

3.2

ASPETTI MICROMORFOLOGICI DEL RIEMPIMENTO DEI POZZI E DELLE UNITÀ STRATIGRAFICHE CORRELATE DELLA RECINZIONE E DEL FOSSATO

GUIDO STEFANO MARIANI, MAURO CREMASCHI

3.2.1 INTRODUZIONE

Nel corso delle numerose campagne di scavo dedicate all'area in esame, è stata raccolta una serie di campioni indisturbati di unità stratigrafiche significative, analogamente a quanto già fatto per il Villaggio Piccolo (Cremaschi, Ottomano, Trombino 2004). Da queste sono state ricavate delle sezioni sottili, il cui studio micromorfologico è stato affrontato al fine di integrare le osservazioni di campagna per meglio ricostruire i processi di formazione della stratigrafia archeologica indagata (la Recinzione del sito ed il Fossato con le sue strutture idrauliche).

Sono stati presi in esame (Fig. 1):

- Area Recinzione: il suolo di base (US 200), il riempimento dell'Incisione ramificata (US 1723), il Terrapieno (US 1502), i pozzi (UUSS 1333, 1712, 5776).
- Area *Glacis*: i pozzi (UUSS 5989, 5972, 6003, 6751), la canaletta (US 6001).
- Area Fossato: i riempimenti tardi (US 5993), il centro fossato (pozzi UUSS 5997, 6046), la Campagna interna (pozzo US 6499), la Risalita Est (pozzo US 6373).

Dai campioni, indisturbati ed orientati, raccolti in fase di scavo ed adeguatamente consolidati mediante resine secondo tecniche standard (Murphy 1986), sono state ricavate sezioni sottili (5x9 cm) studiate poi mediante microscopio petrografico (Olympus BX41) munito di fotocamera. Per la descrizione e l'interpretazione ci si è riferiti alla terminologia di Bullock *et alii* (1985) e Stoops (2003): Le tabelle descrittive sono riportate nel Supplemento Digitale SD4, mentre di seguito si riporta una descrizione non formalizzata, riferendosi ai criteri espressi in Fitzpatrick (1984). Le interpretazioni si basano principalmente sulle osservazioni raccolte nei volumi di Stoops, Marcelino, Mees (2018) e Courty, Goldberg, MacPhail (1989).

3.2.2 DESCRIZIONE DEI CAMPIONI STUDIATI

Il suolo di base

US 200

I campioni di questa unità derivano dal suolo rinvenuto alla base della stratigrafia archeologica. Osservati in sezione sottile, essi appaiono organizzati in aggregati poliedrici di materiale scarsamente classato, composto da una matrice limoso-argillosa contenente scarsa sabbia composta di frammenti di minerali terrigeni (quarzo, feldspati, miche) e di calcite; la porosità è rilevante e composta da canali e da fessure talora derivanti da bioturbazione per passaggio di organismi (Kooistra e Pulleman 2018). Altri componenti presenti nella massa di fondo sono carboni anche molto fini, insieme a rari frammenti di gasteropodi. Sono presenti noduli e screziature rossastre di ferro e manganese, nonché rare impregnazioni di calcite microscopica e rivestimenti limosi sulle pareti delle porosità.

US 1723

Il campione è stato raccolto nel riempimento dell'Incisione ramificata (cfr. cap 3.1) che ha passaggio laterale con US 200, ma ha colori grigi che denotano condizioni idromorfe. In sezione sottile, dal punto di vista tessiturale e mineralogico, è del tutto simile all'US 200, indicando come l'unità derivi dal suo rimaneggiamento. Alcune caratteristiche di *fabric* ne differiscono sensibilmente: la struttura ha infatti un aspetto più massivo e una porosità meno espressa (Fig. 2, 2); vi sono noduli di manganese e ferro dai limiti digitati; i componenti organici sono limitati ai microcarboni.

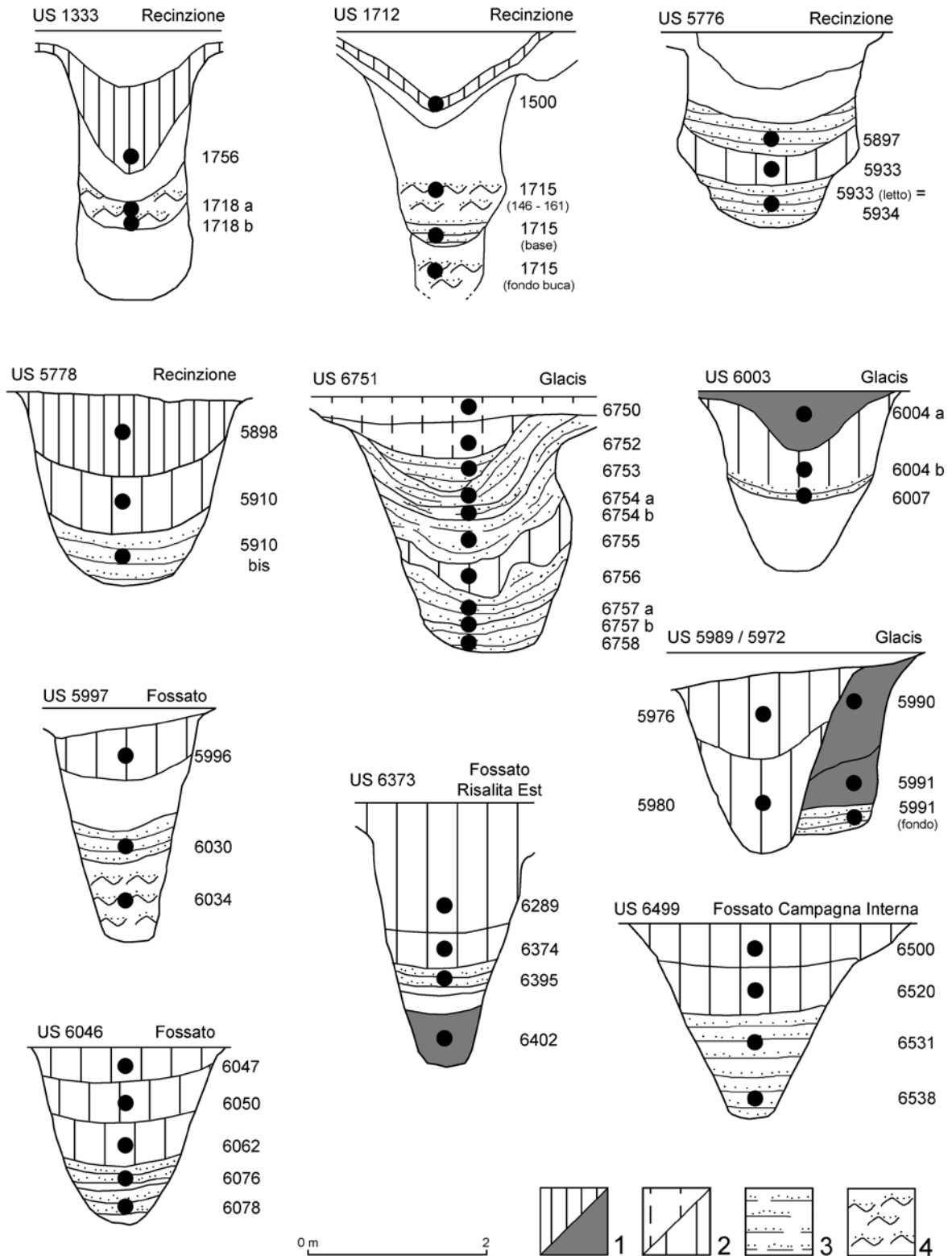


Fig. 1 - Ubicazione delle sezioni sottili studiate (cerchi campiti). Recinzione: US 1712; US 1333; US 5776; US 5778. Glacis: UUSS 5972-5989; US 6751; US 6003. Fossato: US 5997; US 6046; US 6373; US 6499. 1) Terre Nere e unità ricche di sostanza organica (mucillagini); 2) colluvio e "Depositi di decantazione"; 3) "Depositi laminati"; 4) "Depositi laminati" perturbati.

