

# ACQUE

# SOTTERRANEE

FASCICOLO 80



## Andate oltre le apparenze.....

Come ridurre i vostri costi di esercizio?



Lo schema Grundfos illustra il ciclo dei costi di esercizio e fornisce supporti utili alle società di approvvigionamento idrico per ottimizzare il funzionamento dei sistemi di pompaggio nel corso del ciclo di vita produttivo.

Grundfos può contribuire alla riduzione dei costi di pompaggio attraverso un'adeguata consulenza tecnica, training specifici, servizi logistici e assistenza post vendita affidabili.

### Cosa intende Grundfos per "costo totale di esercizio"

Le aziende municipalizzate possono controllare o ridurre i propri costi con un'attenta analisi dei costi di esercizio usufruendo di tutti i vantaggi offerti dalla partnership con Grundfos.

Pensare avanti. Analizzare i costi di esercizio. Visitate il nostro sito [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com) o contattate Grundfos Pompe Italia S.r.l. - Uff. Marketing - tel 02 95838112.

BE > THINK > INNOVATE >

GRUNDFOS 

# **Indagine geologica, idrogeologica e idrogeochimica per l'individuazione delle cause di infiltrazione d'acqua in un locale cantina nel centro storico del Comune di Maschito - Potenza**

**Geological, hydrogeological and hydrogeochemical survey to find out the causes of water infiltrations in a basement in the historic center of Maschito – Potenza's Province**

**RAFFAELE CARBONE, CLEMENTE MARCO TUCCI - Geologi**

**GEOTECNO – Studio Associato di Geologia applicata**

**GEOTEST S.A.S. – Laboratorio geotecnico – Indagini in situ – Prospezioni geofisiche – Analisi ambientali**

## **Riassunto**

Il Comune di Maschito (PZ) ha incaricato i redattori del presente articolo di indagare sulle cause delle abbondanti infiltrazioni d'acqua presenti in un locale cantina di via Vespucci e Corso F.lli Giura nel centro storico del piccolo centro lucano. Allo scopo, è stato effettuato un rilevamento geologico di dettaglio (base topografica in scala 1:500) dell'area interessata e delle aree limitrofe per avere una visione generale del quadro geologico, geomorfologico ed idrologico d'insieme.

Sono stati, altresì, terebrati due sondaggi a rotazione e carotaggio continuo ed è stata effettuata una fitta serie di analisi chimiche e batteriologiche delle acque presenti nel locale stesso e di quelle campionabili in uno dei fori di sondaggio, nella "sorgente della Noce" e nella rete idrica comunale, ciò allo scopo di risalire all'origine delle infiltrazioni, anche in riferimento ad eventuali problemi di stabilità statica del complesso edilizio interessato.

Nel corso dello studio, inoltre, attraverso una "prova di pompaggio con risalita", si è tentata l'applicazione delle note espressioni di idrodinamica in regime transitorio di C.V. Theis (1935), L.K. Wenzel, (1942) e C.E. Jacob, (1950) al caso particolare, dove le condizioni al contorno sono decisamente diverse da quelle classiche presentate dagli AA.AA., e si sono confrontati, con un buon margine di successo, i risultati ottenuti con quelli di un test per la misura diretta della permeabilità con l'immissione di fluo-resceina sodica. In ultimo, si sono suggerite ipotesi di risoluzione del problema al fine di eliminare l'afflusso idrico nel locale interrato, sia per venire incontro al disagio dei residenti nell'unità abitativa interessata, sia, più complessivamente, per rispondere alla richiesta dell'Amministrazione Comunale di "individuazione degli interventi mirati a preservare la pubblica incolumità".

## **Abstract**

*The municipal administration of Maschito (PZ) has charged the writers of the present article to investigate the causes of plentiful water infiltrations in a basement placed between via Vespucci and Corso F.lli Giura in the historic centre of the little town. To this end, a detailed geological survey (topographical scale 1:500) of the interested area and the neighbouring areas has been carried out to have a general view on the overall geological, geomorphical and hydrological map. Moreover, two rotation borings and conventional coring have been drilled, and a great deal of chemical and bacteriological analyses have been carried out on the waters in the basement itself, as well as on samples of water in one of the boring holes, in the "source of the Noce" and in the municipal waterworks.*

*All this has been done in order to go back to the origin of the infiltrations and also to check any problems concerning with static stability of the building.*

*Further, during the survey, through a "pumping test with recovery test", application has been tried of the well-known expressions of hydrodynamics in a transitory state by C.V. Theis (1935), L. K. Wenzel (1942) and C.E. Jacob (1950), to the particular case in which the conditions are different from the standard ones presented by the AA.AA.; comparisons have been successfully made between the obtained results and the results of a test for the direct measurement of permeability through introduction of sodic fluoresceina. In the end, hypotheses for the solving of the problem have been suggested in order to remove the water inflow in the basement both to the towards the discomforts of the basement inhabitants and to meet the Municipal Administration request for "individuating interventions aimed at preserving public safety".*

## Premessa

I problemi di infiltrazione d'acqua in manufatti di vetusta costruzione hanno spesso rappresentato, soprattutto nei centri storici, una delle cause di palese disagio per i residenti e, talvolta, un evidente motivo di preoccupazione per le Amministrazioni Comunali riguardo alla potenziale instabilità delle strutture di interi complessi edilizi e il conseguente pericolo per la incolumità stessa dei cittadini.



Foto 1 - Veduta d'insieme della cantina oggetto di infiltrazioni.

A ciò, come nel nostro caso, solitamente si aggiunge la difficoltà di individuazione delle cause, sia per l'impossibilità di esecuzione di indagini geognostiche adeguate, sia perché il quadro della situazione risulta complicato dalla presenza di fitte reti di servizio (acquedotto e fognatura), il più delle volte fatiscenti, le cui perdite spesso si sovrappongono a presenze idriche nel sottosuolo del tutto naturali (Foto 1).

E' evidente che l'individuazione certa delle cause risolve grossi problemi di responsabilità ed evita contenziosi spesso annosi che, nell'incertezza, costringono gli Enti pubblici ad impegnare notevoli risorse finanziarie.

