



Claudio Argentino* , Stefano Lugli* , Simona Marchetti Dori*

Evoluzione sedimentaria del centro storico di Modena nel tardo Quaternario

Riassunto

Lo scopo di questo lavoro è delineare, interpretando dati sedimentologici e stratigrafici ricavati da sondaggi eseguiti nella zona del centro storico di Modena, l'evoluzione sedimentaria del primo sottosuolo che interessa direttamente la Torre Ghirlandina e l'adiacente Duomo. Il tema centrale si sviluppa attorno al carotaggio eseguito nella primavera 2012 in prossimità dell'angolo sud-ovest della torre civica. Esso ha raggiunto la profondità di 21,30 m toccando il tetto ghiaioso appartenente all'acquifero più superficiale. È stata condotta una completa analisi dal punto di vista stratigrafico e sedimentologico, ponendo attenzione allo studio delle facies deposizionali; sono stati inoltre individuati e caratterizzati i livelli archeologici relativi al periodo romano e a quello medievale, fornendo un contributo di tipo cronologico. Elaborando una sezione stratigrafica sulla base di alcuni sondaggi che attraversano in direzione NE-SO la zona del centro storico, è stata proposta una ricostruzione paleoambientale per gli ultimi 30 m di terreno che corrispondono all'ultimo periodo deposizionale tardo quaternario. A 21 m di profondità è stato rinvenuto il tetto dell'Unità di Vignola costituita dai sedimenti grossolani che si sono depositi durante l'ultimo periodo glaciale würmiano, quando lungo tutta la fascia pedeappenninica si estendeva una piana a canali braided. Su di essa poggiavano sedimenti fini di piana inondabile relativi al periodo postglaciale che caratterizza la porzione inferiore del Substema di Ravenna. Gli orizzonti torbosi che si rinvenivano all'interno di questi depositi testimoniano uno scarso drenaggio dell'area e frequenti episodi d'impaludamento. I livelli organici cedono il posto, nell'intervallo tra -7 e -10 m, a corpi limo-sabbiosi di ventaglio di rotta. L'analisi di facies ha inoltre portato al riconoscimento di alcuni depositi riferibili ad argini naturali che indicano la presenza di canali nelle immediate vicinanze. L'insediamento romano nell'area di Modena occupa l'intervallo stratigrafico compreso tra -4 e -7 m, nel quale si registra la concentrazione di frammenti di laterizi e un livello di blocchi lapidei incontrato a 6 m di profondità in alcuni dei sondaggi studiati. La città fu sconvolta nel IV-VI secolo da ripetute alluvioni che ne causarono l'abbandono; a testimonianza di ciò rimane una spessa coltre di depositi di rotta fluviale che ricopre lo strato romano lungo tutta la sezione.

Abstract

Sedimentary evolution of the historical city centre of Modena in the late Quaternary. The purpose of this paper is to define the sedimentary evolution of the subsoil that directly interacts with the Ghirlandina Tower and the adjacent Romanesque cathedral, by interpreting the sedimentological and

* Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, Via Campi 103, 41125 MODENA, e-mail: claudio.argentino@unimore.it.

stratigraphic data obtained from surveys carried out in the historical city centre of Modena (northern Italy). The study focused on the core drilled in 2012 near the SW corner of the tower, which reached the top of the first aquifer. An integrated study including detailed stratigraphic, sedimentological and facies analysis was also carried out. Furthermore, the Roman and medieval layers were accurately investigated providing an important chronological contribution. The elaboration of a stratigraphic section, starting from the correlation of four cores drilled in the same area, allowed the palaeo-environmental interpretation of the first 30 m of sediments, corresponding to the late Quaternary depositional period. At a depth of 21 m, the drilling intercepted the top of the Vignola Unit, coarse-grained sediments deposited during the last glacial stage (Würm), when a braided fluvial system characterized the foot of the Apennine area. These deposits turn upward to fine-grained sediments rich in organic matter, typical of the lower part of the Ravenna Subsystem. The fine-grained sediments mark the passage to a floodplain environment and the peat layers indicate frequent wetland conditions. Silty to sandy bodies 7 to 10 m deep are the product of crevasse-splays. The recognition of levee deposits suggests the presence of fluvial channels nearby, which were not directly intercepted by drilling. The Roman archaeological layer is found at a depth of 4 to 7 m and many brick fragments and artefacts (pottery) were recovered at a depth of about 6 m. The Roman city was abandoned in the IV-VI century period after frequent floods, as shown by thick crevasse-splay deposits covering the entire Roman interval in the stratigraphic section.

Parole chiave: *Quaternario, Evoluzione stratigrafica, Facies, Modena*

Key words: *Quaternary, Stratigraphic Evolution, Facies, Modena, Italy*

1. Sottosuolo modenese

L'alta-media pianura modenese si inserisce in un contesto stratigrafico caratterizzato dai cicli sedimentari quaternari legati alle oscillazioni del livello marino. I sedimenti più recenti appartengono al Subsystema di Ravenna, unità prevalentemente fine che si colloca in corrispondenza dell'inizio della risalita marina a partire da circa 15 ka (Gasperi & Pizziolo, 2008) (Fig. 1). La fine del periodo glaciale portò ad un innalzamento del livello del mare che condizionò il profilo d'equilibrio dei fiumi segnando una diminuzione nella loro capacità di trasporto di sedimento; lo svilupparsi di condizioni trasgressive su tutta la pianura emiliana definì in queste zone la presenza di estesi bacini interfluviali soggetti a periodici impaludamenti (Amorosi, 1999). I depositi di questa unità sono il prodotto della sedimentazione in prevalenza verticale dovuta a processi di tracimazione di corsi d'acqua sinuosi che si sviluppano a valle dei corsi *braided* caratteristici dei conoidi pedemontani. Il Subsystema di Ravenna comprende l'Unità di Modena, alla quale appartengono i sedimenti depositi dopo l'età romana (post V secolo d.C.). La base dell'unità è stata definita sulla base di dati archeologici e pedologici. Si ritiene che questi depositi siano il prodotto

