassa permeabilità tendono ad osta-

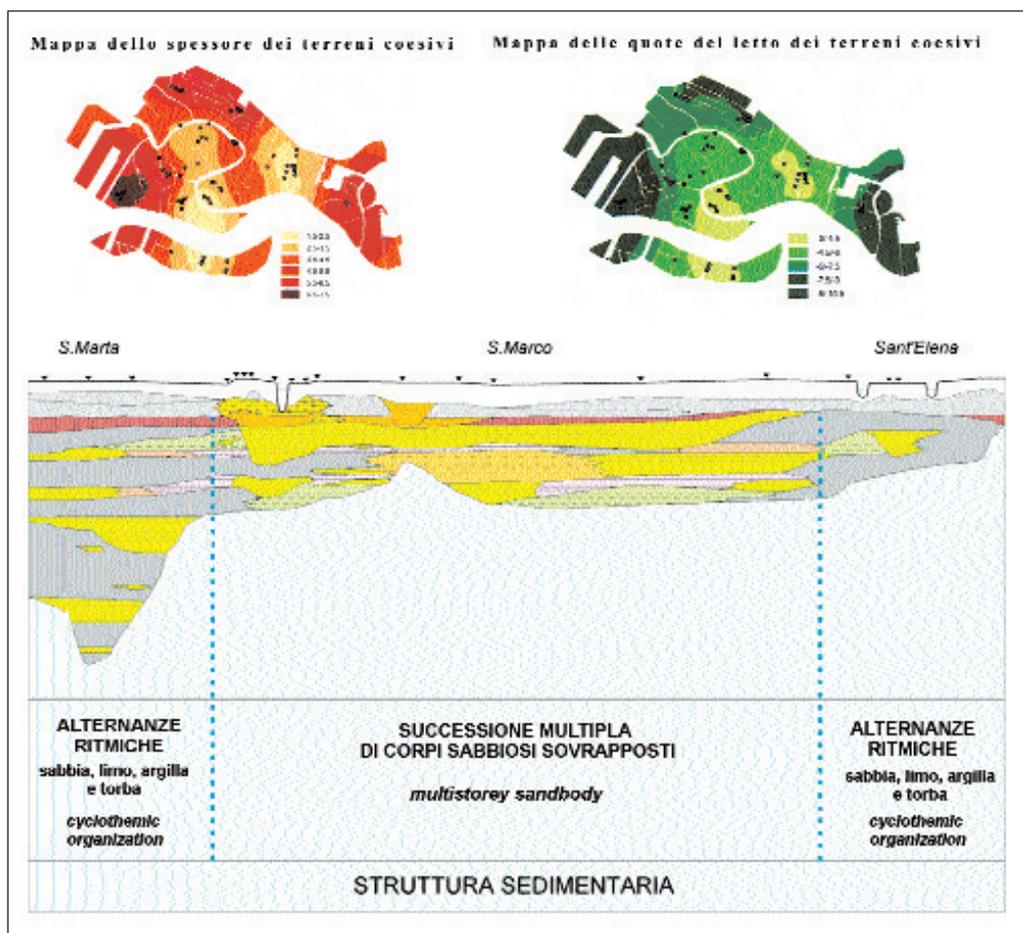


Figura 28 - Carta dello spessore e della distribuzione dei terreni coesivi (elaborazione dati Insula) e struttura sedimentaria (*multistorey sandbody*) del centro storico di Venezia.

colare la migrazione dei fluidi interstiziali connessa ai processi di consolidazione.

Lo spessore dei terreni coesivi e i parametri geotecnici dei medesimi non sono stati sinora valutati per spiegare le perdite di quota altimetrica che si registrano nelle suddette aree della città e, pertanto, la valutazione dell'incidenza della struttura sedimentaria *multistorey sandbody* sul comportamento del suolo appare, a tal riguardo, interessante. In prima analisi, la spiegazione che la subsidenza naturale sia riconducibile a fenomeni di consolidazione secondaria emerge indirettamente dai dati sperimentali di prove edometriche su campioni prelevati a San Basilio, già richiamate in figura 14, coerenti con i dati

riportati in letteratura (Ricceri L., 2007; Cola S., Simonini P., 2002), in base ai quali, per un coefficiente di consolidazione primario  $C_v = 6.9 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ , soltanto i sedimenti di deposizione assai recente possono ritenersi interessati da consolidazione primaria. E' plausibile ritenere che gli unici depositi per i quali sussista una compressibilità secondaria non trascurabile siano quelli argillosi, ricchi di sostanza organica e con livelli di torba. In mancanza di una estesa campagna sperimentale finalizzata a questa valutazione, una sperimentazione di laboratorio non convenzionale per la misura di detto coefficiente di compressibilità secondaria, per quanto sulla base di intervallo temporale non comparabi-

le con quello reale in sito, ha considerato, per la verifica di risposta di tali terreni le argille organiche prelevate nell'area di San Basilio-Santa Marta (Zezza F. *et alii*, in prep.). Il materiale è stato rimaneggiato e consolidato fino a raggiungere, sotto una tensione verticale efficace di circa 80kPa, un indice dei vuoti prossimo all'unità, ossia uno stato rappresentativo della condizione di sito per i depositi argillosi argille dei primi metri di profondità. Il valore del coefficiente  $c_{\alpha}$  dedotto dalle curve cedimento-tempo su un arco temporale di più di due mesi è prossimo a  $2 \cdot 10^{-4}$  e risulta di un ordine di grandezza inferiore rispetto ai valori deducibili delle curve cedimento-tempo rilevate nell'intervallo di 24 ore su campioni indisturbati provenienti dai sondaggi terebrati a San Basilio (par. 3.1, Figura 15).

Il modello geologico ha motivato la scelta di tre profili che sono stati selezionati per il calcolo su verticali quotate al piano di campagna tra metri 1,00 e metri 1,90 circa sul livello medio del mare (Figura 29) in grado di semplificare adeguatamente la stratigrafia. I tre profili sono caratterizzati rispettivamente da una netta prevalenza di terreno argilloso con elevato contenuto di sostanza organica (profilo A); da terreno argilloso e limoso argilloso (profilo B) e da sabbia e sabbia limosa (profilo C). Alla profondità di 14 metri è stato posizionato uno strato comune a tutta la sezione d'interesse, assunto indeformabile in sede di calcolo. Tale assunzione è plausibile anche sulla base della natura non carbonatica delle sabbie, che esclude il manifestarsi di elevati valori di crushing.

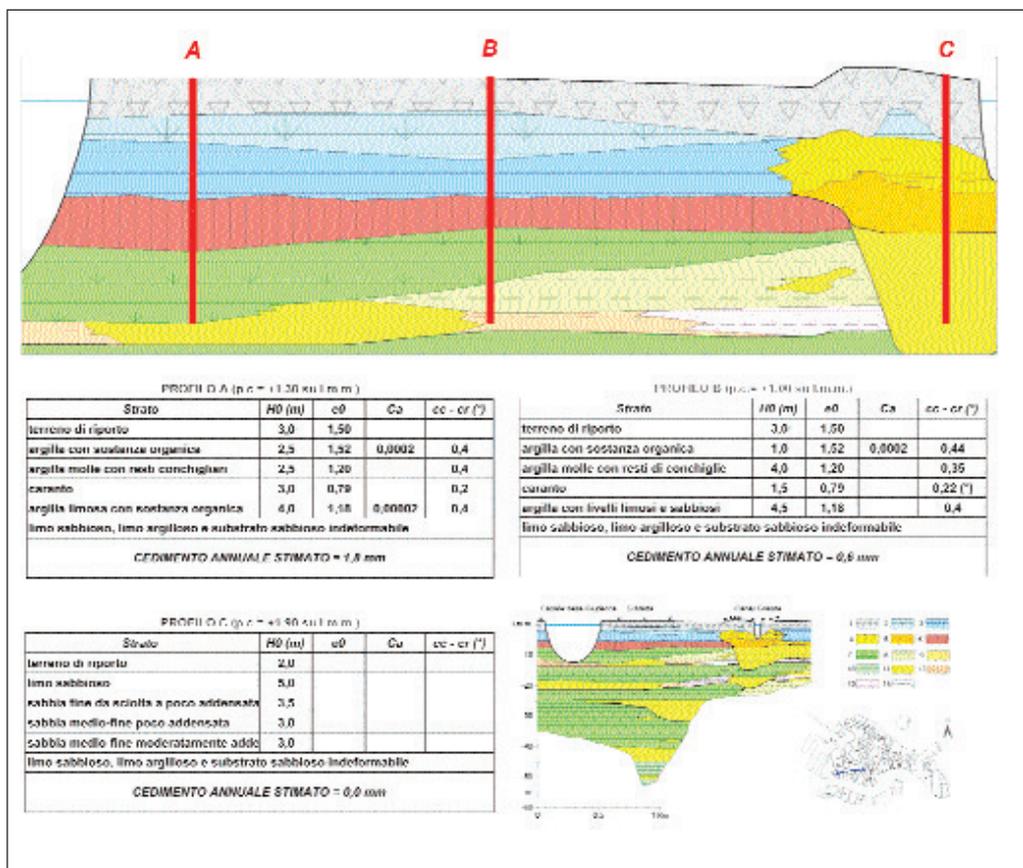


Figura 29 - Modello geologico per la scelta di tre profili selezionati per il calcolo su verticali quotate al piano di campagna per la stima della compressibilità secondaria di lungo periodo dei terreni coesivi.

Assumendo nel calcolo il suddetto valore del coefficiente  $c_{\alpha} = 2 \cdot 10^{-4}$  per gli strati di argilla organica, ridotto ad un ordine di grandezza  $c_{\alpha} = 2 \cdot 10^{-5}$  per le argille organiche con frazione limosa, e ritenendo trascurabile la compressibilità secondaria di lungo periodo per i terreni a grana fine privi di rilevante contenuto di sostanza organica, si perviene, per l'arco di un anno, a cedimenti dell'ordine di mm 1,8 e di mm 0,6, rispettivamente per i profili A e B; viceversa il cedimento risulta nullo in corrispondenza del profilo C, essendo nulla la compressibilità secondaria delle sabbie. I valori di calcolo, probabilmente in eccesso ma pur coerenti con i dati delle misurazioni relative alle due aree (occidentale ed orientale) del centro urbano di Venezia interessate da perdite di quota altimetrica, sono in fase di ulteriore controllo. Sulla base di quanto dedotto per situazioni litostratigrafiche piuttosto analoghe (Bjerrum L., 1967), infatti, le previsioni dei cedimenti sul lungo termine dovrebbero indicare tassi dell'ordine dei decimi di millimetro all'anno.

