



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN
"SCIENZE E TECNOLOGIE
PER L'ARCHEOLOGIA E I BENI CULTURALI"

CICLO XXVII

COORDINATORE Prof. Carlo Peretto

**METODOLOGIE INFORMATICHE APPLICATE
AGLI SCAVI ARCHEOLOGICI**

Settore Scientifico Disciplinare L-ANT/010

Dottorando
Dott. Lembo Giuseppe

(firma)

Tutore
Prof. Peretto Carlo

(firma)

Anni 2012/2014

INDICE

PREMESSA	5
INTRODUZIONE	7
CAPITOLO 1 ARCHEOLOGIA E INFORMATICA	11
1.1 Breve storia dell'archeologia computazionale	11
1.2 L'importanza del dato archeologico	15
1.3 Accessibilità dei dati	18
1.4 Standard per la documentazione archeologica	21
CAPITOLO 2 GLI AMBITI APPLICATIVI	23
2.1 GIS (Geographic Information System)	23
2.1.1 Breve storia del GIS	25
2.1.2 I fondamenti del GIS	31
2.1.3 GIS e archeologia	46
2.2 Le analisi spaziali <i>intra-site</i>	58
2.2.1 Analisi spaziali 3D	63
2.2.2 <i>Fabric analysis</i>	65
CAPITOLO 3 IL CASO STUDIO: ISERNIA LA PINETA	69
3.1 Il giacimento	69
3.1.1 Geologia e stratigrafia	71
3.1.2 I livelli archeologici	75
3.1.3 Le datazioni	78
3.1.4 Dati paleobotanici e paleoambientali	79
3.1.5 I resti umani	82

3.1.6 I resti paleontologici	83
3.1.7 L'industria litica	86
3.2 Tecniche di documentazione e archiviazione informatica	89
3.3 I risultati	103
CONCLUSIONI	171
APPENDICE 1	173
APPENDICE 2	177
BIBLIOGRAFIA	183
INDICE DELLE FIGURE	202
INDICE DELLE TABELLE	213
ELENCO SOFTWARE UTILIZZATI	214
RINGRAZIAMENTI	215

PREMESSA

*«Baratterei tutto il mio sapere tecnologico
per trascorrere un pomeriggio con Darwin».*

(parafrasando Steve Jobs)

«L'archeologia ha per oggetto 'cose' o 'resti di cose' che non sono più quelle che furono: sono organicamente parte di un contesto archeologico, ossia di un sistema di segni materiali dato dalle condizioni del ritrovamento [...]» (Baldi, 2010). La trasformazione dello scavo archeologico da mera operazione di recupero di oggetti per la raccolta dei collezionisti a strumento di indagine per ottenere e registrare la maggior quantità di informazioni possibile, rese la metodologia archeologica protagonista nel ridare forma alle 'cose' attraverso una razionale rete di misurazioni, codifiche e analisi. Tanto più in relazione al lungo periodo della Preistoria, «la scienza degli analfabeti» secondo la definizione del Mommsen, che costrinse l'archeologia ad avvalersi di una *corretta* metodologia per ricostruire le dinamiche del nostro passato (Baldi, 2010). É naturale che oggi la *corretta* metodologia sia influenzata dall'uso costante delle nuove tecnologie soprattutto in campo informatico grazie ad un cambiamento che, a partire dagli inizi degli anni '80, ha portato allo sviluppo dei personal computer, determinando più semplici condizioni di accesso e di comprensione dell'informatica: «l'informatica senza informatici» (Djindjian, 1996).

L'informatica archeologica ha di conseguenza portato a un cambiamento non solo di tipo funzionale, in rapporto alla finalità della ricerca, ma soprattutto di ordine teorico e di impostazione. Anche se attualmente la maggior parte degli archeologi utilizza l'informatica in seno ad una logica fondamentale documentale, questo primo step sembra poter essere superato vista la nuova propensione alla comprensione della struttura fisica e logica della materia (D'Andrea, 2006).

Il percorso resta comunque lungo e articolato e ad oggi si annoverano solo pochi casi isolati di nuove applicazioni e nuove metodologie informatiche, che

finiscono per non avere una ricaduta importante nel panorama nazionale della ricerca archeologica. La mancanza di un serio dialogo tra archeologo e informatico comporta la privazione di uno strumento di indagine che consenta agli archeologi di ottenere dei miglioramenti al processo conoscitivo per promuovere, da un lato, dei modelli interpretativi dei contesti archeologici più completi ed esaustivi, dall'altro, la condivisione ed il riuso dei dati (de Maigret, 2007).

In sintesi, credo sia giunta l'ora di trasformare «l'informatica altrui, del ragioniere, del geografo o dell'ingegnere, in un'informatica dell'archeologo» (D'Andrea, 2006).

INTRODUZIONE

Il presente lavoro, incentrato sulla problematica del rapporto tra ricerca archeologica e metodologia informatica, ha inteso indagare e analizzare i limiti e i rischi relativi ad uno studio che non integri i contenuti disciplinari propri dei due campi d'indagine. Partendo da una breve analisi della storia dell'archeologia computazionale (e.g. Baldi, 2010; Barcelò, 2002; Barcelò *et al.*, 2004; Binford, 1962, 1983; Burrough, 2001; Clarke, 1972, 1968; Coppock and Rhind, 1991; D'Andrea, 2006; Djindjian, 1996; Forte, 2002; Gamble, 2008; Hodder, 2000, 1984, 1982; Kvamme, 1983; Lock, 2003; Orton, 2006; Renfrew and Bahn, 1995; Shanks and Tilley, 1987a, 1987b; Trigger, 1989; Vanpool and Leonard, 2011; Wheatley and Gillings, 2002) e dall'analisi del ruolo del dato all'interno del processo interpretativo e dell'importanza della sua fruizione (e.g. D'Andrea, 2006; Gardin, 1955; Giusti, 2012; Hey, 2004; Hodder, 1999; Moscati, 1994; Orlandi, 1996; Richards and Robinson, 2000; Rivett, 1997; Topouzi *et al.*, 2002), viene in questa sede presentato lo sviluppo di un nuovo modello metodologico per la registrazione dei dati archeologici, per la formalizzazione ed elaborazione delle informazioni e dei contenuti digitali e la sua sperimentazione e applicazione sul campo.

Quindi, evitando volutamente le molteplici possibilità di analisi legate all'archeologia computazionale (database, statistica, modelli 3D, etc.) (e.g. Barceló and Maximiano, 2006; Barcelò *et al.*, 2004; Beardah and Baxter, 1999; Beardah, 1999; Brandt *et al.*, 1992; Burrough, 2001; Chew and Oheim, 2009; Craig, 2000; de la Torre and Benito-Calvo, 2013; Fotheringham *et al.*, 2000; Gallotti *et al.*, 2012; Gillings, 2004; Kooyman, 2006; Lock, 2003; Losier *et al.*, 2007; Marble, 1990; Maximiano, 2005; Mehrer and Wescott, 2006; Moyes, 2002; Nigro *et al.*, 2001; Orton, 2006; Peuquet, 1984; Pollefeys *et al.*, 1998; Simek, 1984; Vanpool and Leonard, 2011), per le quali si sta verificando un rapidissimo e continuo progresso tecnologico tale da rendere in brevissimo tempo superato e obsoleto qualsiasi tentativo di studio, l'attenzione si è concentrata sugli aspetti della

documentazione (relativi ai dati alfanumerici e spaziali) (Aranguren *et al.*, 2003; Candelato *et al.*, 2003; Chew and Oheim, 2009; de la Torre and Benito-Calvo, 2013; Fenu *et al.*, 2003; Gallotti, 2011; Gallotti *et al.*, 2012; Garcia, 2013; Giusti, 2012; Grifoni Cremonesi *et al.*, 2003; Guan *et al.*, 2011; Hardy-Smith and Edwards, 2004; Lemorini *et al.*, 2005; Sañudo Die *et al.*, 2008; Sisk and Shea, 2008), pratica che qualsiasi archeologo ha dovuto affrontare e affronta quotidianamente nella sua vita professionale.

L'archiviazione dei dati archeologici costituisce infatti la base imprescindibile per la formulazione di ipotesi ricostruttive e scenari interpretativi e, allo stesso tempo, ne consente il controllo e la verifica documentata da parte della comunità scientifica, oltre che la possibilità di revisioni e di formulazione di nuove ipotesi.

La parte centrale del lavoro è dedicata all'analisi dei campi di applicazione, quali i sistemi d'informazione geografica (GIS) (Bowen, 1996; Canu, 2010; Constantinidis, 2001; Djindjian, 1998; Dunn, 2012; Fotheringham and Rogerson, 1994a; Gaffney *et al.*, 1995; Khoumeri and Santucci, 2006; Maguire *et al.*, 1991; Mehrer and Wescott, 2006; Orton, 2006; Poletti and Acerbi, 2005; Westcott and Brandon, 2000; Williams, 2004) e più in particolare le analisi spaziali (Calvelli, 2006; Djindjian, 1999; Fotheringham and Rogerson, 1994b; Kvamme, 1997; Lock and Harris, 1992; Manson *et al.*, 1999; Tilke, 1992), che sono ormai considerati d'uso comune in ambito archeologico.