delle esondazioni di un corso d'acqua minore (Torrente Fossa-Cerca) (Cremaschi & Gasperi, 1989; Lugli *et al.*, 2004). Essi ricoprono per ben 5-6 m la città romana di *Mutina* obliterando in buona parte l'opera di centuriazione (Cremaschi & Gasperi, 1989). La potenza massima dell'intero subsistema supera i 20 m. Il successivo ciclo sedimentario, legato all'ultimo periodo glaciale, è rappresentato dal Subsistema di Villa Verucchio. Nella porzione superiore si trovano depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi di conoide fluviale caratteristici dell'Unità di Vignola; sotto di essa prevalgono i sedimenti fini, con subordinate ghiaie e sabbie, dell'Unità di Niviano. Lo spessore complessivo delle ghiaie relative al conoide del Fiume Secchia raggiunge i valori massimi a sud di Modena (>40 m) e diminuisce rapidamente verso nord, est ed ovest del paleoconoide (Gasperi & Pizziolo, 2008). Un corpo ghiaioso analogo per estensione e spessore all'Unità di Vignola costituisce il tetto del Subsistema di Bazzano, ed è interpretato come deposito grossolano legato al penultimo glaciale pre-tirreniano.

2. Sottosuolo dell'area urbana

Un crescente interesse verso la stratigrafia del sottosuolo della città di Modena arrivò a partire dal 1980, quando il Comune avviò un'intensa attività di studio relativa al fenomeno della subsidenza. Il grande prelievo di acqua di falda stava provocando notevoli abbassamenti del livello del suolo che raggiunsero picchi di 80-90 cm (Russo, 1985; Cancelli, 1986). Venne così realizzata una rete di livellazione geodetica e furono eseguite diverse analisi geotecniche rilevando i livelli piezometrici della falda superficiale e di quelle profonde (Lancellotta, 2009). È grazie a questi studi e a quelli che si sono aggiunti in seguito che si poté sviluppare un chiaro schema dell'evoluzione sedimentaria della pianura modenese. Nel 1997 i monumenti della Piazza Grande di Modena entrarono a fare parte dei siti UNESCO e, per approfondire il dettaglio stratigrafico relativo ai livelli che più direttamente interagivano con la Ghirlandina ed influivano sulla sua stabilità nel tempo, furono eseguiti cinque carotaggi nel settembre 2007 e dicembre 2008.

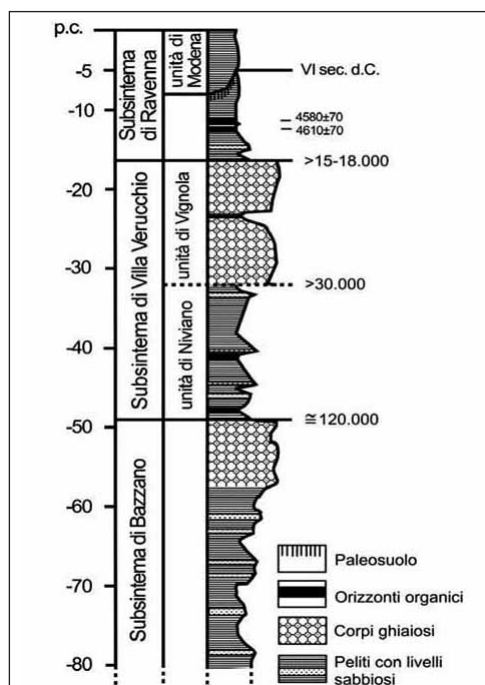


Fig. 1 – Stratigrafia del sottosuolo della pianura modenese (da Lugli & Marchetti Dori, 2011)

3. Sondaggio Ghirlandina 2012

Il sondaggio più recente che coinvolge il centro storico della città è stato eseguito nell'aprile 2012 in prossimità dell'angolo sud-ovest della Ghirlandina e spinto fino alla profondità di 21,30 m. Il foro venne impiegato per piazzare un estensimetro atto a monitorare gli assestamenti differenziali dei vari orizzonti di terreno che interagiscono con la stabilità della torre. L'analisi stratigrafica del carotaggio ha messo in luce la profondità e lo spessore delle varie unità che caratterizzano il sottosuolo del centro storico modenese, interessando in particolare i terreni su cui è stata edificata la torre (Fig. 2). Partendo dal piano campagna, si incontrano depositi antropici moderni per circa 2 m. Questi ricoprono il livello dei riporti medievali, che si estendono almeno fino a 4 m. I sedimenti alluvionali sottostanti raggiungono i 5,50 m, profondità alla quale viene fatto coincidere il limite inferiore dell'Unità di Modena. Al di sotto si ritrovano i depositi risalenti al periodo romano, contraddistinti dalla diffusa presenza di laterizi rimaneggiati di variabile dimensione immersi in una matrice argillosa e un orizzonte costituito da blocchi di

arenaria. A partire da circa 7 m compare la porzione inferiore del Subsistema di Ravenna; al suo interno sono stati registrati alcuni livelli di torba e argilla organica tra 11,81-11,93 m, 13,66-14 m, 15,04-15,06 m e tra 18,55-18,66 m. Il tetto del successivo Subsistema di Villa Verucchio è intercettato a 19,90 m ed è marcato dalle ghiaie e sabbie limose appartenenti all'Unità di Vignola.

