

Indagine geologica eseguita sul sito della Basilica di Santo Stefano in Bologna. Primi risultati

Fabrizio Vannelli

Geologo, libero professionista

1. PREMESSE

Nella presente nota si riportano i risultati preliminari emersi da una indagine geologica comprensiva di prove geognostiche effettuata in corrispondenza del sito della Basilica di S. Stefano in Bologna¹.

L'indagine, commissionata dai Monaci Benedettini Olivetani² che reggono la Basilica, rientra nell'ambito degli studi e delle analisi volti al consolidamento dell'antico complesso ecclesiastico, denominato dai bolognesi delle "Sette Chiese" e costituisce una prima base delle informazioni per gli interventi di consolidamento e bonifica riguardanti in particolare le problematiche di natura idrogeologica che interessano l'apparato fondale.

Tali dati, oltre alle conseguenti ed immediate ricadute di tipo applicativo, hanno inoltre fatto emergere significative novità, sicuramente da approfondire, inerenti l'evoluzione geologica e paleogeografica di questo affascinante luogo della città di Bologna.

2. ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Nell'ambito geodinamico del settore bolognese, riconducibile essenzialmente nel sollevamento del fronte appenninico ed all'abbassamento dell'antistante pianura, i sistemi di conoide-interconoide, che formano l'ossatura di questa porzione più elevata della pianura, costituiscono una successione di materiali sciolti di composizione alternativamente ghiaiosa sabbiosa e limoso argillosa che, a partire dai margini dei rilievi collinari, sovrastano con spessori rapidamente crescenti le unità marine pleistoceniche.

In tale contesto il centro storico bolognese risulta inserito in un'area interconoidale di forma triangolare racchiusa ai lati dai sistemi alluvionali del fiume Reno ad occidente e del torrente Savena ad oriente; all'interno di quest'area sono stati riconosciuti sistemi deposizionali

minori riferibili a piccoli bacini collinari compresi tra i rii Meloncello e Grifone.

In tale contesto fisiografico l'area rientra in una sorta di una modesta dorsale che, come risulta dall'analisi del micro rilievo attuale, costituisce un alto morfologico (indicato con A in figura 1) che si individua nella sua conformazione già a partire dal settore di monte, in prossimità dell'area di porta Castiglione (figura 2), e che si sviluppa con direzione SSW-NNE e trova la massima elevazione in prossimità del rilievo in parte artificiale secondo studi

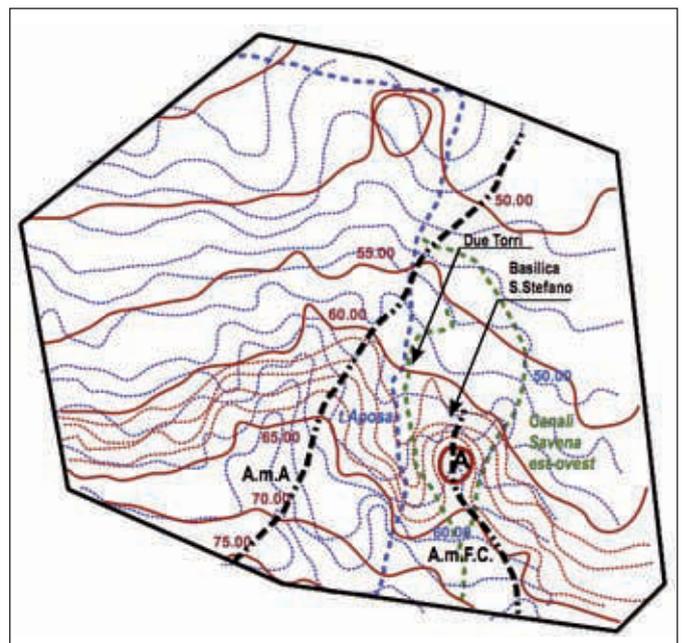


Figura 1 - In colore rosso le curve di livello del terreno del centro storico di Bologna con equidistanza pari a 5.00 m, nel settore d'interesse compresa tra le quote di 65.00-60.00 m s.l.m. l'equidistanza è di 1.00 m (tratto da G. Giorgi, 2002), in colore azzurro le isofreatiche della falda superficiale con equidistanza pari a 5.00 m (tratto da G.P. Artioli et al. 1997). Base SIT Comune di Bologna. Evidenziato con A il settore di "alto morfologico" sulla cui prosecuzione occidentale è situata l'area della Basilica di S. Stefano e con le linee tratteggiate nere le prosecuzioni nell'area del centro storico dei principali assi mediani dei corpi permeabili riferibili ai depositi alluvionali del t. Aposa (A.m.A.) e della Fossa Cavallina (A.m.F.C.) (tratto da G.P. Artioli et al. 1997, ridisegnato).

¹ Il presente lavoro è tratto da: "Dossier preliminare per un progetto di consolidamento, bonifica e restauro conservativo delle antiche strutture" - Basilica Santuario Santo Stefano - Piazza Santo Stefano Bologna", Arch. Roberto Scannavini, Arch. Salvatore Fazio, Ing. Saverio Simonazzi, Geol. Fabrizio Vannelli, maggio 2010.

² Lo scrivente desidera ringraziare in particolare Padre Sergio Livi e Dom Ildefonso Chessa per la fiducia accordata.

recenti, ma pur sempre impostato su un alto naturale) di San Giovanni in Monte.

Ad una scala inferiore, gli studi effettuati da G.P. Artioli et al. 1997 avevano posto in evidenza come il settore rientri nell'ambito di un corpo alluvionale caratterizzato da significativi gradienti di permeabilità e che secondo questi autori trovava origine in una diramazione occidentale del sistema di conoide pedemontana generato dalla Fossa Cavallina.

Quest'ultima coincide planimetricamente con parte del percorso dell'alto morfologico sopracitato e determinerebbe un forte controllo sul regime della falda più superficiale comportando una sorta di sub-parallelismo tra isopse attuali ed isopieze locali.

In particolare, l'andamento locale delle isopieze, che si diramano trasversalmente all'"alto" in direzione E-W, confermano il manifestarsi, in loco, di condizioni di drenaggio agenti sul percorso principale della falda da parte dei corsi d'acqua laterali.

A confortare l'ipotesi della maggiore permeabilità del corpo in esame nella cartografia gli autori riportano un significativa concentrazione di pozzi per acqua posti sia a monte che a valle dell'area della Basilica.

I bacini di alimentazione del t. Aposa e della adiacente Fossa Cavallina sono impostati, nell'ambito della porzione pedecollinare bolognese, su terreni in gran parte appartenenti a formazioni geologiche riferibili ad un arco temporale compreso tra Cretaceo e l'attuale, e costituite litologicamente da marne siltose ed areniti marnose, da argille limose, da gessi in tutti i casi sovrastati stratigraficamente dai depositi pleistocenici sabbiosi-ghiaiosi-pelitici marino - continentali affioranti costantemente al passaggio rilievi collinari - alta pianura.



Figura 2 – Ondulazioni evidenti nel microrilievo superficiale in prossimità del corso del t. Aposa adiacente il settore in esame, testimonianze ancora leggibili della sua evoluzione morfogenetica.

2.1 Aspetti Idrogeologici

In base a recenti rilievi eseguiti nel primo sottosuolo del centro storico bolognese è emerso come tutte le sequenze deposizionali sabbie-peliti che compongono la successione alluvionale più superficiale costituiscono, nella loro porzione più permeabile (di norma rappresentata da strati a tessitura sabbiosa limosa, localmente ghiaiosa) microacquiferi caratterizzati da modesti valori di trasmissività, riconducibili a singoli *acquitar*d.

In particolare è possibile riconoscere tre principali sequenze alluvionali sede di singole falde tra loro spesso interconnesse attraverso percorsi "a fuga".

