

Geologia dell'Ambiente

Supplemento al n. 2/2021
ISSN 1591-5352

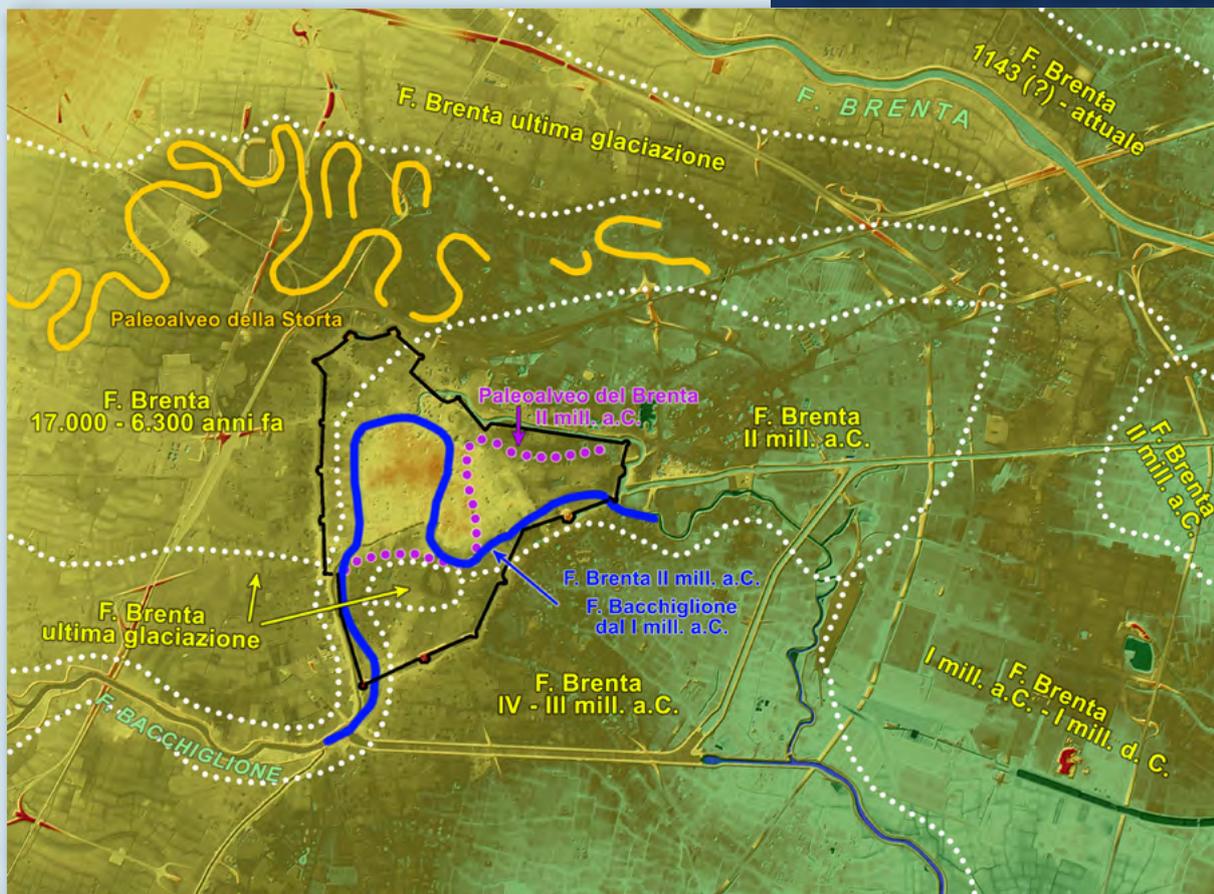
Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale



ATTI DEL CONVEGNO

GEOLOGIA URBANA DI PADOVA

**PADOVA
22 NOVEMBRE 2019**



**A CURA DI
ANDREA VITTURI**





Consulenza

Valutazioni tecniche
 Permitting
 Audit Energetici e Ambientali
 Sistemi Informatici Geografici
 Modellazione
 Due Diligence Ambientali
 Contabilità di commesse
 EDMsy®

Ambiente

Progettazione
 Indagini Ambientali
 Monitoraggi
 Analisi di Rischio
 Bonifiche e MIS
 Autorizzazioni, VIA, VAS
 Piani territoriali e paesaggistici
 Acustica e Radon
 Campionamenti matrici

Geologia Tecnica

Indagini di sito
 Prove tecniche
 Geotecnica
 Geofisica e Georadar
 Prospezioni
 Idrogeologia
 Geomorfologia e cartografia
 Rilievi Drone
 Rilievi Morfologici

Impiantistica Bonifica

Progettazione e Realizzazione
 P&T, SVE, BV, AS, MPE,
 Installazione e Conduzione
 Monitoraggio e analisi

Amianto

Censimento MCA
 Valutazione del Rischio
 Gestione amministrativa
 Campionamenti e analisi

Rifiuti

Campionamenti e analisi
 Gestione rimozioni
 Gestione amministrativa
 Consulenza Gestionale



Oil & Gas

Diamo supporto ai maggiori players nazionali nelle attività upstream, midstream e downstream, aiutandoli a trarre il massimo dai loro investimenti attraverso una corretta gestione delle commesse.



Industriale

Nel settore industriale ci proponiamo con servizi finalizzati ad una gestione ponderata delle commesse, sia in tema di operatività, sia di sostenibilità ambientale ed economica.



Infrastrutture

Affrontiamo tematiche tecniche, ambientali ed operative, lavorando per individuare soluzioni ad elevato valore aggiunto, attraverso molteplici servizi tecnici all'avanguardia.



Real Estate

Guidiamo i Clienti nel complesso quadro amministrativo ambientale. Forniamo supporto nell'ambito di acquisizioni e vendite di asset immobiliari, individuando criticità e plus di ogni singola operazione.



Pubblico

Ci rivolgiamo al settore pubblico mettendo a disposizione le nostre competenze nei settori della geologia tecnica e ambientale. Prediligiamo partecipare a gare bandi ad alto contenuto tecnico.



Minerario

Forniamo supporto nell'ambito di studi di fattibilità progettuale, nonché di gestione economica ed operativa in merito a progetti di ricerca di metalli di base, preziosi ed industriali.

B&A Consultancy S.r.l.
 Via Enrico Noe 22 - 20133 Milano
 Tel: +39 02 36637700 | info@bea-consultancy.com
 | www.bea-consultancy.com

Qualifiche e certificazioni



Albo Nazionale
 Gestori Ambientali
 MI36890 - Cat 9D



UNI EN ISO 9001:2015
 BS OHSAS 18001:2007
 UNI EN ISO 50001

Società Italiana di Geologia Ambientale

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare con D.M. 24/5/2007 e con successivo D.M. 11/10/2017

PRESIDENTE

Antonello Fiore

CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE

Lorenzo Cadrobbi, Franco D'Anastasio (*Segretario*), Daria Duranti (*Tesoriere*), Ilaria Falconi, Antonello Fiore (*Presidente*), Sara Frumento, Fabio Garbin, Enrico Gennari, Giuseppe Gisotti (*Presidente onorario*), Luciano Masciocco, Fabio Oliva, Michele Orifici (*Vicepresidente*), Vincent Ottaviani (*Vicepresidente*), Paola Pino d'Astora, Livia Soliani

Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA

Supplemento al N. 2/2021

Anno XXIX • aprile-giugno 2021

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352

Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229 del 31 maggio 1994

DIRETTORE RESPONSABILE

Giuseppe Gisotti

VICE DIRETTORE RESPONSABILE

Eugenio Di Loreto

COMITATO SCIENTIFICO

Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Giovanni Bruno, Francesco Cancellieri, Maria Di Nezza, Massimiliano Fazzini, Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado, Endro Martini, Luciano Masciocco, Davide Mastroianni, Mario Parise, Giacomo Prosser, Giuseppe Spilotro, Vito Uricchio, Gianluca Valensise

COMITATO DI REDAZIONE

Fatima Alagna, Giorgio Boccalaro, Giorgio Cardinali, Valeria De Gennaro, Eugenio Di Loreto, Sara Frumento, Fabio Garbin, Michele Orifici, Vincent Ottaviani, Laura Pala, Maurizio Scardella

REDAZIONE

Sigea c/o Fidad - Via Livenza, 6 00198 Roma
tel. 06 5943344

info@sigeaweb.it

PROCEDURA PER L'ACCETTAZIONE DEGLI ARTICOLI

I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione, dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti ad un giudizio di uno o più referees

UFFICIO GRAFICO

Pino Zarbo (Frallerighe Book Farm)

www.frallerighe.it

PUBBLICITÀ

Sigea

STAMPA

Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

La quota di iscrizione alla SIGEA per il 2021 è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista "Geologia dell'Ambiente".

Per ulteriori informazioni consulta il sito web all'indirizzo www.sigeaweb.it

Sommario

Presentazione

ANDREA VITTURI

3

GEOLOGIA DELLA CITTÀ, DALLA CONOSCENZA ALLA GESTIONE

Geomorfologia del territorio urbano di Padova

PAOLO MOZZI

7

Il sottosuolo della città. Il punto di vista dell'archeologia

FRANCESCA VERONESE

13

Idrogeologia del territorio di Padova

PAOLO FABBRI, NICOLA ZAGATO

19

Implicazioni idrauliche in nuove espansioni urbane

LUIGI D'ALPAOS

21

Implicazioni geologiche delle opere sotterranee in bassa pianura

PIETRO ZANGHERI

29

RISORSE E RISCHI GEOLOGICI

La sismicità del Veneto: eventi storici e recenti

JACOPO BOAGA

35

Sostenibilità degli impianti di scambio termico con il sottosuolo per la climatizzazione in area urbana

ANTONIO GALGARO, GIORGIA DALLA SANTA,

ELOISA DI SIPIO

40

Bonifica e riconversione di aree produttive dismesse in contesti urbani. Temi geoambientali di interesse

ROBERTO PEDRON

47

I suoli della provincia e dell'area urbana di Padova

PAOLO GIANDON, FRANCESCA RAGAZZI

50

La fragilità del territorio nella pianificazione urbanistica

VALENTINA BASSAN

55

Considerazioni conclusive

LORIS MUNARO

61

GALLERIA FOTOGRAFICA

67

In copertina: Schema geomorfologico dell'area urbana di Padova, con in nero riportata la cinta muraria cinquecentesca. Nel DTM che fa da base allo schema spicca il *mound* archeologico del centro storico, fino a 7 m più alto rispetto alla pianura circostante. *Elaborazione cartografica di Paolo Mozzi, Dipartimento di Geoscienze Università di Padova, e Francesco Ferrarese, Laboratorio GIS - DiSSGeA Università di Padova*

COMITATO ORGANIZZATORE

Daniela Grigoletto
Ordine Geologi del Veneto

Arianna Marcolla
Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Geoscienze

Paolo Mozzi
Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Geoscienze

Margherita Pertile
Sigea

Veronica Tornielli
Ordine Geologi del Veneto

Andrea Vitturi
Sigea

COMITATO SCIENTIFICO

Tatiana Bartolomei
Ordine Geologi del Veneto

Paolo Fabbri
Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Geoscienze

Fabio Ferrati
Ordine Geologi del Veneto

Alessandro Fontana
SIGEA e Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Geoscienze

Giuseppe Gisotti
Sigea

Cristina Stefani
Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Geoscienze

Francesca Veronese
Comune di Padova, Musei Civici di Padova

Pietro Zangheri
Sigea

Presentazione

Fa molto piacere vedere una così ampia presenza del pubblico, composto da noti studiosi e professionisti, da studenti e neolaureati e anche da cittadini padovani intervenuti per l'interesse dei temi trattati.

Io porto i saluti a nome di Sigea, Società Italiana di Geologia Ambientale, di cui sono stato non molto tempo fa vice presidente, in quanto il nostro presidente onorario, Giuseppe Gisotti, proprio oggi è dovuto intervenire a Roma al convegno che Sigea ha organizzato in Senato a Roma per la presentazione del volume Sigea *"Bonifica dei siti inquinati"*, presente anche il ministro dell'Ambiente.

Sigea è la maggiore società geologica non scientifica a livello nazionale, fondata nel 1992.

Come da statuto, *"SIGEA è un'associazione culturale, senza fini di lucro, per la promozione del ruolo delle Scienze della Terra nella protezione della salute e nella sicurezza dell'uomo, nella salvaguardia della qualità dell'ambiente naturale ed antropizzato e nell'utilizzazione più responsabile del territorio e delle sue risorse. SIGEA è riconosciuta dal Ministero dell'Ambiente come "associazione di protezione ambientale a carattere nazionale (L. 349/1986, art. 13)"*.

Nel sito www.sigeaweb.it/ si possono trovare tutte le indicazioni utili sulla società. Qui voglio sottolineare alcuni aspetti principali.

Le associazioni culturali senza fini di lucro possono validamente sussistere solo per l'impegno dei loro soci; questo per l'evidente aspetto finanziario (la quota associativa, di soli € 30, è la quasi unica fonte economica), ma soprattutto - nel caso di Sigea - per la promozione delle Scienze della Terra a livello locale e nazionale. Ogni socio può proporre l'organizzazione di un evento, ma la maggior parte viene realizzata dal Consiglio Direttivo Nazionale o dalle Sezioni Regionali o, come nel nostro caso, Interregionali nel cui ambito i soci collaborano.

A titolo di esempio, segnalo che ieri, al MUSE di Trento, Sigea ha organizzato il convegno *"Le scienze della Terra di Leonardo da Vinci. Le scienze della Terra oggi"* (http://www.sigeaweb.it/documenti/convegni/programma_trento_2019.pdf). Il giorno successivo al nostro convegno SIGEA organizza a Matera *"La fragilità della bellezza. Riflessioni sull'Italia vulnerabile, la necessaria prevenzione del rischio sismico e la salvaguardia del patrimonio culturale"* (http://www.sigeaweb.it/documenti/convegni/matera_2019_rischio_sismico.pdf). E, tra una settimana, SIGEA terrà il suo seminario nazionale a Roma *"Analisi e attività di mitigazione dei processi geoidrologici in Italia"* (http://www.sigeaweb.it/documenti/convegni/seminario_sigea_roma_2019.pdf).

Nel Veneto ha organizzato, tra vari altri eventi, convegni nell'ambito della rassegna nazionale *"Geologia nel bicchiere"* a Vicenza e a Verona ed escursioni geologiche al Monte Rite (presente l'alpinista Messner) e ad Andraz nelle Dolomiti.

La maggior parte degli eventi SIGEA è organizzata, come questo, in stretta collaborazione col corrispondente Ordine Regionale dei Geologi, ma anche col Consiglio Nazionale Geologi, con gli Ordini provinciali di Ingegneri, Architetti, Agronomi e Forestali, con l'Università e con altre associazioni culturali.

I soci Sigea quindi possono partecipare, anche in forma attiva, alla realizzazione di vari eventi, ma anche a far parte di un forum iscrivendosi ad un'area tematica (Siti contaminati; Dissesto idrogeologico; Patrimonio geologico; Geoarcheologia, Educazione ambientale; sta per essere varata anche l'Area Tematica sul clima).

"Last but no least": la rivista *"Geologia dell'Ambiente"*, trimestrale cartaceo che già da solo vale ben l'iscrizione a Sigea di soli 30 euro!

E ora due parole introduttive su questo convegno.

La giornata sulla geologia urbana di Padova rientra nella serie di convegni che Sigea ha dedicato negli ultimi anni alla geologia di importanti città italiane: Roma (2005), Venezia (2006), Milano (2007), Modena (2008), Bari (2009), Genova (2011), Torino (2012), Aosta (2016).

Il convegno è indirizzato in modo particolare a professionisti e ricercatori interessati alla problematica del rapporto tra la città e l'ambiente geologico (suolo, sottosuolo, acque superficiali, acque sotterranee, georisorse), con l'obiettivo di fornire un quadro aggiornato sull'assetto e sulla gestione del territorio padovano.

Partendo dall'esposizione dell'ambiente geologico, oggi approfondiremo gli aspetti riguardanti le interferenze che opere di vario tipo determinano su tale ambiente. Rischio idraulico, fragilità del territorio, pianificazione territoriale, sismicità, geoscambio, protezione civile saranno quindi alcuni dei temi trattati, che saranno portati a sintesi nelle conclusioni.

In continuità con gli altri Geoeventi promossi da Sigea, anche la giornata sulla geologia urbana di Padova è volta a:

- diffondere la cultura geologica e aumentare la visibilità delle Geoscienze;
- divulgare il patrimonio inestimabile di conoscenza delle Scienze della Terra e mostrarne la diretta applicabilità alla vita quotidiana;
- sensibilizzare le coscienze e creare consapevolezza del ruolo strategico delle Geoscienze per il futuro della Società;
- incrementare il dialogo tra geoscientiati, politici, decisori e pianificatori.

Andrea Vitturi
Sigea



**GEOLOGIA DELLA CITTÀ,
DALLA CONOSCENZA
ALLA GESTIONE**

SIICREA



Ind.A.G.O. s.n.c. - Indagini e Opere Ambientali e Geologiche - V. Balzan, 1 - 45100 - Rovigo - tel.: 042525185
www.indago-rovigo.it

Geofisica senza limiti



MALÀ GeoDrone 80

La soluzione definitiva per indagini GPR Low frequency airborne



SENSYS[®]
Magnetometers & Survey Solutions

Magdrone
Indagini magnetiche senza limiti



vent'anni di impegno al vostro fianco

DISTRIBUTORE PER L'ITALIA

GUIDELINEGEO
ABEM MALÀ



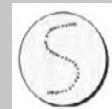
geotomographie

GEOGIGA
TECHNOLOGY CORP

SENSYS[®]
Magnetometers & Survey Solutions

Geophex Ltd.

EMFAD[®] **ZC**



MIRA HDR

L'array di antenne GPR
con tecnologia HDR per
una risoluzione senza eguali



Geomorfologia del territorio urbano di Padova

Paolo Mozzi
Dipartimento di Geoscienze
Università degli Studi di Padova
E-mail: paolo.mozzi@unipd.it

Urban geomorphology of Padua

Parole chiave: geomorfologia urbana, geoarcheologia, pianura alluvionale, megafan alluvionale, valle incisa, paleoalveo, Last Glacial Maximum, Olocene
Key words: urban geomorphology, geoarchaeology, alluvial plain, alluvial megafan, incised valley, palaeochannel, Last Glacial Maximum, Holocene

La pianura su cui sorge Padova si è formata ad opera dei fiumi Brenta e Bacchiglione nel corso del Pleistocene superiore e dell'Olocene (Fig. 1). Ad ovest e a nord della città affiorano su ampie estensioni i depositi del Brenta relativi all'ultima glaciazione (Last Glacial Maximum – LGM) (Fig. 2) (Mozzi *et al.*, 2010). In questo periodo, compreso all'incirca tra 29.000 e 17.500 anni fa, la fronte del ghiacciaio del Brenta era attestata in Valsugana nei pressi di Primolano (Rossato *et al.*, 2018) e le sue acque di fusione alimentavano un ampio sistema alluvionale, il cosiddetto “megafan del Brenta” (Mozzi, 2005). Dall'apice nei pressi di Bassano del Grappa, il megafan si estendeva fino al F. Sile ad est, lambiva i Colli Berici ad ovest e continuava verso sud per decine di chilometri oltre l'attuale area costiera, dato che il livello del mare era allora circa 120 m più basso di quello

odierno (Fontana *et al.*, 2014; Rossato e Mozzi, 2016).

Con la rapida fusione dei grandi ghiacciai vallivi avvenuta alla fine del LGM, spesso accompagnata dalla concomitante formazione di grandi laghi nei tratti terminali delle valli, i fiumi alpini furono soggetti ad una drastica riduzione del carico solido. Ciò si tradusse in un disequilibrio idrodinamico che portò all'erosione verticale degli alvei, con la formazione di valli incise fonde anche decine di metri lungo tutto il margine alpino della pianura padana centrale e nella pianura veneto-friulana (Fontana *et al.*, 2008, 2014). Nel megafan del Brenta vi è evidenza di molteplici valli incise post-LGM che si dipartono dal settore apicale e, attraversando il territorio urbano di Padova, proseguono in direzione sudovest nel sottosuolo dell'attuale porzione meridionale della laguna di Venezia (Mozzi *et al.*, 2013)

(Fig. 3). Tali valli giungono a profondità massime di 20-30 m rispetto al piano di divagazione LGM. All'apice del megafan i fianchi delle valli sono ben riconoscibili nella morfologia della pianura, sotto forma di ripide scarpate di erosione che da un'altezza massima di circa 15 m a Bassano del Grappa diminuiscono progressivamente verso valle. Poco a nord di Padova sono ancora presenti delle scarpate alte pochi metri (Fig. 1) (Ninno *et al.*, 2011, 2016), mentre nell'area urbana di Padova le valli, fonde circa 10 m, sono completamente riempite dai successivi sedimenti alluvionali (Mozzi *et al.*, 2010, 2013; Cucato *et al.*, 2012).

A Padova e nell'immediata periferia sono state riconosciute due ampie fasce di canali di età post-glaciale, attribuibili al F. Brenta sulla base delle dimensioni dei paleoalvei, della geometria dei corpi sedimentari e della composizione petrografica dei sedimenti (Castiglioni *et al.*,

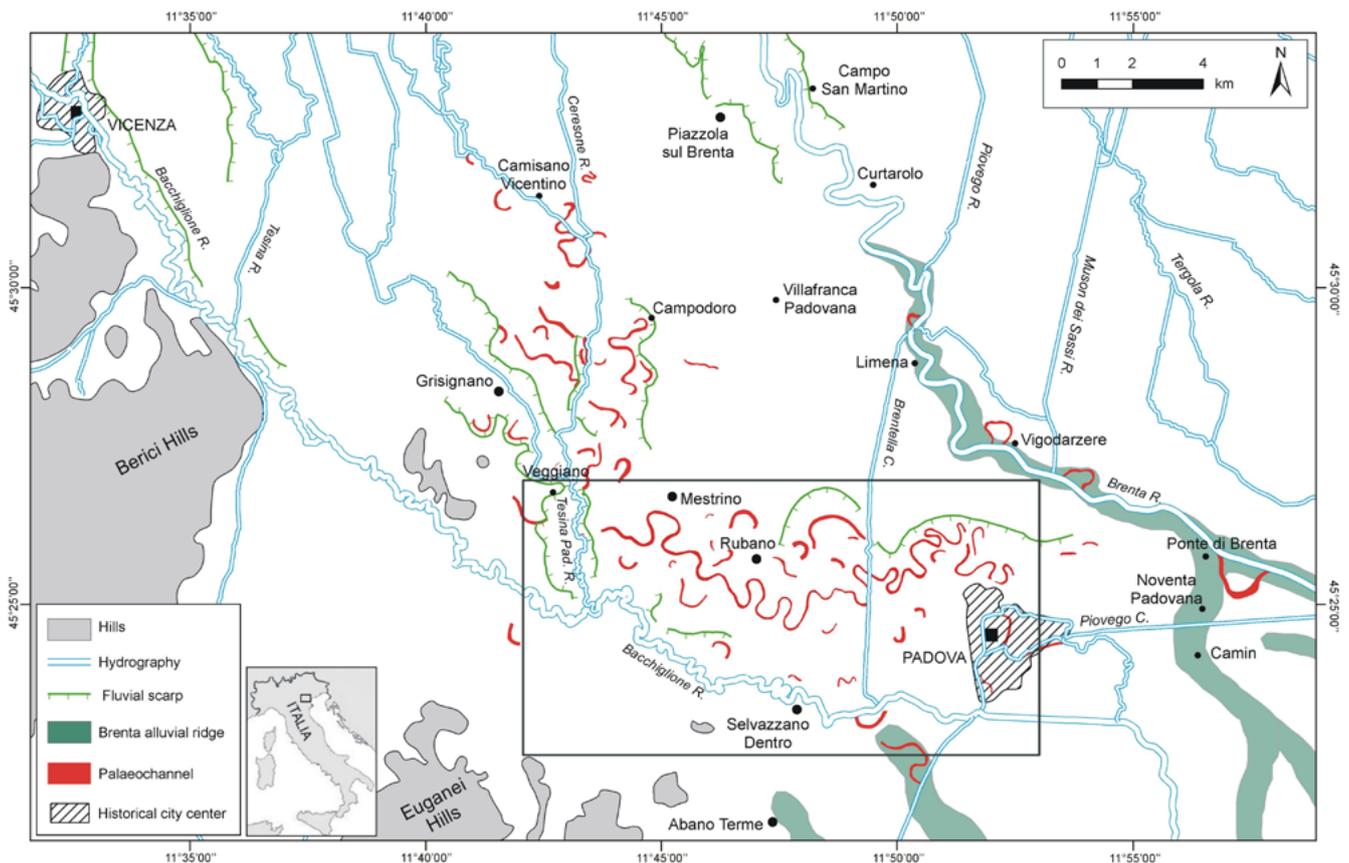


Figura 1. I principali elementi geomorfologici della pianura dei fiumi Brenta e Bacchiglione nei dintorni di Padova (da Mozzi *et al.*, 2010)

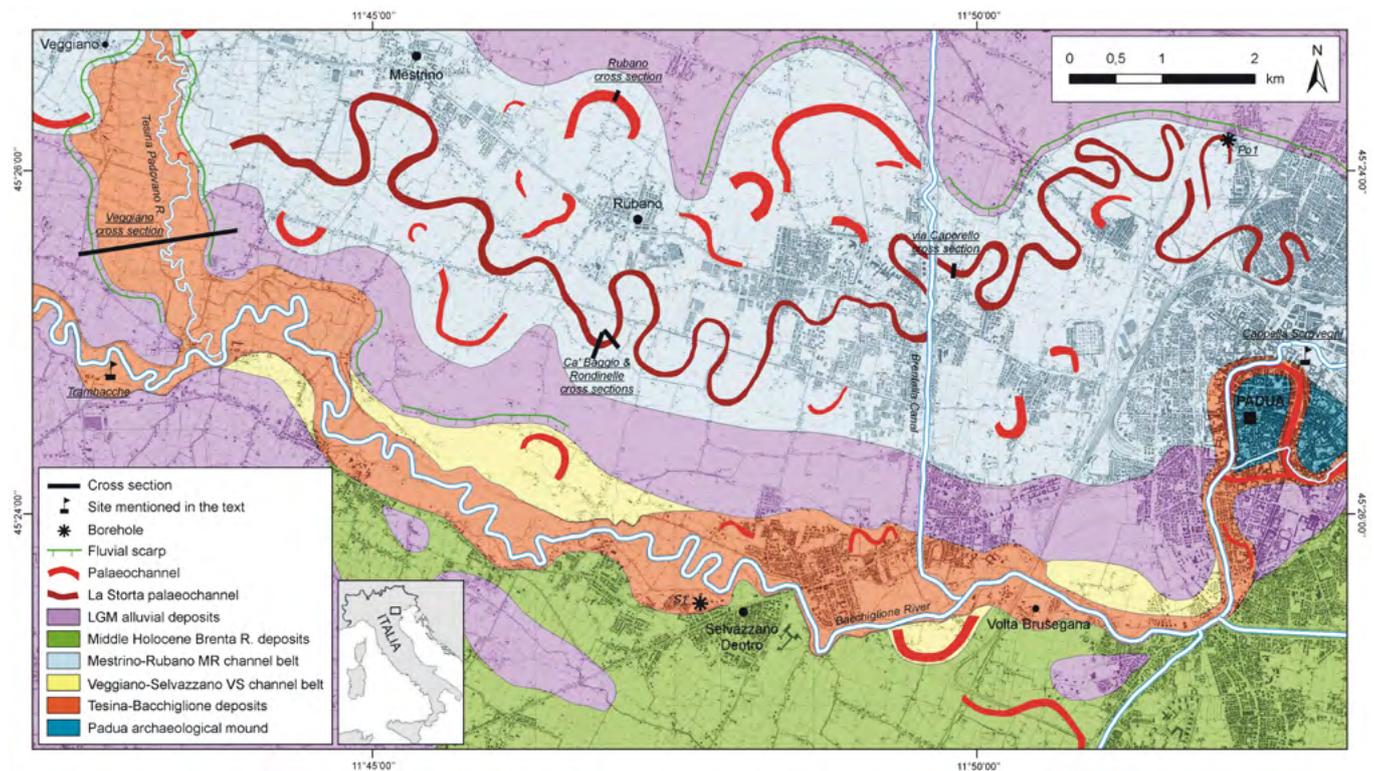


Figura 2. Schema geomorfologico della pianura a ovest di Padova (da Mozzi et al., 2010)

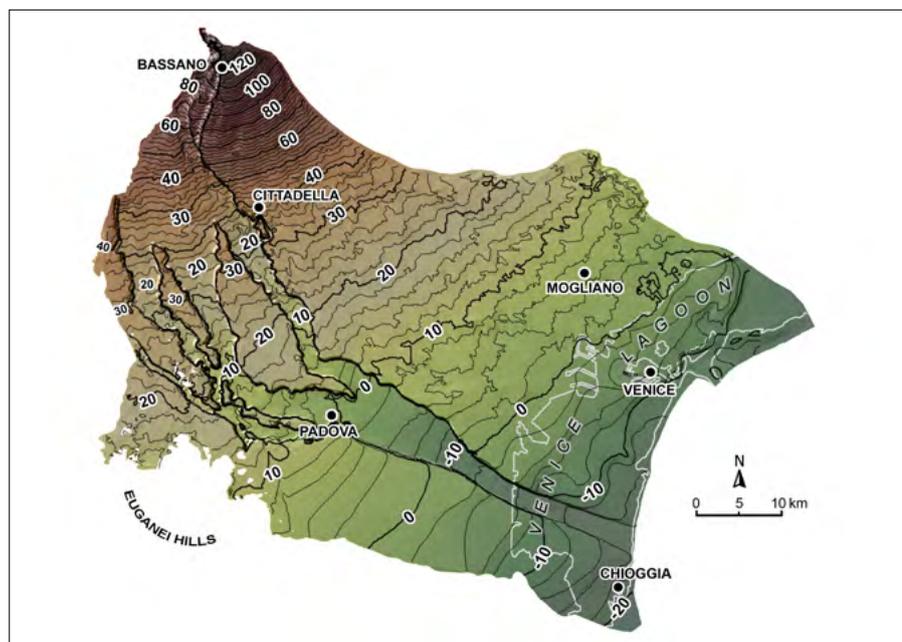


Figura 3. Ricostruzione del reticolo delle valli incise alla fine dell'ultima glaciazione nel megafan del Brenta. Le isoipse sono in m s.l.m.; le linee bianche indicano l'attuale margine della laguna di Venezia (da Mozzi et al., 2013)

1987; Mozzi et al., 2010) (Fig. 4). Nei settori di pianura interposti fra queste due direttrici affiorano i depositi alluvionali LGM. La fascia di canali più antica, che segue la direttrice Mestrino-Rubano, è incisa nei depositi del LGM e ha un'età compresa tra la fine dell'ultima glaciazione e 6300 anni fa. Essa corrisponde al top sedimentario di una delle valli incise post-LGM riportate in Fig. 3. La sua larghezza media è di alcuni chilometri e segue un andamento circa ONO-ESE attraverso il quadrante settentrionale della città. All'interno di questa fascia di canali è presente un paleoalveo parti-

colarmen- te ben conservato, che si segue con continuità per oltre 13 km, noto come il "paleoalveo della Storta" dal nome del fosso che ancora oggi corre al fondo dell'alveo abbandonato. Probabilmente si tratta delle vestigia dell'ultimo tracciato del Brenta lungo tale direttrice, attivo tra 8400 e 6300 anni fa.

L'altra fascia di canali segue da Veggiano la valle del F. Tèsina Padovano, proseguendo verso Selvazzano Dentro e giungendo infine nel centro di Padova (Fig. 2). Questo percorso del Brenta è stato attivo approssimativamente nel II millennio a.C. Infatti, a partire dall'i-

nizio del I millennio a.C. il Brenta si spostò a est lungo l'attuale percorso per Piazzola sul Brenta e Limena. Il tracciato per Selvazzano continuò ad essere seguito dall'altro fiume che, come abbiamo detto, interessa il territorio di Padova: il Bacchiglione. Questo è un corso d'acqua con portate minori del Brenta e regime idraulico relativamente stabile, poiché è in gran parte alimentato dalle risorgive della pianura vicentina. Ha, però, quali importanti tributari, ripidi torrenti prealpini come il Retrone, il Leogra e, soprattutto, l'Astico. Sono proprio questi bacini montani che garantiscono una significativa portata solida al Bacchiglione, oltre ad assoggettare il fiume a piene disastrose come quella del 2010.

Tra circa il IV e il III millennio a.C., il Brenta scorreva invece in direzione più marcatamente sudovest verso l'attuale territorio di Due Carrare, Maserà e Casalserrugo (Cucato et al., 2012; Ninfo et al., 2016). In questo tratto di pianura, posto a sud di Padova, il fiume formò una serie di dossi sabbiosi intervallati da ampie rotte fluviali ancora ben visibili in foto aerea. Questa situazione perdurò probabilmente fino alla definizione del già menzionato percorso del Brenta per Selvazzano e Padova centro storico nel II millennio a.C.

La morfologia originaria della pianura nell'area urbana è stata profondamente modificata dall'attività antropica. Un aspetto peculiare di Padova è che ciò non è dovuto solo all'evoluzione urbanistica moderna. Il centro storico corrisponde, infatti, ad una sorta di ampia

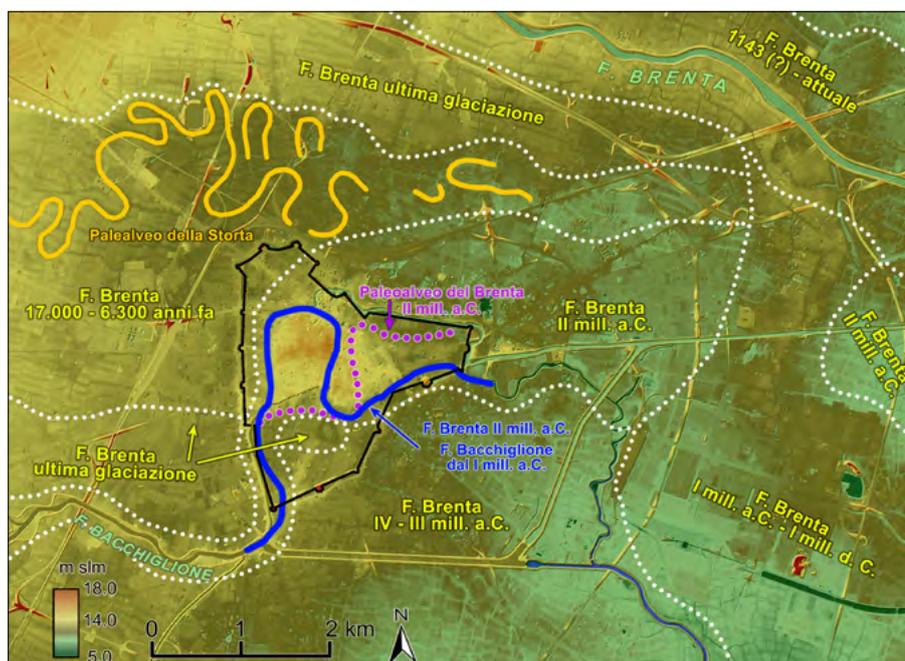


Figura 4. Schema geomorfologico della pianura circostante Padova. In nero è raffigurata la cinta muraria cinquecentesca. La carta di base è un DTM da rilievo LiDAR. Spicca il mound archeologico nel centro della città, fino a 7 m più alto rispetto alla pianura circostante (modificato da Mozzi e Verdi, 2018)

collina completamente costituita da depositi archeologici, alta alcuni metri rispetto alla pianura circostante (Fig. 5) (Mozzi *et al.*, 2018). I più antichi strati archeologici sono dell'età del bronzo finale (XII-X secolo a.C.), corrispon-

denti a poche tracce di fondi di capanne e riempimenti di fossati. Già con l'età del ferro, però, l'area compresa tra la doppia ansa del fiume divenne sede di un grande insediamento che giunse ad assumere una vera e propria struttura

urbana (Gamba *et al.*, 2005, 2013). La particolarità della Padova preromana è che, nel corso del tempo, gli edifici in mattoni crudi e legno vennero costruiti al di sopra delle fondazioni e dei piani pavimentali delle precedenti strutture. Il risultato netto è stato una progressiva sopraelevazione dell'abitato rispetto alla pianura alluvionale, forse appositamente cercata per favorire il drenaggio delle acque superficiali, mantenere in profondità il livello della falda freatica, e garantire una maggiore protezione dalle esondazioni stagionali del Bacchiglione che vi passava nel mezzo. A riprova della quotidiana necessità di gestire le acque da parte dei Veneti antichi vi sono i numerosi scoli e fossati rinvenuti nel corso di scavi archeologici, che si dispongono radialmente verso l'esterno dell'abitato o in direzione del fiume, sfruttando proprio le pendenze del rilievo topografico artificiale (Gamba *et al.*, 2005). Anche l'erosione fluviale creava dei problemi, come testimoniato dalle palificate e dai terrapieni posti a protezione delle sponde del meandro occidentale del Bacchiglione, rinvenuti nel corso di scavi in via San Pietro e Largo Europa.

Nei depositi archeologici che vanno dall'età del ferro fino al medioevo, per uno spessore massimo che raggiunge i 7 m, non sono state riscontrate intercalazioni di sedimenti alluvionali. Tale assenza di per sé non dimostra che la città non fosse funestata dalle sporadiche esondazioni del fiume, dato che il fango lasciato da una piena anche catastrofica viene normalmente asportato dai suoi abitanti. Certo è che il fiume è sempre stato di vitale importanza per la città quale risorsa idrica, fonte di energia idraulica e via di commercio. L'insediamento si è sviluppato sulle sue sponde ma, al contempo, ha cercato di mantenere la giusta distanza alzando, generazione dopo generazione, il piano della vita urbana rispetto al livello delle acque fluviali.

La tendenza all'accrescimento verticale del piano topografico urbano è continuata in età romana e medievale. La struttura interna di questo mound archeologico che, se fossimo in Medio Oriente, chiameremmo *tell* o *tepe*, è stata ricostruita attraverso l'interpolazione digitale delle quote degli antichi piani di calpestio quali selciati stradali, pavimenti di abitazioni, focolari o zoccolature di muri, desunti da 31 scavi archeologici distribuiti nel centro storico cittadino (Mozzi *et al.*, 2018) (Fig. 5). Sulla base di questi dati, sono stati costruiti dei modelli di elevazione digitale che approssimano le morfologie della città antica nei

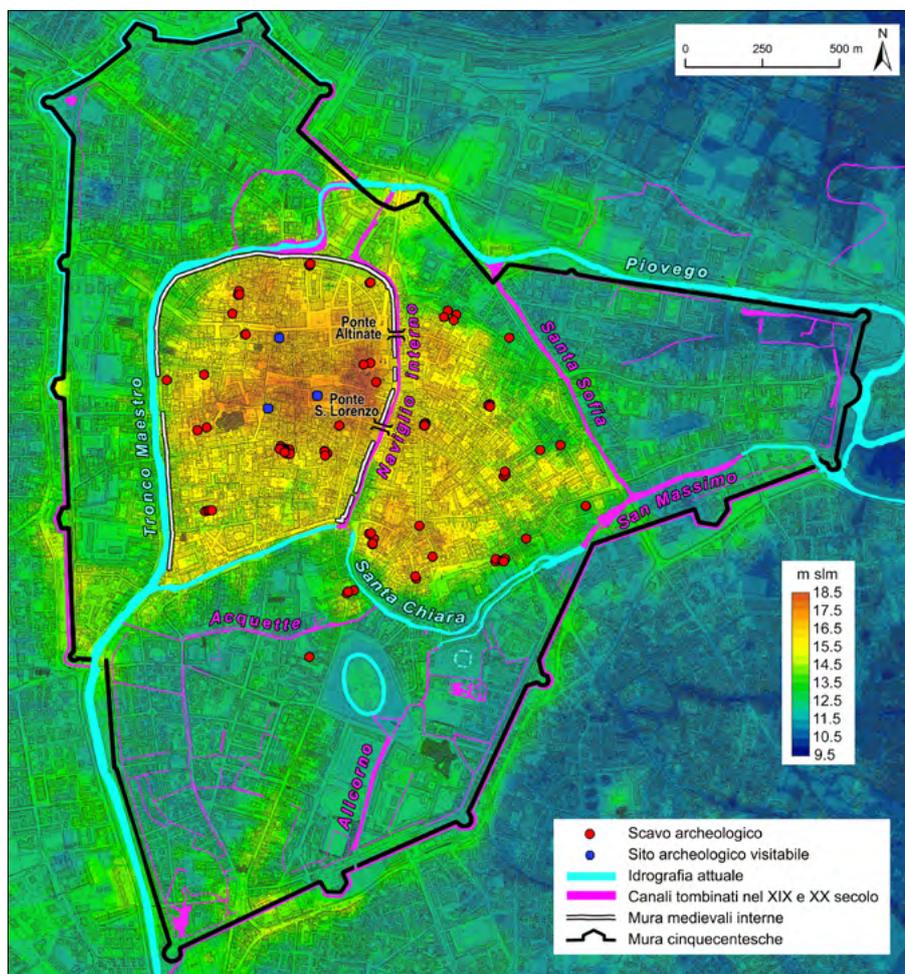


Figura 5. DTM del centro storico di Padova con l'idrografia tratta dal Catasto Austriaco (1838-1846) e le ubicazioni degli scavi archeologici utilizzati per le elaborazioni. Si può notare l'ampio rilievo topografico costituito interamente da depositi archeologici (il mound archeologico) (modificato da Mozzi *et al.*, 2018; Mozzi e Verdi, 2018)

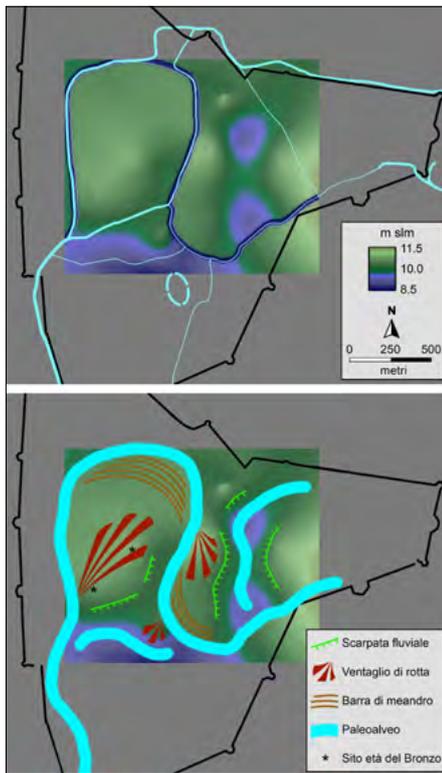


Figura 6. Sopra, modello di elevazione digitale della paleosuperficie corrispondente alla pianura alluvionale dell'età del bronzo finale, con in azzurro l'idrografia desunta dal Catasto Austriaco; sotto, l'interpretazione geomorfologica. La linea nera indica il tracciato delle mura cinquecentesche (modificato da Mozzi et al., 2018; Mozzi e Verdi, 2018)

momenti più significativi del suo sviluppo, quali l'inizio dell'età del ferro (IX-VII secolo a.C.), il momento di massima fioridezza della città dei Veneti antichi (VI secolo a.C.) e l'età romana (I secolo a.C. e I-II secolo d.C.), quando *Patavium* era ormai un importante *Municipium* attraversato da una strada consolare di importanza strategica, la Via Annia (Tosi, 2002; Veronese, 2009, 2011).

Effettuando un'analisi geomorfologica dell'andamento altimetrico della pianura alluvionale dell'età del bronzo, sepolta alcuni metri al di sotto della superficie attuale, è stato possibile riconoscere alcune caratteristiche morfologie fluviali, quali le barre di meandro del Brenta, due paleoalvei e due ventagli di rotta (spagli di sedimenti deposti a lato dell'alveo durante eventi di rotta arginale) (Fig. 6). Tali morfologie condizionarono lo sviluppo dell'insediamento patavino anche durante la successiva età del ferro, quando il fiume che attraversava quest'area non era più il Brenta ma il Bacchiglione. L'accrescimento urbano nell'età del ferro si concentrò principalmente in corrispondenza delle barre di meandro e dei ventagli di rotta all'interno dei due meandri (Fig. 7). Questo fatto non stupisce se si considera che esse sono le morfologie naturali maggiormente rilevate in una pianura alluvionale e, inoltre, sono costituite da suoli prevalentemente sabbiosi: ambedue fat-

tori che contribuiscono ad una maggiore salubrità e appetibilità per l'insediamento umano. Al contrario, sia il paleoalveo con direzione ovest – est, sia alcuni degli spazi golenali a fianco del Bacchiglione nel suo tratto nord-sud permasero non edificati durante l'età del ferro e il periodo romano, trattandosi di aree depresse presumibilmente umide e a drenaggio difficoltoso. Il paleoalveo con direzione sud – nord rimase anch'esso morfologicamente ribassato rispetto alle aree adiacenti durante l'età del ferro ma venne poi livellato in età romana. Tale intervento di bonifica è forse da mettere in relazione con la costruzione della Via Annia che, uscendo dalla città lungo l'attuale via Altinate, doveva forzatamente attraversarlo.

Nella Fig. 8 sono riportate alcune sezioni stratigrafiche che delineano l'andamento delle paleosuperfici archeologiche di diversa età nel sottosuolo di Padova. La sezione A-A' mostra il forte accrescimento verificatosi fino al VI secolo a.C. al centro del settore settentrionale del meandro occidentale. La sezione B-B' evidenzia il marcato sviluppo verticale di età romana al margine occidentale del medesimo me-

andro. Il ponte romano di San Lorenzo, giunto ben conservato ma parzialmente sepolto fino ai giorni d'oggi, in età imperiale era circa tre metri più alto delle strade circostanti. Le aree perispondali del fiume a sud del ponte San Lorenzo registrano un innalzamento piuttosto ridotto in età romana, a suggerire un uso poco strutturato di questi spazi golenali. Al contrario, tra ponte San Lorenzo e ponte Altinate, laddove vi erano magazzini e estese banchine, con tutta evidenza parte del porto fluviale della città romana (Gasparotto, 1951), il fiume appare scorrere a ridosso dello spazio urbano racchiuso nel meandro occidentale. Nella medesima sezione si può anche notare l'avvenuto riempimento dell'ampia depressione del paleoalveo sud – nord all'inizio dell'età romana, per uno spessore complessivo di circa 1,5 m. Le sezioni C-C', D-D' e E-E' attraversano il meandro occidentale ed orientale evidenziando i relativi accrescimenti e il loro rastremarsi al margine del *mound*.