Lo studio, finanziato dal Comune di Maschito (PZ), si è avvalso, oltre che delle normali tecniche di rilevamento geologico, idrogeologico e geomorfologico, di due sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo, del rilievo dei principali parametri idrodinamici delle acque del sottosuolo e di una fitta sequenza di analisi chimiche e batteriologiche delle acque stesse.

In conclusione, si sono suggerite ipotesi di risoluzione del problema al fine di migliorare la fruibilità dei locali interessati e la vivibilità delle unità abitative in elevazione, nonché di assicurare la staticità del complesso edilizio nella sua interezza.

## Inquadramento geologico

Nell'area investigata è stato eseguito un rilevamento geologico riportato su base topografica in scala 1:5000 (Fig.1). Il rilevamento ha permesso di evidenziare nel sito di

interesse la presenza dei seguenti tipi litologici: calcari marnosi biancastri e/o giallastri, spesso polverulenti, frammentati a marne ed argille marnose giallastre e/o bluastre (Formazione della Daunia).

Si tratta di sequenze di strati argillosi, marnosi, calcarei, arenacei e da ammassi a struttura caotica costituiti da blocchi lapidei di varie dimensioni e di diversa natura, inglobati in un assieme argilloso.

In tutto il Complesso sono molto evidenti i segni di una accentuata tettonizzazione; tenuto conto di ciò, il comportamento meccanico di detti terreni è generalmente determinato dalla risultante della associazione di componenti rigide, rappresentate dai litotipi lapidei, e da componenti plastiche, quali le argille e le marne, facilmente deformabili in presenza d'acqua.

Pertanto, ne conseguono, in generale, condizioni di bassa rigidità e, talora, di marcata plasticità laddove le componenti argillose prevalgono in percentuale sulle lapidee. Nella carta geolitologica, inoltre, sono stati cartografati i principali punti d'acqua presenti.

In particolare, si è posto l'accento sulla fontana della Noce, sorgente dalla portata significativa (circa 3 l/m), che, ubicata ben al di fuori dell'abitato, scaturisce da un acquifero costituito dagli stessi litotipi affioranti nella zona di interesse e il cui chimismo non è certamente influenzato dalla rete dei servizi (acquedotto e fognatura) presenti nel paese.

Le analisi chimiche delle acque di sorgente, come si dirà più diffusamente in seguito, sono state confrontate con quelle prelevate nel foro piezometrico n. 1 e nel locale cantina in questione.

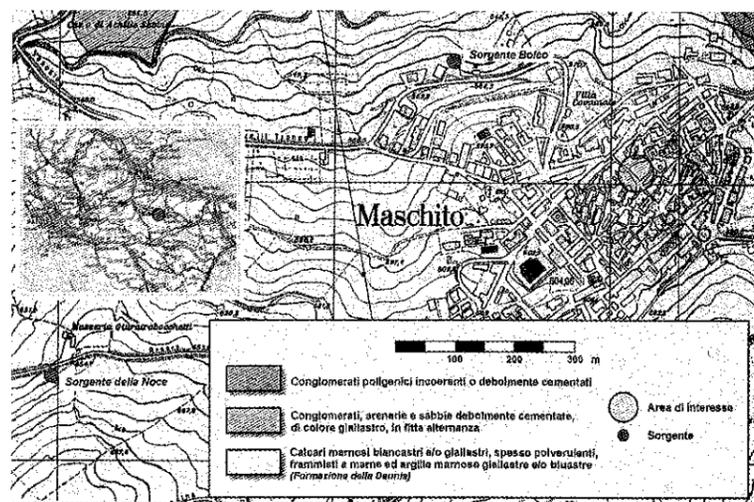


Figura 1 - Carta geologica.

## Inquadramento geomorfologico ed idrogeologico

L'area indagata si presenta con acclività variabili ed è posta ad una quota di circa 590 m. s.l.m..

Nel comprensorio i corsi d'acqua presentano regime torrentizio fortemente dipendente dalla quantità di precipitazione nelle diverse stagioni climatiche e quindi, dalla loro

intensità e distribuzione temporale.

Il rilevamento non ha evidenziato forme di dissesto in atto o potenziali; d'altra parte le caratteristiche tecniche dei litotipi affioranti confortano l'osservazione di sostanziale stabilità dell'area stessa.

Il territorio di Maschito ricade nel bacino idrografico del fiume Ofanto, in un dominio climatico di tipo mediterraneo. Riguardo alla idrografia, le medie mensili delle precipitazioni per la stazione pluviometrica Venosa, relative al periodo 1951-1992 (la stazione di rilevamento è ubicata a pochi chilometri dall'area di interesse), sono riassunte nel grafico riportato in Fig. 2.

Come si evince, il periodo più piovoso coincide con i mesi di ottobre, novembre e gennaio con valori medi mensili, nel periodo considerato, oscillanti tra 68 e 84 mm. Più in generale, la maggior parte delle precipitazioni è concentrata nel semestre autunno-inverno.

L'estate coincide con un periodo di precipitazioni minime, particolarmente nei mesi di luglio e agosto durante i quali la media delle precipitazioni oscilla tra 8 e 36 mm mensili.

Durante i mesi autunnali ed invernali sono possibili, anche se poco probabili, precipitazioni anche di 30 mm concentrate in sole 12 ore.

In linea di massima, inoltre, le variazioni della precipitazione totale annua nel quarantennio preso a riferimento non sono significative per cicli pluriennali (media di 721.4 mm).

Pertanto, non si possono ipotizzare variazioni nel regime idrogeologico dell'area legate alle precipitazioni, se non quelle degli acquiferi più superficiali che risentono maggiormente delle variazioni annuali e, soprattutto, di quelle stagionali.

Per quanto riguarda le temperature, nella stessa Fig. 2 sono riportati in forma grafica i valori medi mensili dello stesso periodo di riferimento (1951-1992) e per la stazione

di rilevamento Lavello (stazione termometrica più prossima al sito di interesse).