Di seguito è riportata una descrizione di massima di tali microacquiferi, riferiti ai primi venti metri di sottosuolo dell'area del centro storico:

- **FALDA PIÙ SUPERFICIALE**, denominata dallo scrivente **Sup. 4a**, si rinviene sovente tra -3 m e -4 m di profondità, è direttamente alimentata, come nel caso in esame, dalla prosecuzione settentrionale dei corpi di conoide sopradescritti, nonché dalle infiltrazioni provenienti dalla superficie. Sovente risulta veicolata nel sottosuolo sia dai riporti che dalla rete dei sottoservizi presente nell'area del centro storico;
- **FALDA INTERMEDIA** denominata **Sup. 4**. Si rinviene a quote medie di -6.50 / 8-00 m ed ha una distribuzione omogenea e continua nel territorio urbano bolognese. E' anch'essa, in parte, alimentata dalle infiltrazioni provenienti dalla superficie attraverso la falda più superficiale;
- **TERZA FALDA** denominata **Sup. 4b**, ha soggiacenza media compresa tra 11.00 m e 11.50 m, risulta interconnessa solo localmente con la sovrastante sup. 4, è sovente contenuta in paleovalve alluvionali di modesta estensione.

Alla base di questa successione spesso compare una unità litostratigrafica, costituita da prevalenti materiali ghiaiosi sabbiosi, che rappresenta di fatto il primo vero acquifero locale; essa è sede della falda **Sup. 2/3** che ha soggiacenza media pari a 14.50/-15.50 m.

Sulla base di quanto sopra descritto, si può affermare che la falda rinvenuta nel primo sottosuolo della Basilica, che verrà descritta di seguito, è ascrivibile a quella più superficiale di questi microacquiferi e corrisponde pertanto alla **Sup. 4a**.

La situazione sopra descritta è schematizzata nella figura 3.

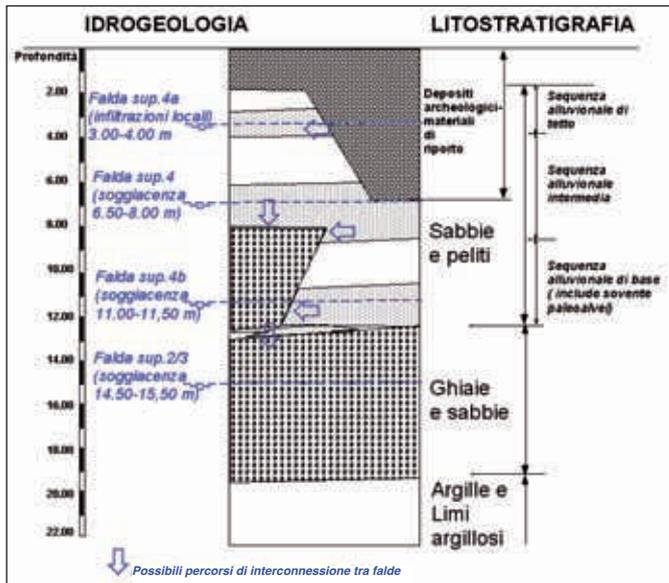


Figura 3 – Schema idrogeologico semplificato del primo sottosuolo dell’area urbana nord-orientale bolognese.

2.2 Subsidenza in ambito locale

Per quanto attiene il fenomeno della subsidenza, esso si presenta come l’effetto di una concomitanza di cause naturali ed antropiche, con una netta prevalenza, nel caso del territorio bolognese, delle seconde sulle prime. Le cause naturali sono dovute al costipamento dei terreni costituenti il deposito alluvionale, mentre tra le cause antropiche si annoverano in particolare gli emungimenti eccessivi della falda.

L’area del centro storico di Bologna è soggetta a fenomeni di subsidenza generatisi prevalentemente negli ultimi decenni per l’intensificarsi dei prelievi idrici, con elevati abbassamenti del suolo, fino a oltre 1.50 m negli ultimi 30-40 anni nell’area posta a nord del centro storico, ed hanno coinvolto anche i terreni di fondazione della Basilica di S. Stefano.

Una valutazione delle condizioni attuali dei tassi di subsidenza in ambito locale deriva dal controllo effettuato da ARPA su due capisaldi della rete regionale di monitoraggio posti in prossimità della Basilica.

Tali capisaldi sono posti rispettivamente in corrispondenza della torre degli Asinelli e di Palazzo Bargellini in Strada Maggiore. I dati dei rilievi più recenti sono riportati in tabella 1.

Caposaldo	Quota al 09/1999 (m s.l.m.)	Quota al 07/2005 (m s.l.m.)	Abbassamento (m)
067010 (Due torri)	59,4387	59,3828	0,0559
067020 (Strada Maggiore)	58,1099	58,0285	0,0814

Tab. 1 – Dati di subsidenza per l’area in esame (fonte: ARPA).

Si nota come l’abbassamento complessivo nell’area nell’arco di 6 anni sia stato di circa 6-8 cm procedendo da NW verso SE con un tasso di abbassamento medio pari a 1,0-1,3 cm/anno. Tali abbassamenti risultano significativamente inferiori ai valori misurati nei decenni precedenti.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Si riporta di seguito una breve descrizione delle attrezzature utilizzate nell’esecuzione dei sondaggi e delle attività geognostiche svolte.

3.1 Strumentazione utilizzata e metodologia di esecuzione

Le perforazioni sono state eseguite con macchine perforatrici idonee a realizzare sondaggi a carotaggio continuo “a secco” provviste di carotiere ambientale semplice ed impiegando macchine munite di cingoli gommati al fine di evitare possibili danni alle pavimentazioni esistenti.

Per i sondaggi realizzati all’esterno della Basilica, è stata impiegata una attrezzatura di perforazione tradizionale, mentre per i sondaggi eseguiti all’interno del Chiostro dei Benedettini e nel Cortile di Pilato, è stata utilizzata una macchina speciale con centralina esterna, provvista di unità di manovra di piccole dimensioni al fine di rendere possibile l’accesso all’interno della Basilica. Per il sondaggio eseguito all’interno della Chiesa dei S.S. Vitale e Agricola è stato impiegato un penetrometro-campionatore dinamico leggero manuale che ha consentito l’esecuzione di un foro di circa 3,5 cm per l’inserimento di un tubo piezometrico di 1”. I sondaggi hanno permesso di estrarre carote di terreno che hanno consentito di ricostruire la successione stratigrafica presente sulla verticale del punto di indagine. I campioni estratti sono stati disposti all’interno di apposite cassette catalogatrici e, dopo essere stati fotografati si è proceduto ad un accurato rilievo stratigrafico comprensivo della descrizione delle litologie presenti e delle caratteristiche geotecniche fondamentali riscontrate con l’ausilio di un penetrometro e di uno scissometro portatili. Data l’esigenza di riconoscere la presenza e la distribuzione dei fluidi circolanti nel primo sottosuolo, i carotaggi sono stati eseguiti senza l’impiego di fluidi di perforazione, e lo stesso è avvenuto per l’estrusione del campione utilizzando un carotiere ambientale che permette di aprire il campionatore manualmente.

La maggior parte dei sondaggi sono stati eseguiti senza l’inserimento del rivestimento provvisorio ma nell’esecuzione dei sondaggi S-3 bis e P4 si è provveduto a rivestire il foro per ovviare al problema di franamento delle

pareti contenenti materiale grossolano sciolto (presente nei primi metri). Anche l'infissione dei tubi di rivestimento provvisorio ϕ 127 mm è avvenuta senza l'impiego di fluidi di circolazione, al fine di evitare l'immissione di acqua nel sottosuolo.

Al termine dell'esecuzione di ogni sondaggio sono stati messi in opera tubi piezometrici in PVC atossico del diametro di 2" ad esclusione del sondaggio P-5, eseguito all'interno della Chiesa dei S.S. Vitale e Agricola, dove è stato adoperato un piezometro del diametro di 1".