Il dato che, tuttavia, sostanzialmente i risultati preliminari di tale verifica prova che la giacitura e lo spessore dei terreni coesivi non possono considerarsi estranei ai processi in atto di deformazione e di consolidazione e, pertanto, i movimenti verticali del suolo non possono essere interamente dipendenti dalle perturbazioni locali indotte dallo sviluppo urbano. La distribuzione dei terreni coesivi nel sottosuolo dell'area urbana e il relativo spessore, il quale aumenta sia verso occidente che verso oriente, dipendono dalla presenza della struttura sedimentaria *multistorey sandbody*. Il quadro idrogeologico sotterraneo, inoltre, conferma ulteriormente che la presenza di tale struttura sedimentaria, a prevalente componente sabbiosa, favorisce l'intrusione delle acque marine e la conseguente contaminazione salina degli acquiferi superiori della sequenza pleisto-olocenica, a contatto con depositi argillosi ricchi di sostanza organica e livelli di torba (par. 3. 2, Figura 17), sicché anche alla subsidenza geochimica è lecito attribuire un'a-

liquota del tasso di subsidenza del suolo.

La rilevanza di una componente residuale della consolidazione secondaria di lungo termine apre un nuovo scenario per la ricerca in considerazione del fatto che le implicazioni sull'incidenza areale del fenomeno appartengono ad una problematica che riguarda anche l'intero bacino lagunare. Sotto questo profilo, nel campo della progettazione, le deformazioni attese, oltre ai carichi, sono elementi necessari alla definizione della soluzione progettuale. L'entità delle deformazioni che prescindono dalle variazioni di stato tensionale può apparire poco rilevante per una struttura ordinaria, ma sulle strutture di consistente sviluppo lineare potrebbero essere indotte sollecitazioni non trascurabili proprio in ragione di un differente tasso di subsidenza tra zona e zona dell'impronta di carico. Ciò ha un preciso significato per il progetto di nuove costruzioni, il monitoraggio di quelle esistenti e l'analisi dei dissesti conseguenti a cedimenti differenziali nell'ambito del contesto urbano di Venezia per i quali bisogna tener conto dei contributi legati alle variazioni di tensioni e dei contributi da queste indipendenti: le consuete ricostruzioni del sottosuolo, perché siano rappresentative, richiedono la necessaria integrazione con modelli geologici e geotecnici del sito in grado di prevedere l'evoluzione deformativa. Più in generale, le scelte di progettazione per la salvaguardia della città, le difese locali, le azioni per il recupero della laguna, il suo assetto geomorfologico e la definizione della vulnerabilità degli habitat naturali non possono sottrarsi a tale supporto conoscitivo.

## Bibliografia

- Alberotanza L., Serandrei Barbero R., Favero V., 1977 - *I sedimenti olocenici della Laguna di Venezia (bacino settentrionale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, vol. 96.
- Bjerrum L., 1967 - *Engineering geology of norwegian normally - consolidated marine clays as related to settlements of buildings*. Géotechnique, vol. XVII.
- Bondesan A, Calderoni G., Mozzi P., 2002 - *L'assetto geomorfologico della pianura veneta centro - orientale: stato delle conoscenze e nuovi dati*.

- Volume in memoria di G. Brunetta (a cura di Zunica M. e Varotto M.), Dipartimento di Geografia, Università di Padova.
- Bonatti E., 1968 - *Late Pleistocene and post - glacial stratigraphy of a sediment core from the lagoon of Venice (Italy)*. Memorie di Biogeografia Adriatica, vol. 7.
- Bortolami G. C., Carbognin L., Gatto P., 1984 - *The natural subsidence in the Lagoon of Venice*. Land Subsidence, IAHS Publ., n. 151.
- Brambati A., Carbognin L., Quaia T., Teatini P., Tosi L., 2003 - *The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence*. Episodes, vol. 26 (3).
- Caputo M., Folloni G., Gubellini A., Pieri L., Unguendoli M., 1972 - *Survey and geometric analysis of subsidence in the region of Venice and its hinterland*. Bollettino dell'Associazione Geofisica Italiana, vol. XXI, n. 1/2.
- Carbognin L., Gatto P., Mozzi G., Gambolati G., Ricceri G., 1976 - *New trend in the subsidence of Venice*. Second International Symposium on Land Subsidence, Anaheim, California.
- Carbognin L., Tosi L., Teatini P., 1995 - *Analysis of actual land subsidence in Venice, Italy*. Land subsidence, A. A. Balkema Publ., Rotterdam (The Netherlands).
- Carbognin L., Teatini P., Tosi L., 2004 - *Eustacy and land subsidence in the Venice Lagoon at the beginning of the new millennium*. Journal of Marine System, vol. 51
- Carbognin L., Teatini P., Tosi L., 2005 - *Land subsidence in the Venetian area: known and recent aspects*. Giornale di Geologia Applicata, vol. 1.
- Carta Geologica delle Tre Venezie - Foglio 51, 1954 - Magistrato alle Acque, Venezia.
- Carta Geomorfologica della Provincia di Venezia, 2004 - *Note illustrative della Carta Geomorfologica della Provincia di Venezia*. (a cura di Bondesan A., Meneghel M.), Esedra Editrice.
- Cola S., Simonini P., 2002 - *Mechanical behaviour of silty soils of the Venice Lagoon as a function of their grading characteristics*. Canadian Geotechnical Journal, 39, NRC, Canada.
- Colantoni P, Gallignani P, Lenaz R., 1980 - *La piattaforma continentale dell'Alto Adriatico dalla foce del Reno a Venezia: evoluzione ed ambienti di sedimentazione tardo - Pleistocenici ed Olocenici*, in "Ricerche sulla piattaforma continentale dell'Alto Adriatico", P. F. Oceanografia e Fondi marini, CNR, Quaderno 2.
- Colombo P., Matteotti G., 1963 - , 2004 - *Contributo allo studio delle caratteristiche geotecniche dei terreni della Laguna di Venezia e zone limitrofe*. Atti Istituto Veneto di Scienze Lettere e Arti, T CXXI, Cl. Scienze Matematiche e Naturali
- Creazza G., 1992 - *I problemi della salvaguardia di Venezia*. Ingegneri del Veneto, Dicembre 1992.
- Dorigo L., 1968 - *Le alte maree eccezionali a Venezia*. Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, Venezia
- Dorigo W., 2000 - *I "Rialzi" del suolo urbano di Venezia: una riflessione storica*. Insula Quaderni, n. 5, a. II.
- Favero V., 1983 - *Evoluzione della Laguna di Venezia ed effetti indotti da interventi antropici sulla rete fluviale circumlagunare*. Atti del Convegno "Laguna, fiumi, lidi; cinque secoli di gestione delle acque nelle Venezia", Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato alle Acque, Venezia.
- Fontes J. C., Bortolami G., 1973 - *Subsidence of the Venice area during the past 40. 000 years*. Nature, vol. 244 (5415).
- Frassetto R., 1970 - *The subsidence and storm surge effects in Venice, Italy*. Symposium on Coastal Geodesy, Munich.
- Gambini F., 1967 - *Terreni e opere di fondazione a Venezia*. VIII Convegno " il sottosuolo dei grandi centri urbani e industriali nei riguardi dei problemi geotecnica", Cagliari, . Associazione Geotecnica Italiana.
- Gatto P, 1970 - *Studi in corso sul fenomeno di subsidenza in atto a Venezia - Note litostratigrafiche*. "Incontro sulle tecniche applicative del cemento; calcestruzzi leggeri strutturali e prospettive di impiego nei territori lagunari", Fondazione Cini, CNR, TN 33, C 10.
- Gatto P., Previatello F., 1974 - *Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella Laguna di Venezia di una argilla sovraconsolidata nota come "caranto"*. CNR - ISDGM Technical Report 70.
- Gatto P., Carbognin L., 1981 - *The Lagoon of Venice: natural environmental trend and man - induced modification*. Hydrological Sciences Bulletin, vol. 26 4/12
- Grabau A. W., 1960 - *Principles of Stratigraphy*. Dover Publication, Inc., New York.
- Kent V. D., Rio D., Massari F., Kurla G., Lanci L., 2002 - *Emergence of venice during the Pleistocene*. Quaternary Science Review, vol. 21.
- Krumbein W. C., Sloss L. L., 1979 - *Stratigraphy and sedimentation*. C. E. R., Ed. Italiana (a cura di Chiocchini U., Valletta M.), Servizio Geologico d'Italia.
- Leandro G., 2000 - *Rialzi nei campi veneziani*. Insula Quaderni, n. 5, a. II.
- Leonardi P., 1969 - *Fenomeni e problemi geologici di Venezia*. Atti ufficiali del I Convegno Nazionale di Studi sui Problemi della Geologia Applicata, ANGI Milano.
- Leonardi P., Morelli C., Norinelli A., Tribalto G. - 1973

- *Sintesi geologica e geofisica riguardante l'area veneziana e zone limitrofe*. Servizio Geologico d'Italia, Vol. XXXIV.
- Lezziero A., 1999 - *Il sottosuolo di Venezia: sedimentologia e paleoambienti*. Atti del Convegno "Le Pianure. Conoscenza e Salvaguardia", Regione Emilia - Romagna, Ferrara.
- Matteotti G., 1962 - *Sulle caratteristiche dell'argilla precompressa esistente nel sottosuolo di Venezia - Marghera*. Notiziario dell'Ordine degli Ingegneri di Padova, n. 6.
- Mozzi P., 1998 - *Nascita e trasformazione della pianura del Sile*. In "Il Sile" (a cura di Bondesan A., Caniato G., Vallerani F., Zanetti M.), Cierre Ed., Verona.
- Mozzi P., Bini C., Zilocchi L., Beccatini R., Mariotti Lippi M., 2003 - *Stratigraphy, paleopedology and palinology of late Pleistocene and Holocene deposits in the landward sector of the Lagoon of Venice (Italy), in relation to caranto level*. Il Quaternario, vol. 16 (1 bis).
- McClennen C. E., Ammerman A. J., Shock S. G., 1997 - *Framework stratigraphy for the Lagoon of Venice, Italy: revealed in new seismic - reflection profiles and cores*. Journal of Coastal Research, vol. 13.
- Müllenders W., Favero V., Coremans M., Dirickx M., 1996 - *Analyses polliniques des sondages a Venise (VE 1, VE 1 bis, VE 2)*. Aardkundige Mededelingen, vol. 7.
- Oude Essink G. H. P., 2001 - *Improving fresh groundwater supply problems and solutions*. Ocean & Coastal Management, vol. 44.
- Ricceri G., Previatello P., 1972 - *Caratteristiche geotecniche del sottosuolo della Laguna Veneta*. Memorie e Studi dell'Istituto di Costruzioni Marittime e del Centro Geotecnico Veneto, n. 93.
- Ricceri G., Butterfield R. 1974 - *An analysis of compressibility data from a deep borehole in Venice*. Géotechnique, vol. 24, n. 2.
- Ricceri G., 2007 - *Il ruolo della geotecnica nella salvaguardia della città di Venezia e della sua laguna*. Rivista Italiana di Geotecnica, vol. 1/2007.
- Serandrei Barbero R., Lezziero A., Albani A., Zoppi U., 2001 - *Depositi tardo - pleistocenici ed olocenici nel sottosuolo veneziano: paleoambienti e cronologia*. Il Quaternario, vol. 14 (1).
- Teatini P., Gambolati G., Tosi L., 1995 - *A new 3 - D non - linear model of the subsidence of Venice*. Land Subsidence, IAHS Publ., vol. 234.
- Tosi L., 1994 - *L'evoluzione paleoambientale tardo - quaternaria del litorale veneziano nelle attuali conoscenze*. Il Quaternario, vol. 7.
- Tosi L., Carbognin L., Teatini P., Strozzi T., Wegmüller U., 2002 *Evidence of the present relative land stability of Venice, Italy, from land, sea and space observations*. Geophysical Research Letters, Vol. 29, n. 12.
- U. S. Geological Service, 1964 - *Removal of water and rearrangement of particles during the compaction of clayey sediments - review*. USGS Professional Paper 497 - B, in Carbognin et alii , 2005.
- Zeza F., Cotecchia F., Cafaro F., Tedone M., 2007 *Sedimentary structure and natural compaction of Upper Pleistocene - Olocene terrains in Venice*. (in prep). International Geotechnical Conference "Development of Urban Areas and Geotechnical Engineering", Saint Petersburg.