Infine l'ultima parte della ricerca illustra l'applicazione del nuovo modello metodologico allo scavo preistorico di Isernia La Pineta, un eccellente 'laboratorio' di ricerca, alla luce delle sue caratteristiche e potenzialità (ampia dimensione dell'area scavata, molteplicità dei reperti individuati, durata e continuità delle operazioni di scavo, etc.) (Anconetani *et al.*, 1996; Coltorti *et al.*, 1982; Gallotti and Peretto, 2014; Gallotti, 2011, 2003; Gallotti *et al.*, 2012; Lembo, 2011; Minelli, 2003; Peretto and Minelli, 2003; Peretto, 1994; Peretto *et al.*, 1999; Peretto, 2013, 1999; Sala, 1996; Thun Hohenstein *et al.*, 2002). Lo studio, nell'affrontare in particolare il tema della documentazione archeologica, non intende fornire un protocollo descrittivo definitivo, ma vuole piuttosto offrire spunti di riflessione e nuove prospettive al dibattito relativo all'influenza

dell'informatica sul rinnovamento dell'archeologia, sia a livello teorico che di pratica sul campo. Lungi dal fornire una risposta risolutiva, si intende dunque stimolare una discussione critica e costruttiva, affinché venga individuata la soluzione più soddisfacente ed esaustiva per fornire un comune denominatore alla formalizzazione dell'ontologia informatica applicata all'archeologia.

CAPITOLO 1

ARCHEOLOGIA E INFORMATICA

1.1 Breve storia dell'archeologia computazionale

A partire dagli anni '60 si è assistito ad un rapido susseguirsi di cambiamenti in ambito archeologico, caratterizzati da una forte impronta interdisciplinare. Uno degli sviluppi più interessanti ha riguardato l'accettazione del ruolo centrale della teoria all'interno della pratica archeologica. Il quadro teorico della disciplina è stato pertanto continuamente riesaminato e rielaborato, inizialmente con la sfida al tradizionale approccio storico-culturale proprio dell'archeologia processuale e, successivamente, con la nascita del post-processualismo. All'interno di questo dibattito si è inserito prepotentemente lo sviluppo esponenziale delle tecnologie digitali. Lo sviluppo dell'archeologia computazionale è un processo che, realizzato nell'ambito di una rivalutazione avviata negli anni '60, è tuttora *in fieri*. Nonostante la varietà e la diversità delle sperimentazioni, comune denominatore, ancora oggi, è l'utilizzo dell'informatica al fine di corroborare e convalidare una teoria o un nuovo approccio metodologico. Dunque i computer, lungi dall'essere un mero strumento, diventano parte attiva del dibattito, in particolare in relazione allo sviluppo dei concetti del contestualismo, della complessità e della riflessività (D'Andrea, 2006; Forte, 2002).

Il rapporto tra informatica e archeologia è sempre stato contraddistinto dalla volontà di coniugare due esigenze distinte: gestire il versante tecnico delle applicazioni e, parallelamente, tramite queste, contribuire al progresso della disciplina, relativamente a metodi, tecniche e procedure (D'Andrea, 2006).

Le prime applicazioni informatiche in campo archeologico si collocano agli inizi degli anni '60, nei centri di ricerca inglesi e statunitensi nei quali la disponibilità di computer permetteva la sperimentazione di procedure statistiche finalizzate all'inferenza di particolari complessi archeologici (Baldi, 2010; Barcelò, 2002; Binford, 1983; Coppock and Rhind, 1991; D'Andrea, 2006; Djindjian, 1996; Kvamme, 1983; Lock, 2003; Renfrew and Bahn, 1995).

L'incontro tra informatica e archeologia si colloca nell'ambito della New Archaeology (o archeologia processuale), il cui fine principale era la trasformazione dell'archeologia in una disciplina basata sul metodo ipotetico-deduttivo e, al pari delle scienze esatte, sull'utilizzo del metodo sperimentale e sullo sviluppo di un approccio scientifico più rigoroso e formale. In questo primo periodo le aree di sviluppo delle applicazioni computazionali sono la statistica, la modellizzazione, l'*information retrieval* ed il *data processing* (Binford, 1962; Clarke, 1968; Gamble, 2008; Trigger, 1989).

Le prime sperimentazioni prendono in prestito tecniche e modelli di riferimento propri di altri settori disciplinari. Le ricerche di D. Clarke (1968) sulla preistoria britannica, condotte tramite l'applicazione dei metodi di tassonomia numerica, costituiscono le prime soluzioni informatiche sperimentali basate sul ricorso a procedimenti matematici. D. Clarke (1972) si qualifica pertanto come il pioniere di una nuova metodologia archeologica fondata sull'utilizzo del computer per la messa a punto di analisi quantitative e spaziali. I metodi quantitativi, applicati allo studio della cultura materiale (dall'analisi degli insiemi litici all'analisi spaziale e di distribuzione dei reperti), consentono di velocizzare e semplificare le operazioni di gestione di grandi quantità di dati e dunque di facilitare i processi di ricostruzione e di interpretazione.

Queste prime applicazioni statistiche, fondate su una codifica di tipo numerico, oltre ad inserirsi nell'ambito di un generale entusiasmo per l'utilizzo delle tecnologie informatiche, ben incarnavano il paradigma riduzionista (*data minimal*) proprio della New Archaeology. Il riduzionismo si basava sulla fiducia nella misurazione, registrazione e rappresentazione oggettiva dei dati in modo empirico; i dati risultavano dunque ridotti ad unità minime di conoscenza (D'Andrea, 2006; Gamble, 2008; Trigger, 1989).

In questo periodo archeologia e informatica sono discipline nettamente distinte, che non dialogano tra loro: gli archeologi si limitano ad interpretare i risultati derivanti dall'applicazione di calcoli quantitativi, di cui lo stesso ricercatore ignora il significato; mentre gli informatici si dedicano all'implementazione degli algoritmi, ignari delle peculiarità e specificità dei dati archeologici e delle finalità

delle relative analisi. «L'aspetto qualitativo, le motivazioni storico-culturali e soggettive, i fattori ambientali erano ignorati prediligendo un approccio indirizzato a produrre in modo deterministico leggi generali da cui derivare modelli di tipo predittivo» (D'Andrea, 2006).

Tra la fine degli anni '70 e gli inizi degli anni '80 si sviluppa in Gran Bretagna, attorno a figure come quella di Ian Hodder, un nuovo movimento che, in maniera diametralmente opposta ai principi della New Archaeology, rigetta l'applicazione di modelli matematici e statistici, rinnegando l'utilità dell'applicazione dell'informatica in campo archeologico e relegando il computer a mero strumento di gestione dei dati. Il dibattito teorico e metodologico sull'informatica applicata all'archeologia perde di importanza e viene quindi relegato in secondo piano (Hodder, 1984, 1982; Renfrew and Bahn, 1995).

La Post-Processual Archaeology, a differenza della New Archaeology, considera i dati come una 'appropriazione teoretica' del record archeologico (Shanks and Tilley, 1987a, 1987b); i dati vengono quindi incorporati nell'analisi interpretativa, con tutti i rischi e i limiti che ne derivano. La sfiducia nelle possibilità di ricostruzione ed interpretazione tramite l'ausilio delle metodologie informatiche appare uniformemente diffusa, ad eccezione degli Stati Uniti dove persiste una visione più positivista.

Una inversione di tendenza si registra solo dopo la metà degli anni '80 in corrispondenza di un nuovo periodo di crescita caratterizzato dalla diffusione sempre più capillare del computer in archeologia. Non va dimenticato che è proprio negli anni '80 che vengono messe a punto le prime applicazioni nel campo del telerilevamento e nell'ambito del Geographic Information System (vedi cap. 2.1). In un certo qual modo proprio lo sviluppo dei GIS permette di riavvicinare i fautori della Post-Processual Archaeology ai metodi informatici, viste le innumerevoli potenzialità di impiego delle analisi spaziali e la possibilità di correlare ai dati fisici molteplici informazioni di qualsivoglia natura (Forte, 2002).

A partire dagli anni '90 il rapporto tra informatica e archeologia subisce delle profonde trasformazioni, grazie anche ai progressi compiuti nel campo

dell'informatica. Ora gli archeologi sono degli utenti (più o meno) esperti, che si misurano con le potenzialità degli strumenti informatici, non delegando agli specialisti la ricerca di soluzioni applicative, come avveniva negli anni '70 e '80. Naturalmente tale fenomeno è determinato da vari fattori: diffusione dei computer; commercializzazione di programmi in grado di svolgere qualsiasi tipo di operazione; semplificazione delle procedure degli applicativi finali; diffusione di interfacce utenti semplici e intuitive (*user-friendly*). Ne deriva una riduzione considerevole dei confini tra le due discipline e una ricucitura della iniziale frattura (Gamble, 2008). Si può dunque affermare che, in linea di massima, oggi l'archeologo, al di là delle competenze ed attitudini individuali, è sostanzialmente autonomo e può tranquillamente prescindere dall'ausilio di un informatico (ingegnere informatico, programmatore) per realizzare quasi tutte le analisi che uno scavo archeologico richiede.

Alla luce di tutto ciò, alla fine degli anni '90 si registra una riscoperta delle applicazioni statistiche in ambito archeologico, soprattutto in merito all'analisi dei dati e alla valutazione dell'impatto dei modelli matematico-statistici sulla ricerca archeologica (Barcelò *et al.*, 2004; Burrough, 2001; Orton, 2006; Wheatley and Gillings, 2002).

Un ulteriore elemento di interesse e riflessione è quello relativo alla rapida diffusione delle applicazioni multimediali che ben si prestano alle necessità di comunicazione delle acquisizioni archeologiche presso la comunità scientifica e il grande pubblico. Tuttavia la pubblicazione su archivi online, che avrebbe dovuto favorire la condivisione delle informazioni all'interno della comunità scientifica e dunque il confronto critico sui dati grezzi, è ancora una via poco battuta, probabilmente in virtù dell'inclinazione degli studiosi a presentare sintesi interpretative definitive piuttosto che dati grezzi (D'Andrea, 2006).