3.2 Ubicazione e profondità dei sondaggi

Si sono eseguiti sondaggi profondi dai 7 ai 10 m dal piano di calpestio, designati con la sigla S seguita da un numero progressivo, e sondaggi superficiali designati con la sigla P anch'essa seguita da un numero in progressione. I sondaggi eseguiti sono in totale sette, di cui quattro superficiali (P-1; P-2bis; P-4 e P-5) con profondità da -3,50 a -4,40 m dal p.c., fatta eccezione per il P-2bis, la cui profondità massima raggiunta è stata di -7,50 m dal p.c. e 3 sondaggi profondi (S-1; S-2;-S-3bis) le cui profondità vanno da -7 a -10 m dal p.c.

Il sondaggio P2-bis, originariamente previsto come superficiale, è stato spinto fino alla profondità di -7,50 m, facendo fronte alla necessità, emersa in fase di perforazione, di valutare il reale spessore del materiale grossolano. I sondaggi S-1, P-1, S2, P-2 bis sono ubicati all'esterno della Basilica, il sondaggio P-5 è stato realizzato all'interno della Chiesa dei S.S. Vitale e Agricola, mentre i sondaggi P-4 ed S-3bis, sono stati eseguiti il primo nel cortile di Pilato ed il secondo nel chiostro dei Benedettini (figura 4).

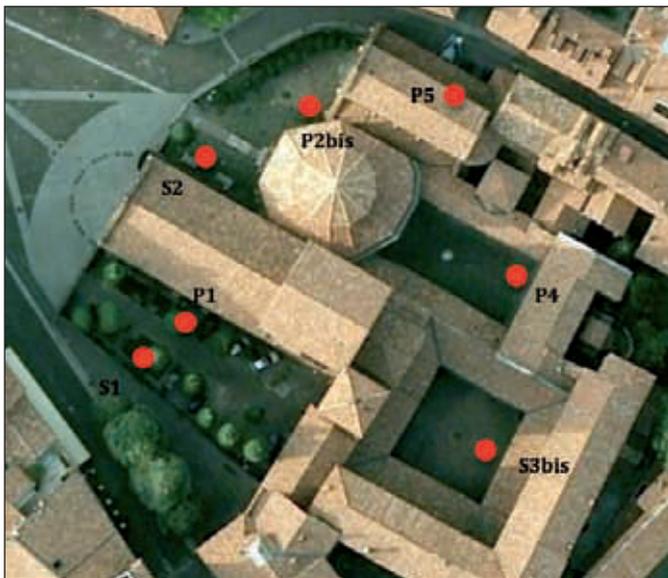


Figura 4 – Planimetria della Basilica di Santo Stefano con l'ubicazione dei sondaggi.

Come già detto, i sondaggi sono stati eseguiti con metodologia di carotaggio continuo "a secco". Questo metodo di perforazione, pur consentendo il riconoscimento del grado di umidità naturale dei terreni presenti nel sottosuolo (utile per l'individuazione di infiltrazioni di acqua), ha creato alcune difficoltà a livello operativo, sia per la presenza di materiale grossolano che tendeva a franare dalle pareti del foro di sondaggio che per la presenza di argilla che causava attrito con le pareti del carotiere (figura 5). Pertanto due sondaggi sono stati ripetuti a poca distanza da quello originale, e sono contrassegnati con la sigla "bis".



Figura 5 – Esecuzione del sondaggio S3 bis all'interno del Chiostro dei Benedettini.

4. LITOSTRATIGRAFIA

La descrizione dei terreni attraversati dai sondaggi ha seguito un criterio sostanzialmente litologico, evidenziando le componenti granulometriche-tessiture (figura 6) in prevalenti e subordinate, e rimandando per la descrizione del materiale rinvenuti, in particolare per quanto riguarda frammenti di manufatti, ad un successivo e più approfondito, specifico esame (figura 6).

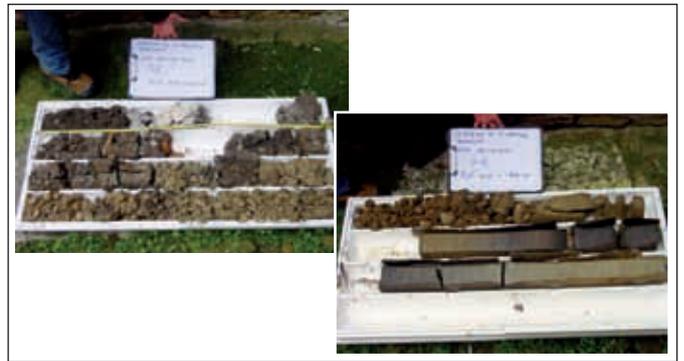


Figura 6 – Carote estratte dal sondaggio S2 sito nell'area cortiliva tra la Chiesa del Crocifisso e la Chiesa del Sepolcro.

Si sono inoltre distinte, insieme alle strutture sedimentarie dove osservabili, le maggiori concentrazioni di concrezioni carbonatiche e ferro-manganesifere, la presenza di frustoli ed inclusi carboniosi e di resti organici.

Insieme si sono ancora evidenziati i gradi di consistenza dei terreni fini, eseguendo speditivamente in cantiere misure di pocket penetrometer e vane test.

Considerato di particolare interesse, in ragione dell'obiettivo dell'indagine, si è eseguito il rilievo del grado di umidità naturale dei terreni e si è rilevata la presenza di livelli saturi in acqua.

In corrispondenza del sondaggio P2bis, localizzato nel cortile interno posto a Nord tra la Chiesa del Sepolcro e quella dei Santi Vitale e Agricola, si sono prelevati tre campioni di terreno alle profondità di 0.50-1.0 m / 1.50-2.00 m / 2.50-3.00 m.

Su tali campioni sono attualmente in corso analisi geotecniche consistenti principalmente nella valutazione dell'umidità naturale, nel rilievo dei limiti di Atterberg e delle granulometrie.

I risultati dei sondaggi sono stati riportati in colonne stratigrafiche, insieme alla tipologia dei piezometri realizzati all'interno dei fori e i valori di soggiacenza piezometrica della falda rilevati durante le fasi di cantiere.

La litostratigrafia del sottosuolo in ambito locale è stata sintetizzata in maniera informale attraverso il riconoscimento di tre principali unità, che sono descritte di seguito:

- Deposito archeologico e/o di riporto
- Unità Litostratigrafica A
- Unità Litostratigrafica B

4.1 Deposito archeologico e/o di riporto

Nell'area indagata, la prima porzione del sottosuolo, denominata informalmente "*deposito archeologico e/o di riporto*", e riferibile, secondo la recente classificazione stratigrafica utilizzata del Servizio Geologico e dei Suoli della R.E-R, alla porzione sommitale del subsistema di Ravenna, è caratterizzata dalla presenza di terreni di natura eterogenea, costituiti da limi sabbiosi da nocciola a marroni, localmente nerastri, con diffusi frammenti di laterizi e/o fittili, ciottoli, frammenti di carbone, ed in alcuni casi frammenti ossei.

In corrispondenza dei sondaggi realizzati nel Cortile di Pilato (P-4), nel Chiostro dei Benedettini (S-3bis), e all'interno della Chiesa dei S.S. Vitale e Agricola (P-5) sono presenti frazioni granulometriche grossolane e frammenti litoidi, concentrate nella porzione più alta.

Gli spessori maggiori di questi depositi si rinvengono nel cortile situato ad ovest della Chiesa del Crocifisso, dove

raggiungono, in corrispondenza del punto di indagine P-1, una profondità di -3,40 m dal piano di calpestio.

Lo spessore minore si riscontra, invece, in corrispondenza del foro di indagine P-5 ubicato all'interno della Chiesa dei S.S. Vitale e Agricola alla profondità di -1,75 dal piano del pavimento.