Terrapieno US 1502

Il campione prelevato nell'area del pozzo US 1548, appare fortemente eterometrico, contenendo aree a tessitura limoso-sabbiosa che passano gradualmente ad altre di tessitura sabbiosa (Fig. 2, 1). Vi sono poi numerosi noduli di calcite micritica dai contorni netti ed arrotondati e iporivestimenti calcificati nei vuoti, nonché numerosi litorelitti, a contorni irregolari, che confermano la natura caotica di questa unità già evidenziata dal terreno. Vi sono inoltre numerose evidenze di passaggio, ma nessuna impregnazione organica ed i carboni sono molto scarsi, ben rappresentati i frammenti di conchiglia, ma minutamente frammentati. Non mancano le concrezioni di ossidi di ferro di colore bruno dai contorni mammillati e digitati, sviluppati in posto.

*Recinzione***Pozzo US 1333**

Si tratta di un profondo pozzo che raggiunge l'acquifero sabbioso alla sua base (cfr. cap. 3.1, Fig. 9). Del suo complesso riempimento vengono esaminati in sezione sottile i campioni dell'US 1756 nella parte sommitale e nella parte inferiore, due campioni dell'US 1718a e b raccolti rispettivamente al tetto ed alla base dello strato.

L'US 1756, appartenente alle Terre Nere, evidenzia un elevato contenuto di sostanza organica amorfa, nonché carboni, frammenti d'ossa e fitoliti; la presenza di vescicole, determinate dallo sviluppo di gas, è indicativa di decomposizione di materia organica (Macphail e Goldberg 2018). I noduli di ferro e manganese sono quasi completamente assenti (Fig. 2, 4), mentre sono visibili patine sia di argilla fine che grossolana. Dall'US 1718 che appartiene ai "Depositi laminati" provengono due campioni entrambi di tessiture variabili fra sabbia e limo; mentre nel campione US 1718a dominano le lamine gradate discontinue e perturbate, in quello dell'US 1718b queste sono meglio conservate ed hanno andamento piano, regolare e continuo. Vi sono poi numerosi piccoli litorelitti, derivanti dal degrado delle pareti, mentre scarse sono le figure di passaggio ed altri segni di attività organica (Fig. 2, 5). A differenza dell'US 1756, vi sono numerosi noduli di ferro e manganese, sia nella forma più scura sia in quella più rossastra, nonché screziature. Nei vuoti si osservano inoltre numerose patine grossolane.

Pozzo US 1712. Si tratta di un profondo pozzo che attraversa due acquiferi, ed ha un riempimento complesso costituito da unità del Terrapieno e delle Terre Nere che si sovrappongono a sedimenti sabbiosi laminati in riempimento del pozzo (cfr. cap. 3.1 Fig. 10). Sono stati esaminati dal punto di vista micromorfologico i campioni di US 5341 (= US 1500), US 1715 (campione 149-161 cm), US 1715 base e US 1715 (fondo buca).

Il campione US 5341/43 (= US 1500), che appartiene alle Terre Nere, ha evidenze di forte bioturbazione indicata dalla porosità (canali e camere) e da crescenti indicanti passaggi di lombrichi (Fig. 2, 3). Presenta inoltre elevata concentrazione di sostanza organica che dà luogo ad un colore bruno scuro e contiene gusci di gasteropodi, molti carboni e frammenti di ceramica. Numerosi noduli carbonatici indicano fenomeni di ricarbonatazione. Si osservano inoltre alcune plaghe fosfatiche, talora disposte planarmente.

Ben diversa l'US 1715 (nei campioni 149-161 cm, base, fondo buca), appartenente ai "Depositi laminati" definiti su base macroscopica (cfr. cap. 3.1). Di tessitura specialmente sabbiosa presenta laminazioni talora ondulate e piane (Fig. 2, 6), a gradazione diretta, molto pronunciate e caotiche nel caso del campione 149-161 cm, nel quale la presenza di crescenti è testimone di attività biologica anche a questo livello. Il campione fondo buca presenta inoltre rari noduli fosfatici, anch'essi legati all'attività organica (Karkanias e Goldberg 2018). L'US nel suo complesso contiene una varietà di noduli di ferro e manganese (Fig. 3, 1), sia molto scuri, di solito a contorno irregolare e digitato, sia più raramente di un rosso più tenue accompagnati a screziature sia rosse, sia di colori più grigi, segno di condizioni idromorfe (Vepraskas, Lindbo, Stolt 2018). Nei vuoti si possono notare patine stratificate di tessitura limosa e più grossolana.

Pozzo US 5776

Di questo pozzo che intercetta alla base una coppia di acquiferi (cfr. cap. 3.1, Fig. 12), vengono studiate dal punto di vista micromorfologico tre unità collocate rispettivamente nella parte intermedia ed inferiore del riempimento. L'US 5897, ascrivibile ai "Depositi laminati", mostra evidenti lamine a gradazione diretta, di tessitura da sabbiosa a limosa grossolana, mentre la sottostante unità (US 5933) è di tessitura fine ed è percorsa da alcune vescicole, contiene numerosi frammenti di gasteropodi e tracce di passaggio, nonché sostanza

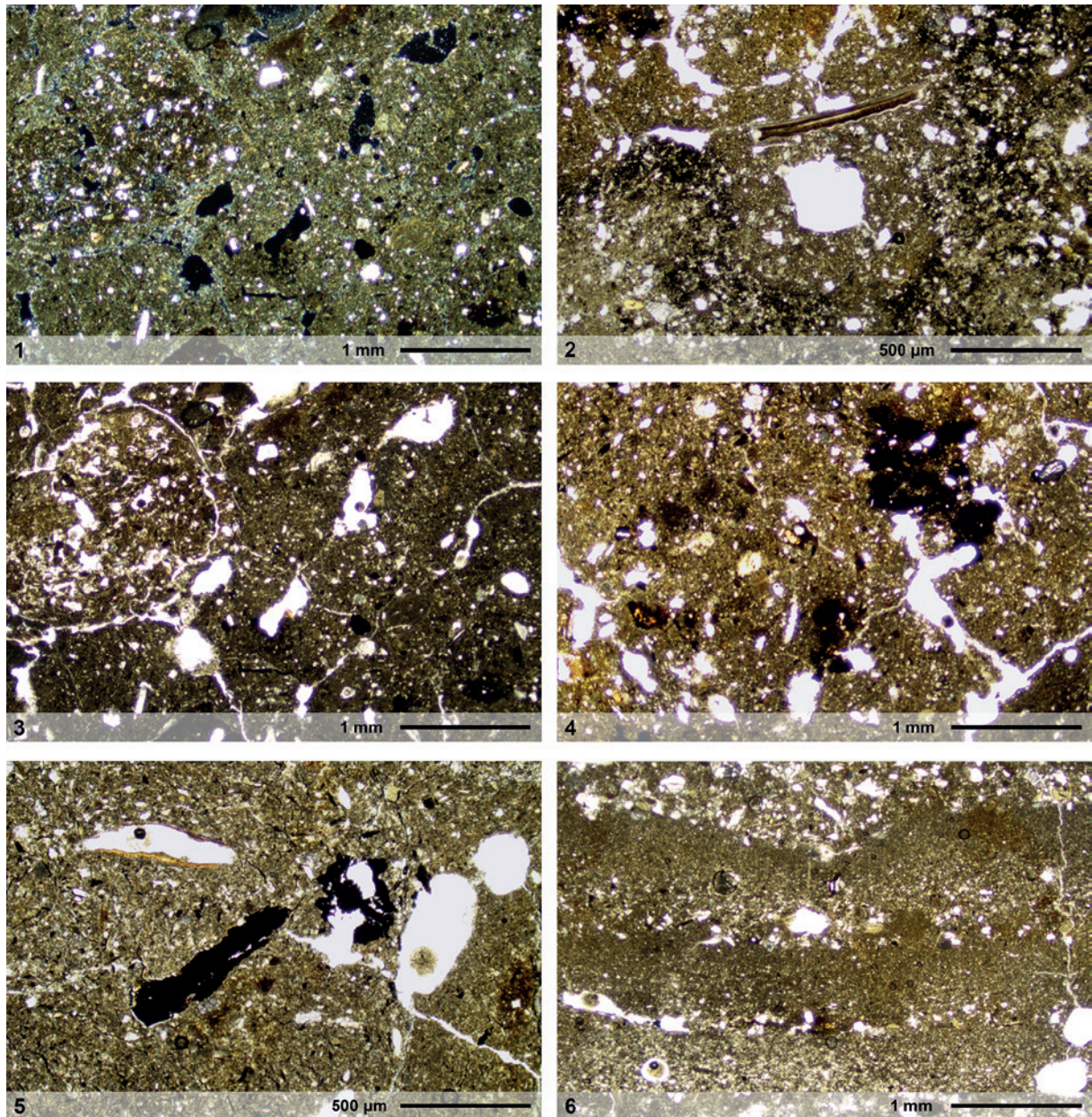


Fig. 2 - Fotografie delle sezioni sottili.