La ricostruzione digitale delle superfici archeologiche sin qui discusse, oltre a fornire nuovi spunti per meglio com-

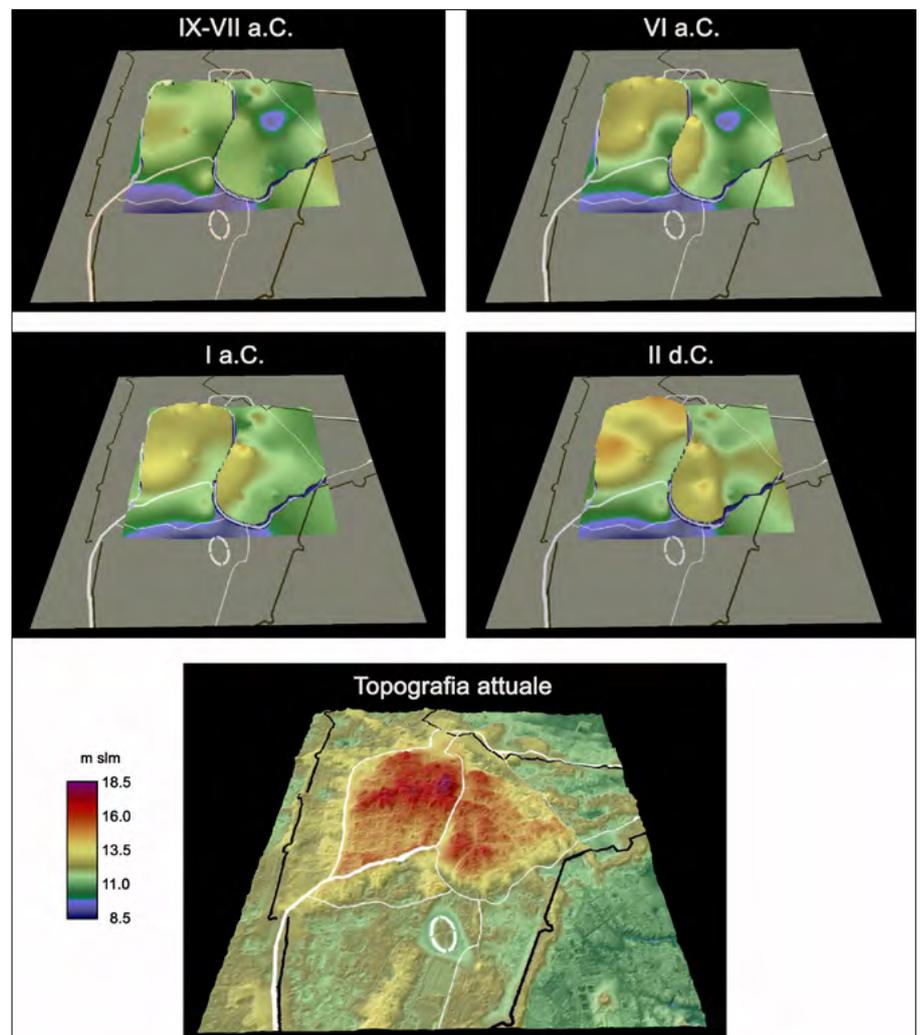


Figura 7. Modelli di elevazione digitale delle paleosuperfici corrispondenti ai piani di calpestio delle diverse fasi della città antica, messi a confronto con la topografia attuale. La linea nera indica il tracciato delle mura cinquecentesche, quelle bianche l'idrografia desunta dal Catasto Austriaco (da Mozzi e Verdi, 2018)

prendere l'evoluzione della città e le sue relazioni con la paleoidrografia, permette una vera propria mappatura del patrimonio archeologico celato nel sottosuolo. Essendo tali elaborazioni inserite all'interno di un sistema informativo geografico (GIS – *Geographic Information System*), è ora possibile stimare con accuratezza di pochi decimetri la profondità media dei diversi orizzonti culturali - dall'età del bronzo all'età romana imperiale - rispetto alla superficie attuale in tutto il centro storico cittadino (Fig. 9). Ciò può essere di grande utilità anche per finalità pratiche quali, ad esempio, la valutazione dell'impatto archeologico di scavi edili o infrastrutturali, oppure la definizione delle caratteristiche geotecniche e idrogeologiche dei terreni superficiali.

I depositi archeologici che ricoprono il livello romano imperiale fino all'attuale superficie topografica sono di età tardo antica e medievale. Hanno spessori che quasi equivalgono alla totalità dei depositi romani e preromani. In una quantificazione volumetrica, i depositi antropici che costituiscono il *mound* di Padova assommano a circa 6,4 milioni di metri cubi, dei quali 1,8 milioni depositi fino al VI secolo a.C., 1,6 milioni tra il VI secolo a.C. e il II secolo d.C., e altri 3 milioni fino all'età moderna. Non sono per ora disponibili ricostruzioni areali delle superfici di abitato di età medievale, anche se sono note molteplici situazioni in cui tali dati sono stati reperiti nel corso di scavi archeologici, ad esempio nell'area retrostante il Battistero del Duomo - con pavimenti di età romana tarda (IV secolo d.C.), *terre nere* e tracce di edifici altomedievali (Charvarria Arnau, 2017; Nicosia *et al.*, 2019) - e sotto il Palazzo della Ragione, dove sono ancora visibili i piani pavimentali di edifici collocabili cronologicamente tra l'XI e il XII secolo (Tuzzato, 2008).

Nel tessuto urbano del centro storico di Padova persistono alcune tracce dell'antica idrografia (Mozzi e Verdi, 2018). La più ovvia ed evidente è il sinuoso percorso fluviale che, pur se ridotto a un sistema di semplici canali, lo attraversava fino alle recenti tombature del XX secolo. Già G.B. Castiglioni aveva notato come gli ampi raggi di curvatura dei due grandi meandri non fossero compatibili con le portate medie del Bacchiglione ma che invece indicassero un'origine legata al Brenta (Castiglioni *et al.*, 1987). Abbiamo visto sopra come questi meandri siano effettivamente attribuibili al Brenta del II millennio a.C., e come essi siano stati poi ripresi in forma "parassita" dal Bacchiglione che si immise lungo il pre-

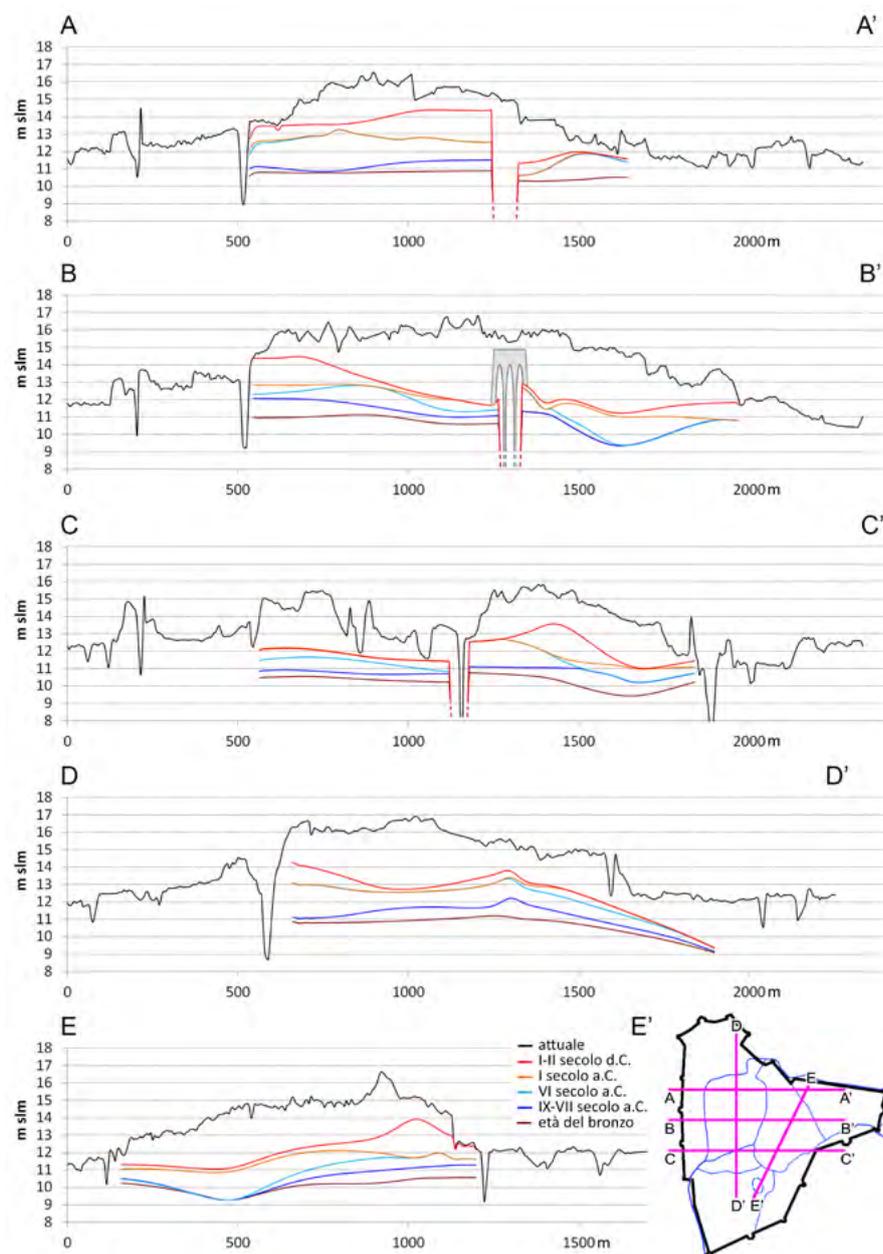


Figura 8. Sezioni stratigrafiche attraverso il mound archeologico del centro storico di Padova, che mettono in evidenza l'andamento medio dei piani di calpestio nelle diverse epoche. In sezione B-B' è segnato il manufatto di ponte S. Lorenzo (modificato da Mozzi *et al.*, 2018; Mozzi e Verdi, 2018)

esistente alveo all'inizio dell'età del ferro. Il Bacchiglione è dunque il fiume della città romana identificabile con il *Meduacus*, che lo storico romano Tito Livio narra attraversasse *Patavium*. Il fiume era varcato da numerosi ponti, dei quali hanno conservato la struttura originaria solo i già citati ponti San Lorenzo e Altinate. Il fiume doveva avere un'ampiezza massima inferiore a quaranta metri, come indicato dalle lunghezze di questi ponti escluse le spalle: 43,4 m per ponte San Lorenzo, 39 m per quello Altinate (Galiazzo, 1971).

Un altro elemento paleoidrografico di lunga persistenza è il paleoalveo del Brenta dell'età del bronzo orientato ovest-est (Fig. 4). Questa depressione allungata al limite meridionale della città antica, pare approssimativamente segnalato in superficie dall'allineamento delle attuali vie del Torresino - Memmo (a nord) e

vie Dimesse - Acquette (a sud). Un documento del 1220 menziona la presenza di un *fossatum antiquum* lungo via Acquette, via Dimesse e Vicolo Tabacco (Galiazzo, 1971). Nella pianta di Giovanni Valle (1784) e nella cartografia catastale napoleonica (1811), austriaca (1838-1846) e italiana (1867-1889), è qui presente un canale detto Le Acquette (da cui l'omonima via) che versava nel canale di Santa Chiara (Fig. 5) e che sarà definitivamente interrato solo nel secondo dopoguerra. Su questo canale si appoggiava un segmento delle mura medievali riportate nella famosa carta di Vincenzo Dotto (1623).

Anche il paleoalveo del Brenta ad andamento sud - nord pare continuare verso est al di fuori del *mound* antropico, sotto forma di una depressione allungata ancora percettibile nella topografia attuale della zona degli istituti universi-

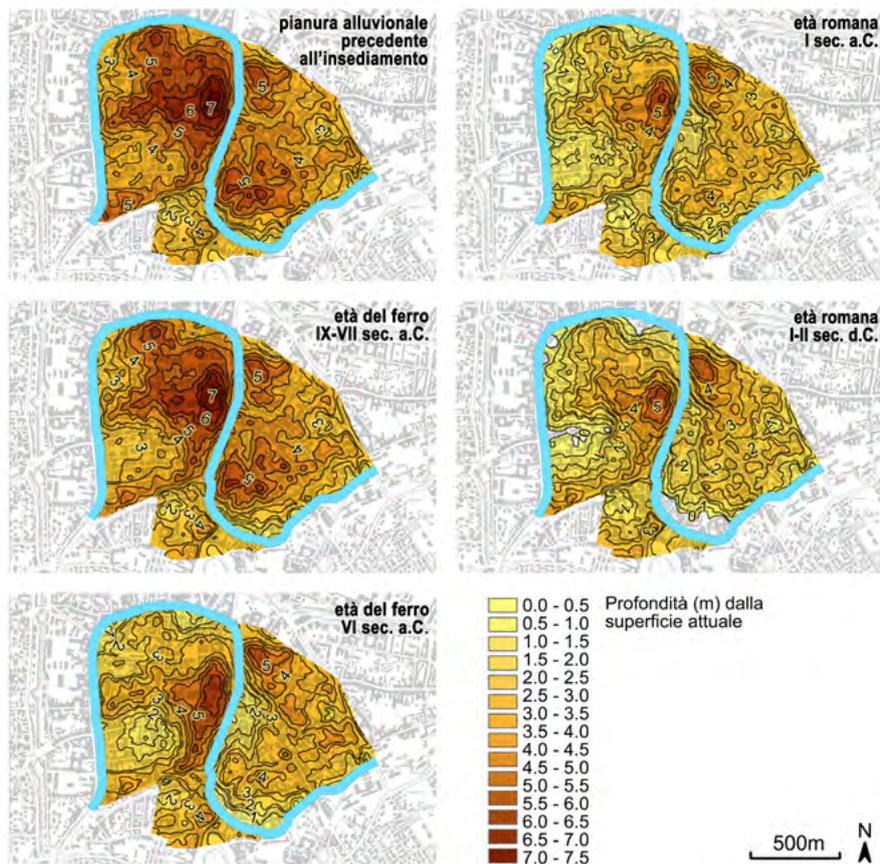


Figura 9. Mappe di profondità dei piani di calpestio antichi nel sottosuolo del centro di Padova (modificato da Mozzi et al., 2018; Mozzi e Verdi, 2018)

tari, lungo via Santa Maria in Conio e via Gradenigo. Questo elemento morfologico è marcato dalla presenza di canali nella cartografia del XVIII e XIX secolo e probabilmente corrispondeva a un tratto delle mura di Padova.

Il percorso seguito dal Bacchiglione per entrare in città anteriormente alla costruzione delle mura cinquecentesche è molto evidente nella mappa del Valle. Dall'odierno Piazzale Santa Croce, lungo il tratto iniziale di via Santa Maria in Vanzo e poi all'incirca lungo via dei Cappuccini, il Valle segna infatti uno stagno largo una trentina di metri e allungato verso nord che è, con tutta evidenza, un tratto di alveo del Bacchiglione non più attivo a causa dello spostamento artificiale del fiume all'esterno delle nuove mura della città. A ulteriore riprova, in una precedente raffigurazione cartografica di buon dettaglio di Gaspare dall'Abaco (1568), vi si vede lo specchio d'acqua con l'inequivocabile notazione di *fiume vecchio*. Tale elemento idrografico relitto è ancora percepibile nell'allineamento dei fossi della cartografia ottocentesca.

BIBLIOGRAFIA

CASTIGLIONI G.B., GIRARDI A., RODOLFI G. (1987), *Le tracce degli antichi percorsi del Brenta per Montà e Arcella nei pressi di Padova: studio geomorfologico*, Memorie di Scienze Geologiche, 34, 129-149.

CHAVARRIA ARNAU A. (2017), *Ricerche sul centro episcopale di Padova. Scavi 2011-2012*, *Progetti di Archeologia*, SAP Società Archeologica, Mantova.

CUCATO M., DE VECCHI G., MOZZI P., ABBÀ T., PAIERO G., SEDEA R., ZAMPIERI D. (2012), *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Note illustrative del Foglio 147 Padova Sud*, ISPRA - Servizio Geologico d'Italia e Regione Veneto, Treviso.

FONTANA A., MOZZI P., BONDESAN A. (2008), *Alluvial megafans in the Venetian-Friulian Plain (North-Eastern Italy): evidence of sedimentary and erosive phases during late Pleistocene and Holocene*, *Quaternary International*, 189, 71-90.

FONTANA, A., MOZZI, P., MARCHETTI, M. (2014), *Alluvial fans and megafans along the southern side of the Alps*, *Sedimentary Geology*, 301, 150-171.

GALIAZZO V. (1971), *I ponti di Padova Romana*, Cedam, Padova.

GAMBA M., GAMBACURTA G., RUTA SERAFINI A., BALISTA C. (2005), *Topografia e urbanistica*, in M. DE MIN, M. GAMBA, G. GAMBACURTA, A. RUTA SERAFINI (a cura di), *La città invisibile. Padova preromana. Trent'anni di scavi e ricerche*, Edizioni Tìpoarte, Bologna, pp. 23-31.

GAMBA M., GAMBACURTA G., RUTA SERAFINI A., TINÈ V., VERONESE F. (2013), *Venetkens. Viaggio nella terra degli antichi*. Marsilio, Padova.

GASPAROTTO C. (1951), *Padova Romana*, L'Eina di Bretschneider, Roma.

MOZZI P. (2005), *Alluvial plain formation during the Late Quaternary between the southern Alpine margin and the Lagoon of Venice (northern Italy)*, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 7, 219-230.

MOZZI P., PIOVAN S., ROSSATO S., CUCATO M., ABBÀ T., FONTANA A. (2010), *Palaeohydrography and early settlements in Padua (Italy)*, *Il Quaternario-Italian Journal of Quaternary Sciences*, 23, 387-400.

MOZZI P., FERRARESE F., FONTANA A. (2013), *Integrating digital elevation models and stratigraphic data for the reconstruction of the post-LGM unconformity in the Brenta alluvial megafan (North-Eastern Italy)*, *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 26, 41-54.

MOZZI P., FERRARESE F., ZANGRANDO D., GAMBA M., VIGONI A., SAINATI C., FONTANA A., NINFO A., PIOVAN S., ROSSATO S., VERONESE F. (2018), *The modeling of archaeological and geomorphic surfaces in a multi-stratified urban site in Padua, Italy*, *Geoarchaeology*, 33, 67-84.

MOZZI P., VERDI A. (2018), *Padova città tre volte murata*, in S. Piasek S. (a cura di), *Padova sotterranea*, Edizioni Chartesia, Treviso, pp. 27-43.

NICOSIA C., ERTANI A., VIANELLO A., NARDI S., BROGIOLO G.P., CHAVARRIA ARNAU A., BECHERINI F. (2019), *Heart of darkness: an interdisciplinary investigation of the urban anthropic deposits of the Baptistery of Padua (Italy)*, *Archaeological and Anthropological Sciences*, <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0646-2>

NINFO A., FERRARESE F., MOZZI P., FONTANA A. (2011), *High resolution DEMs for the analysis of fluvial and ancient anthropogenic landforms in the alluvial plain of Padua (Italy)*, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 34, 95-104.

NINFO A., MOZZI P., ABBÀ T. (2016), *Integration of LiDAR and cropmarks remote sensing for the study of fluvial and anthropogenic landforms in the Brenta-Bacchiglione alluvial plain (NE Italy)*, *Geomorphology*, 260, 64-78.

ROSSATO S., MOZZI P. (2016) *Inferring LGM sedimentary and climatic changes in the southern Eastern Alps foreland through the analysis of a ¹⁴C ages database (Brenta megafan, Italy)*, *Quaternary Science Reviews*, 148, 115-127.

ROSSATO S., CARRARO A., MONEGATO G., MOZZI P., TATEO F. (2018), *Glacial dynamics in pre-Alpine narrow valleys during the Last Glacial Maximum inferred by lowland fluvial records*, *Earth Surface Dynamics*, 6, 809-828.

TOSI G. (2002), *Aspetti urbanistici ed architettonici di Padova antica alla luce delle fonti storiche e dei nuovi rinvenimenti*, *Antenor*, 3, 87-127.

TUZZATO S. (2008), *La città sommersa nel sottosuolo del Palazzo*, in E. Vio (a cura di), *Il Palazzo della Ragione di Padova, la storia, l'architettura, il restauro*, Signum Editrice, Padova, pp. 99-119.

VERONESE F. (2009), *Via Annia I. Adria, Padova, Altino, Concordia, Aquileia. Progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*, *Atti della Giornata di Studio*, Il Poligrafo, Padova.

VERONESE F. (2011), *Via Annia II. Adria, Padova, Altino, Concordia, Aquileia. Progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*, *Atti della Giornata di Studio*, Il Poligrafo, Padova.

Il sottosuolo della città. Il punto di vista dell'archeologia

Francesca Veronese
Musei Civici di Padova - Museo
Archeologico
Conservatrice
E-mail: veronesef@comune.padova.it

The City's underground. The point of view of Archaeology

Parole chiave: stratificazione, topografia, abitato, necropoli, strutture
Key words: stratification, topography, settlement, necropolis, structures

La storia di Padova affonda le sue radici nella seconda metà del II millennio a.C. (*Padova preromana* 1976, 106-110; Gamba *et alii* 2005, 31, nota 6): fin da allora, all'interno dell'ansa e della controansa create da un fiume – denominato *Meduacus* in epoca romana – su dossi formatisi dallo straripare e dal ritirarsi delle acque (Rosada 1993; Balista 2004; Balista, Ruta Serafini 2004; Balista, Rinaldi 2005), l'insediamento ha iniziato il suo sviluppo, fino a tramutarsi in protocittà nel corso del VI secolo a.C., per poi evolversi in città (Fig. 1). Una città che è stata prima la *Patava* dei Veneti antichi, poi la *Patavium* romana, poi ancora la *Pava* del Medioevo (Marinetti, Prosdocimi 2005, 39-41; Braccesi, Veronese 2013, 169-171). E così, con dinamiche diverse a seconda dei periodi storici, la città ha continuato a crescere su se stessa, sempre sullo stesso punto, generando – fase dopo fase – una stratificazione palinsestica, a tratti profonda anche 7 metri rispetto all'attuale piano di calpestio, con un progressivo allargamento dell'area occupata.

In termini spaziali il “centro storico” odierno, perimetrato dalla cinta muraria cinquecentesca, coincide dunque con il cuore di quell'*insula* dentro cui si era sviluppata la città antica (Fig. 2), non a caso così denominata perché interamente circondata dall'acqua: plasmata dall'andamento sinuoso del fiume e delimitata, nel versante meridionale, da un canale di taglio esistente almeno dall'XI-X secolo a.C. (paleoalveo via Dimesse – via Acquette: Balista, Rinaldi 2005). Già Strabone, geografo greco vissuto a cavallo tra il I secolo a.C. e il I d.C., riferendosi a questo territorio rilevava (V, 1, 5) che “tutta la regione abbonda di fiumi e di paludi, ma soprattutto la terra dei Veneti [...], delle città che si trovano lì, alcune sono come isole, altre sono parzialmente circondate dall'acqua” (trad. A.M. Biraschi).

In sintesi necessariamente forzata, ciò evidenzia come uno dei problemi più



Figura 1. Ricostruzione grafica, riferibile all'età del Ferro, dell'insediamento da cui si è sviluppata Padova. Elemento caratterizzante il fiume con andamento serpeggiante (da (La) Città invisibile 2005)



Figura 2. Pianta della città di Padova. In evidenza le principali emergenze di età romana. Si nota come il fiume (Meduacus) e il canale di taglio che collega la base dell'ansa con la controansa creino una vera e propria isola



Figura 3 e 4. Padova, Prato della Valle, dicembre 2017. Visite guidate al cantiere archeologico per la riemersione dei resti del teatro romano dalle acque dell'Isola Memmia: un'esperienza di public archaeology (© Progetto Livius Noster)

complessi, nell'affrontare lo studio del passato di Padova, sia il fatto che l'insistenza della città attuale su quella antica ha sempre condizionato lo sviluppo della ricerca archeologica. Ricerca che, a sua volta, ha conosciuto un progressivo affinamento metodologico che ha permesso, negli ultimi decenni, un'intensificazione delle conoscenze grazie a interventi numericamente rilevanti, rapidi nelle modalità di esecuzione, esaustivi nella documentazione e spesso oggetto di divulgazione scientifica.

Il grande cambiamento si è verificato sulla soglia degli anni Ottanta. Fino ad allora, molti dati sull'evoluzione della Padova antica erano noti (*Padova preromana* 1976; *Padova antica* 1981), ma erano frutto di ricostruzioni storiche più che di vere ricerche archeologiche, poiché gli scavi non erano sistematici e non sempre erano ben documentati. Di una tutela archeologica del centro storico concepita e attuata in modo organico si può in realtà parlare compiutamente solo dalla metà di quegli anni, da quando cioè le indagini in area urbana hanno conosciuto un significativo incremento con un radicale affinamento dei metodi di indagine. È infatti solo dall'inizio degli anni Ottanta che, sulla scia di fermenti innovativi di ambito anglosassone, anche nel panorama scientifico italiano hanno iniziato ad essere sistematizzati e applicati i principi dell'archeologia stratigrafica. Parimenti è in quegli stessi anni che si fa strada la consapevolezza della distruttività dell'azione dell'archeologo e la conseguente necessità di documentare accuratamente ciò che si scava per poterlo poi idealmente ricomporre. In questa prospettiva anche la cultura materiale – con ciò intendendo l'insieme dei reperti rinvenuti nel corso di un'indagine archeologica – inizia ad assumere una nuova importanza e il materiale ceramico, per molto tempo considerato una “testimonianza involontaria della storia”

(Carandini 1975, p. 55) e sottostimata rispetto al suo reale valore informativo, assurge a “fossile guida” per l'identificazione delle sequenze cronologiche.

A partire dalla metà degli anni Ottanta tra gli studiosi si innescano anche i primi grandi dibattiti metodologici sui fondamenti stessi della ricerca archeologica, dibattiti dettati dall'esigenza di fare di questa disciplina, caratterizzata fin dalle sue origini da un taglio storico-antiquario e storico-artistico, una disciplina scientifica, in grado cioè di utilizzare metodi scientifici anche per la ricostruzione dei processi culturali. La scuola padovana prende attivamente

parte a questo dibattito, sia pure attraverso una “sparuta pattuglia” di studiosi (De Guio 1991), non di rado contestati dal loro stesso ambiente di provenienza, conservatore e poco incline a nuove aperture metodologiche.

Ora, a tanti anni di distanza dalle prime, polemiche, prese di posizione, archiviate alcune delle asperità comunque insite nei processi innovativi, è ormai un assunto implicito che l'archeologo sia un professionista che opera sul campo ben conoscendo il mondo antico e i suoi processi storici, sapendo leggere la stratigrafia del terreno e interpretare i dati della cultura materiale, in grado di

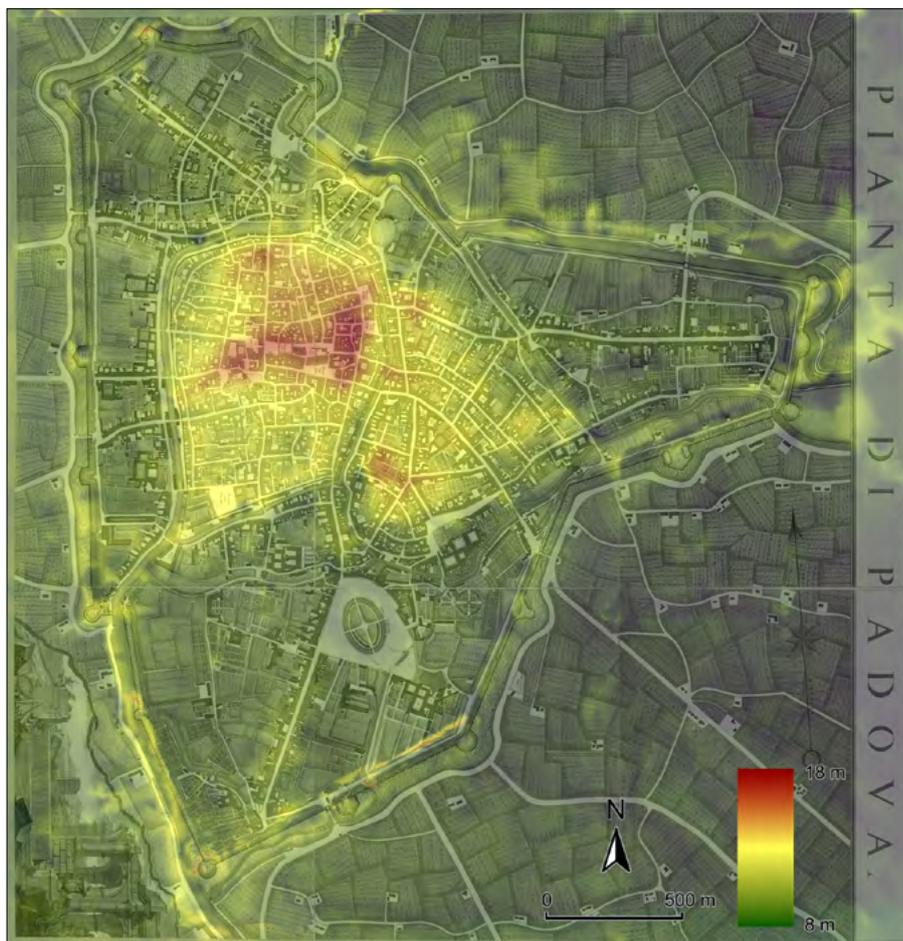


Figura 5. Modello digitale del terreno su base cartografica georeferenziata. Nello specifico, pianta di Padova di Giovanni Valle (1784); il tematismo evidenziato è l'altimetria. L'area più scura, all'interno dell'ansa fluviale, è la più elevata sul livello del mare (elaborazione Dipartimento di Geoscienze - Università degli Studi di Padova)

dialogare con studiosi di altre discipline – geologi, chimici, biologi, informatici – e di avvalersi di metodi e strumenti provenienti da queste aree disciplinari.

Alla luce di questi presupposti va sottolineato come ancora oggi persistano, nella conoscenza della Padova antica, estese zone d'ombra, sebbene i fondamentali aspetti cronologici, topografici e, più in generale, culturali siano dati acquisiti (per la fase protostorica: *(La) Città invisibile* 2005; *Venetkens* 2013; per la fase romana Tosi 1987; Tosi 2002; *Padova romana* 1994; *Padova romana* 2002; Braccesi, Veronese 2014). Tutto ciò è stato reso possibile, sul piano fattuale, anche da uno specifico accordo siglato nel lontano 1989 tra la Soprintendenza e il Comune di Padova (Piano Regolatore Generale 1989, art. 5), oggi sostanzialmente confluito nel PAT – Piano di Assetto del Territorio, efficace dall'ottobre del 2014 e disponibile in rete, in ottemperanza alle norme sulla trasparenza – con l'intento di fare della prevenzione lo strumento cardine nell'azione di tutela. Da allora si è cercato di porre rimedio alla contrapposizione tra interessi del privato, rappresentati dal proliferare dei cantieri edilizi, e tutela del patrimonio sepolto esercitata dallo Stato mediante la concessione di un "parere preventivo", eventualmente accompagnato dalla richiesta di un'indagine stratigrafica antecedente l'apertura dei cantieri. Al fine di identificare con precisione sempre maggiore le aree a rischio, in anni non lontani è stato avviato il progetto *Padova underground*, frutto di una collaborazione tra Università (Dipartimento di Geografia, oggi Geoscienze) e Soprintendenza, finalizzato alla ricostruzione di superfici geomorfe e archeologiche attraverso l'interpolazione di punti con specifiche caratteristiche, con l'obiettivo di identificare stime quantitative dei depositi archeologici sepolti (Mozzi *et alii* 2018).

In tal modo, il graduale superamento della reciproca diffidenza privato-pubblico e, parallelamente, l'attenzione posta dalle Istituzioni (Musei, Soprintendenza) nel rendere accessibile la conoscenza dei rinvenimenti via via effettuati in città attraverso incontri e pubblicazioni, hanno contribuito a rendere la collettività più consapevole della propria storia e quindi più propensa a comprendere l'importanza dell'azione di tutela. Esempio recente di coinvolgimento della comunità in un processo di conoscenza della storia, a partire da un disvelamento del sottosuolo, si è verificato nel 2017 con il prosciugamen-

to della canaletta del Prato della Valle, mirato alla riemersione e allo studio dei resti del teatro romano in occasione del bimillenario della morte di Tito Livio (Bonetto *et alii* 2018a-b) (Figg. 3-4). Un'operazione realizzata in sinergia dalle Istituzioni patavine (Comune, Università, Soprintendenza) difficilmente ripetibile data la complessità tecnica, di importanza fondamentale dal punto di vista scientifico per le ricadute in termini di acquisizione di dati sui resti di una struttura normalmente scomparsa dal panorama urbano, di grande impatto sulla collettività padovana, coinvolta in una vera e propria dinamica di "archeologia pubblica" (Bonetto *et alii* 2018c).

Se "l'operazione canaletta" ha avuto una visibilità straordinaria data la peculiarità del sito, per converso sono assai numerosi gli interventi di scavo, non visibili ma non per questo meno importanti, che normalmente si verificano nel centro storico. La mole di dati via recuperati aveva portato ancora nel lontano 1990 alla creazione di un prototipo di Carta Archeologica del centro urbano. Soprintendenza, Comune e Università giunsero allora a formulare il progetto SITAR (Sistema Informativo Territoriale – Archeologia: Marchiori 1991), una carta archeologica computerizzata di fatto mai del tutto portata a compimento, mirata a una condivisione interistituzionale delle conoscenze relative al patrimonio archeologico urbano. Oggi quest'ipotesi di lavoro è ormai anacronistica data l'evoluzione tecnologica basata sui modelli digitali del terreno (Ferrarese, Mozzi, Veronese, Cervo 2006) e su sistemi GIS; ma non è venuta meno la necessità, da parte degli stessi Enti, di disporre di un'aggiornata carta archeologica digitale funzionale alla ricerca, allo studio e alla valorizzazione del patrimonio archeologico della città. E per il raggiungimento di questo obiettivo si sta ora delineando un nuovo percorso.

I tanti interventi di scavo realizzati in città – per un inquadramento dei quali si rinvia alle riviste di settore: "Quaderni di Archeologia del Veneto", sostituito dal 2014 da "Notizie di Archeologia del Veneto"; "Archeologia Veneta" – anche se nati come scavi di emergenza più che per un'effettiva programmazione, anche se il più delle volte "puntiformi" perché dettati da ristrutturazioni di edifici, da modifiche alla rete infrastrutturale, dall'esigenza di costruire o ampliare vani interrati, e quasi mai realizzati in estensione, ci restituiscono oggi un mosaico di conoscenze abbastanza delineato. Pur nella costrizione



Figura 6. Lapidario del Museo Archeologico di Padova. Colonna con base e plinto rinvenuta in Piazzetta Pedrocchi nel 1812-1819. Forse riferibile alla basilica forense, è uno dei pochi elementi rinvenuti in situ; metà del I secolo a.C. (Padova, Musei Civici - Museo Archeologico, inv. 147 e 136; © Gabinetto fotografico, Musei Civici di Padova)



Figura 7. Lapidario del Museo Archeologico di Padova. Ricostruzione di una colonna ottenuta mediante ricomposizione di pezzi originali rinvenuti in piazzetta Pedrocchi nel 1877 e nel 1911; prima metà del I secolo d.C. (Padova, Musei Civici - Museo Archeologico, inv. 565, 563, 562, 127 a-b; © Gabinetto fotografico, Musei Civici di Padova)

imposta alla ricerca dalla densità della trama urbana, che si è sempre configurata come un ostacolo all'ampliamento delle indagini anche a fronte di ritrovamenti importanti, possiamo affermare che oggi l'articolazione dell'abitato antico, dei luoghi di culto e delle necropoli relativi alle varie fasi attraverso cui si è sviluppata la storia della città sono ben tracciati, pur rimanendo in buona parte ancora sfuggenti i dettagli. Alcune zone della città, in particolare, pur rivestendo un alto potenziale informativo, sono e saranno – di fatto – difficilmente indagabili; altre, più periferiche e con minore densità urbanistica, restituiscono di volta in volta tasselli utili a una migliore definizione del quadro generale.

Enigmatico resta il cuore dell'*insula*, che non a caso coincide con il punto più alto della città, localizzato in corrispondenza della chiesa di Sant'Andrea, nell'omonima via. Un "alto morfologico" che si eleva di 6-7 metri sulla pianura circostante (circa 17 m slm: Mozzi 2008), ben visibile nel modello digitale del terreno (Ferrarese, Mozzi, Veronese, Cervo 2006) (Fig. 5): un *mound* di origine antropica, dentro cui si "nasconde" una parte importante della storia di Padova. Dall'area del Pedrocchi fino al Canton del Gallo doveva infatti trovarsi il centro politico-amministrativo della *Patavium* romana, con le sedi istituzionali proprie di ogni colonia romana: il foro, la curia, la basilica, l'*aerarium*, l'edificio per le assemblee popolari (Bassignano 1981, 195 ss.; Braccesi, Veronese 2014, p. 59 ss.). Come fossero dislocate queste strutture, quanto fossero monumentali, è impossibile dire. Foro e basilica dovevano essere attigui e congiunti, almeno secondo le norme indicate da Vitruvio (*Architettura* V, 1, 4). Nel lapidario del Museo Archeologico si conservano i pochi resti superstiti, che alludono a una *publica magnificentia* oggi solo immaginabile (Figg. 6-7). Difficile inoltre è capire quanto il foro fosse esteso e da quale forma fosse caratterizzato. Data la particolare genesi della città romana, che si è sviluppata dall'abitato protostorico senza soluzione di continuità (Bosio 1981; Capuis 2000; Tosi 2002), non si può escludere che il foro di epoca romana possa aver avuto una forma diversa da quella tradizionale del rettangolo allungato. Possa cioè, aver avuto una forma asimmetrica, forse ereditata da una preesistente area pubblica destinata alle riunioni della comunità, situata in posizione strategica in prossimità del corso d'acqua. Potrebbe, in altre parole, essere l'esito di un processo di sviluppo urbanistico non pianificato e

perciò non normato dalle regole consuete (Tosi 2002, 117-118; Veronese 2010, 120-121).

Lungo il lato settentrionale del foro avrebbe forse potuto trovarsi un tempio, quello dedicato alla triade capitolina Giove, Giunone, Minerva. Ipotesi, quest'ultima, che trova fondamento nella particolare sopraelevazione della chiesa di Sant'Andrea, cui si è fatto cenno; l'alto morfologico su cui sorge l'edificio potrebbe infatti essere giustificato dalla presenza dei resti di un podio, il tipico basamento su cui si ergevano le strutture templari (Tosi 1994, 57). Non vi sono però, allo stato attuale, indizi che permettano di suffragare questa lettura.

La complessità della situazione archeologica dell'area non si esaurisce nel versante Sant'Andrea-Pedrocchi, ma prosegue sul versante di piazza Cavour, dove sterri realizzati tra la fine dell'Ottocento e la prima metà del Novecento hanno riportato alla luce strutture e materiale architettonico in ordine sparso (Fig. 8), lacerti di basolato stradale e strati pavimentali, in un'eterogeneità di contesti e in un'indeterminatezza di ubicazione che rendono oggi difficile una ricostruzione realistica. Si può solo affermare che l'insieme dei dati ha permesso di ipotizzare per questo versante una connotazione più mercantile, tanto più alla luce della sua prossimità al porto fluviale, ubicato tra i due ponti San Lorenzo e Altinate, posti a una distanza di circa 300 metri l'uno dall'altro (Tosi 2002, 118-123), e ai grandi magazzini per lo stoccaggio delle merci individuati tra piazza Antenore e via San Francesco (Bonato *et alii* 2010).

Sui due ponti si è negli ultimi anni focalizzata l'attenzione, nella consapevolezza che se modeste sono le tracce dell'antichità rimaste visibili in superficie, più numerose sono quelle conservate nel sottosuolo o nascoste in vani sotterranei. Tra queste i ponti romani, presenti nel panorama urbano, anche se non con la monumentalità avuta nel passato, fino agli anni Cinquanta del secolo scorso, quando la politica dei tombinamenti ha messo la parola fine alla presenza del corso d'acqua in città, annientando in modo irrevocabile quell'identità di "città d'acqua" che Padova aveva avuto fin dalle sue origini. Scomparsa l'acqua, sono scomparsi anche quei ponti che, prima in legno, poi dallo scorcio del I secolo a.C. in pietra, con i loro 50 metri di lunghezza "cucivano" i due versanti in cui si articolava l'abitato riunendoli un'unica realtà. Inghiottiti dalla cementificazione del tombinamento, sovrastati da un piano stradale che sarcasticamente è stato denominato "riviera", i due ponti posti a delimitazione del grande porto fluviale di Padova hanno nel tempo avuto vicende leggermente diverse: il San Lorenzo è stato in parte salvato e reso visibile grazie a un sottopassaggio, che tuttavia non è più agibile dal 2014. L'Altinate è stato invece abbandonato a un destino di totale invisibilità (Fig. 9): un piano di recupero proposto all'epoca dei tombinamenti è stato vanificato dalla mancanza di risorse, facendo calare il sipario su una delle più monumentali arcate di epoca romana presenti nel tessuto urbano (Vigoni 2018). Il ponte è così scomparso dalla memoria collettiva, ricordato



Figura 8. Padova, Piazza Cavour. Scavi archeologici realizzati tra la fine anni Venti e i primi anni Trenta (© Gabinetto fotografico, Musei Civici di Padova)



Figura 9. Padova, Riviera dei Ponti Romani. Operazioni di tombinamento del Ponte Altinate nel 1956-1957 (© Gabinetto fotografico, Musei Civici di Padova)



Figura 10. Padova, Riviera dei Ponti Romani. L'arcata superstite del Ponte Altinate, oggi (foto Francesca Veronese)

tristemente solo da una lapide – che ha tutta l'aria di essere funeraria – incastonata nei suoi pressi. E paradossalmente è oggi conosciuto solo dal personale tecnico che si occupa di infrastrutture della città. L'attenzione riportata sulla struttura in tempi recentissimi dal Gruppo Speleologi del CAI, che sulla Padova sotterranea lavora con un progetto di ampio respiro, silenziosamente ma con grande professionalità (*Padova sotterranea* 2018), ha permesso di riunire ancora una volta in azione sinergica il Comune, la Soprintendenza e l'Università nella creazione di una convenzione mirata allo studio dell'area fluviale romana nell'ottica di una futura valorizzazione (Fig. 10). In questa logica i due ponti – cui nel giugno 2019 è stato aggiunto il ponte San Daniele, situato alla fine di corso Umberto I, in prossimità del Prato della Valle – sono stati rilevati mediante laser scanner e fotogrammetria a sensore passivo al fine di acquisire dati importanti su tutti quegli aspetti – posizione, dimensioni, tecnica di costruzione – fino a oggi scarsamente studiati. Le aree contermini sono state oggetto di una campagna di indagini geofisiche mirate ad acquisire indicazioni sulla struttura del sottosuolo e sulla presenza di eventuali anomalie, consentendo così di mappare e descrivere posizione ed estensione delle strutture connesse ai ponti e delle arcate che nei secoli vennero defunzionalizzate. Nella logica di approfondire le conoscenze sulle strutture murarie, sono stati realizzati alcuni carotaggi di

ridotta entità in punti strategici e prelievi micro-invasivi per recuperare materiale costruttivo lapideo utile a determinare tramite analisi archeometriche la natura petrografica del materiale stesso e la sua origine. In futuro verranno realizzati alcuni saggi archeologici lungo le sponde del ponte San Lorenzo, per integrare le conoscenze finora acquisite e aggiungere così nuovi tasselli alla storia della città.

Molti dubbi sono invece destinati a persistere: basti pensare all'ubicazione del circo, di tanti edifici civili (le terme, ad esempio) e religiosi che pure, in un centro importante come *Patavium*, dovevano essere imponenti e sfarzosi. Al di là di quanto conserva il Lapidario del Museo Archeologico cittadino, che lascia pensare alla città *opulentissima* descritta dalle fonti, caratterizzata da un'architettura ricca ed elegante (Veronese 2015), i dati che via via sono emersi dal sottosuolo sono andati sempre in questa direzione. Per quanto concerne l'architettura religiosa, non si può non ricordare in questa sede l'unica indagine archeologica che ha permesso di individuare tracce strutturali di un edificio templare. Si tratta di un edificio a pianta rettangolare individuato nel 1981 nel cortile dell'Istituto Marconi, in via Manzoni, di cui si conservano in parte le strutture di fondazione. L'indagine archeologica, realizzata successivamente tra il 1991 e il 2005, ha permesso di comprendere che qui, nel suburbio sud-orientale della città romana, in prossimità di un'importante arteria viaria e di

una grande area necropolare, sorgeva un santuario caratterizzato da un tempio a pianta rettangolare, che venne in un secondo momento monumentalizzato con l'aggiunta di una *porticus*. Il complesso è databile tra la fine del I secolo a.C. e l'inizio del I° secolo d.C. (Vigoni 2009). A quale divinità fosse dedicato il tempio, non è ad oggi possibile dire. Sappiamo però che non lontano da qui, nell'area di Santa Giustina, in epoca umanistica a lungo si credette, a partire da affermazioni dell'erudito Albertino Mussato, che sorgesse un tempio dedicato alla Concordia (Bassignano 1981, 211). L'affermazione è stata in seguito smentita e tracce di strutture templari nell'area di Santa Giustina non ne sono mai state rinvenute. È tuttavia ben documentata l'esistenza di una ricca necropoli: la necropoli meridionale della città romana (Braccesi, Veronese 2014, 81 ss.).

Se dall'epoca romana si volge lo sguardo alla Padova di fase protostorica, il cui arco cronologico si estende tra la fine del IX sec. a.C. e la romanizzazione, molti sono ormai i dati che testimoniano come la città preromana fosse estesa per quasi 200 ettari, dotata di confini istituzionali indicati da cippi, di un'articolazione spaziale strutturata in aree pubbliche, private e adibite ad attività artigianali, prevalentemente destinate alla lavorazione dell'argilla e ad attività metallurgiche (*Venetkens* 2013, *passim*). L'insediamento era altresì dotato di fossati e di strade, ma anche di sistemi spondali, di approdi fluviali e di

guadi – strutture che persistono spesso negli stessi punti anche in epoca romana (Tosi 2002, p. 95) – mentre non sono allo stato attuale noti edifici pubblici ed edifici sacri, che pure secondo le fonti dovevano esserci. Afferma infatti lo storico patavino Tito Livio (X, 2, 14) che sulla sponda del *Meduacus* c'era un tempio dedicato a Giunone dove i Patavini, vincitori sui Greci di Cleonimo, appesero le spoglie del nemico sconfitto. L'episodio risale al 302 a.C., dunque il tempio risulta esistente almeno dal IV secolo a.C. Di tale struttura non sono però mai state rinvenute le tracce, perciò sulla sua ubicazione sono state avanzate solo ipotesi (Tosi 2002, 96-97; Braccesi, Veronese 2014, 50-54; Cupitò et alii 2019) Molto più raffinate sono oggi anche le conoscenze sul mondo dei morti della Padova protostorica: gli scavi degli ultimi decenni hanno infatti riportato alla luce centinaia di tombe, raggruppate in grandi aree necropoli periferiche poste a oriente e a meridione dell'abitato. Di grande rilievo è stata l'individuazione, nel 2003, della necropoli meridionale, rinvenuta nel corso di un'indagine archeologica in corso Umberto I e ad oggi solo parzialmente indagata (*Prima Padova* 2014).

In via conclusiva si può quindi notare come i dati messi a disposizione dalla ricerca archeologica per la ricostruzione del passato siano moltissimi: non un banale accumulo di informazioni, ma elementi che hanno portato a significativi stati di avanzamento nelle conoscenze.

