

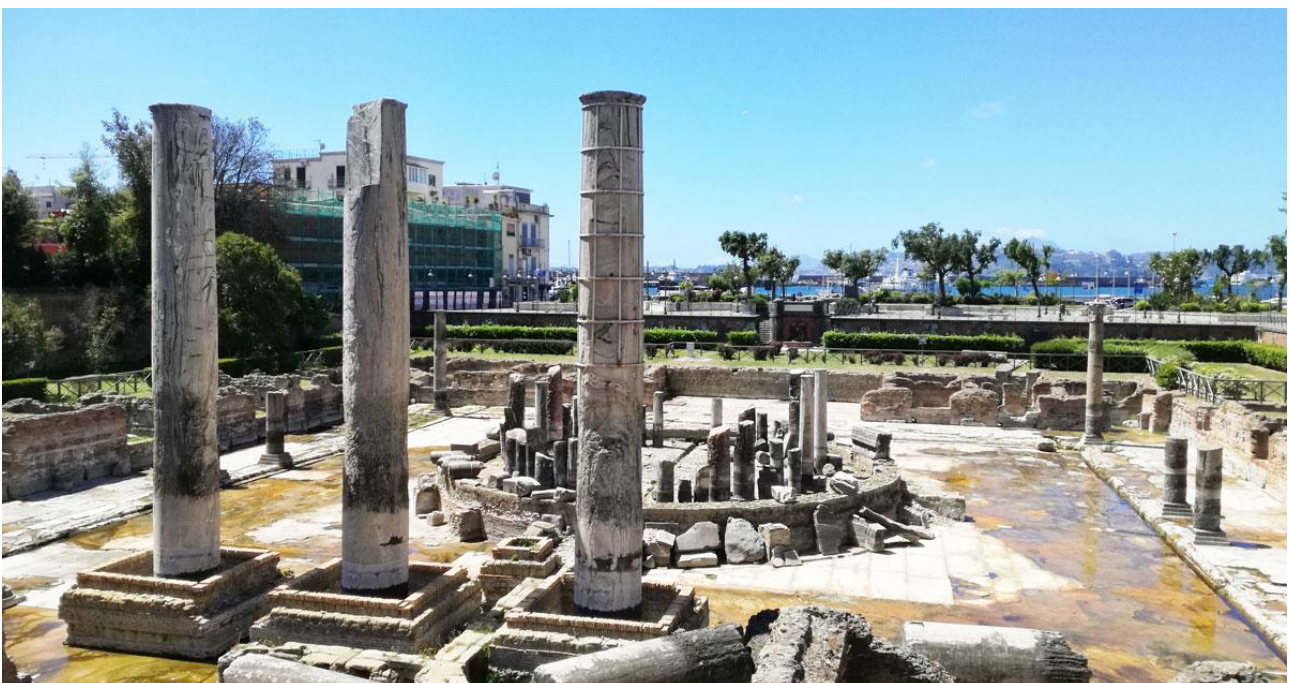
19 - La subsidenza del suolo - In quattro semplici parole

Prof. Antonio Dal Prà - geologo - agosto 2021 - in tempi di pandemia

Madre Natura è molto bizzarra nelle sue azioni, si diverte a scherzare, a giocherellare, e a molestare l'animale uomo. Non soddisfatta di aver sollevato catene montuose, costruito continenti, creato oceani, continua a provocare qua e là strani sollevamenti e abbassamenti del suolo. Sono quelli che i geologi chiamano **bradisismi**, movimenti del terreno solitamente molto lenti e impercettibili, ma che a lungo andare possono creare guai molto seri, soprattutto quando l'uomo ci mette del suo. I bradisismi sono variazioni positive o negative delle quota del suolo che normalmente sono provocate da cause naturali: pressione di gas e vapori vulcanici nel sottosuolo; trasformazioni di masse di anidrite in gesso per idratazione con conseguente aumento di volume; movimenti tettonici; costipamento di sedimenti fini; e altro.

In Italia è famosissimo il bradisismo in atto da molti secoli nella zona dei campi Flegrei, a Pozzuoli presso Napoli. Sentite cosa succede a Pozzuoli e dintorni, dove si manifesta un continuo saliscendi del suolo.