- 1 - (XPL, ingrandimento 20x) Terrapieno US 1502; litorelitti;
- 2 - (PPL, ingrandimento 20x) US 1723; Incisione ramificata: al centro frammento di gasteropode, in basso figura di passaggio, ai lati impregnazioni Fe-Mn;
- 3 - (PPL, ingrandimento 20x) Recinzione; Terra Nera US 1500; microstruttura con bioturbazione;
- 4 - (PPL, ingrandimento 20x) Recinzione; pozzo US 1333; US 1756; noduli nerastri di aggregati Fe Mn;
- 5 - (PPL, ingrandimento 40x) Recinzione; pozzo US 1333; US 1718B; carboni nella massa di fondo;
- 6 - (PPL, ingrandimento 20x) Recinzione; pozzo US 1712; US 1715 base; laminazioni parallele.

organica amorfa. Alla base vi sono di nuovo i “Depositi laminati” dell’ US 5994 = 5993 letto). I noduli di ferro e manganese sono più scarsi nell’US 5897, più frequenti nell’US 5933, dove appaiono sia noduli più scuri sia rossastri arrotondati e di nuovo scarsi in US 5934; in tutte le unità sono presenti rivestimenti di tessitura fine all’interno dei vuoti.

Pozzo US 5778 (=5896)

Da questo pozzo provengono due campioni, uno relativo a US 5898 che costituisce il riempimento superiore ed appartiene all’unità delle Terre Nere e l’altro (US 5910), sottostante, appartenente ai “Depositi di decantazione”. Il primo si caratterizza per contenuto di carbo-

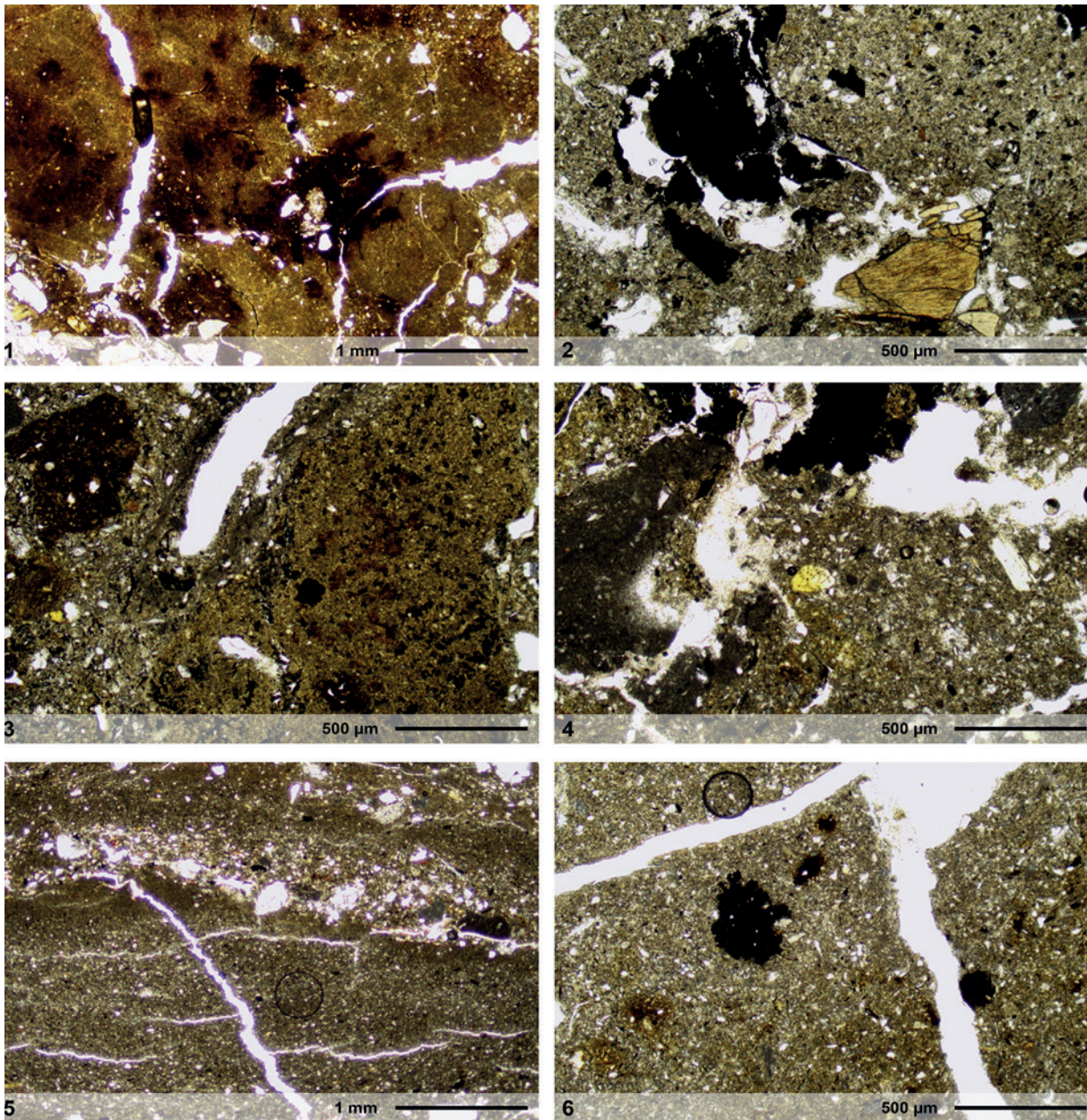


Fig. 3 - Fotografie delle sezioni sottili.

- 1 - (PPL, ingrandimento 20x) Recinzione, pozzo US1712; US 1715 fondo buca; noduli rossastri e screziature di Fe;
 2 - (PPL, ingrandimento 40x) *Glacis*; pozzo US 5972; US5980; frammenti di carbone e osso;
 3- (PPL, ingrandimento 40x) *Glacis*; pozzo US 6003; US 6004 noduli rossastri e frammenti di sostanza organica nera amorfa, in alto rivestimento di calcite intorno ad un vuoto;
 4 - (PPL, ingrandimento 40x) *Glacis*; pozzo US 6003; US 6007 frammento fosfatico al centro, in alto carbone;
 5 - (PPL, ingrandimento 20x) *Glacis*; pozzo US 6751; US 6758 laminazioni gradate;
 6 - (PPL, ingrandimento 40x) *Glacis*; pozzo US 6751; US 6754 bis noduli nerastri mammillati.

ni e alcune tracce di passaggi, il secondo, non molto differente, ha figure idromorfe un po' più accentuate, contiene però alcune intercalazioni piane, debolmente accentuate che indicano il passaggio alla sottostante unità (US 5910bis) dei "Depositi laminati" che non è stato possibile campionare.