Il valore medio annuale (corrispondente a 14.5 °C) e quello della precipitazione media annuale permettono una valutazione della evapotraspirazione reale (ETR) secondo la formula di L. Turc (1978):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

dove:

$L = 300 + 15 T + 0.05 T^3$  (T e P rispettivamente precipitazione e temperatura media annuale)

Dal calcolo risulta:

$$ETR = 502.7 \text{ mm.}$$

Pertanto, la Precipitazione Efficace

$$PE = P - ETR = 218.7 \text{ mm}$$

Il dato, ovviamente, è indicativo e rappresenta una prima base per valutazioni puramente qualitative della infiltrazione efficace che permette la ricarica dei sistemi idrogeologici sotterranei.

Intanto il valore è abbastanza basso se confrontato con bacini di importanza idrogeologica significativa e la partizione convenzionale in ruscellamento ed infiltrazione, utile per la valutazione della risorsa idrica sotterranea, non è nel nostro caso, per mancanza di stazioni idrologiche di rilevamento, supportata da dati di alcun tipo, se non quelli relativi alla portata delle piccole sorgenti presenti nel territorio indagato.

Comunque, il potere ripartitore del suolo alla nostra scala di osservazione è regolato da due fattori determinan-

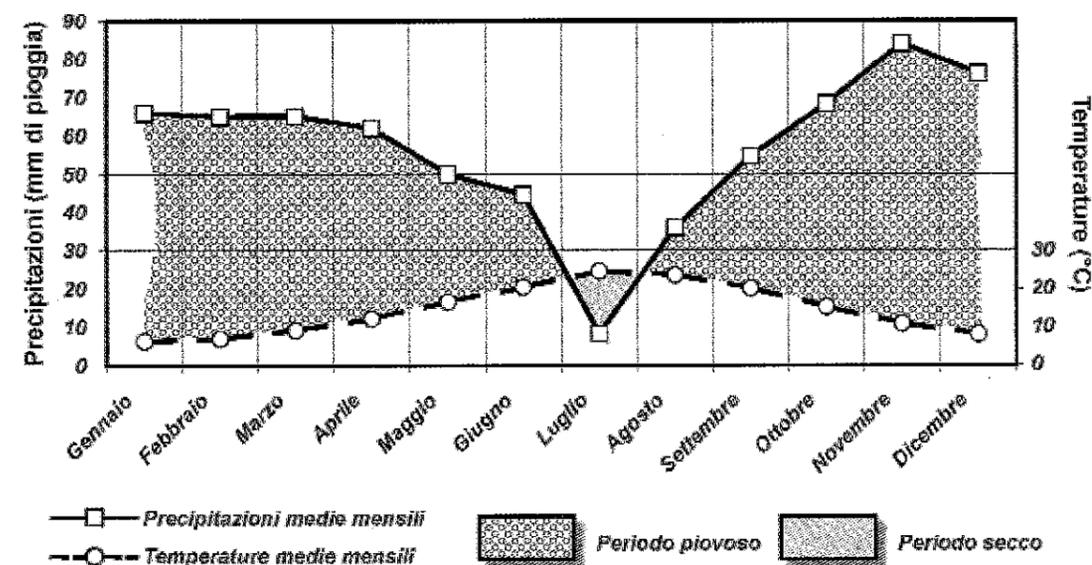


Fig. 2 - Termopluviogramma - Periodo di osservazione 1951-1992.

ti: geomorfologia e litostratigrafia.

Da questo punto di vista, la natura dei litotipi affioranti, l'andamento medio della superficie topografica e la distribuzione temporale delle precipitazioni, spesso concentrate, permettono, in maniera del tutto qualitativa, di considerare che il rapporto percentuale fra le infiltrazioni e le precipitazioni efficaci è molto basso, dell'ordine del 10-20%.

Da un punto di vista strettamente idrogeologico, infatti, i terreni affioranti risultano caratterizzati da una permeabilità molto variabile, in genere bassa o scarsa, per cui la possibilità di accumuli idrici profondi è legata fondamentalmente alla disarticolazione dei litotipi, fortemente tettonizzati, e/o alla variazione delle caratteristiche granulometriche locali.

L'eterogeneità del tipo litologico e la sua conseguenza sulla distribuzione delle acque sotterranee nel sottosuolo viene confermata da esperienze di captazione effettuate in altre aree dagli scriventi nello stesso deposito fliscioide: esse hanno messo in luce che di rado si rinvenivano in questi terreni livelli idrici di rilevante interesse idrogeologico, se non piccoli accumuli captabili ad esclusivo uso domestico.

I punti d'acqua presenti nell'area (fontana della Noce, fontana Boico, fontana Scanderberg) sono legati, infatti, ad accumuli idrici relativamente potenti in corrispondenza di passaggi da litotipi litoidi fratturati (calcarei e calcareniti) a marne argillose ed argille impermeabili.

Questa situazione idrogeologica, legata evidentemente all'alternanza delle componenti lapidee e terrigene tipiche del complesso fliscioide affiorante, comporta, quindi, laddove la fratturazione dei litotipi litoidi è più accentuata, piccoli accumuli idrici localizzati e sovrapposti, spesso di scarso o nullo interesse idrogeologico dal momento che gli spessori calcarei e calcarenitici sono di ordine decimetrico, raggiungendo al massimo valori di qualche metro.

Questa situazione stratigrafica è presente anche nel sito di interesse. Qui è opportuno sottolineare che, da un'indagine conoscitiva effettuata nel corso dei numerosi sopralluoghi, risulta che molti sono i cantinati del centro storico dell'abitato interessati da infiltrazioni d'acqua che, evidentemente, sono legate, come già detto, al frequente passaggio dai litotipi calcarei e calcarenitici fratturati alle componenti argillose con conseguente accumulo di piccoli livelli idrici.

Un'altra costante di questi piccoli rinvenimenti è la salinità delle acque che appare anomala perchè elevata: il pozzo esistente in passato nelle immediate vicinanze del locale cantina in questione era, infatti, denominato salato.