---

---

# Le maree e le acque alte a Venezia

Paolo Canestrelli  
Comune di Venezia - Centro Maree

## **Le alte maree eccezionali hanno sempre accompagnato Venezia, fin dalle sue origini**

Il fenomeno dell'acqua alta a Venezia è di antica origine. Numerose sono, infatti, le citazioni di scrittori e cronisti che vengono riportate fino ai nostri tempi. I documenti storici, presenti fin dal Medioevo purtroppo non contengono riferimenti precisi e dati di rigore scientifico circa l'ampiezza e la frequenza del fenomeno. Spesso però la loro dovizia di particolari, seppur a volte molto soggettivi, ci permette di impostare alcune ipotesi di raffronto con gli eventi di questo secolo.

La prima citazione con riferimento numerico si ha nel **1848**: "L'acqua raggiunge i 140 cm".

Con la seconda metà dell'1800 il Genio Civile di Venezia inizia le registrazioni sistematiche e ancorate a precisi riferimenti altimetrici. Troviamo pertanto documenti del **1867**: "L'acqua arriva a 153 cm". Successivamente tutti gli eventi significativi sono riportati con precisione.

Da una attenta lettura dei documenti riportati fino ai nostri tempi è possibile distinguere eventi catastrofici, al pari o superiori a quello verificatosi il 4 novembre 1966, da eventi di minore tragicità, seppur degni di cronaca. I primi possono essere quantificati in circa una decina di casi (compreso il 4 novembre 1966) per un arco di tempo di circa 1500 anni, cioè mediamente un evento ogni 150 anni, in discreto accordo, quindi, con quanto recentemente affermato dalla stampa scientifica, circa i tempi di ritorno dell'evento estremo di questo secolo. Riguardo ai fenomeni meno disastrosi è possibile ipotizzare che si tratti di inondazioni di altezza paragonabile all'attuale quota di +140 cm, in quanto essendo stati oggetto di attenzione da parte di storici e cronisti devono aver determinato sicuramente un evento eccezionale. L'insieme delle situazioni sopra elencate, di altre non riportate, e di quelle registrate nel 1900, viene proposto in figura 1, con raggruppamento cinquantennale. E' possibile quindi fare alcune osservazioni. Le alte maree ec-

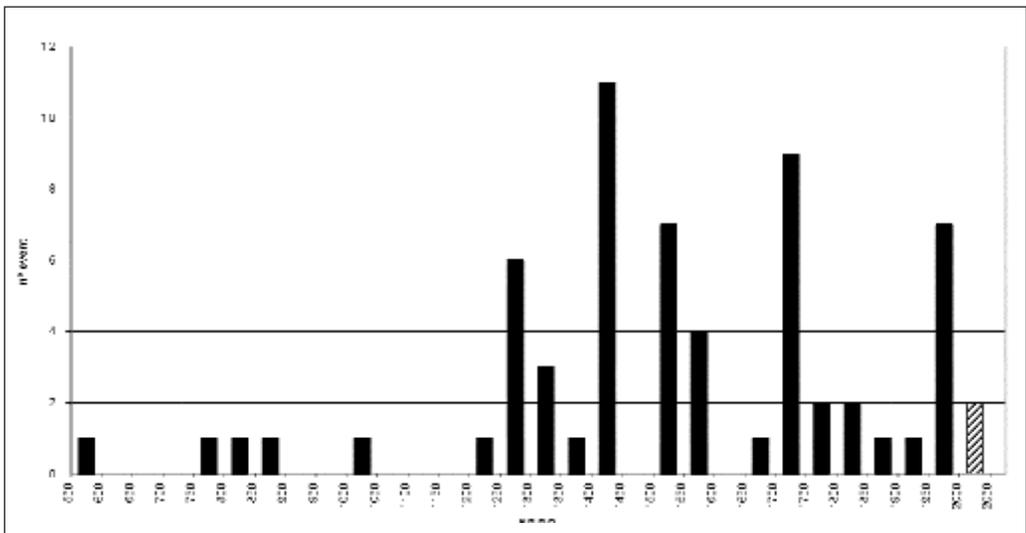


Figura 1 - Distribuzione alte maree eccezionali nella storia, fino al 2050.

cezionali hanno sempre accompagnato Venezia, fin dalle sue origini. Ad eccezione del periodo antecedente il 1250, nel quale risultano scarse registrazioni, la frequenza degli eventi si presenta abbastanza regolare e comprende anche l'ultimo secolo trascorso. Non viene evidenziata alcuna tendenza all'aumento della frequenza se non per brevi e limitati periodi (1250-1300 con 6 eventi, 1400-1450 con 11 eventi, 1500-1550 con 7 eventi, 1700-1750 con 9 eventi e 1950-1999 con 7 eventi).

Le storiche inondazioni della laguna veneta risultano però, in alcuni casi, diverse dalle alte maree eccezionali di questo secolo. Un tempo, infatti, il pericolo era costituito prevalentemente dall'acqua dei fiumi che arrivava in laguna e non trovava sbocco in mare, o comunque da una concomitanza di acqua di terra e acqua di mare, con la conseguente esaltazione del fenomeno.

A seguito dell'estromissione dei fiumi dalla laguna avvenuta nei secoli scorsi, il pericolo delle alte maree eccezionali è rappresentato invece prevalentemente dal mare.

## L'ambiente fisico

Venezia è posta in una laguna (Figura 2) che si estende lungo una fascia costiera, leggermente arcuata, per una lunghezza di

50 km ed una larghezza media di 12 km. Verso il mare è limitata da un cordone litoraneo nel quale si aprono 3 bocche o porti-canaline. Attraverso essi la marea si espande nella laguna diramandosi lungo i numerosi canali, che sono in parte sempre sommersi e in parte coperti dall'acqua solo durante le alte maree. Questa posizione riparata evi-

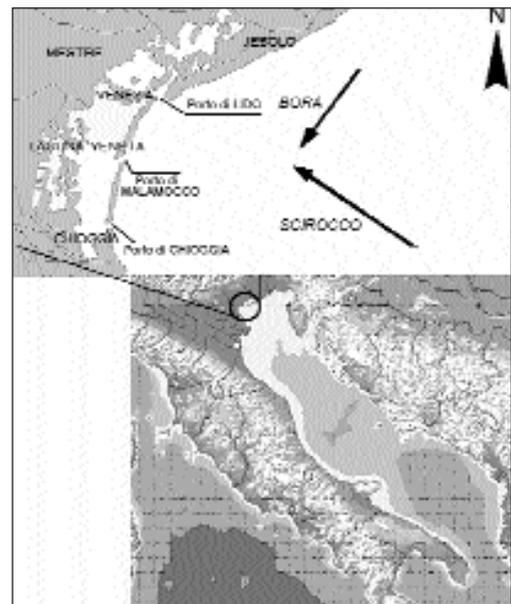


Figura 2 - Mare Adriatico e Laguna Veneta.

<b>CAUSE NATURALI</b>	<i>EUSTATISMO</i>	+ 9 cm
	<i>SUBSIDENZA</i>	+ 3 cm
<b>CAUSE ANTROPICHE</b>	<i>SUBSIDENZA</i>	+ 13 cm
<b>RECUPERO ELASTICO</b>		- 2 cm
<b>TOTALE</b>		<b>+ 23 cm</b>

Tabella 1 - Ripartizione in altezza per tipologia di fenomeno (durante il secolo XX°).

ta la violenza delle onde e ne fa una città portuale per natura, ma la relativa ampiezza delle bocche lascia entrare le onde di tipo mareale che raggiungono la città di Venezia senza ostacoli, salvo il ritardo di quasi un'ora. E' certo che la struttura artificiale data alle bocche di porto negli ultimi 150 anni, con progressivi approfondimenti nell'interesse dei traffici marittimi, ha contribuito ad aumentare la frequenza dei casi di inondazione, infatti a parità di altre condizioni (stazionarietà statistica dei livelli adriatici), essi sono favoriti dalla minore resistenza incontrata dall'acqua all'entrata in laguna.

Anche altri fattori hanno contribuito alla maggiore frequenza delle inondazioni:

l'**eustatismo**, ossia la variazione relativa del livello medio del mare, legata alle variazioni climatiche del globo. Nel secolo XX° la risalita eustatica a Venezia è stata di 9 cm (Tabella 1). Dal 1970 ad oggi, le os-

servazioni hanno dimostrato che le variazioni sono state quasi nulle; la **subsidenza**, cioè lo sprofondamento del suolo rispetto a punti del continente che assumiamo come riferimento, dovuta principalmente all'emungimento di falde acquifere del sottosuolo, che in passato è stato cospicuo, specie nell'area industriale di Marghera, ove in pochi anni, dal 1950 al 1970 l'abbassamento medio del suolo è stato di circa 12 cm. In seguito, grazie alla riduzione dei consumi e alla diversificazione delle fonti di approvvigionamento, si è avuta una ripressurizzazione delle falde con un lieve recupero altimetrico di circa 2 cm (Tabella 1).