I Campi Flegrei sono un vasto territorio vulcanico, nel quale negli ultimi 40.000 anni sono stati attivi numerosi centri eruttivi. La storia geologica è dominata da due grandi eruzioni esplosive: la prima 15.000 anni fa, la seconda 12.000 anni fa. Questi due terribili eventi hanno formato una vasta caldera, di 15 km di raggio e con una superficie di 450 kmq, che è la struttura più evidente del Distretto Vulcanico Flegreo. Comprende i Campi Flegrei, parte della città di Napoli, le isole di Procida ed Ischia. Ed una parte del golfo di Napoli.



Le famose colonne del tempio di Serapide

Rimarrete stupiti nel leggere che questo complesso eruttivo, tuttora attivo con rilevanti manifestazioni secondarie (emissioni di gas, vapori, acque calde, microsismi.....) costituisce uno dei tre **supervulcani** più pericolosi al mondo, come Yellowstone in U.S.A. e il Lago Toba in Indonesia.

Sono tre bombe potentissime poste nel sottosuolo pronte a scoppiare con effetti disastrosi. Ben più pericoloso del vicino Vesuvio. Quasi nessuno ne parla, ma pare che sia proprio così. Così come quasi nessuno parla della pericolosità del Vesuvio, dalle pendici superurbanizzate, pronto ad esplodere, mettendo in serio pericolo qualche milione di abitanti. Poveri napoletani....

Il bradisismo in atto da secoli nella zona del golfo di Pozzuoli è collegato a questo vasto e insicuro apparato vulcanico. Il fenomeno è caratterizzato da un susseguirsi di periodi di innalzamento e abbassamento del suolo, sembra a partire dal II secolo a.C. Sono ben famose le tre colonne dell'antico tempio romano di Serapide, che mostrano fori di litodomi marini fino ad un'altezza di 6.30 m dal pavimento, ad indicare fasi di sommersione del mare.

Dal 2005 siamo in fase di lento sollevamento, di circa 15 cm/anno. Dal 2012 il suolo si è sollevato di oltre 10 cm. Nel 1538 un parossismo ascendente del bradisismo provocò, in 12 ore, il ritiro della linea del mare di ben 370 m, e un sollevamento del suolo costiero di 7.40 m.

Le cause di questo fenomeno flegreo sono state oggetto di ampi dibattiti da decine di anni, con i soliti litigi tra scienziati e la proposta di varie teorie. Quella attualmente più accreditata attribuisce la causa alle forti variazioni di temperatura delle acque di falda determinate dai fenomeni vulcanici, che determinerebbero forti variazioni di pressione del vapore nel sottosuolo con conseguenti deformazioni della crosta superficiale, e innalzamenti e abbassamenti del suolo ballerino...

Ma ora voglio parlarvi, con parole semplici e comprensibili a tutti, del bradisismo più diffuso al mondo: la ben nota e famosa **subsidenza del suolo**, un movimento che determina un abbassamento lentissimo, continuo e irreversibile del terreno per tempi lunghissimi.

Ad eccezione di casi molto particolari, questo fenomeno interessa materiali sciolti compressibili, come torbe, argille, limi, sabbie fini limose, sabbie fini, e loro miscele. In generale, nei terreni sciolti a grana grossa (come ghiaie e sabbie), la subsidenza è trascurabile, a meno che non intervengano forti cause artificiali. Non colpisce sottosuoli rocciosi.

La subsidenza naturale si manifesta nelle aree dove il sottosuolo è formato da potenti spessori di materiali sciolti di recente deposizione, come i grandi delta alluvionali. Le cause sono ben note e molto studiate, da geotecnici, idraulici, geologi: il forte peso degli strati dei materiali soprastanti provoca il costipamento dei materiali sottostanti, che si comprimono riasestando i loro granuli a spese dei pori intergranulari. In pratica sotto l'azione del peso si determina una diminuzione di volume della massa dei sedimenti dovuta al costipamento, con il conseguente abbassamento del suolo. Per comprendere accuratamente il fenomeno, mi sussurrano gli amici geotecnici, occorre valutare le pressioni in gioco: **la pressione totale, la pressione neutrale, la pressione effettiva....**e via dicendo. Ma in linea generale, il processo è facilmente comprensibile senza scendere nel difficile. Potete verificarlo anche voi: andate in giardino, riempite un vaso di terra fino al bordo senza costiparlo; ora con le mani comprimate il terreno e vedrete che la superficie si abbasserà di un paio di cm, perché i granuli del terriccio si sono riasestati sotto la spinta delle mani ed hanno occupato uno spazio minore a spese dei pori tra i granuli.