Tali differenze possono essere ricollegate, come descritto di seguito, all'esistenza, in epoca storica, di un'area spondale - arginale di un corso d'acqua. Tale assetto morfologico può infatti aver determinato un maggior tasso di accumulo di sedimenti e detriti proprio nella porzione occidentale dell'area indagata.

Si deve tuttavia considerare che l'area, anche se non è dato sapere esattamente dove, è stata interessata nella seconda metà dell' ottocento da scavi anche profondi (scavi Gozzadini) che hanno localmente rimaneggiato il sottosuolo, creando talune incertezze nell'interpretazione dei dati oggi rilevati.

4.2 Unità Litostratigrafica A

L'unità A è costituita dai terreni che si rinvengono alla base del deposito archeologico ed è rappresentata da varie litologie, descrivibili essenzialmente in:

- Ghiaie costituite da ciottoli di forma prevalentemente da sferica ad allungata, da sub-arrotondati ad arrotondati, di natura prevalentemente arenitica e calcarea, in abbondante matrice da sabbioso-limosa a limoso-argillosa, che si rinvengono in corrispondenza dei fori di sondaggio S2 e P2bis, ovvero sia nella porzione NW dell'area. Tali clasti ghiaiosi derivano, in gran parte, dall'erosione della formazione arenitica-siltosa e pelitica marnosa di Pantano (Miocene inf.-medio), e dai depositi pleistocenici presenti nella porzione basale dei colli bolognesi. Appartengono a questi ultimi buona parte dei caratteristici ciottoli silicei arrotondati associati ad altri, prevalentemente carbonatici, mostranti sovente bande d' alterazione concentriche e caratteristiche patine ferruginose. I depositi ghiaiosi presentano una base erosiva e, a partire da questa, una blanda gradazione granulometrica diretta.
- Alternanze di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore nocciola, alternate ad argille e argille limose.

Tale insieme di terreni, associato alla conformazione geometrica ricavata dalle correlazioni tra i diversi punti d'indagine, al momento sembra interpretabile come deposito naturale di un antico corso torrentizio (paleoalveo), la cui messa in posto è avvenuta in regime di alta energia. Tuttavia, visto che il settore nel quale sono stati

realizzati i sondaggi S2 e P2bis è stato interessato da rimaneggiamenti vari, causati dai citati scavi qui realizzati nella seconda metà dell'ottocento, si rimanda ad ulteriori accertamenti una più attenta definizione dell'origine di tale deposito.

Questo corpo ghiaioso grossolano e canalizzato, si rinviene nella porzione NW dell'area, corrispondente al sagrato delle Chiese del sepolcro e dei S.S. Vitale e Agricola, mostrando un graduale ispessimento verso nord, con la maggior profondità, pari a 5,50 m dal p.c., in corrispondenza del sondaggio P2bis.

Analogo ispessimento si osserva nel deposito archeologico/di riporto procedendo da est verso ovest, ovvero sia procedendo da un'area presumibilmente sopra spondale in direzione di un alveo torrentizio; l'andamento di tale corpo antropizzato superficiale ricalcherebbe in tal modo l'antica morfologia dell'area come si evidenzia nella figura 7.

Lateralmente il corpo ghiaioso sfuma nei depositi sabbiosi-limosi alternati ad argille sopra descritti, ascrivibili ad ambienti deposizionali di barra laterale del corso d'acqua e dei suoi argini.

I livelli sabbiosi e le ghiaie presentano gradi di umidità variabili fino alla saturazione, indice della presenza in questi sedimenti del primo livello di falda freatica che si rinviene nel sottosuolo.

Tale tipologia di depositi e di geometrie è peraltro nota

nel sottosuolo bolognese: simili corpi, comprendenti palealvei sub-superficiali canalizzati, sono stati infatti già rinvenuti dallo scrivente in aree limitrofe al centro storico cittadino. Un esempio di tali corpi è riportato nella figura 8.

Nell'ambito della stratigrafia dei depositi quaternari del territorio bolognese l'unità A, in base alle caratteristiche rilevate, sembra riferibile all'unità di Villa Pontebuco, rinvenuta sulla destra del t. Savena e descritta in Nenzioni - Vannelli, 1982.

4.3 Unità Litostratigrafica B

L'unità B si rinviene solo nei sondaggi più profondi (S-1, S-2, S-3bis e P2-bis) e si compone, nello spessore iniziale, da alternanze di limi argillosi e argille limose ai quali si intercalano, solo raramente e localmente, sottili strati decimetrici limoso-sabbiosi fini; procedendo in profondità i terreni presentano una maggiore componente argillosa. Ad una profondità mediamente variabile tra -5,50 e -6,50 m dal p.c. si rinviene un intervallo argilloso, di norma molto consistente e di colore bruno-nerastro, riferibile ad una maggiore concentrazione di materia organica naturale e di spessore metrico; esso presenta nell'area d'indagine una giacitura che ricalca in profondità l'andamento della superficie topografica, ed è correlabile con un primo livello argilloso palustre, già segnalato nella

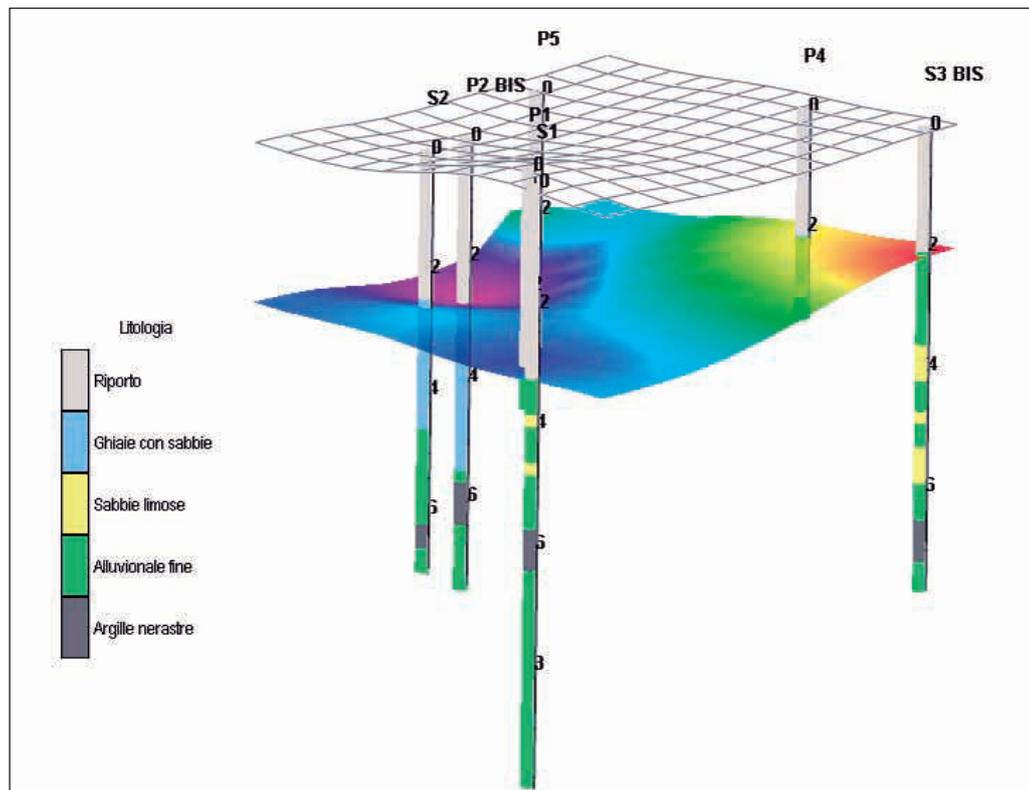


Figura 7 – Isobate della base dello strato archeologico / di riporto superficiale.