#### Stato dei luoghi e stratigrafie dei fori piezometrici

Il locale cantina si sviluppa perpendicolarmente al Corso F.lli Giura, lungo la via Vespucci, con la parete di monte posta ad una distanza dal bordo esterno dell'asse dello stesso Corso di circa 9.50 m.

Il locale cantina, inoltre, presenta un'altezza massima di circa 3.20 m ed una minima di circa 2.30 m, per uno sviluppo longitudinale, parallelo a via Vespucci, di circa 16.50 m.

Alla base della parete di monte, assolutamente non protetta, presentandosi in terreno naturale, è presente, in corrispondenza del passaggio stratigrafico da calcarenite fratturate a termini schiettamente argillosi, la venuta d'acqua di cui al presente studio.

Tale venuta è convogliata in un pozzetto e da qui evacua dal locale a mezzo di un piccola pompa elettrica. Attualmente il quantitativo d'acqua estratto è di difficile determinazione, ma dovrebbe aggirarsi in circa 100-150 l/giorno.

A monte del locale in questione, in aderenza allo stesso, è presente un'altro locale cantina interrato. Il locale si sviluppa longitudinalmente per circa 8.0 m ed ha piano di calpestio posto a quota superiore di circa 1.20 m rispetto a quello precedente.

In questo locale è presente umidità diffusa che, però, non si traduce in vere infiltrazioni d'acqua, evidentemente perchè la quota del locale stesso permette solamente risalite capillari delle acque poste a maggiore profondità.

Sul C.so F.lli Giura sono stati terebrati due fori spia attrezzati con piezometro a tubo aperto (Foto 2).



Foto 2 - Esecuzione del sondaggio 1.

La posizione dei fori è riportata in Fig. 3 mentre la stratigrafia completa del Sondaggio 1 (più significativo) è riportata nella Fig. 4.

Si tratta di fitte alternanze di termini litoidi fratturati (calcarei e calcareniti) e argille limose, spesso con concrezioni calcaree biancastre, a luoghi brecciate.

Di rilievo, in particolare, è il fatto che, mentre nel foro piezometrico n. 1, impostato sull'asse del locale cantina in questione, è stato rinvenuto un livello idrico alla profondità di 4.50 m (il livello di rinvenimento è stato a - 4.20 m; evidentemente la trivellazione ha permesso una dispersione nei livelli permeabili sottostanti), il foro piezometrico n. 2 è risultato praticamente secco (questo conferma che la circolazione idrica sotterranea è legata a situazioni estremamente localizzate, strettamente connesse al grado di

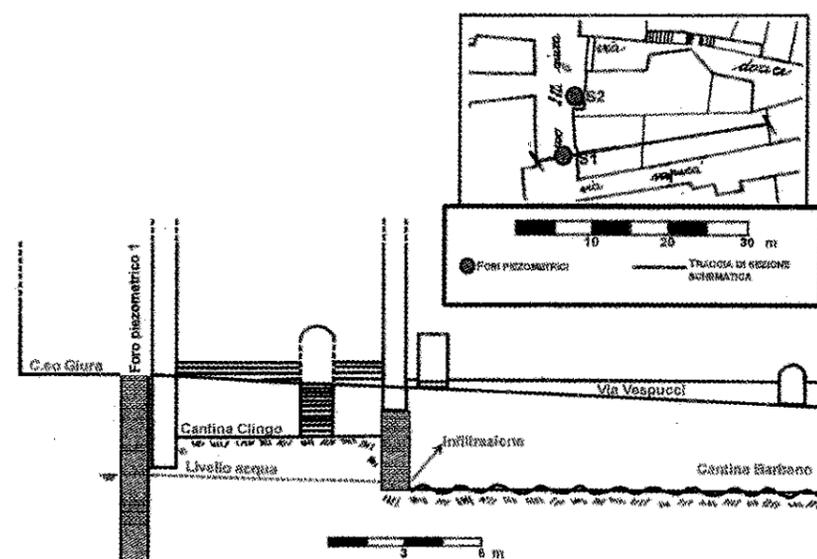


Fig. 3 - Ubicazione sondaggi e sezione schematica.

fratturazione dei litotipi).

La stratigrafia della parete di monte del locale cantina, alla base della quale sgorga l'infiltrazione d'acqua, è riportata in Fig. 3 insieme ad un rilievo schematico della situazione da C.so F.lli Giura verso via Vespucci.

Come si evince, anche in questo caso si tratta di alternanze di argille grigie con noduli calcarei di alterazione e blocchi calcarei e calcarenitici fratturati disposti a frangimento con inclinazione sull'orizzontale di circa 30°- 40°; i livelli litoidi hanno spessori ridotti di 40-50 cm.

Il livello idrico individuato nel sondaggio n. 1 sembra avere continuità con il sottostante rinvenimento di acque nella cantina stessa.

Questo dato è fondamentale per la comprensione della dinamica dello scorrimento delle acque sotterranee, per la lettura delle analisi chimiche successivamente presentata, nonché per la definizione degli interventi atti a limitare il fenomeno di infiltrazione. Nel corso dell'esecuzione del foro spia n. 1, infine, è stato prelevato un campione di argilla limosa marroncina (profondità 4.50 - 4.70 m) su cui

è stata eseguita, a cura della GEOTE-ST s.a.s. l'analisi granulometrica (Fig. 5) e una Prova di Permeabilità a Carico variabile. Da quest'ultima si ottiene un valore del coefficiente K pari a  $7 \cdot 10^{-9}$  cm/s, sicuramente compatibile con l'ipotesi di letto impermeabile per falda contenuta nella roccia serbatoio rappresentata dall'esiguo spessore sovrastante di calcarenite fratturata.

#### Prova di permeabilità con fluoresceina sodica

Al fine di valutare il coefficiente di permeabilità K della calcarenite fratturata che ospita il livello idrico che viene convogliato nel locale cantina, è stata effettuata una prova di immersione con acqua additivata con fluoresceina sodica ( $C_{20}H_{10}O_2Na_5$ ) nel foro piezometrico n. 1 (Foto 3).