Questi due processi hanno contribuito a far variare nel tempo il livello medio del mare (Figura 3). Attualmente esso è circa 23 cm più alto di quello del 1897, che costituisce il Piano fondamentale della rete altimetrica dello Stato. Poiché le alte maree eccezionali vengono tutt'ora riferite al livello medio del mare del 1897, esse appaiono più elevate di quanto non siano in realtà, poiché noi ne riferiamo l'altezza ad un piano

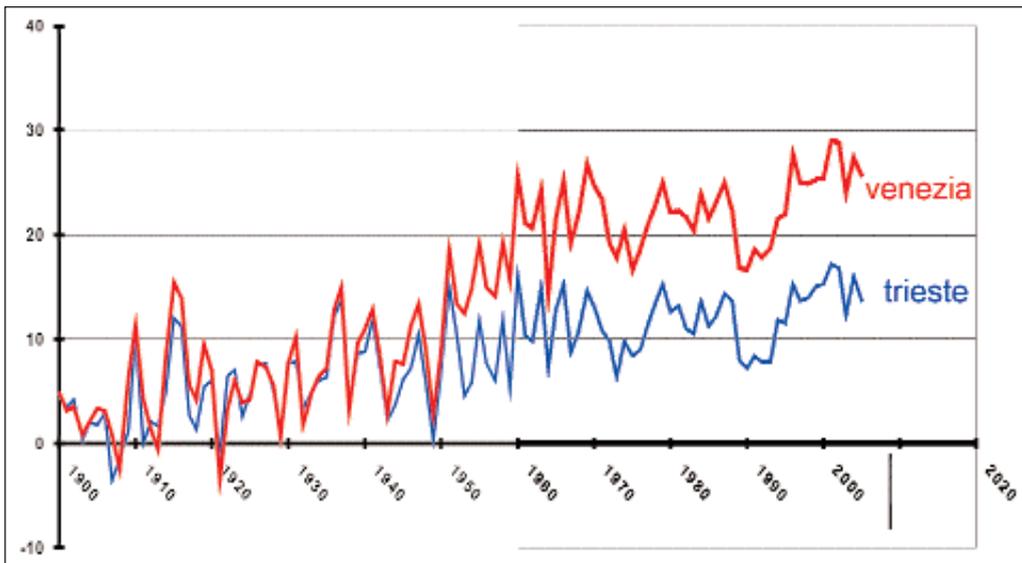


Figura 3 - Andamento del livello medio del mare a Venezia e a Trieste.

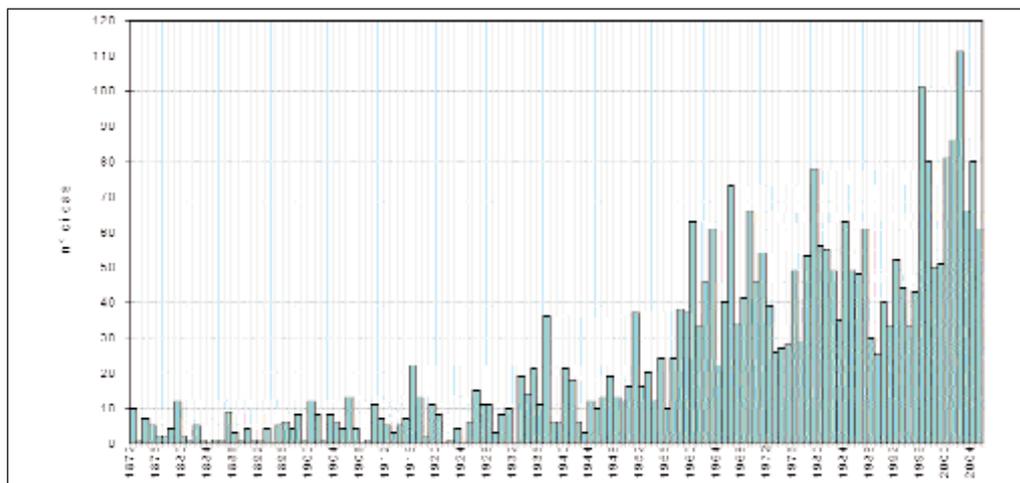


Figura 4 - Distribuzione annuale delle maree uguali e maggiori a +80 cm dal 1872 ad oggi.

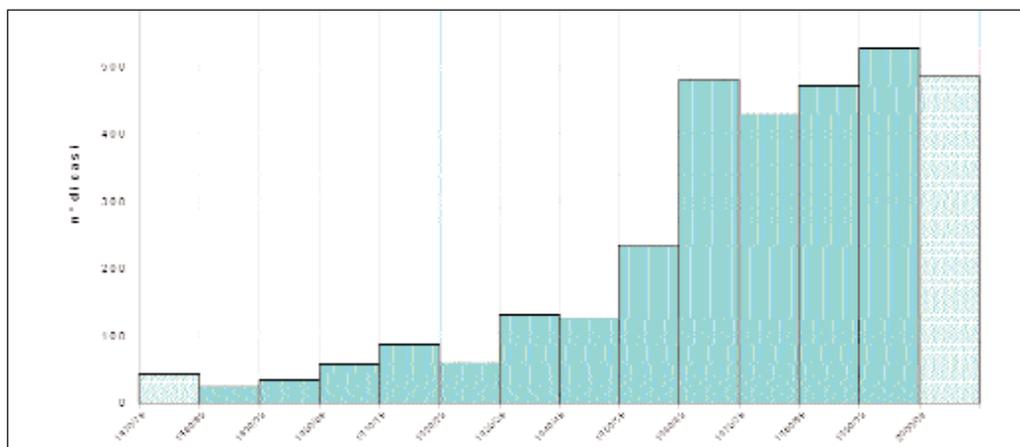


Figura 5 - Distribuzione decennale delle maree uguali e maggiori a +80 cm dal 1872 ad oggi.

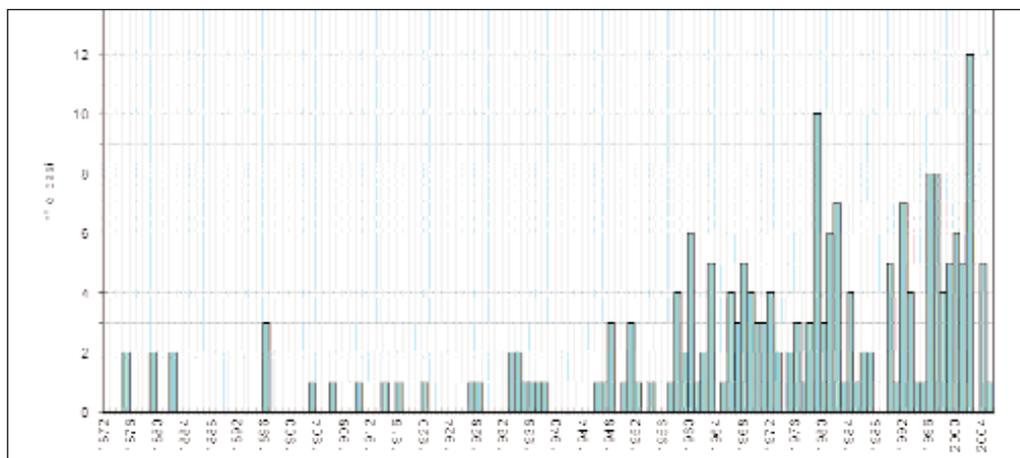


Figura 6 - Distribuzione annuale delle maree maggiori e uguali a +110 cm nel periodo 1872-2005.

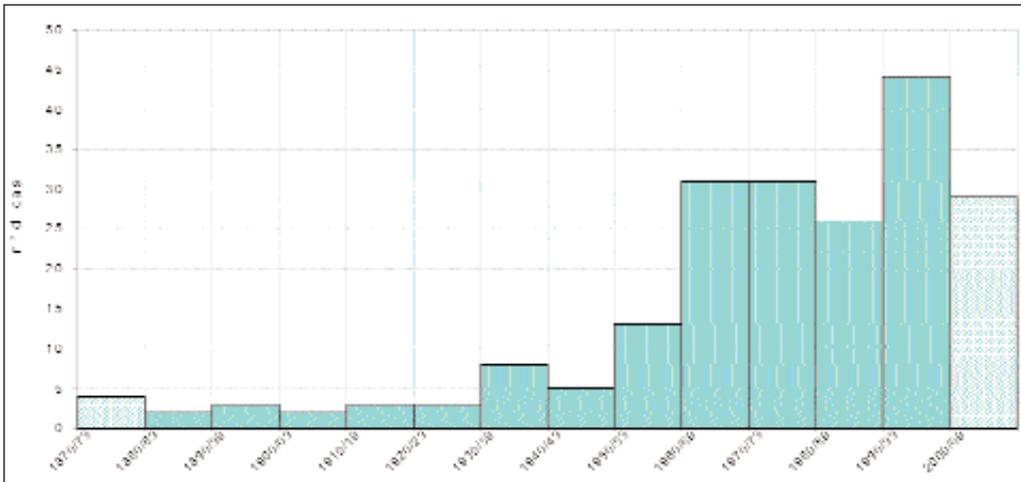


Figura 7 - Distribuzione decennale delle alte maree maggiori e uguali a +110 cm.

che nel tempo ha subito gli effetti di subsidenza ed eustatismo sopradescritti.

La perdita altimetrica di Venezia rispetto al mare che si è attestata su circa 23 cm durante il XX° secolo, nei primi anni del nuovo millennio sembra continuare; il livello medio mare in questi primi 6 anni sembra attestarsi intorno a 26 cm.

## La frequenza delle inondazioni a Venezia

A seguito della perdita altimetrica di Venezia rispetto al mare sono aumentati i livelli

di alta marea e ovviamente diminuiti quelli di bassa marea. Per capire di quanto sono aumentate le alte maree prendiamo a riferimento i livelli che hanno superato e uguagliato i +80 cm. La figura 4 mette in evidenza la distribuzione annuale di queste maree medio alte durante il periodo 1872÷2005. L'andamento è decisamente in crescita: dai pochi casi di marea all'anno, nel periodo più antico, siamo passati ad una media annuale di circa 70 casi negli ultimi anni. Facendo esattamente i conti, in 133 anni di storia a Venezia, le maree maggiori e uguali a +80 cm si presentano ora con una frequenza 10 volte più elevata (Figura 4).

Stesso risultato se si osserva la figura 5 che mostra l'andamento decennale delle maree  $\geq +80$  cm.

Per quanto concerne le alte maree che vengono annunciate dal suono delle sirene, quelle cioè che uguaglia-

INTERVALLO ISOIPSE	SUPERFICIE PARZIALE		SUPERFICIE PROGRESSIVA	
	Ha	%	Ha	%
fino a 0,90	1,1135	0,29	1,1135	0,29
da 0,91 a 1,00	12,7628	3,27	13,8763	3,56
da 1,01 a 1,10	31,9254	8,18	45,8017	11,74
da 1,11 a 1,20	91,5527	23,44	137,3544	35,18
da 1,21 a 1,30	131,1158	33,57	268,4702	68,75
da 1,31 a 1,40	83,7408	21,44	352,211	90,19
da 1,41 a 1,50	23,9524	6,14	376,1634	96,33
da 1,51 a 1,60	11,4864	2,94	387,6498	99,27
da 1,61 a 1,70	1,8125	0,47	389,4623	99,74
da 1,71 a 1,80	0,4438	0,12	389,9061	99,86
da 1,81 a 1,90	0,525	0,14	390,4311	100
oltre 1,90	390,4311	100		

Tabella 2 - Distribuzione della superficie della città di Venezia e sua % di allagamento alle varie quote.