Glacis

Canaletta US 6001

È la canaletta che delimita il piede del *Glacis* per tutta l'area indagata (cfr. cap. 3.1). In sezione sottile il campione del suo riempimento (US 6000), appare ricco di sabbia, organizzata in lamine ad andamento caotico e quindi rimaneggiate; i noduli

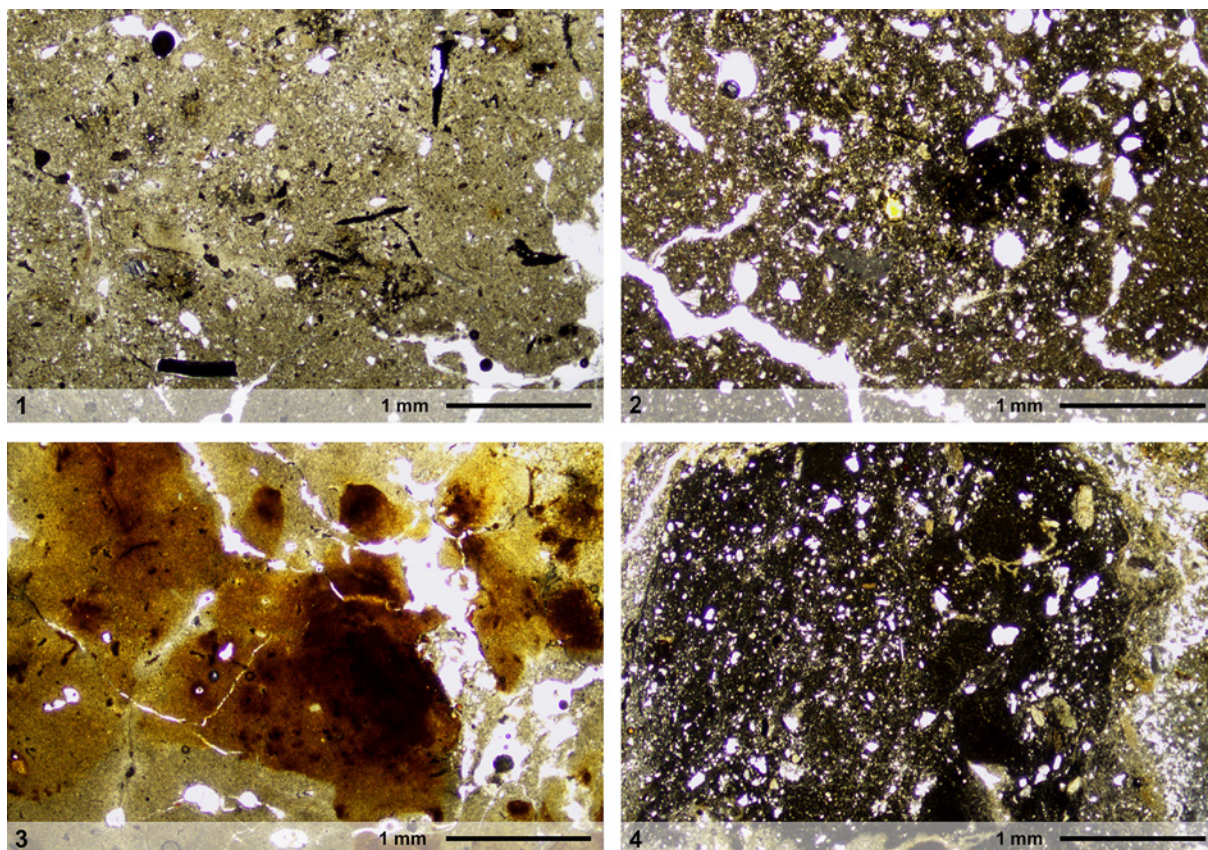


Fig. 4 - Fotografie delle sezioni sottili.

- 1 - (PPL, ingrandimento 20x) Fossato, pozzo US 6046; US 6050 facies argillosa con carboni sparsi;
- 2 - (PPL, ingrandimento 20x) Campagna interna, pozzo US 6499; US 6500 facies argillosa Campagna esterna, al centro frammento fosfatico;
- 3 - (PPL, ingrandimento 20x) Fossato US 5997; US 5995 intermedio noduli rossastri e screziature di Fe Mn;
- 4 - (PPL, ingrandimento 20x) Risalita Est US 6373; US 6402 impregnazioni di sostanza organica amorfa.

di ferro e manganese, di colore scuro, appaiono alloctoni e risentono del trasporto idrico, segnalato dall'arrotondamento anomalo. I rivestimenti organici presenti nella porosità, i molti carboni, fitoliti e coproliti, nonché i fosfati, indicano un importante contributo antropico alla formazione di questo riempimento.

Pozzi US 5989+US 5972

Complessa struttura derivante dallo scavo di un pozzo (US 5989) all'interno dell'altro (US 5972), attraversanti entrambi una coppia di acquiferi sabbiosi (cfr. cap. 3.1, Fig13). Dalle unità del pozzo esterno provengono due campioni: quello dell'US superiore (US 5990) non presenta laminazioni, ma contiene materiali di origine organica, quali frammenti di gasteropodi e frammenti vegetali, mentre sono assenti tracce di passaggio di organismi; la presenza di litorelitti indica il degrado della parete che è più accentua-

to a livello macroscopico. Il campione dell'unità sottostante (US 5991) è caratterizzato anch'esso dalla presenza di sostanza organica amorfa che ne determina il colore scuro, vi si trovano con maggiore frequenza screziature e noduli di ferro e manganese rossastri. In sezione sottile appaiono inoltre laminazioni, non osservate in fase di scavo, poco accentuate che risultano continue e ben conservate nel campione sottostante (US 5991 fondo pozzo).

I campioni delle unità riferite al pozzo più recente (UUS 5976 e 5980) appartengono ai "Depositi di decantazione" e sono assai simili fra di loro, mancano di strutture sedimentarie, hanno scarse tracce di passaggi visibili nella porosità dominata dai canali, contengono abbondante sostanza organica amorfa, fosfati e frammenti di ossa (Fig. 3, 2). I noduli di ferro e manganese sono qui poco frequenti, vi sono invece impregnazioni di calcite e patine sia grossolane sia composte di argilla.

Pozzo US 6003

Il pozzo interseca la canaletta che dalla Recinzione scende al Fossato (cfr. cap. 3.1, Fig. 14). Nel suo riempimento, l'unità superiore della quale si dispone di due campioni (US 6004a e b) è di tessitura fine; l'US inferiore (US 6007) ha le medesime caratteristiche, con evidenze poco espresse di laminazione che non si percepivano in fase di scavo.

Tutti i campioni hanno un alto contenuto in materiali di origine organica, quali frammenti di radici (in US 6004), fosfati, ossa di origine antropica e sostanza organica amorfa (Fig. 3, 4); parallelamente, i noduli di ferro e manganese sono scarsi e principalmente del tipo rossastro e arrotondato (Fig. 3, 3); solo nell'US 6004 appaiono noduli più scuri e irregolari. Tutti i campioni presentano inoltre patine di materiale grossolano all'interno dei vuoti ed impregnazioni di calcite.

Pozzo 6751

Si tratta di un profondo pozzo che si apre ai piedi del *Glacis*, raggiunge alla sua base un acquifero sabbioso ed ha un riempimento particolarmente articolato. I campioni delle unità superiori (UUSS 6750 e 6752) presentano una struttura caotica conseguente alla forte presenza di litorelitti che ne rivela una origine colluviale. Hanno una porosità assai accentuata, sono bioturbati e ricchi di sostanza organica. Vi sono inoltre screziature e noduli di ferro e manganese ed impregnazioni di calcite. Patine fini sono presenti nella porosità. Le laminazioni sono la figura dominante dei rimanenti campioni indicando un uso prolungato del pozzo. Esse appaiono già a partire da quello dell'US 6753 nella quale vi sono anche lamine ricche di sostanza organica che danno all'unità un aspetto torboso. Negli altri campioni le laminazioni sono in genere piane, ma talora hanno disposizione caotica (UUSS 6754, 6754bis, 6755) e sono associate a numerosi litorelitti (UUSS 6754 e 6755). Il solo campione dell'US 6755, di aspetto compatto, argilloso e con scarsa porosità, rimanda l'unità a processi di decantazione. Comuni a tutti questi campioni sono le patine di argilla, le impregnazioni di calcite, noduli e screziature di ferro e manganese (Fig. 3, 6). Questi ultimi sono più accentuati nei campioni US 6575 e soprattutto in US 6576, che mostrano più forti condizioni di idromorfia. In US 6754 e US 6755 sono presenti tracce di bioturbazione e di materiale organico costituito da frammenti d'ossa e fosfati, frammenti di gasteropodi e materiale vegetale.