4. Caratteristiche sedimentologiche

- La copertura antropica moderna è formata nei primi 35 cm da un conglomerato cementizio composto da piccoli ciottolotti di diametro inferiore al centimetro. Si incontra uno strato di laterizio e frammenti di malta (prodotta con calce e sabbie di media granulometria) fino alla profondità di 0,95 m. Si prosegue con un livello di materiale lapideo di natura arenacea medio-fine ben cementata color grigio-beige; il contatto inferiore è marcato dalla presenza di ciottolotti della medesima litologia a -2,10 m.

- L'intervallo medievale comincia con un livello di laterizi frammentati, di grossa dimensione, il cui lato maggiore raggiunge al massimo 8 cm di lunghezza; nelle fessure si possono notare tracce di malta (con sabbia fine) e argilla sabbiosa fine. Un deposito costituito da laterizi in matrice argillosa si estende poi da -2,40 m a -4 m ed è caratterizzato da diffuse tracce di carbone. Fino a -3,50 m compaiono anche piccoli pezzi di malta fine. Al suo interno si distingue una parte più compatta color grigio chiaro tra -3 e -3,50 m con elevata concentrazione di laterizi di dimensione media di 5 cm e presenza di alcuni gusci di gasteropodi dulcicoli di diametro inferiore a 1 cm. Da -4,40 m a -5,22 m si colloca un corpo sabbioso medio-fine, più argilloso alla base; nei primi 7 cm si rinvengono numerosi resti fogliari.

- La porzione basale dell'Unità di Modena è composta da argille leggermente sabbiose a granulometria fine nelle quali sono immersi piccoli frammenti bruno-rossicci di laterizi che tendono ad aumentare in numero e dimensione avvicinandosi a -5,66 m. A partire da tale profondità si rinvengono i resti di età romana, tra cui un livello di frammenti di malte e laterizio (dimensione media 5 cm); si notano carboni che raggiungono 1 cm di diametro. In questo strato sono stati osservati anche alcuni ciottoli di calcare scuro (dimensione massima 7x3 cm). Nell'intervallo tra -5,81 e -6 m si collocano dei blocchi fraturati di arenaria grossolana con tracce di malte poco cementate alla base. Continuando a scendere di quota si incontra un sottile strato di limo argilloso con resti antropici e alcuni ciottoli di 2-3 cm di diametro a cui segue uno strato scuro d'argilla limosa e limo-sabbiosa molto organica fino a -7 m.

- A partire da -7,50 m ha inizio l'orizzonte pelitico che costituisce la parte inferiore del Subsistema di Ravenna. Il primo metro di sedimento è un limo

argilloso finemente laminato da sabbie fini; da -8,50 m a -9 m si passa ad una argilla limosa anch'essa laminata. Si notano frequenti screziature brunastre che indicano una limitata pedogenesi. Tra -9,50 m e -9,80 m si colloca uno strato d'argilla molto compatto. L'intervallo fangoso che segue è invece più morbido, leggermente screziato e laminato. Negli ultimi 15 cm circa si notano diffusamente calcinelli subcentimetrici: concrezioni carbonatiche che si formano in corrispondenza del livello di stazionamento superiore di una falda. Scendendo di quota si trovano argille che si arricchiscono in componente organica tra -11,81 m e -11,93 m e a cui prende posto nei 30 cm successivi un'argilla limosa laminata. Avvicinandosi al livello di torba, rinvenuta tra -13,66 e -13,69 m, compaiono nell'argilla delle laminazioni nerastre organiche. Nella torba sono diffusi frammenti di guscio di piccoli gasteropodi terrestri. Continua il livello scuro organico fino a -14 m mentre i resti di organismi scompaiono negli ultimi 19 cm. Fino a -18,55 m non si hanno drastici cambiamenti litologici: si tratta di argille limose, laminate negli intervalli tra -14,60 e -14,68 m e tra -17,60 e -17,85 m; altri calcinelli si ritrovano all'interno del primo livello e subito al di sotto del secondo. Tra -15,04 e -15,06 m uno straterello di argilla torbosa conserva alcune piccole radici. Un nuovo orizzonte di torba si colloca tra -18,65 e -18,60 m. In seguito si rileva la presenza di un'argilla limosa, grigio-scura al tetto che sfuma verso una tonalità più marrone alla base. Negli ultimi metri si trovano da -19,90 m a -20 m del limo argilloso con laminazioni sabbiose (granulometria fine-finissima), 20 cm di sabbia medio-fine subordinatamente argillosa ed infine ghiaie eterometriche dell'Unità di Vignola nell'ultimo metro di carota. Esse possiedono diametro variabile entro 0,5-5 cm e variano di colore alla base verso tonalità rossicce.