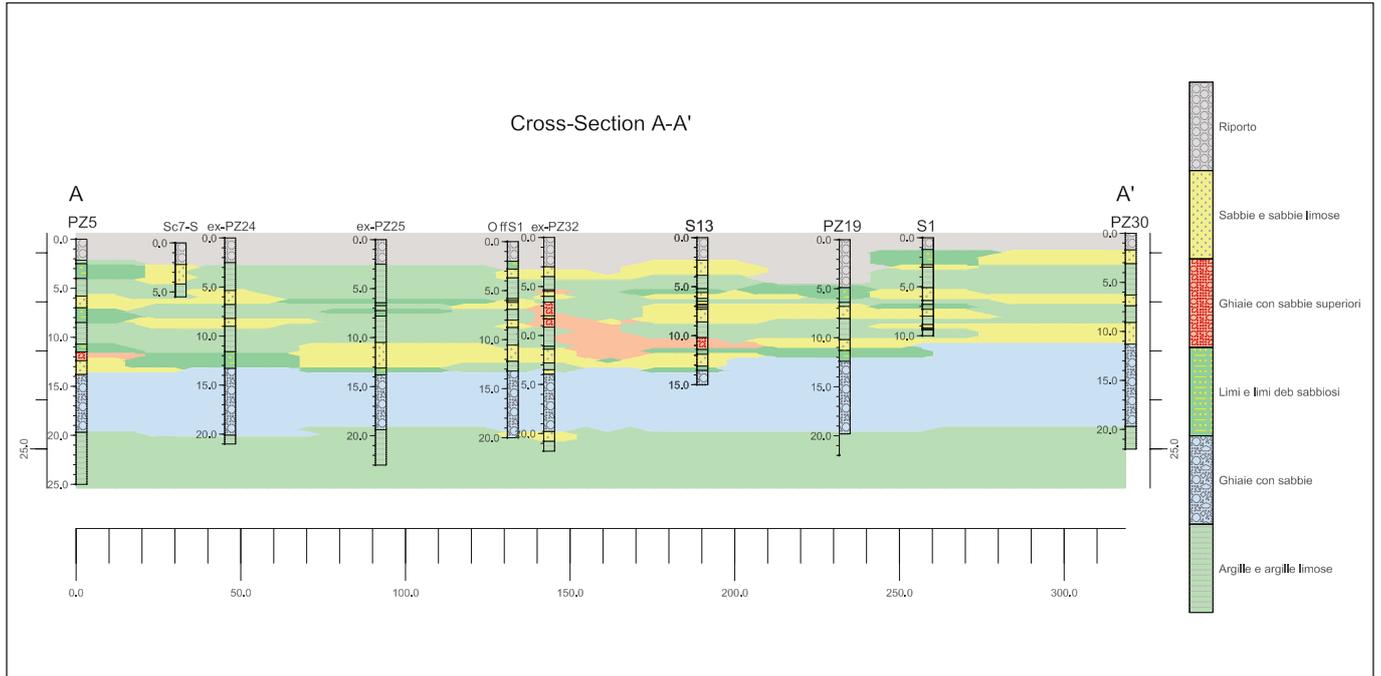


Figura 8 – Esempio di configurazione di paleolaveo (in colore arancione) rilevato nel primo sottosuolo bolognese corrispondente ad un tratto avventizio superficiale del t.Savena a N.E. del centro storico.

cartografia geologica a scala regionale, e datato a circa 8.000 anni B.P.

Le argille ed i limi argillosi, sono stati testati (nei sondaggi S1 ed S2) con l’ausilio strumentazione di cantiere.

Il penetrometro portatile ha fornito valori compresi tra 1 e 2 Kg/cm² fino alla quota di -5,60 m; valori compresi tra >4 e 1,20 Kg/cm² fino alla profondità di -7,60 m; valori compresi tra 3,50 e 2,0 Kg/cm² fino alla profondità di -10,0 m.

I corrispondenti valori di vane test per gli intervalli sopra riportati sono risultati i seguenti: 0,6-1,2 Kg/cm²; 2,35-0,82 Kg/cm²; 1,50-2,0 Kg/cm².

Tali terreni sono pertanto da considerarsi da consistenti

a molto consistenti, mostrando un graduale incremento di resistenza con la profondità (vedi grafici riportati nella figura 9).

5. IDROGEOLOGIA LOCALE

Come descritto precedentemente (vedi Cap. 2.1) il contesto idrogeologico locale è caratterizzato dalla presenza di una falda freatica sub-superficiale, avente soggiacenza compresa mediamente tra tre-quattro metri, contenuta in un modesto acquifero rappresentato dal corpo sedimentario presumibilmente di paleoalveo più permeabile appartenente all’unità A, e limitato inferiormente dallo strato impermeabile appartenente all’unità B.

A questa falda sono riferibili le acque affioranti nel pozzo della Chiesa del Sepolcro.

Gli anomali valori di soggiacenza rilevati in corrispondenza del Chiostro dei Benedettini sono risultati imputabili alla presenza di un sistema di pompaggio locale che deprime in questo settore il livello di falda.

Il maggior grado di trasmissività è stato riscontrato nella porzione più settentrionale del settore, in corrispondenza del corpo sedimentario più permeabile, con significativi contributi derivanti dagli strati prevalentemente sabbiosi rinvenuti nell’area del Chiostro dei Benedettini. Al termine del cantiere e successivamente si sono rilevati nei piezometri e nel pozzo del chiostro le misure di soggiacenza di falda riportate in figura 10.

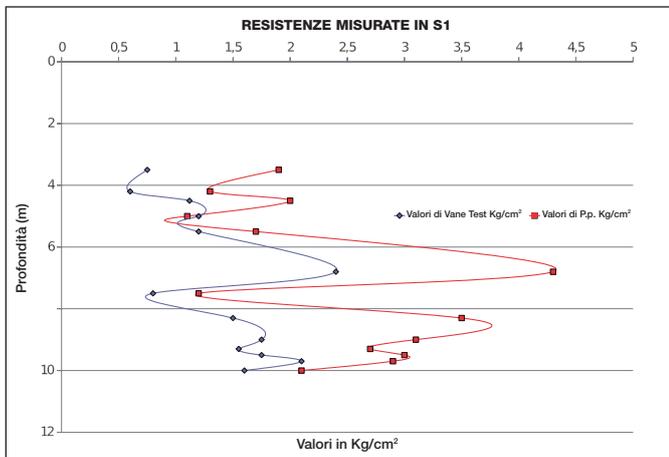


Figura 9 – Valori di pocket penetrometer e di vane test rilevati nel sondaggio S1

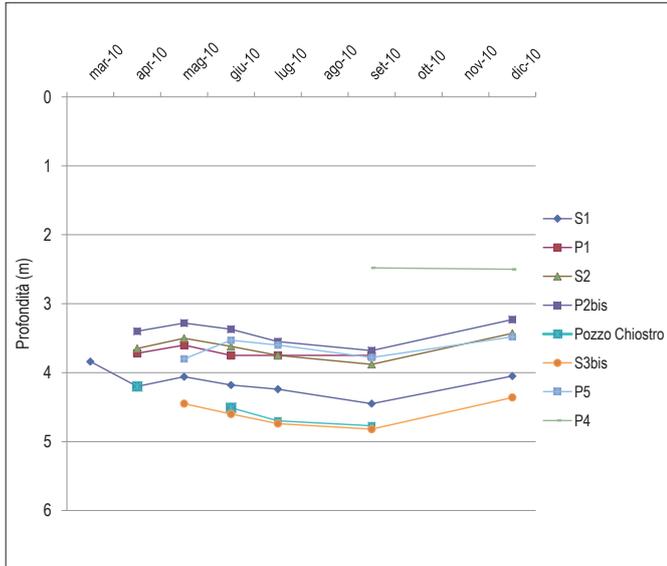


Figura 10 – Valori di soggiacenza della falda freatica nel periodo marzo-dicembre 2010

Relativamente alle caratteristiche idrodinamiche il rilievo del piano quotato locale (eseguito a cura dell’Ufficio Tecnico del comune di Bologna³) ha consentito di definire ulteriori caratteristiche della falda; tra questi il gradiente piezometrico, che nell’ambito della Basilica risulta estremamente basso (valori medi intorno a 0.001), in linea con quanto osservato nei sistemi di falde superficiali in altri settori cittadini. La sua direzione di flusso risulta orientata prevalentemente da SW a NE (figura 11).