Ad oggi la sintesi più esauriente sul ruolo dell'informatica in campo archeologico si deve a Ian Hodder (2000), presentata nell'ambito di un volume sul sito neolitico di Çatalhöyük (Turchia) nel quale vengono discussi i principali metodi post-processuali, le loro caratteristiche, limiti e potenzialità. Per Hodder i dati di scavo dovrebbero essere accessibili in tempo reale, in modo da consentire un

continuo e costante dialogo tra l'equipe di scavo e l'equipe di laboratorio. Tale flusso continuo e stabile di informazioni, che rappresenta la provvisorietà delle conclusioni, dovrebbe essere gestito in maniera tale da poter confrontare grandi quantità di dati in tempi ridotti.

Al di fuori dell'ambito più propriamente scientifico, anche quello della valorizzazione dei beni culturali ha visto una massiva e capillare diffusione dell'informatica, pur con obiettivi e modalità differenti. Le molteplici potenzialità delle applicazioni computazionali nel settore della valorizzazione dei beni culturali non si limitano ai fini di divulgazione presso il grande pubblico, ma consentono un effettivo miglioramento delle operazioni di gestione e conservazione dei siti archeologici e del processo di valorizzazione e fruizione dei beni.

1.2 L'importanza del dato archeologico

Cos'è tecnicamente un dato? Secondo il modello DIKW (Data, Information, Knowledge, Wisdom) proposto da Hey (2004), il dato si qualifica come l'unità minima di rilevazione. I dati, che sono grezzi e non processati, non possiedono una struttura e non hanno relazioni con altri dati; invece le informazioni sono concetti che incorporano i dati attribuendo loro un significato. La trasformazione del dato in informazione avviene tramite la strutturazione e organizzazione del dato grezzo, normalmente quando una certa quantità di dati viene raggruppata. Il passaggio alla conoscenza avviene tramite l'aggregazione delle informazioni in concetti e relazioni (Hey, 2004).

Anche in campo archeologico il dato costituisce l'elemento di base per la formulazione di analisi ed elaborazioni dalle quali trarre sintesi ed interpretazioni. La raccolta accurata e meticolosa dei dati di scavo, come è noto, risulta imprescindibile per gli scopi di documentazione del record archeologico, irrimediabilmente distrutto dalle attività di scavo (Gardin, 1955; Moscati, 1994; Orlandi, 1996; Richards and Robinson, 2000; Topouzi *et al.*, 2002).

L'importanza del dato archeologico è quindi innegabile e costringe alla ridiscussione della sua stessa definizione e natura, in modo particolare in

relazione al discorso interpretativo. Il dato condiziona infatti l'intero processo di ricostruzione e di interpretazione.

Un oggetto rinvenuto nel terreno non è un reperto di per sé ma diventa un reperto di interesse archeologico in base alla metodologia seguita nel processo di raccolta, ovvero ai criteri di osservazione, misurazione, registrazione e organizzazione dei dati utilizzati (Hodder, 1999). Più precisamente, «[...] consideriamo un reperto non (solo) per il suo valore estetico, ma come oggetto rinvenuto in quel sito e in quello strato, ne investighiamo la funzionalità e lo possiamo collocare in una catena operativa. Sono piccoli tasselli di un mosaico molto più grande, ma sono importanti perché hanno delle implicazioni antropologiche, psicologiche, sociali, che riusciamo a decifrare solo in minima parte» (Cavulli, 2004).

Perseguendo un presunto criterio di oggettività che è solo apparente, nella pratica, sul campo e poi in laboratorio, vengono effettuate delle scelte e delle selezioni, sulle quali verranno poi costruite le interpretazioni. La semplice operazione di selezione dei materiali e di registrazione dei fenomeni (decidere quale oggetto e/o fenomeno sia portatore di significato o di un contenuto informativo e dunque registrarlo) orienta e condiziona, infatti, il successivo processo di analisi e ricostruzione.

Rivett (1997) ne illustra bene le implicazioni all'interno di un modello concettuale più articolato, costituito da tre componenti: il pre-giudizio, la definizione del problema e la definizione dei dati come principali (Fig. 1). L'interpretazione di ogni individuo, determinata dall'esperienza, definisce l'effettiva conoscenza o la conoscenza di base che, oltre ad abbracciare i dati che provengono da varie fonti (archeologiche, ambientali, sociali), è influenzata anche dal mondo reale che ne altera la prospettiva. Dall'altro lato troviamo la documentazione dei dati, che sono disponibili sostanzialmente in due forme, spaziali (ad esempio la distribuzione dei reperti in un insediamento) e non spaziali (dati etnografici, antropologici, etc.). Tutto ciò porta alla definizione del problema strettamente archeologico (Rivett, 1997).

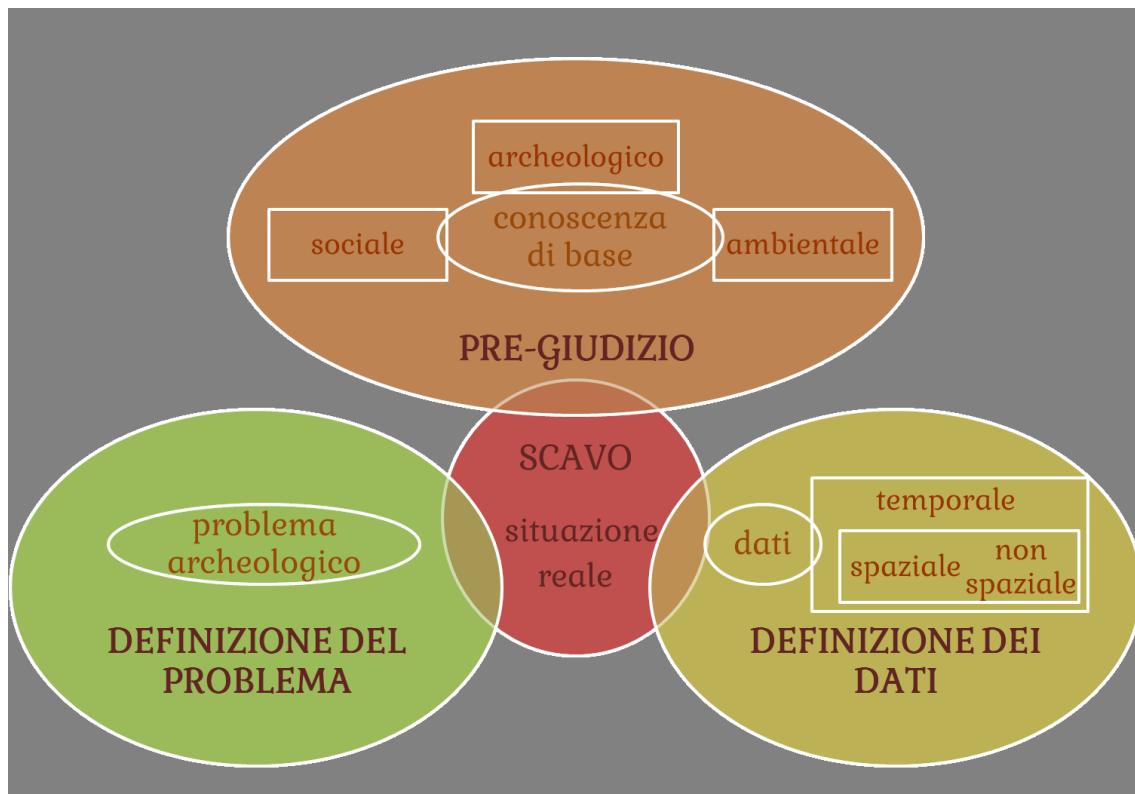


Fig. 1 Metodo per la determinazione di un modello concettuale di dati in archeologia (da Rivett, 1997).

Il dibattito sulla relazione tra dato archeologico e discorso interpretativo, dai suoi prodromi nell'ambito dell'archeologia processuale prima e post-processuale poi, è tornato nuovamente in auge proprio in questi ultimi anni. Va rilevato che, nella corsa alle più recenti applicazioni tecnologiche, sovente l'aspetto meno indagato è proprio quello relativo al dato stesso e alla sua creazione (D'Andrea, 2006). Invece l'importanza del dato, dal momento della sua creazione, ideazione ed elaborazione, risiede nel dato stesso e non nella sua interpretazione (Rivett, 1997). Il problema della codifica dei dati rappresenta lo stadio preliminare di qualsiasi trattamento informatico che trasforma i dati in variabili finite di tipo quantitativo e qualitativo. La scelta di una specifica procedura di codifica del dato archeologico in informazione digitale ai fini del trattamento informatico così come quella di un particolare programma per la gestione dei dati, influenza, per forza di cose, il successivo processo di analisi e interpretazione. Ne deriva che le ipotesi interpretative non si fondano su dati inequivocabili e che è praticamente impossibile separare l'oggetto in esame dalle forme della sua registrazione e misurazione. In questo senso, oltre alle procedure di codifica, dovrebbe essere

sempre incluso all'interno dell'analisi metodologica anche lo studio delle forme e modalità del trattamento informatico dei dati.

«La migrazione del complesso di dati verso formati aperti non proprietari costituisce inoltre una decisiva ottimizzazione ed un fondamentale progresso verso un adeguato sistema di conservazione a lungo termine» (Giusti, 2012).