Nei campioni alla base della struttura (UUSS 6757a, 6757b e 6758) le laminazioni sono particolarmente bene espresse (Fig. 3, 5); il campione US 6758 in particolare si compone di lamine di sabbia a supporto clastico, quasi prive di materiale fine interstiziale. US 6757 contiene sostanza organica amorfa e frammenti di gasteropodi e ossa.

Manca invece l'evidenza di trasporto di materiale nel sedimento, come le patine di argilla e le impregnazioni di calcite; anche i noduli e le screziature di ferro e manganese sono notevolmente ridotti.

*Fossato***US 5993**

L'unità è parte del riempimento sedimentario del Fossato (cfr. cap. 3.1) sovrapposto alle strutture negative – pozzi e canalette – che si aprono alla sua base. Il campione da esso proveniente ha tessitura fine, non presenta tracce di laminazione al suo interno ed è quindi riferibile a processi di decantazione; non contiene materiale organico ad eccezione di frammenti di gusci di gasteropodi, né mostra di figure riferibili ad attività antropica o patine. Sono visibili invece impregnazioni di calcite e noduli di ferro e manganese di grandi dimensioni, sia del tipo più scuro che rossastro.

Pozzo US 5997

È collocato in pieno Fossato a ridosso del Dosso strada (a) ed attraversa un acquifero sabbioso (cfr. cap. 3.1, Fig. 19). Nel campione più alto (US 5996) la tessitura è argillosa, vi sono frequenti litorelitti che indicano processi di degrado delle pareti, carboni e frammenti di gasteropodi. Le laminazioni, che si compongono di sabbie fini ben selezionate e prive di tracce di passaggi, sono moderatamente espresse nel campione (US 6030), in cui vi sono anche fosfati, ma sono dominanti nel campione US 6032 dove mostrano una gradazione diretta. Patine di argilla sono visibili nei vuoti di tutti i campioni, come pure screziature e noduli di ferro e manganese (Fig. 4, 3); in US 5996 questi sono più scuri e irregolari, e accompagnati da impregnazioni di calcite.

Pozzo US 6046

Il pozzo che si apre in pieno Fossato è di debole profondità ed attraversa un acquifero sabbioso (cfr. cap. 3.1, Fig. 19). I campioni delle unità superiori ("Depositi argillosi" UUSS 6047, 6050, 6062) sono massivi, argillosi e ricchi di litorelitti.

ti e materiale organico (carboni, Fig. 4, 1), con evidenti figure determinate da idromorfia quali noduli di ferro e manganese di varia tipologia e impregnazioni di calcite. Quelli delle unità alla base del riempimento (UUSS 6076, 6077 e 6078) manifestano lenticelle sabbiose discontinue ed appartengono ai “Depositi laminati”; i noduli di ferro e manganese più scuri sono qui assenti, diminuiscono inoltre le impregnazioni di calcite. Patine grossolane sono presenti sporadicamente nei vuoti delle unità superiori del pozzo. Non sono visibili invece figure legate al passaggio di organismi.

Pozzo US 6373

Si apre nella Risalita Est immediatamente a S del grande pozzo US 6310 ed attraversa un acquifero sabbioso (cfr. cap. 3.1, Fig. 24). I campioni delle unità al tetto (US 6289 e US 6374) che appartengono ai “Depositi argillosi” sono di tessitura fine e massivi, contenenti numerosi litorelitti nonché abbondante materiale organico amorfo con presenza di rari fosfati. Sono presenti noduli di ferro e manganese sia scuri e irregolari, sia rossastri e arrotondati, sempre associati a screziature; si trovano inoltre nelle porosità patine grossolane o di limo e argilla. Il sottostante campione US 6395, contiene fitoliti ed è caratterizzato da laminazioni a gradazione diretta, ed andamento piano.

Alla base della struttura vi è un livello (US 6402) ricco di sostanza organica finemente suddivisa responsabile del colore nero e delle figure impregnative nella porosità (Fig. 4, 4).

Pozzo US 6499

Si apre nella Campagna interna e attraversa un acquifero sabbioso (cfr. cap. 3.1, Fig. 26). I campioni delle unità superiori (US 6500 e US 6520) hanno tessitura fine e scarsa porosità, presentano tracce di passaggio di organismi e materia organica amorfa sparsa con fosfati (Fig. 4, 2). I successivi campioni hanno invece tessitura più grossolana e sono dominati da lamine gradate tra sabbie e limi, ad andamento ondulato (US 6531) e andamento caotico (US 6538). In tutte le unità sono presenti impregnazioni di calcite e noduli di ferro e manganese di tipologie sia scure che più rossastre e regolari, meno frequenti verso il fondo; nelle unità superiori (UUSS 6500, 6520) compaiono rivestimenti grossolani mentre al fondo (US 6538) si trovano patine di argilla e materia organica amorfa.

3.2.3 DISCUSSIONE

Suolo di base ed Incisione ramificata

Le caratteristiche micromorfologiche di aggregazione e tessitura di US 200, nonché la presenza di bioturbazione da passaggio di organismi, ne confermano la natura pedologica: l'unità si configura quindi come un orizzonte di suolo di debole alterazione (Bw, FAO 2006). Microcarboni e rivestimenti depongono a favore di un intervento antropico a carico del suolo ed indicano l'avvenuta deforestazione e forse il dissodamento e la messa a coltura (Steensberg 1993).

Le caratteristiche di *fabric* del riempimento relativo alla Incisione ramificata indicano che questa è il risultato del trasporto e della compattazione di materiale proveniente dal suolo di base e mobilizzato per erosione ad opera di acqua corrente. L'assenza di carboni macroscopici può essere considerata un'altra evidenza di questo fenomeno, in quanto la tendenza al galleggiamento di questi ha probabilmente contribuito a rimuoverli selettivamente dal deposito. Il riempimento dell'Incisione rimane però saturo d'acqua che vi stabilisce condizioni di idromorfia intermittente che imprimono ai noduli di ferro e manganese i caratteristici contorni digitati (Vepraskas, Lindbo, Stolt 2018).

Recinzione e Terrapieno

Il materiale che costituisce la massa di fondo dei riempimenti dei pozzi della Recinzione non si discosta di molto da quello del Suolo di base, seppur con variazioni: si compone infatti di una micromassa grigiastra, di natura prevalentemente limosa, nella quale si ritrovano scarse o comuni sabbie sia calcitiche, sia composte da minerali silicatici, tranne che nel pozzo US 1712, dove invece i minerali silicatici sono comuni o più abbondanti. Per quanto riguarda la *fabric*, si denota una forte omogeneità nei caratteri visibili in sezione sottile: le unità sono formate da aggregati poliedrici generalmente poco separati che danno un aspetto denso alla microstruttura; la porosità è scarsa ed è rappresentata soprattutto da canali, talvolta di grandi dimensioni. Sono presenti altri componenti in comune con il Suolo di base, quali frammenti di gasteropodi e componenti di origine antropica: carboni, sia microscopici che macroscopici. La frequenza di questi materiali è

generalmente la stessa per l'intero pozzo e tende a divergere tra pozzi differenti; ha quindi un significato connesso alla loro posizione spaziale, più che alla scansione temporale degli eventi. Come indica anche la scarsa selezione, le unità stratigrafiche dei riempimenti appaiono formate in ambito locale, a partire dal rimaneggiamento del suolo di base e del suo substrato.

All'interno dei pozzi della Recinzione sono scesi, per compattazione delle unità sottostanti, i lembi delle unità appartenenti al Terrapieno ed alle Terre Nere.