BIBLIOGRAFIA

- BALISTA C. (2004), *Il contesto geomorfologico e paleoidrografico*, in A. Ruta Serafini, S. Tuzzato, *La necropoli patavina di via Umberto I*, Quaderni di Archeologia del Veneto XX, 91-102.
- BALISTA C., RINALDI L. (2005), *I percorsi pre-protostorici del fiume Brenta a Padova*, in *(La) Città invisibile* 2005, 11-21.
- BALISTA C., RUTA SERAFINI A. (2004), *Primi elementi di urbanistica arcaica a Padova*, *Hesperia* 18, 291-310 (*I Greci in Adriatico* 2).
- BASSIGNANO S. (1981), *Il municipio patavino*, in *Padova antica*, 193-227.
- Bonato S., Destro C., Mazzocchin S., Tomaello E., Tuzzato S. (2010) *Nuovi dati dall'abitato di IX-VIII sec. a.C. e sull'edilizia pubblica romana da uno scavo presso il ponte di San Lorenzo a Padova*, *Archeologia Veneta* XXXIII, 8-43.
- BONETTO J., PETTENÒ E., PREVIATO C., VERONESE F. (2018a), *Il teatro romano in Prato della Valle*, in *Livio, Padova e l'universo veneto nel bimillenario della morte dello storico*, Atti della Giornata di Studio, Padova 19 ottobre 2017, a cura di F. Veronese, L'Erma di Bretschneider, Roma, 77-117 (*Venetia/Venezia* 6).
- BONETTO J., PETTENÒ E., VERONESE F., PRIZINGRILLI N. (2018c), *17 d.C. - 2017: nel bimillenario della morte di Tito Livio. Padova e un'esperienza di public archaeology*, *Archeologia Veneta* XLI, 292-305.
- BOSIO L. (1981), *Padova in età romana. Organizzazione urbanistica e territorio*, in *Padova antica*, 231-246.
- BRACCESI L., VERONESE F. (2013), *Padova prima di Padova. La città e l'universo veneto*, Cierre Edizioni, Sommacampagna (Verona).
- BRACCESI L., VERONESE F. (2014), *Padova romana. Da Augusto a Teodorico*, Cierre Edizioni, Sommacampagna (Verona).
- CAPUIS L. (2000), "Città", strutture ed infrastrutture "urbanistiche" nel Veneto preromano, in *Techne. Studi di architettura greca e romana in onore di Giovanna Tosi*, *Archeologia Veneta* XXI-XXII, 51-57.
- CARANDINI A. (1975), *Archeologia e cultura materiale. Lavori senza gloria nell'antichità classica*, De Donato Editore, Bari.
- M. DE MIN, M. GAMBA, G. GAMBACURTA, A. RUTA SERAFINI (a cura di) (2005), *(La) Città invisibile. Padova preromana, trent'anni di scavi e scoperte*, Edizioni Tiparte, Ozzano Emilia (Bologna).
- CUPITÒ M., BOVOLATO C., LOTTO D., VOLTOLINI D. (2019), *Tito Livio e Padova preromana. Ancora sull'Episodio di Cleonimo e sul "vecchio tempio di Giunone" tra fonte scritta e realtà archeologica*, *Preistoria alpina* 49bis, 29-43.
- DE GUIO A. (1991), *Alla ricerca del potere: alcune prospettive italiane*, in *The Archaeology of the Power*, Papers of the Fourth Conference of Italian Archaeology, 1, E. Herring, R. Whitehouse, J. Wilkins eds., Accordia Research Institute, London.
- FERRARESE F., MOZZI P., VERONESE F., CERVO F. (2006), *High resolution DTM for the geomorphological and geoarchaeological analysis of the city of Padua (Italy)*, in *From Space to Place, 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology*, Proceedings of the Workshop, CNR, Rome, Italy, December 4-7, 2006, edited by S. Campana, M. Forte, BAR International Series, 1568, 291-296.
- GAMBA M., GAMBACURTA G., RUTA SERAFINI A., BALISTA C. (2005), *Topografia e urbanistica*, in *(La) Città invisibile*, 23-31.
- GAMBA M., GAMBACURTA G., RUTA SERAFINI A., TINÉ V., VERONESE F. (a cura di) (2013), *Venetkens. Viaggio nella terra dei Veneti antichi*, Marsilio, Venezia.
- GAMBA M., GAMBACURTA G., RUTA SERAFINI A. (a cura di) (2014), *(La) Prima Padova. Le necropoli di Palazzo Emo Capodilista-Tabacchi e di via Tiepolo-Via San Massimo tra il IX e l'VIII secolo a.C.*, La Tipografica, Regione del Veneto (*Archeologia Veneta* 3).
- MOZZI P., FERRARESE F., ZANGRANDO D., GAMBA M., VIGONI A., SAINATI C., FONTANA A., NINFO A., PIOVAN S., ROSSATO S., VERONESE F. (2018), *The modeling of archaeological and geomorphic surfaces in a urban context (Padua, Italy)*, *Geoarchaeology* 33, 67-84.
- MARCHIORI A. (1991), *Carta archeologica di Padova: la realizzazione del prototipo SITAR*, Quaderni di Archeologia del Veneto VII, 223-226.
- MARINETTI A., PROSDOCIMI A.L. (2005), *Lingua e scrittura*, in *(La) Città invisibile*, 33-47.
- MOZZI P. (2008), *Le elevazioni del centro storico di Padova*, in *Il Bacchiglione*, a cura di F. Selmin, C. Grandis, p. 33, Cierre Edizioni, Sommacampagna (Verona).
- Padova antica. Da comunità paleoveneta a città romano-cristiana* (1981), Edizioni Lint, Padova-Trieste.
- Padova preromana* (1976), catalogo della mostra, Padova 27 giugno - 15 novembre 1976, Antoniana, Padova.
- Padova romana. Testimonianze architettoniche nel nuovo allestimento del Lapidario del Museo Archeologico* (1994), a cura di G. ZAMPIERI, M. CISOTTO NALON, Electa, Milano 1994.
- Padova romana* (2002), catalogo della mostra, a cura di H. HILLER, G. ZAMPIERI con la collaborazione di B. LAVARONE, Grafiche Turato, Rubano (Padova).
- S. PIASER (a cura di) (2018), *Padova sotterranea. Nel cuore delle mura rinascimentali esistenti più estese d'Europa*, Edizioni Chartesia, Treviso.
- ROSADA G. (1993), *Patavium: note di archeologia del paesaggio e di topografia urbana*, *Journal of Ancient Topography* III, 63-76.
- TOSI G. (1987), *Padova e la zona termale euganea*, in *Il Veneto nell'età romana, II. Note di urbanistica e di archeologia*, a cura di G. CAVALIERI MANASSE, Grafiche Fiorini, Verona, 157-193.
- TOSI G. (1994), *Il significato storico-documentario e gli aspetti formali e stilistici dei reperti*, in *Padova romana* 1994, 55-76
- TOSI G. (2002), *Aspetti urbanistici ed architettonici di Padova antica alla luce delle fonti storiche e di vecchi e nuovi rinvenimenti*, *Antenor* III, 87-127
- VERONESE F. (2010), *L'area di Sant'Andrea in età romana. Un frammento della storia di Padova attraverso la lettura "degli scarissimi avanzi de' suoi antichi edifici"*, in *La chiesa di Sant'Andrea in Padova. Archeologia, Storia, Arte*, a cura di G. Zampieri, L'Erma di Bretschneider, Roma, 109-126.
- VERONESE F. (2015), *Patavium augustea: spolia e sopravvivenze di una città opulentissima*, in *Patavium augustea nel bimillenario della morte del princeps*, Atti della Giornata di Studio, Padova 18 novembre 2014, a cura di F. Veronese, L'Erma di Bretschneider Roma, 109-127 (*Venetia/Venezia* 3).
- VIGONI A. (2009), *Il tempio romano di via Manzoni a Padova*, Quaderni di Archeologia del veneto XXV, 31-36.
- VIGONI A. (2018), *Documenti archeologici inediti della Patavium liviana: il caso del porto fluviale*, in *Livio, Padova e l'universo veneto nel bimillenario della morte dello storico*, Atti della Giornata di Studio, Padova 19 ottobre 2017, a cura di F. Veronese, L'Erma di Bretschneider, Roma, 133-148 (*Venetia/Venezia* 6).

Idrogeologia del territorio di Padova

Hydrogeology of Padua area

Paolo Fabbri

Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova
E-mail: paolo.fabbri@unipd.it

Nicola Zagato

Geologo in Verona
E-mail: nicolazagato@gmail.com

Parole chiave: Idrogeologia, idrostratigrafia, Padova
Key words: Hydrogeology, hydrostratigraphy, Padua area

Gli studi riguardo il sistema idrogeologico del sottosuolo di Padova si possono ritenere abbastanza recenti in quanto derivano da una tesi del 2018 con la collaborazione di ARPAV (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Veneto).

Le misure freatiche provengono da circa una quarantina di piezometri presenti nel territorio patavino. Si è potuto coprire il territorio comunale e della cintura urbana abbastanza completamente anche se i dati esistenti sono a volte territorialmente molto concentrati tra loro, mentre altre zone sono risultate sguarnite.

Successivamente, utilizzando diversi metodi di interpolazione che hanno dato grosso modo gli stessi risultati, si è costruito quello che è il deflusso ed il comportamento generale delle acque sotterranee proprio nella città del Santo.

Dai risultati ricavati si è stabilito che la falda superficiale è rinvenibile a circa un metro, un metro e mezzo di profondità dal piano campagna; con isopotenziali che vanno da 8,5 m slm nella zona "Stanga" di Padova Est a circa 9 m slm nell'area universitaria del Portello raggiungendo i 15 metri slm allontanandosi verso nord-ovest.

A scala generale la caratteristica che risalta maggiormente nella car-

ta delle isofreatiche elaborata (*Fig. 1*) è la direzione di deflusso: una classica direzione da nord ovest a sud est, direzione come ben sappiamo prevalente in tutta la Pianura Veneta, ma soprattutto, l'elemento peculiare riscontrato è un evidente asse di drenaggio che tende ad originarsi nella zona nord ovest di Padova e che si estende coprendo la parte centrale del comune fin verso la zona industriale ad est.

Tale struttura è alimentata a nord e a sud da due assi di alimentazione sotterranei.

Quello più meridionale si estende dal quartiere Brusegana in direzione est attraversando il centro storico e sembra

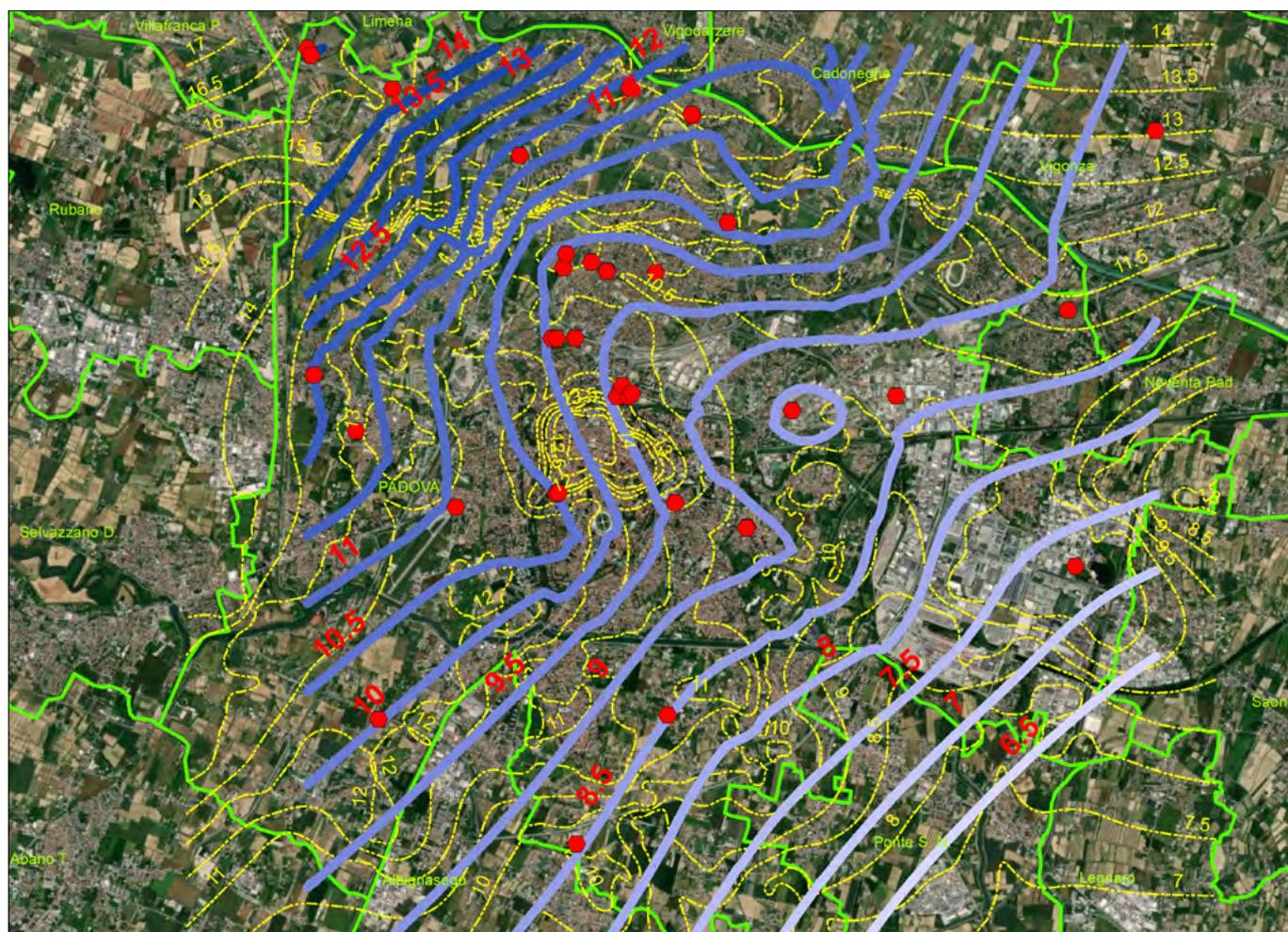


Figura 1. Carta delle isofreatiche

terminare nei pressi della zona più a sud dell'area industriale di Padova. Il secondo, più piccolo, si estende dal confine settentrionale padovano per poi piegare a sud verso i quartieri Mortise e Arcella.

Si è anche osservata una probabile alimentazione del fiume Brenta sulle acque sotterranee, pur precisando che al momento non si hanno a disposizione moltissimi dati ed informazioni in tale zona. Il fiume quindi potrebbe assumere un cosiddetto carattere disperdente.

Il gradiente calcolato tende ad assumere valori passanti da 1,3 - 1,5 per mille nella zona più alta, in cui le isofreatiche si avvicinano, fino a gradienti più bassi, intorno a 0,3 - 0,4 - 0,5 per mille, nelle zone in cui le isolinee sono un po' più distanziate.

Proseguendo con l'analisi litologica dell'immediato sottosuolo, con lo scopo di rilevare corpi litologicamente caratteristici dal punto di vista idrogeologico, si sono elaborate delle sezioni.

Attraverso delle indagini idrostratigrafiche superficiali, basate su dati reperiti negli archivi ARPAV, derivanti perlopiù da siti oggetto di bonifica o riqualificazione di siti potenzialmente contaminati, si sono individuati elementi geologici costituiti da litologie permeabili e tendenzialmente molto superficiali, in grado molto probabilmente di influenzare lo stesso deflusso freatico descritto precedentemente.

Nello specifico i dati analizzati provengono da circa 120 profili stratigrafici. Si tratta di sondaggi realizzati a scopo geotecnico, profondi mediamente una decina di metri e inevitabilmente aventi una descrizione stratigrafica alquanto complessa (terreni limosi, debolmente argillosi, sabbie fine limose, sabbie debolmente argillose ecc...); è stato quindi indispensabile semplificare, interpolandoli notevolmente soprattutto laddove ve ne sono presenti numerosi in piccole aree, trasformando le varie litologie in "gradi di permeabilità", in quanto il parametro necessario per l'interpretazione idrogeologica generale è appunto quello della permeabilità.

In particolare, si sono costruite quattro sezioni, che tagliano il territorio grossomodo con direzione Nord-Sud e Nord Ovest - Sud Est; esse si allungano coprendo tutta l'area interessata dallo studio effettuato.

Attraverso i risultati conseguiti si ritiene di poter affermare che l'immediato sottosuolo, a parte i materiali presenti nei primissimi metri superficiali (di riporto o archeologici), risulta composto principalmente da litologie poco per-

meabili, di tipo limoso e limoso argilloso, cioè di bassa permeabilità. Però, in particolar modo nei sondaggi localizzati nell'area ovest - nord-ovest di Padova, fra i quartieri Arcella e Montà, sono stati individuati orizzonti permeabili (sabbiosi o sabbioso/ghiaiosi) superficiali.

Tali strutture sembrerebbero concentrarsi nell'area con maggior presenza di paleoalvei (Castiglioni, 1987; Mozzi *et al.*, 2010-2013-2018; Ninfo e Mozzi, 2016); la notevole variazione di litologia rispetto al quadro generale molto probabilmente è la causa della formazione degli elementi idrogeologici descritti precedentemente ed evidenziati dalla carta idrogeologica prodotta. Infatti, quasi a ridosso o in prossimità delle zone interessate da paleoalvei, la falda tende a perdere il suo deflusso regolare verso sud est, creando assi di drenaggio, spartiacque sotterranei e zone idrogeologicamente più depresse.

BIBLIOGRAFIA

- CASTIGLIONI, B., GIRARDI, A., AND RODOLFI, A. (1987), *Le tracce degli antichi percorsi del Brenta per Montà e Arcella nei pressi di Padova: studio geomorfologico*. Memorie di Scienze Geologiche, Volume XXXIX, 39, 29-149.
- MOZZI, P., PIOVAN, S., ROSSATO, S., CUCATO, M., ABBÀ, T., AND FONTANA, A. (2010), *Paleohydrography and early settlements in Padua (Italy)*. Italian Journal of Quaternary Sciences, 23(2Bis), 387-400.
- MOZZI, P., FERRARESE, F., AND FONTANA, A. (2013), *Integrating digital elevation models and stratigraphic data for the reconstruction of the post-lgm unconformity in the Brenta alluvial megafan (north-eastern Italy)*. Alpine and Mediterranean Quaternary, 26 (1), 2013, 41-54.
- MOZZI, P., FERRARESE, F., AND ZANGRANDO, D., *et al.* (2018), *The modeling of archaeological and geomorphic surfaces in a multi-stratified urban site in Padua, Italy*. Geoarcheology. 2018; 33:67-84.
- MOZZI, P., VERDI, A. PADOVA (2018), *Città tre volte murata*, pp. 27-33. In: PIASER, S. (a cura di) *Padova sotterranea. Nel cuore delle mura rinascimentali esistenti più estese d'Europa*. Chartesia (Collana URBIS).
- NINFO, A., MOZZI, P., AND ABBÀ, T. (2016), *Integration of LiDAR and cropmark remote sensing for the study of fluvial and anthropogenic landforms in the Brenta-Bacchiglione alluvial plain (NE Italy)*. Geomorphology 260 (2016) 64-78.

Implicazioni idrauliche in nuove espansioni urbane

Hydraulic issues related to urban sprawl

Luigi D'Alpaos

Professore emerito di Idraulica dell'Università di Padova

E-mail: luigi.dalpaos@unipd.it

Parole chiave: allagamenti, urbanizzazione, rete idraulica, piene, modelli idrologici
Key words: flooding, urbanization, drainage network, floods, hydrological models

PREMESSA

L'elevata pericolosità idraulica del nostro territorio, in generale, dipende in parte dalla sua morfologia naturale, in parte da errori dell'uomo nella sua occupazione.

In alcuni casi si tratta di errori antichi. In tal senso si distingue anche la Repubblica di Venezia, intorno alla quale è pure fiorito il mito di una straordinaria capacità nella gestione idraulica del proprio territorio, sicuramente riconoscibile se si guarda alla laguna, un po' meno se si esaminano i problemi, molti dei quali ancora attuali, creati al territorio circostante proprio a difesa della stessa laguna.

Non sono mancati ovviamente errori recenti, soprattutto guardando al secondo dopoguerra, quando è esplosa una disordinata sete di edificare e probabilmente la politica, che doveva governare questo processo, è stata assente e ha preferito porsi al traino dei molti "portatori d'interesse", spuntati qua e là come i funghi, piuttosto che far riferimento alla conoscenza e alla razionalità nell'uso del territorio.

Gli errori che l'uomo ha compiuto nella scelta delle aree da insediare sono stati a volte accompagnati da interventi non appropriati sui corsi d'acqua, in particolare sui corsi d'acqua della rete minore, non solo su quelli che formano la rete principale.

Questa politica malaccorta di pianificazione del territorio ha concorso ad elevarne la vulnerabilità. Come conseguenza si è notevolmente aggravato il rischio idraulico, parlando del quale, diversamente da quanto di solito accade, dovrebbe essere considerata assieme alla pericolosità del territorio, pericolosità alla quale si intende qui riferirsi, una valutazione di carattere economico sul valore dei beni e delle infrastrutture che insistono su di esso e che sono da difendere.

Per limitare il campo ai temi specifici di questa giornata, ci si soffermerà soprattutto sui problemi connessi alla rete

idraulica minore, che si può dire coinvolgono la quasi totalità della regione del Veneto. Non mancherà in ogni caso un riferimento finale a una situazione emblematica, che riguarda da vicino la città di Padova, che dimostra come chi ha responsabilità di governo sembri non trarre affatto insegnamento dalle lezioni del passato, le quali scivolano sulle spalle come pioggia, se non meglio, e sono subito dimenticate.

Le cause dell'insicurezza idraulica del territorio urbanizzato che ci affligge vanno ricercate principalmente in una scelta culturale disastrosa in sé, poco attenta alle sue caratteristiche, e soprattutto nel non aver mai premesso ai piani di insediamento urbanistico un piano di riassetto idraulico delle aree che si intendevano occupare.

Un piano di riassetto che doveva, o avrebbe dovuto (forse è meglio usare il condizionale), essere considerato sempre sovra strutturato rispetto a tutti gli altri e alla cui formazione dovevano concorrere anche esperienze professionali molto diverse e maggiormente qualificate di quelle alle quali si è normalmente ricorsi in questi anni, letteralmente condizionando le scelte.

Di tali esperienze e delle competenze che le qualificano in punta di polemica si potrebbe dire che si è praticata una politica del *non tutto ma di tutto*, tanto cara a quanti brillano per superficialità di preparazione.

L'URBANIZZAZIONE RECENTE DEL TERRITORIO SENZA RISPETTARE LE LEGGI DELL'IDRAULICA

Dagli anni cinquanta del secolo scorso in poi sono state favorite iniziative che hanno dissipato una buona fetta del nostro territorio, dimenticando quasi sempre di confrontarsi con la realtà della rete idraulica minore presente e con la sua genesi. Dimenticando, soprattutto, quali fossero stati i criteri che ne hanno guidato la formazione, ispirato il funzionamento e determinato le caratteristiche idrauliche, con le quali ci si doveva confrontare volendo cambiare la destinazione delle aree destinate a essere edificate.

Una brevissima considerazione al riguardo. In origine nel territorio drenato da una qualsiasi rete idrografica si potevano distinguere una parte superiore nella quale prevalentemente si formava-

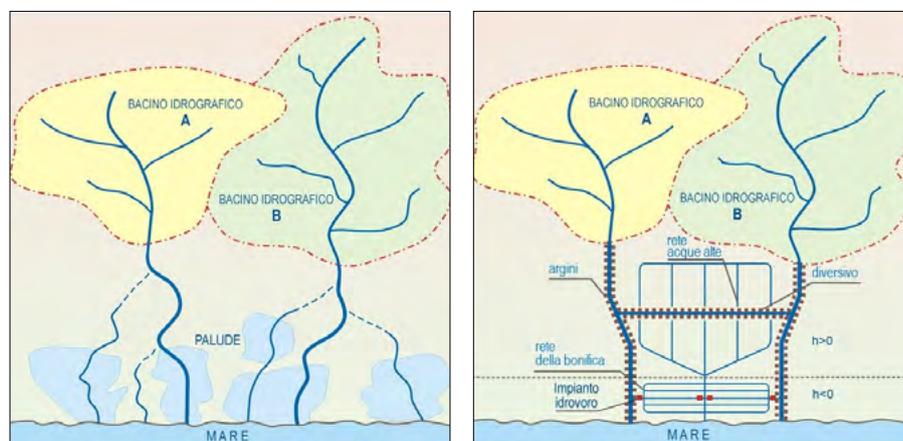


Figura 1. Sviluppo nel tempo di una ipotetica rete di drenaggio. A sinistra la situazione iniziale caratterizzata da ampie e continue divagazioni dei corsi d'acqua principali sulle aree attraversate. A destra l'evoluzione della rete idrografica con il progressivo inserimento di strutture di difesa e lo sviluppo della cosiddetta rete idraulica minore, associando inizialmente alla rete naturale anche canali artificiali fino a realizzare in ultimo nelle parti più basse della pianura sistemi di drenaggio artificiale delle aree coinvolte che per la loro altimetria non erano in grado di far defluire a gravità le acque del territorio circostante

no i deflussi di piena e una parte sottostante, di pianura se si vuole, interessata dal deflusso delle acque raccolte a monte.

Prima che l'uomo occupasse il territorio in modo intensivo, nella parte di pianura i corsi d'acqua divagavano liberamente sulle aree attraversate (Fig. 1). Queste divagazioni erano ovviamente in contrasto con le esigenze di una crescente occupazione di tali aree, ragione per cui l'uomo ha incominciato a intervenire sui loro tratti terminali, dopo l'uscita dai bacini montani, cercando di stabilizzarne la posizione e di confinarli mediante la realizzazione di difese longitudinali. Inizialmente con opere di difesa discontinue, estese poi progressivamente fino a dar loro soluzione di continuità, in modo da proteggere dalle esondazioni tutto il territorio circostante.

Con il procedere del tempo, a queste difese iniziali si sono aggiunti altri interventi, creando in alcuni casi diversivi e collegamenti fra i corsi d'acqua, complicando la struttura delle reti naturali e ricercando anche, in alcuni casi, di arrivare alla possibilità di una qualche gestione dei deflussi in condizioni di piena. Padova e il suo territorio da questo punto di vista sono un esempio particolarmente significativo.

I provvedimenti di difesa adottati hanno progressivamente aumentato l'estensione del territorio utilizzabile dall'uomo in condizioni di una più ragionevole sicurezza idraulica, ma per le aree ricomprese fra le strutture arginali dei corsi d'acqua principali fatalmente si sono determinate crescenti difficoltà di scolo delle acque.

Per far fronte alla nuova realtà idraulica, alla rete idrografica naturale si è andata così affiancando una rete minore composta inizialmente in parte da elementi naturali, in parte da canali artificiali, dando vita ai cosiddetti "sistemi delle acque alte", in grado di recapitare per gravità i deflussi meteorici raccolti ai recipienti finali (spesso il mare).

A partire dalla metà del XIX secolo, con l'avvento dei sistemi di pompaggio

meccanico oggi ampiamente diffusi, si è osato sempre di più e si sono occupate anche molte zone che erano al di sotto del livello medio del mare (Fig. 1). Per permettere i nuovi insediamenti, nelle zone che si intendevano occupare e utilizzare si sono dovute costruire opportune opere di difesa e realizzare reti artificiali per la raccolta delle acque meteoriche, asservendole a impianti di sollevamento per allontanare le acque stesse verso corpi idrici capaci di scaricarle a gravità.

La struttura delle reti idrografiche minori sinteticamente descritta è in generale quella di tutte le zone di pianura della nostra regione, particolarmente nelle parti più vicine al mare, che dal punto di vista altimetrico sono quasi sempre situate ben al di sotto del livello medio del mare.

Viviamo pertanto in un territorio piuttosto fragile dal punto di vista idraulico, nel quale ai gravi problemi della rete idraulica principale si aggiungono quelli delle reti minori, quasi sempre strettamente connesse alla prima.

I fenomeni di allagamento sono conseguentemente diffusi: drammatici quelli causati dai fiumi principali, meno intensi ma molto più frequenti quelli riconducibili all'insufficienza delle reti idrauliche minori, che inondano con le loro acque aree meno estese provocando danni e insicurezza (Fig. 2).

Di fronte a questi accadimenti si cerca immancabilmente di far valere, presso l'opinione pubblica, l'idea che si è vittime di fenomeni di ordine superiore, dei sempre invocati cambiamenti climatici incombenti su di noi, contro i quali bisognerebbe intervenire con provvedimenti globali che restano di là da venire.

Sono invece costantemente esclusi dal ragionamento i nostri comportamenti e le nostre azioni, forse per allontanare già in partenza qualsiasi responsabilità.

Si mettono sul banco degli imputati i gas serra che favoriscono l'innalzamento delle temperature e alterano clima, le emissioni di CO₂ e tante altre cause che

stanno sopra di noi, contro le quali si è impotenti e l'unica cosa che resta è alzare le mani. Poche volte ci si rende conto di essere stati e di continuare a essere parte attiva in questi processi per scelte che sono solo e soltanto riconducibili a noi.

Si propongono di conseguenza interpretazioni di comodo di quanto accade e i fenomeni alluvionali rispetto ai quali si soccombe sono classificati come "eccezionali", abusando con scarso senso del ridicolo di un aggettivo che, se usato un giorno sì e l'altro anche, fatalmente perde il suo significato originale.

Intervengono a sostegno delle tesi assolutorie analisi fuorvianti sulle cause che generano i fenomeni dai quali si è colpiti e, parlando soprattutto di danni, si tende a non considerare mai una qualche responsabilità di una inadeguata programmazione nell'uso del territorio, attuata con scarso senso della sua realtà idraulica, che rifugge dall'attuare gli interventi da tempo suggeriti, i quali potrebbero se non altro mitigare gli effetti di disastri divenuti ormai troppo frequenti.

MODELLISTICA MATEMATICA IN IDRAULICA

A un'analisi obiettiva dei fatti che accadono, non risultano proprio secondari quali cause scatenanti dei fenomeni né l'uso né l'occupazione del territorio, che accoglie le infrastrutture e gli insediamenti realizzati dall'uomo.

Per rendersene conto basta ragionare su come l'azione dell'uomo e le opere da lui realizzate modificano, in generale, i processi idrologici che caratterizzano la risposta di un'area qualsiasi agli impulsi meteorici che la interessano (Fig. 3).

La pioggia che cade sul terreno in parte si perde per evaporazione ed è completamente sottratta al bilancio idrologico, in parte va a riempire, soprattutto nella fase iniziale dell'evento, i volumi disponibili sul terreno ed è restituita al deflusso ritardata nel tempo. Una frazione importante degli afflussi meteorici che contribuisce al deflusso di



Figura 2. Allagamenti del territorio padovano causati dall'insufficienza della rete idraulica minore nel raccogliere e allontanare le acque meteoriche in occasione degli eventi meteorici più intensi

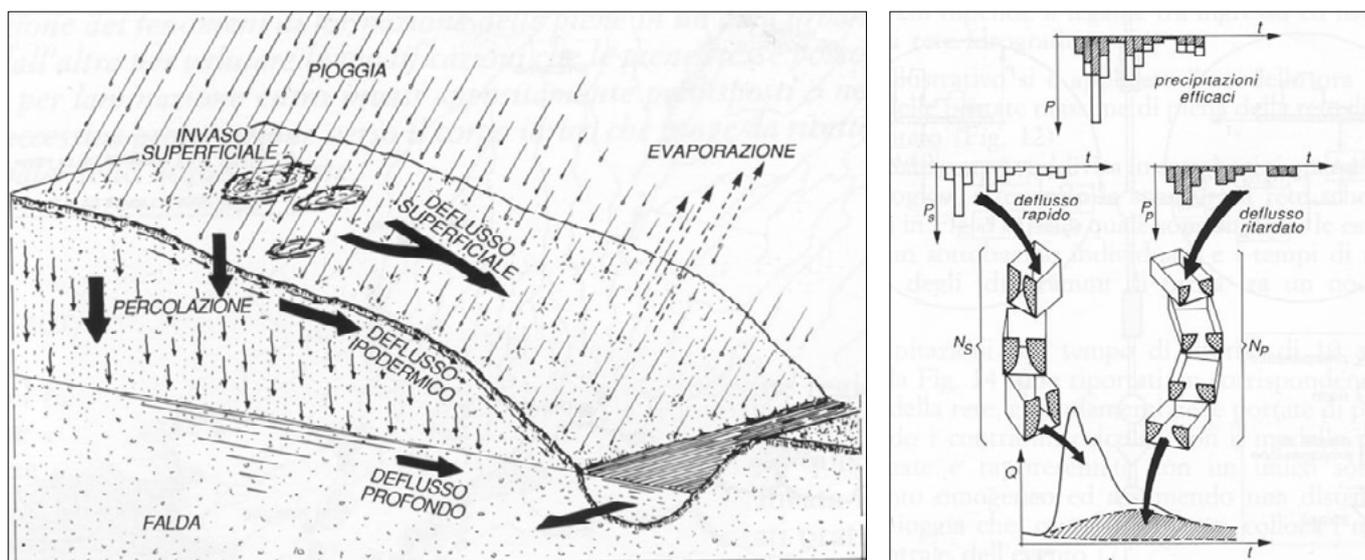


Figura 3. Rappresentazione schematica dei processi che presiedono alla trasformazione degli afflussi meteorici nei deflussi che alimentano la rete idrografica, che drena una porzione di territorio. Due sistemi di invaso disposti in parallelo (a destra) simulano la trasformazione afflussi-deflussi, riproducendo i due aspetti fondamentali che la governano. Da una parte il ritardo rispetto agli afflussi con cui i deflussi fluiscono nella rete, dall'altra gli effetti moderatori sui colmi di piena dei volumi di invaso disponibili nel bacino

piena incomincia a scorrere sul terreno in superficie, raccogliendosi nelle miriadi di incisioni che lo solcano. Un'altra parte s'infiltra in profondità nel sottosuolo e va ad alimentare le falde (la falda freatica nello specifico). Acque superficiali e acque infiltrate (di falda) vanno quindi ad alimentare i rami della rete idrografica, che le raccoglie e alla quale le prime pervengono con tempi di permanenza nel terreno decisamente più brevi delle seconde.

Il fenomeno di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi è complesso, ma può essere modellato efficacemente simulando i processi fondamentali che lo caratterizzano, individuando, innanzitutto, la frazione di pioggia che nel corso della piena è destinata a trasformarsi in deflussi (precipitazione efficace), separando poi la parte che perviene alla rete con tempi di permanenza più brevi da quella che la raggiunge con tempi di permanenza più lunghi.

Per rappresentare questi processi si può ricorrere a uno schema concettuale relativamente semplice, come quello illustrato in Fig. 3 che è una generalizzazione del cosiddetto modello di Nash (D'Alpaos, 1982) il quale è più che adeguato a simulare la formazione di una piena in un bacino idrografico, partendo dalle precipitazioni che la genera.

Attraverso i due sistemi lineari di invaso disposti in parallelo del modello, mediante un algoritmo relativamente semplice è efficacemente simulata la trasformazione in portata sia degli afflussi meteorici che pervengono alla sezione di chiusura con un più breve tempo di permanenza al suolo sia di quelli che vi arrivano dopo un tempo di permanenza più lungo.

I primi apporti sono a volte individuati impropriamente come "deflussi superficiali", i secondi come "deflussi profondi". Considerando i processi che intervengono nella trasformazione afflussi-deflussi, è sicuramente più appropriato parlare della presenza nel fenomeno di due differenti scale dei tempi, che insieme concorrono a formare la sua risposta idrologica in condizioni di piena.

Attraverso i due sistemi di invaso lineari sono riprodotti dal modello i due aspetti fondamentali che governano il processo. Da una parte il ritardo rispetto agli afflussi meteorici con cui i deflussi fluiscono nella rete, dall'altra gli effetti moderatori sulle portate di piena dei volumi di invaso disponibili nel bacino.

A volte l'ingegnere nell'uso della modellistica matematica in campo idrologico pecca di presunzione, ritenendo che quanto più complicato e complesso, e forse anche più difficile da comprendere, è il modello utilizzato, tanto migliore è il risultato che si ottiene dalla sua applicazione.

Non è necessariamente così. La conoscenza dei meccanismi fisici che portano alla formazione delle piene consente, infatti, di individuare fra i molti processi che intervengono quelli fondamentali. Sono soprattutto questi processi che giocano un ruolo determinante nella definizione delle caratteristiche di una piena, cogliendo i quali si può giungere a una sua rappresentazione significativa, pur trascurando i fattori secondari.

Un modello semplice che possieda queste caratteristiche può perciò risultare nelle applicazioni ingegneristiche anche più efficace di un modello complesso, nel quale, più per vezzo che per necessità,

spesso si introduce un numero spropositato di parametri, ai quali il più delle volte non si è in grado di attribuire valori credibili derivanti dalla sperimentazione sul campo e si è magari costretti a inventarli.

A sostegno di questa opinione si potrebbe anche ricordare che in campo tecnico l'ingegnere si distingue dagli altri, esperti veri o presunti, per saper affrontare in modo semplice, non semplicistico, processi complessi e per essere in grado di coglierne, grazie alla sua robusta formazione fisico-matematica, gli aspetti fondamentali.

Se questo si verifica non è produttivo avventurarsi in schemi più complessi, che possono essere in sé apprezzabili come ragionamento logico, ma che non portano a un sostanziale progresso nei risultati ottenibili, tanto più quando ci si rivolge ad applicazioni ingegneristiche.

Partendo da queste sintetiche premesse, è evidente che l'urbanizzazione di un'area, in origine destinata a un uso agricolo, a parità di altre condizioni comporta innanzitutto un incremento degli afflussi meteorici destinati ad arrivare alla rete idrografica. Aumenta di conseguenza la quantità di pioggia che si trasforma in portata. In secondo luogo, si modificano le scale caratteristiche dei tempi che operano la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, poiché si riducono i tempi di permanenza in rete. Si incrementano sia i volumi di precipitazione che arrivano più rapidamente alla sezione di chiusura della rete sia la l'intensità delle precipitazioni stesse da considerare critiche, a scapito di quelle che infiltrandosi si trasformano in portata con tempi caratteristici superiori.

Sono principalmente questi gli effetti delle trasformazioni urbanistiche del

territorio delle quali spesso si sente parlare facendo riferimento alla cosiddetta "cementificazione del territorio", una definizione espressiva che non permette, tuttavia, di cogliere del tutto le modificazioni che intervengono nei processi che controllano la riposta idrologica delle superfici sulle quali si interviene. Accanto all'aumento dei deflussi per effetto dell'impermeabilizzazione dei terreni si verifica, con effetti molto più importanti, un parallelo, consistente, incremento delle portate massime generate per riduzione dei tempi caratteristici della risposta idrologica.

Per la rete idraulica minore è soprattutto quest'ultima la causa determinante delle insufficienze che si riscontrano nel contenimento dei colmi di piena.

Un esempio, riferito a un'area lontana da dove ci troviamo oggi in modo che nessuno dei presenti si senta chiamato in causa, può aiutare a comprendere meglio le conseguenze di un'urbanizzazione del territorio spinta al di là di ogni limite.

Nella Fig. 4 è riportata una foto aerea del territorio di San Donà di Piave. A sinistra la situazione rilevata in occasione del volo GAI del 1954, il primo volo aerofotogrammetrico eseguito sull'Italia. Evidenziate con tratteggio in rosso le aree occupate dall'abitato di San Donà di e da quelli di Noventa e di Fossalta, in sinistra idrografica del Piave, e di Musile, in destra. A fianco, nella stessa figura, con linea gialla continua la perimetrazione delle aree occupate oggi dagli stessi abitati, riportata su di una foto aerea del 2003 a confronto con le aree che risultavano edificate nel 1954 (campite in rosso). Un'espansione diffi-

cilmente immaginabile delle aree urbanizzate, che risultano più che triplicate in estensione.

Il commento è immediato. Non può meravigliare se l'incremento delle aree edificate ha determinato condizioni di crisi della rete idraulica, non tanto del Piave che attraversa questo territorio contenuto entro potenti arginature e con quote idrometriche di piena dominanti, quanto piuttosto del sistema dei canali minori della bonifica, che lo drenano convogliando agli impianti idrovori le acque raccolte affinché siano sollevate e allontanate.

Due sono i problemi che lo sviluppo urbano ha portato con sé (D'Alpaos, 1989). Da una parte l'incremento dei contributi specifici massimi passati dai 5-7 l/s ha, caratteristici di un terreno agricolo, ai 150-200 l/s ha e anche più, generati da un'area urbanizzata. Dall'altra il maggiore rischio idraulico che si è determinato nelle aree urbanizzate, per l'entità dei danni che si determinerebbero in caso di insufficienza della rete idraulica, quando fosse sollecitata da eventi meteorici critici. Insufficienza facilmente comprensibile, essendo stata la rete realizzata per garantire lo scolo di terreni agricoli e non a servizio di aree urbanizzate, che comportano contributi specifici maggiori di 30-40 volte.

Una trasformazione, comune a molte altre parti della pianura veneta, dove gli urbanisti, per autocertificazione esperti di tutto, hanno agito a loro piacimento considerando la rete idrografica non come una realtà con la quale confrontarsi in via preliminare, ancor prima dimettere mano ai pennarelli per stendere le carte illustrative delle loro proposte, ma

come un accidente fastidioso sul quale passar sopra, meglio se tomlinandone qualche ramo.

Un atteggiamento tecnicamente inaccettabile, che ha aggiunto problemi a problemi e che avrebbe dovuto essere evitato premettendo adeguate valutazioni sulla sicurezza idraulica del territorio interessato dagli insediamenti. Si è preferito, purtroppo, complice una politica distratta, "distendersi" letteralmente sul territorio, creando passo dopo passo situazioni che sono diventate in molti casi di non semplice soluzione.

Si potrebbe pensare che il giudizio espresso sia un'esagerazione e che in fondo l'esempio portato non sia rappresentativo della situazione generale nella nostra regione. San Donà è un centro di grande rilevanza economica, che a partire dal secondo dopoguerra è stato interessato da uno sviluppo economico prorompente, sfuggito, per la rapidità delle trasformazioni, a un controllo ragionato della sua espansione e ben valutato da tutti i punti vista.

Non è così. Lo sviluppo idraulicamente disordinato degli insediamenti e delle infrastrutture di servizio realizzati negli ultimi sessant'anni non è stato un processo che ha interessato soltanto i grandi centri abitati, ha colpito nella stessa misura anche i centri minori. L'alta pianura trevigiana può essere un esempio in tal senso e di come molti dei nostri urbanisti abbiano sofferto sempre di una "grandeur" incontenibile.

Il confronto fra l'estensione in origine dell'abitato di Arcade e le previsioni del suo piano regolatore si commenta da solo senza aggiungere inutili parole (Fig. 5).

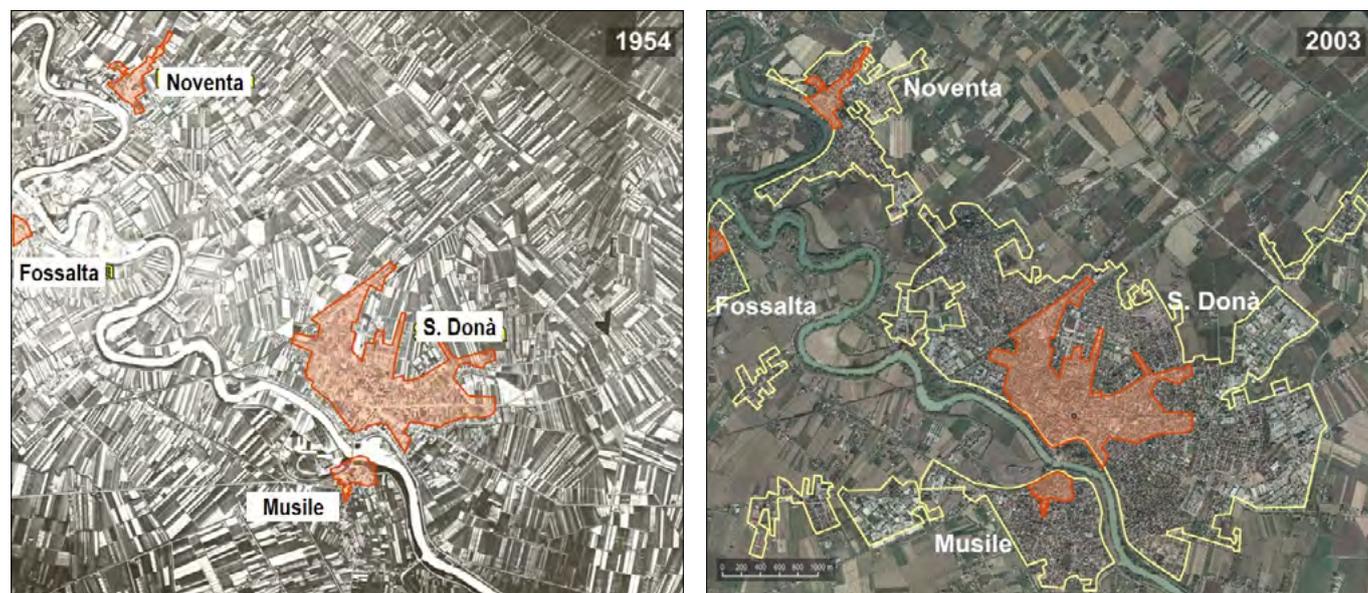


Figura 4. A sinistra la foto aerea di San Donà di Piave e del territorio limitrofo secondo il volo GAI (1954). Campite in rosso le aree di San Donà, Musile, Fossalta e Noventa interessate in allora dall'urbanizzazione. A destra le stesse zone secondo un volo aerofotogrammetrico recente (2003). Perimetrate in giallo le aree attualmente urbanizzate. In cinquant'anni il territorio è stato pesantemente modificato da una edificazione che si è estesa a dismisura

Dal punto di vista idraulico le conseguenze di questa situazione, che è peraltro comune a numerosi altri centri abitati della stessa zona, si possono facilmente comprendere. Per rendersene conto, basta considerare le portate massime sulle quali sono state dimensionate le fognature realizzate a servizio delle nuove configurazioni previste per i centri abitati coinvolti. Reti di fognatura progettate per convogliare portate di parecchi m^3/s , raccolte da superfici nel cui sottosuolo dominano le ghiaie e per le quali si sarebbero dovute ricercare soluzioni che favorissero l'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo, piuttosto che una loro raccolta sistematica, concentrandone il recapito in un unico punto di scarico.

Punta dell'iceberg di questa realtà, che va ben al di là del buon senso comune, l'abitato di Montebelluna, per il quale si è arrivati a progettare una rete urbana di raccolta delle acque, capace di convogliare allo scarico addirittura una quindicina di m^3/s .

A completamento di quanto si è lasciato fare, vera ciliegina sulla torta, vale la pena ricordare che, direttamente o

a monte di Treviso, è di poco superiore alla decina di m^3/s , valore decisamente inferiore agli apporti di piena di cui le reti urbane divenute sue tributarie sono complessivamente capaci.

Del Sile si leggeva un tempo che era un meraviglioso corso d'acqua di risorgiva a elevata perennità. Ora, invece, dopo lasciatoci da una pianificazione senza arte né parte, potrebbe capitare di dover leggere che il Sile ha perso queste sue straordinarie caratteristiche ed è stato trasformato nel collettore dei sistemi di collettamento urbano dei numerosi centri abitati dell'alta pianura trevigiana. Non c'è che dire, una trasformazione straordinaria figlia della nostra barbarie ambientale, della nostra impreparazione e dell'assoluta mancanza di controllo da parte degli enti a tal fine preposti.

LE RETI MINORI E LE COLTIVAZIONI AGRICOLE

Parlando sempre di reti minori e della loro frequente insufficienza nel contenere i deflussi di piena, altri interventi negativi si aggiungono, dovuti alle modificate condizioni nella coltivazione di una parte dei terreni agricoli

dagli impianti idrovori a loro asserviti, da qualche tempo si vanno diffondendo nuove tecniche di drenaggio.

Fossi e canalette tendono a essere sostituiti da una rete di moderni sistemi di dreni sotterranei, i quali consentono di controllare egualmente in modo ottimale il franco di coltivazione, offrendo vantaggi operativi indiscutibili nella lavorazione dei terreni. La coltivazione può avvenire con una significativa riduzione dei tempi necessari, grazie all'eliminazione dei vincoli imposti dalla presenza del reticolo delle strutture di scolo superficiale, deputate al controllo delle acque nei sistemi tradizionali.