1.3 Accessibilità dei dati

Il libero accesso ai dati di scavo è ormai considerato fondamentale per l'avanzamento e il progresso delle conoscenze in campo archeologico. Il problema dell'accessibilità ai dati di scavo (*Open Data Access*) limita la condivisione dei dati tra gli studiosi e impedisce di fatto il riutilizzo dei dati da parte di altri ricercatori, ostacolando nuove analisi che possano portare alla formulazione di differenti scenari interpretativi (Boulton, 2012; Gattiglia, 2009; Guralnick *et al.*, 2009). Tuttavia, nonostante l'importanza e attualità del dibattito, la messa a punto di metodologie condivise a livello nazionale e sovranazionale per la progettazione, elaborazione, conservazione e divulgazione degli archivi digitali archeologici, costituisce un tema ancora sottovalutato e relegato in secondo piano, a causa di oggettive difficoltà e impedimenti legislativi. «La proprietà intellettuale oltre che materiale di chi scava (almeno nel contesto italiano) impedisce la condivisione ed il riuso dei dati con grave danno per l'intera comunità scientifica» (D'Andrea, 2006).

Appare pertanto evidente e urgente la necessità di mettere a punto delle *good practices* per garantire un'adeguata progettazione e strutturazione degli archivi digitali, la conservazione a lungo termine dei dati e il loro accesso ("Guides to Good Practice," 2009).

Pioniere in questo campo è stato Archaeology Data Service (ADS)¹ che, nato nel 1996 da un consorzio di Dipartimenti universitari di Archeologia e dal Council for British Archaeology, facenti capo all'Università di York, promuove la definizione di procedure standardizzate indirizzate alla conservazione dei dati digitali a lungo termine, la diffusione di *good practices* nell'uso dei dati digitali in

¹ <http://archaeologydataservice.ac.uk/>

archeologia, sostiene la diffusione delle tecnologie digitali e l'accessibilità dei dati ("Guides to Good Practice," 2009).

L'ADS garantisce il libero accesso online alle sue risorse digitali (database dei siti archeologici, documentazione testuale e digitale, files di varia natura, etc.) e, dal 2005, pubblica un catalogo di reports di scavo. La recente collaborazione tra ADS e la statunitense Digital Antiquity, ha permesso, tramite la revisione e l'aggiornamento delle originarie ADS Guides, di mettere a punto le *Guides to Good Practice*² e di sviluppare ex novo documenti relativi a settori quali la rilevazione marina, scansione laser, close-range photogrammetry, digital audio e digital video ("Guides to Good Practice," 2009). Tale collaborazione ha consentito inoltre di ampliare l'ambito di diffusione delle originali Guides, che erano concepite principalmente per la creazione di standard nazionali e quindi riferibili al Regno Unito. Di particolare interesse ed utilità è la GIS Guide to Good Practice³ appositamente pensata per fornire informazioni pratiche per la progettazione, strutturazione e implementazione di un database GIS efficiente (Gillings and Wise, 1998).

In Italia non si annoverano molti tentativi in tal senso⁴. Tra questi va menzionato l'ambizioso Mappa Project⁵ che, realizzato dall'Università di Pisa in collaborazione con la Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana, costituisce il primo *open digital archaeological archive* italiano a rendere accessibili tutti i dati pubblici delle indagini archeologiche ("Mappa Project," 2011).

In Italia, dopo il primo tentativo di Ruggero Bonghi nel 1870 di mettere a punto un censimento delle presenze archeologiche sul territorio nazionale coordinato centralmente, gli sforzi a livello istituzionale sono stati fallimentari. «L'acclarata assenza di coordinamento tra le varie attività di ricerca sul campo finalizzate alla creazione di supporti informativi [...] a tutti i livelli di scala, nonché la

² <http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/>

³ http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/Gis_Toc

⁴ Ad esempio Fasti On Line Documenti e Ricerche (FOLD&R) non contiene dati ma relazioni sugli scavi in corso nel territorio italiano a partire dal 2000.

⁵ <http://mappaproject.arch.unipi.it/>

conseguente formazione di un “arcipelago” di GIS a tematismo archeologico» (Azzena, 2009), è quanto emerge dalla relazione finale della Commissione paritetica per la realizzazione del Sistema Archeologico delle città italiane e dei loro territori, nominata nel 2007 da Francesco Rutelli, allora Ministro dei Beni Culturali, e sciolta dopo solo un anno di lavoro. Si evince con assoluta chiarezza la mancanza di interazione tra le centinaia di censimenti archeologici, GIS, atlanti, ricostruzioni 3D, carte di ogni tipo, messi a punto fino a questo momento (Azzena, 2009).

La necessità di integrare informazioni per il corretto uso e interpretazione dei dati grezzi ha portato negli ultimi anni a concentrare l'attenzione sul ruolo dei metadati, la cui crescente importanza ha portato a considerarli parte costituente della definizione di oggetto digitale (Giusti, 2012).

Un metadato (dal greco ‘oltre, dopo’ e dal latino datum ‘informazione’) costituisce una informazione che ha come obiettivo la descrizione di un dato, in modo da consentire l'accesso al dato a chiunque. I metadati, che possono essere descrittivi, tecnici, amministrativi o strutturali, registrano la storia della formazione del dato e, in sostanza, descrivono ogni informazione relativa al tracciato del record memorizzato (Miller, 1999).

Grande attenzione viene posta sul tema della standardizzazione dei metadati, che consentono la conservazione a lungo termine delle informazioni e facilitano il recupero e il riutilizzo delle informazioni archiviate. Al fine di perseguire una standardizzazione internazionale dei metadati, differenti organizzazioni, governative e non, hanno rilasciato standard per i metadati riferiti a diversi livelli di aggregazione delle informazioni oppure a specifiche tipologie di dati. Tra i metadati più diffusi vanno menzionati: Dublin Core⁶, EAD (Encoded Archival Description)⁷, METS (Metadata Encoding and Transmission Standard)⁸,

⁶ <http://dublincore.org/>

⁷ <http://www.loc.gov/ead/>

⁸ <http://www.loc.gov/standards/mets/>

TEI (Text Encoded Initiative)⁹, VRA (Visual Resources Association)¹⁰ (D'Andrea, 2006; Gillings and Wise, 1998; Giusti, 2012; Wheatley and Gillings, 2002).

In conclusione in Italia, nonostante la pluralità di scavi che si avvalgono del trattamento informatizzato dei dati, l'accessibilità online ai dati di scavo rappresenta un ambito sul quale c'è ancora molto da lavorare.

1.4 Standard per la documentazione archeologica

La standardizzazione riveste un ruolo chiave per il futuro dell'archeologia computazionale. La standardizzazione della documentazione non solo garantisce la conservazione e longevità dei dati, ma anche il riutilizzo dei degli stessi, facilitandone la diffusione e lo scambio (Nicolucci, 2006).

Il concetto di standard, nato in ambito museale agli inizi degli anni '70, in campo archeologico include procedure, raccomandazioni e linee guida che indirizzano e regolano le attività di scavo, di documentazione, di conservazione e gestione dei dati.

Dalle prime linee guida per lo scavo archeologico concepite in ambito internazionale, ovvero le "Recommendation on International Principles Applicable to Archaeological Excavations" adottate dall'UNESCO nel 1956 e, successivamente, l'ICOMOS Charter' sottoscritta dall'ICAHM (International Committee on Archaeological Heritage Management), sono state messe a punto molte *guidelines, recommendations e good practices*, sia a livello internazionale che nazionale e locale (D'Andrea, 2006).

In Italia la definizione degli standard per il patrimonio archeologico e culturale italiano è compito dell'Istituto Centrale per la Catalogazione e la Documentazione (ICCD)¹¹, ente responsabile della raccolta, elaborazione, conservazione e

⁹ <http://www.tei-c.org/index.xml>

¹⁰ <http://vraweb.org/>

¹¹ L'ICCD promuove e coordina l'attività di catalogazione tramite l'elaborazione di metodologie condivise, la predisposizione di strumenti di controllo per la validazione dei dati e la gestione del Sistema Informativo Generale del Catalogo (SIGEC), che definisce le norme catalografiche che garantiscono l'omogeneità dei dati e la correttezza del processo stesso di catalogazione (<http://www.iccd.beniculturali.it/>)

consultazione di tutte le informazioni relative ai beni culturali. L'ICCD, oltre alla formulazione di linee guida per la redazione delle schede, alla definizione di standard e alla realizzazione di vocabolari e dizionari terminologici finalizzati a garantire l'omogeneità dei dati, stabilisce inoltre i supporti e i formati di memorizzazione dei dati al fine di garantirne la conservazione per un futuro riuso ("Beni archeologici," 2010).

Tuttavia attualmente risulta facile constatare l'estrema varietà e difformità degli standard utilizzati in ambito archeologico, a causa di una molteplicità di variabili (localizzazione geografica, specificità dello scavo, direttive imposte dalle autorità locali, metodologia utilizzata, finalità della ricerca, esperienza e sensibilità dell'archeologo, etc.). Come è noto la documentazione 'personale', ovvero quella che non risponde a nessun tipo di standard condiviso a livello nazionale, convive, parallelamente e contemporaneamente, con la documentazione ufficiale, prevista e richiesta dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo.

Va da sé che le istanze di standardizzazione non possano essere demandate all'iniziativa dei singoli ma devono essere convogliate e portate avanti, per far sì che vengano capillarmente applicate, a livello istituzionale e politico, da parte degli enti preposti alla tutela e salvaguardia del patrimonio archeologico.

La definizione e diffusione di standard riconosciuti a livello internazionale è la direzione nella quale si stanno muovendo organismi internazionali come l'International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)¹², nella consapevolezza che in futuro, per garantire la piena accessibilità dei dati archeologici digitali, bisognerà necessariamente valicare i confini locali e nazionali.

¹² <http://www.icomos.org>

CAPITOLO 2

GLI AMBITI APPLICATIVI

2.1 GIS (Geographic Information System)

«La rappresentazione del territorio in cui si vive manifesta un bisogno antropico imprescindibile: disegnare il territorio significa possederlo, narrarlo, attraversarlo nella memoria (il tempo), tracciandone i confini (lo spazio) e gli orizzonti (la mente). Collegare immagini, disegni, mappe, tematismi a grandi archivi di informazione, i database, permette una conoscenza molto approfondita e comparata della geografia; la scelta delle rappresentazioni simboliche (come disegnare il territorio e il paesaggio) codifica anche un certo valore semantico delle informazioni geografiche (utilizzo dei segni per attribuire funzioni, ranghi o gerarchie)» (Forte, 2002).