I 24 campioni raccolti all'interno sondaggio sono di diverse tipologie. Alcuni di loro rientrano nell'insieme dei resti vegetali (foglie, semi) ed animali (ossa, corna, denti), altri a quello dei manufatti (ceramiche) e delle pietre da costruzione. La materia vegetale è stata campionata fondamentalmente presso due livelli stratigrafici: nel primo corpo sabbioso tra i depositi alluvionali post-romani, e nel fango organico ricco di carbone che segue i riporti stessi. Esaminando la colonna stratigrafica ci si rende conto che queste non sono le uniche concentrazioni annotate, ma è stato scelto il campionamento di quei resti che presentano particolarità morfologiche, ovvero buono stato di conservazione, o qualità utili per ricostruzioni ambientali. Per questi campioni le descrizioni si limiteranno alla sola morfologia, in quanto non sono ancora stati sottoposti ad analisi da parte di specialisti botanici. A 4,77 m di profondità si collocano SG12 e SG13; per entrambi si tratta di materiale legnoso, in buona

parte ossidato, il primo meglio conservato dell'altro. SG12 è 4x2,5x4,5 cm ed è tagliato trasversalmente da una frattura superficiale mentre SG13 ha dimensioni più ridotte e forma più appiattita 4x3,5x1,5 cm. Pochi decimetri più in basso è stato raccolto SG16: trattasi di seme di dimensioni 1,2x1 cm. A -6,43 m, all'interno di argille organiche, è stato raccolto un resto legnoso particolarmente ben conservato di cui si può distinguere la porzione fibrosa interna; esso ha dimensioni 6x2x4 cm.

Per quanto riguarda invece i resti di animali rinvenuti nel sondaggio, questi si collocano nello strato medievale e nello strato romano. Il campione più superficiale è SG1, trovato a -2,45 m: si tratta di un frammento osseo di 2x1 cm di area e piuttosto appiattito, difficilmente identificabile a causa della mancanza di particolari diagnostici. A -2,85 m è stato trovato un ulteriore frammento osseo (SG3), anch'esso non identificabile. Un interessante resto osteologico è stato invece recuperato a -3,07 m. Questo campione di forma allungata si presenta troncato alle due estremità dal carotatore; manca pertanto di preziosi indizi per il riconoscimento; nonostante questo si sono potute constatare una certa divergenza dalla forma cilindrica e uno schiacciamento più marcato lungo un lato, caratteri che ci fanno ipotizzare possa trattarsi di un femore. Partendo da queste osservazioni si è tentata un'analisi comparativa presso il Museo di Zoologia e Anatomia comparata di Modena. L'analisi preliminare ha permesso di rilevare somiglianze morfologiche con il femore di *Homo* e di *Sus scrofa*.

A -5,33 m è stato rinvenuto un ulteriore resto animale, identificato come incisivo inferiore di suino (SG15). Esso appare scheggiato e annerito in alcuni punti a causa dei processi di decomposizione; è lungo circa 2 cm e largo 1 cm. Alla profondità di 6,42 m è stato trovato un resto osseo, scheggiato a un'estremità, ma che possiede un'epifisi intatta (SG17). Dall'osservazione morfologica si è concluso potesse trattarsi di un metatarso destro e successivamente, attraverso analisi comparative, si è dedotta la probabile appartenenza di tale elemento al genere *Ovis*. Il resto osseo più interessante è stato rinvenuto alla profondità di 6,75 m (SG23): si tratta di un corno destro integro di ovicaprina. Una scheggia ossea è stata infine rinvenuta a -6,90 m, e rappresenta il campione più profondo (SG24); non si può tentare una identificazione in quanto priva di caratteristiche diagnostiche.

Tra i reperti più interessanti dal punto di vista archeologico vi è il campione SG2, a -2,48 m in pieno strato medievale. Esso presenta un preciso contorno quadrato, circa 1x1 cm, e superfici lisce e parallele che potrebbe rappresentare una tessera di mosaico. Nello strato romano è stato rinvenuto a -6,45 m un piccolo pezzo di ceramica (SG19), lungo 2,5 cm e largo 1,5 cm, di forma

appiattita. Analizzandolo al microscopio mineralogico è stato possibile riconoscere cristalli di quarzo e muscovite immersi in una pasta criptocristallina. Alla stessa quota è stata rinvenuta una scoria di fusione (SG20), 3x2x2,5 cm. Scendendo a -6,72 m si trovavano, a contatto tra loro, un'altra piccola scoria vetrosa (SG22) e un frammento di vaso (SG21). Su quest'ultimo si notano perfettamente le tracce della lavorazione.