L'analisi micromorfologica del Terrapieno conferma la sua messa in posto per apporto in massa di materiale eterometrico, costituito da una miscela di litorelitti e concrezioni calcitiche alloctone. Risulta comunque fortemente bioturbato anche in assenza di concentrazioni di materiale organico.

L'analisi micromorfologica delle unità delle Terre Nere ne mette in risalto il contenuto di sostanza organica ed i processi della sua decomposizione (passaggi di insetti, vescicole...) e ne giustifica l'interpretazione, già proposta su base macroscopica, come rifiutaie, conseguenti ad un temporaneo abbandono del margine dell'abitato, durante il quale materiale di origine umana viene accumulato e probabilmente messo a coltura. Le caratteristiche di questi depositi hanno affinità con quelle osservate nella Terramara di Fondo Paviani e più in generale nelle Terre Nere di età medievale (Nicosia *et alii* 2011).

Sono caratteristiche dei riempimenti dei pozzi nell'area della recinzione le unità definite a livello macroscopico "Depositati laminati". In sezione sottile le lamine di tessitura alternativamente sabbiosa e limosa sono sovente a gradazione diretta e hanno andamento piano e regolare (US 5897, US 1715 base, US 1718 fondo buca) oppure convoluto e disturbato (US 1715, US 1715 fondo, US 1718a). Tali laminazioni sono formate in ambiente subacqueo per apporto di materiale disgregato dalle pareti o proveniente dalle immediate vicinanze dei pozzi all'interno dei quali, ancora riempiti d'acqua, sedimenta per gravità (Viklund, Linderholm, MacPhail 2013). Le alternanze, e in particolare le strutture a gradazione diretta, presuppongono la presenza di temporanei fenomeni di torbidità: il movimento d'acqua infatti mantiene in sospensione più a lungo il sedimento più fine, che gradualmente deposita,

lasciando i grani più grossolani sul fondo e quelli progressivamente più fini al di sopra (Ricci Lucchi 1980). Questo processo prevede quindi la presenza di acque non ferme o stagnanti, ma soggette a disturbo periodico ed è compatibile con la fase di uso dei pozzi, durante la quale l'estrazione di acqua produce sufficiente movimento nel sistema da causare momenti di torbidità e favorire allo stesso tempo l'erosione delle pareti e dell'interno dei pozzi. La presenza di blocchi di materiale franato (litorelitti) è sporadica (ad eccezione del pozzo US 1333) e di derivazione locale. Vista la somiglianza dei loro componenti interni con la massa di fondo dei riempimenti, si tratta con ogni probabilità di frammenti staccati dalle pareti dei pozzi stessi e rimasti integri nella loro caduta all'interno del pozzo.

In alcune unità ubicate nella parte più profonda (in particolare US 1715 fondo buca) le strutture di sedimentazione appaiono caotiche o rotte e riposizionate ad un'angolazione differente: tale condizione presuppone l'intervento di fenomeni di disturbo molto elevato. La causa più probabile va identificata nell'attività periodica di manutenzione e pulizia del fondo dei pozzi, necessaria a evitare il loro progressivo interrimento da parte del sedimento accumulato. Le unità "laminare" integre sono poste in molti casi direttamente sotto questi livelli disturbati oppure incluse fra due unità disturbate (pozzo US 1712), a indicare manutenzioni non sistematiche, che lasciano in posto lembi di riempimento, senza ripulire completamente il pozzo, raggiungendone la profondità originaria. Sempre nel caso del pozzo US 1712, il livello non disturbato presenta un elevato accumulo di materiale organico (sotto forma di impregnazioni visibili in sezione sottile come iporivestimenti), che può indicare un momento di inattività temporanea del pozzo stesso, seguito da un successivo intervento di pulizia e riattivazione. L'uso continuo infatti non permette la formazione di mucillagini o concentrazioni organiche come quelle osservate in sezione sottile, le quali necessitano di un periodo prolungato di acqua ferma per la loro deposizione.

Vi sono poi unità, intercalate alle precedenti, prive di strutture sedimentarie (US 5898). Di tessitura fine, contengono talora lenti discontinue di materiale più grossolano (US 5910, US 5933 tetto, US 5933 letto) oppure una maggiore frequenza di litorelitti (US 5933 tetto, US 1756). A livello macro-

scopico tali unità sono state denominate “Depositi di decantazione” e “Depositi argillosi” poiché la loro formazione sarebbe avvenuta per decantazione del materiale sedimentario in acque ferme, in una fase di abbandono, durante la quale si sarebbe avuto un apporto di materiale per disgregazione delle pareti. All'interno di queste unità si trovano inoltre tracce più evidenti di attività organica, principalmente sotto forma di figure di bioturbazione (US 5933 tetto, US 5933 letto, US 1756) e di impregnazioni organiche (US 5933 letto); in un caso (pozzo US 5776) sono visibili vescicole da liberazione di gas da parte di materia organica. Tali figure implicano tempi di deposizione sufficientemente lenti per la formazione al fondo di mucillagini o altro materiale biologico, ma non abbastanza per saturarne la massa di fondo o formare vere e proprie croste biogeniche (Williams 2012).

Le figure di ossidoriduzione costituite da idrossidi di ferro e manganese (noduli e screziature) sono assai diffuse nel riempimento dei pozzi e danno indicazioni significative sulle variazioni del regime idrico dei pozzi dopo il loro riempimento (Vepraskas, Lindbo, Stolt 2018).

I noduli si manifestano con due morfologie distinte:

- A) noduli di colore rosso scuro tendente al neroastro, dai bordi variamente irregolari e spesso digitati o mammillati (pozzi UUSS 1548, 1712, 1333, 5897 e 5898) e in molti casi concentrati in gruppi compatti (pozzo UUSS 5776, 1712 e US 5898);
- B) noduli più rossastri di forma arrotondata più regolare (US 5933 tetto, US 1715, US 1715 base, US 1718a, US 1718b), in alcuni casi a contorno più marcato rispetto all'interno. Questi ultimi non sono raggruppati, ma si trovano in genere sparsi nella massa di fondo e concentrati (US 5933tetto) all'interno delle screziature.

Le screziature che formano delle macchie diffuse nel sedimento hanno un grado di impregnazione sempre scarso, e si distinguono fondamentalmente in base alla loro frequenza, che in generale diventa progressivamente maggiore con la profondità. Le unità più superficiali hanno infatti screziature più rare (US 5897), mentre scendendo verso le unità di fondo diventano più frequenti (US 5933 letto, US 1715 base, US 1718b). In alcuni casi (US 1715, US 1712 fondo buca, US 5910) si riconoscono al contrario zone sbiancate di deplezione di ferro da parte dell'acqua, concentrate intorno alle porosità principali.

La formazione di queste diverse figure è dettata dagli stessi processi di mobilizzazione e di precipitazione del ferro e del manganese all'interno del sedimento, ma in tempi e in modi distinti fra loro. I noduli scuri e irregolari del tipo A sono probabilmente stati formati in condizioni di saturazione intermittente o comunque molto limitata: infatti il manganese, che forma idrossidi di colore nero, dando ai noduli un tono più scuro (Rhoton, Bigham, Schulze 1993), rimane più facilmente del ferro in soluzione e per poter riprecipitare richiede condizioni di ossidazione più forti, ossia che il deposito non resti sommerso a lungo (Schwertmann e Fanning 1976). La loro forma irregolare indica invece un processo di alterazione dei noduli stessi durante una successione di molteplici cicli di saturazione (probabilmente stagionale): i margini dei noduli vengono ciclicamente intaccati dall'acqua e parzialmente ridisciolti, lasciando un contorno irregolare. Questo implica il passaggio continuo tra la formazione di idrossidi e la loro nuova parziale dissoluzione, quindi una continua variazione delle condizioni di saturazione, legata ad oscillazioni cicliche del livello di falda (Stoops e Eswaran 1985). Il secondo tipo di noduli della tipologia B, rossastri e di forma più regolare, è invece indice di condizioni di saturazione più prolungata nelle quali solo il ferro riesce a riprecipitare mentre il manganese rimane in soluzione; questo stesso processo è valido anche per la formazione delle screziature, tanto più frequenti quanto più lunga e continuativa è stata la presenza d'acqua (Stoops e Eswaran 1985).