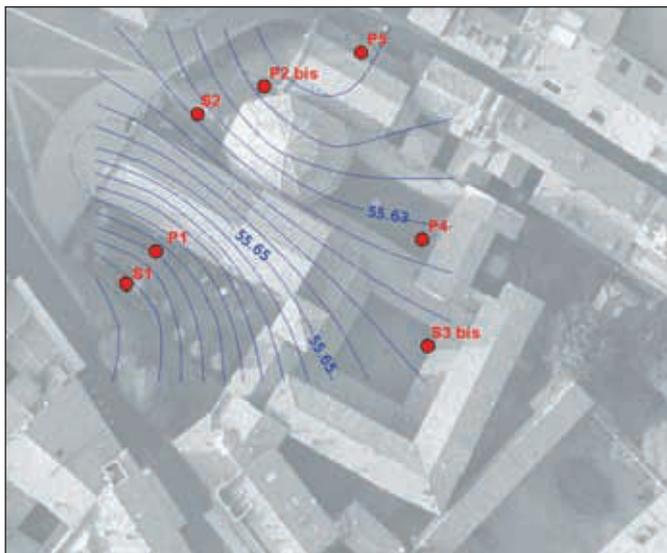


Figura 11 – Isopieze- falda superficiale.

Al di sopra di questa falda si rilevano estese aree soggette a percolazioni superficiali provenienti sia da processi d’infiltrazione nel sottosuolo dalle aree cortilive permeabili che da perdite dalla sottostante rete fognaria.

Queste ultime sono state messe in evidenza anche dai rilievi eseguiti mediante video ispezione che hanno mostrato all’interno delle reti la presenza di sconnessioni e discontinuità.

Le percolazioni interessano il deposito archeologico e ne saturano, con conseguente rammollimento, le matrici limose argillose e sabbiose.

Le maggiori concentrazioni di queste acque sono state rinvenute:

- nel cortile di Pilato (sondaggio P4) a quote comprese tra 1.00-1.60m;
- nel cortile a Ovest (sondaggio P1) tra 1.00-1.20 m;
- nel cortile a Nord (sondaggi S2 e P2bis) rispettivamente alle quote di 1.40 -1.90 m e 1.10-1.40 m;
- nel Chiostro dei Benedettini a sud (sondaggio S3 bis) tra 2.0-2.05 ;
- all’interno della chiesa dei SS Vitale e Agricola (sondaggio P5) tra 0.45 -0.75 m.

Tali dati sono rappresentati sia nel modello bidimensionale di figura 12 che nel modello tridimensionale della figura 13, riportate di seguito e interpretati con la sezione geologica in figura 14.

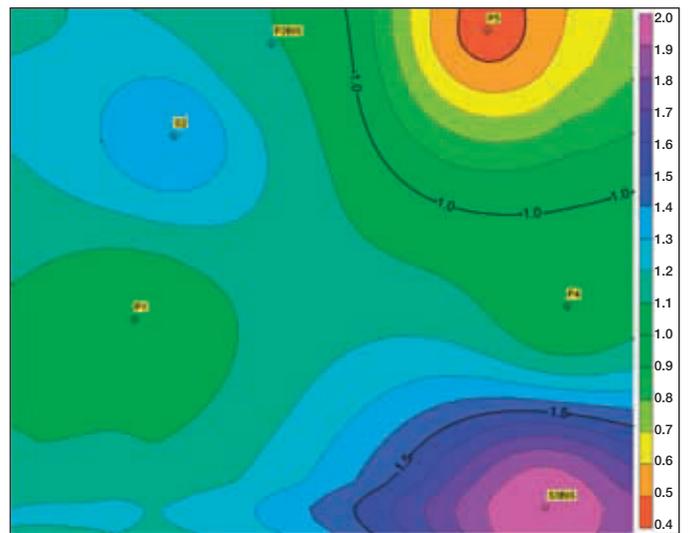


Figura 12 – Isobate del livello più superficiale delle infiltrazioni di acque dai piani cortilivi e dalle reti fognarie

³ Si ringrazia l’Ing. Raffaella Bruni, Direttore del Settore LLPP, del comune di Bologna, per la collaborazione.

6. CONSIDERAZIONI SUI PRIMI RISULTATI EMERSI DALLE INDAGINI

I primi risultati emersi dall'indagine geologica e geognostica eseguita sui terreni di fondazione della Basilica di S. Stefano, sono, in sintesi, i seguenti:

- il sottosuolo della Basilica nei primi dieci metri di profondità è costituito da una successione di terreni, superficialmente appartenenti ad un deposito antropico, a seguire poi di natura alluvionale, che sono stati informalmente suddivisi in unità litostratigrafiche. Dall'alto verso il basso sono stati distinti in: un deposito archeologico/di riporto, di forma lenticolare, avente uno spessore compreso tra -1.75 e -3.40 m, un deposito alluvionale ghiaioso-sabbioso denominato informalmente Unità A, avente profondità massima di -5.50 m, e da un deposito alluvionale prevalentemente pelitico, denominato Unità B, che è stato attraversato fino a -10 m. In quest'ultima unità, a profondità comprese tra -5,50 e -6,50 m dal piano di calpestio, si rinviene uno strato di colore bruno-nerastro correlabile con un livello argilloso palustre, già segnalato a scala regionale, e datato a circa 8.000 anni B.P.;

- l'unità A testimonierebbe la presenza di un riempimento clastico di un paleoalveo torrentizio riferibile presumibilmente alla Fossa Cavallina. Alcune evidenze morfologiche ne descriverebbero un percorso che, provenendo da meridione, in corrispondenza della depressione morfologica di via del Vivaro, proseguiva, dopo avere attraversato il settore settentrionale corrispondente al sagrato della Basilica, lungo via Gerusalemme (come attesterebbe anche un corrispondente avvallamento di strada Maggiore). A sostegno di una derivazione dalla Fossa Cavallina è, tra l'altro, l'anomala presenza di solfati riscontrati a suo tempo nelle analisi chimiche eseguite nelle acque del pozzo di S. Petronio (M. Del Monte, comunicazione personale) che potrebbero trovare origine da processi di dissoluzione delle bancate gessose presenti nel bacino di alimentazione di questo corso d'acqua (area orientale di Monte Donato).