Il GIS, Geographic Information System, che in italiano si traduce con Sistema Informativo Territoriale (SIT), si qualifica come un moderno sistema tecnologico in grado di rispondere, in maniera esaustiva, dettagliata e precisa, al bisogno atavico dell'uomo di rappresentare lo spazio che lo circonda.

Ma cos'è un GIS? L'effettiva cognizione del suo significato non è così scontata e diffusa come l'abuso del termine potrebbe indurre a credere. Di seguito sono riportate alcune definizioni presenti in letteratura:

«Un Sistema Informativo Geografico è un tipo di sistema informativo dove il database consiste di osservazioni su dati spaziali distribuiti, attività od eventi che sono definiti nello spazio secondo punti, linee od aree. Il Sistema elabora dati su questi punti, linee od aree per recuperare dati per interrogazioni ed analisi dedicate» (Duecker, 1976);

«Un potente strumento per archiviare ed elaborare a piacere, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale per particolari finalità» (Burrough, 1986);

«Un sistema per la gestione dei dati, che è direttamente o indirettamente spazialmente riferito alla Terra; può essere utilizzato per l'acquisizione, l'archiviazione, la convalida, la gestione, l'analisi, la visualizzazione di tali dati.

Solitamente è pensato per includere una banca dati georeferenziati e un software appropriato. La funzione primaria di un GIS è la sua capacità di integrare dati da una varietà di fonti» (Shand and Moore, 1989);

«É una tecnologia digitale integrata per l'archiviazione, l'analisi, l'organizzazione e la comunicazione di dati spaziali georeferenziati, in pratica tutto ciò che è integrabile con una base cartografica o topologicamente riferita» (Forte, 2002);

«Un sistema e un modello spaziale di archiviazione ed elaborazione di dati, eventi ed attività spaziali, finalizzato all'interpretazione del paesaggio storico e archeologico, dal sito al territorio, dal costruito all'insediato, dalla microscala alla macroscala [...]; il valore informativo delle interazioni fra le varie parti del sistema è superiore al contributo di ciascuna di esse» (Forte, 2002).

Il GIS, dunque, è costituito da un insieme di strumenti, di tecnologie operanti principalmente con dati spaziali, ma non solo, ed aventi come obiettivi: l'acquisizione, la gestione, l'analisi e la visualizzazione delle informazioni derivanti da questi (Giusti, 2012). La schematizzazione (Fig. 2) dei quattro sottosistemi componenti un GIS fornita da Marble (1990) ben evidenzia la complessa interrelazione di ingredienti (hardware, software, utenti) e funzionalità:

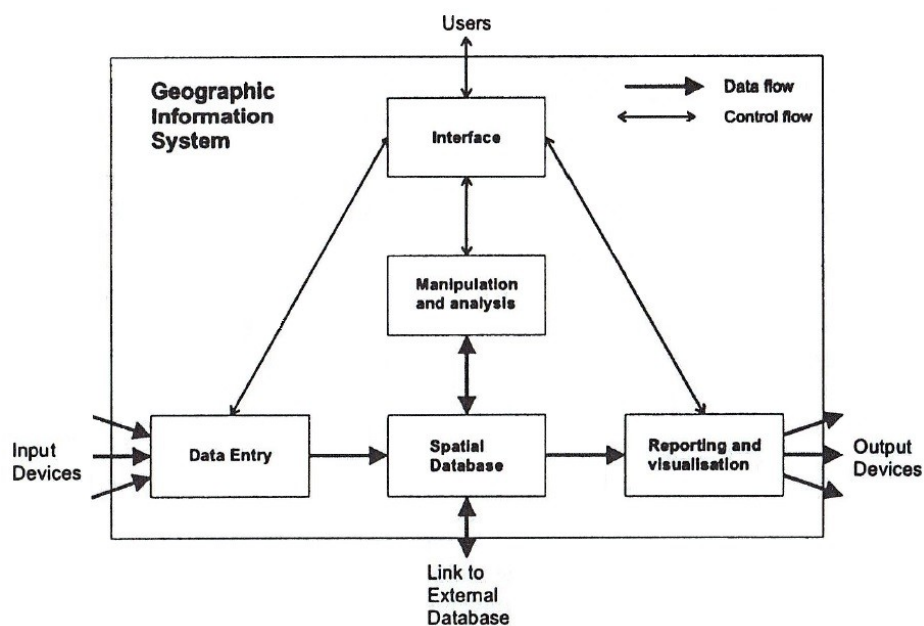


Fig. 2 - Schema delle interrelazioni all'interno di un GIS (da Marble, 1990).

Data Entry: dispositivi di input e software d'acquisizione ed integrazione di dati spaziali quali mappe topografiche, planimetrie archeologiche, fotografie aeree, immagini satellitari, etc.;

Spatial Database: DataBase Management System (DBMS) per la memorizzazione, gestione, manutenzione e correlazione dei dati spaziali e non-spaziali;

Manipulation and Analysis: software per l'esplorazione e la trasformazione matematica dei dati (primari) spaziali e non, per la produzione di nuovi dati (secondari), l'analisi, la simulazione e la modellazione;

Reporting and Visualisation: dispositivi di output e software per la visualizzazione grafica o testuale dei risultati delle analisi spaziali, oltre alla produzione cartografica (Giusti, 2012).

2.1.1 Breve storia del GIS

La nascita delle applicazioni GIS risale agli anni '60, parallelamente allo sviluppo di una vera e propria scienza dell'informazione geografica nel settore pubblico. Il primo uso noto del termine 'Geographic Information System' è stato di Roger Tomlinson, per questo riconosciuto come il padre del GIS, nel suo saggio *A Geographic Information System for Regional Planning* del 1968 (Fotheringham and Rogerson, 1994a).

Proprio in quegli anni una positiva convergenza di fattori, tra i quali i progressi nella produzione della cartografia tradizionale e lo sviluppo degli elaboratori elettronici, diede impulso ad un processo di innovazione nell'ambito delle metodologie di analisi e gestione del territorio. Nel quadro delle prime sperimentazioni, una speciale menzione meritano due progetti, che possono essere considerati i veri e propri capisaldi del GIS: la progettazione e realizzazione del software SyMAP (Synteny Mapping and Analysis Program), presso l'Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, e del CGSI (Canada Geographic Information System), ad opera del Governo canadese (Tomlinson, 1967). Il SyMAP, che in origine consentiva l'elaborazione di dati geografici e la realizzazione di semplici carte tematiche, di lì a poco, negli anni '70, si sarebbe trasformato in ODISSEY, il primo vero software GIS commerciale, che introdusse

il concetto di topologia. Il CGSI, che può essere considerato il primo vero e proprio GIS, era pensato per effettuare analisi statistiche sulla gestione delle aree rurali canadesi, tramite la creazione di mappe tematiche relative a differenti aspetti quali uso del suolo, copertura forestale, etc. (Canu, 2010; Forte, 2002).

Nel 1969 nacque l'Environmental Systems Research Institute (ESRI), ad opera di Jack Dangermond, sulla scorta delle tecnologie sviluppate dall'Harvard Lab. Nello stesso anno, con il libro "Design with Nature", Ian McHarg giunse alla formalizzazione di una metodologia di analisi spaziale fondata sul confronto dei dati e tesa alla realizzazione di una cartografia di sintesi, utile non solo nella pianificazione delle risorse naturali ma anche nella gestione dei processi decisionali. Ian McHarg ipotizzò l'utilizzo della sovrapposizione dei dati geografici strutturati in vari livelli informativi a singolo tematismo, oggi comunemente noto come *overlay topologico* (McHarg, 1969).

Questi primi successi aprirono la strada a molti altri progetti su sistemi informativi geografici sviluppati da enti governativi americani. Tra gli esperimenti più significativi va menzionato il *Census Bureau*, un sistema di georeferenziazione sviluppato negli Stati Uniti in grado di relazionare dati spaziali con informazioni numeriche, desunte dagli indirizzi (USBC 1969-73).

Agli inizi degli anni '70 si colloca la realizzazione di un GIS ad opera del *Geological Survey*, finalizzato all'analisi delle risorse naturali; la produzione di carte digitali relative all'uso e alla copertura del suolo veniva realizzata grazie all'integrazione delle informazioni desunte dalle immagini dai satelliti per il telerilevamento, dalle carte tradizionali e dal rilievo sul campo. Sempre in quegli anni ha inizio il primo censimento geocodificato che permette non solo la stesura di atlanti di mappe digitali per città campione, ma anche lo sviluppo dei primi sistemi raster e vettoriali. All'inizio degli anni '80 viene creato ARC/INFO, il primo GIS implementato per mini-hardware. ARC/INFO, i cui principi di base sono stati riproposti in molti altri sistemi, è un'applicazione in grado di gestire attributi separati e informazioni geografiche appartenenti a database relazionali (INFO) (Forte, 2002). Negli stessi anni nasce M&S Computing (poi Intergraph) come rivenditore di software GIS, per la piattaforma CAD, Environmental Systems

Research Institute (ESRI), CARIS (Computer Aided Information System Resource), MapInfo Corporation e ERDAS (Earth Resource System Data Analysis), integrando con successo molte delle caratteristiche CGIS. Parallelamente, tra la fine del 1970 e l'inizio del 1980, vengono sviluppati due sistemi, MOSS e GRASS GIS. Nel 1986 viene realizzato il primo prodotto di desktop GIS per il sistema operativo DOS, ovvero Mapping Display e Analysis System (MIDAS) che nel 1990, quando viene portato su piattaforma Microsoft Windows, prende il nome di MapInfo per Windows. Questa operazione consente di estendere l'utilizzo del sistema GIS anche ad ambiti diversi da quelli della ricerca, ovvero aziendale e privato (Burrough, 1986; Coppock and Rhind, 1991). Prima della fine del XX secolo la crescita esponenziale delle tecnologie informatiche permette la visualizzazione dei dati GIS su Internet (Fig. 3).