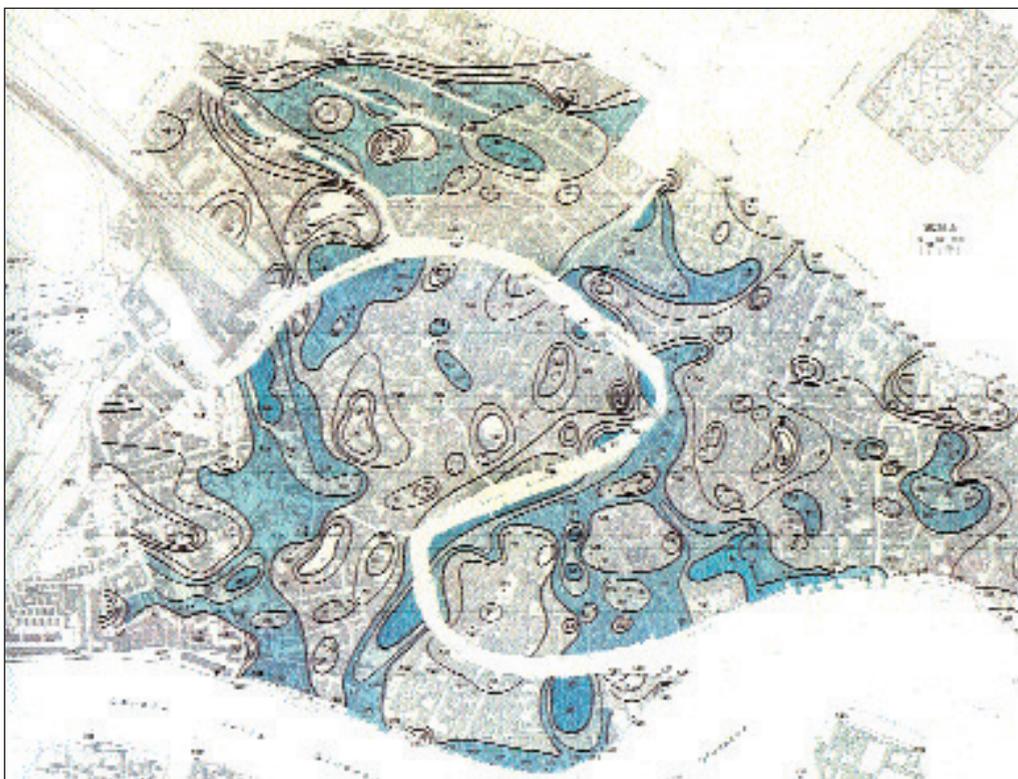


Figura 8 - Altimetria della città di Venezia (Frassetto, 1976).

no e superano i +110 cm sullo zero di Punta della Salute, riferimento per la città di Venezia, si ottiene sempre un ampio aumento della frequenza, superiore al precedente, fattore moltiplicativo 13. La figura 6 mostra infatti la distribuzione annuale delle frequenze  $\geq +110$  cm nella quale è evidente la tendenza al notevole aumento. La figura 7, che propone la distribuzione decennale di questi ultimi eventi di marea, mette in evidenza come nell'arco temporale di 133 anni si siano avuti due rapidi cambiamenti (aumenti) di frequenza dei fenomeni di inondazione. Il primo nel decennio degli anni Sessanta nel quale la frequenza è passata dai pochi casi al decennio a circa 30 eventi al decennio. Il secondo forte aumento è avvenuto negli anni Novanta con un passaggio di frequenza a 44 eventi al decennio. La tendenza dei primi anni del nuovo decennio sembra mostrare una conferma di questa frequenza.

Aumentando il livello medio del mare gli

eventi di marea sono diventati più frequenti, mentre le basse maree sono divenute meno frequenti. Sempre considerando un arco temporale di 133 anni relativamente alle maree minori e uguali a -50 cm si è registrata una diminuzione di frequenza di circa 6 volte.

## L'altimetria della città di Venezia e l'attuale tempo di ritorno di un'alta marea

La città di Venezia è stata fondata e costruita sull'acqua per garantire una sua insospugnabilità. Purtroppo la città deve pagare le conseguenze di essere una città d'acqua, costruita soltanto pochi decimetri sopra il livello di oscillazione della marea. Se però un tempo i problemi delle inondazioni della città di Venezia provenivano dall'apporto dei fiumi che sbocavano in laguna, nei tempi più recenti questo problema si deve individuare verso il Mare Adriatico.

Gli idraulici veneziani infatti hanno deviato il corso dei grandi fiumi che portavano la loro pericolosa acqua all'interno della laguna, facendo in modo di riversarla all'esterno rendendo idraulicamente più sicura la laguna. Nella seconda metà del 1800 invece, a causa da un lato dalla subsidenza del territorio e dall'aumento del livello medio del mare, ma soprattutto a causa dell'approfondimento dei canali portuali per lo sviluppo dell'economia legata alla navigazione, il pericolo di Venezia arriva dal mare. L'approfondimento dei fondali delle bocche portuali agli attuali 12-14 m ha fatto diminuire le resistenze idrauliche che in-

contrava l'acqua di mare ad entrare in laguna e quindi soprattutto durante gli eventi con forte vento di scirocco, l'acqua entra più velocemente in laguna.

La città è attualmente altimetricamente compresa per il 90% tra i 90 cm e i 140 cm, cioè quasi tutta la città è contenuta in appena 50 cm d'acqua. In figura 8 si possono osservare le aree di Venezia poste a differente quota.

In tabella 2 viene riportata la distribuzione dell'altimetria del centro storico di Venezia suddivisa per altezze di marea, a quote progressive di 10 cm, espresse in percentuale parziale e progressiva oltre che in percentua-

le di territorio. Soltanto lo 0,29% del territorio del centro storico rimane al di sotto della quota altimetrica di 90 cm e pertanto viene allagato con la medesima altezza di marea; in questa percentuale è compresa la piazza San Marco simbolo della città lagunare, sulla quale però è in corso un progetto di salvaguardia altimetrica per portarla in sicurezza alla quota di 100 cm.

Nella tabella 3 si possono analizzare il numero di eventi sopra una quota stabilita e la fre-

	Livelli di marea	PERIODO CONSIDERATO 1966-2006			
		PI RIMBORSI N/A		n casi	FREQUENZA n. casi/anno
		ore	min		
<b>ALTA MAREA ECCEZIONALE</b>	> = 190 cm	0	10	1	1/41
	> = 180 cm	1	30	1	1/41
Frequenza variabile da una volta ogni 5 anni ad una volta ogni 150 anni circa	> = 170 cm	5	50	1	1/41
	> = 160 cm	9	20	2	1/20.5
	> = 150 cm	16	20	3	1/13.7
Oltre il 90% del C.S. allagato	> = 140 cm	26	46	8	1/6.1
<b>MAREA MEDIO - ALTA</b>	> = 130 cm	59	20	25	1/1.6
	> = 120 cm	150	40	63	1.6
Freq. variabile da 5 volte/anno a 1 evento ogni anno o mezzo	> = 110 cm	357	35	148	3.7
	> = 100 cm	838	66	366	9.2
	> = 90 cm	2112	40	874	21.9
Inizio allagamento P. S. Marco	> = 80 cm	5442	10	2188	54.7
	> = 70 cm	13815	10	5265	131.6
	> = 60 cm	31394	40	13370	334.3
	> = 50 cm	61783	20	16843	421.1
	> = 40 cm	102154	20	22466	562.2
	> = 30 cm	148728	30	27061	676.5
	> = 20 cm	196067	50	30975	774.4
	> = 10 cm	239980	30	36023	875.6
<b>MAREA NORMALE</b>	> = 0 cm	276995	00	39441	986.0
	< 0 cm	76784	00	17477	436.9
	< -10 cm	47342	20	12697	317.4
	< -20 cm	26716	30	8749	218.7
	< -30 cm	12706	60	5231	130.8
	< -40 cm	4697	20	2250	56.3
	< -50 cm	1352	40	760	19.0
	< -60 cm	338	30	209	5.2
	< -70 cm	69	35	48	1.2
	< -80 cm	11	30	11	1/3.7
	< -90 cm	1	00	2	1/20.5
<b>BASSA MAREA</b>	< -100 cm	0	00	0	0

Tabella 3 - Distribuzione del numero di casi e permanenza della marea per quote prestabilite, di passo ogni 10 cm, e frequenza annua media nell'ultimo quarantennio.

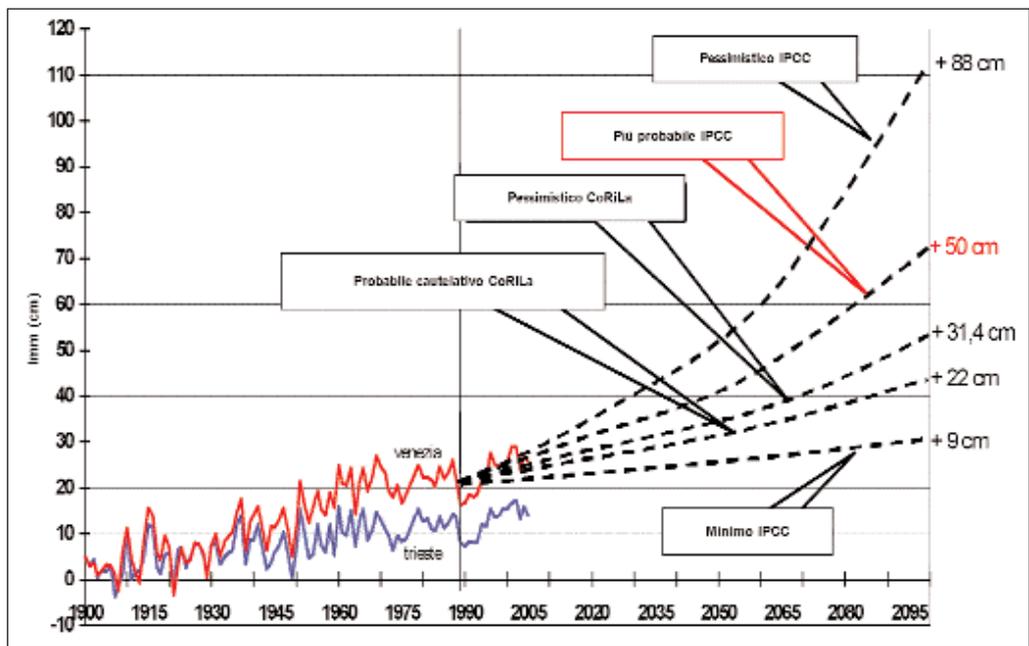


Tabella 4 - Evoluzione del livello medio del Mare a Venezia e previsione di scenari futuri (IPCC2001 and CoRiLa).

quenza di registrazione osservata negli ultimi 40 anni. È evidente la frequenza di un'alta marea eccezionale (livello  $\geq +140$  cm) che attualmente si attesta a un evento ogni 5 anni, mentre i  $+110$  cm (allarme sirene in centro storico) si verificano in media 3,7 volte l'anno e i  $+80$  cm (marea sostenuta) si ripetono mediamente 53 volte l'anno. Si ponga l'attenzione che per l'alta marea eccezionale del 4 novembre 1966, durante la quale è stato raggiunto il livello massimo di 194 cm, si sia presentata una sola volta negli ultimi 40 anni e pertanto è stato indicata una frequenza analoga. In realtà altri studi, compiuti su una più ampia serie storica, portano a considerare un tempo di ritorno stimato, per eventi di questa natura, dell'ordine di un evento ogni 150-200 anni.