Figura 6. Struttura di un sistema di drenaggio dei terreni agricoli a fossi, canalette e canali di tipo tradizionale per il controllo del franco di coltivazione dei terreni stessi

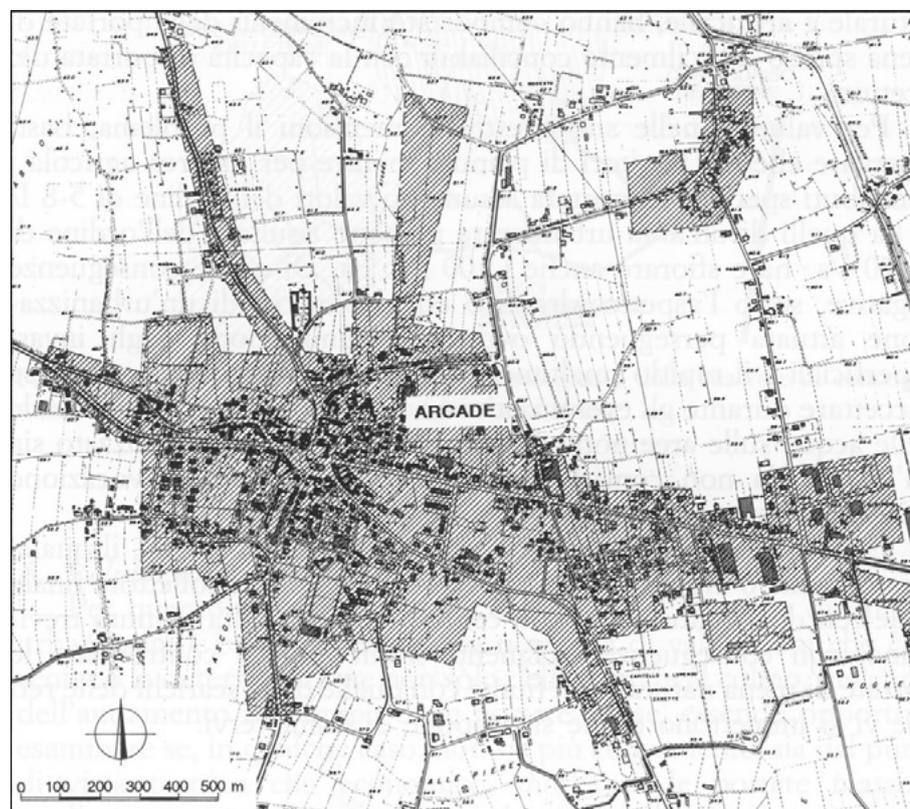


Figura 5. Le superfici su cui si sviluppava in origine l'abitato di Arcade (edifici in nero) a confronto con le superfici (campite con tratteggio) interessate in prospettiva dall'urbanizzazione secondo il nuovo Piano urbanistico

indirettamente attraverso la rete di canali che solca l'alta pianura trevigiana, le portate di questi sistemi di drenaggio urbano hanno come collettore terminale il fiume Sile. La portata media naturale del fiume a Santa Caterina, appena

Diversamente dal passato, quando il franco idraulico per la coltivazione dei terreni era garantito dalla presenza di un fitto sistema di fossi piccoli e grandi, disposti tradizionalmente con interasse di una cinquantina di m (Fig. 6), e

Un vantaggio pagato, tuttavia, in termini di maggiori portate da allontanare dai terreni in fase di piena, volendo mantenere il franco di coltivazione.

L'eliminazione dei fossi e dei piccoli canali ha comportato, infatti, una importante riduzione dei volumi d'acqua invasabili sul terreno, stimabile orientativamente per i fossi di scolo fino a 150-200 m^3/ha . È venuto meno di conseguenza il potere moderatore sui colmi di piena di tali volumi e si sono incrementate apprezzabilmente le portate massime che i canali convogliano agli impianti idrovori, a parità di altre condizioni.

Un esperimento relativamente recente permette di quantificare le maggiori portate specifiche che le moderne tecniche di drenaggio comportano, rispetto a un terreno nel quale le acque sono allontanate con sistemi tradizionali (Fig. 7).

I due appezzamenti di terreno interessati dall'esperimento e messi a confronto sono molto vicini fra loro, hanno estensione analoga e sono in pratica sollecitati dalle stesse precipitazioni.

Si osserva che il bacino drenato con tecniche tradizionali (Bacino Tezze) comporta contributi specifici sistematicamente inferiori a quelli del secondo (Bacino Pra' di Levada).

In particolare, per l'episodio meteorico considerato, caratterizzato da afflussi meteorici di modesta intensità (al massimo 4 mm/ora), le portate specifiche al colmo del bacino di Pra' Levada, attrezzato con dreni sotterranei, sono quasi il doppio di quelle che si generano nel bacino Tezze (circa 4,3 l/s ha contro 2,3 l/s ha).

tenzione con la quale si sarebbe dovuto guardare alle trasformazioni nell'uso del suolo sia che interessassero aree da destinare all'urbanizzazione sia che riguardassero terreni agricoli con modifiche apportate alle strutture di scolo delle acque. È mancata in qualche modo una visione complessiva dei problemi e non si è avuta la consapevolezza che quasi sempre gli interventi attuati non comportavano solo conseguenze locali, potendo riflettersi sul sistema idraulico nel suo complesso.

Il principio dell'invarianza idraulica, introdotto dalla Regione Veneto ormai da molti anni con riferimento all'uso del suolo, è stato in sé un provvedimento positivo, ma la sensazione, almeno la mia, è che nella realtà la verifica del suo

tipo di valutazione si è prestata al contesto idraulico generale nel quale le richieste stesse erano destinate a inserirsi.

LE GRANDI ALLUVIONI CAUSATE DAI FIUMI MAGGIORI

Se la rete minore determina con maggiore frequenza fenomeni di allagamento più fastidiosi che disastrosi, i fiumi principali della nostra Regione colpiscono più raramente ma quando colpiscono lasciano il segno, sommando danni a danni

Quando questo accade emergono in tutta evidenza le inadeguatezze legate alle decisioni di occupare parti di territorio senza mai preoccuparsi delle loro condizioni di sicurezza idraulica.

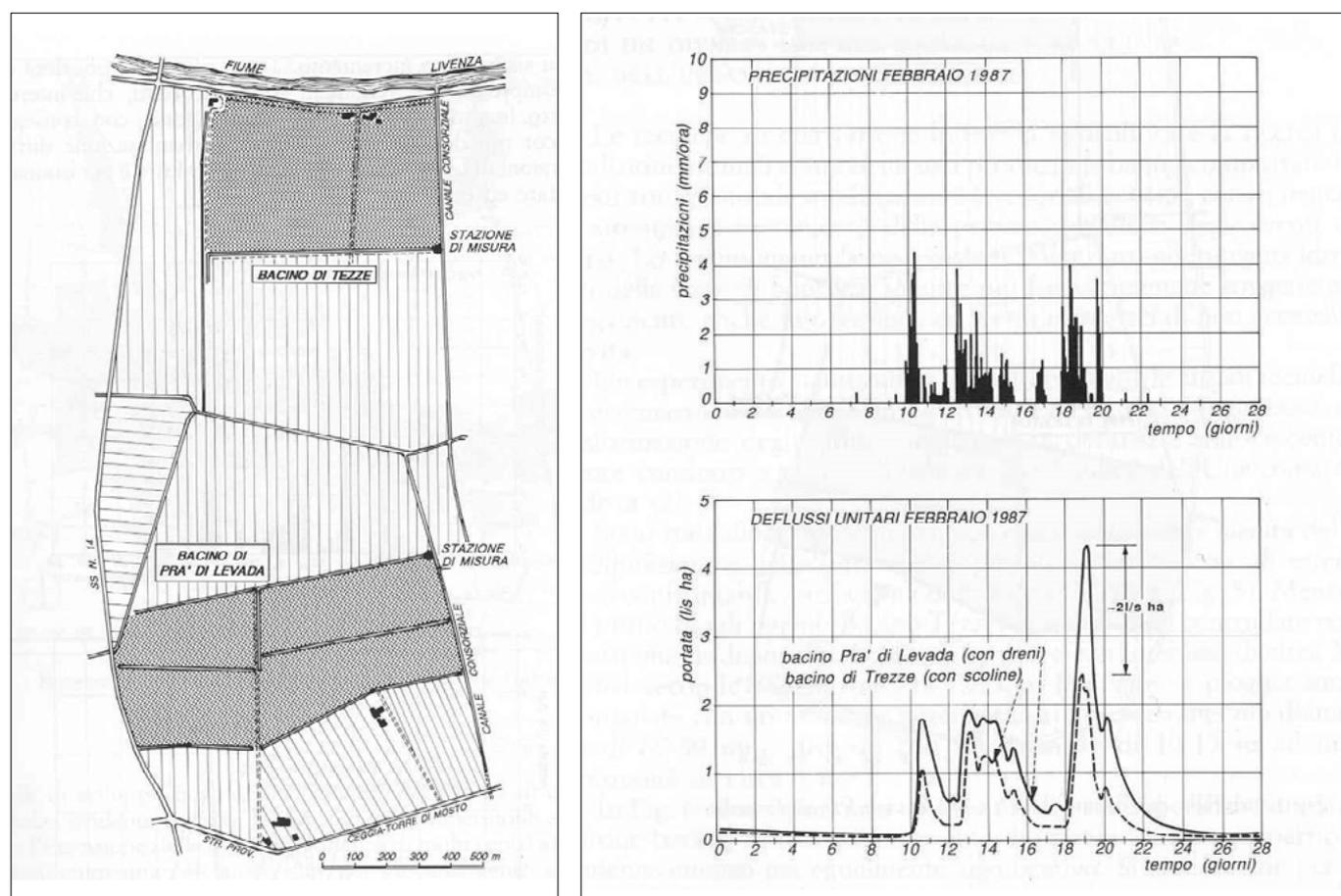


Figura 7. Risposta in termini di contributi specifici (l/s ha) di due appezzamenti di terreno vicini e di estensione analoga, situati ai confini fra Ponte di Pieve e Oderzo. Il primo, in alto a sinistra nella figura (Bacino Tezze), drenato con tecniche tradizionali, il secondo (Bacino Pra' di Levada), in basso nella stessa figura, drenato con dreni sotterranei. A parità di precipitazioni, le portate specifiche massime del secondo bacino sono circa il doppio di quelle del primo

È del tutto evidente che una eventuale generalizzazione nei territori agricoli di questa tecnica moderna di scolo delle acque, che ha, come si è detto, indubbi vantaggi operativi, metterebbe pesantemente in crisi le reti di bonifica, a meno di non ripristinare per altra via i volumi di invaso esistenti, sulla cui presenza, peraltro, le reti stesse furono in origine dimensionate.

Gli esempi sui quali ci si è soffermati sono la dimostrazione pratica dell'at-

teffettivo rispetto non sia stata intesa in molti casi come un aspetto sostanziale e sia stata considerata una specie di "medaglia vermeil" che il richiedente metteva sulla propria proposta a soddisfacimento puramente formale del rispetto della norma.

Non è una manifestazione di ipercriticismo. Basti esaminare, da una parte il numero esiguo delle richieste rigettate a fronte di quelle approvate, dall'altra la scarsa o nessuna attenzione che in questo

Quasi mai le scelte operate sono state condizionate da preoccupazioni in tal senso. Sempre sono prevalse le spinte dei "portatori di interesse", che hanno pesantemente influenzato la pianificazione territoriale, se di pianificazione si può ancora parlare in queste condizioni.

Più suadenti del pifferaio magico dei fratelli Grimm, i "portatori di interessi" hanno molte volte ricevuto da una politica malintesa il consenso per occupare aree dalle quali sarebbe stato meglio

restare lontani. Non ci sono difficoltà a portare esempi in tal senso, c'è solo l'imbarazzo della scelta.

Nel Veneto, dopo aver sperimentato la sconvolgente drammaticità della piena del '66 (D'Alpaos, 2016), si è passati attraverso un periodo di sostanziale tranquillità idrologica, al punto che un autorevole personaggio della politica verso la fine degli anni ottanta del secolo scorso ha anche pensato di dichiarare che potevamo ormai ritenerci salvi rispetto agli eventi alluvionali.

Fu quindi per i Veneti grande e amara la sorpresa di una mattina di novembre 2010, quando, svegliandosi, dovettero constatare che il nostro era solo un buontempone e non diceva la verità. Il Bacchiglione, infatti, incurante dell'ardita affermazione esondò e, dopo aver allagato Vicenza, sormontò le difese in destra Tesina, a Veggiano, e ruppe poco a valle di Ponte San Nicolò, allagando Casalserugo e Bovolenta.

Immedie e immancabili, verso un'opinione pubblica stordita, le dichiarazioni di salvataggio, ricorrendo in verità a un aggettivo che nel frattempo era diventato abusato quantomeno parlando delle reti idrauliche minori: "evento eccezionale".

In realtà sui fatti accaduti era stata grande la responsabilità di una politica distratta, da oltre quarant'anni completamente assente dalle scene della difesa del suolo, impegnata sì nella pianificazione territoriale, ma in tutt'altre faccende: edificare, edificare e ancora edificare, dissipando quanto più territorio era possibile e accrescendone il rischio idraulico.

La relazione della Commissione De Marchi (Commissione Interministeriale per lo Studio della Sistemazione Idraulica e della Difesa del Suolo, 1970), insediata subito dopo la catastrofe del 1966 e i cui suggerimenti a guardar bene sono ancora attuali, non fu il punto di riferimento di nessuno e fu completamente disattesa. Ancor oggi purtroppo pochissimi la conoscono, anche se per puro sfoggio di conoscenza a volte la citano.

Ancor meno sono quelli che sanno dove poterla eventualmente recuperare (Biblioteca del Senato della Repubblica, forse spolverata ogni tanto, forse nemmeno questo).

Per completezza di informazione in quanto è accaduto non si può non evidenziare il ruolo non positivo di una parte dei tecnici, particolarmente di quelli che sono più vicini al mondo politico. Anche a loro va una fetta di responsabi-

lità per il mancato impegno con cui da molto tempo a questa parte ci si è posti di fronte ai problemi della sicurezza idraulica del territorio.

Dopo i primi anni da quella piena memorabile la maggior parte dei tecnici si è arresa. Più che contrastare le voglie insane di un mondo che, metabolizzata la tragedia, aveva rapidamente relegato i problemi della difesa del suolo in secondo piano, i tecnici hanno ritenuto fosse meglio abbozzare, assecondare e infine piegarsi, come neanche i giunchi di canna palustre sanno fare quando sono presi dal vento. Pochissimi, di fronte a un'occupazione spesso inappropriata del territorio, hanno tentato di opporsi.

Dopo la piena del novembre 2010 sembrerebbe che nella nostra regione si sia cambiato passo. Da qualche anno si è tornati a parlare di interventi nel campo della sicurezza idraulica, alcuni già realizzati, altri in via di completamento. Sarebbe auspicabile, tuttavia, che le azioni diventassero ancora più incisive e che le opere previste, sulle quali si aprono a volte dibattiti tecnicamente inconsistenti, non fossero continuamente rimesse in discussione e soprattutto che il loro piano complessivo fosse perseguito con continuità e determinazione, passando oltre agli ostacoli messi in campo da pseudoesperti, ai quali non farebbe male riflettere sulle prime righe della lapide posta in testa al Canale Brentella di Pederobba che riporta una frase attribuita a Fra' Giocondo: *tanti che varda (parla) pochi se n'intende...* Verità amara più che mai valida oggi a distanza di cinquecento anni.

Gioverebbe non poco, infine, che ci si liberasse dalle prese di posizione di primi cittadini che, cavalcando egoismi localistici, all'insegna del motto "dapper-

tutto ma non nel mio giardino" riescono a paralizzare l'azione di una politica tentennante, che a volte sembra essere impegnata più nella conta dei voti guadagnati o persi a causa delle iniziative da intraprendere, che nel procedere alla realizzazione delle opere di difesa sulle quali qualcuno vorrebbe si soprassedesse.

Da ultimo alcune considerazioni che riguardano Padova (Fig. 8), città fra due fiumi pericolosi (Brenta e Bacchiglione) interferenti fra loro e con tutta una serie di reti minori, che soffre di criticità idrauliche sottovalutate dai suoi amministratori (D'Alpaos, 2006).

Un sistema idraulico, quello che interessa Padova, indubbiamente complesso, formato in parte da rami naturali, in parte da strutture e da canali realizzati dall'uomo. Una configurazione che, dopo la deviazione del Brenta a Noventa ad opera dei Padovani (XII secolo) e gli interventi della Serenissima a difesa della sua laguna (XIV-XVI secolo), si è venuta formando nel tempo, con interventi non esenti da errori dal punto di vista idraulico, ai quali si è anche saputo rimediare, sia pure non del tutto.

Ci si può limitare, per fornire un'idea, a qualche considerazione intorno alla Zona Industriale della città, che ha un valore strategico non indifferente nel panorama nazionale e che si sviluppa a cavallo del Piovego in due nuclei, il primo dei quali, in sinistra idrografica (Fig. 8, S), era il solo esistente in occasione della piena del novembre del 1966, quando in destra c'era ancora campagna.

In occasione di quella piena straordinaria il Piovego, rigurgitato dal Brenta, sarebbe esondato in sinistra, se non si fosse intervenuti realizzando un soprassoglio a difesa del nucleo esistente della

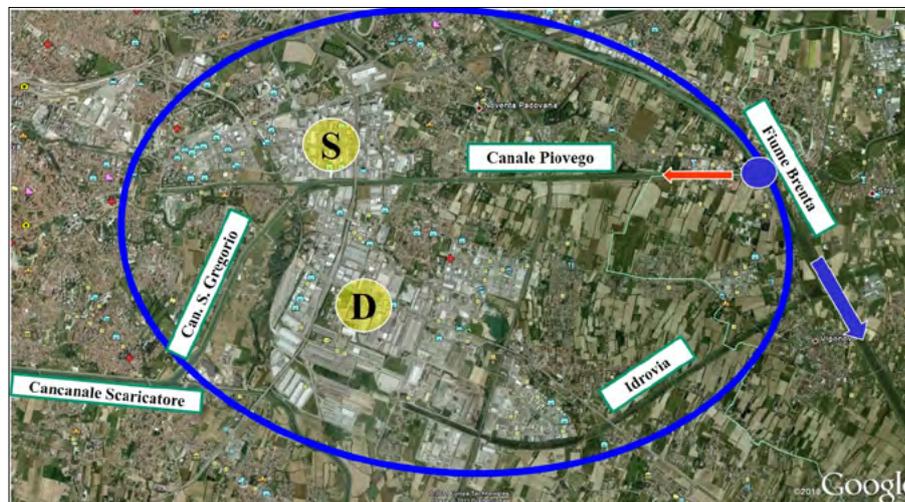


Figura 8. La zona Industriale di Padova realizzata a cavallo del Piovego, antico canale navigabile (scavato nel XII secolo) che è in diretto collegamento con il fiume Brenta nel quale sfocia all'altezza di Stra. Il primo nucleo dell'insediamento industriale, in sinistra Piovego (S), era in parte esistente quando si verificò la piena del 66, il secondo, in destra (D), si è invece sviluppato dopo quel tragico evento

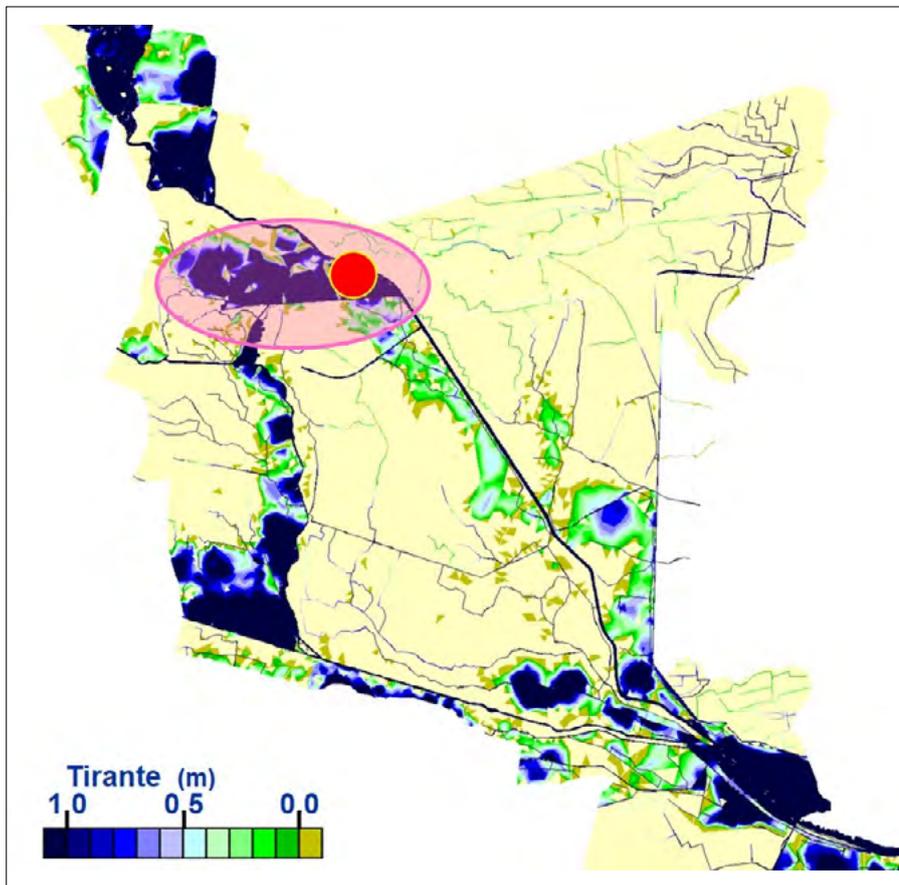


Figura 9. Allagamenti conseguenti al passaggio di una piena straordinaria del Brenta-Bacchiglione, simulati con un modello matematico bidimensionale. Ben evidenziati gli allagamenti che coinvolgerebbero tutta la fascia di territorio situata in destra Piovego (superfici campite in rosso) per sormonto dell'argine di difesa. Restano coinvolti sia la Zona Industriale sia un'estesa porzione di territorio urbanizzato (San Lazzaro, Mortise, Arcella) e non, compresa l'area prescelta per l'edificazione del nuovo ospedale di Padova

Zona Industriale, favorendo contemporaneamente il sormonto dell'argine destro e l'allagamento di un vasto territorio a lato del Bacchiglione. Si tratta di un provvedimento che oggi non sarebbe, ovviamente, praticabile, perché, diversamente da allora, provocherebbe l'allagamento della parte di Zona Industriale che nel frattempo si è insediata in destra del canale.

Un evento allarmante, che doveva suggerire interventi adeguati, ma nel nostro Paese le alluvioni non sembrano insegnare nulla agli uomini, sono *'n mal desmentegon*. E così gli argini del Piovego non sono tutt'ora in grado di contenere gli effetti di rigurgito del Brenta causati da una eventuale piena di carattere straordinario, che sarebbe destinata a produrre estesi allagamenti e a colpire in modo particolare l'insediamento industriale (Fig. 9).

Non è una novità. In una famosa nota di Paleocapa del 1846 già si leggeva che il Piovego, rigurgitato dal Brenta in piena, sarebbe potuto esondare in destra all'altezza di Camin, dove sorge appunto la Zona Industriale, allagando il territorio adiacente.

Sbagliare è umano, ma perseverare è diabolico, ancorché per molti leggere e

sprecare tempo per conoscere o quantomeno per tentare di acculturarsi su certi argomenti sia difficile.

Non si spiegherebbero altrimenti le recenti dispute intorno alla scelta su dove collocare il nuovo ospedale di Padova: Padova Ovest o Padova Est, questo è il dilemma!

Un dilemma che dal punto di vista idraulico non dovrebbe sussistere, poiché Padova Est o Padova Ovest pari sono, poiché entrambe le zone richiederebbero interventi preliminari di messa in sicurezza idraulica. Interventi da realizzare in via prioritaria, considerata sia l'importanza economica e sociale della nuova struttura che vi si intende insediare sia la realtà economica della Zona Industriale, che sarebbe sicuramente coinvolta, come è stato dimostrato dai pericoli corsi nel novembre 1966, fronteggiati sul filo di lana con un provvedimento di emergenza.

Sorprende perciò che negli incontri su quest'opera importante ai quali si assiste fra rappresentanti regionali, comunali e universitari al massimo livello si magnifici gioiosamente l'iniziativa e si dimentichi sempre di evidenziare la necessità di intervenire prima per la messa in quota degli argini del Piovego,

a difesa non solo dell'area ospedaliera ipotizzata, ma anche della Zona Industriale, non meno importante.

Davvero desolante. Non resta che sperare che gli architetti prescelti per progettare la nuova struttura abbiano almeno il buon senso di non prevedere volumi tecnici importanti al di sotto del livello del suolo, come è stato nel dopo guerra un vezzo per molti dei nuovi quartieri della città. Una tale scelta sarebbe solo una furbata ulteriore della quale non ha bisogno una zona che ha già molti altri problemi di suo. A meno di non pensare di dotarsi di un bel parco pompe e di accedere, se del caso, all'ospedale in barca!

Un'ultima considerazione. Guardando ai problemi della sicurezza idraulica di Padova e delle sue aree urbane, non si può continuare a sperare sempre nelle disgrazie altrui, come è avvenuto sia nel novembre 1966, con la rotta di Bolzano Vicentino sull'Astico-Tesina, sia nel novembre 2010, con gli allagamenti di Vicenza e di Vezzano a opera del Bacchiglione, salvando la città.

Servono in tempi ragionevoli ulteriori volumi di invaso sul Bacchiglione, a monte di Vicenza, e sull'Astico-Tesina, affluente che da solo è in grado di inondare con le proprie acque Padova e il suo territorio.

Non si dovrebbe, infine, continuare a fingere di non vedere criticità evidenti, mettendo la testa sotto la sabbia come sapienti struzzi ammaestrati, invece di affrontarle e risolverle. Più pericoloso ancora minimizzarle.

Ad maiora, cari sindaci!

BIBLIOGRAFIA

- COMMISSIONE INTERMINISTERIALE PER LO STUDIO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA E DELLA DIFESA DEL SUOLO (1970), *Relazione conclusiva*, Roma.
- D'ALPAOS, L. (1982), *Modelli concettuali deterministici nella trasformazione afflussi-deflussi dei fenomeni di piena*. C.N.R. Progetto finalizzato Conservazione del suolo, Pubbl. n. 165: Valutazione delle piene.
- D'ALPAOS, L. (1989), *Trasformazioni dell'uso del suolo: influenza sulle portate di piena delle reti idrauliche minori*. Istituto Veneto di SS.LL.AA., Trasformazioni del territorio e rete idrica del Veneto, Venezia.
- D'ALPAOS, L. (2006), *I rischi di inondazione nella provincia di Padova*. Padova e il suo territorio, Anno XX, n.119, Garangola Editore.
- D'ALPAOS, L. (2016), *Un giorno ospite inatteso arrivò l'alluvione. Ricordi di un ingegnere su una battaglia perduta 1966 2016*. Fondazione Angelini-Centro Studi sulla Montagna e Istituto Veneto di SS.LL.AA., Belluno.

Implicazioni geologiche delle opere sotterranee in bassa pianura

Pietro Zangheri

Sigea

E-mail: pietro.zangheri@progettazioneambientale.it

The geological involvements of underground structures in the low plain

Parole chiave: opere sotterranee, impatto ambientale, linee guida
Key words: underground structures, environmental impact, guidelines

PREMESSA

Negli ultimi decenni, sia in area urbana che extraurbana, l'utilizzo dello spazio sotterraneo si è sempre più sviluppato per numerose tipologie di opere (parcheggi, sottopassi...) con l'indubbio vantaggio di un minore consumo di suolo ma con problematiche di interferenza con l'ambiente geologico spesso sottovalutate, quando non totalmente ignorate.

Negli Enti preposti all'approvazione dei progetti, il tema è ancora oggi sottovalutato anche per la cronica carenza di professionalità geologiche interne.

COMPLESSITÀ GEOLOGICA DEI SISTEMI DI BASSA PIANURA

Laddove i dati geologici sono adeguati ad una corretta ricostruzione del sottosuolo, risulta evidente come la bassa pianura sia caratterizzata da geometrie complesse che contrastano con ricostruzioni in cui il sottosuolo è visualizzato come una irreale successione di strati orizzontali.

Un'evidenza di questa complessità è la bassa pianura veneta di cui si riporta uno stralcio, peraltro schematizzato, per l'area di Porto Marghera.

Le aree di bassa pianura hanno quindi una peculiare complessità geologica (Fig. 2) e le attività di progetto non possono prescindere da una adeguata definizione del modello geologico.

L'INADEGUATA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELLE OPERE IN SOTTERRANEO. UN PROBLEMA NORMATIVO?

A fronte di ripetersi di eventi in cui alla mancata valutazione geologica delle opere conseguono danni nelle aree contigue e/o alle opere stesse, viene spontaneo chiedersi se un insufficiente approccio geologico in fase di progettazione sia legato ad una carenza delle norme.

Anche se le norme attuali, a partire dalle stesse "norme tecniche sulle costruzioni", evidenziano una palese mancanza di cultura geologica, non ritengo che il tema sia (solo) normativo. Le norme di settore, già dagli anni '80, richiamano all'obbligo di adeguate verifiche; ad es. il DM. 11.03.1988 prescrive per gli "emungimenti da falde idriche" che "nel progetto delle opere di emungimento si deve accertare che queste siano compatibili con le caratteristiche dell'acquifero e che eventuali conseguenti cedimenti della superficie del suolo siano compatibili con la stabilità e la funzionalità dei manufatti presenti nella zona interessata dall'emungimento. Il progetto deve stabilire anche i mezzi e le modalità di estrazione, in modo da evitare che con l'acqua venga anche estratto il terreno o la sua frazione più fina". Il d.p.r. 554/1999 (il Regolamento della c.d. "Merloni" che regolamentava i lavori pubblici) esplicitava che "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 aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici nonché il conseguente livello



Figura 1. Esempio di modello geologico in area di bassa pianura. Schematizzazione del sottosuolo dell'area di Porto Marghera. In azzurro i corpi permeabili (acquiferi). (da Vitturi et alii, 2011)

- Geometrie complesse (frequenti eterogeneità)
- Serie stratigrafica pressoché interamente saturata
- Variabilità delle caratteristiche idrogeologiche e meccaniche dei terreni
- Impossibilità di estendere risultati di indagini ad aree vicine

Complessità ricostruzione del modello geologico

Figura 2. Alcune peculiarità geologiche dei territori di bassa pianura

di pericolosità geologica e il comportamento in assenza ed in presenza delle opere”.

Si può concludere che il problema sia anche di carenza di cultura geologica, oltre che della già citata cronica mancanza di professionalità geologica negli Enti pubblici.

LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

Una corretta attività di progettazione di un'opera nel sottosuolo dovrebbe considerare, come già ben esplicitava il DM 11.03.1988 (Fig. 3), gli effetti sull'opera e gli effetti su tutto il territorio in cui si inducono deformazioni.

Gli effetti maggiormente significativi di una inadeguata valutazione sono riassunti nella Fig. 4. È evidente che questo può portare a maggiori costi e contenziosi.

Uno dei più frequenti impatti negativi (nonché fonte di contenziosi) è la mancata valutazione degli effetti di un wellpoint, sulla base della errata convinzione che in bassa pianura gli effetti si esauriscano in spazi limitati.

La Fig. 5 mostra una semplice applicazione della formula empirica di Sichardt (spesso utilizzata per il dimensionamento preliminare di un sistema wellpoint), con cui è possibile stimare il raggio di influenza in funzione dell'ab-

bassamento indotto e della permeabilità. Con permeabilità diffuse anche in aree di bassa pianura (10^{-4} – 10^{-5} m/s, ovvero quelle di una sabbia media più o meno limosa) si possono avere raggi di influenza fino a 200 metri con un abbassamento della piezometrica di soli 5 metri.

È quindi possibile, in assenza di una corretta progettazione, impattare opere anche relativamente distanti dal sito di intervento.

Va inoltre evidenziato come al variare del valore della permeabilità vari notevolmente l'area su cui inducono abbassamenti. È quindi necessario che nella programmazione di una indagine geologica la determinazione della permeabilità derivi da specifiche prove *in situ*.

LINEE GUIDA PER LE INDAGINI GEOLOGICHE E LA PROGETTAZIONE DI OPERE INTERFERENTI CON GLI ACQUIFERI SUPERFICIALI

L'evidenza di un sempre maggior numero di opere progettate nel sottosuolo e di una concomitante non rara inadeguatezza delle valutazioni geologiche dei progetti hanno portato alcuni anni fa, nell'ambito di uno studio sugli acquiferi superficiali della Provincia di Venezia, alla redazione di linee guida e liste di controllo per queste attività.

Si tratta di uno strumento rivolto sia ai tecnici degli Enti con compiti di istruttoria e approvazione dei progetti, sia ai professionisti Geologi incaricati delle attività geologiche di progettazione. Per entrambi si tratta di uno strumento messo a disposizione con l'obiettivo di migliorare, in termini di costi/benefici, la progettazione e di ridurre la possibilità di impatti negativi e contenziosi.

Si riportano, nella convinzione della loro applicabilità a molte aree di bassa pianura, alcune parti di queste linee guida, integralmente pubblicate in Fabbri *et alii*, 2013.

Nello specifico, si tratta di una “lista di controllo” (check list) in cui si propongono i contenuti minimi degli elaborati geologici per quanto riguarda gli aspetti di interferenza con gli acquiferi superficiali, ferma restando la necessità e la responsabilità del singolo professionista Geologo di valutare i contenuti ed il grado di approfondimento per ciascun progetto in relazione all'importanza dell'opera ed alla sua potenziale interferenza.



Figura 3. Effetti di un'opera da valutare in fase di progettazione, come schematizzati già dal D.M. 11.03.1988



Figura 4. Principali potenziali impatti negativi in caso di inadeguata valutazione geologica del progetto di un'opera in sottosuolo

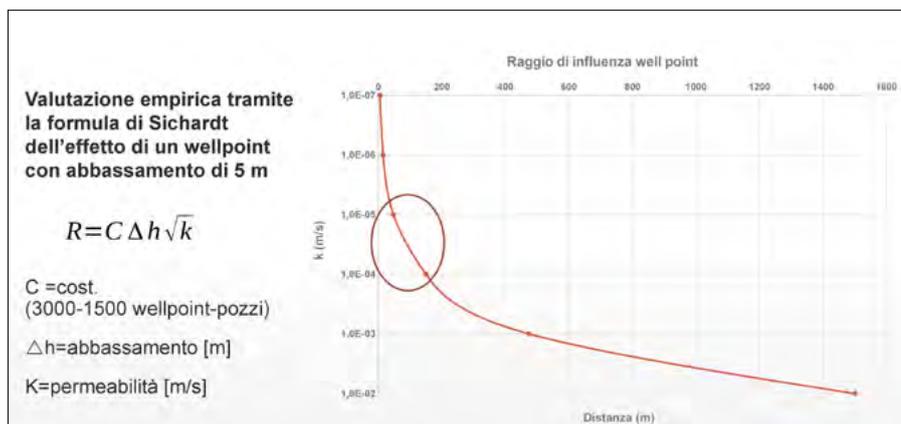


Figura 5. Variazione del raggio di influenza in funzione della permeabilità ipotizzando un abbassamento della piezometrica di 5 metri

ASPETTI GENERALI

- Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento;
- quadro normativo di riferimento (nazionale e regionale);
- individuazione e/o definizione delle principali problematiche geologico-ambientali;
- analisi documenti pregressi e cartografia da Piani vigenti, con estratti cartografici (ad es. PTA, PAI, carta della compatibilità geologica del PAT, ...).

INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

- Inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico ed idraulico a scala di area vasta;
- analisi e descrizione delle eventuali situazioni di dissesto idrogeologico;
- analisi e descrizione delle condizioni di antropizzazione presenti al contorno (ambito idrogeologico significativo);
- estratti di eventuali carte idrogeologiche significative pubblicate;
- individuazione di pozzi per acque destinate al consumo umano e delle relative aree di salvaguardia (art. 94 D.Lgs. 152/2006).

MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

Lo studio geologico deve pervenire alla definizione, con preciso riferimento al progetto, di un modello geologico tridimensionale, basato sulla conoscenza dei caratteri litostratigrafici, strutturali, geomorfologici ed idrogeologici del sito d'interesse, acquisiti attraverso specifici rilevamenti ed indagini dirette ed indirette.

In particolare, con riferimento agli aspetti idrogeologici si devono individuare gli acquiferi di riferimento.

- Programma delle indagini in funzione degli obiettivi del progetto e delle caratteristiche geologiche, al fine di pervenire ad una ricostruzione geologica di dettaglio;
- standard di riferimento delle indagini;
- carta con ubicazione delle indagini in scala adeguata;
- risultati ottenuti ed eventuali difficoltà ed incertezze incontrate, con produzione di cartografia ed elaborati grafici a scala di dettaglio e comunque idonee a rendere chiare le descrizioni e le analisi realizzate;
- caratteristiche delle singole unità litologiche con particolare riguardo ad eventuali disomogeneità, discontinuità e fattori che possano indurre anisotropia delle proprietà fisiche

dei materiali. Particolare attenzione deve essere posta nel riconoscimento di ammassi di origine antropica evidenziandone natura ed origine e specificando eventuali adempimenti derivanti da norme settoriali (ad es. D.Lgs. 152/06);

- ricostruzione tridimensionale del sottosuolo;
- definizione geometrica degli acquiferi e loro rapporto con quelli individuati a scala di area vasta;
- parametrizzazione idrogeologica con valutazione di permeabilità e trasmissività mediante test idrogeologici in sito;
- schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- flusso idrico sotterraneo (con eventuale cartografia con isopotenzimetriche di ciascun acquifero) e sua variazione nel tempo; verifica di eventuali inversioni del flusso nel tempo;
- regime potenziometrico;
- rapporti tra acquiferi ed acque superficiali ed altri elementi potenzialmente influenti come il regime di marea e la bonifica idraulica;
- eventuale caratterizzazione idrochimica;
- presenza del cuneo salino;
- analisi idrologica finalizzata alla individuazione e/o definizione degli eventi estremi o di quelli particolarmente significativi sotto il profilo idrogeologico.

VALUTAZIONE IDROGEOLOGICA

- Effetti sulla potenziometrica e sul flusso idrico sotterraneo
- effetti sulla vulnerabilità degli acquiferi e la qualità della falda;
- problematiche idrogeologiche sull'acquifero costiero, intrusione salina;
- subsidenza indotta;
- interferenze con i manufatti al contorno e/o quelli in progetto;
- progettazione di eventuali sistemi di drenaggio (ad es. wellpoint) con previsione degli effetti e definizione di eventuali mitigazioni.

APPROFONDIMENTO TRAMITE MODELLO DI FLUSSO

Nei casi di particolare complessità o laddove le interferenze possono essere particolarmente significative, appare opportuna l'applicazione di modelli di flusso.

Si ricorda che sono assolutamente inefficaci modelli previsionali non supportati da dati reali che consentano la calibrazione e validazione dei modelli idrogeologici.

Di conseguenza dovrà essere previsto un adeguato approfondimento dei dati precedentemente elencati; i parametri immessi nel modello (con particolare riferimento alla piezometria ed ai parametri idrogeologici) dovranno essere sito-specifici e derivanti da misure ripetute per un congruo periodo di tempo; i limiti del modello di flusso dovranno essere posti a sufficiente distanza dal sito di progetto.

CONTROLLO E MONITORAGGIO

Sempre nei casi di particolare complessità o laddove le interferenze possono essere particolarmente significative, andrà redatto un programma di monitoraggio (in particolare nel caso di utilizzo del metodo osservazionale presente nelle NTC) che indicherà strumentazione da impiegare, ubicazione degli strumenti e frequenza e durata delle misure.

CONCLUSIONI

Le opere in sottosuolo rappresentano una opportunità e, in alcuni casi, una necessità per evitare consumo di suolo e per migliorare l'infrastrutturazione di un territorio. Gli impatti connessi con l'ambiente geologico possono però essere rilevanti sia in termini ambientali che di costo.

Si è fornito un contributo per una corretta progettazione di questi interventi e per la prevenzione e mitigazione degli impatti.

BIBLIOGRAFIA CITATA

- DECRETO MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI 11 MARZO 1988, *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.*
- DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 21 DICEMBRE 1999, n. 554, *Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109, e successive modificazioni.*
- DECRETO LEGISLATIVO 3 APRILE 2006, n. 152 (e s.m.i.), *Norme in materia ambientale.*
- FABRI P., ZANGHERI P., BASSAN V., FAGARAZZI E., MAZZUCATO A., PRIMON S., ZOGNO C. (2013), *Sistemi idrogeologici della Provincia di Venezia - Acquiferi superficiali.* Provincia di Venezia.
- SICHDART W. (1927), *Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen und seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung, insbesondere für grobere Absenkungstiefen,* Doktor-Ingenieurs, Der Technischen Hochschule zu Berlin.
- VITTURI A. (a cura di) (2011), *Atlante Geologico della Provincia di Venezia.* Provincia di Venezia.

Il sottosuolo è uno scrigno che racchiude migliaia di informazioni, di carattere storico, archeologico e geologico. Diverse sono le discipline che lo indagano, molteplici le chiavi di lettura. Dal dialogo tra le discipline e dall'incrocio dei dati ne emerge la complessità e si ricostruisce la storia. Una storia lunga, quella di Padova, che ha visto la città crescere su se stessa per millenni, che l'ha vista confrontarsi con l'acqua e, al contempo, difendersi dall'acqua. La storia, anche quella più antica, va conosciuta perché ne scaturisce il rispetto di quanto dal passato è arrivato nel presente.



Padova, Musei Civici - Museo Archeologico: sala dedicata a Padova preromana (foto: Gabinetto Fotografico dei Musei Civici)



Padova, Musei Civici - Museo Archeologico: sezione Via Annia (foto: Gabinetto Fotografico dei Musei Civici)

Compito delle Istituzioni che operano nell'ambito della cultura è valorizzare il passato, conservarlo e trasmetterlo al futuro: valorizzare significa farne comprendere il valore, renderlo fruibile attraverso un'adeguata comunicazione e coinvolgere in questo processo il maggior numero possibile di persone.



Padova, Musei Civici - Museo Archeologico: sala dedicata a Padova romana (foto: Gabinetto Fotografico dei Musei Civici)



Padova, Musei Civici - Museo Archeologico: la collezione egizia (foto: Gabinetto Fotografico dei Musei Civici)

Una posizione privilegiata, ma al contempo densa di responsabilità, ce l'hanno i Musei e le Università: con competenze e da punti di vista diversi possono innescare un dialogo dalle ricadute sorprendenti. Grazie alla ricerca le conoscenze aumentano, ma grazie alla divulgazione le conoscenze "escono" dai libri e si tramutano in conoscenza diffusa. Divulgazione non è banalizzazione o impoverimento della scientificità, ma è narrazione della cultura secondo un diverso codice comunicativo, un codice rivolto a pubblici diversi. Pubblici che aspettano di essere avvicinati, coinvolti e affascinati.

Francesca Veronese, Musei Civici di Padova



Padova, Musei Civici - Museo Archeologico: la collezione egizia e Giovanni Battista Belzoni (foto: Gabinetto Fotografico dei Musei Civici)



**RISORSE E RISCHI
GEOLOGICI**

SIICREA

La Protezione Civile della Regione Veneto

Direzione Civile, Sicurezza e Polizia Locale della Regione Veneto
Viale Paolucci, 34 - 30175 Venezia - Marghera

<https://www.regione.veneto.it/web/protezione-civile/>

Ing. Luca Soppelsa

Direttore della Direzione Protezione Civile, Sicurezza e Polizia Locale della Regione Veneto

E-mail: luca.soppelsa@regione.veneto.it

Geol. Rocco Mariani

Responsabile Ufficio Coordinamento in Emergenza della Direzione Protezione Civile, Sicurezza e Polizia Locale della Regione Veneto

E-mail: rocco.mariani@regione.veneto.it

La **Protezione Civile della Regione Veneto** fa parte del Servizio nazionale della protezione civile ai sensi del D.Lgs. 1/18 (Codice della protezione civile). La protezione civile della **Regione Veneto** svolge attività di previsione, di prevenzione e mitigazione dei rischi, di gestione delle emergenze e del loro superamento (post emergenze). Con Legge regionale n. 58 del 27/11/84 il Veneto si è dotato dello strumento per disciplinarne le attività.

I principali campi d'azione sono:

- la **previsione**, ovvero l'insieme delle attività dirette all'identificazione e studio degli scenari di rischio;
- la **prevenzione e mitigazione dei rischi**, cioè le misure dirette a evitare o ridurre i danni conseguenti a eventi calamitosi;
- la **gestione delle emergenze** attraverso misure ed interventi diretti per assicurare il soccorso e di assistenza alle popolazioni coinvolte;
- il **superamento delle fasi emergenziali** con il ripristino dei servizi essenziali e la riduzione del rischio residuo nelle aree colpite attraverso l'attuazione delle misure necessarie alla ripresa delle normali condizioni di vita e di lavoro.

La Regione attraverso la Protezione civile detta gli indirizzi per la predisposizione dei piani provinciali e comunali di protezione civile; assicura il concorso alle attività di emergenza rilievo nazionale; cura l'ordinamento e l'organizzazione territoriale della propria struttura per poter provvedere all'approntamento delle strutture e dei mezzi necessari per affrontare le emergenze; ha il compito di preparare gestire ed attivare la colonna mobile regionale; provvede allo spegnimento degli incendi boschivi; coordina l'organizzazione e l'utilizzo del volontariato, la formazione e l'addestramento anche attraverso esercitazioni.

L'organizzazione regionale in emergenza è strutturata su tre livelli di intervento:

- **primo livello** di tipo strategico gestito dall'Unità di Crisi Regionale;
- **secondo livello** di tipo tattico che gestisce il Coordinamento Tecnico in Emergenza;
- **terzo livello** di tipo operativo gestito dal Coordinamento Regionale in Emergenza (Co.R.Em.).



Attività di soccorso in emergenza di tipo idrogeologico

Codice	Stato di configurazione	Funzioni e soggetti coinvolti	Descrizione del passaggio fra condizioni
S0	Ordinario	Co.R.Em. (F.V.S. e C.F.D.)	Condizioni di normalità
S1	Vigilanza	Co.R.Em. (F.V.S., C.F.D. e preallarme S.O.)	Condizioni da Attenzione a Preallarme
S2	Presidio Operativo	Co.R.Em. Attivazione Sala Operativa (Possibile anche C.T.E.)	Condizioni da Preallarme ad Allarme
S3	Emergenza	Attivazione /Convocazione C.T.E. e U.C.R.	Condizioni di Allarme / Emergenza

Stati di configurazione della catena di comando e controllo



Componenti del Sistema di Protezione Civile Regionale

Le attività di coordinamento, nelle fasi di gestione dell'emergenza, si svolgono nella **Sala Operativa Regionale (SOR)**, sala multirischio che comprende anche il **Centro Operativo Regionale - AIB (Anti Incendio Boschivo)**.

La **SOR** è organizzata per **Funzioni** (ad esempio F1 Tecnica di pianificazione, F4 Volontariato, F5 Materiali e mezzi) secondo il **METODO AUGUSTUS**, che vengono attivate a seconda della tipologia di emergenza. La **SOR** si predispose secondo stati di configurazione crescenti da ordinario fino ad emergenza (S0 – S3) che vedono coinvolti funzioni e soggetti diversi. In **SOR** pervengono dal territorio le segnalazioni di danni e le richieste di soccorso di mezzi e attrezzature. Con la **FVS (Funzione Valutazione Situazioni)** viene fatta la prima valutazione delle richieste pervenute. Il **Coordinamento Regionale in Emergenza (Co.R.Em.)** coordina l'impiego del volontariato, dei mezzi e delle attrezzature necessarie a fronteggiare l'emergenza anche in accordo e collaborazione con le altre componenti del Sistema di Protezione Civile Regionale (Prefetture, VV.F., Forze dell'Ordine, Enti Locali e altro).

La sismicità del Veneto: eventi storici e recenti

Jacopo Boaga

Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova

E-mail: jacopo.boaga@unipd.it

The seismicity of the Veneto Region: historical and recent events

Parole chiave: Pericolosità sismica, terremoti, eventi sismici storici

Key words: Seismic hazard, earthquakes, historical earthquakes

ABSTRACT

La Regione Veneto, e dunque il territorio della città di Padova, è interessata da attività tettonica legata alla dinamica post-oligocenica del dominio Sudalpino orientale. Dal punto di vista sismico il territorio in esame è stato teatro di eventi sismici storici anche importanti, e risente, come recentemente dimostrato, della rilevante sismicità proveniente dalle zone friulane a N-E e appenniniche a S-W. Focalizzandosi sul territorio regionale, si descrivono i più accreditati studi riguardanti i terremoti storici rilevanti per poi analizzare la più recente attività sismica strumentale, con particolare riguardo alla città di Padova. Si descrivono poi le zone potenzialmente sismogenetiche che interessano la regione Veneto e ne determinano il grado di pericolosità.