Più recentemente, un numero crescente di pacchetti GIS *open source*, eseguiti su di una vasta gamma di sistemi operativi, ha permesso l'utilizzo del sistema GIS in quasi tutti gli ambiti disciplinari ("Geographic Information System," 2014).

Storia del GIS in archeologia

Nella fase iniziale l'applicazione del GIS in campo archeologico va di pari passo con lo sviluppo del telerilevamento e con la necessità di documentazione dei siti dall'alto, a fini interpretativi ma anche per fornire modelli predittivi (Lock and Stanč 1995). L'utilizzo corrente del termine GIS in ambito archeologico risale ai primi anni '80 (Binford, 1983; Burrough, 1986; Kvamme, 1983) e le prime applicazioni dei GIS vengono realizzate in America del Nord proprio in quegli anni. Gli antecedenti risalgono, però, alla fine degli anni '70 sia in Europa che in America: ad esempio la *trend surface analysis* (analisi del trend di superficie), utilizzata in geologia, ritrova molte applicazioni a partire dal 1975 (Binford, 1978; Kennedy, 1978; Rick, 1976). In quest'ambito di indagine, superfici polinomiali di vario ordine vengono adattate allo studio dei modelli di distribuzione degli manufatti. Ne deriva la ricerca di altri metodi di analisi spaziale di superfici, come i metodi di *weighted-average* o di interpolazione spaziale, il cui fine ultimo è quello di generare modelli di superficie per identificare la posizione originaria

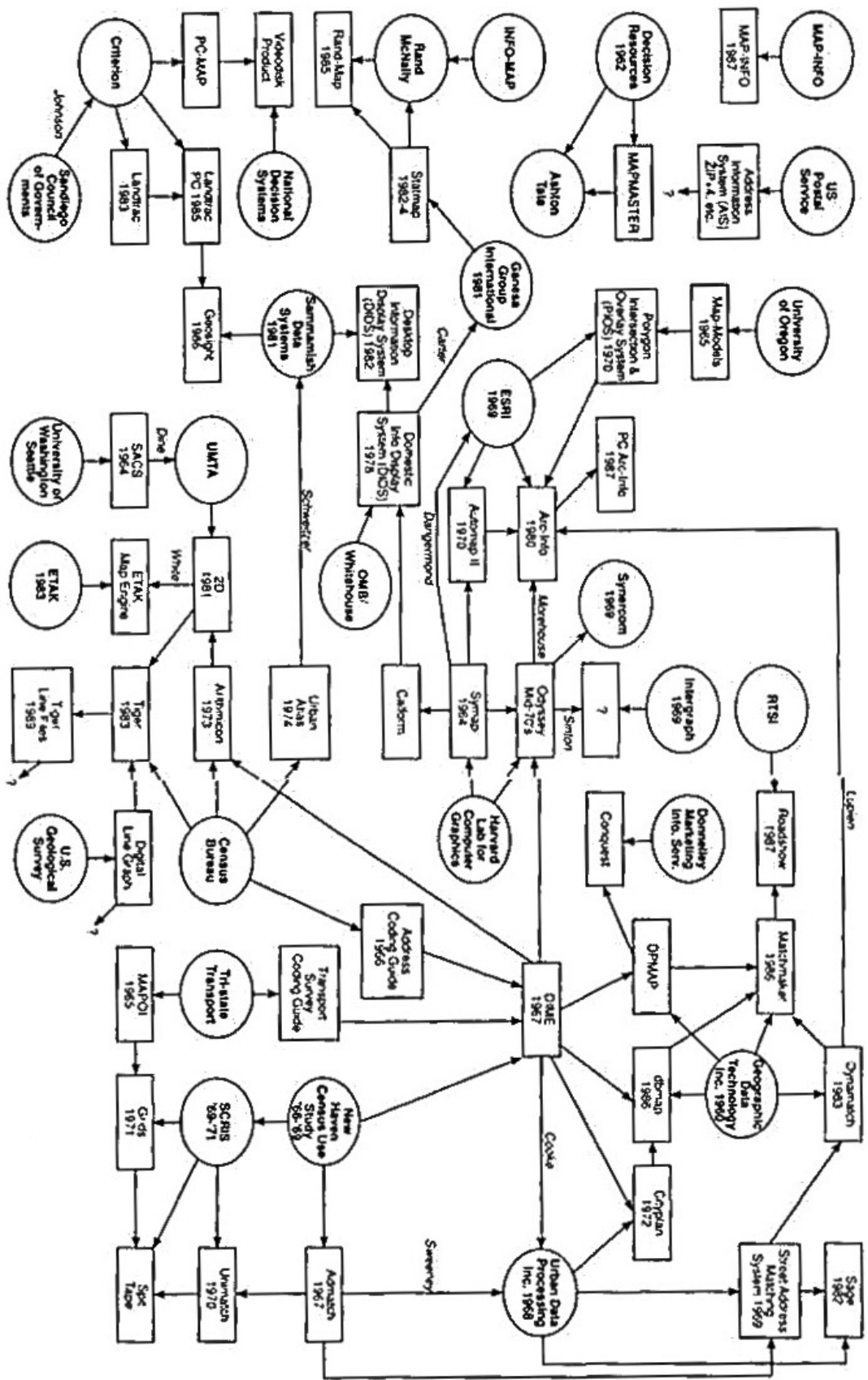


Fig. 3 - Schema della genealogia del GIS negli USA. I cerchi rappresentano i 'luoghi', ad esempio agenzie governative, centri di ricerca, etc.; i rettangoli rappresentano le idee o i concetti; le linee indicano la migrazione (da Coppock and Rhind, 1991).

dei reperti (Djindjian, 1998). Per l'analisi della distribuzione dei reperti archeologici vengono messe a punto ulteriori analisi statistiche di tipo spaziale (superfici polinomiali di vari ordini), tramite l'utilizzo del software SYMAP. Non si tratta ancora di veri e propri GIS, nel senso odierno del termine, ma di programmi dedicati all'analisi statistica della distribuzione nello spazio (Khoumeri and Santucci, 2006).

In questa fase, ancora pionieristica nello sviluppo del GIS in ambito archeologico, una speciale menzione meritano le applicazioni di simulazione computazionale di Zimmerman (1977) negli Stati Uniti e di Chadwich (1979) in Grecia, focalizzate sullo studio diacronico dell'occupazione e dell'uso del suolo.

Tra i primi tentativi di cartografia GIS creata per database spaziali regionali, vanno annoverate le mappe diacroniche di distribuzione realizzate da Effland (1979) per il Sud-Ovest degli Stati Uniti, ottenute tramite l'utilizzo di semplici plotter a penna.

Il *Granite Reef Project* viene considerato da Kvamme (1995) come il primo esempio di un vero e proprio progetto GIS in archeologia. Questo progetto, condotto tra il 1979 e il 1982 in una vasta area del Sud-Ovest degli Stati Uniti, era basato su un sistema raster, denominato *Maps*, con livelli informativi differenti (elevazione, suolo, geologia, precipitazioni, etc.). Il programma consentiva poi l'elaborazione e l'analisi dei DEM secondo diverse interpolazioni e calcoli di visualizzazione.

Negli anni '80 il termine GIS è utilizzato ormai in maniera corrente in ambito archeologico (Kvamme, 1983), in concomitanza con la nascita del personal computer e, più in generale, sotto la spinta delle applicazioni digitali nella ricerca archeologica su vasta scala. Pur non trattandosi ancora di veri e propri GIS nell'accezione odierna del termine, questi primi programmi sono finalizzati all'analisi statistica della distribuzione nello spazio (Kvamme, 1997; Lock and Stančić, 1995; Lock, 2003). L'uso di tecnologie GIS in campo archeologico mira alla creazione di modelli predittivi per la ricerca; le sue potenzialità non si limitano pertanto allo studio dei sistemi insediativi e di popolamento antichi ma appaiono intrinsecamente legate alla possibilità di individuare nuove aree di

scavo. Tale crescita di applicazioni è conseguente anche alla disponibilità di software dedicati e a basso costo (Djindjian, 1998; Forte, 2002).

Appare interessante rilevare come già in questa fase il GIS non venga considerato una mera tecnologia ma un vero e proprio 'sistema' di ricerca.

Lo sviluppo dei GIS è indissolubilmente legato alla nascita dei database relazionali, che, dalla loro introduzione in campo archeologico, hanno influenzato non solo la fase di acquisizione dei dati ma anche la progettazione concettuale dello scavo archeologico (Harris and Lock, 1995).

Nel 1985, a chiudere questa prima fase di sviluppo del GIS in archeologia, ha luogo il congresso *“Computer-based Geographic Information System. A tool of the Future for Solving the Problems of the Past”* (“Geographic Information System,” 2014).

La pubblicazione di *« Interpreting Space »* (Allen *et al.*, 1990), che enfatizza le possibilità del GIS come strumento interpretativo, piuttosto che mero strumento di gestione, e di altri lavori simili, segna una sorta di spartiacque con il passato, sancendo un considerevole sviluppo delle applicazioni GIS.