Considerate che gli abbassamenti naturali del suolo per subsidenza sono lentissimi, dell'ordine dei mm/anno e sono continui fin dal momento della deposizione dei materiali, da secoli e secoli. **Tuttavia.....** Tuttavia l'uomo, furbastro come il solito e spinto dal profitto a tutti i costi, con i suoi insensati interventi può provocare subsidenze artificiali oppure può contribuire, accelerando, le

subsidenze naturali, e allora gli abbassamenti del suolo possono assumere velocità molto pericolose e determinare gravi conseguenze. Come ci mette il naso l'animale uomo? Con emungimenti di acque sotterranee dalle falde in pressione; con estrazione di metano e petrolio dal sottosuolo; con prosciugamento di paludi; con bonifiche di aree inondate. Certamente la causa principale e più diffusa nel mondo è lo sfruttamento delle falde in pressione, per fornire acqua al fabbisogno umano, alle industrie, all'agricoltura. La depressurizzazione degli acquiferi sotterranei provocata dall'emungimento con pozzi favorisce notevolmente il costipamento dei materiali fini, aumentando l'azione della forza-peso dei materiali soprastanti.

I casi di forti subsidenze per depressurizzazione delle falde sono numerosi e impressionanti in tutto il mondo, con conseguenze disastrose soprattutto nelle città costiere, dove il fenomeno è accompagnato anche dall'aumento del livello marino per lo scioglimento delle calotte glaciali. In questi casi la frequenza delle inondazioni è a volte drammatica.

Il fenomeno è soggetto a studi continui sin dalla fine dell'800. Un recente studio (C.N.R. e Univ. Padova) ha rilevato che potenziali aree di subsidenza coinvolgono 1,2 miliardi di persone e il 21% delle principali città del mondo. Sentite questa: una simulazione al 2040 che prende in considerazione anche gli effetti del cambiamento globale in termini di innalzamento del livello medio del mare, mostra che circa 635 milioni di persone vivranno in aree dove la subsidenza aumenterà il rischio di inondazione. Milioni e milioni di persone abitano nelle aree di delta: basti pensare ad Alessandria d'Egitto, nel delta del Nilo, New Orleans nel delta del Mississippi, Calcutta nel delta del Gange, Bangkok nel delta del Chao Phraya, Shanghai nel delta del Yangtze. Le aree dei delta, che sono fortemente urbanizzate, sono tra le più dinamiche del mondo e sono soggette ad un forte incremento demografico, con la necessità di rilevanti prelievi di acqua dal sottosuolo. E' ben noto che gli apparati deltizi sono costituiti dai sedimenti che vengono trasportati a valle dai fiumi e depositati dove il fiume incontra il mare: centinaia e centinaia di m di spessore di materiali sciolti in parte compressibili, che si compattano sotto il loro peso.

E nel nostro paese come siamo messi? Non molto bene, direi. Anzi abbiamo dei grossi problemi.

La subsidenza interessa molte aree costiere: in Emilia-Romagna, nel Veneto, in Puglia, in Toscana, in Calabria, in Campania, dove l'abbassamento della superficie del suolo è aggravato dall'innalzamento del livello del mare dovuto allo scioglimento dei ghiacci polari.

Negli ultimi 60 anni la fascia costiera da Cesenatico alle foci del Po' si è abbassata da 75 a 100 cm. Da Rimini al Delta si è abbassata di circa 1 m: 55 anni si sono persi 100 milioni di mc di sabbia. I danni sono molto ingenti: sottrazione di spiaggia balneabile, aumento del rischio di ingressioni marine, aumento dell'ingressione del cuneo salino nei fiumi e nel sottosuolo, squilibrio nelle reti idrauliche, fognarie e acquedottistiche, necessità di difese idrauliche a mare. E' da evidenziare che la subsidenza è stata assai spesso aggravata dall'estrazione di metano dalle acque di falda nel sottosuolo, sviluppata dal 1951 al 1962. Infatti nelle aree dei giacimenti si sono misurati gli abbassamenti del suolo maggiori, come nel Ravennate. L'azione deleteria dell'uomo, alla ricerca continua di benefici senza conteggiare le conseguenze all'ambiente che lo circonda, si è manifestata e si manifesta in molte parti nel nostro paese.