Nuovi approfondimenti in corso consentiranno di avvalorare o meno questa ipotesi che, se accertata, prospetterebbe interessanti implicazioni sulla ricostruzione paleogeografica di quest'area (vedi a questo proposito la sezione geologica interpretativa di figura 14), sul significato delle vestigia storiche qui presenti, sui rapporti di queste ul-

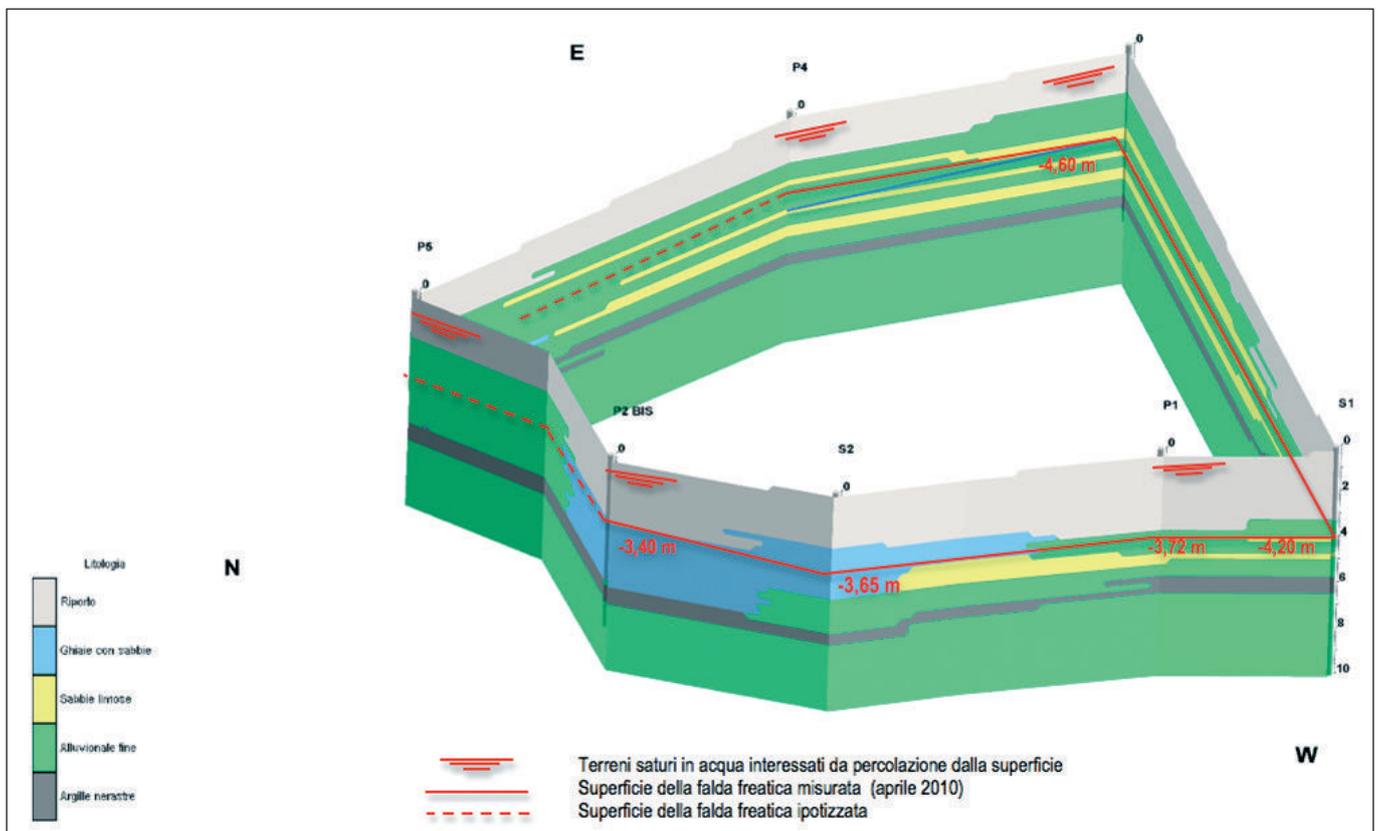


Figura 13 – Rappresentazione tridimensionale del sottosuolo nell'area d'indagine

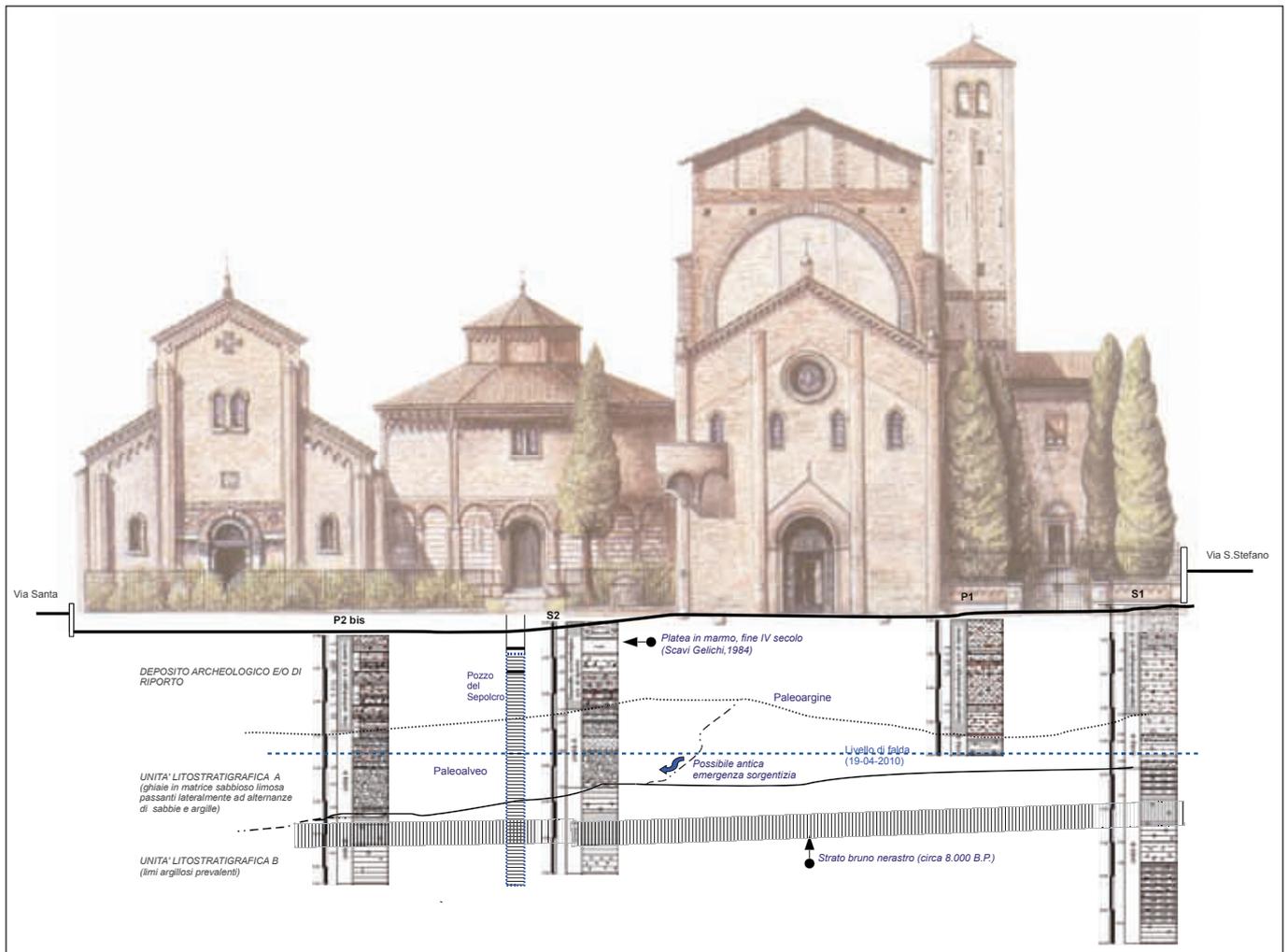


Figura 14 – Sezione geologica interpretativa.

time con l'ambiente circostante, e tra queste la presenza di acque caratterizzate da significative peculiarità;

- più in generale le acque presenti nel sottosuolo sono riferibili ad una falda freatica sub-superficiale contenuta nell'unità permeabile A, che rappresenta l'acquifero locale; a tale falda sono da riferirsi le acque captate dal pozzo della Chiesa del Sepolcro. Ad esse si associano acque di infiltrazione provenienti da processi di percolazione dalla superficie e dalle reti fognarie (come emerso anche dalle video ispezioni realizzate in loco), che si rinvennero a profondità comprese tra un minimo di -0.45/-0.75 m (sondaggio P5 eseguito in corrispondenza della Chiesa dei SS. Vitale e Agricola) e -2.00/-2.05 (sondaggio P3bis eseguito nel Chiostro dei Benedettini).