## Scenari futuri

Nella tabella 4 vengono riportati il livello medio del mare registrato a Venezia

e le due più significative proiezioni del livello medio del mare che si stima si possa verificare durante il prossimo centennio a causa del riscaldamento terrestre globale.

La prima e più rilevante proiezione, formulata dall'Istituto più accreditato, a livello mondiale, sul cambiamento climatico mondiale, presenta un intervallo di confidenza piuttosto ampio (segno di elevata incertezza estimativa) dagli ottimistici 9 cm ai pessimistici 88 cm; valore medio probabile 50 cm. La seconda stima proposta dal Consorzio Ricerche Lagunari si attesta invece su valori più ottimistici. Il valore precauzionale viene stimato in 22 cm, mentre quello pessimistico in 31,4 cm.

Nel caso si verificasse lo scenario medio dell'IPCC ( $+50$  cm) le alte maree  $+80$  cm passerebbero dagli attuali 53 eventi all'anno ai 659 all'anno e analogamente le alte maree di  $+110$  cm passerebbero dalle 3,7 volte all'anno a 252 all'anno, rendendo probabilmente impossibile la permanenza di molte attività umane nella città di Venezia.

---

---

## Conclusioni

Fulvio Zezza  
Università IUAV di Venezia  
Facoltà di Architettura

**A**

l saluto che porgo ai presenti a nome del Magnifico Rettore dell'Università IUAV di Venezia Professor Carlo Magnani, aggiungo le mie riflessioni sui lavori del Convegno non prima di aver espresso il sincero apprezzamento alla Provincia di Venezia e alla Società Italiana di Geologia Ambientale per l'odierno contributo di conoscenza ai problemi dell'habitat geologico nel settore della geologia urbana. Mi pare anche doveroso riconoscere alla SIGEA l'impegno a livello nazionale di organizzare riunioni periodiche di studiosi ed esperti per trattare problematiche tuttora aperte le quali per la chiarezza e la competenza dei relatori invitati forniscono sempre elementi di valutazione, utili a coloro che debbono confrontarsi con il territorio e, in modo specifico, con le problematiche territoriali connesse con le dinamiche in atto nelle aree vulnerabili. In merito all'area urbana di Venezia, SIGEA e Provincia, di concerto, pongono quale obiettivo del Convegno la definizione dello stato dell'arte della geologia del Veneziano e quello degli interventi che in varia forma sono in corso di attuazione. Non sfugge ai convenuti l'attualità e l'importanza dei temi proposti che riguardano una tra le città più emblematiche del rapporto geologia-urbanistica per le strette

connessioni con le attività e la qualità di vita dei cittadini. L'iniziativa è meritoria e non può essere considerata a livello di mera azione di sensibilizzazione ai problemi della città quanto piuttosto un modo per far recepire che lo studio dei rapporti tra l'uomo e l'ambiente ha bisogno di essere affrontato secondo una procedura che poggi su solide basi scientifiche, tecniche e professionali affinché si traggano i criteri per orientare nel modo più opportuno l'interazione tra l'uomo e la natura. D'altro canto, una iniziativa che si incentra sul ruolo della geologia non può non ricordare a coloro che già negli anni Settanta erano impegnati nella difesa del suolo che i centri abitati sono da sempre un obiettivo della ricerca in campo geologico. Allora l'attenzione degli studiosi era richiamata dal Servizio Geologico d'Italia «impegnato - come affermava il direttore Attilio Moretti - per la salvaguardia dei tanti centri abitati del nostro Paese, insigni e oscuri, colpiti o minacciati da calamità naturali e non di rado dagli squilibri del suolo causati da irrazionali interventi dell'uomo». In quegli anni, infatti, veniva istituito dal Servizio il Gruppo di Lavoro, composto da Leonardi, Morelli, Norinelli e Tribalto, che pubblicò la *Sintesi geologica dell'area veneziana e delle zone limitrofe* dando l'avvio ad una serie di ricerche che ancor oggi impegnano gli studiosi. Nel tempo sono stati definiti molti aspetti del bacino lagunare e approfonditi molti argomenti legati alla geologia di un territorio delicato e vulnerabile, rimarcato anche negli interventi dell'odierno Convegno.

L'approfondita analisi che proviene dal contributo offerto dai relatori ai vari temi in discussione ha posto in evidenza quale impulso la geologia urbana dell'hinterland di Venezia abbia avuto negli ultimi anni e stimola, di conseguenza, a talune riflessioni sulle conoscenze del settore geologico-ambientale, da un lato, e sul momento di raccordo, dall'altro, tra il mondo accademico, quello professionale e quello tecnico-amministrativo.

I dati delle ricerche in corso sul bacino lagunare (Bondesan) rappresentano indubbiamente un approfondimento della cono-

scenza geologica del territorio d'interesse sia in merito alla comprensione degli eventi naturali e antropici che caratterizzano le sequenze stratigrafiche sia in relazione al modello geologico delle vicende deposizionali, dall'ultima glaciazione all'attuale. Occorre insistere ancora sulle ricerche sedimentologico-stratigrafiche nell'ambito delle successioni degli ambienti deposizionali, lagunare e fluviale, del centro storico di Venezia dal momento che la ricostruzione delle ricorrenze verticali e orizzontali di facies potrà offrire un'immagine più circostanziata di tali ambienti e tradursi in beneficio a vantaggio di chi opera nel centro urbano. D'altro canto, il fenomeno di subsidenza, chiaramente trattato nei vari e fondamentali aspetti (Carbognin), dalle cause, agli effetti e agli scenari per il prossimo futuro, richiede ancora margini di approfondimento a livello interpretativo per la stima della compattazione in rapporto alle proprietà scalari e vettoriali dei depositi di laguna e del primo alluvionale che influenzano il comportamento geo-meccanico dei terreni dell'immediato sottosuolo.

In quest'ottica si colloca anche l'approfondimento della ricerca per la conoscenza delle condizioni idrogeologiche del sottosuolo. Tale approfondimento è orientato tuttora al sistema di falde acquifere confinate e semiconfinate e riguarda fondamentalmente le problematiche inerenti la vulnerabilità derivante dall'inquinamento di origine antropica ed i suoi effetti (Zangheri). Pare non solo conveniente attendersi su tali aspetti ma occuparsi pure dei livelli idrici superficiali per i noti effetti sul costruito e sull'incidenza che essi possono avere su ogni scelta di soluzione progettuale di opere in corso di realizzazione. Gli approfondimenti in seno al contesto del bacino lagunare interessano pure la dinamica costiera che l'apprezzata trattazione dell'ambiente naturale e di quello antropizzato (Fontolan) dimostra di dover mettere ulteriormente a fuoco, soprattutto in riferimento alle problematiche indotte dall'irrigidimento del sistema e dalle modificazioni delle linee di riva e dei tratti spiaggiati lungo i quali costruzioni e opere

di protezione incidono sull'andamento delle correnti e determinano profonde erosioni, anche per l'eliminazione o la riduzione degli apporti nel bacino.

Le prospettive delle ricerche geologiche nel Veneziano e gli interventi sul territorio richiedono uno stimolo particolare per tradurre la lettura dei dati geologici in risultati utili per la pianificazione, come è stato puntualizzato nella prima relazione (Fantin) seguita all'apertura del Convegno, e, soprattutto, la capacità di saperli collocare in modo sapiente nell'ambito di un approccio interdisciplinare per gli interventi corretti sul territorio. D'altro canto, il giusto richiamo a ciò che di geologico deve considerarsi rilevante, sia per le costruzioni che per la modellazione del sottosuolo dei siti oggetto di interesse, costituisce nella pratica professionale del geologo, che tiene lontana l'astrattezza e fonda le proprie capacità sulla competenza (Belli), il mezzo indispensabile per il dialogo con amministratori e tecnici e assegna un ruolo di primo piano a questa professione; in particolar modo quando nelle aree vulnerabili si deve adeguare la struttura al sito e conferire ad essa la necessaria sicurezza.

Quanto al momento di raccordo tra il mondo accademico, quello professionale e quello tecnico-amministrativo, va osservato che ormai in ogni Convegno, che abbia tra i temi in discussione la pianificazione dell'uso del territorio e la scelta dei siti più idonei per gli insediamenti, le infrastrutture e le attività antropiche e che si soffermi anche sulla valutazione dei rischi geologici, l'analisi accurata dei dati territoriali e la rappresentazione degli attributi territoriali accessibile e utile per i fruitori, si auspica la convergenza dei saperi e delle esperienze. La Facoltà di Architettura dell'Università IUAV di Venezia ha già posto a se stessa, come assunto metodologico, il problema della Terra come sistema dinamico e intende approfondire in quale misura può stabilirsi un rapporto tra l'architettura e la geologia in considerazione che i piani di progetto debbono essere proposti in armonia con le condizioni territoriali, le dinamiche ambientali, i ter-

reni sui quali fondare e i materiali da costruzione. È stato organizzato un Convegno nazionale a tal proposito lo scorso anno (2005 n.d.r.) in novembre che ha avuto per tema "La riqualificazione delle città e dei territori: architettura e scienze a confronto" ed è in via di organizzazione per novembre del prossimo anno un altro convegno incentrato sul centro storico di Venezia. La Facoltà di Architettura, inoltre, ha attribuito assegni di ricerca sul tema del degrado strutturale dell'esistente costruito per l'analisi attenta delle cause nel loro complesso che sostanziano e determinano il fenomeno: si punta a costruire un modello che sulla scorta degli attributi territoriali (litostratigrafia, acque sotterranee e geotecnica) del primo sottosuolo possa ispirare i criteri per gli interventi. Posso confermare, riprendendo alcuni concetti espressi nella mia relazione generale a quel Convegno, che lo IUAV guarda con interesse, certamente nuovo rispetto al passato, alla qualità delle informazioni geologiche per ancorare alla assoluta trasparenza le scelte di progetto e per rafforzare i sistemi di pianificazione e di progettazione. È sull'area vulnerabile di Venezia e della sua laguna che si concentra la consapevolezza di promuovere nuovi approfondimenti in grado di concorrere a risolvere problemi rimasti ancora aperti. Si è convinti della necessità di una svolta, per raggiungere l'obiettivo, verso la sostenibilità che nel caso specifico può avvalersi di sistemi efficaci di interazione definiti da approcci di tipo interdisciplinare nei quali la geologia può dare un reale contributo in merito alla presenza degli impatti derivanti dalle dinamiche ambientali. La politica delle città in Italia e in Europa prevede il ridisegno, laddove possibile e necessario, dei nuclei urbani con progetti che dovranno essere in grado di determinare il futuro innovativo delle città stesse con una decisa modernizzazione urbanistica che coinvolgerà edifici pubblici e privati, infrastrutture e trasporti.