Nel Bacino Termale Euganeo, dove si estrae con pozzi acque calde a scopo curativo, è stato rilevato un abbassamento del suolo di 15 mm/a tra il 1970 e il 1986, e di 3-4 mm/a tra il 1992 e il 1996. La causa è collegabile alla depressurizzazione delle falde idriche superficiali, collegate al sistema idrotermale profondo. Sul territorio dei Campi Geotermici Toscani per estrazione di acque

calde e vapore tra il 1973 ed il 1991 si è avuto un abbassamento del suolo di oltre 40 cm in corrispondenza del centro della zona produttiva. A Larderello, nel centro dell'area di sfruttamento dei soffioni, tra il 1923 e il 1986, per qualche km di raggio il suolo si è abbassato per più di 1 m.

Con il prosciugamento di aree sommerse per bonificare zone paludose, o per condurre alla coltivazione aree con suolo saturo d'acqua, si realizzano interventi di drenaggio artificiale, che provocano il prosciugamento del terreno e la conseguente subsidenza del suolo. Nelle zone di Comacchio, tra il 1920 e il 1948 la subsidenza ha raggiunto valori di anche 2.5 m, indotto principalmente dal pompaggio, per abbassare la superficie freatica da 1 a 3 m sotto il p.c.

Vi racconto ora un paio di gravi situazioni di subsidenza nel nostro bel paese, dove l'uomo purtroppo ha messo pesantemente del suo con conseguenze disastrose.

Sentite questa. Nel territorio del Delta del Po', in Polesine, negli anni'50 si scoprì che nel sottosuolo c'era del metano. E ci fu la scorsa allo sfruttamento. Solo che il metano si trovava in emulsione con le acque di falde in pressione contenute in livelli sabbiosi posti tra 250 e 650 m di profondità. Per estrarre il gas occorreva pompare l'acqua sotterranea dai pozzi: 1 mc di gas per 1 mc di acqua. Furono attivi fino a 1500 pozzi, tra gli anni 1951 - 1960. Dal'54 al '58 furono estratti 230 milioni di mc/anno di gas. Nel 1959 si ottennero 300 milioni di mc. La depressurizzazione delle falde provocata dal forsennato pompaggio causò una rapida subsidenza del suolo su un'area di 800-900 kmq, con velocità che raggiunsero i 30 cm/anno e un abbassamento del terreno mediamente di 2 m, con punte locali di oltre 3.5 m. Finalmente il governo decretò nel 1961 la chiusura di tutti i pozzi. La subsidenza rallentò, ma continuò lentamente per alcuni anni. Le falde si ricaricarono ma l'abbassamento fu irreversibile. Gli effetti furono gravissimi: sulle lunghissime arginature dei canali, per centinaia di km; sul sistema di scolo della rete idrografica e della distribuzione della bonifica, che dovette essere ricostruito con tutti i manufatti (ponti, stazioni delle idrovore, chiaviche, manufatti vari), sulle strade, sulle fognature, sulla rete acquedottistica.



Subsidenza: in 20 anni il Polesine è sprofondato di 3 metri e mezzo

E ora parliamo della subsidenza che credo sia la più famosa al mondo, quella che sta interessando Venezia e la sua ampia laguna. Argomento pericoloso, delicatissimo, dal punto di vista sociale, economico, politico. Meglio stare alla larga. Riporto solo alcuni dati, da lontano ...in sicurezza.

State ben attenti però. Il problema delle sempre più frequenti acque alte a Venezia è molto complesso e derivato da vari fattori, che si affiancano pesantemente alla subsidenza: soprattutto l'innalzamento del livello marino, ma anche il vento di scirocco e di bora che talora accompagna le alte maree, e la differenza di pressione atmosferica tra alto e basso adriatico. E' stato calcolato che dall'inizio del secolo scorso fino agli anni '70, la risalita del livello marino al netto della subsidenza è stata a Venezia di 9 cm, lo stesso aumento osservato a Trieste dove non c'è subsidenza perché fondata su roccia.