La fluoresceina, innocua e ben solubile in acqua, conferisce alla soluzione un caratteristico colore verde-giallo e viene rilevata ad

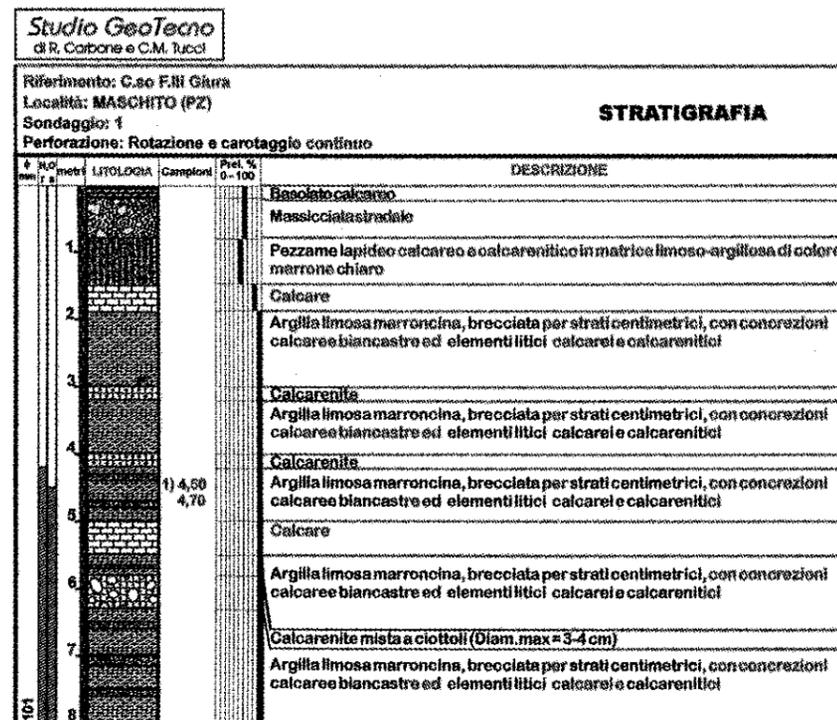
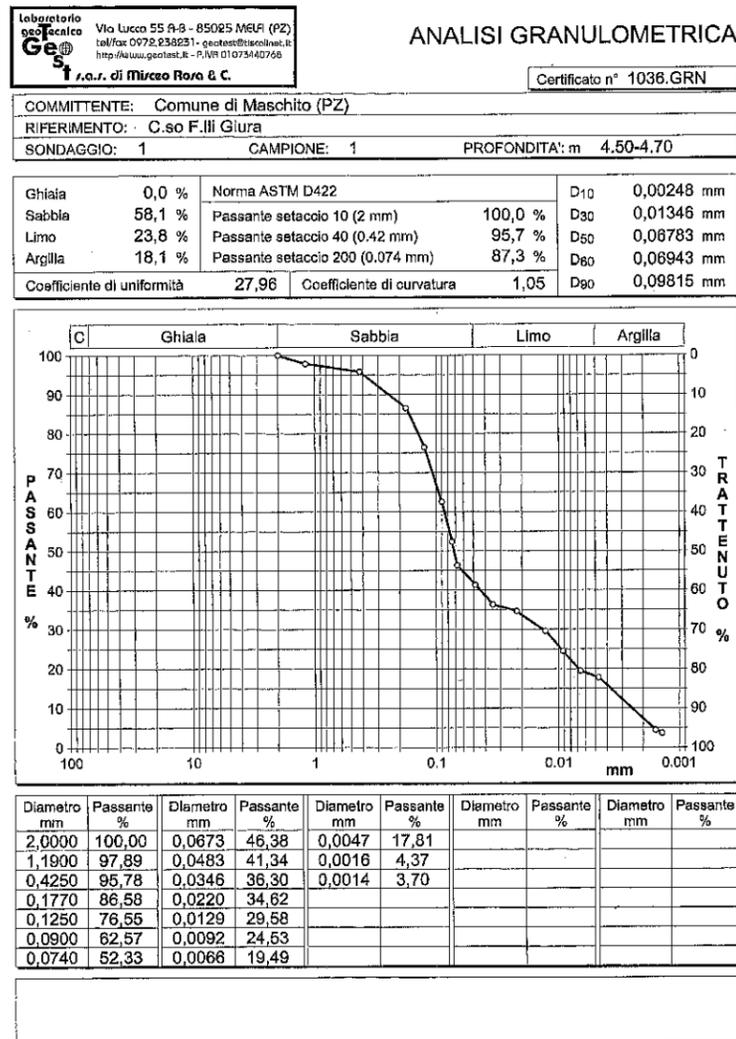


Figura 4 - Stratigrafia del sondaggio 1.



occhio nudo fino a concentrazioni di 150-200  $\mu\text{g/l}$  (la concentrazione nella soluzione immessa è stata di 250  $\mu\text{g/l}$ ). Calcolando una distanza di circa 10 m tra il punto di immissione e quello di rinvenimento (locale cantina) e un tempo pari a circa 4 giorni (circa 3 giorni e 20 ore), il coefficiente di permeabilità è risultato pari a circa  $3 \cdot 10^{-3}$  cm/s.

#### Analisi chimiche e batteriologiche delle acque

Allo scopo di verificare le caratteristiche chimiche e batteriologiche delle acque, sono stati prelevati numerosi campioni in corrispondenza di quattro punti d'acqua (Foto 4):

- locale cantina;
- foro spia n. 1;
- Sorgente della Noce;
- acqua di rete (in corrispondenza della fontanella prossima alla Chiesa Madre di Maschito).