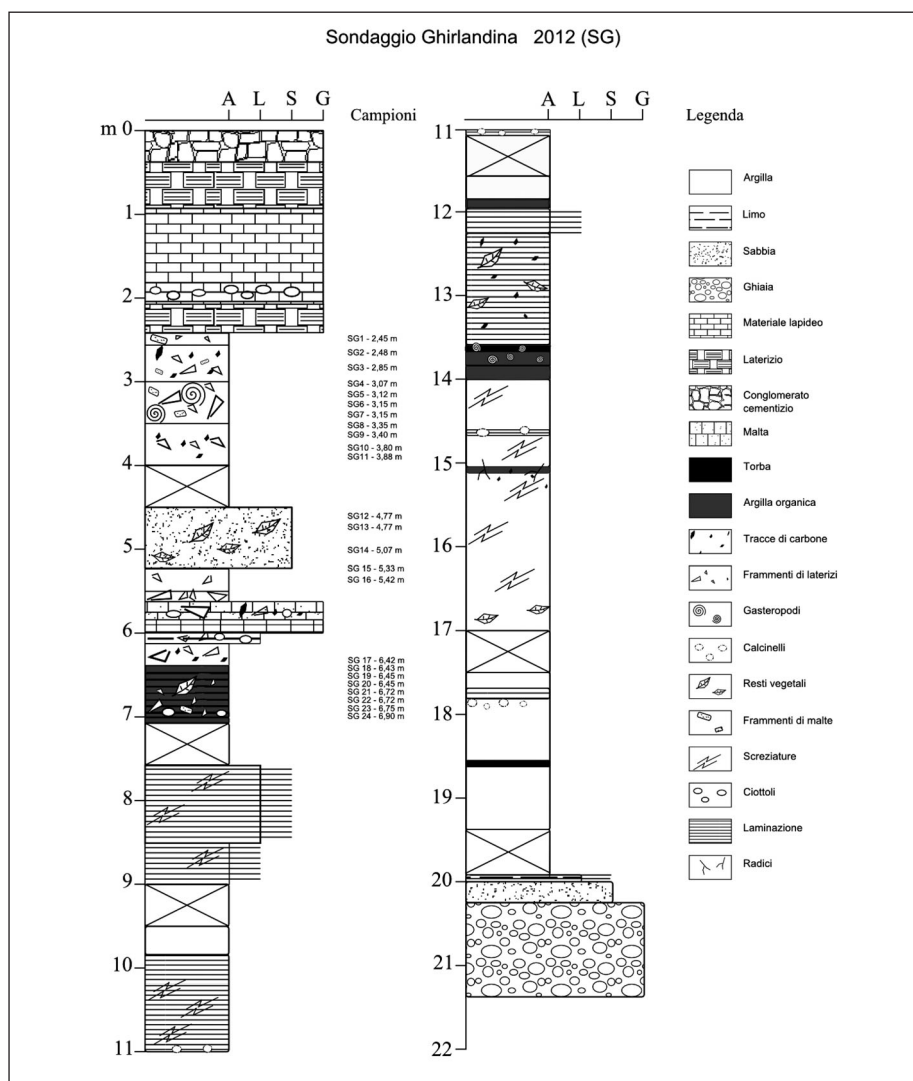


Fig. 2 – Stratigrafia del sondaggio eseguito in corrispondenza della Torre Ghirlandina

5. Facies deposizionali e ricostruzione paleoambientale

Alla base del carotaggio SG viene riconosciuta la facies di canale fluviale; essa si presenta con una litologia grossolana, costituita in prevalenza da ghiaie eterometriche (dimensioni da 0,5 a 5 cm) immerse in una matrice sabbiosa. Questo deposito appare privo di fossili e resti organici. La fase di abbandono del canale è generalmente contrassegnata da una diminuzione granulometrica e dall'alternarsi di ghiaie, sabbie e limi sabbiosi. Il ritrovamento in vaste aree dell'alta e media pianura di corpi ghiaiosi di questo genere è da ricondurre alla presenza, in passato, di un sistema a canali intrecciati rimasto attivo fino a circa 15 ka (Gasperi & Pizziolo, 2008). Al di sopra di questi depositi poggiano sedimenti fini di intercanale per circa 10 m. Da 19,90 m a circa 7 m di profondità si distingue in prevalenza una facies di piana alluvionale. Si tratta di un intervallo di argilla limosa piuttosto omogeneo e plastico che costituisce i depositi di tracimazione fine e decantazione. Essi rappresentano la prosecuzione laterale sottocorrente dei depositi di argine e rotta fluviale. Al loro interno si ritrovano livelli di torba e di argille organiche che presentano una tipica facies di palude. Questi ultimi sono costituiti da argille subordinatamente limose che presentano un colore grigio scuro. Sono diffusi i frammenti di gusci di gasteropodi dulcicoli e tracce di carboni; si notano alcuni apparati radicali verticali in posizione fisiologica attorno a 15 m di profondità. I sottili orizzonti neri di torba sono collocati a -18,60 m e -13,70 m. Questi depositi generalmente si vengono a formare in un ambiente deposizionale subacqueo di bassa profondità, stagnante e ricco in materiale organico, in corrispondenza di un'area morfologicamente depressa. A partire da -12,20 m si rinviene un corpo fittamente laminato composto da argilla limosa e limo sabbioso. Esso presenta alcune locali concentrazioni di ossidi e/o idrossidi di ferro e può contenere resti vegetali. Questa facies è tipica dell'argine naturale e suggerisce un ambiente di deposizione caratterizzato da oscillazioni di energia e prossimo a un sistema deposizionale trattivo come un canale fluviale. Se ne rinviene un altro a -9 m circa e prosegue per oltre 1 m di spessore. Su di esso poggiano 2 m di depositi antropici relativi al periodo romano. Gli ultimi depositi di origine naturale si trovano tra -4,50 e -5,22 m, intervallo entro cui si colloca un corpo sabbioso medio-fine subordinatamente limoso. Esso presenta una maggiore componente argillosa alla base e si rileva una presenza diffusa di resti fogliari; probabilmente si può interpretare come deposito di rotta fluviale.