Gli studi sulla subsidenza veneziana, che contribuisce in modo determinante alle acque alte in città e in laguna, sono molto numerosi, approfonditi, importanti, dettagliati, da parte di studiosi di tutto il mondo, data l'enorme importanza storica ed artistica di Venezia. Sono a disposizione montagne di dati, misurazioni, sperimentazioni, talora contraddittorie.

Dicono i sapienti studiosi che la laguna veneta è da sempre soggetta a subsidenza naturale, fin dal tempo della sua formazione, avvenuta negli ultimi 6000-7000 anni, per riempimento di una parte della depressione adriatica ad opera dei materiali trasportati e depositati soprattutto dai fiumi, materiali in buona parte compressibili: sabbie, limi, argille. Gli studi dicono che l'abbassamento medio del suolo degli ultimi 40.000 anni per costipamento naturale dei sedimenti è stato di 1.3 mm/anno. Di una quindicina di cm dal 1890, di cui gran parte avvenuto tra gli anni '30 e gli anni '70, quando sono intervenute anche cause antropiche, come vi racconterò più avanti. Sotto la laguna ci sono quasi 1000 m di sedimenti, in buona parte compressibili, che si stanno tuttora consolidando e compattando, al ritmo di 1 -1.5 mm/anno.

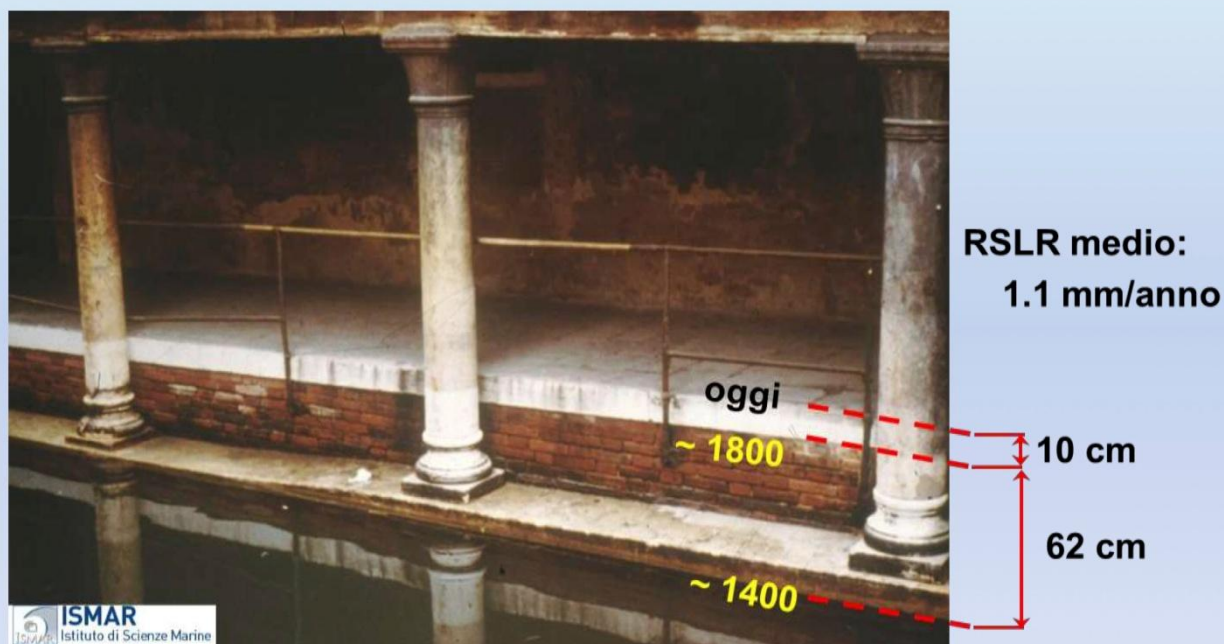
Nei volumi polverosi delle biblioteche esistono cronache antiche sullo sprofondamento di Venezia: si ricorda lo scienziato Cristoforo Sabbadino, ingegnere della Repubblica di Venezia, nel 1500 stimò che l'abbassamento fosse di tre quarti di piede al secolo, meno di 25,5 cm. Gli ingegneri veneti dei secoli scorsi asserivano che "il terreno cala di once 8 ogni cento anni", cioè 22,6 cm. Altri, che Venezia sprofonda di "un piede veneto" al secolo" (34 cm). Per secoli è stato normale per Venezia rialzare pavimenti e selciati a mano a mano che la città si abbassava.