Relativamente a queste ultime, si evidenzia come esse siano estremamente diffuse nel settore esaminato, rinvenendosi nelle porzioni più superficiali di tutti i sondaggi effettuati, ad esclusione di S1.

A tali infiltrazioni ed alle risalite capillari di falda, la cui entità è da riferirsi agli agenti meteorici stagionali, come i monitoraggi in corso potranno meglio accertare, sono da attribuire le manifestazioni diffuse di umidità riscontrate nelle pavimentazioni e nelle strutture murarie. In alcuni casi si osservano deformazioni che interessano la pavimentazione che potrebbero in parte ricondursi a fenomeni connessi a variazioni stagionali di umidità che comportano processi di rigonfiamento-ritiro delle matrici pelitiche presenti nel primo sottosuolo. Tale dato potrà essere meglio interpretato in base alle risultanze di analisi di laboratorio in esecuzione condotte sui campioni prelevati nel sondaggio P2bis.

Sulla base delle evidenze sin qui riscontrate, da accertare anche alla luce delle ulteriori analisi in corso e delle risultanze dei monitoraggi delle acque presenti nel sottosuolo, si può sin d'ora ipotizzare che un significativo contributo al risanamento delle strutture fondali della Basilica potrà derivare innanzitutto da una ricanalizzazione e migliore gestione funzionale di tutte le acque in

eccesso attualmente in dispersione nel sottosuolo, quindi nell'adozione di tecniche d'intervento volte a stabilizzare i gradienti d'umidità presenti nei terreni di fondazione.

Lo scrivente ringrazia gli Architetti Salvatore Fazio e Sabrina Guazzotti insieme al Prof. Marco Del Monte per i qualificati contributi conoscitivi, i colleghi di Geo-Net srl e di Sinergea srl per la professionale esecuzione delle prove, Maria Politanò e Giuseppe Mannino per la fattiva collaborazione.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- AA.VV. (1987) - "7 Colonne e 7 Chiese. La vicenda ultramillenaria del Complesso di Santo Stefano, Bologna".
- ARTIOLI G.P, BALDINI U., DE NARDO M.T., FARINA M., FRASSINETI G., ORTALLI J., MONTAGUTI M., PALUMBO A., PIGNONE R., TOMASSETTI C., VIEL G., CON IL CONTRIBUTO DI PERESSONI M., GALLERANI S., SIMONI M. (1997) - *Area di Bologna: stato di avanzamento delle ricerche* - Atti del convegno: Geologia delle grandi Aree Urbane, Bologna.
- BENASSI E., BERGONZONI A. E VANNELLI F. (1990) - "Analisi geologico-geotecnica della Pianura Bolognese mediante prove CPT". Atti del Convegno Geognostica in Europa: innovazione ed esperienze. Bologna.
- BENINI A.- VANNELLI F. (2009) - Rilevamento geologico alla scala 1:10.000, direttore F. Farabegoli, responsabile progetto CARG per la R.E-R R.Pignone, in "Carta Geologica d'Italia, Foglio 221 - Bologna-scala 1:50.000, APAT" (www.isprambiente.it/MEDIA/carg/221_BOLOGNA/Foglio.html)
- BERGONZONI F. (1977) - *La fondazione della torre degli Asinelli*, INARCOS, n.374
- BERGONZONI A., ELMI C. (2003) - "Il territorio della pianura bolognese del comune di Bologna- Carta geomorfologica e carta della litologia di superficie", note illustrative, Selca.
- CECCHI GATTOLIN E. (1976) - "Il Santuario di Santo Stefano in Bologna", Modena.
- CREMONINI S., CIABATTI M. (1999) - Introduzione alle ricerche geognostiche in S. Giovanni in Monte per lo studio di una geoforma del microrilievo urbano bolognese, in "San Giovanni in Monte. Scienze della Terra ed Archeologia", Documenti e Studi della Deputazione di Storia Patria per le Prov. di Romagna, 29.
- DEL MONTE M., MALUCELLI F. (1989)- "St. Stephen's Church: a materialized dream" Europ. Cult. Herit. N.L.R., 3, 3, 31-41.
- FARINA M., SIMONI M. E PASSUTTI I. (1998) "Il complesso idrogeologico superficiale nel contesto della città di Bologna". Il geologo dell'Emilia-Romagna.
- FRANCESCHELLI C., MARABINI S. (2007) *Letture di un territorio sepolto. - La pianura lughese in età romana.*

Alma Mater Studiorum, Università di Bologna - Dipartimento di Archeologia. Ante Quem - Studi e Scavi 17. Nuova Serie.

- GELICHI S., CURINA R. (1986) - "Una tomba medioevale rinvenuta nel 1986 presso il convento stefaniano in Bologna", in Studi e documenti di archeologia, II.
- GELICHI S. (1987) - "Scavi nell'area del complesso di Santo Stefano", in 7 Colonne e 7 Chiese: la vicenda ultramillenaria del complesso di Santo Stefano in Bologna, Bologna.
- GIORGI G. (2002) - "Man-induced changes in urban geomorphology: the historic centre of Bologna". Geogr. Fis. Dinam. Quat., 25, 2, 111-121.
- GOZZADINI G. (1878) - "Notizie degli scavi", Bologna.
- GOZZADINI G. (1878) - "Del restauro di due chiese monumentali nella Basilica Stefaniana di Bologna", in :Atti e memorie delle Regie Deputazioni di Storia Patria per le Province dell'Emilia, vol. III, Modena.
- GUAZZOTTI S., FAZIO S. (2005) - "L'immagine della Gerusalemme celeste: il complesso di Santo Stefano a Bologna", in Le rotonde del Santo Sepolcro a cura di P. Pierotti, C. Tosco, C. Zannella, Bari.
- MAZZONI S. (1985) - "Il pozzo di S.Petronio: analisi chimico-fisiche, studio idrogeologico e osservazioni storiche su un'antica fonte della Basilica di Santo Stefano", tesina sperimentale, relatore M. del Monte, Facoltà di Scienze Matematiche, fisiche e naturali, Corso di laurea in Scienze Geologiche, Università degli Studi di Bologna.
- MONTORSI W. (1980) - "S.Stefano in Bologna", volumi I e II, Modena.
- NENZIONI G.- VANNELLI F. (1982)- "I depositi quaternari e le industrie del paleolitico tra i torrenti Savena ed Idice (Bologna)" XXIII° Riunione Scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria - Firenze.
- PESCARIN, SOFIA E FORTE, MAURIZIO E GUIDAZZOLI, ANTONELLA AND MAURI, MASSIMO E BONFIGLI, MARIA ELENA (2007) - "Bologna in età romana dal GIS alla realtà virtuale" in: UT NATURA ARS. Virtual Reality e archeologia. Studi e Scavi . University Press Bologna, Imola, pp. 115-122. ISBN 88-86946-80-5 .
- SCANNAVINI R. (a cura di) (1991) "La piazza di S.Stefano. Da Trebbo medievale a piazza prospettica rinascimentale", Casalecchio di Reno.
- SEVERI P.-AMOROSI A.-, CAPORALE L. CENTINEO M.C.-DI DIO G.-GHISELLI F.-PIZZIOLO M.-PRETI D.-SARTI G.-SEGADELLI S. - (1999) - *Stratigrafia e Cartografia dei depositi pleistocenici ed olocenici della pianura emiliano-romagnola* - in Le Pianure-Conoscenza e Salvaguardia - Università di Ferrara-Regione Emilia-Romagna.
- VIEL G., SANGIORGI S. E ZACCANTI G. (2005) - "L'acqua dei bolognesi". Il geologo dell'Emilia-Romagna, anno v/2005 - n.21 - nuova serie.