Una serie di meeting sul tema (conferenza internazionale sulle applicazioni dei GIS in archeologia a Santa Barbara, in California, nel 1992; congresso presso l'Università del Southern Illinois, nel 1993) suscita, non solo l'attenzione dell'ambito accademico, ma anche l'interesse del mondo europeo (in tal senso va segnalato il congresso internazionale del 1993 a Ravello, in Campania), mettendo in evidenza l'enorme variabilità e le smisurate potenzialità delle applicazioni GIS in archeologia (Lock and Stančič, 1995; Maschner, 1996).

Le ricerche si incentrano sullo sviluppo di analisi territoriali *inter-site* (Gillings, 2004; Wheatley, 1995, 1993) in rapporto alle caratteristiche del territorio, coadiuvate dall'uso di modelli tridimensionali al fine di realizzare modelli spaziotemporali (Harris and Lock, 1995).

Nello stesso tempo appare sempre più urgente lo sviluppo di una discussione sul rapporto tra le analisi ottenute col GIS e i modelli teorici (Wheatley, 1993; Zubrow, 1994). Alcuni studiosi (Gaffney *et al.*, 1995; Kvamme, 1995; Wheatley,

1995) ritengono infatti che un uso improprio e non teorizzato dei GIS possa enfatizzare il ruolo dei fattori ambientali.

Uno degli ambiti di applicazione che sta acquistando spazio negli ultimi anni è quello relativo allo studio dell'interazione tra i siti archeologici e il loro impatto su un territorio moderno antropizzato (Gaffney *et al.*, 1995); in questo caso il GIS diventa l'imprescindibile strumento di base per l'inventariazione del patrimonio culturale e per l'elaborazione di carte archeologiche (Kvamme, 1997).

Le mappe di impatto archeologico, che costituiscono un potente e moderno strumento di cartografia numerica, restituiscono un quadro aggiornato dei rinvenimenti, che coniuga informazioni storiche, geografiche e territoriali (D'Andrea, 1999).

Lo sviluppo esponenziale dell'uso del GIS e delle sue applicazioni in campo archeologico degli ultimi decenni, si qualifica come la naturale risposta alla necessità di archiviare, elaborare, analizzare i dati archeologici in maniera efficiente e rapida.

2.1.2 I fondamenti del GIS

Il GIS applica i principi della geografia all'organizzazione ed all'uso dell'informazione, utilizzando lo spazio come campo d'azione per la risoluzione di problemi pratici. Il GIS, come la geografia, ha come punto focale la manipolazione e l'analisi dei dati che riguardano elementi del mondo reale all'interno di una cornice spazio-temporale: gran parte delle procedure di manipolazione ed analisi dei dati (ad es. trasformazioni di coordinate, analisi di vicinanza e contiguità, aggregazione spaziale, sovrapposizione di poligoni, etc.) sono comuni sia ai sistemi GIS che alla geografia.

Il contenuto principale dei GIS è, quindi, l'informazione geografica, che è georeferenziata (possiede una referenza spaziale espressa in coordinate X, Y, Z), alfanumerica (informazioni testuali e numeriche), fotografica (foto aeree, foto da satellite, etc.). Tutti questi tipi di informazioni sono visualizzabili e relazionabili tra loro (Burrough and McDonnell, 1998; Canu, 2010; Djindjian, 1998; Fotheringham and Rogerson, 1994a, 1993; Manson *et al.*, 1999; Tomlinson, 1968):

una delle caratteristiche principali del GIS è proprio la capacità di associare i dati grafici a quelli tabulari attraverso un codice unico (DeMers, 1997). Tali potenzialità distinguono i GIS da altri sistemi informativi e ne fanno uno strumento di estrema utilità utilizzato nei campi più disparati, sia da utenti pubblici che privati.

Un GIS pienamente funzionale può essere considerato come l'integrazione di cinque componenti base, tra loro imprescindibili: il personale, le metodologie, l'hardware, il software e i dati (Poletti and Acerbi, 2005).

Personale

Le persone in grado di gestire la tecnologia GIS e le sue applicazioni (specialisti, tecnici ma anche semplici utilizzatori) sono indispensabili per un uso appropriato del sistema che ne sfrutti a pieno le potenzialità.

Metodologie

Un GIS funzionale opera secondo piani e regole ben definite, che sono specifiche di ogni singola realtà.

Hardware

L'hardware è rappresentato dal computer su cui opera il GIS. Negli ultimi anni l'impressionante sviluppo della potenza di calcolo dei personal computer e l'introduzione dei sistemi operativi a 64 bit hanno portato alla nascita di quella che si potrebbe definire «personal workstation», un tipo di computer che è in grado di supportare sia applicazioni tecniche con alte necessità di calcolo sia applicazioni di ufficio. Essa offre prestazioni assimilabili a quelle delle workstation professionali, ma con costi e con la versatilità proprie dei personal (Forte, 2002).

Software

Il software fornisce le funzioni e gli strumenti per memorizzare, analizzare e visualizzare informazioni geografiche. Attualmente il numero di software GIS a disposizione sul mercato è estremamente elevato. Ogni software ha le sue caratteristiche peculiari e le proprie potenzialità; tuttavia le componenti chiave che caratterizzano un software GIS sono standard e si possono così riassumere:

- strumenti per l'inserimento e la gestione delle informazioni geografiche;

- sistema per la strutturazione del database (DBMS);
- strumenti per la ricerca, l'analisi e la visualizzazione delle informazioni geografiche e alfanumeriche;
- interfaccia grafica di facile accesso.

Dati

La componente più importante di un GIS è quella dei dati e delle informazioni alfanumeriche ad essi associate. Tali dati possono essere acquisiti e implementati direttamente all'interno del GIS o attraverso altri tipi di software ausiliari come un DBMS (*Data Base Management System*) per la strutturazione delle banche dati o un CAD (*Computer Aided Design*) per il disegno dei dati grafici. Un'applicazione GIS necessita una precisa ed accurata pianificazione, in termini di scelta degli obiettivi, selezione e organizzazione delle informazioni, scelta dei software e dei formati più adatti alle esigenze, valutazione delle tecniche di elaborazione e di analisi dei dati. La strutturazione e l'utilizzazione di un GIS non può prescindere dal rispetto di alcune regole e procedure proprie ad ogni organizzazione. Importante, ad esempio, è determinare procedure e responsabilità nel tenere aggiornati i dati durante la fase di utilizzo del sistema (*data maintenance*), per conservare un livello di aggiornamento delle informazioni analogo a quello posseduto al momento della conversione in forma digitale ("Guides to Good Practice," 2009). Per poter essere utilizzata all'interno di un GIS, l'informazione geografica deve essere prima interpretata, in modo da evidenziarne le caratteristiche utili a comprendere determinati fenomeni, e solo successivamente deve essere organizzata in strutture informatiche che gli algoritmi matematici riescano ad elaborare, e deve quindi essere resa disponibile in formati digitali che i software possano leggere (Gallotti, 2003).

Occorre pertanto utilizzare una rappresentazione dei dati sganciata dalla realtà fisica, tramite la definizione di un modello di dati che sia in grado di accogliere gli oggetti esistenti nel mondo fisico (aree, linee, punti, quote, etc.) e di adattarsi alle differenti combinazioni della realtà fisica. L'implementazione di un modello di dati richiede l'adozione di alcuni standard (modalità di definizione, di immagazzinamento, etc.), che consentono di ottimizzare il rapporto tra

condivisione ed uso individuale dei dati.

Peuquet (1984) considera tre livelli di modellizzazione nella costruzione di una banca dati (Fig. 4).



Fig. 4 - Schema riassuntivo dei livelli di modellizzazione nella costruzione di una banca dati (da Peuquet, 1984).

Forse si può eliminare questa frase, perché è scontata e poi spezza il discorso La modellizzazione deve rappresentare le entità presenti nel mondo reale e le relazioni che intercorrono tra di esse e, per raggiungere tale obiettivo, essa deve passare attraverso tre livelli di astrazione. Il primo livello di astrazione è il modello concettuale che, a partire dagli elementi reali, descrive una selezione di oggetti e di processi relativi a un particolare fenomeno, definendone entità, aspetti spaziali e relazioni; questo primo livello è indipendente dall'hardware e dal software. Il secondo livello di astrazione è il modello logico che, espresso in forma di diagrammi e liste, rappresenta le entità e le relazioni definite nel modello concettuale per l'implementazione del sistema; il modello logico non dipende dall'hardware ma dal software specifico che si sta utilizzando. Generalmente viene usato il modello Entità/Relazioni per lo sviluppo di un GIS, in quanto è implementabile sia in questo tipo di sistema che nei RDBMS (Relational Data Base Management System). Il terzo livello di astrazione corrisponde al modello fisico, che rappresenta in maniera dettagliata i file, gli

archivi e le tabelle, la struttura e la topologia dei dati geografici, le fonti e le tecniche di acquisizione (Peuquet, 1984).

Il ruolo della modellizzazione, formalizzata secondo i tre livelli precedentemente descritti, in breve consiste nel:

- definire in maniera pertinente gli elementi della realtà da prendere in considerazione;
- tradurre questi elementi in oggetti geo-spaziali (punti, linee, superfici) e scegliere un modo di rappresentazione appropriato;
- implementare queste rappresentazioni in un sistema informatico.

Un sistema GIS, rispetto ad una tradizionale rappresentazione geometrica della realtà, consente di gestire le mutue relazioni spaziali tra differenti elementi (adiacenza, inclusione, connessione, etc.), di definirne la topologia (Burrough and McDonnell, 1998; Burrough, 1986) e di associarvi dei dati descrittivi, definibili come attributi (Poletti and Acerbi, 2005). Tale insieme di dati vengono implementati in un GIS tramite un modello fisico specifico, basato su strutture dei dati di tipo relazionale, tipiche dei database più evoluti, e su architetture hardware e software di tipo *client/server*, tipicamente in reti locali di elaboratori. Pertanto la caratteristica peculiare di un GIS è la georeferenziazione, ovvero la capacità di attribuire ad ogni singolo elemento le sue coordinate spaziali reali, o meglio le coordinate del sistema di riferimento in cui realmente è situato l'oggetto (longitudine e latitudine secondo un sistema geografico, X e Y secondo un sistema cartesiano) e le sue reali dimensioni, non in scala (DeMers 1997).