La scelta dei punti di campionamento e dei parametri chimico-batteriologici da verificare è stata determinata dalle seguenti considerazioni:

- la necessità di caratterizzare al meglio le acque di infiltrazione nel locale cantina per poter addvenire alla individuazione della provenienza delle acque stesse (acque di falda e/o perdite dalle reti di servizio del Comune di Maschito);
- la necessità di confrontare i parametri chimico-batteriologici delle acque suddette con quelle del foro spia n. 1 in modo da ricostruire il percorso a breve delle acque stesse;
- l'opportunità di confrontare le analisi delle acque di cui ai primi due punti d'acqua con quelle della Sorgente che si trova più in quota - circa 50 m più a monte - (Sorgente della Noce), fuori dall'abitato e, quindi, sicuramente non influenzata da eventuali perdite nei servizi comunali;
- verificare, attraverso l'analisi anche delle acque di rete, la possibilità che l'infiltrazione sia legata

Fig. 5 - Analisi granulometrica del campione prelevato nel sondaggio 1.



Foto 3 - Immissione della fluoresceina sodica nel foro piezometrico n. 1



Foto 4 - Prelievo del campione d'acqua nel locale cantina.

Parametri	Campione cantina	Campione foro piezometrico 1	Sorgente della Noce	Acqua di rete
pH	7,60	7,46	7,22	****
Conducibilità ( $\mu\text{S}$ )	1020	1068	506	****
Cloruri (mg/l)	79,20	88	12,8	****
Solfati (mg/l)	64,50	101	14	****
Nitrati (mg/l)	147,60	112	75	<2
Nitriti (mg/l)	Assenti	0,28	<0,03	Assenti
Bicarbonati (mg/l)	322	280	247	187
Fosfati (mg/l)	0,10	1,2	<1,0	****
Sodio (mg/l)	51,50	****	****	****
Potassio (mg/l)	33,50	25	<2	****
Calcio (mg/l)	158,60	122	103	****
Magnesio (mg/l)	9,70	6,3	4,9	****
Durezza ( $^{\circ}\text{F}$ )	43,5	33	27,8	20,2
Azoto ammoniacale (mg/l)	Assente	<0,2	<0,2	<0,2
Ossidabilità (ppm $\text{O}_2$ )	0,42	0,61	0,33	0,40
Esame batteriologico	Negativo	Positivo (flora microbica mista con prevalenza gram +)	****	****

\*\*\*\* Parametro non analizzato

a perdite delle condotte delle acque bianche.

I risultati delle analisi sono riportati di seguito in tabella.

Per ciascun punto d'acqua sono stati prelevati due campioni per un controllo più accurato dei risultati. Dalle analisi si evince che:

- le acque campionate hanno pH leggermente basico in tutti i casi (esclusa l'acqua di rete per la quale non si è ritenuta necessaria la determinazione) e, quindi, anche nella *Sorgente della Noce*;
- la conducibilità è molto elevata nei campioni prelevati nella *cantina* e in quelle del foro spia n. 1 ( $> 1000 \mu\text{S}$ ) (acque salate), mentre le acque della *Sorgente della Noce* hanno una conducibilità pari alla metà (506  $\mu\text{S}$ ) che, però, risulta comunque più elevata di quella delle acque ad uso potabile, attestandosi quest'ultima normalmente intorno ad un valore medio di circa 400  $\mu\text{S}$ .

Il dato, insieme alle considerazioni espresse in precedenza circa quanto riportato da cittadini abitanti in prossimità del sito di stretto interesse, indica una tendenza delle acque del sottosuolo del territorio ad avere una elevata salinità dipendente, evidentemente, dai litotipi attraversati, salinità che aumenta con il percorso dal *bacino di alimentazione* al punto d'acqua considerato;

- il contenuto in Nitrati, parametro molto importante ai fini della individuazione di eventuali fonti di inquinamento organico, risulta elevato nelle acque della *cantina* (147,60 mg/l), confrontabile con quello del *foro spia n. 1* (112 mg/l), superiore a quello delle acque della *Sorgente della Noce* (75 mg/l). Se si considera, comunque, che la concentrazione di nitrati nelle acque superficiali o sotterranee per cause naturali è in genere di frazioni o di alcune unità di mg/l [USEPA, 1988], si conclude che livelli più alti possono essere raggiunti solo come conseguenza di apporti

dovuti ad attività antropiche. Tra le attività antropiche più indiziate ci sono l'inquinamento da fertilizzanti usati in agricoltura e le perdite da rete fognante.

Ora, il valore comunque molto elevato presente nelle acque della *Sorgente della Noce* può far solo ipotizzare l'uso dei fertilizzanti, trovandosi la sorgente abbondantemente al di fuori dell'abitato di Maschito; ciò non può far escludere del tutto che la maggior concentrazione dei nitrati nelle acque della cantina sia dovuta anche all'apporto di perdite dalla prospiciente rete fognante, ma non permette nemmeno di escludere che il *maggior carico* possa essere legato al più lungo percorso delle acque di falda dal bacino di alimentazione al punto di campionamento, con maggior contaminazione, quindi, con terreni sicuramente trattati con fertilizzanti chimici e/o naturali (la *Sorgente della Noce* si trova ad una distanza in linea d'aria dal sito di interesse di circa 1 km);

- in riferimento al punto precedente, vi è da considerare che, da notizie acquisite dai tecnici comunali, la rete fognante corre lungo il C.so F.lli Giura ad una profondità rispetto al piano stradale inferiore a 1,50 m; se l'infiltrazione d'acqua nella *cantina* fosse legata esclusivamente a perdite della suddetta rete fognante, la venuta d'acqua si dovrebbe riscontrare in corrispondenza del passaggio dai litotipi litoidi fratturati alle argille impermeabili che si rileva nella parte più alta della parete stessa, piuttosto che al successivo *passaggio* ad una quota decisamente inferiore, così come avviene;

- l'esame batteriologico, positivo per il foro piezometrico e negativo per il locale cantina, che pare confermare, anche se parzialmente, perdite dalla rete fognante, potrebbe essere spiegato invocando il potere filtrante e di depurazione degli strati di terreno attraversati dall'acqua prima di giungere nel locale cantinato stesso; ma tale attraversamento è

talmente breve (circa 10 m) che si potrebbero ipotizzare anche localizzate concentrazioni di coliformi nel sito del foro spia n. 1 dovute, per esempio, a piccole perdite dagli scarichi fognanti delle utenze più prossime al sito stesso, senza necessariamente invocare perdite dalla rete fognante comunale;