Si può proporre una ricostruzione paleoambientale per il sondaggio del 2012, tenendo conto che trattandosi di un unico carotaggio non si possono ottenere informazioni areali ma solamente puntuali. Ciò non esclude il fatto

che si riescano a trarre determinate conclusioni conoscendo l'evoluzione sedimentaria degli attuali ambienti deposizionali. Circa 15 ka, terminava la fase di deterioramento climatico legata all'ultimo glaciale, segnata dalla presenza di corpi sedimentari ghiaiosi di riempimento di canale; tali depositi sarebbero attribuibili all'attività di trasporto del F. Secchia (Lugli *et al.*, 2004). Gli scarci apporti generalmente più fini nella parte sommitale dell'unità testimonierebbero il periodo di transizione verso condizioni climatiche più miti. L'ambiente si è quindi evoluto a piana alluvionale, spesso sommersa dalle esondazioni dei corsi d'acqua adiacenti, e dunque mal drenata. Nelle depressioni morfologiche si venivano a formare bacini palustri di bassa profondità, che oggi riconosciamo nel sondaggio come sottili livelli torbosi e argillosi centimetrici e decimetrici di colore grigio nerastro. In questi acquitrini si accumulavano grandi quantità di materia organica e vivevano alcuni gasteropodi terrestri; l'acqua era dulcicola o debolmente salmastra, caratterizzata da scarsa ossigenazione. Nella piana erano comuni gli episodi di rotta fluviale, che si espandevano a partire dal punto di rottura degli argini. L'acqua seguiva quindi il gradiente altimetrico e nelle zone più distali lasciava decantare i sedimenti più fini depositando sottili lamine di sabbia, limo e argilla. Si potevano avere fasi di emersione più prolungate e così si avviava il processo di pedogenesi, con ossidazione di minerali di ferro e manganese; il parziale essiccamento conferiva inoltre una maggiore compattezza al livello di terreno più superficiale. Il rinvenimento di facies di argine indica la presenza nelle immediate vicinanze di un canale fluviale che non è stato intercettato dalle perforazioni. Attorno a 7 m di profondità si rinviene uno strato argilloso molto scuro ricco di carbone. Al suo interno sono state recuperate diverse ossa scheggiate ed un corno appartenuti ad animali da allevamento (ovicaprini). Sempre nello stesso livello sono stati campionati due frammenti ceramici e delle scorie di fusione. Si tratta molto probabilmente di resti di età romana; i reperti animali potrebbero rappresentare resti di macellazione. Intanto il paesaggio evolveva e le alluvioni rimaneggiavano i resti antropici. Tra il IV e il VI secolo d.C. una fase di deterioramento climatico determinò un importante incremento della piovosità, con conseguente modifica della rete idrografica e alluvionamento di gran parte della pianura (Veggiani, 1994). Durante questo periodo, depositi argilloso-sabbiosi ricoprivano gran parte della centuriazione romana e l'argine di qualche canale vicino cedeva improvvisamente generando dei ventagli di rotta sabbiosi che si espandevano per decine di metri sulla piana scarsamente drenata. Il livello antropico recente, infine, sembra marcare un rallentamento di questi processi anche se la città rimane tutt'oggi a rischio inondazione (Castaldini *et al.*, 2007).

6. Ricostruzione della storia sedimentaria del centro storico

La correlazione di 4 carotaggi, scelti tra quelli eseguiti all'interno dell'area del centro storico, ha permesso di approfondire la conoscenza circa l'architettura deposizionale del primo sottosuolo. Si tratta di sondaggi ubicati nelle adiacenze della Ghirlandina e del Duomo e seguono una disposizione diretta da NE a SO (Fig. 3); così facendo si è potuta ottenere una sezione che permette di ridefinire con maggiore dettaglio la distribuzione spaziale delle facies sovrastanti l'Unità di Vignola. Si è ritenuto opportuno concentrarsi sui primi 30 m di terreno per poter mantenere un certo grado di dettaglio e per mancanza di sufficienti dati per la porzione più profonda. Due di questi carotaggi sono stati eseguiti nel 2010, PZ1 e PZ2 e hanno raggiunto rispettivamente le profondità di 24 m e 55 m. Essi sono stati inoltre accompagnati da rilevamenti piezometrici.

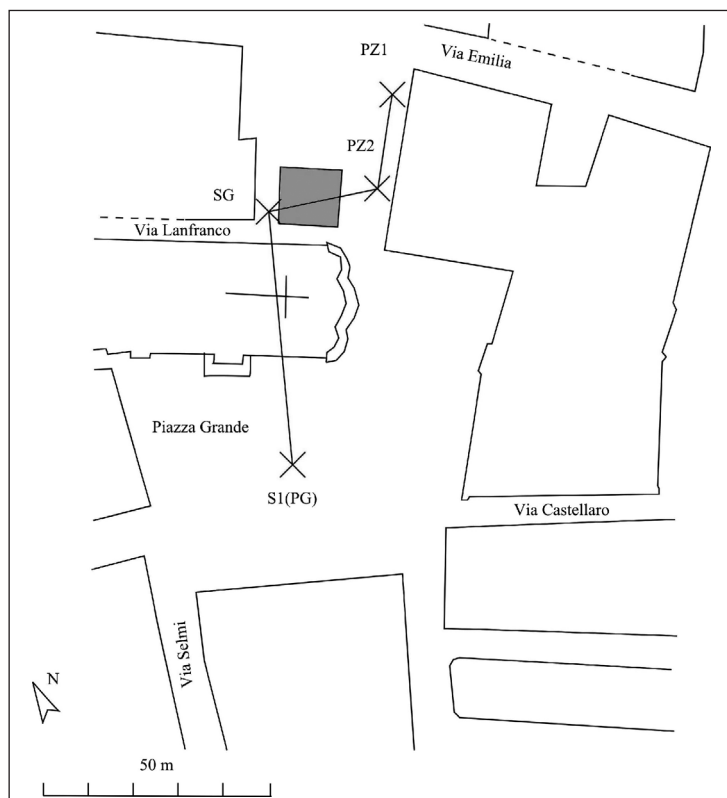


Fig. 3 – Ubicazione dei sondaggi esaminati e traccia della sezione stratigrafica del sottosuolo (modificato da Labate, 2009); in grigio è evidenziata la Torre Ghirlandina