Gli studi eseguiti indicano che dal 1950 al 1970 l'abbassamento del suolo nell'area veneziana è stato importante, di circa 12 cm. Infatti, in quel periodo, all'azione della subsidenza naturale si è sovrapposta la deleteria azione dell'uomo con un massiccio emungimento di acqua dalle falde per le necessità industriali, con centinaia di pozzi. Dagli anni '70 l'estrazione d'acqua dal sottosuolo è cessata per decreto governativo. Ora la subsidenza è dominata solo da cause naturali. Ma ricordatevi che l'abbassamento del suolo per subsidenza è irreversibile. Si possono ripressurizzare le falde iniettando acqua, ma il suolo resta lì, non si solleva. Sperimentazioni di anni scorsi hanno interessato il sollevamento di singoli palazzi, ma Venezia e la sua lagunaè purtroppo grande. Impossibile pensare ad un sollevamento generale.

Ecco alcuni dati significativi sull'abbassamento del suolo, tratti dalle numerose ricerche svolte: nella zona di Marghera-Venezia la subsidenza del terreno è stata da 4 a 6 m dall'epoca preistorica; di circa 3 m dall'epoca romana; di circa 80 cm dal 13° secolo; di 1.80 cm dal 1908 al 1925; di 3.7 cm dal 1942 al 1952; di 5 cm dal 1952 al 1961.

Ci sono stime, fatte da alcuni studiosi, che hanno permesso di calcolare un valore medio, per l'intero centro storico veneziano, di quanta parte della perdita di quota di Venezia negli ultimi 100 anni sia dovuta alla subsidenza naturale, a quella antropica e all'innalzamento del mare per cause climatiche (Piero Teatini, Idraulico dell'Univ. Di PD). Complessivamente nell'ultimo secolo la città ha perso 26 cm, di cui 12 per l'innalzamento del mare, circa 6 cm per subsidenza naturale e circa 8 cm per subsidenza antropica.

Evidenze del RSLR nei secoli



Sollevamento di una pavimentazione pedonale

Per salvaguardare Venezia dalle disastrose acque alte che sempre più frequentemente colpiscono la città è stato costruito il famoso Mose, un sistema di paratoie mobili sommerse che blocca a mare le alte maree pericolose nelle tre bocche di porto della laguna.

A parte il costo enorme della realizzazione (ragazzi, si dice si siano spesi ben 6 miliardi di eu...), le corruzioni che lo hanno avvolto portando gente in galera, il costo salatissimo delle necessarie manutenzioni e del suo funzionamento (pare 600-700 mila euro per manovra), per ora sembra funzionare. I collaudi eseguiti hanno dato i risultati sperati. Ma alcuni studiosi mettono in dubbio la sua efficacia futura. Infatti, con il progredire della subsidenza e soprattutto con il previsto continuo innalzamento del livello marino conseguente ai mutamenti climatici, aumenterà la frequenza delle "acque alte" da laminare e quindi aumenterà la frequenza del sollevamento delle paratoie del Mose. Dicono sempre gli studiosi che la chiusura frequente delle tre bocche, e quindi l'interruzione frequente del rapporto naturale tra mare aperto e laguna, può determinare vari problemi ambientali all'ecosistema lagunare: sulla morfologia, sull'idraulica, sulla vita animale e vegetale, sul chimismo delle acque. E anche problemi economici inerenti alle importanti attività portuali. Se volete saperne di più, vi consiglio vivamente il libro di Luigi D'Alpaos, Ing. e Prof. di

Idraulica: " *SOS Laguna. Salviamo Venezia e la sua laguna dai preditori ingordi e dai tecnici e politici senz'anima*"

Se i mutamenti climatici continueranno a determinare l'innalzamento del livello marino, come molti studiosi sostengono e prevedono, e con la subsidenza in atto inarrestabile, ci saranno tempi durissimi per Venezia e la sua laguna. Forse i nostri discendenti vedranno il campanile di S. Marco emergere piangente dalle acque.