• L'ossidabilità, determinata con  $\text{KMnO}_4$ , è simile per tutti e quattro i campioni prelevati (valore massimo di 0.42 ppm  $\text{O}_2$  per il campione cantina e valore minimo di 0.33 ppm  $\text{O}_2$  per la Sorgente della Noce); ciò significa che non vi sono grosse differenze di contenuto in sostanze organiche nei campioni analizzati, il che fa supporre l'attuale assenza di contaminazioni imputabili a perdite da rete fognante. Tale assunto viene confermato dalla scarsa presenza dello ione ammonio e dalle tracce dello ione nitrito; altrettanto non è possibile dire riguardo alle concentrazioni relative dei parametri cloruri e solfati nei campioni cantina e foro piezometrico che fanno, invece, pensare, se pur in maniera limitata, a contaminazioni di origine antropica.

### Prova di pompaggio con risalita

Nel foro piezometrico n. 1 è stata effettuata una prova di pompaggio con risalita (Fig. 6) al fine di valutare la rispo-

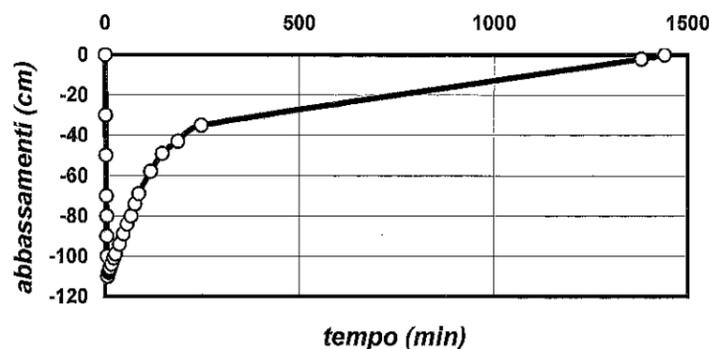


Fig. 6 - Prova di pompaggio con risalita.

sta dell'acquifero all'emungimento e, soprattutto, per verificare la rapidità dell'acquifero stesso al recupero. Nella scelta, se pur obbligata, delle indagini geognostiche si era pensato di utilizzare il sondaggio n. 2 come piezometro e, in alternativa, il livello di infiltrazione dell'acqua nel locale cantina.

Come già detto, il sondaggio n. 2 è risultato secco e nel locale cantina si sono incontrate insormontabili difficoltà operative.

Pertanto, la misura degli abbassamenti progressivi e della successiva risalita del livello dell'acqua è stata eseguita nel solo foro spia n. 1, utilizzato anche come pozzo in emungimento.

Si è testata, quindi, l'applicabilità delle espressioni di idrodinamica in regime transitorio di C.V. Theis (1935), L.K. Wenzel, (1942) e C.E. Jacob, (1950), pur nella consapevolezza dei limiti imposti dalla situazione (l'acquifero è di modestissime dimensioni, la portata da emungere era irrisoria, i tempi di realizzazione della prova erano necessariamente brevissimi, etc.).

Si è effettuata la prova utilizzando una piccola pompa con portata costante di 0.75 l/min. I dati del pompaggio sono stati riportati su scala semilogaritmica (Figura 7) e i punti ottenuti hanno permesso di tracciare la retta media rappresentativa dell'espressione di C.E. Jacob e, quindi, di calcolare la Trasmissività dell'acquifero:

$$T = 0.183 Q/c$$

Dove:

T = Trasmissività ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

Q = Portata ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

c = abbassamenti in un modulo logaritmico (m).

Nel nostro caso:  $Q = 1.25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $c = 1.05 \text{ m}$ . Il valore di c è stato ricavato, per la rapidità della prova, prolungando la retta rappresentativa fino ad intercettare il valore dell'ordinata corrispondente al tempo di 1000 s (anche questa procedura grafica rientra nelle approssimazioni insite nella sperimentazione).

Ovviamente, non avendo a disposizione un piezometro posto a distanza x (come previsto dalle condizioni di applicabilità citate), non è stato calcolato il coefficiente di immagazzinamento. Il valore di trasmissività così ricavato è risultato pari a  $2.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Calcolando dalla stratigrafia del foro piezometrico uno spessore del livello acquifero di circa 0.20 m, si ottiene, per la definizione stessa di trasmissività, un valore del coefficiente di permeabilità pari a circa  $1.16 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$ , abbastanza simile a quello ricavato con la prova con fluoresceina sodica ( $3 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$ ).

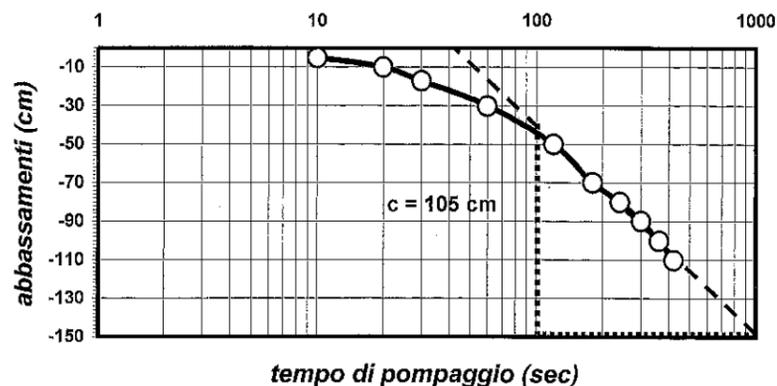


Fig. 7 - Prova di pompaggio - Retta rappresentativa profondità/tempo di pompaggio in discesa

I risultati ottenuti, inoltre, confermano che l'applicazione dell'espressione di C.E. Jacob è accettabile con i dati relativi al solo pozzo in emungimento quando le depressioni misurate nel foro sono dovute, in analogia con quanto avviene nei piezometri, soltanto alla formazione acquifera (assenza di turbolenza provocata dal pompaggio).