1. INQUADRAMENTO TETTONICO

Il territorio regionale del Veneto insiste, dal punto di vista tettonico, sul fronte plio-quadernario delle Alpi Meridionali orientali (detto Sudalpino orientale). Il settore dalle pre-Alpi Venete compreso tra i monti Lessini ed il confine col Friuli è schematizzabile come un sistema di sovrascorrimenti (thrusts in Fig. 1) a basso angolo con vergenza S-SE di età principalmente neogenica (Galadini *et al.* 2005; Doglioni 1990, Poli *et al.* 2008). La catena neogenica è dovuta alla convergenza delle placche Adria ed Europa, la cui velocità è variabile e stimata tra i 2 ed i 3 mm/anno (D'Agostino *et al.* 2005, Caporali A. and Martin S. 2000; Grenczy *et al.* 2005; Serpelloni *et al.* 2005; Scissiani e Calamita 2009). Il settore veneto centrale, su cui si sviluppa la provincia padovana, è dominato a Nord dal sovrascorrimento sud-vergente "Bassano-Valdobbiadene" (Doglioni, 1992), limitato ad ovest da faglie trascorrenti (strike-slip) della linea Schio-Vicenza, che rappresenta la giunzione cinematica del settore orien-

tale con il Sudalpino centrale (Sauro e Zampieri 2001; Zampieri *et al.* 2003). Il settore più occidentale veneto confina invece con il sistema tettonico delle Giudicarie (Vigano *et al.* 2013; Caporali *et al.* 2003), mentre il settore orientale confina con le complesse strutture del fronte friulano, dove si concentra il maggior raccorciamento della propagazione meridionale del Sudalpino (Poli *et al.* 2008; Slejko *et al.* 1999, Aoudia *et al.* 2000). I principali lineamenti che caratterizzano le Prealpi venete centrali sono il sovrascorrimento del Montello (Benedetti *et al.* 2000) e alcune strutture minori, con orientamento OSO-ENE, come i sovrascorrimenti Bassano-Cornuda e Thiene-Bassano (Fig. 1). Le

province più meridionali della Regione Veneto come quella patavina, pur non ospitando strutture tettoniche esposte, risentono sismicamente delle attività dei sovrascorrimenti sepolti del fronte appenninico settentrionale (Boccaletti *et al.* 1985), con indizi di paleosismicità che interessano anche i settori centrali (Martin *et al.* 2017).

2. LE SISMICITÀ DEL TERRITORIO VENETO

Per definire la sismicità di un territorio è necessario basarsi sia sui terremoti del passato, di cui si valutano intensità e localizzazione dalle fonti storiche, che i terremoti strumentalmente registrati dalle reti di monitoraggio moderne.

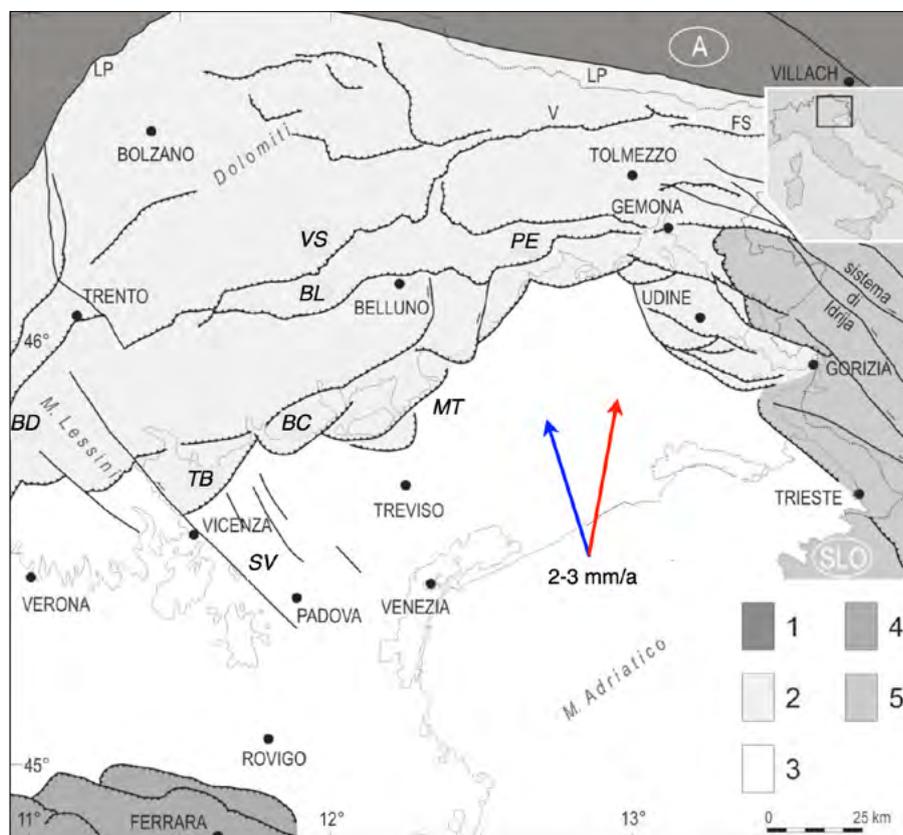


Figura 1. Schema strutturale delle Alpi Meridionali orientali da Boaga 2019, Poli 2008, mod. 1. Austroalpino; 2. Sudalpino orientale; 3. Avampaese sudalpino-appenninico; 4. Fronte appenninico settentrionale; 5. Regione a prevalente deformazione dinarica. In corsivo i principali lineamenti veneti: SV Schio-Vicenza; BC Bassano-Cornuda; TB Thiene-Bassano; MT Montello; BD Linea Monte Baldo; BL Linea di Belluno; VS Linea della Val Sugana; PE Thrust periadriatico. Le frecce indicano le direzioni di convergenza della placca Adriatica secondo D'agostino *et al.* 2005 (blu) e Grenczy *et al.* 2005 (rosso)

I dati di base della sismicità nazionale vengono raccolti ed elaborati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, www.ingv.it) e da altri Enti di Ricerca quali l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste (OGS, www.ogs.trieste.it). INGV prevede alla compilazione dei cataloghi sismici nazionali, tra i quali il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida *et al.* 2016), che raccoglie tutti gli eventi noti storici e strumentali, riferendosi ai dati aggiornati di intensità macrosismica (DataBase Macrosismico Italiano DBMI, Locati *et al.* 2016).

dei sovrascorrimenti a basso angolo con direttrice OSO-ENE, la zona di svincolo del Garda orientale, e le parti più meridionali della regione che risentono gli effetti dei sovrascorrimenti appenninici. Le intensità più rilevanti sono associate ad eventi con magnitudo momento $M_w \geq 5.5$ storicamente occorsi in Veneto e, più recentemente, nei territori limitrofi quali Emilia e Friuli. Per i terremoti storici i livelli di incertezza nella quantificazione del danno, e quindi dell'energia liberata, sono evidentemente proporzionali alla accuratezza delle fonti (Guidoboni e Ebel 2009). Per le misurazioni strumentali le incer-

crossismico Italiano, Locati *et al.* 2016) e l'importante catalogo CFTI Med 4.0 (Catalogue of Strong Earthquakes in Italy and Mediterranean Area 760-1500; Guidoboni *et al.* 2007). 177 sono le località che hanno storicamente subito Intensità macrosismiche (Imcs) di grado ≥ 7 , cioè che hanno subito considerevoli danni dagli eventi sismici. Gli eventi storici rilevanti dai cataloghi consultati sono in totale 27.

Anche capoluoghi come Venezia, Verona, Padova e Belluno hanno in passato subito eventi distruttivi legati alla attività tellurica. La Tab. 1 elenca i centri abitati con più di 10.000 abitanti che hanno risentito storicamente di $I_{max} \geq 7$, con il relativo evento più significativo.

Dal punto di vista della sismicità si può osservare come eventi sismici di debole entità interessano tutto il territorio regionale, tuttavia essi sono particolarmente concentrati lungo il sistema dei sovrascorrimenti pre-alpini con direzione OSO-ENE. Negli ultimi 20 anni si registrano solo 3 eventi con $M_I \geq 4$ avvenuti rispettivamente nelle prossimità del Monte Baldo (2011), Grezzana (2012) e nel Golfo di Venezia, a mare (1997). Nessun evento strumentalmente registrato in Veneto ha superato, negli ultimi 20 anni, la M_I di 4.4. Il territorio ha invece risentito dei forti eventi che hanno interessato le regioni limitrofe.

Sulla base dell'analisi della sismicità storica e di quella strumentale, sono stati individuati gli eventi più significativi che hanno interessato il territorio Veneto.

La Fig. 3 mostra i terremoti più significativi dell'area veneta e immediate vicinanze ed il relativo anno di accadimento limitatamente ai terremoti con Magnitudo stimata (o registrata) ≥ 5.5 e con accreditati riferimenti incrociati nei database nazionali. Per un approfondimento sui singoli eventi si rimanda a un recente lavoro (Boaga, 2019).

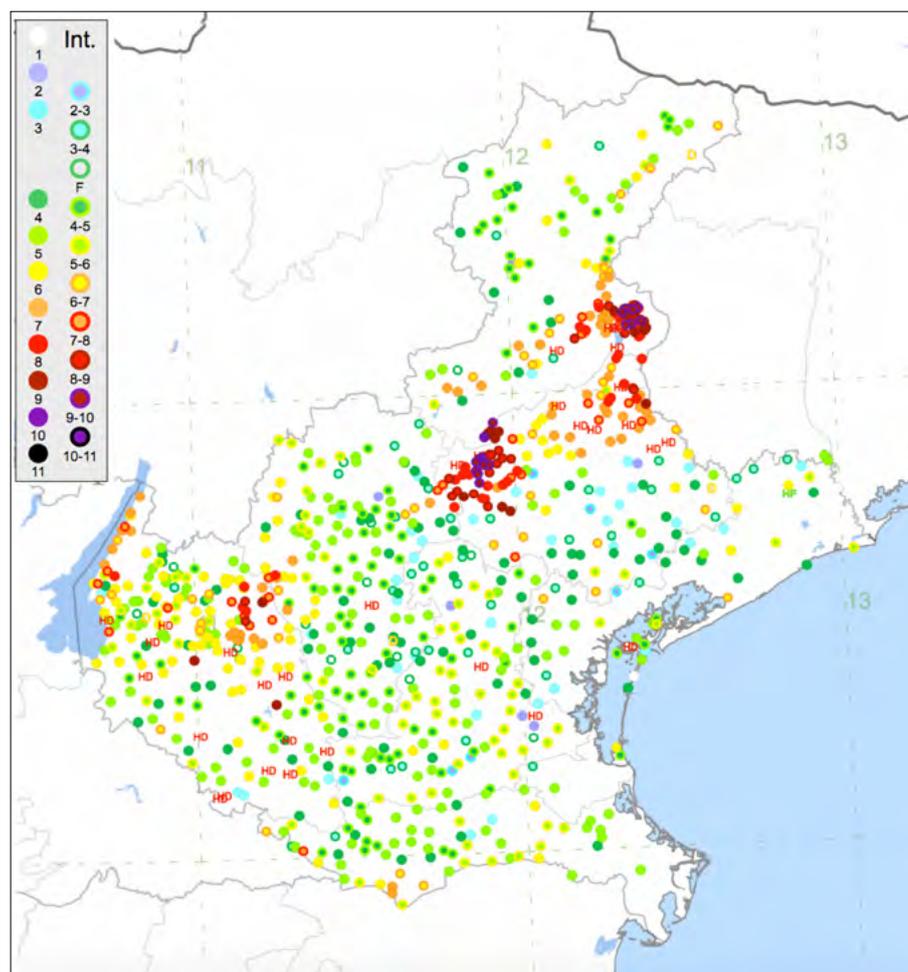


Figura 2. Intensità macrosismica del Veneto come ricavata dal Database macrosismico Italiano 1000-2014 (DBMI, Locati *et al.* 2016). La dicitura HD (Heavy Damage) indica danni rilevanti

La Fig. 2 illustra le intensità macrosismiche massime osservate (I_{mcs}) nel territorio veneto a seguito degli eventi sismici della finestra temporale 1000-2014.

Si può notare come tutto il territorio del Veneto abbia risentito, con diverse intensità, dell'attività sismica propria o proveniente dalle Regioni limitrofe. Considerando solo gli eventi in grado di generare rilevanti danni ($I_{mcs} \geq 7$), si osserva come quest'ultimi insistano nelle aree tettonicamente più attive sopra descritte, lungo la fascia prealpina

tezze sono invece relative alla limitata distribuzione delle stazioni sismometriche ed alla loro efficienza. Per valutare la sismicità del Veneto dobbiamo considerare sia gli eventi storici più significativi riconosciuti, sia la sismicità recente come strumentalmente misurata dalle stazioni sismometriche locali.

In Veneto vi sono 928 località che hanno risentito degli effetti di terremoti, con dati provenienti dal catalogo ASMI (Archivio Storico Macrosismico Italiano, emidius.mi.ingv.it/ASMI), l'associato catalogo DBMI (DataBase Ma-

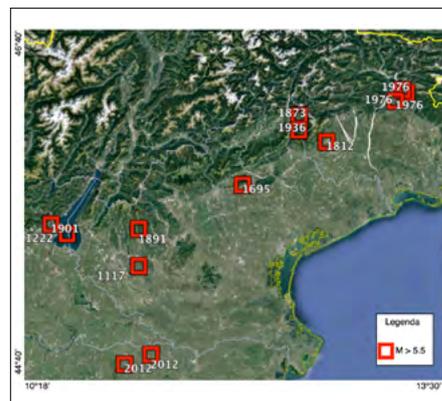


Figura 3. Terremoti con $M \geq 5.5$ che hanno interessato il territorio Veneto e zone limitrofe con relativo anno di accadimento

Tabella 1. Eventi che hanno causato $I_{max} \geq 7$ accorsi nel territorio Veneto. Agli eventi catalogati dal catalogo ASMI-DBMI15 si associano quelli aggiuntivi inseriti nel catalogo CFTI –Med 4.0

Terremoto	Data	Lat.	Lon.	I_{max}	Me
Eventi provenienti da Catalogo DBMI15 e ASMI					
Verona 1117	03 01 1117	45.367	11.167	9.1	6.8
Verona 1183	00 12 1183	45.433	11	6.5	4.9
Bresciano/Veronese 1222	25 12 1222	45.533	10.623	7.5	5.68 ± 0.36
Alpi Giulie 1348 (?)	25 01 1348	46.504	13.581	9	6.63 ± 0.10
Ferrarese 1570	17 11 1570	44.824	11.632	7.5	5.44 ± 0.17
Asolo 1695	25 02 1695	45.8	11.95	10	6.5
Pordenonese 1812	25 10 1812	46.027	12.589	7.50	5.62 ± 0.25
Asolano 1836	12 06 1836	45.803	11.825	8	5.53
Prealpi Trevigiane 1860	10 03 1860	45.889	12.146	6.5	4.92 ± 0.36
Monte Baldo 1866	11 08 1866	45.737	10.797	7	4.96 ± 0.39
Alpago/Cansiglio 1873	29 06 1873	46.167	12.383	9.5	6.3
Val Illasi 1891	07 06 1891	45.564	11.165	8.50	5.87
Garda Occidentale 1901	30 10 1901	45.584	10.49	7.5	5.44 ± 0.10
Garda Orientale 1932	19 02 1932	45.632	10.729	5.5	5.16 ± 0.34
Cansiglio 1936	18 10 1936	46.089	12.38	9	6.06
Feltrino 1943	24 07 1943	45.986	11.883	7	5.07 ± 0.13
Prealpi Vicentine 1989	13 09 1989	45.87	11.172	6.5	4.99 ± 0.10
Eventi provenienti da Catalogo CFTI-Med 4.0					
Treviso 778	? ? 778	45.667	12.25	8.5	5.8
Media Valle dell'Adige 1046	09 11 1046	45.83333	11.067	9	6
Trevigiano 1268	04 11 1268	45.733	12.083	8	5.4
Venezia 1284	17 01 1284	45.433	12.333	7	4.7
Trevigiano 1859	20 01 1859	45.883	12.1	7.5	5.2
Monte Baldo 1876	29 04 1876	45.75	10.783	7.5	4.9
Monte Baldo 1877	01 10 1877	45.767	10.8	7	4.6
Monte Baldo 1882	18 09 1882	45.717	10.767	7	5
Salò 1901	30 10 1901	45.583	10.5	8	5.7
Monte Baldo 1932	19 02 1932	45.633	10.733	8	5.1

3. LE ZONE SISMOGENETICHE VENETE

Sulla base della sismicità storica e strumentale, integrata con le conoscenze tettoniche, possono essere identificate le strutture responsabili dei terremoti di maggior intensità. Dal Database of Individual Seismogenic Sources dell'INGV si possono individuare su scala nazionale le zone sismogenetiche capaci di terremoti con magnitudo > 5.5 (Basili *et al.* 2008; Diss working group 2015). Le zone sismogenetiche che interessano il Veneto (rappresentate in Fig. 4, sovrapposte allo schema strutturale di Fig. 1) relative a sistemi di faglie profondi ritenuti in grado di liberare energie rilevanti.

Da notare che la più recente versione del DISS ha introdotto anche la zona sismogenetica Schio- Vicenza ritenuta potenzialmente capace di sismi con

$M = 5.5$ e che lambisce il territorio padovano. Si tratta di una sorgente complessa, orientata NW-SE, con dipping NE, e rappresenta una struttura particolare e trasversale rispetto al trend dei thrust prima descritti. La linea Schio- Vicenza si estende per 120 km ed è considerato un lineamento di tipo strike-slip (Zampieri *et al.*, 2003, Pola *et al.*, 2014). Si deve sottolineare che, ad eccezione di sismicità molto moderata nella sua parte più settentrionale (Viganò *et al.*, 2008), l'attività della struttura non ha mai evidenziato una sismicità rilevante né storica né strumentale ed il suo ruolo nel quadro cinematico del sudalpino è ancora dibattuto.

4. SISMICITÀ DELLA CITTÀ DI PADOVA

La città del Padova, pur non essendo localizzata in una zona in grado di liberare rilevante sismicità, ha subito gli

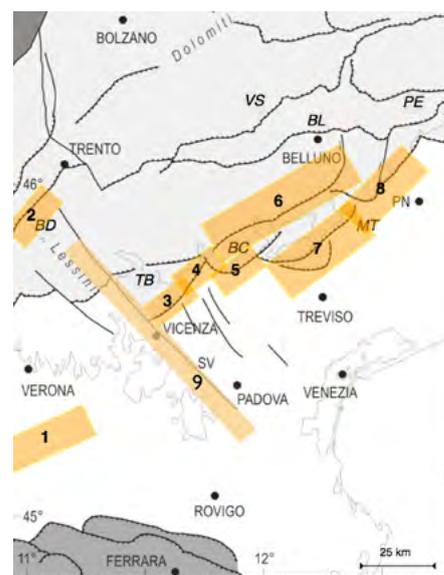


Figura 4. Le principali zone sismogenetiche del territorio Veneto sovrapposte allo schema strutturale di Figura 1 (Poli 2008 mod.). 1) Area Veronese; 2) Monte Baldo; 3) Thiene-Cornuda; 4) Thiene-Bassano; 5) Bassano-Cornuda; 6) Bassano-Vittorio Veneto; 7) Montello; 8) Cansiglio; 9) Schio-Vicenza

Tabella 2. I principali terremoti con Intensità al di sopra della soglia di danno che hanno interessato la città di Padova, così come provenienti dai cataloghi sismici

	Terremoto	Imax	Meq.
1	Verona 1117	9.1	6.8
2	Bresciano 1222	7.50	5.6
3	Alpi Giulie 1348	7.5	6.6
4	Slovenia 1511	6.5	?
5	Asolo 1695	7.5	6.4
6	Fabrianese 1741	9	6.1
7	Friuli 1976	10	6.0

effetti dei diversi terremoti storici occorsi nel territorio del Nord Est italiano.

La Tab. 2 illustra i principali terremoti con $Meq > 5.0$ che hanno interessato la città di Padova, mentre la figura 6 illustra la storia sismica di Padova dall'anno 1000 al 2000. Come si nota l'evento di gran lungo più distruttivo è stato il famoso evento del 1117 occorso nel territorio Veronese (Guidoboni *et al.* 2005). Altri eventi significativi che hanno generato danni in città sono stati localizzati nelle Alpi Giulie, in Slovenia, nei pressi di Asolo, Fabriano e il tristemente noto terremoto del Friuli del 1976. La città ha risentito, anche se in modo molto limitato, anche della recen-

ti centri urbani veneti quali Verona o Belluno, ben più esposti al fenomeno sismico.

5. CONCLUSIONI

L'analisi dei terremoti storici e strumentali dimostra come il territorio del Veneto sia da considerarsi sismico nella sua interezza. La sismicità più intensa si registra però in zone limitate, ovvero nel settore pre-alpino dove si concentrano gli scorrimenti sud-vergenti delle Alpi Meridionali orientali, e nel settore di svincolo più occidentali. Gli effetti dei forti terremoti storici sono stati risentiti in tutte le principali città della Regione, con danni anche ingenti. Il territorio ve-

sismogenetiche capaci di magnitudo > 5.5 , ovvero di liberare rilevanti energie seppur caratterizzate da tempi di ritorno medio-lunghi. Questo interessa anche la città di Padova che, seppur non essendo direttamente interessata da faglie capaci, subisce gli effetti delle sorgenti sismiche vicine. In questo contesto appare evidente che le politiche di prevenzione del rischio vadano estese a tutto il territorio regionale, e che anche gli importanti centri urbani come Padova debbano debitamente considerare tutti gli aspetti geologici che possano influire sulla amplificazione degli effetti di possibili eventi sismici.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento particolare al prezioso lavoro di SIGEA per l'impegno nella divulgazione della cultura geologica. Ringrazio inoltre S. Martin, A. Viganò e M. Garbin e D. Zampieri per le costruttive indicazioni.

BIBLIOGRAFIA

- ANZIDEI M., MARAMAI A., MONTONE, P. (Eds.) (2012), *Special Issue on "The Emilia (northern Italy) seismic sequence of May-June, 2012: preliminary data and results"*, Ann. Geophys., 55, 515–842.
- Aoudia A., Sarò A., Bukchin B., Suhadolc P. (2000), *The 1976 Friuli (NE Italy) Thrust Faulting Earthquake: A Reappraisal 23 Years Later*. Geophysical Research Letters, Vol. 27, No. 4, 577–580
- BASILI R., VALENSISE G., VANNOLI P., BURRATO P., FRACASSI U., MARIANO S., TIBERTI M.M., BOSCHI, E., (2008), *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*. Tectonophysics 453, 20–43.
- BENEDETTI L., TAPPONNIER P., KING G.C.P., MEYER B., MANIGHETTI I., (2000), *Growth folding and active thrusting in the Montello region, Veneto, northern Italy*. J. Geophys. Res. 105, 739–766.
- BERNARDIS G., GIORGETTI F., NIETO D., SLEJKO D. (1977), *Earthquakes Catalogue for Eastern Alps Region*, 74 pp., Centro di calcolo dell'Univ. di Trieste, Trieste, Italy.
- BOAGA J. (2018), *La sismicità del Veneto tra eventi storici e recenti*. In *Rischio sismico in Italia: analisi e prospettive per una prevenzione efficace in un Paese fragile*, Geologia dell'Ambiente. Supplemento al n. 1/2018.
- BOCCALETTI M., COLI M., EVA C., FERRARI G., GIGLIA G., LAZZAROTTO A., MERLANTI F., NICOLICH R., PAPANI G., POSTPISCHL D. (1985) *Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines*. Tectonophysics 117 (1), 7–38
- BOSCHI, E., GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., VALENSISE G., GASPERINI P. (eds) (2000), *Catalogue of Strong Italian Earthquakes*, Ann. Geofis., 43 (4), pp. 268, with database on CD-ROM (CFTI3).
- BOSCHI, E., GUIDOBONI E., FERRARI G.,

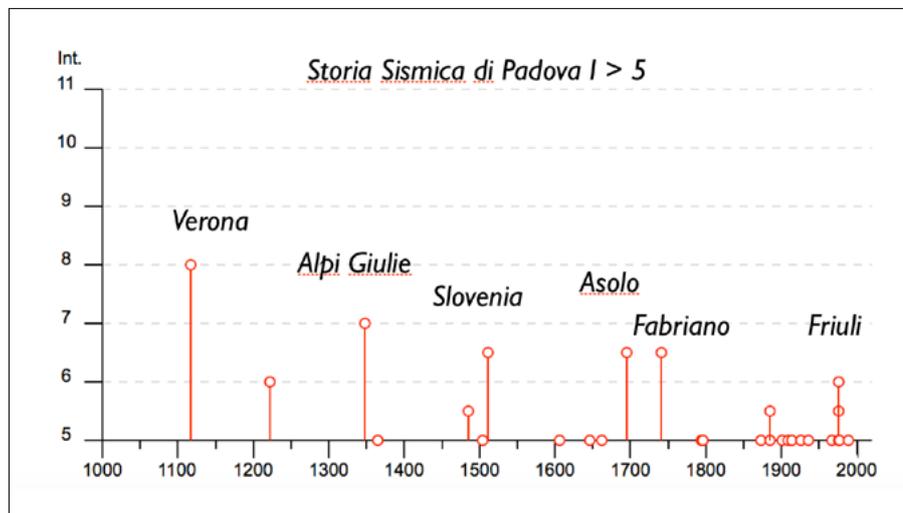


Figura 5. La storia sismica di Padova dal 1000 con i principali eventi di $Meq > 5$ che hanno interessato la città

te sequenza sismica emiliana del 2012.

Nel complesso la città di Padova ricade quindi in un territorio di modesta sismicità, non ospitando sorgenti sismiche sismogenetiche in grado di liberare rilevanti energie. Tuttavia la città del Santo risente della sismicità dei territori limitrofi, in primo luogo quella dei thrusts sudalpini e in misura minore quella derivante dall'attività del fronte settentrionale della catena appenninica. La distanza dalle principali zone di sorgente la pone comunque in condizioni di pericolosità limitata, soprattutto se comparata a quella di altri importan-

te è stato infatti direttamente interessato nel passato da forti terremoti come riportato da diverse fonti storiche. Tra questi si segnala il forte terremoto di Verona del 1117, considerato come il più forte mai accaduto nell'Italia settentrionale. In tempi più recenti il Veneto non è stato interessato da forti eventi tellurici aventi epicentro nel proprio territorio, ma ha subito gli effetti dei terremoti accaduti nei territori limitrofi, quali le crisi sismiche del Friuli 1976 e dell'Emilia 2012. Sulla base delle conoscenze tettoniche acquisite, si stima comunque l'esistenza in Veneto di diverse strutture

- VALENSISE G., GASPERINI P. (eds) (1997), *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 A.C. al 1990* (ING, Roma - SGA, Bologna), pp. 644, with database on CD-ROM (CFTI2).
- BOSCHI, E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G., VALENSISE G (eds) (1995), *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980* (ING, Roma - SGA, Bologna), pp. 973, with database on CD-ROM (CFTI1).
- BURRATO, P., CIUCCI, F., VALENSISE, G., (2003), *An inventory of river anomalies in the Po Plain: evidence for active blind thrust faulting*. Ann. Geophys. 46 (5), 865–882.
- BURRATO, P., DE MARTINI, P.M., POLI, M.E., ZANFERRARI, A., (2009), *Geometric and kinematic modelling of the thrust fronts in the Montello–Cansiglio area from geologic and geodetic data (Eastern South Alpine Chain, NE Italy)*. Rend. Online Soc. Geol. Ital. 5, 48–50.
- BURRATO, P., DE MARTINI P.M., POLI M.E., ZANFERRARI A. (2009), *Geometric and kinematic modeling of the thrust fronts in the Montello–Cansiglio area from geologic and geodetic data (Eastern South Alpine Chain, NE Italy)*. Rendiconti online Serv. Geol. It., 5, 48–50.
- CAMASSI R., ROSSI A., TERTULLIANI A., PESSINA V., CARACCILO C. H. (2011), *Il terremoto del 30 ottobre 1901 e la sismicità del versante occidentale del Garda*. Quaderni di Geofisica N.88 ISSN 1590–2595
- CAPORALI A., MARTIN S. (2000), *First results from GPS measurements on present day alpine kinematics*. J. Geodynamics, 30, 275–283.
- CAPORALI, A., MARTIN S., MASSIRONI M. (2003), *Average strain rate in the Italian crust inferred from a permanent GPS network - II. Strain rate versus seismicity and structural geology*, Geophys. J. Int., 155, 254–268.
- CASTALDINI, D., PANIZZA, M. (1991), *Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale)*. Il Quaternario, 4, 333–410.
- D'AGOSTINO N., CHELONI D., MANTENUTO S., SELVAGGI G., MICHELINI A. AND ZULIANI D. (2005), *Strain accumulation in the southern Alps (NE Italy) and deformation at the northeastern boundary of Adria observed by CGPS measurements*. Geophys. Res. Lett., 32, 19, doi:10.1029/2005GL024266.
- DANESI S., PONDRELLI S., SALIMBENI S., CAVALIERE A., SERPELLONI E., DANECZEK P., LOVATI S. MASSA M. (2015), *Active deformation and seismicity in the Southern Alps (Italy): The Montello hill as a case study*. Tectonophysics, 653, 95–108, doi.org/10.1016/j.tecto.2015.03.028.
- DOGLIONI C. (1990), *Thrust tectonics examples from the Venetian Alps*, Stud. Geol. Cam., spec. vol. 1990, 117–129.
- DOGLIONI C. (1992), *The Venetian Alps thrust belt*, in Thrust Tectonics, pp. 319–324, ed. McKlay, K.R., Chapman and Hall, London.
- FERRARESE, F., SAURO U., TONELLO C. (1998), *The Montello Plateau. Karst evolution of an alpine neotectonic morphostructure*. Z. Geomorphol., Suppl. Bd. 109, 41–62.
- GALADINI, F., POLI, M.E., ZANFERRARI, A. (2005), *Seismogenic Sources Potentially Responsible For Earthquakes With $M \geq 6$ in the Eastern Southern Alps (Thiene–Udine Sector, NE Italy)*. Geophysical Journal International, 161, 739–762.
- GRENERCZY, G., SELLA, G., STEIN, S., KENYERES, A. (2005), *Tectonic implications of the GPS velocity field in the northern Adriatic region*. Geophys. Res. Lett. 32.
- GUIDOBONI E., EBEL J. E. (2009), *Earthquakes and Tsunamis in the Past: A Guide to Techniques in Historical Seismology*. Cambridge University Press.
- GUIDOBONI E., BOSCHI E. (1991), *I grandi terremoti medievali in Italia*. Le Scienze - Quaderni, 59, 31–43.
- GUIDOBONI E., FERRARI G., MARIOTTI D., COMASTRI A., TARABUSI G., VALENSISE G. (2007), *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. Available from <http://storing.ingv.it/cfti4med/>
- GUIDOBONI E., COMASTRI A., BOSCHI E. (2005), *The “exceptional” earthquake of 3 January 1117 in the Verona area (northern Italy): A critical time review and detection of two lost earthquakes (lower Germany and Tuscany)*. J. Geophys. Res., 110, B12309.
- GUIDOBONI, E., COMASTRI A. (2005), *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*, vol. 2, INGV-SGA, Bologna 2005, 1037 pp.
- IAEA (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY) (2010), *Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, Chapter 8: Potential for Fault Displacement at the Site*, Specific Safety Guide No. SSG-9, 978-92-0-102910-2.
- LOCATI M., CAMASSI R., ROVIDA A., ERCOLANI E., BERNARDINI F., CASTELLI V., CARACCILO C.H., TERTULLIANI A., ROSSI A., AZZARO R., D'AMICO S., CONTE S., ROCCHETTI E. (2016), *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macro-seismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- MARTIN S., CASTIGLIONI G., LAFUENTI L., BOAGA J., AGNINI C., ZORZI F., MONEGO M., FEDRIZZI F., VIGANÒ A. (2017), *Palaeotectonics in the Euganean Hills (Venetian Region)*, Proceeding of Gruppo Italiano di Geologia Strutturale - GIGS annual conference 2017, Padova 10-13 July 2017.
- OMBRA project group, CAVALIERE, A., DANECZEK, P., SALIMBENI, S., DANESI, S., PONDRELLI, S., SERPELLONI, E., AUGLIERA, P., FRANCESCHINA, G., LOVATI, S., MASSA, M., MAISTRELLO, M., PESSINA, V. (2011), *OMBRA: observing Montello broad activity deployment of a temporary seismic network to study the deformation process across Montello faults (Eastern Alps)*. Rapporto Tecnico INGV, n. 180 (http://portale.ingv.it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/copy_of_numeri-pubblicati-2011).
- PERUZZA, L., ILCETO, V., SLEJKO, D., (1989). *Some seismotectonic aspects of the Alpage–Cansiglio area (N.E. Italy)*. Boll. Geofis. Teor. Appl. 31, 63–75.
- PERUZZA, L., POLI, M.E., REBEZ, A., RENNER, G., ROGLEDI, S., SLEJKO, D., ZANFERRARI, A., (2002), *The 1976–1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects*. Mem. Soc. Geol. Ital. 57, 391–400.
- POLA, M., A. RICCIATO, R. FANTONI, P. FABRI, AND D. ZAMPIERI (2014), *Architecture of the western margin of the North Adriatic foreland: the Schio–Vicenza fault system*. Ital. J. Geosci., 133, 2, 223–234, 10.3301/ijg.2014.04.
- POLI, M.E., BURRATO, P., GALADINI, F., ZANFERRARI, A., (2008), *Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in north-eastern Italy*. Boll. Geofis. Teor. Appl. 49, 301–313.
- PRIOLO E. (a cura di) (2007), *Regione Veneto - Gestione della rete di controllo sismico, studio della sismicità regionale e ricerca sismologica a fini di protezione civile*, Relazione 2008–OGS043–CRS006–SIRE.
- ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P. (EDS), (2016), *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- SAURO U. AND ZAMPIERI D. (2001), *Evidence of recent surface faulting and surface rupture in the fore-Alps of Veneto and Trentino (NE Italy)*. Geomorphology, 40, 169–184.
- SCISSIANI V. CALAMITA F. (2009), *Active intraplate deformation within Adria: Examples from the Adriatic region*, Tectonophysics 476 (2009) 57–72.
- SERPELLONI E., ANZIDEI M., BALDI P., CASULA G., GALVANI A. (2005), *Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks*. Geophys. J. Int. 161, 861–880.
- SLEJKO, D., CARULLI, G., CARRARO, F., CASTALDINI, D., CAVALLIN, A., DOGLIONI, C., ILCETO V., NICOLICH R., REBEZ R., SEMENZA E., ZANFERRARI A., ZANOLLA C. (1987), *Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale*. TRIESTE -- ITA: CNR.
- SLEJKO D., NERI G., OROZOVA I., RENNER G., WYSS M. (1999), *Stress field in Friuli (NE Italy) from fault plane solutions of activity following the 1976 main shock*, Bull. seism. Soc. Am., 89, 1037–1052.
- VANNOLI P., BURRATO P., VALENSISE G. (2015), *The seismotectonics of the Po Plain (northern Italy): tectonic diversity in a blind faulting domain*. Pure Appl. Geophys., 172, 1105–1142.
- VIGANÒ A., SCAFDI D., MARTIN S., SPALLAROSSA S. (2013), *Structure and properties of the Adriatic crust in the central-eastern Southern Alps (Italy) from local earthquake tomography*. Terra Nova 25 (6), 504–512.
- VIGANÒ, A., G. BRESSAN, G. RANALLI, AND S. MARTIN (2008), *Focal mechanism inversion in the Giudicarie–Lessini seismotectonic region (Southern Alps, Italy): Insights on tectonic stress and strain*. Tectonophysics, 460, 1, 106–115, 10.1016/j.tecto.2008.07.008.
- ZAMPIERI, D., M. MASSIRONI, R. SEDEA, AND V. SPARACINO (2003), *Strike-slip contractional stepovers in the Southern Alps (northeastern Italy)*. Eclogae Geol. Helv., 96, 1, 115–124.

Sostenibilità degli impianti di scambio termico con il sottosuolo per la climatizzazione in area urbana

Ground heat exchangers systems sustainability for building conditioning in urban areas

Parole chiave: energia geotermica, scambiatori di calore, isola di calore urbano, isola di calore urbano sotto-superficiale, temperatura del terreno

Key words: geothermal energy, ground heat exchangers, urban heat island, subsurface urban heat island, underground temperature

Antonio Galgaro

Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova

E-mail: antonio.galgaro@unipd.it

Giorgia Dalla Santa

Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova

E-mail: giorgia.dallasanta@unipd.it

Eloisa Di Sipio

Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova

E-mail: eloisa.disipio@unipd.it

RIASSUNTO

L'influenza antropica sui cambiamenti climatici è significativa nelle aree urbane. L'urbanizzazione altera le proprietà termiche del terreno, modifica il bilancio energetico a livello del suolo, cambia le caratteristiche della circolazione atmosferica, genera una grande quantità di calore antropogenico e porta a cambiamenti nel sistema ambientale urbano. Gli impatti dell'urbanizzazione sull'ambiente termico sono generalmente definiti effetti di Urban Heat Island (UHI), ovvero isola di calore urbano, mentre le anomalie termiche indotte su larga scala nel terreno sono chiamate Subsurface Urban Heat Islands (SUHIs), o isole di calore urbano sotto-superficiali. L'eccesso di calore immagazzinato nelle falde acquifere e nel sottosuolo delle città, una volta quantificato, può costituire una valida alternativa agli impianti tradizionali di climatizzazione ed essere considerato come sorgente di energia geotermica per il riscaldamento e il raffreddamento degli ambienti costruiti. Infatti, il crescente interesse per l'uso geotermico del sottosuolo risulta di fondamentale importanza per la futura pianificazione urbanistica delle città, dati i vantaggi legati al minor consumo di combustibili fossili e alla riduzione dell'emissione di gas a effetto serra. In questo studio vengono illustrate diverse applicazioni geotermiche realizzate in contesti urbani italiani tuttora in funzione, per dimostrarne la potenzialità e la sostenibilità in un contesto urbano.

ABSTRACT

The human influences on climate change are significant in urban areas. Urbanization alters the land thermal

properties, changes the energy budget at the ground surface, changes the surrounding atmospheric circulation characteristics, generates a great amount of anthropogenic waste heat, and leads to changes in the urban environmental system. The impacts of urbanization on the thermal environment are generally termed as Urban Heat Island (UHI) effects, while large-scale induced thermal anomalies in the underground are called Subsurface Urban Heat Islands (SUHIs). The excess of heat stored in the cities aquifers and underground, once quantified, constitutes a valid alternative to traditional air conditioning systems and can be considered as a source of geothermal energy for heating and cooling the built environments. In fact, the growing interest in the geothermal use of the subsoil is of fundamental importance for the future urban planning, given the advantages associated with the lower consumption of fossil fuels and the reduction of greenhouse gas emissions. This study illustrates several geothermal applications in Italy still in operation, to demonstrate their potential and sustainability in an urban context.

INTRODUZIONE

L'influenza antropica sui cambiamenti climatici è significativa nelle aree urbane. L'urbanizzazione altera le proprietà termiche del terreno, modifica il bilancio energetico a livello del suolo, cambia le caratteristiche della circolazione atmosferica, genera una grande quantità di calore antropogenico di scarto e porta a cambiamenti nel sistema ambientale cittadino (Huang *et al.* 2009). Gli impatti dell'urbanizzazione sull'ambiente termico sono generalmente definiti effetti di Urban Heat Island

(UHI), ovvero isola di calore urbano, le cui conseguenze sulla temperatura del sottosuolo e sull'ambiente circostante sono ancora poco conosciute. L'isola di calore urbano è definita come lo sviluppo di temperature sistematiche più elevate negli insediamenti antropici a causa dell'elevato assorbimento delle radiazioni solari, del calore prodotto dalle attività umane, della riduzione delle perdite termiche, dell'aumento dell'inquinamento e del consumo di energia (Fig. 1a). Ne deriva una notevole riduzione del comfort termico che porta ad un maggiore consumo di energia degli edifici a fini del raffreddamento, contribuendo all'incremento dell'emissione e della generazione di inquinanti urbani e quindi ad un deterioramento dell'impronta ecologica generale delle città. Numerosi studi hanno dimostrato che l'espansione delle città può aumentare le temperature della superficie del terreno in modo ragguardevole (circa 2-5 °C), poiché gli edifici, l'asfalto e le superfici in calcestruzzo hanno una temperatura media annua superiore rispetto a quella delle aree verdi e del terreno non edificato. Pertanto, la riduzione delle UHI sta diventando di importanza strategica sia per un miglioramento della salute umana e della protezione dell'ambiente sia per contribuire allo sviluppo sostenibile su scala urbana (Zhu *et al.* 2010).

Le acque sotterranee sono in grado di acquisire o perdere calore dalla superficie del suolo, la cui temperatura media annua è controllata sia dai cambiamenti climatici che dall'uso del suolo. A questo proposito, bisogna considerare gli andamenti a lungo termine e i cicli stagionali delle variazioni di temperatura (i) superficiale dell'aria, (ii) del sottosuolo sub-superficiale, (iii) del terreno, (iv)

delle acque sotterranee (Menberg *et al.* 2013). Le fluttuazioni di temperatura dell'aria si trasmettono nel terreno dove si diffondono gradualmente in profondità diminuendo esponenzialmente la loro ampiezza. Le anomalie termiche indotte su larga scala nel terreno sono chiamate Subsurface Urban Heat Islands (SUHIs), o isole di calore urbano sotto-superficiali (Bayer *et al.* 2019). I profili di temperatura acquisiti in pozzi di monitoraggio all'interno delle città mostrano un andamento caratteristico, con valori crescenti verso la superficie, indotti dal riscaldamento antropico e indicativi di un accumulo di energia termica in eccesso nel sottosuolo. Le anomalie termiche del terreno in ambito urbano si propagano sia verso l'alto nell'atmosfera che verso il basso nel sottosuolo.

Dato il rapido ritmo di crescita dell'urbanizzazione a livello mondiale, è necessario migliorare la nostra comprensione delle SUHI e delle loro conseguenze ambientali, sociali ed economiche. L'eccesso di calore immagazzinato nelle falde acquifere urbane, una volta quantificato, può costituire un'attrattiva sorgente di energia geotermica per il riscaldamento e il raffreddamento degli ambienti costruiti. In città altamente urbanizzate con una domanda di riscaldamento maggiore rispetto alla campagna circostante, il crescente interesse per l'uso geotermico del sottosuolo risulta di fondamentale importanza per la futura pianificazione urbanistica delle città. L'estrazione efficiente e sostenibile di questa grande quantità di energia presente nel sottosuolo urbano non solo soddisferà parte della domanda di energia nelle città, ma svolgerà anche un ruolo positivo nel rallentamento del riscaldamento urbano, a causa della riduzione delle emissioni di gas a effetto serra (Zhu *et al.* 2010; Arola *et al.* 2014).

SOSTENIBILITÀ DEGLI IMPIANTI DI SCAMBIO TERMICO IN AMBITO CITTADINO

In aree urbane, rispetto alle aree rurali, la presenza di un'isola di calore urbana nel sottosuolo (SUHI) può offrire vantaggi economici ed ecologici per l'uso di sistemi di energia geotermica superficiale. È stato dimostrato che il potenziale geotermico offerto dalle SUHI può superare la domanda annuale di riscaldamento residenziale in molte aree urbane [4-5] e che una sua efficiente estrazione può contribuire a ridurre le emissioni di CO₂ e altri gas serra. Le potenziali fonti di calore naturale e antropico tipiche di un insediamento urbano, residenziale o industriale sono molteplici (Menberg *et al.* 2013), e tra queste si ricordano (Fig. 1b):

- flusso di calore geotermico naturale presente nell'area di interesse e flusso di calore dovuto ad elevate temperature superficiali del terreno;
- gli edifici stessi, e gli scantinati in particolare, che agiscono come dei radiatori in grado di emettere calore sia verso l'aria che verso il terreno;
- tunnel stradali e metropolitani, sistemi fognari e reti sotterranee di teleriscaldamento che sono stagionalmente o permanentemente più calde del sottosuolo circostante;
- le acque sotterranee superficiali, spesso utilizzate per il raffreddamento nei processi industriali, che vengono re-iniettate nel sottosuolo dopo aver acquisito qualche grado di temperatura in più rispetto ai valori iniziali;
- il terreno utilizzato termicamente dai sistemi di energia geotermica già esistenti (pompe di calore geotermiche, sistemi di accumulo di energia termica nelle falde acquifere o pali energetici).

Studi recenti in Germania, Svizzera, Asia e America hanno evidenziato che nei primi 20 metri di profondità le variazioni di temperatura registrate nei centri storici e nelle zone rurali e suburbane limitrofe ai centri cittadini presentano differenze sostanziali (Bayer *et al.* 2016; Benz *et al.* 2017; Epting *et al.* 2017; Taylor *et al.* 2009; Taniguchi *et al.* 2009). In particolare:

- in tutte le città, la distribuzione spaziale delle temperature delle acque di falda è molto variabile con una chiara tendenza al riscaldamento verso i nuclei storici delle città stesse;
- i valori di temperatura delle acque sotterranee più bassi (8-11 °C) sono misurati nelle parti rurali, principalmente in corrispondenza di aree boschive o terreni agricoli;
- l'impatto antropogenico diretto sulle temperature delle acque sotterranee è minimo nelle regioni rurali e le temperature osservate sono interpretate come condizioni di fondo indisturbate (background);
- le condizioni di fondo indisturbate assomigliano alla media annuale dei valori della temperatura superficiale dell'aria;
- nelle aree suburbane e residenziali, le temperature delle acque sotterranee sono leggermente più alte del valore di fondo;
- in quasi tutte le città, le temperature delle acque sotterranee sono più elevate rispetto alle aree rurali e tendono a raggiungere i valori più elevati in corrispondenza dei centri storici, che di solito rappresentano le aree urbane più antiche e densamente costruite (eccezioni dove sono presenti sorgente di calore antropico – industriale – in aree esterne al centro storico). Bisogna ricordare inoltre che nei centri cittadini la densità degli edifici sono più alte ed

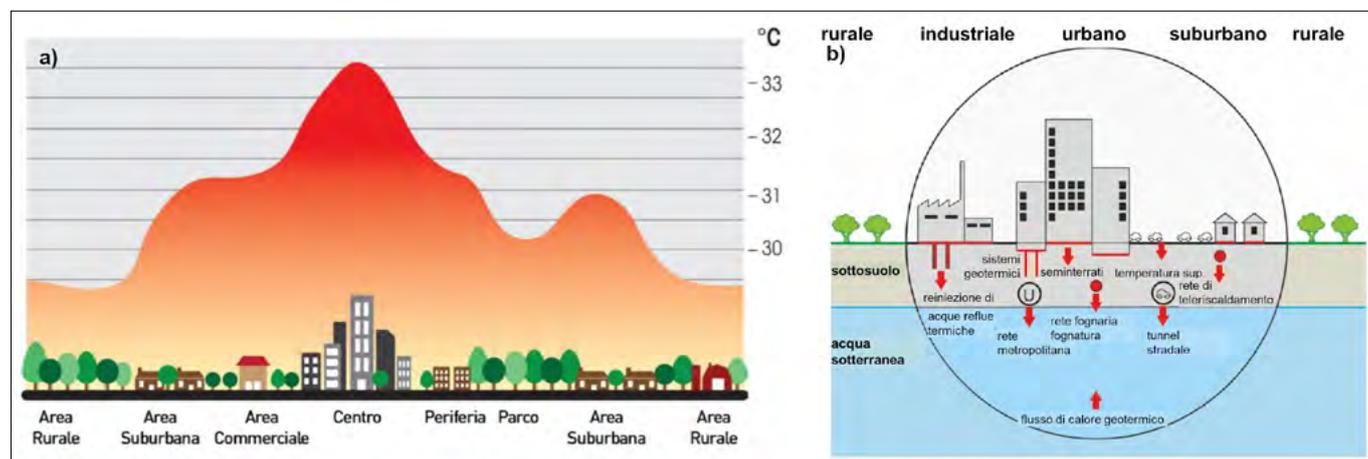


Figura 1. a) Effetto di un'isola di calore urbano sull'incremento delle temperature dell'aria (modificato da E. Bassolino, presentazione); b) potenziali fonti di calore antropogenico e naturale nelle aree urbane (modificato da Menberg *et al.* 2013)

esistono fonti di calore aggiuntive, quali la linea metropolitana, il sistema fognario, i pozzi di reiniezione delle acque reflue termiche.

stato considerato un ambiente favorevole alla vita dell'uomo sin dagli albori dell'umanità. Grazie alla sua inerzia termica, infatti, già a pochi metri sotto

può considerare pressoché costante tutto l'anno, assumendo generalmente un valore prossimo alla temperatura media annua dell'aria nella località considerata. Questo implica che, a partire da una certa profondità (in genere 5-6 metri), il terreno risulta più caldo dell'aria esterna in inverno e più freddo durante i mesi estivi, una circostanza conveniente che può essere sfruttata per riscaldare o raffreddare un edificio a seconda delle esigenze. Il livello termico cui si trova il sottosuolo non è però sufficiente a garantire temperature adeguate al totale soddisfacimento del fabbisogno termico lato utenza. Per questo è necessario il contributo di una macchina termica, la pompa di calore geotermica, che ha il compito di spostare il calore dal sottosuolo all'edificio e viceversa. Questo dispositivo consente di innalzare il livello energetico della sorgente sottosuolo, rendendo utilizzabile e spendibile una risorsa ampiamente disponibile, ma altrimenti inutilizzata, per soddisfare totalmente il fabbisogno climatico dell'edificio asservito (Botteghi *et al.* 2014).