Lo scenario estremamente complesso compendia ambiti diversi tra i quali figura l'ambiente fisico e geologico e, pertanto,

le analisi territoriali non convincenti potrebbero far ripetere gli stessi errori del passato. A ben considerare, se in tema di valutazione ambientale strategica la modellistica valutativa ha già raggiunto un obiettivo importante con l'integrazione dei sistemi e la messa in rete di tutte le informazioni disponibili, per le analisi territoriali delle zone vulnerabili solo una procedura che si basi su un metodo integrato può diventare la sicura base operativa fondata su un approccio di tipo interdisciplinare tra le discipline dell'architettura e delle scienze della terra. Pensare di esprimere nuove concezioni strutturali all'interno della progettazione non significa confondere o ridimensionare la cultura propria di ogni disciplina che concorre al progetto quanto, piuttosto, aprirsi a rapporti in grado di

dare contributi arricchenti. E' una impostazione questa che la ricerca scientifica facilita nel continuo rinnovarsi per giungere nella pratica a proporre soluzioni tecniche ai problemi della società civile sempre più elevate, ispirate a rapporti interdisciplinari e fondate sulla creatività e l'apprezzabile qualità. La riqualificazione, anche funzionale, delle nostre città e dei nostri territori, ha ricordato Carlo Magnani a quel Convegno, attende protagonisti in grado di rimettere in discussione consuetudini ed abitudini, frutto di un processo di divisione del lavoro e del sapere, di convenienze e di arretratezze professionali, nonché una frammentazione di competenze che i fenomeni con i quali ci si dovrà confrontare richiedono urgentemente di superare.

# Appendice



Convegno Nazionale  
"La geologia urbana di Venezia"  
(Mestre, 24 novembre 2006)

MOZIONE FINALE

**A**lla chiusura del convegno "La geologia urbana di Venezia", tenutosi il 24 novembre 2006 a Mestre presso l'Auditorium del Centro Servizi della Provincia di Venezia ed organizzato dall'Assessorato alla Difesa del Suolo - Servizio Geologico della stessa Provincia di Venezia e dalla SIGEA - Società Italiana di Geologia Ambientale, i partecipanti hanno voluto approvare - all'unanimità - la mozione finale sotto riportata affinché i diversi ed importanti temi trattati nell'intera giornata da tanti illustri relatori e poi ampiamente dibattuti dai convegnisti non restassero solo patrimonio dei tecnici ed esperti presenti ma potessero dare risposte ed indicazioni ai principali problemi geoambientali che affliggono il territorio veneziano, limitando non solo la sicurezza del tessuto urbano e della popolazione, ma anche lo sviluppo economico ed ambientale.

Risposte ed indicazioni per la soluzione di tali problemi erano state sollecitate dal Sindaco della Città di Venezia, prof. Massimo Cacciari, durante il suo accorato intervento d'apertura. Il primo tema affrontato nel convegno è stato la caratterizzazione geologica ed idrogeologica del territorio veneziano, in quanto tali aspetti costituiscono le conoscenze di base per indagare i processi ambientali in atto. Molto si è fatto nei

tempi recenti a questo riguardo, ma ancora vi sono importanti lacune conoscitive che meritano di essere indagate.

L'argomento successivo è stato quello della subsidenza (abbassamento del suolo); il suo monitoraggio viene attualmente svolto con l'impiego di tecnologie particolarmente avanzate, che comprendono anche l'uso dei satelliti. Recenti studi, realizzati insieme da CNR-ISMAR, Provincia di Venezia e Magistrato alle Acque, hanno messo in evidenza che la velocità di subsidenza nella città di Venezia è decisamente rallentata, anche in seguito ad alcuni interventi messi in opera dalle Autorità competenti. Malgrado ciò vi sono ancora ampie parti della provincia nei quali questo fenomeno resta assai preoccupante. Un aspetto importante è che, in base a tali sistemi di monitoraggio avanzato (che rendono Venezia uno dei modelli mondiali per lo studio della subsidenza), è stato possibile meglio delimitare, a seconda della velocità del fenomeno, le varie zone subsidenti e la loro tendenza evolutiva.

Oltre a quanto già fatto per contrastare la subsidenza sono state esaminate nel dettaglio varie possibilità tecniche per risolvere i problemi legati al continuo aumento delle acque alte superiori alla media; dall'innalzamento delle fondamenta e delle calli a quello di Piazza San Marco fino ad un innovativo sistema che consente di innalzare edifici singoli o blocchi d'edifici, ciò che permetterebbe un recupero dei vani al piano terra ed il risanamento degli edifici. Tutte pratiche costose ma globalmente necessarie per assicurare la vivibilità di Venezia, e ciò anche senza considerare il ben noto problema della difesa della città dalle acque alte di maggior entità.

Per quanto concerne l'arretramento delle coste, si è visto che tale problema è strettamente connesso con la subsidenza: è stato messo in evidenza che l'avanzamento delle scienze geologiche ha potuto meglio quantificare il rischio d'erosione attraverso opportuna cartografia tematica ("Rischio da mareggiate" realizzato dalla Pro-

vincia). Anche in questo caso si è visto come la gestione dei fenomeni che concorrono alla subsidenza siano spesso interdipendenti con quelli che conducono all'arretramento costiero: è evidente la necessità di studi interdisciplinari tra ingegneri, geologi, architetti, archeologi, storici ecc. che rappresentano l'unico modo per comprendere la complessità di tali fenomeni, le loro manifestazioni ed evoluzione e fornire i criteri per i relativi correttivi, che hanno tante implicazioni economiche e sociali. Inoltre, si è considerata pure la presenza di giacimenti di sabbia al largo delle coste per ripascere le spiagge e le relative problematiche di utilizzo, tematica anche questa in forte e costante sviluppo.

Sulla salvaguardia della laguna nel suo complesso e sulla bonifica di Porto Marghera il congresso ha pure discusso a lungo; si è visto quanto lavoro è stato fatto, ma anche quanto ancora resta da fare per sistemare le rive, ricostruire barene e velme, bonificare o mettere in sicurezza i terreni inquinati, ecc. Anche in questi casi si è vista la fondamentale importanza della conoscenza, preventiva ed adeguata, della situazione geologica ed idrogeologica locale realizzata da esperti.

Anche il rischio idraulico è stato affrontato, tema ancor più attuale per la recente alluvione di metà settembre che ha interessato un'ampia parte di Mestre e dei comuni limitrofi. Il disordine urbanistico e la pianificazione relativa fatta per troppo tempo senza considerare che il territorio presenta intrinsecamente delle sue vulnerabilità e vocazioni sono stati i grandi imputati. La geologia può dare anche in questo campo un importante supporto sia agli ingegneri idraulici che ai pianificatori, come discusso in modo specifico.

Infine, sono state prese in considerazione le opere in sotterraneo che sempre più vengono progettate in tutto il mondo a causa della saturazione del suolo in superficie. Basti pensare, per Venezia, a passante, sublagunare, tunnel tangenziale,

grandi parcheggi in sotterraneo ecc. Le loro implicazioni geologiche ed idrogeologiche sono di tutta evidenza, tanto più che si tratta di opere che presuppongono una gestione a tempo indeterminato.

Da tutto l'insieme dei temi trattati risulta la necessità che:

- tutte le problematiche geologiche ed idrogeologiche vengano affrontate già nella fase della progettazione preliminare;
- vi siano banche dati geologiche ed un modello geologico del territorio, come quanto sta efficacemente facendo il Servizio Geologico della Provincia;
- vi sia un coordinamento generale degli studi geologici per superare le cono-

scenze puntuali e mirare ad un'analisi integrata del sistema sottosuolo, alla luce anche delle recenti conoscenze acquisite nel settore della geologia e geomorfologia di pianura;

- venga decisamente perfezionata la conoscenza della situazione idrogeologica almeno del primo centinaio di metri, anche per consentire di utilizzare modelli previsionali basati su dati concreti;
- vengano non solo mantenuti ma anche ampliati i finanziamenti in via generale per gli studi che consentono di programmare e progettare le opere indispensabili per la salvaguardia di Venezia e della sua laguna, dato anche il loro esiguo costo rispetto alle opere relative.



## Partecipanti

Abbà	Tiziano	Borgoricco	PD	Boaga	Jacopo	Venezia	VE	
Accoto	Valentina	Vicenza	VI	Bondesan	Aldino	Torre di Mosto	VE	
Albanese	Diego	Bolzano	Vicentino	VI	Bonetto	Alessio	Marghera	VE
Alberti	Francesco	Roma	RM	Borromeo	Christian	Chioggia	VE	
Amorosi	Alessandro	Bologna	BO	Bortolami	Giancarlo	Torino	TO	
Anci	Giovanni	Venezia	VE	Boscolo	Claudio	Venezia	VE	
Andriolo	Stagno Guido	Padova	PD	Bottan	Massimiliano	Venezia	VE	
Anoè	Nicodemo	Venezia	VE	Bottazzo	Lorenzo	Venezia	VE	
Armento	Maria Concetta	Venezia	VE	Brunamonte	Fabio	Torino	TO	
Arziliero	Luciano	Ferrara	FE	Busoni	Simone	Castelfranco	TV	
Aurighi	Marina	Padova	PD	Cacciari	Massimo	Venezia	VE	
Babetto	Susanna	Venezia	VE	Calligaro	Marco	Venezia	VE	
Baggio	Paolo	Padova	PD	Cambruzzi	Tullio	Venezia	VE	
Baglioni	Alberto	Venezia	VE	Cammarata	Filippo	Venezia	VE	
Baioni	Davide	Pesaro	PU	Campaci	Paolo	Cavarzere	VE	
Balducci	Massimiliano	Venezia	VE	Campana	Riccardo	Padova	PD	
Balzano	Savino	Venezia	VE	Canestrelli	Paolo	Venezia	VE	
Baratto	Filippo	Casale di Scodosia	PD	Cannarella	Giuseppe	Malo	VI	
Bassan	Valentina	Selvazzano Dentro	PD	Canton	Federica	Mira	VE	
Basso	Luca	Marostica	VI	Capolupi	Annalisa	Vicenza	VI	
Battiston	Samuele	Concordia Sagittaria	VE	Cappelli	Alessandro			
Belli	Danilo	Cesiomaggiore	BL	Caravello	Ariella	Padova	PD	
Bellotti	Piero	Roma	RM	Carbognin	Laura	Padova	PD	
Benincasa	Francesco	Vigonovo	VE	Carnieletto	Liliana	Venezia	VE	
Bergamo	Vittorio	Venezia	VE	Carton	Alberto	Verona	VR	
Bernardi	Marco	Crespano del Grappa	TV	Casagrande	Giacomo	Palmanova	UD	
Bertani	Barbara	Venezia	VE	Casarin	Roberto	Venezia	VE	
Bertoldo	Aldo	Mira	VE	Cassoli	Andrea	Pavia	PV	
Bianchi	Claudio	Venezia	VE	Castellaro	Silvia	Venezia	VE	
Bigotti	Federica	Perugia	PG	Catalani	Valter	Roma	RM	
Bisaglia	Vittorio	Padova	PD	Catania	Nicolò	Venezia	VE	
Bisso	Vittorio	Dolo	VE	Caterina	Gemma	Meolo	VE	