A parte il tentativo di applicare ad un caso così particolare espressioni di idrodinamica sotterranea ottenute da AA.AA. per acquiferi di ben altra importanza idrogeologica, dalle risultanze della prova rimane, in ogni caso, la considerazione del lento recupero della falda dopo l'emungimento (il pieno recupero nella prova di portata effettuata è avvenuto, infatti, a distanza di circa 24 ore, contro un tempo di pompaggio di soli 7 minuti).

### Considerazioni conclusive

Da quanto emerso dall'insieme delle indagini effettuate, quindi, si può concludere che certamente nel sottosuolo del sito di interesse è presente una piccola falda freatica legata all'alternanza nella stratigrafia di termini litoidi calcarei e calcarenitici fratturati con argille impermeabili, così come accade a più livelli in tutto il vasto comprensorio di affioramento del complesso fliscioide rilevato.

Pertanto, le infiltrazioni nel locale cantinato sono sostanzialmente attribuibili all'emergenza di tali acque in corrispondenza della zona di scaturigine presente nel locale stesso.

A tal proposito, inoltre, è sintomatico il fatto che durante i periodi con precipitazioni meno abbondanti le infiltrazioni d'acqua nel locale cantina in questione tendono a diminuire, se non a scomparire del tutto, a conferma dello stretto legame esistente fra queste ed acquiferi superficiali di piccole dimensioni il cui regime è fortemente dipendente dall'andamento stagionale delle precipitazioni stesse.

Al contrario, se le infiltrazioni fossero legate a perdite dalle reti di servizio, nel periodo estivo queste dovrebbero essere più abbondanti dal momento che le utenze aumentano notevolmente per il rientro degli emigranti.

D'altra parte le analisi batteriologiche fatte eseguire in passato dalla proprietaria dei locali, se lette in ordine cronologico, confermano che la presenza della carica batterica e dei coliformi totali e fecali si è ridotta progressivamente nel tempo, fino ad essere, attualmente, del tutto assente.

Ciò non fa escludere del tutto che piccoli apporti da perdite di rete fognante ci siano stati in passato o siano ancora presenti, ma, comunque, essi risulterebbero decisamente subordinati rispetto all'economia generale del problema.

Lo studio, inoltre, ha dato la possibilità di tentare l'applicazione delle note espressioni di idrodinamica in regime transitorio di C.V. Theis (1935), L.K. Wenzel, (1942) e C.E. Jacob, (1950) ad un caso particolare, dove le condizioni al contorno sono decisamente diverse da quelle classiche presentate dagli AA.AA., e di confrontare, con un buon margine di successo, i risultati ottenuti con quelli di un test per la misura diretta della permeabilità.

Per quanto riguarda, infine, le soluzioni tecniche da adottare per eliminare o, perlomeno, limitare il fenomeno

le indagini eseguite conducono alle seguenti considerazioni:

• L'intervento ideale sarebbe la realizzazione di una trincea drenante partente da una profondità di circa 6.0 m, da instaurare lungo il C.so F.lli Giura, a partire dall'incrocio con via Vespucci, deviante lungo via Dorice, con profondità in pendenza tale da raccordarsi, per lo scolo delle acque, alla rete fognante esistente più a valle.

Circa le caratteristiche tecniche dell'opera non ci si dilunga dal momento che la stessa, per motivi logistici (impraticabilità dei luoghi da parte di un mezzo meccanico adeguato e rischio di stabilità per i fabbricati presenti di vetusta costruzione) non è praticamente realizzabile;

• Data l'impossibilità di realizzazione dei drenaggi, una soluzione alternativa è quella di emungere costantemente le acque di falda in corrispondenza del foro piezometrico n. 1; questo, però, è stato realizzato per altri scopi e non ha le caratteristiche tecniche atte agli scopi di cui all'intervento previsto.

Pertanto bisognerà ritrivellare il foro con un diametro maggiore (si ipotizza un diametro di 160 mm), approfondirlo fino a -10 m, attrezzarlo con una pompa sommersa capace di emungere portate modeste (dell'ordine di 1 l/min), impostare un rivestimento finestrato per l'intera lunghezza del foro, al fine di raccogliere anche eventuali venute da perdite dalla rete dei servizi, e riempire l'intercapedine con ghiaietto siliceo di opportuna pezzatura.

Le acque dovranno essere convogliate, con traccia al di sotto della pavimentazione stradale, nella rete fognante esistente nel C.so F.lli Giura, così come si dovrà provvedere all'allacciamento alla rete elettrica;

• Un'ultima considerazione riguarda il fatto che, come già detto, la parete di monte del locale cantina (alla base della quale è presente l'infiltrazione d'acqua) è in terreno naturale; ciò, per le condizioni in cui attualmente si trova la parete stessa, potrebbe pregiudicare nel tempo la staticità dell'intero comparto edilizio di cui la cantina stessa fa parte.

Pertanto, si ritengono opportuni interventi di contenimento e sostegno della parete con drenaggi a tergo e alla base che permettano di allontanare eventuali acque di infiltrazione a prescindere dalla realizzazione dell'opera di captazione di cui si è detto in precedenza.

### BIBLIOGRAFIA

- CASTANY G. (1985): *Idrogeologia: principi e metodi*. Libreria Dario Flaccovio Editrice.
- FUNARI E., BASTONE A., VOLTERRA L. (1992): *Acque potabili - Parametri chimici, chimico-fisici e indesiderabili. Quaderni di tecniche di protezione ambientale a cura di Adriano Zavatti - Pitagora Editrice Bologna*.
- CELICO P. (1993): *Prospezioni idrogeologiche*. Liguori Editore.
- CHIESA G. (1994): *Inquinamento delle acque sotterranee - Metodi di indagine e di studio per la bonifica e la gestione delle acque inquinate*. Hoepli Editore S.p.A..
- BIONDI C., FABRIZI F., MAZZALI P., MORSELLI M. (1994): *Il controllo dell'ambiente: sintesi delle tecniche di monitoraggio ambientale. Quaderni di tecniche di protezione ambientale a cura di Adriano Zavatti - Pitagora Editrice Bologna*.