Si può quindi ipotizzare che la dinamica della formazione dei noduli sia legata interamente a condizioni post-deposizionali dettate dai movimenti delle falde successivi all'abbandono del sito fino ad oggi. I noduli scuri del tipo A sarebbero stati formati col passaggio ad un sistema fluttuante in cui la saturazione d'acqua si avvicenda a ritmo stagionale con fasi secche. I noduli rossastri del tipo B sarebbero invece stati formati in posizioni più profonde, con il rialzamento del livello minimo di falda ben al di sopra di questi livelli e condizioni di saturazione continua. Si tratterebbe dunque di figure formate in conseguenza dell'attuale fase climatico-ambientale e nel presente regime idrico, quando la falda permane fin quasi alla superficie nel periodo invernale e si ritrova a debole profondità in quello estivo. Il fatto che queste figure non mostrino segni evidenti di alterazione o di dissoluzione conferma che il loro periodo di formazione si è prolungato fino all'attuale:

tale affermazione è tanto più vera per le screziature, che generalmente reagiscono in modo molto veloce a cambiamenti nel regime di acqua nel sedimento (Vepraskas, Lindbo, Stolt 2018).

Sono inoltre stati riconosciuti nei vuoti rivestimenti e iporivestimenti di calcite, e rivestimenti di limo e argilla o più grossolani, che testimoniano movimento di materiali all'interno del deposito. Nell'area della recinzione i primi sono molto rari e concentrati in pochissime unità (US 1563, US 5898, US 5910), con particolare sviluppo soltanto nel pozzo US 5778, indicando una scarsa mobilità dei carbonati, dovuta ad una frequente oscillazione del livello di falda che non permette lo sviluppo di condizioni di saturazione sufficienti alla loro dissoluzione in acqua (Sehgal e Stoops 1972; Durand *et alii* 2018). Per quanto riguarda i secondi, si nota la presenza diffusa di rivestimenti grossolani, contenenti materiale più sabbioso e legati con tutta probabilità alle dinamiche della falda. Molto limitata è invece la presenza di noduli fosfatici, presenti solo nel pozzo US 1548 e al fondo del pozzo US 1712. Essendo la deposizione di fosfati legata principalmente alla decomposizione dei rifiuti animali (Karkanis e Goldberg 2018), la loro ridotta presenza può significare un livello di manutenzione elevata dei pozzi stessi, e una separazione netta di queste strutture da zone di accumulo di scarti organici, potenziali fonti di contaminazione dell'acqua.

Glacis – US 6751

La composizione dei riempimenti dei pozzi del *Glacis* non si discosta molto da quello dei pozzi della Recinzione ed è costituita da una massa di fondo bruno-grigiastra o grigia scura, limoso-argillosa con scarsi materiali sabbiosi calcarei e silicatici, a classazione moderata (pozzi US 5972 e US 5989) o scarsa (pozzi US 6003, US 6015). La loro struttura è caratterizzata da un aspetto massivo e una porosità molto scarsa, costituita principalmente da canali nonché da un'aggregazione poliedrica a debole (pozzo US 6003, US 6000 e US 5991 fondo) o moderata separazione (pozzi US 5972 e US 5989). Sono sovente stati osservati dei "Depositi laminati" con laminazioni gradate (US 6007, US 6751, US 5991 fondo) di tessitura prevalentemente sabbiosa. Intervallate ai livelli laminati vi sono unità di *fabric* più massiva e con scarsi litorelitti (più comuni in US 6000, US 5976, ma anche in US 5991 fondo), simile per molti

aspetti ai "Depositi di decantazione" legata alla defunzionalizzazione dei pozzi. Al tetto dei pozzi ricorrono unità ricche di impregnazioni organiche (UUSS 5972 e 5989), a conferma della presenza di acqua stagnante durante la formazione del riempimento che in fase tarda potrebbe essere avvenuta ad opera di processi colluviali (Mücher, van Steijn, Kwaad 2018).

I livelli dei "Depositi laminati" sono particolarmente ben sviluppati nel pozzo US 6751, dove caratterizzano l'intero riempimento, documentandone un uso continuativo e prolungato nel tempo. Tale particolare aspetto della struttura dipende probabilmente dalla sua posizione rispetto alla canalina US 6001 che lo interseca e contribuiva, in fase tarda, ad alimentarla.

I noduli di ferro-manganese sono molto scarsi, ed appartenenti in larga parte alla tipologia B, presente in tutte le unità con l'unica eccezione di US 6000. Questi noduli hanno le stesse caratteristiche di quelli della Recinzione, compreso il contorno ad impregnazione più marcata e la tendenza a formare gruppi (US 5976). I noduli scuri a contorno irregolare della tipologia A sono invece molto più rari e confinati in un numero limitato di unità (US 6000, US 6004a, US 6004b, US 5980, US 5990). Questo può indicare una minore oscillazione delle falde (Stoops e Eswaran 1985; Vepraskas, Lindbo, Stolt 2018) rispetto alla situazione della Recinzione e più vicina a quella del Fossato (*infra*).

Le figure legate alla calcite sono rare (molto scarse in US 6004a, US 6004b, US 6007), ma diffuse uniformemente nelle unità come cristallizzazione microscopica, e in alcuni casi sotto forma di sparite (US 6000, US 6007): tali forme sono legate probabilmente anche qui alla più lunga persistenza della falda rispetto all'area della Recinzione (Durand *et alii* 2018). Anche i rivestimenti sono rari, ma diffusi in ogni sezione (tranne US 5991 fondo); si ritrovano sia rivestimenti di limo e argilla o grossolani sia rivestimenti laminati di argilla più fine (US 6000, US 6004a, US 6007, US 5976, US 5980). In tutti i casi queste figure si trovano sovrapposte alle altre, e sono quindi da considerare posteriori.

L'assenza di noduli fosfatici nei pozzi, ed in particolare US 6751, potrebbe indicare che essi siano stati tenuti deliberatamente immuni da rifiuti organici poiché utilizzati per l'approvvi-

gionamento idrico. Tali rifiuti invece possono essere entrati occasionalmente nei pozzi US 5972 e US 6003 nei quali è stata riscontrata la presenza di fosfati (Altschuler 1973; Karkanis e Goldberg 2018).

Fossato - Campagna interna - Risalite

I riempimenti dei pozzi nel Fossato sono in parte simili a quelli della Recinzione: anche in essi la massa di fondo, di colore bruno-grigiastro o più grigio, si compone principalmente di materiali fini, limoso-argillosi, di struttura massiva (pozzo US 6046) o rappresentata da poliedri più separati fra loro (pozzi UUSS 5997, 6499 e 6373). La porosità è scarsa, in alcune zone più comune (pozzo US 6373), e composta in maggioranza da canali o da fessure nelle situazioni di aggregazione poliedrica più evidente. I componenti più grossolani sono generalmente scarsi e rappresentati da sabbie medio-fini di natura carbonatica e silicatica moderatamente o ben classate. Quest'ultimo aspetto rappresenta l'elemento di differenziazione più significativo rispetto ai pozzi della Recinzione che, con il suolo di base, hanno una classazione più scarsa, analoga a quella che è stata osservata anche nei pozzi della Campagna esterna e della Risalita Est (specialmente US 6520 e US 6531). La maggiore selezione dei riempimenti dei pozzi nel Fossato dipende dalla litologia del substrato ed indica anche che questi sono di origine locale e mancano di contributi dai margini del Fossato stesso. Mancano o sono rari (US 6047, US 5996) i frammenti di gasteropodi, presenti nel suolo di US 200, ed anche i carboni sono scarsi e di piccole dimensioni (comuni in US 5996 basso), talora disposti secondo un'orientazione parallela (US 6062, US 6076) di evidente origine deposizionale. Anche se meno diffusi, vi sono poi "Depositi laminati" (US 5997 basso, US 6062, US 6067) che analogamente a quelli dei pozzi della Recinzione e del *Glacis*, documentano la fase di uso dei pozzi.