Cattelan	Michele	Dolo	VE	Fontana	Alessandro	Latisana	UD
Cavaleri	Nicoletta	Venezia	VE	Fontanelli	Katia	Milano	MI
Cecchini	Antonio	Scorzè	VE	Fontolan	Giorgio	Trieste	TS
Celegon	Barbara	Venezia	VE	Frasson	Guido	Mogliano	TV
Ceschini	Vincenzo	Riva del Garda	TN	Fulghesu	Ilaria	Firenze	FI
Cestaro	Diego			Furlanetto	Francesca	Pianiga	VE
Cherubin	Margherita	Camposampiero	PD	Gaiardi	Renzo	Venezia	VE
Chinellato	Giulia	Mira	VE	Galloni	Michele	Venezia	VE
Ciccarelli	Laura	Roma	RM	Garbin	Fabio	Roma	Rm
Cipollone	Patrizia	Egle Roma	RM	Gasparotto	Giacomo	Gruaro	VE
Citran	Sergio	Noventa Padovana	PD	Gentile	Rosa	Pordenone	PN
Guerzoni	Stefano	Venezia	VE	Gerardi	Antonio	Roma	Rm
Colella	Andrea	S.Donà di Piave	VE	Gessa	Roberto	Favaro Veneto	VE
Coli	Massimo	Firenze	FI	Giacomini	Laura	Cornuda	TV
Colizza	Ester	Trieste	TS	Giomo	Raffaella	Quarto d'Altino	VE
Colombi	Antonio	Roma	RM	Gisotti	Giuseppe	Roma	RM
Colombini	Giacomo	Venezia	VE	Giurco	Giovanni	Sistiana	TS
Compagno	Luciano	Fossò	VE	Gozzo	Patrizia	Concordia Sagittaria	VE
Conchetto	Enrico	Dolo	VE	Grassi	Alex		
Contesotto	Ilaria	Camponogara	VE	Guarnieri	Giampaolo	Lugo	RA
Coral	Alberto	Ponte di Piave	TV	Iliceto	Vittorio	Padova	PD
Curtarello	Marina	Piove di Sacco	PD	Lampone	Giacomo F.	Camerano Casasco	AT
Da Villa	Ezio	Venezia	VE	Lazzarini	Cristian		
Dacome	Alberto	Ponso	PD	Lettieri	Maria	Roma	RM
Dalla Giustina	Francesca	Casier	TV	Levorato	Chiara	Torre di Mosto	VE
Dalla Tor	Mario	Marcon	VE	Levorato	Laura	Venezia	VE
Davoli	Lina	Roma	RM	Lezziero	Roberto		
Dazzan	Pier Domenico			Liparulo	Francesco		
De Carli	Federica	Belluno	BL	Magri	Sara	San Donà di Piave	VE
De Lazzari	Amelia	Venezia	VE	Malfatti	Stefano	Firenze	FI
De Piccoli	Barbara			Malgarotto	Carlo	La Spezia	SP
De Vita	Eleonora Maria	Marsala	TP	Manassei	Daniele		
Defendi	Valentina	S.Stino di Livenza	VE	Manzato	Giampietro		
Del Bello	Roberto	S.Donà di Piave	VE	Marabello	Gioacchino		
Del Rizzo	Roberto	S.Donà di Piave	VE	Marchiori	Isabella	Mira	VE
Di Cicco	Alessandra	Roma	RM	Marinoni	Francesco	Albignasego	PD
Di Lucia	Coletti Laura	Venezia	VE	Marotta	Gennaro	Venezia	VE
di Paolo	Ferruccio	Roma	RM	Martin	Renato	S.Stino di Livenza	VE
Di Sipio	Eloisa	Venezia	VE	Masiol	Mauro	Venezia	VE
D'Incà	Chiara			Massaro	Afro	Fiesso d'Artico	VE
Donà	Stefano	Battaglia Terme	PD	Massellani	Massimo	Ferrara	FE
Donnici	Sandra	Venezia	VE	Matonti	Francesco	Bologna	BO
Fagarazzi	Enrico Omar	Venezia	VE	Mazzini	Enrico	Bologna	BO
Falaschi	Giovanni	Asolo	TV	Mazzucato	Andrea	Venezia	VE
Fantini	Marisa			Melis	Romana	Trieste	TS
Farina	Paola	Venezia	VE	Menegazzo	Laura	Padova	PD
Fastelli	Chiara	Venezia	VE	Meneghel	Mirco	Padova	PD
Fava	Alessandro	Concordia Sagittaria	VE	Michelotto	Felice	Milano	MI
Favaro	Marco	Caorle	VE	Miozzo	Debora	Vigodarzere	PD
Ferrati	Fabio	Cavarzere	VE	Mistrello	Agnese		
Flore	Dante	Roma	RM	Molinaroli	Emanuela	Venezia	VE
Florian	Cristiano	Venezia	VE	Moro	Francesca	Padova	PD
Fonda	Giulia			Moron	Giuliano	Venezia	VE

Mozzi	Paolo	Padova	PD	Scarpa	Davide		
Nicoletti	Vincenzo	Albignasego	PD	Scortegagna	Ugo	Mira	VE
Nizzolini	Lorenzo	Camposampiero	PD	Seccafien	Mario	Fossalta PG	VE
Omri	Monia	Padova	PD	Segato	Marilena	Piazzola S/B	PD
Onofrio	Giovanni	Polesella	RO	Serena	Nadia	Venezia	VE
Palmarini	Guerrino	Mira	VE	Sergi	Valentina	Padova	PD
Pambianchi	Gilberto	Camerino	MC	Siviero	Enzo	Padova	PD
Paneghetti	Chiara			Smajato	Amalia Lieta	Marcon	VE
Panizza	Mario	Modena	MO	Sopradassi	Gianni	Venezia	VE
Paoli	Pietro			Spagna	Paolo	Rovigo	RO
Papasodaro	Felicia	Roma	RM	Spagna	Valerio	Padova	PD
Parravicini	Massimo	Venezia	VE	Sparacino	Vincenzo	Venezia	VE
Pastore	Annamaria	Mira	VE	Sprocati	Giampaolo	Venezia	VE
Pastorelli	Alessia	Vigonza	PD	Squizzato	Sandra Campo	San Martino	PD
Pavan	Enzo			Stival	Giancarlo	Pramaggiore	VE
Pavanato	Alessandro	Mira	VE	Stoppa	Michele	Sistiana	TS
Penzo	Francesco			Taroni	Giancarlo	Venezia	VE
Perale	Chiara	Spinea	VE	Tasinato	Alessandro		
Perin	Julien	Torre di Mosto	VE	Tenderini	Lia	Venezia	VE
Perri	Maria Teresa	Padova	PD	Tiozzo	Aurelio	Chioggia	VE
Pesce	Stefano	Scorzè	VE	Tiozzo Netti	Paola	Venezia	VE
Petrizzo	Antonio			Tipa	Fabio	S. Donà di Piave	VE
Piacente	Sandra	Modena	MO	Tirelli	Tiziano		
Pianetti	Franco	Venezia	VE	Toffoletto	Federico	Treviso	TV
Pilla	Giorgio	Venezia	VE	Tognon	Davide	Due Carrare	PD
Piragnolo	Marco	Padova	PD	Tonelli	Valter	Roma	RM
Piscopo	Caterina	Roma	RM	Tosi	Simonetta	Venezia	VE
Pistolato	Mario	Venezia	VE	Trevisanello	Andrea		
Piva	Maria Giovanna	Venezia	VE	Trevisani	Sebastiano	Mogliano Veneto	TV
Pocaterra	Francesca	Ferrara	FE	Trivelloni	Umberto	Venezia	VE
Poli	Maria Eliana	Udine	UD	Turlon	Ivano	Venezia	VE
Polo	Lorella			Urbano	Francesca		
Primon	Sandra	Venezia	VE	Vascellari	Francesco	Venezia	VE
Racca	Roberta	Teolo	PD	Vettore	Luciana	Padova	PD
Regazzi	Alessandra	Venezia	VE	Vettore	Luciana	Torre di Mosto	VE
Regini	Michele	Venezia	VE	Vianello	Diego	Venezia	VE
Rivi	Gianni			Vidotto	Marco	Venezia	VE
Ronchese	Francesca	Vigonovo	VE	Vio	Enza	S. Michele al Tagl.	VE
Rosina	Andrea	Este	PD	Vitturi	Andrea	Padova	PD
Rosselli	Roberto	Venezia	VE	Zabeo	Marco		
Rossi	Erminia Lucente	Cetraro	CS	Zago	Roberto	Padova	PD
Rossi	Juris	Venezia	VE	Zambianchi	Lamberto	Padova	PD
Rumor	Andrea	Venezia	VE	Zambon	Giuseppe	Venezia	VE
Saccarola	Simone	Martellago	VE	Zamboni	Cristina	Padova	PD
Salvador	Diego	Treviso	TV	Zangheri	Pietro	Padova	PD
Salvi	Stefano	Lonato	BS	Zanoni	Giuseppe		
Salviato	Clara	Vigonovo	VE	Zanucco	Andrea	Venezia	VE
Sammartino	Irene	Bologna	BO	Zattoni	Giuseppe	Occhiobello	RO
Santato	Silvia	San Bellino	RO	Zeza	Fulvio	Venezia	VE
Sarto	Patrizio	Campolongo Maggiore	VE	Zizzari	Pietro	Roma	RM
Sartori	Loris	Martellago	VE	Zoletto	Renzo	Bertipaglia	PD
Sattalini	Ornella	Roma	RM	Zuppi	Giovanni Maria	Venezia	VE