In base al suo principio di funzionamento, la pompa di calore non risente delle oscillazioni termiche giornaliere, come avviene invece per quelle ad aria esterna, poiché il terreno costituisce una sorgente a temperatura pressoché costante. Un sistema in grado di avvalersi vantaggiosamente di queste potenzialità è pertanto in grado di offrire calore (azione riscaldante) e di sottrarre (azione refrigerante), in funzione delle richieste stagionali invernali ed estive. Per essere realizzato, un tale impianto necessita di una perforazione atta a ospitare la sonda a circuito chiuso o un punto di emungimento; di un fluido termovettore (in genere acqua); di una pompa per il suo ricircolo; e di una pompa di calore, che costituisce lo strumento atto a operare il trasferimento di calore nel sistema edificio-sottosuolo.

Se usato in modalità sia di riscaldamento che di raffrescamento, questo sistema si rivela particolarmente promettente in aree urbane.

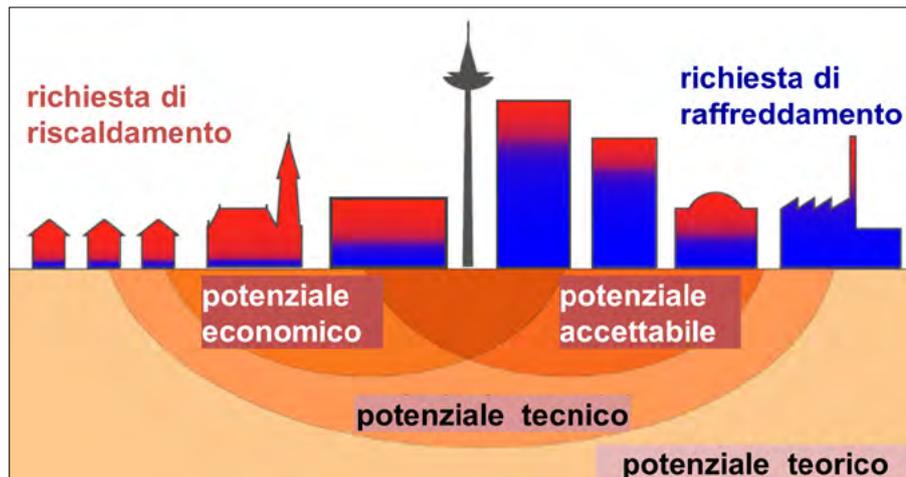


Figura 2. Categorie del potenziale geotermico nel sottosuolo urbano (modificato da Bayer *et al.* 2019)

Pertanto, la quantità di energia termica immagazzinata nel sottosuolo all'interno della falda acquifera o nella parte solida del terreno e potenzialmente sfruttabile potrebbe soddisfare la domanda di riscaldamento residenziale per diversi anni o decenni. Tuttavia, bisogna considerare la quantità di energia effettivamente e convenientemente utilizzabile per soddisfare la richiesta di riscaldamento e raffreddamento nelle città. Infatti il potenziale geotermico nel sottosuolo urbano può essere distinto (Fig. 2) in potenziale teorico, inteso come l'energia totale E in kJ immagazzinata in un serbatoio; tecnico, ovvero la frazione del potenziale teorico utilizzabile con una determinata tecnologia; economico, definito come la frazione del potenziale tecnico che può essere convenientemente sfruttata; accettabile, inteso come la frazione del potenziale tecnico limitata da regolamentazioni, criteri ambientali, competenze, interessi ecc. (Bayer *et al.* 2019).

IMPIANTI GEOTERMICI PER LA CLIMATIZZAZIONE

Il sottosuolo, inteso come massa di grande capacità e stabilità termica, è

la superficie, il terreno risente in modo decisamente attenuato e smorzato delle fluttuazioni termiche giornaliere e stagionali dell'aria, garantendo una temperatura costante per tutto l'arco dell'anno. Esistono numerosi esempi nel mondo in cui l'uomo ha sfruttato e continua tuttora a sfruttare questa caratteristica del terreno per viverci, trovando nelle grotte un rifugio al rigore degli inverni e al clima torrido delle estati, e per conservare cibi e vini, scavando cantine e ghiacciaie nel terreno. Un esempio vicino a Padova di utilizzo geotermico del terreno è rappresentato da Villa Eolia, situata ai piedi del Colli Berici, che già dal 1500 sfrutta una circolazione naturale di aria attraverso delle cavità, in parte naturali in parte rielaborate dall'uomo, per raffrescare e riscaldare gli ambienti interni, sfruttando la temperatura media del terreno di circa 16°C . Si tramanda che Galileo Galilei, ospite della Villa durante il periodo estivo, risentì di un problema di bronchite cronica causato dalla frequentazione della Villa, caratterizzata da un sistema di climatizzazione forzata non comune per l'epoca (Fig. 3).

Infatti, in assenza di anomalia termica, la temperatura del sottosuolo si

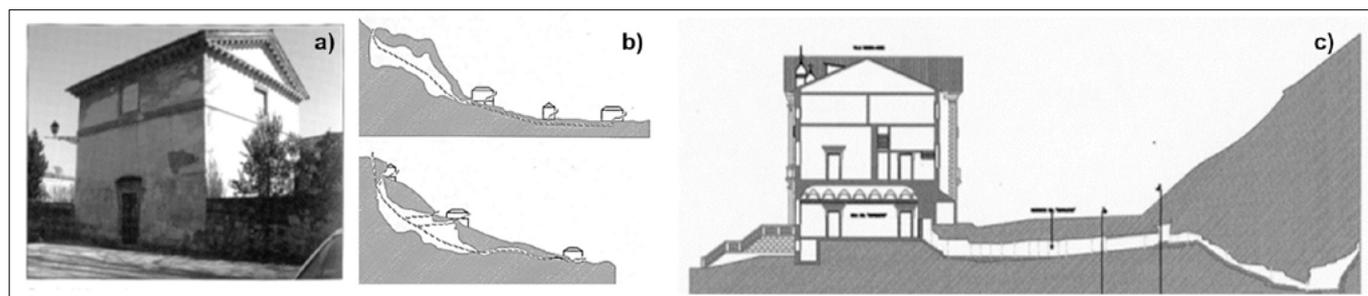


Figura 3. Villa Eolia a Vicenza: (a) facciata principale; (b) rappresentazione grafica delle cavità in parte naturali e in parte rielaborate dall'uomo sul pendio a monte della Villa; (c) schema del collegamento tra cavità naturali e Villa responsabile per la climatizzazione dell'edificio

Oggi giorno, le varianti tecnologiche per l'utilizzo della sorgente geotermica superficiale in ambito urbano si basano sullo sfruttamento dei processi di trasporto del calore per conduzione e/o per convezione, in caso di presenza di una falda acquifera. L'uso diretto dell'eccesso di calore può prevedere l'utilizzo di pompe di calore geotermiche accoppiate a scambiatori di calore geotermici in modalità circuito aperto (con prelievo e re-iniezione di acqua di falda) e circuito chiuso (senza scambio di fluidi con l'ambiente circostante), e/o di fondazione termo-attive (i.e. pali energetici, con elementi scambiatori orizzontali). Gli impianti con pompe di calore geotermiche sono sostanzialmente di due tipi, denominati rispettivamente 'aperto' o 'chiuso' a seconda che vi sia o meno prelievo d'acqua, sia essa di falda o superficiale (laghi, fiumi, mari). Nei sistemi aperti l'acqua di falda viene pompata in superficie da pozzi opportunamente realizzati, che la portano a contatto con la serpentina dell'evaporatore (fase di riscaldamento) inserita nella pompa di calore. Nei sistemi chiusi, invece, il fluido di circolazione (da non confondere con il fluido della pompa di calore, che circola in un altro circuito) non ha alcun contatto con l'ambiente circostante, perché fluisce in un sistema di tubature calate nel terreno a profondità variabili, in funzione della configurazione finale. Inoltre, è possibile realizzare sistemi di accumulo dell'energia termica nel sottosuolo mediante campi di scambiatori di calore in pozzo (Borehole Thermal Energy Storage - BTES) o nelle falde acquifere (Aquifer Thermal Energy Storage - ATES). In questo modo è

possibile stoccare, e quindi utilizzare in un momento successivo, l'energia termica in eccesso, favorendo, da un lato, l'impiego ibrido della risorsa nel momento in cui sarà effettivamente richiesta e, dall'altro, il rinnovamento della stessa (Fig. 4).

APPLICAZIONI GEOTERMICHE IN CONTESTI URBANI

La realizzazione di sistemi geotermici per la climatizzazione degli edifici richiede un insieme di competenze specifiche prevalentemente di carattere geologico e ingegneristico in grado di valorizzare e garantire il valore funzionale di queste strutture. In ambito urbano la sfida consiste nell'utilizzare al meglio la risorsa geotermica disponibile localmente (terreno, acqua ecc.), mettendo in fase la disponibilità della risorsa con le necessità di climatizzazione prevalenti. In breve, si cerca di realizzare localmente soluzioni applicative in grado di immagazzinare calore nel sottosuolo durante il periodo estivo e cederlo efficacemente nella stagione invernale per il riscaldamento degli edifici, oppure di immagazzinare fresco nel terreno durante l'inverno per utilizzarlo successivamente in estate, quando la richiesta di raffrescamento aumenta. A questo proposito sono molto promettenti alcune soluzioni tecniche già sperimentate in Nord America, Europa e Asia (i.e. Canada, Germania, Giappone) riguardanti gli strati superficiali di marciapiedi, coperture stradali, ponti e aree di sosta, costituiti principalmente da miscele di asfalto nero (Morita *et al.* 2000; Lund 2005; Baumgaertel *et al.*

2020). I manti di asfalto, caratterizzati da un'elevata capacità di assorbimento del calore solare, sono considerati uno dei principali fattori che contribuiscono all'incremento di temperatura nelle isole di calore urbano (UHI). In dettaglio, inserendo delle apposite serpentine atte allo scambio termico all'interno del manto asfaltato, durante l'estate si estrae il calore solare assorbito dalla superficie asfaltata, che si raffredda, per stoccarlo nel sottosuolo con la tecnologia delle pompe di calore geotermiche (Fig. 5a-b). Quindi, questo calore è utilizzato durante l'inverno come fonte di energia termica rinnovabile sia per il riscaldamento degli ambienti che per la produzione di acqua calda sanitaria negli edifici circostanti o per lo sbrinamento delle strade. Le soluzioni termicamente ottimizzate per i marciapiedi abbinata ai GSHP sono promettenti non solo nelle nuove aree urbane, dove vengono adottate soluzioni per edifici a basso consumo energetico, ma anche in edifici già esistenti, che devono essere rinnovati. Il ciclo di scambio potrebbe essere invertito in inverno, per accumulare freddo nel terreno, da recuperare nella stagione estiva per raffrescare in modo conveniente gli edifici che richiedono un importante raffrescamento. Riassumendo, questi sistemi acquisiscono importanza strategica per contribuire al miglioramento della salute umana, alla protezione dell'ambiente e allo sviluppo sostenibile su scala urbana.

Un'altra problematica tipica di un ambiente urbano ai fini della realizzazione di impianti geotermici è la necessità di muoversi in spazi molto ristretti. In genere, gli ambienti disponibili so-

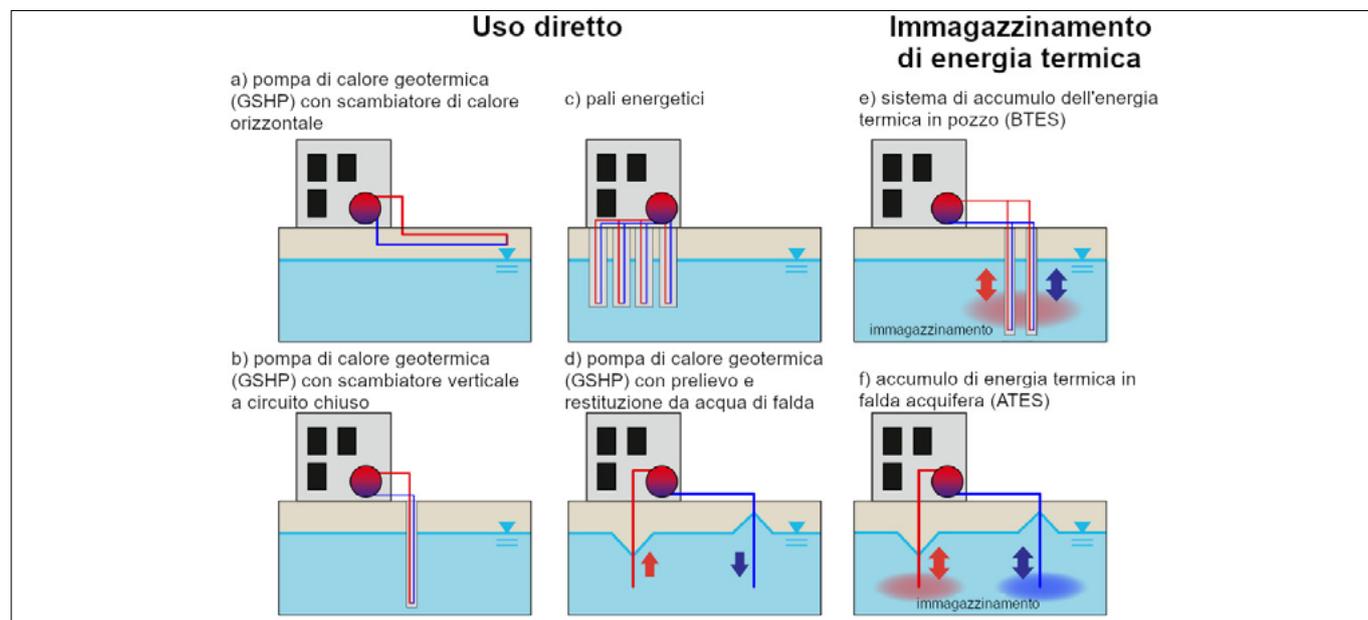


Figura 4. Varianti tecnologiche di utilizzo geotermico superficiale nelle falde acquifere urbane, modificato da Bayer *et al.* 2019

no difficilmente percorribili da grosse

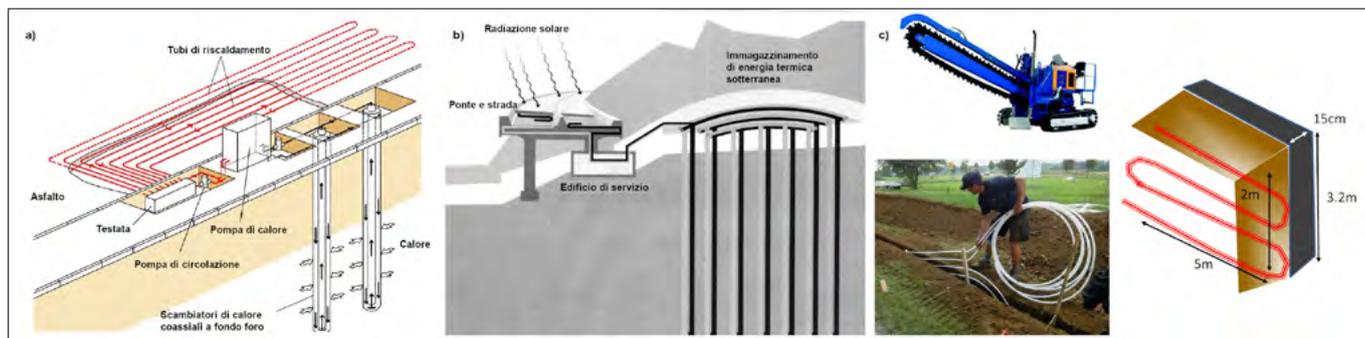


Figura 5. a) Schema del sistema Gaia, con inserimento di scambiatori geotermici nel manto d'asfalto (modificato da Morita et al. 2000); b) schema del progetto SERVO in Svizzera per accumulare il calore solare catturato dall'asfalto nel sottosuolo mediante uso di collettori geotermici (modificato da Lund 2005); c) sistemi di taglio del suolo innovativi per installazione di scambiatori di calore superficiali in trincea

macchine e sono necessari permessi e autorizzazioni per l'attraversamento di spazi pubblici e privati. Per ovviare a questa difficoltà si stanno sviluppando e adottando soluzioni tecnologiche innovative, volte a (i) ridurre le dimensioni dei macchinari da utilizzare senza diminuirne le prestazioni, (ii) consentire perforazioni direzionali o inclinate per la disposizione a raggiera degli scambiatori di calore, (iii) adattare soluzioni tecniche esistenti per applicazioni geotermiche (i.e. well-point), (iv) identificare nuovi metodi di taglio del terreno per installare sonde geotermiche orizzontali nel minor tempo possibile evitando problematiche legate alla stabilità degli scavi (Fig. 5c).

Esistono oggi diversi esempi di applicazioni funzionanti realizzate in contesti urbani, sia in Italia che all'estero. Rimanendo in ambito nazionale, si ricordano a Padova il nuovo polo umanistico dell'Università di Padova e la Fornace Carotta. Il primo è una realizzazione in area urbana di un impianto a circuito chiuso in un complesso edilizio storico situato in centro città in prossimità della stazione ferroviaria. L'impianto a circuito chiuso realizzato per soddisfare la domanda energetica del complesso è costituito da 60 sonde infisse fino a 120 m di profondità realizzate all'interno dei chiostri che fanno parte del complesso edilizio di un ex convento, servito da 2 pompe di calore reversibili (192.6 / 168.4 kWt) con impianto di riscaldamento/raffrescamento a pannelli radianti (60 W/m²). L'intero sistema, già in funzione da un paio di anni, è stato progettato per garantire una grande efficienza energetica e all'insegna dell'innovazione e attenzione all'ambiente da parte dell'Ateneo patavino (Fig. 6a). Si è provveduto a monitorare sia la componente energetica di efficienza delle pompe di calore, sia gli impatti termici nel sottosuolo mediante un sistema costituito da catenarie di sensori di temperatura distribuiti a varie profondità per

verificare il variare delle condizioni termofisiche naturali del terreno nel tempo e supportare la modulazione dello stesso impianto sulla base delle richieste energetiche, della massimizzazione delle efficienze e minimizzare l'impronta termica nel sottosuolo.

La Fornace Carotta è invece un esempio di recupero edilizio del comune di Padova. La ristrutturazione dell'edificio ha previsto la messa in opera di un sistema fotovoltaico accoppiato ad un impianto geotermico per la climatizzazione estiva ed invernale dell'edificio denominato "ex scuderie". In questo caso l'impianto geotermico è costituito da una pompa di calore reversibile e da sonde geotermiche a doppia U in polietilene (Pe-Xa) con circolazione di fluido termovettore di scambio termico a circuito chiuso privo di sostanze anticongelanti (Fig. 6b).

Nel centro storico di Venezia, un recente recupero edilizio, tra i più importanti degli ultimi anni, è costituito dalla ristrutturazione del Fondaco dei Tedeschi, palazzo storico di Venezia affacciato sul Canal Grande all'altezza del ponte di Rialto, ora divenuto "Polo della moda". Qui sono state installate all'interno del chiostro 46 sonde doppia U a 100m di profondità in grado di garantire una potenza in riscaldamento e di raffreddamento pari a rispettivamente 364,8 KW e 298,2 KW. Il cantiere dei lavori di recupero edilizio ha presentato diverse difficoltà legate agli spazi ristretti in cui operare e allo smaltimento dei materiali di perforazione, che, in un ambiente lagunare come Venezia, risultano gestibili con difficoltà maggiori rispetto alla terraferma (Fig. 6c).

Un'altra applicazione importante è legata al Nuovo Polo Culturale e Museo del Novecento di Venezia-Mestre, localizzato nel Centro storico di Mestre. L'impianto geotermico consiste in 60 sonde verticali profonde 100 m, accoppiate a pompe di calore acqua-aria, in grado di soddisfare un carico termo-fr-

gorifero di 500 kW e di generare nel sottosuolo un sistema di accumulo termico di massa. Il Museo, infatti, avendo una domanda di raffrescamento dominante rispetto a quella per il riscaldamento, tipica di strutture museali, provvede a riutilizzare il calore di scarto prodotto dalla fase di raffrescamento dell'edificio, andando ad asservire le necessità di calore di un vicino distretto commerciale, evitando così di sovra-riscaldare il sottosuolo e riducendo l'impatto termico nel sottosuolo oltreché incrementare le performance energetiche di impianto (Fig. 6d). Si realizza così una progettazione integrata di tipo "circolare" tra edifici vicini con esigenze di carico termico diverse e complementari, realizzando una microrete energetica molto efficiente che risponde ad una pianificazione del tessuto urbano orientato verso soluzioni innovative, declinate in un approccio di "smart cities" o città intelligenti.

Un campo di geoscambio a circuito chiuso costituito da 183 sonde verticali ognuna di 125 m di lunghezza è stato realizzato per la sede IKEA di RIMINI, nell'area in seguito adibita a parcheggio. Il centro IKEA, date le sue caratteristiche di show room con intenso uso di luci e computer e la presenza di oltre 1000 persone al giorno in grado di produrre circa un MW di calore interno, richiede un raffrescamento costante tutto l'anno degli spazi commerciali. L'impianto di geoscambio quindi, non avendo equilibrio tra la funzione estiva e invernale e per evitare il surriscaldamento del terreno, è stato integrato con un impianto di compensazione dedicato al raffrescamento, realizzando una soluzione ibrida molto interessante dal punto di vista energetico che viene gestita in modo automatico da un sistema di supervisione ispirato all'efficienza e a indurre il minimo impatto ambientale (Fig. 6e).

Si ricordano inoltre l'intervento di ristrutturazione ed ampliamento dell'ex Vasca Navale che ospita i Dipartimenti di Ingegneria dell'Università Roma Tre,

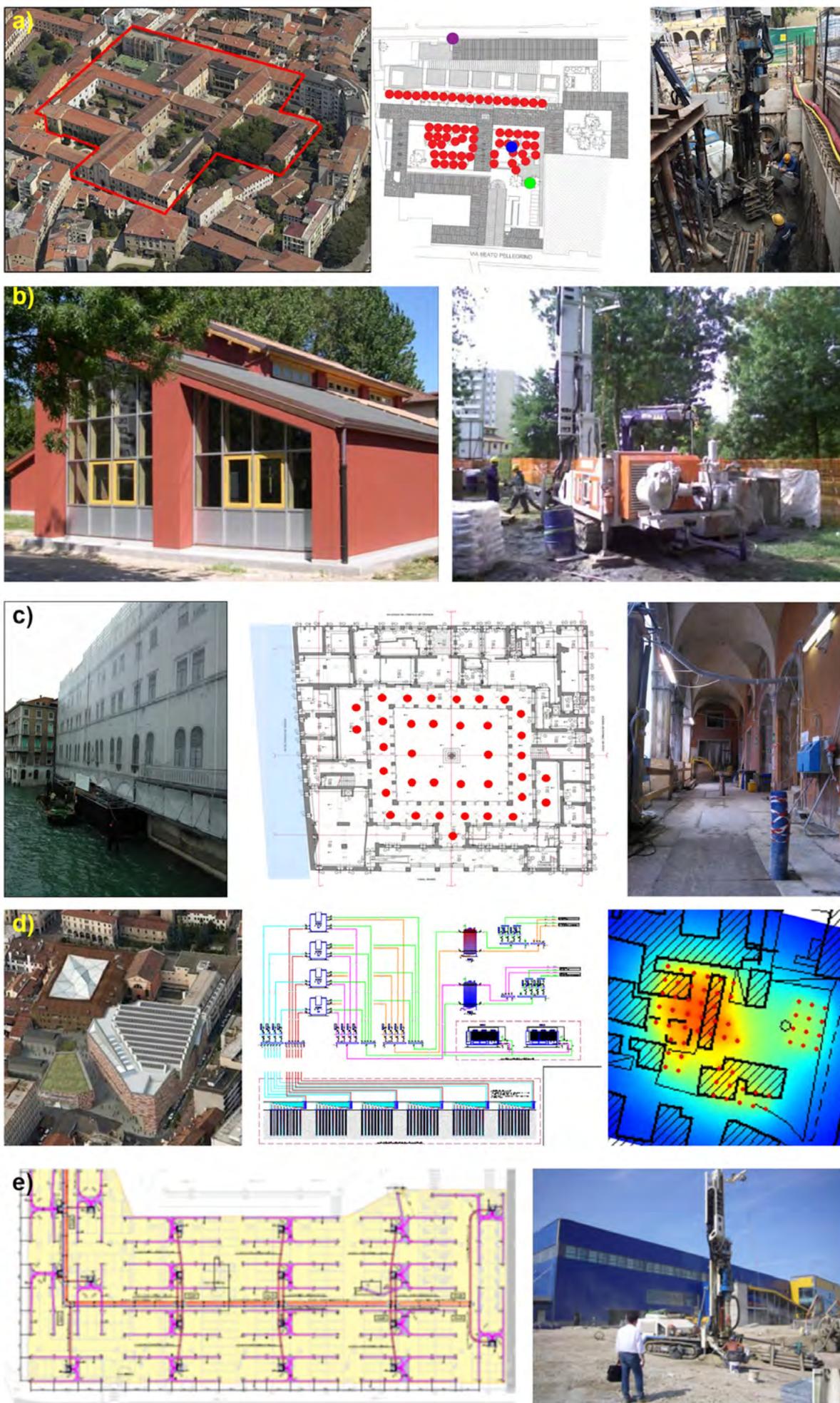


Figura 6. Esempi di impianti geotermici realizzati in Italia: (a) nuovo polo umanistico dell'Università di Padova a Padova; (b) scuderie della Fornace Carotta a Padova; (c) Fondaco dei Tedeschi a Venezia; (d) Nuovo Polo Culturale e Museo del Novecento di Venezia-Mestre, Mestre; (e) IKEA di Rimini

in cui l'impianto di climatizzazione è costituito da 121 pali energetici di diametro 120 cm e profondità 60 m, accoppiati ad una pompa di calore geotermica reversibile da 550 kW e ad una aerotermica reversibile di 450 kW. Il sistema di gestione delle pompe di calore privilegia l'utilizzo della geotermia in funzione dell'ottimizzazione del rendimento del sistema.

Tra le applicazioni geotermiche che utilizzano acqua di falda, laguna o fiume sul territorio nazionale si ricordano l'Arsenale di Venezia, la Basilica Palladiana di Vicenza, il centro commerciale-direzionale del centro Appiani di Treviso, la Mole Vanvitelliana di Ancona, il complesso edilizio storico di Borgo Sereno nel centro di Pisa, l'Aquario di Genova e molti altri ancora.

In ogni caso, in fase di progettazione e realizzazione bisogna sottolineare la necessità di dover considerare non solo la sostenibilità energetica ed economica ma anche quella ambientale di questo tipo di impianti, inseriti in contesti, come quelli urbani, particolarmente sensibili, e che richiedono una accurata e competente fase di progettazione e di realizzazione.

Un esempio importante di impianti geotermici a circuito aperto, ovvero con impiego di acque di falda, a servizio di edifici ad uso pubblico, è la nuova sede della Regione Lombardia a Milano. La richiesta di 2 MW termici per riscaldamento e raffrescamento è soddisfatta interamente da pompe di calore geotermiche associate ad un complesso di pozzi che utilizzano l'acqua di falda presente nell'immediato sottosuolo milanese. L'impianto garantisce il comfort all'interno degli edifici e consente di ottenere importanti risparmi di gestione nella climatizzazione dell'impianto. Inoltre, l'incentivazione ad usare l'acqua di falda per gli impianti geotermici viene incontro alla necessità tipica di Milano di contrastare la problematica legata alla risalita delle acque di falda in centro storico, allo scopo di ridurre il rischio di allagamento delle infrastrutture sotterranee, quali i tunnel della metropolitana, parcheggi sotterranei e di molti spazi interrati degli edifici residenziali presenti in città.

CONCLUSIONI

La soluzione geotermica per la climatizzazione di edifici residenziali, pubblici e commerciali anche di valenza storico-architettonica, tipici dell'ambito urbano, richiede competenze multidisciplinari in cui il ruolo del geologo

svolge un ruolo fondamentale (Dalla Santa *et al.* 2020, Galgaro *et al.* 2015; Di Sipio *et al.* 2014). Le soluzioni tecnologiche di tipo geotermico ad oggi disponibili (circuito aperto, circuito chiuso, strutture di fondazione termoeattive, accumulo termico) dimostrano, dalla breve descrizione qui riportata, di costituire una valida alternativa di tipo integrato agli impianti tradizionali di climatizzazione, ed anche talvolta una opzione con poche valide alternative in ambito urbano, dove sussistono vincoli architettonici, strutturali, di limitazione delle emissioni acustiche e di calore nell'ambiente sia in estate che in inverno ("urban heat island" o isola di calore urbana).

Indubbiamente, i vantaggi dell'adottare impianti geotermici nelle aree ad elevata densità abitativa risultano assolutamente evidenti e possono essere riassunti come segue:

- riduzione delle emissioni di gas serra e polveri sottili nell'atmosfera, con conseguente ricadute benefiche per la salute dei cittadini
- riduzione dell'effetto di isola di calore urbana
- riduzione degli assorbimenti elettrici per il condizionamento estivo
- riduzione dei consumi di combustibili fossili e dei costi di climatizzazione
- abbattimento dei rumori delle unità di raffrescamento esterne
- rispetto dei vincoli estetici ed architettonici di facciata (centri storici cittadini) evitando le unità esterne di raffrescamento
- miglioramento del comfort nelle aree urbane

BIBLIOGRAFIA

- AROLA T., ESKOLA L., HELLEN J., KORKKANIEM K. (2014), *Mapping the low enthalpy geothermal potential of shallow Quaternary aquifers in Finland*. Geothermal Energy, 2, 1-20.
- BAYER P., ATTARD G., BLUM P., MENBERG K. (2019), *The geothermal potential of cities*. Renewable Sustainable Energy Review, 106:17-30
- BAYER P., RIVERA JA., SCHWEIZER D., SCHÄRLI U., BLUM P., RYBACH L. (2016), *Extracting past atmospheric warming and urban heating effects from borehole temperature profiles*. Geothermics, 64:289-99.
- BAUMGÄRTEL S., ROHN J., LUO J. (2020), *Experimental study of road deicing by using the urban groundwater under the climatic condition of Nuremberg city, Germany*. SN Appl. Sci. 2, 537 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2314-2>
- BENZ S.A., BAYER P., BLUM P. (2017), *Identifying anthropogenic anomalies in air, surface and groundwater temperatures in*

Germany. Science of Total Environment; 584:145-53.

- BOTTEGGH S., CHIESA S., DESTRO E., DI SIPIO E., GALGARO A., MANZELLA A., E MONTANARI D. (2014), *VIGOR: Prime indicazioni tecnico-prescrittive in materia di impianti di climatizzazione geotermica*. Progetto VIGOR – Valutazione del Potenziale Geotermico delle Regioni della Convergenza, POI Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013, CNR – IGG (Edizioni CNR – IGG Area della Ricerca di Pisa), ISBN: 9788879580106.
- DALLA SANTA G., GALGARO A., SASSI R., CULTRERA M., SCOTTON P., MUELLER J., BERTERMANN D., MENDRINOS D., PASQUALI R., PEREGO R., PERA S., DI SIPIO E., CASSIANI G., DE CARLI M., BERNARDI A. (2020), *An updated ground thermal properties database for GSHP applications*. Geothermics, 85, 101758, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101758>
- DI SIPIO E., GALGARO A., DESTRO E., CHIESA S., GIARETTA A., MANZELLA A. (2014), *Subsurface thermal conductivity assessment in Calabria (southern Italy): a regional case study*. Environmental Earth Science 72 (5), 1383-1401, ISSN 1866-6280, doi: 10.1007/s12665-014-3277-7
- EPTING J., SCHEIDLER S., AFFOLTER A., BORER P., MUELLER M.H., EGLI L., GARCÍA-GIL A., HUGGENBERGER P. (2017), *The thermal impact of subsurface building structures on urban groundwater resources—a paradigmatic example*. Science of Total Environment; 596:87-96.
- GALGARO A., DI SIPIO E., TEZA G., DESTRO E., DE CARLI M., CHIESA S., ZARRELLA A., EMMI G., MANZELLA A. (2015), *Empirical modeling of maps of geo-exchange potential for shallow geothermal energy at regional scale*. Geothermics, 57, 173-186 doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.06.017, ISSN: 0375-6505
- HUANG S., TANIGUCHI M., YAMANO M., WANG C.H. (2009), *Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment a case study of Osaka*. Science of Total Environment, 407:3142-52
- LUND J.W. (2005), *Pavement snow melting*. Geo-Heat Center Quarterly Bulletin, 21(2), 12-19.
- MENBERG K., BAYER P., ZOSSEDER K., RUMMOHR S., BLUM P. (2013), *Subsurface urban heat islands in German cities*. Science of Total Environment, 442:123-33
- MORITA K., TAGO M. (2000), *Operational characteristics of the Gaia snow-melting system in Niinobe, Iwate, Japan*. In: Proceedings of the world geothermal congress; 3511-16
- TAYLOR C.A., STEFAN H.G. (2009), *Shallow groundwater temperature response to climate change and urbanization*. Journal of Hydrology, 375 (3-4), 601-612
- TANIGUCHI M., UEMURA T.J.K., JAGO-ON K. (2007), *Combined effects of heat island and global warming on subsurface temperature*. Vadose Zone Journal, 6 (3), 591-596
- ZHU K., BLUM P., FERGUSON G., BALKE K.D., BAYER P. (2010), *Geothermal potential of urban heat islands*. Environmental Research Letters, 5:6pp

Bonifica e riconversione di aree produttive dismesse in contesti urbani. Temi geoambientali di interesse

Remediation and reconversion of brownfields. Geo-environmental issues of interest

Parole chiave: siti contaminati dismessi, inquinamento, monitoraggio, modello concettuale, rischio ambientale, comunicazione ambientale

Key words: brownfields, contamination, monitoring, conceptual model, environmental risk, environmental communication

1. AREE DISMESSE

Le trasformazioni urbane sono eventi che giocano un ruolo importantissimo nell'assetto della nostra società: l'influenza anche inconscia che i luoghi in cui viviamo sanno esercitare sulla nostra personalità è impensabile. Per questo il recupero di aree dismesse, sottoutilizzate o semplicemente poco confacenti alle esigenze contemporanee può non solo determinare un nuovo slancio economico e commerciale per una città, ma contribuisce inevitabilmente all'innalzamento della qualità di vita di chi vi abita.

Nella letteratura anglosassone il termine brownfield (*Fig. 1*) definisce i siti compresi in ambito urbano o di immediata periferia, già dotati delle opere di urbanizzazione (luce, acqua, gas, rete fognaria, etc) e prossimi alle strutture per la mobilità e il trasporto.

Si tratta di aree:

- per le quali sussiste un concreto interesse ad una riqualificazione, non solo di bonifica e ripristino ambientale;
- che ricadono entro il campo di applicazione della normativa in materia di bonifiche (D.Lgs. 152/2006);
- di estensione non limitata (superiore a 1000 mq). Per le aree di dimensioni inferiori trovano applicazione modalità di intervento più rapide (procedure semplificate);
- per le quali trova applicazione l'art. 246 del D.Lgs. 152/06 sugli accordi di programma, secondo cui i soggetti interessati al ripristino di un'area possono concordare con le Amministrazioni tempi e modalità di intervento.

Generalmente le problematiche connesse alla gestione di una bonifica ambientale di un sito contaminato in area urbana riguardano non solo l'inquinamento del suolo, sottosuolo ed acque sotterranee ma anche:

- il degrado ambientale legato ad esempio alla presenza di rifiuti abbandonati di vario tipo, dai rifiuti inerti ai rifiuti pericolosi (ad es. materiali contenenti amianto),
- il degrado paesaggistico a causa dello stato di abbandono dell'area,
- la presenza di strutture fatiscenti ed instabili,
- il peggioramento del contesto sociale.
- Le attività di demolizione di edifici preesistenti che generano rumori.
- La gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, spesso contaminati.
- Lo smantellamento di vecchie strutture interrato come vasche, linee e condotte, pozzi perdenti, etc.
- La gestione dei viaggi dei camion per lo smaltimento off site dei terreni contaminati e/o dei rifiuti in genere.
- La messa in sicurezza di vecchi pozzi produttivi mediante interventi di cementazione in sito.

2. PROBLEMATICHE RICORRENTI NELLE BONIFICHE IN CONTESTI URBANI

Esistono alcune tematiche ricorrenti nella gestione di una bonifica di un sito produttivo dismesso, inserito in un contesto urbanizzato. Tra queste vanno sicuramente annoverate:

- Il problema della formazione delle polveri legato principalmente alla movimentazione dei mezzi di cantiere (escavatori, pale gommate, camion, impianti mobili).
- L'esigenza di eseguire bonifiche belliche.
- La presenza di vincoli archeologici.
- La presenza nell'immediato sottosuolo di materiali di riporto storici.
- Il problema di operare in spazi di manovra ristretti e/o problematici, anche in ordine alla collocazione di impianti di trattamento di acque di falda o di terreni contaminati.
- L'esigenza di considerare problematiche di carattere geotecnico (verifiche sui cedimenti in presenza di terreni coesivi) in relazione alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza della falda mediante Pump & Treat, in corrispondenza di edifici storici posti nelle immediate vicinanze.

Le immagini riportate nella *Fig. 2* testimoniano alcune situazioni tipiche di operazioni di caratterizzazione, messa in sicurezza o bonifica in contesti urbani.



Figura 1. Brownfields e siti contaminati



Figura 2. Attività di caratterizzazione ambientale e bonifica in contesti urbanizzati

3. IDROGEOLOGIA URBANA

Nel percorso di caratterizzazione ambientale di un sito contaminato la conoscenza del contesto idrogeologico locale assume un'importanza fondamentale per comprendere i fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee. In molti casi può essere sufficiente l'applicazione di una legge fisica per:

- ricostruire correttamente un evento,
- consolidare un nesso di causa,
- individuare una responsabilità

L'applicabilità di una relazione di tipo analitico come la legge di Darcy (che lega la velocità della falda al coefficiente di conducibilità idraulica e al gradiente idraulico: $v = ki$) trova applicabilità in condizioni di: regime laminare, moto di filtrazione advettiva ed effetti di diffusione e dispersione trascurabili.

Nei contesti urbani, particolarmente complessi sotto un profilo stratigrafico, i moti di filtrazione delle acque sotterranee non sempre trovano una rappresentatività in una formula di tipo analitico, come avviene ad esempio negli acquiferi indifferenziati di alta pianura che possono per molti aspetti essere assimilati a sistemi isotropi.

Nei contesti idrogeologici urbani, specie in presenza di materiali fini di

tipo pseudo coesivo (sabbie fini e limi), e quello del centro storico di Padova ne è un esempio, la circolazione idrica sotterranea è fortemente condizionata dalla presenza di modeste falde sospese, da circolazioni idriche locali all'interno dei materiali di riporto, da perdite da reti di distribuzione dei gestori dei servizi idrici integrati, etc. L'andamento dei deflussi

sotterranei ne risulta pertanto condizionato, spesso non regolare e non sempre di chiara ed univoca interpretazione. La Fig. 3 pone a confronto, a titolo di esempio, la morfologia di una falda acquifera in un sistema "isotropo" di alta pianura veneta (a sinistra nell'immagine) e quella di una circolazione idrica sotterranea in un settore del centro storico di Padova.

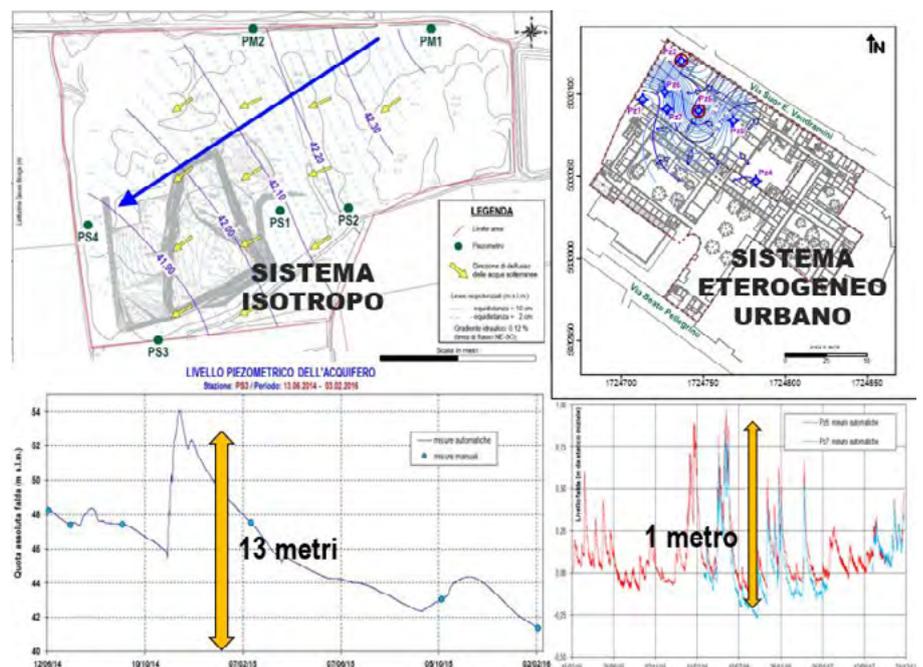


Figura 3. Sistemi idrogeologici isotropi e anisotropi in contesti urbani a confronto



Figura 4. Trattamento termico in situ per la rimozione di composti volatili dal sottosuolo (centro storico di Vicenza, ex area Zambon)

Le direzioni di deflusso, nei sistemi idrogeologici urbani, appaiono meno definite. In casi come questi l'approccio tradizionale di analisi idrogeologica ed idrochimica rivolta ad esempio all'individuazione di possibili bersagli di una contaminazione (ad es. un pozzo ad uso idropotabile) risulta essere certamente più complesso

4. MONITORAGGIO E COMUNICAZIONE AMBIENTALE

Il ruolo del monitoraggio negli interventi di bonifica di siti contaminati assume evidentemente un peso molto importante. Allo stesso ruolo, negli interventi di bonifica in aree urbane e densamente popolate, viene attribuita una rilevanza ancora più importante, specie per quanto riguarda la comunicazione ambientale.

Le Fig. 4 sotto riportata evidenzia, a titolo di esempio, una situazione di intervento di bonifica in area urbana densamente popolata in cui gli impatti derivanti dalle attività di bonifica possono produrre impatti transitori di vario tipo nei residenti (a causa ad esempio della presenza di polveri, rumori, odori, scarichi, emissioni in atmosfera, etc).

Diventa allora di fondamentale importanza:

- relazionarsi con gli stakeholders tenendo conto che esistono differenti livelli di comunicazione ambientale
- creare una strategia proattiva per cercare consenso o accettazione o riduzione del conflitto o solo per sviluppare relazioni positive e dare credibilità alle iniziative di rigenerazione di un brownfield.

Esiste una molteplicità di soggetti da interessare con ruoli, competenze, responsabilità e sensibilità diverse. Essi possono avere influenze ed interessi diversi in ordine all'andamento di un intervento di bonifica e di recupero di un sito contaminato in un contesto densamente urbanizzato. Si possono riconoscere stakeholders:

- essenziali ovvero gli Enti di controllo (ARPA, Comuni, Unità Sanitarie, Province, Regioni). Si tratta di soggetti che hanno avuto un ruolo decisionale nell'iter di approvazione della bonifica
- appetibili, in genere rappresentati dalla parte politica, dagli organi di stampa, dai media in generale
- deboli ovvero, generalmente, i cittadini, i residenti nell'intorno del sito di bonifica. Nei confronti di tali soggetti la comunicazione, la chiarezza, la trasparenza è doverosa.

In definitiva, il ruolo della comunicazione negli interventi di bonifica di siti dismessi in contesti urbani, diventa un'esigenza prioritaria senza la quale si rischia di vanificare gli sforzi profusi o di rallentare i lavori. Deve essere ben chiaro agli addetti ai lavori (in primis progettista, impresa, tecnici, direttore dei lavori) che la contaminazione dei suoli e delle acque sotterranee è spesso invisibile e lo è ancora di più nei confronti dei non addetti ai lavori. Sotto tale profilo, pertanto, il valore della decontaminazione e del recupero ambientale non viene adeguatamente percepito, specie nel caso di bonifiche che si protraggono nel tempo (questo vale ancora di più negli interventi che riguardano le acque sotterranee).

Va infine considerato un altro aspetto importante, in presenza di interventi

di bonifica in contesti urbanizzati dove, ricordiamo, i residenti in prossimità del cantiere hanno la possibilità di vivere in prima persona le varie fasi operative. Va quindi considerata la percezione pubblica del rischio, certamente diversa dal rischio percepito dagli esperti. La percezione può cambiare con il tempo, in relazione agli impatti del cantiere nelle immediate vicinanze e in relazione agli esiti dei monitoraggi ambientali.

In definitiva occorre sempre considerare seriamente i timori delle persone ed essere disposti a prendere provvedimenti per affrontarli, anche se non siano necessari dal punto di vista tecnico.

BIBLIOGRAFIA

- ARCADIS ITALIA S.R.L. & REM-TEC S.R.L. (2016), *Progetto Esecutivo di Bonifica*.
- MARIA ROSARIA BONI, CARLO COLLIVIGNARELLI, FEDERICO G.A. VAGLIASINDI (2019), *Siti contaminati. Esperienze negli interventi di risanamento*.
- NICOLÒ PINATO (2020), *Applicazione della tecnica di trattamento termico in situ per la bonifica di un sito contaminato da idrocarburi clorurati e BTEX*. Tesi di laurea magistrale in Ingegneria chimica e dei processi industriali, Università degli Studi di Padova. Relatore prof. Renato Bonora, correlatore dott. Roberto Pedron.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2002), *EM 1110-1-4001. Engineering and Design: Soil Vapor Extraction and Bioventing*. Washington DC.
- TAUW (2012), *Ex area Industriale di Via Cappuccini a Vicenza. Progetto Operativo di bonifica dei terreni e delle acque sotterranee - Fase 2*. Inedito.

SITOGRAFIA

<http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/1979-italiano/>

I suoli della provincia e dell'area urbana di Padova

The soils of Padua district and urban area

Parole chiave: cartografia dei suoli, suoli della pianura del Brenta, cartografia derivata, consumo di suolo

Key words: soil maps, soils of the Brenta plain, derived thematic maps, soil consumption

Paolo Giandon

ARPAV – Centro Veneto Suolo e Bonifiche

E-mail: paolo.giandon@arpa.veneto.it

Francesca Ragazzi

ARPAV – Centro Veneto Suolo e Bonifiche

E-mail: francesca.ragazzi@arpa.veneto.it

Parlare di suoli ad un'assemblea di geologi è come giocare in casa; in realtà è sempre opportuno ricordare che il suolo è lo strato attivo più superficiale della crosta terrestre cioè l'ambiente in cui possono vivere gli organismi viventi.

Quando 20 anni fa è nata ARPAV c'era un vuoto informativo sui suoli del Veneto, non esisteva una informazione organizzata che fosse in grado di descrivere i suoli. D'altra parte ARPAV è nata avendo come compito nella propria legge istitutiva (L.R. 32/1996) la conoscenza dei suoli. Quindi ha dovuto subito affrontare questo vuoto e la parallela difficoltà a reperire le informazioni esistenti, programmando da un lato la costruzione di questa informazione organizzata, dall'altro la raccolta e verifica dei dati esistenti.