Intercalati a queste unità, vi sono depositi fini, di tessitura prevalentemente argillosa e massivi, ("Depositi argillosi" e "Depositi a litorelitti"). Come già osservato a livello macroscopico vi si osservano numerosi litorelitti che risultano il tratto saliente della loro massa di fondo e presentano caratteristiche omogenee (US 6047, US 6050), con contorni non sempre ben definiti. Tali figure si originano per degrado dalle pareti

o per butti di terreno di risulta. Il processo di deposizione è compatibile con un riempimento avvenuto in tempi rapidi ed in assenza di acqua stagnante, in modo da impedire la disgregazione dei litorelitti ed una loro selezione per gravità. Un ulteriore argomento a favore di queste ipotesi è l'assenza di figure di impregnazione organica, poiché la formazione di mucillagini o patine biogeniche avrebbe richiesto prolungate condizioni di ristagno nelle fasi di riempimento.

La litologia argillosa e l'assenza di sabbie laminate nell'US 5993, che rappresenta il riempimento sedimentario del Fossato stesso, suggeriscono una sedimentazione per decantazione in un ambiente caratterizzato da uno scarso apporto idrico, quale ad esempio una palude bassa e chiusa priva di comunicazione con le acque superficiali circostanti. Queste circostanze differiscono sensibilmente da quanto osservato nel fossato del Villaggio Piccolo, i cui riempimenti manifestano chiare evidenze di trasporto fluviale (Cremaschi, Ottomano, Trombino 2004).

Nei pozzi del Fossato le figure di ossidoriduzione appaiono più limitate. I noduli di ferro e manganese sono infatti molto simili in forma e tipologia: mancano quasi completamente le forme più scure e dai contorni irregolari della tipologia A, mentre sono molto più comuni i noduli rossastri e di dimensioni maggiori della tipologia B, in alcuni casi dotati di un contorno più scuro rispetto al centro e meno arrotondato (US 6047, US 6050, US 6078); anziché sparsi nella massa di fondo, sono quasi sempre distribuiti in gruppi, talvolta localizzati intorno ai bordi dei vuoti o alle screziature (US 6062, US 6076, US 5996 intermedio, US 6500). Le screziature stesse sono sempre presenti, più frequenti verso il fondo dei pozzi (come in US 6078): il livello di impregnazione è sempre scarso, sia per le screziature, sia per i noduli. Queste figure non sembrano legate ad un regime di fluttuazione delle falde, ma piuttosto ad una prolungata saturazione idrica dei terreni al livello del fossato (Vepraskas, Lindbo, Stolt 2018), ubicati ad una maggiore profondità rispetto alle strutture della recinzione. Infatti, i pozzi della Campagna interna e della Risalita Est in posizione più elevata presentano noduli di entrambi i tipi, ad indicare una più frequente oscillazione della falda e di conseguenza un maggior sviluppo delle figure redox. Si spiega in tal modo anche la presenza e la forma di queste figure nell'US 5993. Si tratta infatti dell'unità di

riempimento superiore del Fossato, che sigilla i pozzi appartenenti a quest'area. In essa le screziature scompaiono e si trovano soltanto noduli di grandi dimensioni, caratteristiche che potrebbero indicare una presenza maggiore di intermittenza fra condizioni sature e drenate.

Le figure legate alla ricristallizzazione di calcite, pur molto scarse, sono presenti in tutte le unità (eccetto US 5996 intermedio e US 5996 basso), principalmente come iporivestimenti di micrite (calcite a cristalli microscopici), in alcuni casi anche in forma di rivestimenti sparitici (calcite a cristalli macroscopici). Queste ricristallizzazioni, praticamente assenti nell'area della Recinzione, indicano una maggiore mobilità del carbonato di calcio in queste aree più basse, anche qui per la prolungata saturazione di acqua, che si arricchisce di carbonati in soluzione, i quali vengono poi ceduti al sedimento dove variazioni nel chimismo a livello microscopico ne permettono la ricristallizzazione (Durand *et alii* 2018).

Sono inoltre stati osservati nella porosità rivestimenti sia grossolani – sabbie fini e limi grossolani – (US 6047, US 6050, US 6076, US 6520, US 6289, US 6374) che di limo e argilla (US 6047, US 6050, US 5996 basso, US 5996 intermedio, US 5996 alto, US 6500, US 6520, US 6289, US 6374, US 6395), e anche più fini di argilla impura (US 6500, US 6538, US 5996 intermedio), talora laminati (US 5996 intermedio, US 6500). Tali figure sono attribuite a migrazione di materiale in falda.

A differenza dei pozzi della Recinzione quelli del Fossato (il pozzo US 6373 in particolare, localizzato nella Risalita Est) contengono sensibili concentrazioni di noduli fosfatici nella massa di fondo dei riempimenti. Questa circostanza è di grande interesse poiché è indice di frequentazioni animali dei margini del Fossato stesso.

3.2.4 CONCLUSIONI

L'evidenza micromorfologica attesta la natura pedologica dell'US 200 e lo stretto legame che con essa ha il riempimento dell'Incisione ramificata, che deriva dalla sua erosione e rideposizione in ambiente idromorfo.

I riempimenti dei pozzi sono costituiti da depositi laminati, che ne documentano fasi d'uso, che si alternano a depositi argillosi massivi, prin-

cipalmente prodotti dal degrado delle pareti, che testimoniano fasi di abbandono. L'alternarsi di tali fasi indica che i pozzi sono stati utilizzati per un periodo prolungato, durante il quale sono stati tenuti puliti, prima di essere definitivamente abbandonati. La fase di abbandono sembra durata a lungo poiché i pozzi della Recinzione, a differenza di quelli del Fossato (*infra*), non risultano riempiti artificialmente ed in modo rapido. Le Terre Nere che vi si sovrappongono indicano la destinazione dell'area a rifiutaia e probabilmente a spazi ortivi, coltivati quindi per un periodo relativamente prolungato. L'analisi micromorfologica del Terrapieno conferma che la sua costruzione derivi da accumuli successivi di terreno riportato. Tra le strutture del *Glacis*, un uso prolungato è attestato per il solo pozzo US 6751 che, in una fase tarda, alimenta la principale canaletta del fossato ai piedi del *Glacis* stesso, mentre le rimanenti sembrano essere state abbandonate più rapidamente.

Anche nei pozzi del Fossato, qualora questi raggiungano gli acquiferi, vi sono depositi laminati che ne testimoniano un periodo di uso; dominano però i depositi argillosi che li chiudono. In essi la presenza di litorelitti spigolosi, in assenza di materiale organico, implica che essi siano stati sfruttati ed abbandonati in fretta e forse volontariamente richiusi senza essere riutilizzati. Di particolare interesse in questi pozzi, specie in quelli delle Risalite, è inoltre la presenza di fosfati, legata forse a sterco animale che permetterebbe di ipotizzare la frequentazione di questa sponda del Fossato per abbeverare gli animali.

Le figure di idromorfia e le concrezioni calcitiche osservate nei riempimenti ci informano dei processi di risalita della falda che hanno interessato l'area successivamente all'età romana, a partire dalla formazione delle valli medievali (Brandolini e Cremaschi 2018a e 2018b). La maggiore quantità e varietà di figure idromorfe nei pozzi della Recinzione dimostra il verificarsi di oscillazioni della falda legate all'attuale ritmo stagionale, mentre l'idromorfia più spinta delle strutture del Fossato, indica il persistere di condizioni di saturazione idrica lungo tutto l'arco dell'anno. Ad un analogo processo sono da ricondurre le figure connesse alla precipitazione del carbonato di calcio, molto più frequenti nei pozzi del Fossato, dove la permanenza dell'acqua ha permesso fasi prolungate di fenomeni di precipitazione e ricristallizzazione in luogo dei carbonati.