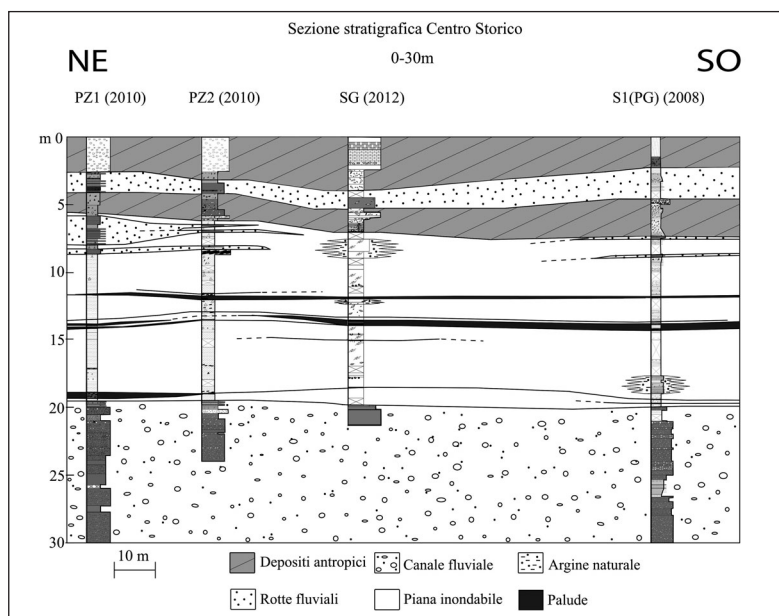


Fig. 4 – Sezione stratigrafica relativa ai primi 30 m di sottosuolo del centro storico sviluppata correlando i carotaggi PZ1, PZ2, SG e S1(PG)

La porzione inferiore del profilo evidenzia la presenza dei depositi ghiaiosi dell'Unità di Vignola, il cui limite superiore è a circa 19-20 m di profondità (Fig. 4). La sua deposizione sembra legata a condizioni idrauliche e climatiche diverse da quelle che caratterizzano l'intervallo sovrastante e comunque caratterizzate da maggiori portate e un maggiore carico solido. In base a tali considerazioni si ipotizza la deposizione di questi corpi nel corso dell'ultima glaciazione e al periodo immediatamente successivo. Essi fanno parte di un conoide alluvionale, riferibile all'attività del F. Secchia (Lugli *et al.*, 2004). L'età del limite superiore, spesso difficilmente determinabile a causa della litologia ghiaiosa è stata stabilita sulla base di datazioni al ^{14}C di sostanze organiche rinvenute nei sondaggi della R.E.R. alla base del Subsistema di Ravenna e corrisponderebbe a 15 ka circa. L'innalzamento del livello marino legato alla fusione dei ghiacciai andò a modificare il profilo dei fiumi e ciò influì in maniera significativa sulla loro velocità di scorrimento e sul carico trasportato. La transizione verso un ambiente di piana alluvionale avveniva attraverso processi di esondazione e lo scarso drenaggio della zona ha permesso l'impaludamento di vaste aree depresse, come dimostrano i frequenti livelli paludosi evidenziati nella porzione centrale della sezione, nell'intervallo 10-20 m.

Gli spessori di questi orizzonti organici arrivano a raggiungere in certi casi 40-50 cm all'interno di SG e S1(PG). La presenza di questi bacini interfluviali frequentemente stagnanti e la contemporanea presenza di sedimenti di transizione e marini nelle parti più orientali della pianura (Amorosi, 1999) testimoniano l'instaurarsi di condizioni trasgressive su tutta la pianura emiliana. Si notano alcuni argini naturali limo-sabbiosi e alcuni depositi relativi a episodi di rotta fluviale; questi ultimi al di sopra di 9 m di profondità. Il sondaggio PZ1 intercetta un corpo di spessore metrico, probabilmente composto da più ventagli amalgamati. I resti antropici si rinvencono a partire da -7 m e corrispondono al periodo di insediamento romano in quest'area. I vari dati litologici ed archeologici mostrano come l'Unità di Modena appoggi in discontinuità sul suolo di epoca romana e contenga al suo interno diffusi reperti rimaneggiati dalle alluvioni. Tali depositi sono da mettere in relazione alla crisi climatica altomedievale (Cremaschi & Gasperi, 1989) la quale segnò un periodo di maggiore dinamica fluviale. L'attività di corsi d'acqua minori, in particolare del T. Fossa di Spezzano-T. Cerca (indicati anche come Torrente Formigine, cfr. Cremaschi & Gasperi, 1989; Lugli *et al.*, 2004), generò col tempo una copertura di 2,5-3 m di spessore che seppellì la città romana di *Mutina*. Infine, nella porzione di terreno più superficiale, compare il livello antropico recente. Esso varia di spessore entro un massimo di 4 m a ridosso della Ghirlandina (SG) ed un minimo di 2,50 m sotto Piazza Grande (S1PG).