La prima cosa che abbiamo fatto è guardarci intorno e avere dei riferimenti internazionali che ci dessero un po' di tranquillità per il fatto che stavamo andando nella direzione giusta anche per creare un sistema informativo il cui contenuto fosse confrontabile con quello che facevano gli altri intorno a noi; a livello europeo esisteva un database dei suoli in scala 1:1.000.000 e si stava creando un database in scala 1:250.000; non c'era però un'informazione organizza-

ta a livello nazionale e la nostra regione risentiva di questa carenza.

Abbiamo colto l'occasione di un finanziamento del Ministero delle politiche agricole (che è stato assegnato a tutte le regioni d'Italia ma non utilizzato appieno da tutte) e grazie all'attenzione della direzione regionale foreste che all'epoca gestiva questo finanziamento, abbiamo utilizzato queste risorse per mettere in piedi un gruppo di lavoro per iniziare un'attività di rilevamento in campagna sfruttando i laboratori che fortunatamente avevamo già a disposizione e quindi iniziando a costruire l'informazione.

La prima carta dei suoli in scala 1:250.000 è stata pubblicata nel 2005 (Fig. 1). La prima perché la carta dei suoli per noi non è un documento statico; è un documento in divenire perché man mano che l'informazione viene raccolta sullo stesso territorio ad un maggior dettaglio il bagaglio informativo aumenta e ci dà la possibilità di andare ad aggiornare le informazioni che inizialmente sono meno precise e poi via via si vanno dettagliando.

Nello stesso periodo, grazie alla disponibilità di risorse per indagini da fare sul bacino scolante in laguna di Venezia, abbiamo realizzato anche un'esperienza di cartografia dei suoli in scala 1:50.000, una scala di semi-dettaglio che contie-

ne informazioni più significative per il livello provinciale e sovra comunale; successivamente, grazie a collaborazioni che sono state messe in campo con la Provincia di Treviso e la Provincia di Venezia, sono state realizzate carte in scala 1:50.000 che coprono l'intero territorio provinciale. Non a caso sono due province in cui operavano nel settore ambientale dei geologi: il dottor Andrea Vitturi in Provincia di Venezia e il dottor Gian Paolo Bozzo, e poi anche il dottor Simone Busoni, in Provincia di Treviso, i quali hanno creato un'interfaccia sensibile, recettiva ed importante per la realizzazione di questi lavori.

In questo primo periodo si era consolidato in ARPAV un gruppo di pedologi necessario per condurre l'attività di rilevamento e cartografia che ci serviva ad acquisire la conoscenza dei suoli del territorio regionale che, come detto prima, è un compito istituzionale della nostra agenzia; nel 2013 abbiamo pubblicato la carta dei suoli, sempre in scala 1:50.000, della provincia di Padova e poi da ultime nel 2018 della provincia di Vicenza e della provincia di Rovigo.

La provincia di Vicenza è cartografata solo per la parte di pianura e collina; l'ambiente della montagna l'abbiamo lasciato per una fase successiva perché

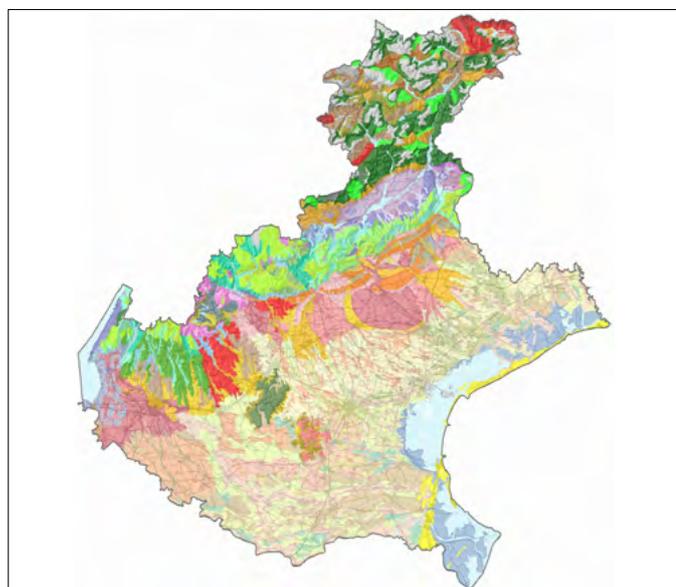


Figura 1. Carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000 (ARPAV 2005, aggiornamento 2015)

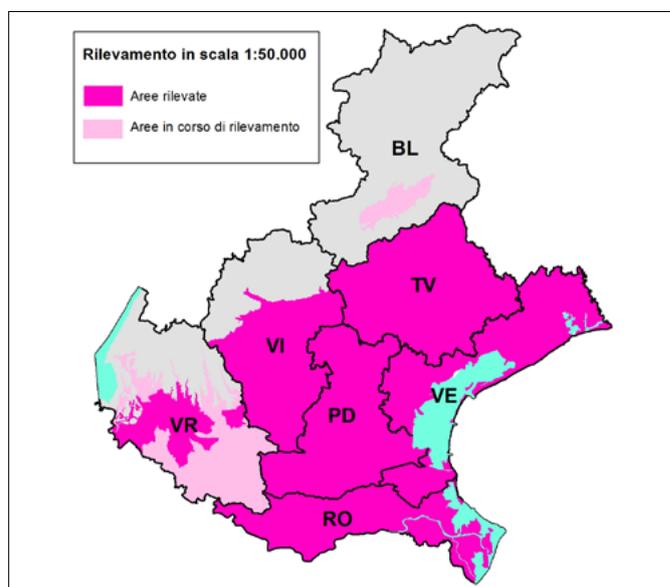


Figura 2. Aree rilevate in scala 1:50.000, situazione al 2019

mentre la scala 1:50.000 è importante e necessaria per descrivere i suoli in un ambiente di pianura e collina, per l'ambiente di montagna è un dettaglio anche eccessivo visto il diverso uso del suolo e la maggior riconoscibilità di ambienti omogenei; quindi andremo probabilmente ad approfondire la scala 1:250.000 ma senza scendere al semi-dettaglio elaborato per l'area di pianura-collina.

Le cartografie realizzate sono state pubblicate in forma cartacea ma sono anche consultabili nel sito internet di ARPAV tramite un webgis che consente di visualizzare il contenuto informativo di ciascuna unità cartografica; le province di Vicenza e Rovigo sono adesso in fase di integrazione con le cartografie realizzate in precedenza per avere un'unica carta in scala 1:50.000. Quando si realizzano lavori in tempi diversi c'è un problema poi di armonizzazione tra territori confinanti; avendo a disposizione informazioni di diverso dettaglio si produce un quadro conoscitivo che deve essere armonizzato per creare un quadro unico omogeneo. Stiamo concludendo il rilevamento della provincia di Verona, contiamo di completare il lavoro per la prima metà del 2021.

Sono state rilevate in scala 1:50.000 10.350 km² pari al 56% del territorio regionale e all'88% della pianura (Fig. 2); sono state descritte 551 unità cartografiche e 589 unità tipologiche di suolo. I numeri sono importanti ed evidenziano come sia stato fatto uno sforzo notevole per raggiungere questo risultato.

Non abbiamo fatto solo questo, abbiamo cercato anche di lavorare sulle applicazioni ambientali. La prima di queste è il lavoro fatto sulla definizione dei valori di fondo dei metalli pesanti nei suoli del Veneto per avere dei valori di riferimento certi e riconosciuti da tutti, importanti quando si va ad operare sulle bonifiche dei siti contaminati o sulla gestione delle terre da scavo.

Ma partendo dai dati contenuti nella cartografia dei suoli abbiamo realizzato altre iniziative che stiamo ancora portando avanti nel tempo, come il monitoraggio dei microinquinanti organici, il monitoraggio della qualità biologica, il monitoraggio dei suoli in cui sono distribuiti effluenti di allevamento.

Tutti approfondimenti importanti dal punto di vista ambientale però il tema dell'intervento è quello dei suoli della provincia di Padova e in particolare che stanno attorno alla città di Padova. Questa era solo un'introduzione per capire qual è il contesto in cui si è sviluppata la realizzazione della carta di suoli della provincia di Padova.

La realizzazione della cartografia dei suoli della provincia di Padova, pubblicata nel 2013, ha richiesto un tempo piuttosto lungo: è iniziata nel '94 con delle piccole porzioni di territorio e poi è proseguita con un rilevamento sistematico che si è protratto fino al 2011. Il rilevamento pedologico ha comportato l'esecuzione di oltre 7000 osservazioni di campo per ottenere una densità finale di 4,5 osservazioni per km², come richiesto dallo standard FAO; le osservazioni sono consistite in 6735 trivellate e quasi 700 profili, con oltre 2800 orizzonti campionati.

La principale chiave di lettura del territorio utilizzata per descrivere e definire le caratteristiche dei suoli è stata quella di suddividere il territorio di pianura in base ai bacini deposizionali (Brenta, Adige, Po, Agno-Guà-Frassine sono i principali) e il territorio collinare dei Colli Euganei in base al substrato geologico.

Tra i diversi bacini deposizionali del territorio padovano quello del Brenta si differenzia per il contenuto più alto di carbonati, intorno al 30%, contro il 10-20% negli altri bacini (Adige, Po e Agno-Guà), e per il contenuto in metalli e metalloidi (ARPAV, 2011): i sedimenti del Brenta hanno un contenuto elevato di arsenico, berillio e stagno, quelli dell'Agno-Guà sono particolarmente ricchi di vanadio, nichel, cromo, cobalto, gli ultimi tre elementi presenti

in elevate quantità anche nei depositi del Po; i sedimenti dell'Adige si differenziano da quelli degli altri fiumi per un contenuto intermedio negli elementi appena citati e per alti valori di arsenico.

L'area urbana di Padova di cui ci occupiamo oggi ricade totalmente nella pianura del Brenta, per questo motivo porteremo l'attenzione su questo ambiente pedologico.

Al livello successivo ciascun bacino è stato suddiviso considerando i caratteri che hanno condizionato lo sviluppo dei suoli, come la posizione nel paesaggio (es. alta e bassa pianura), l'età di formazione delle superfici e il grado di evoluzione dei suoli. La pianura alluvionale del Brenta ricade per circa la metà della sua estensione all'interno del territorio provinciale, dove occupa tutto il settore centro settentrionale. Proprio all'interno della provincia padovana rappresentanza sono rappresentate tutte le fasi deposizionali (Fig. 3) che si sono susseguite in età diverse, dal pleniglaciale ad oggi (Olocene).

La parte settentrionale di questa vasta pianura comprende un'area di alta pianura ghiaiosa caratterizzata dalla presenza di tracce più o meno evidenti di paleoidrografia, riconducibili ad un regime fluviale a "canali intrecciati", in cui si possono riconoscere zone a sedimenti ghiaiosi, le barre, o sabbiosi, i canali.

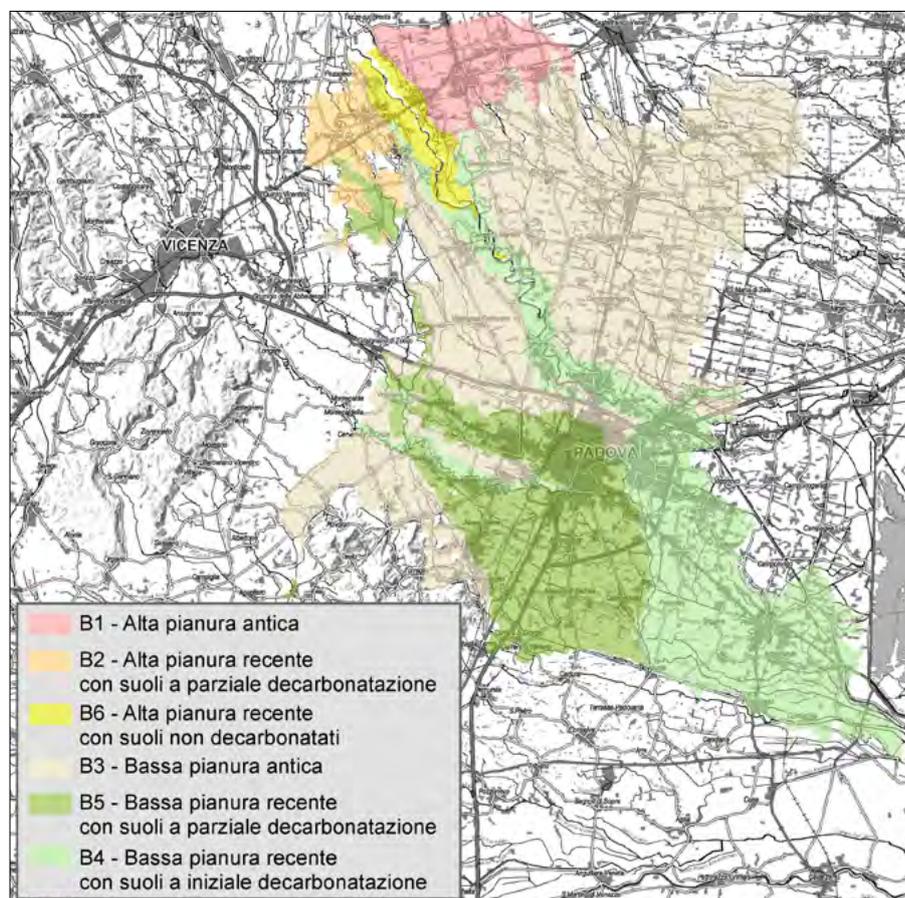


Figura 3. Sovranità di paesaggio della pianura formata dalle alluvioni del Brenta



Figura 4a. I suoli dell'alta pianura antica del Brenta (B1) presentano un orizzonte di accumulo illuviale di argilla al di sopra del substrato sabbioso-ghiaioso



Figura 4b. I suoli dell'alta pianura recente del Brenta (B2) sono parzialmente decarbonatati e con moderata differenziazione nel profilo



Figura 4c. Nell'alta pianura recente a parziale decarbonatazione del Brenta (B6) i suoli sono grossolani, a scarsa differenziazione del profilo e calcarei

La superficie più antica (sovranità di paesaggio B1 - alta pianura antica con suoli fortemente decarbonatati) si trova ad est del corso d'acqua attuale, separato dall'ambiente a deposizione più recente da un'evidente scarpata di alcuni metri. I suoli sono molto antichi e presentano una forte differenziazione del profilo con decarbonatazione degli orizzonti superficiali e accumulo di argilla illuviale negli orizzonti profondi che appaiono fortemente arrossati (Fig. 4a). L'uso del suolo è prevalentemente a seminativo con una netta predominanza del mais che impone un importante apporto irriguo vista la scarsa capacità di ritenzione idrica di questi suoli.

In epoca olocenica il fiume ha spostato la sua attività deposizionale nel set-

tore occidentale a seguito di un'incisione erosiva avvenuta all'apice del conoide alla fine dell'ultimo massimo glaciale (LGM) (Mozzi, 2003). Dopo una prima fase erosiva il Brenta ha ripreso un'attività deposizionale colmando le incisioni fluviali che si erano formate nella fase precedente (Regione Veneto e ISPRA, 2012) dando origine a conoidi telescopici. Si riconoscono due differenti superfici: una stabilizzatasi nel corso dell'Olocene antico e l'altra ancora parzialmente attiva. Nella più antica (sovranità B2, alta pianura recente con suoli a parziale decarbonatazione) i suoli sono parzialmente decarbonatati e presentano limitazione all'approfondimento radicale per la presenza di scheletro (Fig. 4b). I

suoli più diffusi sono moderatamente profondi e caratterizzati dalla presenza abbondante di scheletro fin dagli orizzonti superficiali; non evidenziano orizzonti di alterazione perché, se presenti, sono stati incorporati nell'orizzonte superficiale con le lavorazioni. Meno frequenti sono suoli più profondi, con minor contenuto di scheletro lungo il profilo (anche se sempre abbondante nel substrato) e a moderata differenziazione del profilo. Nelle porzioni più distali i suoli risentono della presenza di una falda più superficiale che determina condizioni di drenaggio mediocre. Nell'intera sovranità l'uso del suolo prevalente è rappresentato dal prato irriguo che si associa a un'elevata densità di allevamen-



Figura 5a. I suoli delle depressioni nella bassa pianura antica del Brenta (B3) hanno un orizzonte calcico di notevole spessore e problemi di drenaggio



Figura 5b. I suoli della bassa pianura recente (B5, piana di divagazione a meandri) sono meno decarbonatati rispetto a quelli della superficie antica e presentano orizzonti di accumulo di carbonati negli orizzonti profondi meno espressi



Figura 5c. Sulle superfici più recenti (B4) i suoli non sono decarbonatati e al di sotto dell'orizzonte superficiale lavorato si riconosce soltanto un orizzonte di alterazione

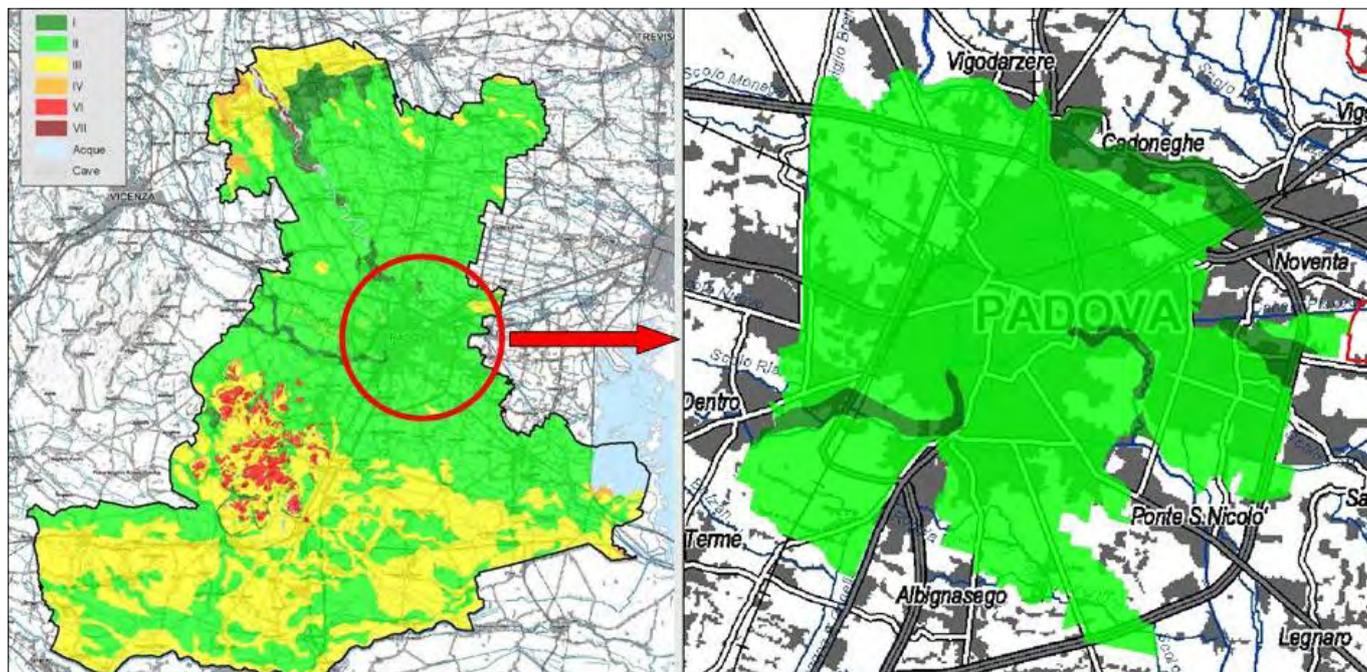


Figura 6. Carta della capacità d'uso dei suoli elaborata per la provincia di Padova, a destra particolare del territorio comunale

ti zootecnici e conseguentemente a una delicata gestione degli effluenti.

L'attività erosivo-deposizionale del fiume in epoche successive, fino all'attuale, ha modellato ulteriormente la superficie creando dei terrazzi (sovraunità B6 - alta pianura recente con suoli non decarbonatati) dove i suoli sono grossolani, a scarsa differenziazione del profilo e calcarei, ma sempre ricchi in scheletro (Fig. 4c).

Al di sotto della fascia delle risorgive è presente una vasta area di bassa pianura alluvionale, formata da depositi del Brenta in parte di età pleniglaciale e, in prossimità del corso attuale del Brenta, olocenica. La morfologia, impercettibile se non attraverso lo studio del microrilievo, può essere differenziata in aree a dosso, aree depresse e aree di transizione; questa articolazione si accompagna a differenze nella granulometria e nel drenaggio dei suoli.

La bassa pianura antica del Brenta (sovraunità B3) è costituita dalla parte distale del conoide di Bassano dove le granulometrie sono più fini rispetto al territorio più a monte. Nelle parti centrali dei dossi, dove la falda è più profonda, si trovano suoli a tessitura grossolana, decarbonatati e ben drenati. Nelle parti laterali e nei dossi delle porzioni più distali, il drenaggio diventa mediocre per la presenza di falda entro il profilo a cui spesso si accompagna, in corrispondenza del limite superiore della frangia capillare, la presenza di concrezioni di carbonato di calcio. Nelle superfici di transizione, dove prevalgono le tessiture limose, queste condizioni si accentuano, il drenaggio è quasi sempre mediocre e l'orizzonte calcico è sempre

presente, a volte con notevoli spessori. In maniera meno frequente l'orizzonte calcico si presenta ad una profondità tale da non risultare diagnostico. Le aree depresse, caratterizzate da suoli argillosi, con maggiori problemi di drenaggio, sono presenti nella porzione più distale della pianura.

In tutta l'area, nonostante l'età della superficie, il processo di lisciviazione dell'argilla, seppure presente nei suoli di dosso, raramente risulta tale da essere diagnostico; qui la presenza della falda a scarsa profondità (in passato più superficiale dell'attuale) e la tessitura prevalentemente limoso fine, sono i fattori che più hanno influito sulla pedogenesi, determinando spesso la formazione di un orizzonte calcico (Fig. 5a) e impedendo o rallentando i processi di lisciviazione dell'argilla.

Nella parte ovest della pianura del Brenta, a sud dell'allineamento Mestrino-Padova e ad ovest del Bacchiglione nel tratto tra Padova e Bovolenta, la superficie è più recente, essendosi formata a partire dall'Olocene Inferiore (B5 - bassa pianura recente del Brenta con suoli a parziale decarbonatazione). I depositi riferibili a questo periodo, oltre a colmare l'incisione creatasi nella prima fase erosiva, hanno sepolto parte della superficie più antica in modo pellicolare. Accanto a un modello deposizionale a dossi, depressioni e pianura modale, simile a quello descritto per la pianura pleniglaciale, vi sono aree in cui, per le minori pendenze, il fiume assunse un andamento meandriforme (piana di divagazione a meandri). Questo ha determinato una distribuzione dei se-

dimenti costituita dall'alternanza di strati sabbiosi con altri limosi, i primi prevalenti nelle aree di barra, i secondi nella piana vera e propria; qui le tessiture limose e la falda più prossima alla superficie determinano spesso condizioni di drenaggio mediocre. I suoli presenti all'interno dei paleoalvei presentano spesso tessiture ancor più fini dovute al riempimento dell'alveo in una fase successiva alla sua disattivazione che arrivano a conferire caratteri vertici. I suoli di questa superficie sono meno decarbonatati rispetto a quelli della superficie antica e, pur presentando orizzonti di accumulo di carbonati negli orizzonti profondi, questi sono tendenzialmente meno espressi (Fig. 5b). Visto il ridotto spessore della copertura olocenica non è infrequente incontrare all'interno del profilo un secondo orizzonte calcico più espresso riferibile molto probabilmente alla fase pedogenetica preolocenica.

Lungo il corso attuale del fiume e nella porzione compresa tra il Naviglio Brenta e il corso del Bacchiglione a valle di Padova si estende la pianura formata nell'Olocene Superiore (sovraunità B4 - bassa pianura recente con suoli a iniziale decarbonatazione); i suoli non sono decarbonatati, e le tessiture sono grossolane in corrispondenza dei dossi e medie (limoso grossolane o limoso fini) nella pianura indifferenziata (Fig. 5c). Il drenaggio, prevalentemente buono nella parte più a monte, diventa mediocre in quella più vicina alla laguna.

A questa sovraunità è stata ricondotta anche la superficie interessata dalle alluvioni recenti del Bacchiglione visto che, nel tratto considerato, il fiume più

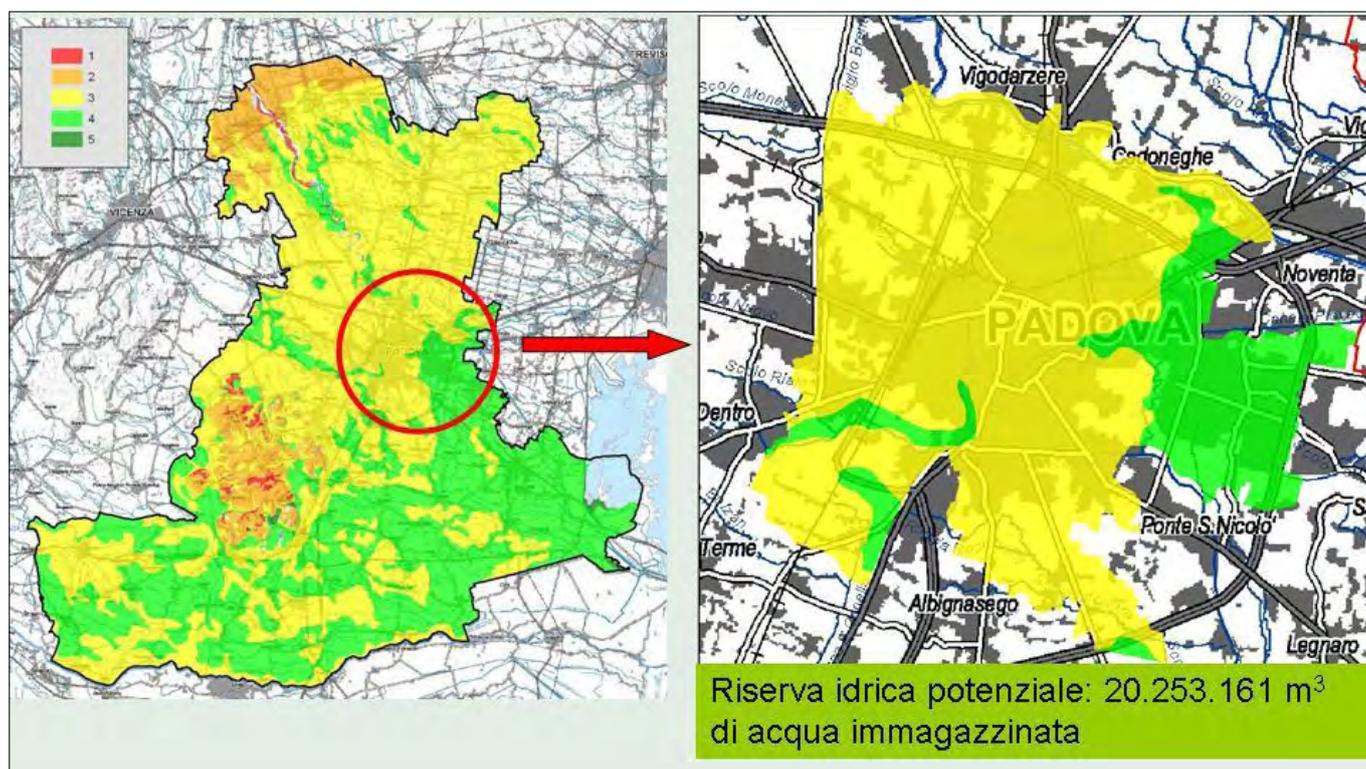


Figura 6. Carta della capacità d'uso dei suoli elaborata per la provincia di Padova, a destra particolare del territorio comunale

che un'attività deposizionale produce un rimaneggiamento dei depositi del Brenta e che l'assimilabilità è completa anche da un punto di vista funzionale.

Oltre ad aver realizzato una cartografia di base abbiamo anche interpretato e rielaborato certe caratteristiche dei suoli e realizzato delle cartografie derivate. Un esempio classico e particolarmente utilizzato è quello della capacità d'uso dei suoli in cui i suoli vengono classificati in funzione di proprietà che ne consentono l'utilizzazione in campo agricolo-forestale, valutando sia la capacità di produrre biomassa che la possibilità di riferirsi a un largo spettro colturale e nel contempo di considerare un ridotto rischio di degradazione del suolo.

I suoli vengono classificati in base al fattore più limitante tra quelli che riguardano il suolo, le condizioni idriche, il rischio di erosione e il clima.

Esaminando la cartografia elaborata per il territorio provinciale (Fig. 6) si nota che i suoli con le maggiori limitazioni sono in alta pianura nelle aree limitrofe all'alveo del Brenta, in quanto molto sottili e ghiaiosi, e in molte parti dei Colli Euganei, a causa della pendenza e dello spessore limitato. Nella bassa pianura i suoli con le maggiori limitazioni sono nella parte meridionale della provincia (terza classe, colore giallo) a causa del drenaggio scarso o del deficit idrico durante la stagione estiva. Nell'area urbana di Padova prevalgono suoli di seconda classe o prima classe, con poche limitazioni, purtroppo in un'area ad elevato consumo di suolo.

Come Osservatorio Suolo da alcuni anni ci stiamo infatti occupando anche di rilevare il consumo di suolo nel Veneto contribuendo alla predisposizione della carta del consumo di suolo che viene realizzata ogni anno da Ispra. Guardando i risultati del rapporto 2019 sul consumo di suolo, si nota che in provincia di Padova il suolo consumato a fine 2018 era il 19% della superficie, pari a 40.000 ettari totali di cui 122 consumati tra il 2017 e il 2018.

Nel comune di Padova il suolo consumato rappresenta quasi il 50%: Padova è così il primo comune del Veneto come percentuale di suolo perso, pari a 4.600 ettari.

Esaminando un altro indicatore di servizi ecosistemici del suolo cartografato per il territorio padovano, la riserva idrica, che rappresenta la quantità d'acqua che è utilizzabile dalle piante, si vede che su una riserva idrica potenziale di 20.253.161 m³ di acqua immagazzinata, il 49,5%, pari a 10.020.052 m³, è consumato, cioè non è più disponibile, di questi 32.529 m³ sono stati persi tra il 2017 e il 2018.

Infine osservando la carta della permeabilità del suolo, proprietà che esprime la capacità del suolo ad essere attraversato dall'acqua e che influenza la frazione di precipitazioni che si infiltrano e che contribuiscono alla ricarica delle acque sotterranee, si nota che nel territorio comunale prevalgono classi intermedie, in gran parte perse con il consumo di suolo.

BIBLIOGRAFIA

- ARPAV (2019), *Metalli e metalloidi nei suoli del Veneto. Definizione dei valori di fondo*. Osservatorio Regionale Suolo, Treviso, 190 pp.
- ARPAV (2018), *Consumo di suolo 2016 e 2017 nella regione Veneto*. Servizio Osservatorio Suolo e Bonifiche, Treviso https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/suolo/file-e-allegati/documenti/consumo-di-suolo/2018_Consumo_suolo_Regione_Veneto_2017-16.pdf
- ARPAV (2013), *Carta dei suoli della provincia di Padova*. Osservatorio Regionale Suolo, Treviso, 182 p.
- ARPAV (2005), *Carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000*. Osservatorio Regionale Suolo, Castelfranco Veneto (TV), 383 pp.
- IUSS WORKING GROUP WRB (2015), *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- LEGGE REGIONALE 18 OTTOBRE 1996, N. 32 (BUR n. 94/1996). *Norme per l'istituzione ed il funzionamento dell'agenzia regionale per la prevenzione e protezione ambientale del Veneto (ARPAV)*.
- MINISTERO PER LE POLITICHE AGRICOLE (1999), *Programma interregionale "Agricoltura e Qualità" Misura 5, Progetto "Carta dei Suoli d'Italia a scala 1:250.000"*.
- MOZZI P. (2003), *L'alta e media pianura del Brenta*. In: BONDASAN A., CANIATO G., GASPARINI D., VALLERANI F., ZANETTI M. (a cura di), *Il Brenta*. Cierre Edizioni, Sommacampagna (VR), pp 39-53.
- MUNAFÒ M. (a cura di) (2019), *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2019. Report SNPA 08/19.
- REGIONE VENETO, ISPRA (2012), *Note illustrative della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000, foglio 147 Padova Sud*. 227 pp.

La fragilità del territorio nella pianificazione urbanistica

The fragility of the territory in urban planning

Parole chiave: pianificazione, urbanistica, fragilità, geologico, idraulico
Key words: planning, town planning, fragility, geological, hydraulic

RIASSUNTO

Partendo dalla normativa regionale urbanistica e dalla pianificazione di settore che riguarda principalmente la difesa idrogeologica, sono stati elencati gli elementi di carattere geologico ed idraulico che compongono il quadro conoscitivo a supporto della pianificazione. In particolare si è fatto riferimento agli elementi che contribuiscono ad identificare la fragilità del territorio, che condiziona e dovrebbe sempre guidare le scelte che riguardano la sua urbanizzazione. Un focus è stato dedicato alle problematiche geologiche ed idrauliche del territorio padovano. In particolare il rischio di alluvioni ed allagamenti rappresenta la maggiore fragilità del territorio, che viene governata attraverso una pianificazione settoriale a cascata e con la regolamentazione e la programmazione di interventi a varia scala, anche comunale.

ABSTRACT

Starting from the regional urban planning legislation and from the hydrogeological defense planning, the geological and hydraulic elements that compose the cognitive framework supporting planning have been listed. In particular, reference was made to the elements that identify the fragility of the territory, which conditions and should always guide the decisions concerning its urbanization. Focus was given to the geological and hydraulic issues of the Paduan territory. In particular, flood risk represents one of the greatest fragilities of the territory, which is governed through a cascade sectoral planning and with the regulation and planning of interventions at various scales, including municipal ones.

Col termine "fragilità" nella normativa urbanistica regionale viene identificata la principale tavola nella quale vengono rappresentati tutti i fattori condizionanti che caratterizzano il territorio dal punto di vista geologico, quindi fattori di tipo

naturale, geologico, idrogeologico, idraulico, sismico, climatico e ambientale che si incrociano poi con fattori di tipo più antropico e che riguardano la presenza di siti inquinati, i punti di pressione e che contribuiscono così a definire quali sono le fragilità del territorio.

La consapevolezza che queste informazioni, soprattutto quelle di carattere geologico, sono fondamentali a tutti i livelli di pianificazione è arrivata negli anni '80. La prima legge urbanistica regionale del Veneto risale al 1985 (quella attualmente in vigore è la L.R. 11 del 2004) ed è arrivata purtroppo abbastanza tardi perché era già in corso la fortissima espansione urbanistica iniziata e sviluppata anni 60-70. Espansione che in molti casi era stata fatta senza considerare i fattori condizionanti e le fragilità del territorio.

La pianificazione urbanistica nel Veneto (*Fig. 1*) viene eseguita a livello regionale col Piano Territoriale Regionale di Coordinamento (PTRC), a livello provinciale col Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) e a livello comunale col Piano Regolatore Comunale (PRG), cioè con un livello di tipo strategico che viene rea-

lizzato nell'ambito Piano di Assetto del Territorio (PAT), o dei Piani di Assetto del Territorio Intercomunali (PATI), ed un livello attuativo, con il Piano degli Interventi (PI), che riguarda quello che era sostanzialmente il vecchio PRG.

La Provincia di Padova ha promosso la predisposizione di PATI tematici che poi sono stati sviluppati per aree territoriali; il Comune di Padova a seguito del PATI ha redatto anche il PAT.

Chiaramente i piani urbanistici devono però anche tenere in considerazione i vari piani di settore, che sono stati sviluppati a livello nazionale e regionale, e le cui tematiche e regolamentazioni devono essere recepite all'interno degli strumenti urbanistici.

Si citano ad esempio il Piano di Tutela delle Acque (PTA) derivante dal testo unico sull'ambiente (D.Lgs. 152/2006) ed il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), previsto dalla normativa sulla difesa del suolo (L. 183/89), da cui derivano vincoli a livello di pianificazione urbanistica; Di notevole rilievo ai fini delle fragilità del territorio in materia urbanistica è quando deriva dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), previsto dalla Direttiva Europea 2007/60/CE.



Figura 1

Le fragilità



Figura 2



Figura 3

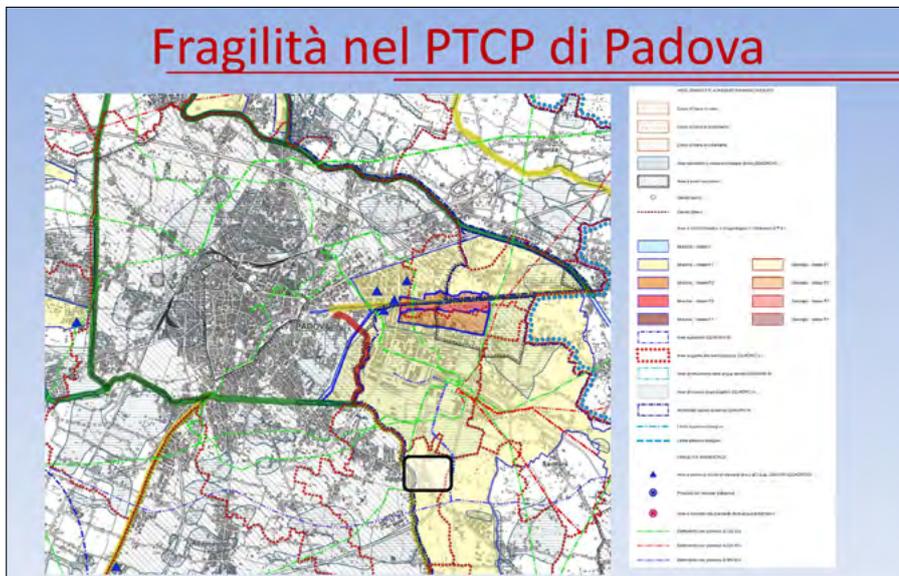


Figura 4

In tema di fragilità sono poi di grande importanza le informazioni e le indicazioni regolamentari derivanti dai Piani Generali di Bonifica e di Tutela del Territorio Rurale (PGBTTR) redatti dai Consorzi di bonifica, che da ultimo sono stati previsti nella LRV n. 12/2009. I tematismi di carattere geo-

logico rientrano principalmente nella Carta della fragilità, dove si traducono con la compatibilità geologica e con le aree a dissesto idrogeologico, nella Carta dei vincoli, che riprende tematismi che derivano principalmente dai vincoli del PAI e dalle classificazioni sismiche e nella Carta delle invariati, che, tra

l'altro, potrebbe contenere alcune tematiche di carattere geologico quali ad esempio geositi e varie singolarità geologiche da preservare e valorizzare.

Nella pianificazione si deve quindi comporre un quadro conoscitivo della geologia quanto più dettagliato possibile, per poter individuare gli elementi che caratterizzano il territorio e ne condizionano la risposta all'urbanizzazione. Tali elementi sono elaborati e riportati nelle tavole di progetto sopra menzionate (vincoli, invariati, fragilità) in accompagnamento a specifiche norme di attuazione e condizionano la trasformabilità del territorio.

In particolare, partendo da analisi di carattere geolitologico, idrogeologico e geomorfologico, incrociate con fattori antropici, si arriva a definire la Carta delle fragilità che indica i condizionamenti e i limiti all'espansione urbana (Fig. 2).

Partendo dal livello regionale, il PTRC è stato approvato con DGRV n. 372/2009 e contiene un quadro conoscitivo allegato al quale c'è una serie di tavole molto interessanti, tra cui la Tavola 1c che riguarda l'idrogeologia e il rischio sismico. Ovviamente questo fa porre l'attenzione – la scala è molto piccola – su alcuni tematismi che poi vanno sviluppati nei livelli di pianificazione via via inferiori. Interessa anche far notare che con DGRV n. 427/2013 a questo PTRC è stata attribuita la "valenza paesaggistica".

Nel 2009 è stato approvato, con poi successive modifiche, il Piano Territoriale di Coordinamento (PTCP) della Provincia di Padova e a seguito di questa approvazione tutte le competenze per l'approvazione degli strumenti urbanistici comunali sono passate di competenza dalla Regione Veneto alla Provincia di Padova.

Nell'ambito del PTCP di Padova è stato costruito un quadro conoscitivo (Fig. 3) che comprende la geolitologia, andando qui dalle litologie che si trovano sia nell'area collinare sia nell'area di pianura sia nell'area costiera (infatti il suo territorio provinciale si affaccia sulla laguna di Venezia col comune di Codevigo); analogamente per la carta geomorfologica che, insieme alle forme fluviali (tipiche del territorio di pianura) e alle frane (tipiche dei territori collinari), comprende anche forme di carattere lagunare. Nel PTCP di Padova vi è poi la carta idrogeologica che definisce le aree a diversa profondità della falda e quelle soggette a inondazioni periodiche o al deflusso difficoltoso.

Nella Fig. 4 vi è lo stralcio dalla carta della fragilità del PTCP di Padova: in tutte

le zone indicate col colore giallo, arancione e rosso vi sono aree con importanti problemi di allagamento e si trovano nell'area industriale intorno al Piovego.

Viene individuata con campitura a righe anche una serie di altre zone che sono state nel tempo soggette ad allagamento; queste sono state definite come "zone di attenzione" dal Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) e per un certo periodo hanno bloccato gli interventi urbanistici fino alla loro riclassificazione in base alla effettiva pericolosità.

Il Comune di Padova con una serie di Comuni della cintura urbana ha costituito e realizzato il Piano di Assetto del Territorio Intercomunale (PATI) dell'area metropolitana di Padova. Tale documento risale al 2011-2012 e comprende 16 comuni. Nel quadro conoscitivo sono presenti le tre classiche tipologie di analisi (Fig. 5): litologica, idrogeologica, geomorfologica utilizzando le grafie codificate a livello regionale. Nella carta di Fig. 6 sono rappresentate le classi di compatibilità geologica, le aree a dissesto idrogeologico e le aree a tutela del territorio padovano. Per la zona in comune di Padova trovano rappresentazione solo le caratteristiche che riguardano il territorio di pianura.

Con una rigatura blu viene perimetrata un'area con problematiche idrauliche significative; gran parte del territorio è colorata in giallo, colore che sta ad indicare che sono aree idonee per l'espansione urbana ma solo risolvendo determinate condizioni.

Il Comune di Padova ha inoltre realizzato ed approvato nel 2014 un piano urbanistico strategico di dettaglio comunale (Piano di Assetto del Territorio PAT). Il quadro conoscitivo è ancora co-



Figura 5

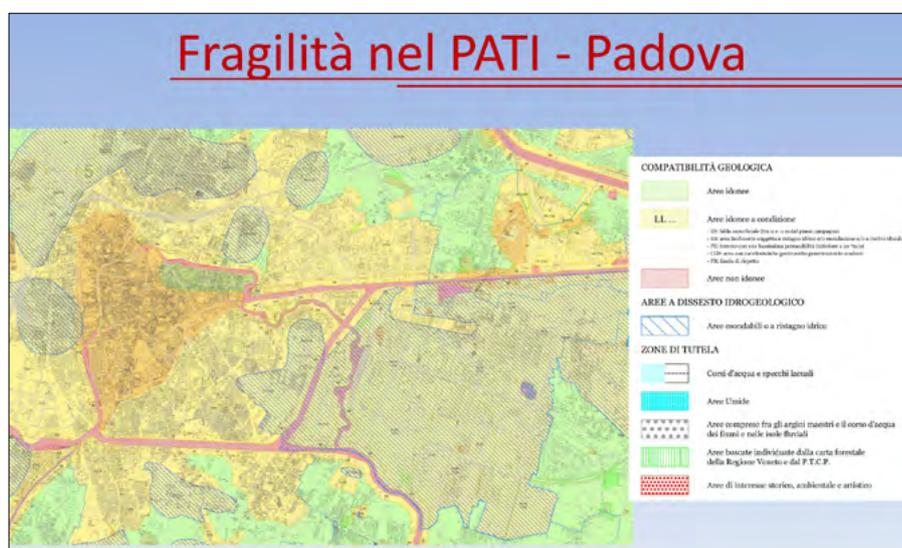


Figura 6

stituito dalle tre carte: geomorfologica, geolitologica e idrogeologica.

La carta geomorfologica (Fig. 7) mette in evidenza forme in colore verde, di origine fluviale: ci sono dossi fluvia-

li, ventagli d'erosione, paleovalvei; ci sono anche forme di origine antropica che corrispondono a una discarica nella parte nord-occidentale del comune e ad una serie di rilevati che corrispondono a rilevati stradali o arginali.

La carta geolitologica (Fig. 8) mette in evidenza come nella parte superficiale del sottosuolo ci sia una maggiore concentrazione di sedimenti fini (limi e argille), mentre le sabbie in superficie sono concentrate in piccole zone. Chiaramente per esaminare la situazione a maggiore profondità bisogna andare ad esaminare le stratigrafie la cui ubicazione è stata riportata nella cartografia.

La carta idrogeologica (Fig. 9) concorda abbastanza con quello che è stato evidenziato anche nella relazione del prof. Paolo Fabbri: viene evidenziato che gran parte del territorio si trova con profondità della falda compresa tra 2 e 5 metri e solo in alcune zone la falda è anche più superficiale. Le acque sotterranee hanno un generale direzione di

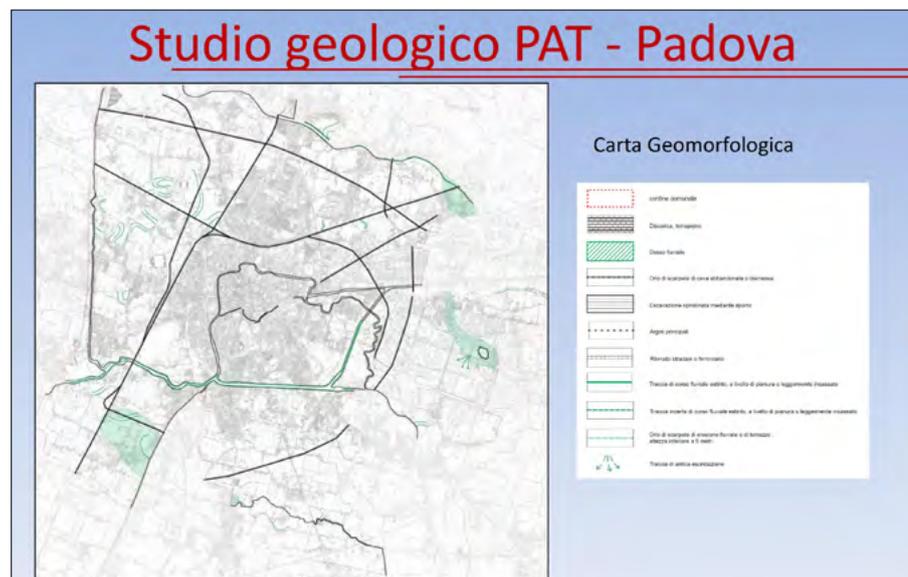


Figura 7

Studio geologico PAT - Padova

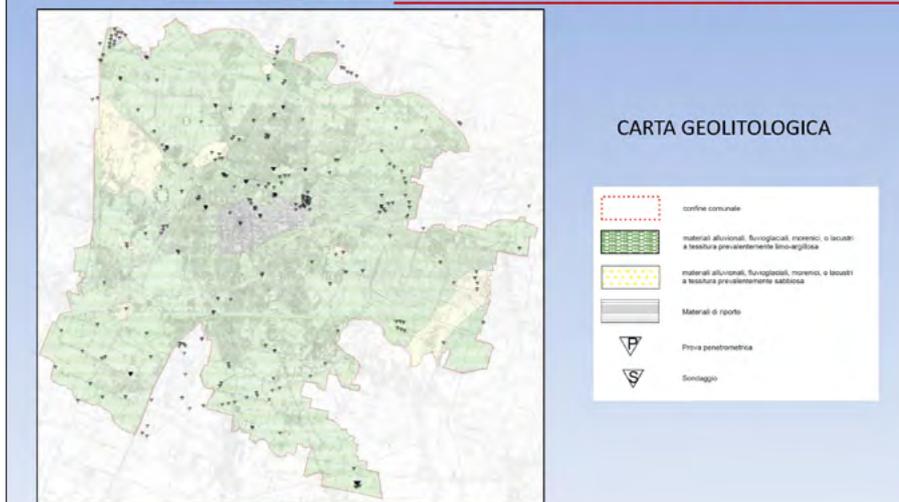


Figura 8

Studio geologico PAT - Padova

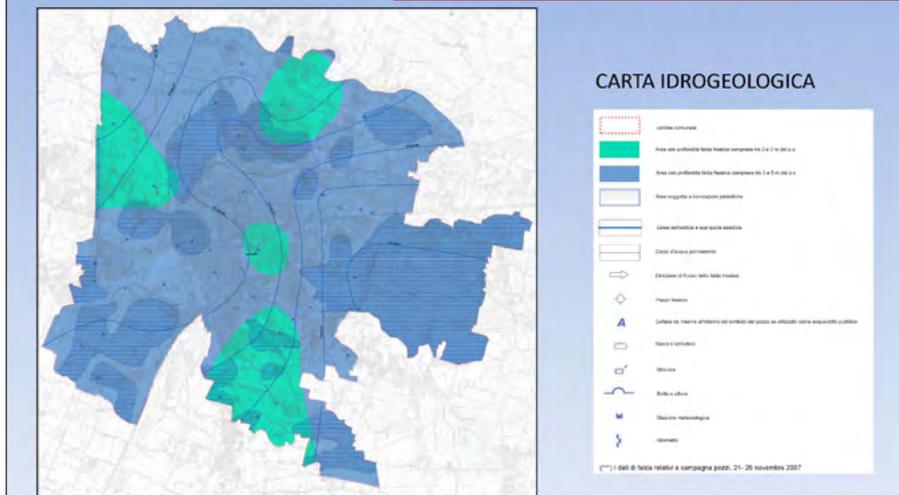


Figura 9

Fragilità nel PAT - Padova

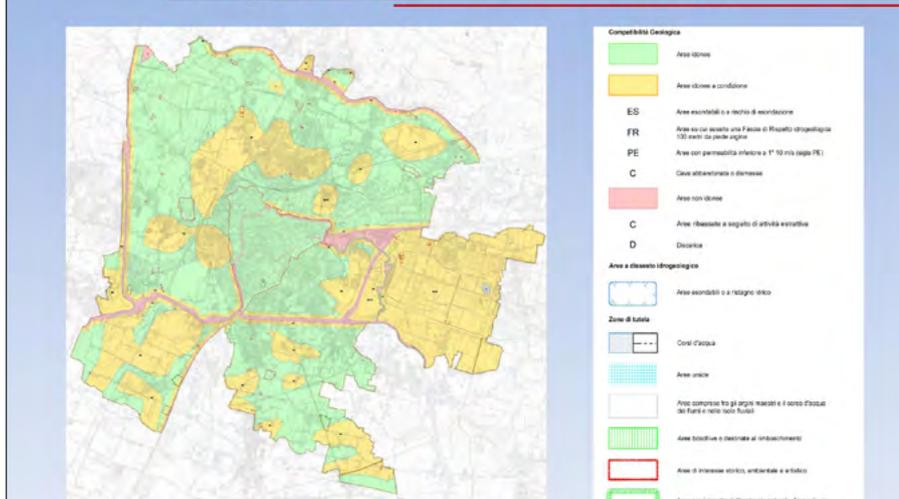


Figura 10

ta delle fragilità del comune di Padova (Fig. 10) che indica col colore verde che buona parte del territorio comunale è idoneo all'urbanizzazione relativamente alla compatibilità geologica. In giallo invece vengono indicate le zone in cui l'urbanizzazione è consentita ma ci sono alcuni condizionamenti, come in tutta la zona industriale a causa delle già citate problematiche idrauliche. Poi ci sono terreni con bassissima permeabilità, che quindi hanno caratteristiche anche geotecniche piuttosto scadenti. Infine, ci sono aree decisamente non idonee, indicate in rosso: sono aree che in qualche modo sono state identificate per la fascia di rispetto idrogeologico di 100 metri da alcuni corsi d'acqua; da segnalare l'area rossa tra il canale San Gregorio, il Piovego e il Roncaietto, nel quartiere di San Gregorio Magno. Sono anche identificate, con un perimetro blu, le aree a dissesto idrogeologico. Si tratta delle aree che sono soggette a esondazione periodica oppure che sono a ristagno idrico; qui però non viene differenziato qual è l'elemento idraulico che determina la problematica.

Queste aree a diversa compatibilità geologica e dissesto idrogeologico sono normate nelle Norme Tecniche di Attuazione (NTA), dove vengono date indicazioni precise sul tipo di condizionamento che determinano e su come questo può essere superato ai fini dell'urbanizzazione. Se l'area è idonea a determinate condizioni significa che per costruire dev'essere rimossa la condizione che causa la non idoneità oppure, se la situazione non è rimovibile, essa può essere risolta prevedendo delle urbanizzazioni che presentino determinati accorgimenti. Se l'area non è idonea non vi si può costruire.

Applicando le Norme Tecniche delle Costruzioni a partire da dettagliate conoscenze idrogeologiche e geologiche, si possono trovare soluzioni che consentono l'urbanizzazione in sicurezza.

Per le aree a dissesto idrogeologico bisogna invece spesso prevedere interventi pubblici più impegnativi e a volte piuttosto costosi, non sempre di facile realizzazione.

L'articolo 8 delle NTA del PAT del Comune di Padova, regola le aree soggette a dissesto idrogeologico, la problematica più condizionante l'urbanizzazione del territorio di Padova. Per questo si tratta di un articolo che è stato molto dettagliato che assomiglia ad un vero e proprio regolamento comunale.

La problematica degli allagamenti è stata affrontata a livello regionale col

deflusso coerente con quella regionale, da nord-ovest a sud-est; è riconoscibile un asse di drenaggio posizionato nella zona di Montà, già illustrato stam-

tina dal prof. Fabbri. In questa tavola vengono rappresentate anche le aree soggette a periodiche inondazioni. Da tutte queste informazioni deriva la car-

Pericolosità PGRA

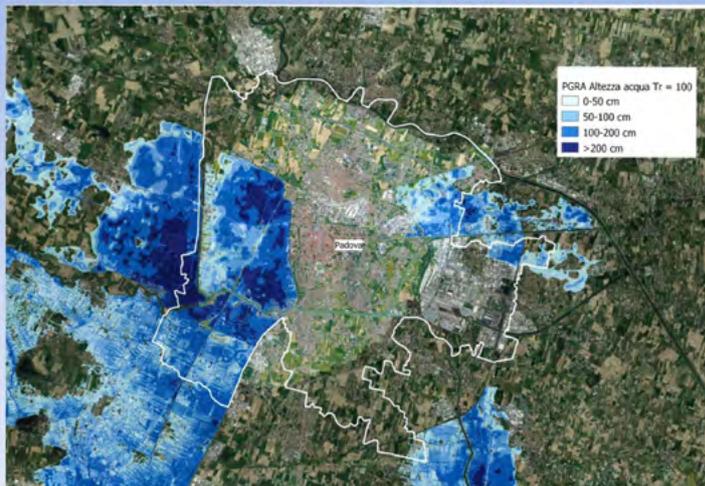


Figura 13

C'è poi una rete molto importante, prettamente urbana, che è di competenza comunale. Si tratta della rete fognaria, cioè la rete di drenaggio urbano che è affidata ad una rete intubata con le acque bianche e le acque miste.

Purtroppo mi risulta che Padova non abbia la separazione delle reti.

Infine, c'è tutta la rete dei fossi che è in capo ai privati oppure agli enti che hanno competenza sulla viabilità comunale, provinciale e regionale.

Per mettere mano a questo complesso sistema urbano già nel PTRC era previsto, con la variante del 2013, di prevedere, come strumenti di programmazione, i Piani Comunali delle Acque. Essi non sono ancora codificati da una norma vera e propria ma sostanzialmente prevedono una individuazione delle competenze sui vari tratti di rete idraulica (privati, Comune, Consorzio di bonifica, Provincia, ...). Il Piano comunale delle acque deve

individuare le aree di criticità e definire gli interventi da eseguire per mettere il territorio in sicurezza idraulica. Gli interventi che vengono così programmati dovrebbero rientrare nel Piano degli interventi o quantomeno nel Piano triennale delle opere pubbliche.

La Provincia di Padova ha recepito queste indicazioni elaborando anche specifiche linee guida per la redazione dei Piani delle acque.

Questi piani nel territorio di Padova non sono eseguiti in maniera sistematica ma sono un po' a macchia di leopardo.

L'auspicio è che gli Enti che hanno competenza in queste materie, la Regione in primis, continuino con un'efficace attività di coordinamento finalizzato a mettere a sistema le conoscenze sulle fragilità del territorio, per pianificare in maniera intelligente il territorio, anche programmando opportuni ed adeguati interventi di difesa del suolo.

Pericolosità nel PGBT Bacchiglione

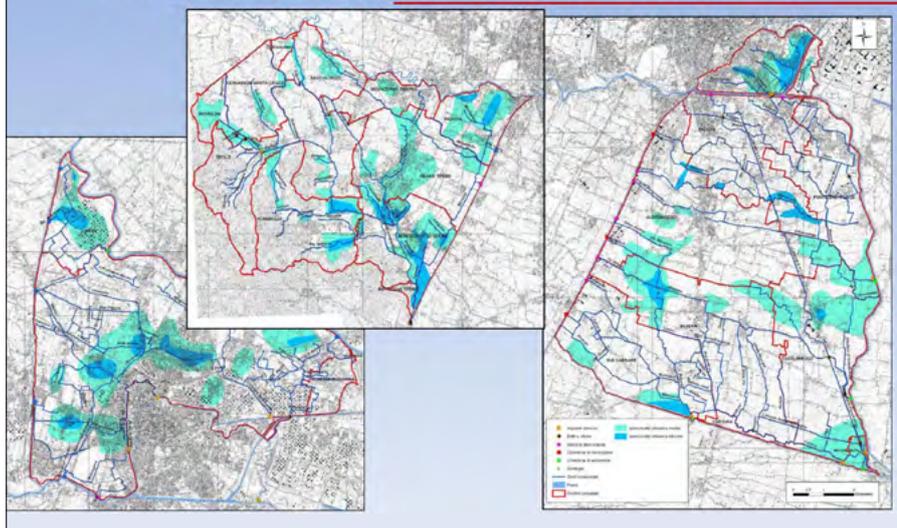


Figura 14

BIBLIOGRAFIA (LEGISLAZIONE CITATA)

LEGISLAZIONE NAZIONALE

- L. 3 AGOSTO 1998, N. 267 "Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e idrogeologico. Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici"
- D. LGS. 3 APRILE 2006, N. 152 - "Norme in materia ambientale"
- D. LGS. 23 FEBBRAIO 2010, N. 49 "Recepimento della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni nell'ordinamento giuridico italiano"
- D.P.C.M. 21 NOVEMBRE 2013 "Approvazione del «Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione»"

LEGISLAZIONE REGIONALE VENETA

- L.R. N. 11 DEL 23 APRILE 2004 "Norme per il governo del territorio e in materia di paesaggio"
- D.G.R.V. N. 1322 DEL 10 MAGGIO 2006 "L. 3.08.1998, N. 267 - Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e idrogeologico. Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici"
- D.G.R.V. N. 372 DEL 17 FEBBRAIO 2009 "Adozione del Piano Territoriale Regionale di Coordinamento. Legge regionale 23 aprile 2004, n.11 (articoli 25 e 4)"
- L.R. N. 12 DEL 8 MAGGIO 2009 "Nuove norme per la bonifica e la tutela del territorio"
- D.G.R.V. N. 2948 DEL 6 OTTOBRE 2009 "L. 3 AGOSTO 1998, N. 267. - Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici. Modifica delle delibere n. 1322/2006 e n. 1841/2007 in attuazione della sentenza del Consiglio di Stato n. 304 del 3 aprile 2009"
- D.G.R.V. N. 434 DEL 29 DICEMBRE 2009 "Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) di Padova. Approvazione. Art. 23, L.R. n. 11/2004"
- D.G.R.V. N. 427 DEL 10 APRILE 2013 "Piano Territoriale Regionale di Coordinamento (PTRC 2009). Adozione variante parziale con attribuzione della valenza paesaggistica. L.R. 23 aprile 2004, n. 11 - art. 25 e art. 4"
- D.G.R.V. N. 1023 DEL 17 LUGLIO 2018 "Modifica del Piano di Tutela delle Acque della Regione Veneto in materia di aree di salvaguardia delle acque destinate al consumo umano, adeguamento terminologia, aggiornamento di riferimenti temporali ed adeguamento di alcune disposizioni relative agli scarichi. Art. 4 comma 3 delle Norme Tecniche del Piano di Tutela delle Acque approvato con DCR n. 107 del 5/11/2009 e successive modifiche e integrazioni. DGR/CR n. 22 del 13/3/2018"
- L.R. 4 APRILE 2019, N. 14 "Veneto 2050: politiche per la riqualificazione urbana e la rinaturalizzazione del territorio e modifiche alla legge regionale 23 aprile 2004, n. 11 «Norme per il governo del territorio e in materia di paesaggio»".

Considerazioni conclusive

Chi ha organizzato questo convegno di alto profilo tecnico ha ritenuto che le considerazioni conclusive fossero tenute dai Vigili del Fuoco. Già quanto detto fin da stamattina dai vari relatori danno la spiegazione di questa scelta.

Quando si deve constatare il fallimento del sistema di previsione e di quello di prevenzione, quando a questi fallimenti si aggiunge, a seguito di un certo evento, anche quello delle opere di ripristino, allora il Corpo dei Vigili del Fuoco interviene in emergenza, nelle fasi quindi dove è richiesto un soccorso tecnico urgente per la messa in sicurezza e per attivare gli organi preposti al successivo ripristino.

Ma qui serve anche inserirsi in un concetto molto più ampio, quello della Protezione Civile. Nel gennaio dell'anno scorso, 2018, è stato pubblicato il Testo Unico del Nuovo Codice di Protezione Civile che mette un po' d'ordine alle competenze in questo contesto.

Innanzitutto serve precisare che il Servizio di Protezione Civile è composto da un sistema che fa capo al Presidente del Consiglio dei Ministri; componenti sono lo Stato con la Protezione Civile Nazionale, le Regioni, le Province con le Città Metropolitane ed i Comuni. Il sistema si appoggia ad un sistema di consulenza, che è la Commissione Grandi Rischi, che è divisa per settori: il rischio industriale, il rischio vulcanico, il rischio idraulico, il rischio idrogeologico, rischio sismico.

Questo comporta che il mondo scientifico, come l'Università in cui ora ci troviamo, porta il proprio contributo in questo contesto. Il prof. Giuseppe Maschio, del Dipartimento di Ingegneria industriale di questa Università, ed il sottoscritto, per esempio, sono componenti della commissione grandi rischi, specificatamente per il settore industriale e sicurezza dei trasporti.

Il Capo del Dipartimento della Protezione Civile ha quindi tutta una sua struttura scientifica di consulenza relativamente ai rischi prima indicati.

Vediamo ora cosa succede nel territorio quando accade un evento.

Potremmo avere tre tipologie di eventi, che vengono indicati di tipo A, B e C.

L'evento di tipo A può coinvolgere solo un'unica amministrazione: il Sindaco, oppure la struttura tecnica dei Vigili del Fuoco o anche la Protezione Civile. L'evento viene quindi risolto con un'unica gestione da parte di una sola amministrazione.

L'evento di tipo B interessa invece il livello provinciale e quindi può comportare un'azione interforze. Sorge quindi il problema di chi deve assumere il compito del coordinamento. Anche qui il nuovo codice specifica molto bene quali sono i compiti.

Ricordiamo prima quali sono le autorità di Protezione Civile. Si parte dal Presidente del Consiglio dei Ministri col suo braccio operativo che è il Dipartimento di Protezione Civile (con a capo il dott. Borrelli; ora – 2021 – l'ing. Fabrizio Curcio) il quale ha il coordinamento nazionale che viene governato con le ordinanze di Protezione Civile. Vi sono poi i Presidenti delle Regioni ed i Sindaci, cui ora, col nuovo codice, sono stati aggiunti i Sindaci delle Città Metropolitane.

Quindi le autorità di Protezione Civile sono il Presidente del Consiglio dei Ministri, i Sindaci ed il Presidente della Regione. Il sistema dell'evento di tipo B, quindi provinciale (e, come poi vedremo, anche quello di tipo C, il più grave in quanto d'emergenza nazionale), opera utilizzando le strutture operative, che sono *in primis* i Vigili del Fuoco, e poi, a scalare a seconda delle necessità, le forze di polizia, i volontari, il soccorso alpino, gli ordini professionali, tutte quelle strutture che possono e devono dare un supporto di carattere operativo all'interno del sistema.

Vediamo ora a chi spetta il coordinamento in questa fase. Anche qui il nuovo codice specifica benissimo.

Se si tratta di una fase emergenziale dove c'è la necessità del soccorso urgente, cioè la salvaguardia della vita umana, il compito istituzionale spetta alla componen-

te fondamentale della Protezione Civile, che sono i Vigili del Fuoco, che coordinano e organizzano le operazioni di soccorso della primissima fase dell'emergenza.

Facciamo l'esempio di un evento sismico.

Al recupero nell'ultima salma, dell'ultimo ferito, termina il ruolo di coordinamento del soccorso nell'immediatezza dell'intervento. Contemporaneamente viene dichiarato lo Stato di emergenza da parte del Consiglio dei Ministri che autorizza la Protezione Civile alla gestione delle fasi successive dell'evento fino al ripristino delle condizioni ordinarie. Per l'evento di tipo B questo può essere gestito direttamente o dal Prefetto o dal Sindaco del Comune o della Città Metropolitana, ovvero dal Presidente della Regione, secondo quanto indicato nel testo legislativo.

Gli *eventi di tipo C* così come accaduto per le recenti emergenze, vengono invece gestiti direttamente dal Dipartimento Nazionale della Protezione Civile attraverso la struttura sul territorio "Direzione Comando e Controllo" (Di.Coma.C.); questa è il braccio operativo della Presidenza del Consiglio dei Ministri ed è al suo interno che vengono decise tutte le operazioni da farsi sul campo a seconda delle specifiche funzioni che vengono richieste dall'emergenza. Per esempio l'ultima Di.Coma.C. è stata costituita a Rieti per il terremoto del Centro Italia con lo scopo di supportare le funzioni essenziali: quelle dei trasporti e viabilità, luce e gas, volontariato, assistenza alla popolazione, messa in sicurezza dei beni storici, logistica, sicurezza per l'incolumità pubblica, ripristino scuole, censimento danni, ecc.

Ultimamente il territorio regionale del Veneto è stato interessato da un'importante emergenza, quella della tempesta Vaia. In questo caso si sono configurati scenari molto differenti fra di loro con operazioni che hanno presentato tutte le sfaccettature del ruolo della Protezione Civile; per fortuna non si è trattato di un diffuso soccorso alle persone, ma di un diffuso ripristino.

Le funzioni della Protezione Civile, infatti, sono le attività di prevenzione, di previsione, di soccorso e di ripristino.

La previsione in questo caso è stata tempestiva perché trattandosi di rischio idraulico è stato più facile e puntuale l'allertamento; col rischio legato ad eventi meteorologici si hanno infatti strumenti di modellazione che consentono di prevenire le conseguenze sul territorio per fare una valutazione, come vi ha spiegato il professor D'Alpaos, di modellazione di deflusso delle acque nei bacini idraulici.

Generalmente l'attività di previsione funziona bene anche per le stime del rischio valanghivo sui siti antropici a seguito di copiose nevicate. Purtroppo però quest'anno stiamo subendo il rischio valanghivo di una novantina nuovi siti che si sono creati a seguito della tempesta Vaia. Infatti, venendo a mancare una serie di protezioni naturali di boschi in zone storicamente non soggette a tale rischio, ovvero non soggetti storicamente o con presenza di ostacoli e strutture che lo prevenivano, ora questi oltre novanta siti non protetti rischiano di coinvolgere abitazioni e strutture.

Questa attività svolta dall'ARPA Veneto è un'attività di prevenzione finalizzata a monitorare lo strato nevoso e la sua evoluzione, quando il suo spessore supera, infatti, una certa soglia, viene attivato il piano di emergenza, all'uopo predisposto, che garantisce l'evacuazione delle aree a rischio. Questo è quello che è stato fatto di nuovo a seguito della tempesta Vaia sul territorio interessato.

Nei periodi di allarme i colleghi dell'ARPAV procedono a monitorare ogni parametro idrogeologico e nivometrico sul territorio interessato.

Nel caso della tempesta Vaia, non trattandosi di una situazione di emergenza, quindi di soccorso alla popolazione, si è passati immediatamente dalla fase di soccorso a quella di ripristino.

Per la fase di ripristino la Presidenza del Consiglio dei Ministri nomina un Commissario per la ricostruzione; nel caso della tempesta Vaia è stato delegato il Presidente della Regione il quale si è dotato di una struttura di missione per gli interventi di ripristino/ricostruzione (OCDPC n. 558/2018).

Questa procedura è stata adottata in Italia per ogni scenario di emergenza di tipo C avvenuto negli ultimi anni; ha fatto però eccezione il terremoto del Centro Italia dove i commissari erano quattro, cioè uno per Regione in quanto l'evento in quell'occasione aveva interessato quattro territori regionali.

Nel Veneto oltre Vaia è successo l'evento della scorsa settimana, con l'eccezionale acqua alta a Venezia e nei suoi territori lagunari e in generale lungo tutta la costa veneta.

Ovviamente a livello internazionale l'attenzione si è concentrata sulla città di Venezia ed è la prima volta che è stato delegato commissario, alla ricostruzione o al ripristino, un Sindaco, e cioè quello di Venezia.

Chiaramente oltre alla situazione della città lagunare si è ripresentata una situazione diffusa in tutta la regione con presenza di movimenti franosi ed allagamenti diffusi in tutto il Veneto, ai danni della costa adriatica da Bibione a Jesolo, a scenari incidentali legati al rischio valanghivo ed idrogeologico. Ad esempio, nella Sacca di Scardovari, in provincia di Rovigo, la problematica della distruzione delle cavane destinate ad allevamenti dei molluschi ha comportato un danno economico non indifferente.

In questa occasione è stata messa in piedi un'altra procedura tecnico-amministrativa, dove, oltre al commissario delegato alla ricostruzione (Brugnaro su Venezia), è stata allargata la durata dello stato di emergenza del disastro Vaia al resto del Veneto con la stessa struttura commissariale.

Nella regione per l'evento in questione sono stati sostanzialmente nominati due commissari per il ripristino dagli eventi di due aree distinte.

Teniamo presente che nelle situazioni emergenziali i Vigili del Fuoco, come anche qualsiasi struttura operativa (università, ordini professionali, volontari ...), possono essere coinvolti in operazioni di ripristino mediante convenzioni fatte tra la struttura commissariale e i soggetti attuatori preposti alla ricostruzione.

Sottolineo l'importanza di questo concetto, che cioè già in tempo di pace si possono realizzare azioni di attività di convenzione per lo studio, l'approccio scientifico alla previsione e prevenzione dei rischi.

Chiaramente gli ultimi anni hanno subito profondi cambiamenti legati non solo alla frequenza, ma anche all'intensità di questi fenomeni che hanno costretto tutte le strutture di Protezione Civile a rimodularsi su nuovi scenari d'intervento.

Concludo richiamando la grande importanza di un ultimo aspetto, che può risolvere numerose criticità in interventi complessi e multirischio, cioè l'attività che la Protezione Civile può, anzi deve, fare in tempo di pace: quella della pianificazione.

È infatti di fondamentale importanza predisporre i Piani di Protezione Civile ai vari livelli territoriali e amministrativi: comunali – provinciali – regionali; è necessario inoltre redigere piani anche per le attività soggette a rischio industriale, idrogeologico, vulcanico, idraulico, ai cosiddetti Rischi NaTech ("Natural – Technological" Risks) negli stabilimenti a RIR (Rischio di Incidente Rilevante) a seconda delle tipologie di rischio a cui il territorio è esposto. Quindi, per queste importanti attività la Protezione Civile nazionale ha predisposto una serie di linee guida di pianificazione legate alle varie esposizioni di rischio.

L'ultimissima pianificazione è stata realizzata proprio sull'esperienza della tempesta Vaia. Ad agosto il Dipartimento della Protezione Civile Nazionale ha infatti predisposto le linee guida per il rischio valanghivo (DPCM 12 agosto 2019) dove i Comuni, che hanno avuto questa ulteriore esposizione, hanno l'obbligo di integrare i loro piani comunali di Protezione Civile anche considerando questa ulteriore vulnerabilità.

Come recentemente anche le Prefetture devono predisporre piani di emergenza esterna per fronteggiare incendi che coinvolgono impianti e depositi per il trattamento dei rifiuti.

Il tema della “Geologia urbana”, qui riferito alla città di Padova, è stato una buona occasione per evidenziare sia il ruolo dei Vigili del Fuoco che, più in generale, della Protezione Civile, ruoli che per una vasta serie di rischi presuppongono adeguate conoscenze relative alle Scienze della Terra per una corretta previsione e prevenzione.

Ma è anche l'occasione per sottolineare l'importanza delle sinergie che s'instaurano tra chi, come ad esempio l'Università di cui siamo qui ospiti e i professionisti, fornisce conoscenze e modelli, e noi, Vigili del Fuoco, che utilizziamo tutto ciò, e non solo in emergenza.

E infine una nota che sta ancor più ad indicare la stretta comunanza d'interessi tra Vigili del Fuoco e Università. L'attuale Capo nazionale dei Vigili del Fuoco, ing. Fabio Dattilo, ha studiato in questa vicine aule e si è laureato proprio all'Università di Padova.

Loris Munaro
Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
Direzione Interregionale del Veneto e Trentino Alto Adige



Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

www.arpa.veneto.it | cmt@arpa.veneto.it

L'Osservatorio Regionale Suolo, ora **Unità Organizzativa Qualità del Suolo (UOQS)**, è stato istituito dalla Regione Veneto nel 1997. I compiti dell' **UOQS** comprendono:

- la **standardizzazione della metodologia** di descrizione dei suoli e di elaborazione delle carte dei suoli e carte applicative;
- l'elaborazione di **documenti di riferimento** sotto forma di norme tecniche e metodologiche;
- il **rilevamento dei suoli e l'elaborazione della cartografia** dei suoli ederivata;
- il **supporto** ad altri enti per predisporre e attuare progetti di rilevamento dei suoli e di cartografia applicata alle specifiche competenze degli entilocali;
- gestione delle attività di **monitoraggio del suolo** e predisposizione e aggiornamento degli **indicatori ambientali** relativi al suolo.

L'**UOQS** ha inoltre il compito di ampliare, aggiornare e gestire la **banca dati dei suoli** del Veneto. Per questo utilizza strumenti informatici appositamente predisposti sia per la gestione delle osservazioni, profili e trivellate (corredati di dati descritti in campagna, foto e analisi di laboratorio) sia per le unità tipologiche di suolo, sia per la gestione dei dati geografici (osservazioni, delineazioni e unità cartografiche), compresa l'elaborazione di carte dei suoli e carte derivate. Le principali cartografie finora realizzate sono:

- la **Carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000**;
- le **carte dei suoli in scala 1:50.000**: province di Treviso, Venezia, Padova, Rovigo, Vicenza (pianura e collina), alta pianura veronese; sono in corso di realizzazione la pianura e collina della provincia di Verona e l'aggiornamento e ampliamento della Valbelluna;
- le carte dei suoli per la **zonazione viticola**, realizzate per le aree D.O.C. del Veneto, in scala 1:25.000;
- le **carte applicative**: carte tematiche facilmente utilizzabili per scopi specifici, che rappresentano spazialmente proprietà del suolo, elaborate incrociando più strati informativi o con l'impiego di schemi di valutazione;
- la **Carta Ecopedologica d'Italia**: realizzata dal Ministero dell'Ambiente nell'ambito del progetto "Carta della Natura";
- la **Carta Ecopedologica delle Alpi**: risultato di armonizzazione delle informazioni sui suoli tra alcuni stati e regioni dell'arco alpino mediante la realizzazione di una banca dati sui suoli condivisa.

L'**UOQS** mantiene aggiornate tutte le informazioni cartografiche relative al suolo disponibili sul **Geoportale** della Regione Veneto.

Utilizzando le attività di rilevamento dei dati relativi al suolo per la realizzazione della cartografia, si sono consolidate nel tempo alcune reti di verifica della concentrazione di alcune sostanze presenti nel suolo.

Le principali sono:

- il **contenuto di carbonio organico** dei suoli, importante per quantificare le quantità di carbonio stoccate all'interno del suolo che possono contribuire al contrasto dell'effetto serra e dei cambiamenti climatici;
- il **valore di fondo dei metalli e metalloidi** che permette di conoscere la concentrazione che può essere considerata naturale e non dovuta a fenomeni di contaminazione nelle diverse aree del territorio regionale;
- la concentrazione di **microinquinanti organici (IPA, PCB, diossine)** nei suoli della regione in aree a diverso impatto per presenza di attività produttive. Sono inoltre state appositamente predisposte delle campagne di monitoraggio per:
- la **qualità biologica del suolo** per una valutazione della biodiversità del suolo,
- il **contenuto di nutrienti** (azoto, fosforo e potassio) in appezzamenti ad ordinamento agronomico ordinario, concimati con effluenti di allevamento tal quali o trattati, al fine di testare l'effetto di tali pratiche su alcuni parametri del terreno.



Il suolo funziona da filtro naturale per le sostanze (nutrienti o inquinanti) che vengono distribuite al suolo e che potenzialmente possono raggiungere le acque superficiali e di falda.



Il suolo è una risorsa naturale fondamentale che svolge molteplici funzioni necessarie per la vita e condiziona più o meno direttamente tutti gli organismi viventi.



Ogni anno vengono prelevati campioni di suolo per monitorare i cambiamenti in alcune sue caratteristiche: metalli e metalloidi, carbonio organico, microinquinanti organici, nutrienti.

Annualmente effettua il **monitoraggio del consumo di suolo** nel territorio regionale collaborando con l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) per la realizzazione del Rapporto annuale sul consumo di suolo.

Gestisce il portale regionale per le comunicazioni relative alle **terre e rocce da scavo** e verifica tutte le dichiarazioni di utilizzo in applicazione a quanto previsto dal D.Lgs.120/2017.

Le competenze acquisite relativamente al suolo hanno reso la struttura un riferimento per i **pareri relativi alla matrice suolo** nelle diverse procedure di valutazione ambientale (VIA, VAS, VINCA) e in diversi processi autorizzativi, comprese le verifiche preliminari all'utilizzo dei fanghi in agricoltura. Fornisce altresì pareri preventivi e le verifiche successive ante-operam e post-operam previste sulle attività di realizzazione delle Grandi Opere.



Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

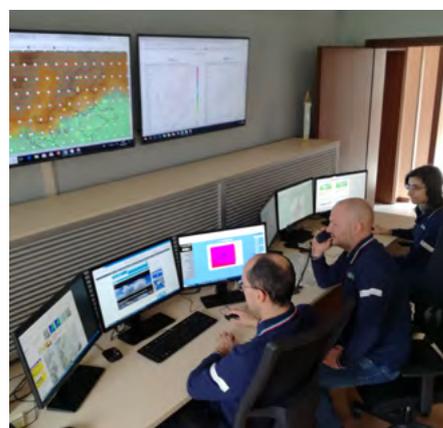
www.arpa.veneto.it | cmt@arpa.veneto.it

Il **Servizio Meteorologico** di ARPAV è una struttura operativa a livello regionale che ha lo scopo di raccogliere e fornire informazioni in campo meteorologico, utili per orientare diversi processi decisionali. Il primo compito del **Servizio Meteorologico** consiste nel monitoraggio delle principali variabili meteorologiche che caratterizzano lo stato dell'atmosfera, per disporre di un quadro conoscitivo della situazione del tempo atmosferico pregresso ed in atto sul territorio regionale. Al tale scopo vengono utilizzati vari sistemi:

- la rete di stazioni meteorologiche al suolo: opera dal 1992 sull'intero territorio regionale e attualmente conta circa 200 stazioni automatiche che misurano in continuo le principali variabili meteorologiche.
- I profilatori verticali di vento e temperatura: strumenti importanti soprattutto nella Pianura Padana (zona soggetta a ristagno d'aria ed a frequenti inversioni termiche), perché consentono di avere informazioni sugli strati dell'atmosfera prossimi al suolo (fino a circa 500 - 1.000 metri di quota).
- La rete di radar meteorologici: sul Veneto operano 2 radar meteorologici, il primo installato sui Colli Euganei (Monte Grande, Teolo - PD) e il secondo nella pianura orientale a Concordia Sagittaria (VE). I radar sono strumenti fondamentali per il monitoraggio meteorologico in tempo reale e per le previsioni a breve termine, in quanto consentono di individuare, localizzare e seguire le precipitazioni acquisendo informazioni sulla loro traiettoria, intensità ed evoluzione.

Il **Servizio Meteorologico** effettua previsioni mirate per il Veneto da oltre 30 anni, avvalendosi di uno staff di tecnici laureati che hanno una prolungata esperienza lavorativa e utilizzano articolati sistemi osservativi per verificare in tempo reale e con elevato dettaglio spaziale lo stato del tempo atmosferico. Le previsioni non sono solo il risultato di elaborazioni modellistico-matematiche ma sono anche il frutto di valutazioni basate sulle conoscenze del territorio veneto e delle sue peculiarità. L'attività previsionale è principalmente di due tipi: a breve-medio termine (*forecasting*) riferite ad un arco temporale di 1-5 giorni, previsioni a brevissimo termine (*nowcasting*) relative ad un arco temporale di poche ore, effettuate in condizioni meteorologiche avverse o di emergenza ambientale. La meteorologia, e più in particolare le informazioni che essa produce, servono per supportare diversi processi decisionali, ovvero forniscono degli elementi di valutazione per chi deve prendere delle decisioni. Le applicazioni della meteorologia alle attività dell'uomo sono innumerevoli.

Quelle che maggiormente occupano il Servizio Meteorologico di ARPAV sono: supporto alle attività di Protezione Civile, al settore turistico, alle attività agricole (agrometeorologia) cooperando con esperti di altre strutture regionali produce bollettini agrometeorologici e agroclimatologici, bollettini per la sospensione del divieto invernale dello spandimento dei liquami in base a particolari condizioni meteorologiche, servizio di allerta per le gelate tardive e precoci, supporto alle attività di controllo e valutazione della qualità dell'aria (meteorologia ambientale), fornendo un contributo rilevante alle attività nella previsione della qualità dell'aria effettuata tramite i comunicati Ozono in estate e PM10 in inverno. Inoltre ARPAV, tramite il **Servizio Meteorologico**, ha avuto incarico da oltre 17 anni dalla Regione Veneto di svolgere l'attività di monitoraggio e previsione meteorologica per la prevenzione delle patologie da elevate temperature nella popolazione anziana (bollettino di disagio fisico) e bollettini previsionali specifici per la previsione della neve per la viabilità (autostrade, aeroporto di Venezia). Inoltre il **Servizio Meteorologico** ARPAV in tema di clima e di cambiamenti climatici offre un quadro dettagliato della realtà regionale attraverso studi e rapporti periodici, commenti e notizie pubblicate sul sito internet di ARPAV o pubblicazioni specifiche.





**GALLERIA
FOTOGRAFICA**

SICREA



Partecipanti al Convegno



Partecipanti al Convegno



Partecipanti al Convegno



Fabrizio Nestola
 Direttore del Dipartimento di Geoscienze
 dell'Università degli Studi di Padova



Arturo Lorenzoni
 Vice Sindaco Comune di Padova



Tatiana Bartolomei
 Presidente Ordine Geologi del Veneto



*Andrea Vitturi
Sigea*



*Paolo Mozzi
Università degli Studi di Padova,
Dipartimento di Geoscienze*



*Francesca Veronese
Comune di Padova, Musei Civici di Padova,
Museo Archeologico*



*Paolo Fabbri
Università degli Studi di Padova,
Dipartimento di Geoscienze*



*Luigi D'Alpaos
Professor Emeritus, Università degli Studi di Padova,
ICEA*



*Pietro Zangheri
Sigea*



*Francesca da Porto
Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Geoscienze
Prorettrice all'edilizia e sicurezza*



*Jacopo Boaga
Università degli Studi di Padova,
Dipartimento di Geoscienze*



*Antonio Galgaro
Università degli Studi di Padova,
Dipartimento di Geoscienze*



*Roberto Pedron
Ordine Geologi del Veneto*



*Paolo Giandon
ARPAV, Servizio Centro Veneto Suoli e Bonifiche*



*Francesca Ragazzi
ARPAV, Servizio Centro Veneto Suoli e Bonifiche*



*Valentina Bassan
Regione del Veneto, Direzione Difesa del Suolo*



*Loris Munaro
Corpo Nazionale V.V.F.,
Direttore Interregionale Veneto e Trentino-Alto Adige*



Partecipanti al Convegno



Via Bulgarini 125, 00019 Tivoli (Roma)

+39 340 5236660

info@fralerighe.it

www.fralerighe.it

FRALERIGHE BOOK FARM

EDITORIA | WEB | MULTIMEDIA

Fralerighe Book Farm è un service editoriale che mette competenza e professionalità al servizio di chi pubblica e scrive. Per gli editori e per gli autori, **Fralerighe Book Farm** è specializzato nella cura redazionale dei testi, con l'obiettivo di mettere la tecnologia a disposizione del libro, seguendo tutta la filiera di lavorazione testuale e grafica della stampa e del digitale sfruttando al meglio le potenzialità di ciascun supporto, dall'editing all'impaginazione, senza tralasciare la correzione di bozze e la traduzione.

La **redazione** e l'**ufficio grafico** offrono i seguenti servizi sia per volumi sia per riviste:



Progettazione e impaginazione di libri, riviste, cataloghi di qualsiasi formato e tipologia. Servizi per le case editrici, definizione linea editoriale, estensioni multimediali di libri cartacei, ideazione e impostazione grafica, redazione dei contenuti



Realizzazione ebook professionali pronti per essere pubblicati, acquistati e letti



Web design, sviluppo siti internet, portali, blog, e-commerce



Creazione di logo/branding, corporate identity, restyling di loghi e siti internet, creazione di layout landing page



Soluzioni web, consulenza tecnica, gestione dominio



Creazione e gestione di newsletter



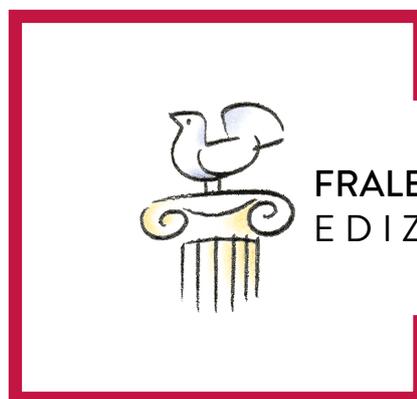
Ideazione e realizzazione di campagne promozionali, email marketing, banner, brochure, flyers, spot pubblicitari



Comunicazione digitale e Social Media Strategy per la creazione, la crescita e la cura della community e del pubblico di riferimento dell'azienda



Servizi SEO, posizionamento nei motori di ricerca



FRALERIGHE
EDIZIONI

“LA MACCHINA TECNOLOGICAMENTE PIÙ EFFICIENTE CHE L'UOMO ABBAIA MAI INVENTATO È IL LIBRO”
[NORTHROP FRYE]

Fralerighe Edizioni è una casa editrice indipendente, interculturale e sociale che vuole essere laboratorio di incontri e di sperimentazione per contribuire alla costruzione di una società plurale equa e positiva. Nasce valorizzando le nuove forme di pubblicazione tra la carta e il digitale, dal libro tradizionale a quello formativo denominato mediabook. La linea editoriale è caratterizzata da argomenti di rilevanza sociale attraverso le collane dedicate:

- Fralerighe eBook
- GiraMondo
- LabCult
- Luoghi Tradizioni Relazioni
- MeltingPot
- Poesia
- Narrativa
- Teatro
- Guide Geologiche d'Italia



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



Convegno

GEOLOGIA URBANA DI PADOVA

Padova, 22 novembre 2019

Dipartimento di Geoscienze, Aula Arduino, via G. Gradenigo, 6

Organizzato da SIGEA - Società Italiana di Geologia Ambientale e dal Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Padova
in collaborazione con Ordine Geologi del Veneto.

PROGRAMMA

Registrazione dei partecipanti

Saluti delle Autorità

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Geoscienze (*Direttore Fabrizio Nestola*)

Ordine Geologi del Veneto (*Presidente Tatiana Bartolomei*)

Comune di Padova (*Vice Sindaco Arturo Lorenzoni*)

SIGEA (*già Vice Presidente Andrea Vitturi*)

GEOLOGIA DELLA CITTA', DALLA CONOSCENZA ALLA GESTIONE

Modera: Andrea Vitturi (SIGEA)

Geomorfologia del territorio urbano di Padova

Paolo Mozzi – Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze

Il sottosuolo della città. Il punto di vista dell'archeologia

Francesca Veronese – Comune di Padova, Musei Civici di Padova - Museo Archeologico

Idrogeologia del sottosuolo di Padova

Paolo Fabbri – Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze

Il ruolo del geologo nella geologia urbana alla luce delle Norme Tecniche Costruzioni D.M. 17.01.2018

Tatiana Bartolomei – Ordine Geologi del Veneto

Implicazioni idrauliche in nuove espansioni urbane

Luigi D'Alpaos – Professor Emeritus, Università degli Studi di Padova, ICEA

Implicazioni geologiche delle opere sotterranee in bassa pianura

Pietro Zangheri – SIGEA

Discussione e Conclusioni

Paolo Mozzi – Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze

PAUSA PRANZO

RISORSE E RISCHI GEOLOGICI

Modera: Francesca da Porto (Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova)

La sismicità del Veneto tra eventi storici e recenti

Jacopo Boaga – Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze

Sostenibilità degli impianti di scambio termico con il sottosuolo per la climatizzazione in area urbana

Antonio Galgaro – Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze

Bonifica e riconversione di aree produttive dismesse in contesti urbani. Temi geoambientali di interesse

Roberto Pedron – Ordine Geologi del Veneto

I suoli della provincia e dell'area urbana di Padova

Paolo Giandon e Francesca Ragazzi – ARPAV, Servizio Centro Veneto Suoli e Bonifiche

La fragilità del territorio nella pianificazione urbanistica

Valentina Bassan – Regione del Veneto, Direzione Difesa del Suolo

Dibattito e Conclusioni

Loris Munaro – Corpo Nazionale VV.F., Direttore Interregionale Veneto e Trentino-Alto Adige

Con il patrocinio di:



Provincia di Padova



Comune di Padova



La SIGEA si occupa dello studio e della diffusione della geologia ambientale, materia che può essere definita come “applicazione delle informazioni geologiche alla soluzione dei problemi ambientali”.

È un'associazione culturale senza fini di lucro, riconosciuta dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare come “associazione di protezione ambientale a carattere nazionale” con decreto 24 maggio 2007 (G.U. n. 127 del 4/6/2007). Ha sottoscritto un protocollo d'intesa con l'Arma dei Carabinieri, il 20/12/2017, per la collaborazione a svolgere attività di monitoraggio al fine di segnalare criticità in materia di dissesto idrogeologico e di impatto ambientale.

Agisce per la promozione del ruolo delle Scienze della Terra nella protezione della salute e nella sicurezza dell'uomo, nella salvaguardia della qualità dell'ambiente naturale e antropizzato e nell'utilizzazione più responsabile del territorio e delle sue risorse. È aperta a tutte le persone e gli Enti (persone giuridiche) che hanno interesse alla migliore conoscenza e tutela dell'ambiente.

La SIGEA

- **Favorisce** il progresso, la valorizzazione e la diffusione della geologia ambientale con l'organizzazione di eventi in ambito nazionale e locale mediante corsi, convegni, escursioni di studio, interventi sui mezzi di comunicazione.
 - **Promuove** il coordinamento e la collaborazione interdisciplinare nelle attività conoscitive e applicative rivolte alla conoscenza e tutela ambientale; per questo scopo ha costituito le **Aree tematiche** “Patrimonio geologico”, “Dissesto idrogeologico”, “Geoarcheologia”, “Educazione ambientale”, “Caratterizzazione e bonifica dei siti inquinati”, “Protezione civile”, “Aree protette”.
 - **Opera** sull'intero territorio nazionale nei settori dell'educazione e divulgazione scientifica, della formazione professionale, della ricerca applicata, della protezione civile, occupandosi di varie tematiche ambientali, quali previsione, prevenzione e riduzione dei rischi geologici, bonifica siti contaminati, studi d'impatto ambientale, tutela delle risorse geologiche e del patrimonio geologico, geologia urbana, pianificazione territoriale, pianificazione del paesaggio, geoarcheologia, e in altri settori. Opera in ambito locale con i gruppi e le Sezioni regionali.
 - **Informa** attraverso il periodico trimestrale “Geologia dell'Ambiente”, che approfondisce e diffonde argomenti di carattere tecnico-scientifico su tematiche geoambientali di rilevanza nazionale e internazionale. La rivista è distribuita ai soci e a Enti pubblici e privati. L'informazione e la comunicazione avviene anche attraverso il sito web, la newsletter e la pagina facebook.
 - **Interviene** sui mezzi di comunicazione attraverso propri comunicati stampa affrontando problemi attuali che coinvolgono le componenti ambientali.
 - **Collabora con gli Ordini professionali, con il mondo universitario e con altre Associazioni** sulle tematiche riguardanti l'educazione, l'informazione e la formazione. In particolare coopera con CATAP (Coordinamento delle associazioni tecnico-scientifiche per l'ambiente e il paesaggio) cui SIGEA aderisce, Associazione Idrotecnica Italiana, Federazione Italiana Dottori in Agraria e Forestali, Italia Nostra, Legambiente, WWF, ProGEO (International Association for Geological Heritage), Alta Scuola, Società Geografica Italiana, Società Geologica Italiana, Accademia Kronos, ecc.
 - **Collabora anche a livello internazionale**, in particolare con ProGEO, con la quale ha organizzato nel maggio del 1996 a Roma il 2° Symposium internazionale sui geositi e nel settembre 2012 a Bari il 7° Symposium sullo stesso argomento. Inoltre è attiva per svolgere studi, ricerche, censimenti e valorizzazione del patrimonio geologico.
-

I soci SIGEA

- Ricevono la rivista trimestrale “Geologia dell'Ambiente” in formato cartaceo o digitale e altre eventuali pubblicazioni dell'Associazione.
- Ricevono mediante newsletter informazioni sulle attività della SIGEA e di altre Associazioni.
- Ricevono gratuitamente, a seconda della disponibilità e in formato .pdf, numeri arretrati della rivista e gli atti di convegni organizzati dalla SIGEA. L'elenco dei numeri della rivista e dei suoi supplementi con i relativi articoli si trovano nel sito web.
- Partecipano ai convegni, ai corsi e altre iniziative a pagamento organizzati dall'Associazione, con lo sconto applicato ai soci.
- Disponibilità per candidature, in rappresentanza di Sigea, in Comitati e Commissioni di studio presso Enti pubblici nazionali e locali.
- Disporre di condizioni vantaggiose per l'acquisto dei volumi della “Collana SIGEA di Geologia Ambientale” (sconto del 30% sul prezzo di copertina) dell'Editore Dario Flaccovio di Palermo.

Volumi pubblicati: 1. *Difesa del territorio e ingegneria naturalistica*; 2. *Ambiente urbano. Introduzione all'ecologia urbana*; 3. *Le cave. Recupero e pianificazione ambientale*; 4. *Geotermia. Nuove frontiere delle energie rinnovabili*; 5. *Geologia e geotecnica stradale. I materiali e la loro caratterizzazione*; 6. *Contratti di fiume. Pianificazione strategica e partecipata dei bacini idrografici*; 7. *Le unità di paesaggio. Analisi geomorfologica per la pianificazione territoriale e urbanistica*; 8. *Difesa delle coste e ingegneria naturalistica. Manuale di ripristino degli habitat lagunari, dunari, litoranei e marini*; 9. *Il paesaggio nella pianificazione territoriale. Ricerche, esperienze e linee guida per il controllo delle trasformazioni*; 10. *Il dissesto idrogeologico. Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio*; 11. *Calamità naturali e coperture assicurative*.