7. Conclusioni

Il numero rilevante di nuovi dati acquisiti in occasione dei complessi lavori di restauro della Torre Ghirlandina e del Duomo ha permesso di incrementare in modo significativo le conoscenze del contesto paleoambientale e insediativo della zona del centro storico di Modena durante gli ultimi 15 ka. Sono state analizzate in maniera accurata la sedimentologia e la stratigrafia di una carota estratta in prossimità dell'angolo sud-ovest della Ghirlandina, fornendo utili informazioni per lo studio sull'interazione tra terreno e stabilità della torre. La correlazione stratigrafica con dati di sottosuolo preesistenti, attraverso l'elaborazione di un profilo, ha consentito di ricostruire in dettaglio l'architettura deposizionale del primo sottosuolo dell'area del sito UNESCO.

A 21 m di profondità si rinviene il tetto dell'Unità di Vignola costituita dai sedimenti grossolani che si sono depositi durante l'ultimo periodo glaciale würmiano, quando lungo tutta la fascia pedeappenninica si estendeva una piana a canali *braided*. Al di sopra di essa aggradano i sedimenti fini di piana inondabile relativi al periodo postglaciale che caratterizza la porzione inferiore del Subsistema di Ravenna. Gli orizzonti torbosi che si rinvencono all'in-

terno di questi depositi testimoniano uno scarso drenaggio dell'area e frequenti episodi d'impaludamento. I livelli organici cedono il posto, nell'intervallo tra -7 e -10 m, a corpi limo-sabbiosi di ventaglio di rotta. L'analisi di facies ha inoltre portato al riconoscimento di alcuni depositi riferibili ad argini naturali che indicano la presenza di canali nelle immediate vicinanze, non intercettati dai sondaggi.

L'insediamento romano nell'area di Modena marca l'intervallo stratigrafico compreso tra -4 e -7 m, nel quale si registra la concentrazione di frammenti di laterizi e un livello di blocchi lapidei incontrato a 6 m di profondità in alcuni dei sondaggi studiati. Questo intervallo ha restituito alcuni resti animali che potrebbero riferirsi ad attività di macellazione di ovicaprini. Sono presenti anche scorie vetrose ed alcune ceramiche attorno ai 6,50 m di profondità. La città romana fu abbandonata in seguito a ripetute alluvioni nei secoli IV-VI; a testimonianza di ciò rimane una spessa coltre di depositi di rotta fluviale che ricopre lo strato romano lungo tutta la sezione.

I dati raccolti in questo studio rappresentano pertanto un'importante fonte di informazione riguardo al sottosuolo dell'area urbana modenese, a disposizione di chiunque operi nei settori delle scienze della Terra e dell'archeologia.

Bibliografia

- AMOROSI A., 1999 – *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 223 "Ravenna"*. Servizio Geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- CANCELLI A., 1986 – *Aspetti geotecnici della subsidenza. Ambiente: Protezione e Risanamento*. Atti 2° Corso di Aggiornamento per tecnici di igiene ambientale, Modena, Ed. Pitagora, Bologna.
- CASTALDINI D., CARDARELLI A., CATTANI M., PANIZZA M., PIACENTINI D., 2007 – *Geo-archaeological aspects of the Modena plain (northern Italy)*. *Physio-Géo*, 2007, 1, pp. 34-35.
- CREMASCHI M., GASPERI G., 1989 – *L'alluvione alto-medioevale di Mutina (Modena) in rapporto alle variazioni ambientali oloceniche*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 42, pp. 179-190.
- GASPERI G., PIZZIOLLO M., 2008 – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 201 "Modena"*. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- LABATE D., 2009 – *Il contributo dell'archeologia alla lettura di un monumento*. In: R. Cadignani (a cura di) "La Torre Ghirlandina. Un progetto per la conservazione", pp. 67-73, Ed. Luca Sossella, Roma.
- LANCELOTTO R., 2009 – *Aspetti geotecnici nella conservazione della Torre Ghirlandina*. In: R. Cadignani (a cura di) "La Torre Ghirlandina. Un progetto per la conservazione", pp. 186-193, Ed. Luca Sossella, Roma.
- LUGLI S., MARCHETTI DORI S., 2011 – *Evoluzione sedimentaria dell'area tra Formigine e Baggiovara alla luce dei nuovi scavi archeologici*. In: D. Labate & D. Locatelli (a cura di) "L'insediamento etrusco e romano di Baggiovara (MO), le indagini archeologiche e archeometriche", 27, pp. 117-124, Ed. Insegna del Giglio, Firenze.
- LUGLI S., MARCHETTI DORI S., FONTANA D., PANINI F., 2004 – *Composizione dei sedimenti sabbiosi nelle perforazioni lungo il tracciato ferroviario ad alta velocità: indicazioni preliminari sull'evoluzione sedimentaria della media pianura modenese*. *Il Quaternario*, 17, pp. 379-389.
- RUSSO P., 1985 – *L'abbassamento del suolo nella zona di Modena (1950-1982)*. *Tecnica Sanitaria*, 23, pp. 293-300.
- VEGGIANI A., 1994 – *I deterioramenti climatici dell'età del ferro e dell'alto medioevo*. *Boll. Soc. Torricelliana di Sc. e Lett.*, 45, pp. 1-80.