La scala di rappresentazione diventa solamente un parametro per definire il grado di accuratezza e la risoluzione delle informazioni grafiche al momento dell'*output* su supporto cartaceo (Fig. 5).

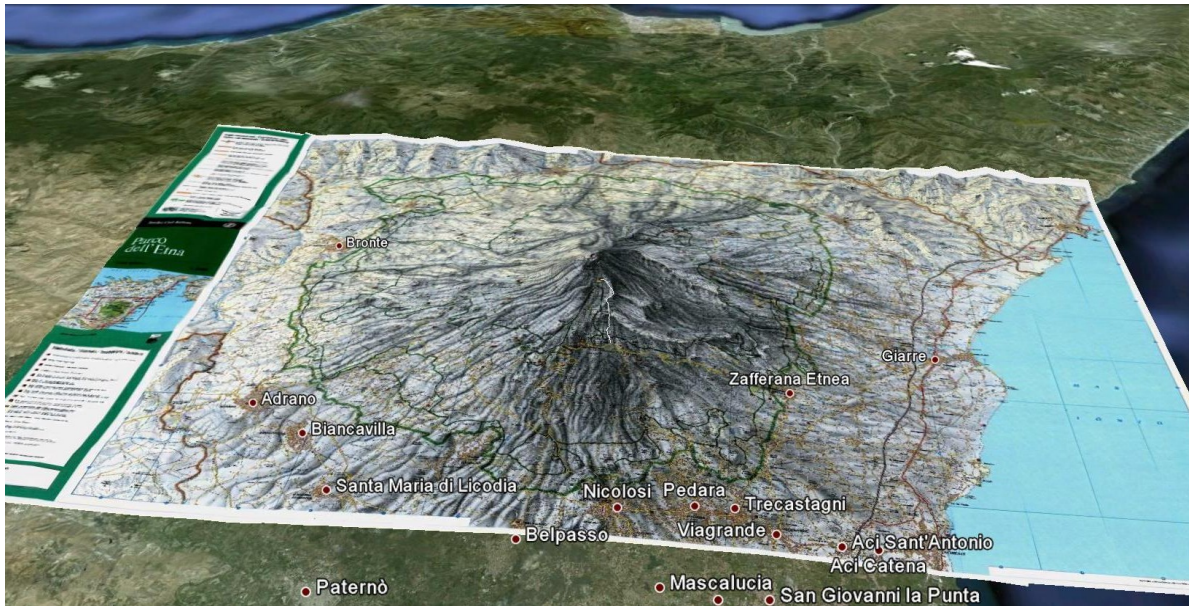


Fig. 5 - Esempio di georeferenziazione in ambito GIS (web).

Un GIS organizza i dati spaziali sotto forma di livelli tematici che, relazionati gli uni agli altri attraverso precisi rapporti geometrici e geografici, possono essere visualizzati sia singolarmente che simultaneamente. Le sovrapposizioni (*overlay*) dei livelli tematici rientrano in tre categorie principali, ovvero punti su poligoni, linee su poligoni e poligoni su poligoni; pertanto, per consentire le operazioni di *overlay*, almeno uno dei tematismi considerati deve essere di tipo poligonale (Maguire *et al.*, 1991).

La scomposizione in differenti livelli informativi delle caratteristiche di uno spazio, lungi dal restituire una mera visualizzazione scomposta della realtà, consente di analizzare i diversi elementi sia individualmente che nelle reciproche relazioni spaziali. Ad esempio, nel caso di uno studio a scala locale, mediante questi operatori sono possibili sofisticate analisi di tipo ambientale e scientifico: si pensi ai risultati che si possono trarre dalla possibilità di sovrapporre carte diverse riportanti informazioni differenti, integrandone tutti gli aspetti sia geospaziali che informativi (Gallotti, 2003) (Fig. 6).

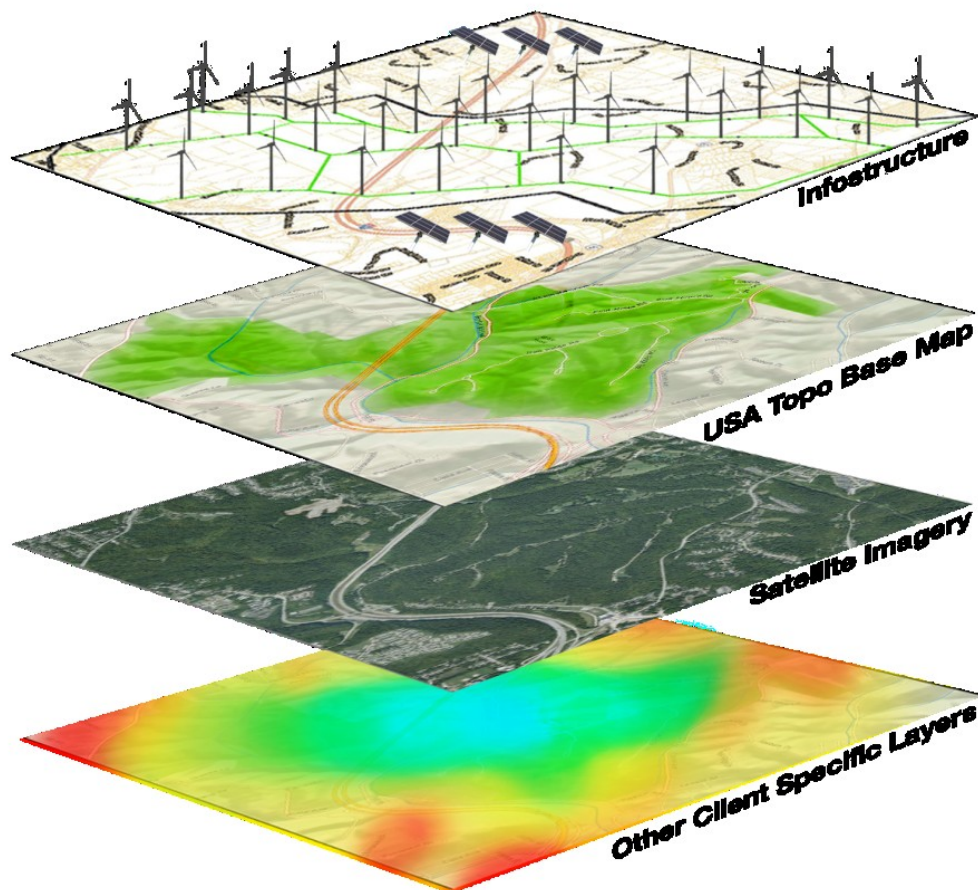


Fig. 6 - Overlay topologico (web).

Gli elementi grafici possono essere restituiti secondo due tipi di modelli: il modello vettoriale e il modello raster (e.g. Canu, 2010; Djindjian, 1998; Ebert, 2004; Khoumeri and Santucci, 2006; Poletti and Acerbi, 2005).

I dati vettoriali corrispondono ad un insieme di primitive geometriche che definiscono punti, linee e poligoni (Fig. 7). I file vettoriali sono contemporaneamente codificati con attributi all'interno di un database mediante un campo di identificazione. I dati in formato vettoriale sono quelli che provengono dalla digitalizzazione di cartografie, mappe di scavo, rilievi topografici grazie a CAD (Computer Aided Drafting) e/o GPS (Global Positioning Systems); possono pertanto essere vettoriali fiumi, case, siti, curve di livello, aree coltivate, strade, ponti, ferrovie, reperti e ogni tipo di tematismo rappresentabile in geometria vettoriale. I dati vettoriali sono dunque dati grafici costruiti a partire da punti di coordinate note (geometria) collegati a formare oggetti più complessi (linee, polilinee, poligoni) per mezzo di tabelle che ne definiscono le

connessioni (topologia); essi adattano la propria geometria alla scala di riferimento che viene scelta per la visualizzazione, con il vantaggio di non perdere risoluzione grafica (Forte, 2002).






Type	Examples of Graphic Representation	Digital Representation
Point		Coordinates: (x,y) in 2D; (x,y,z) in 3D
Line		(i) Ordered list of coordinates (chain) (ii) Mathematical function
Area		(i) Line in which the first point equals the last (ii) Set of lines if an area has holes
Surface		(i) Matrix of points (ii) Triangulated set of points (TIN) (iii) Mathematical functions (iv) Contour lines
Volume		Set of surfaces

Fig. 7 - Esempi di modelli di dati vettoriali in cui sono rappresentati punti, polilinee, poligoni, superfici e volumi (web).

I dati raster (tipicamente quelli generati dagli scanner e dai programmi di interpretazione di immagini) vengono memorizzati tramite la creazione di una griglia regolare, in cui ad ogni cella, ovvero ad un pixel, viene attribuito un valore (Fig. 8). Il valore del pixel può corrispondere ad informazioni che caratterizzano dei fenomeni, come elevazione del terreno, uso del suolo, densità insediativa, etc. Quindi, nell'assegnare un valore alfanumerico ad un attributo, si possono rappresentare aree secondo insiemi di celle adiacenti con lo stesso valore. È inoltre possibile associare differenti metodologie di analisi creando file raster secondo diverse combinazioni o semplici attributi grafici come la tonalità di grigio od il colore (Canu, 2010).

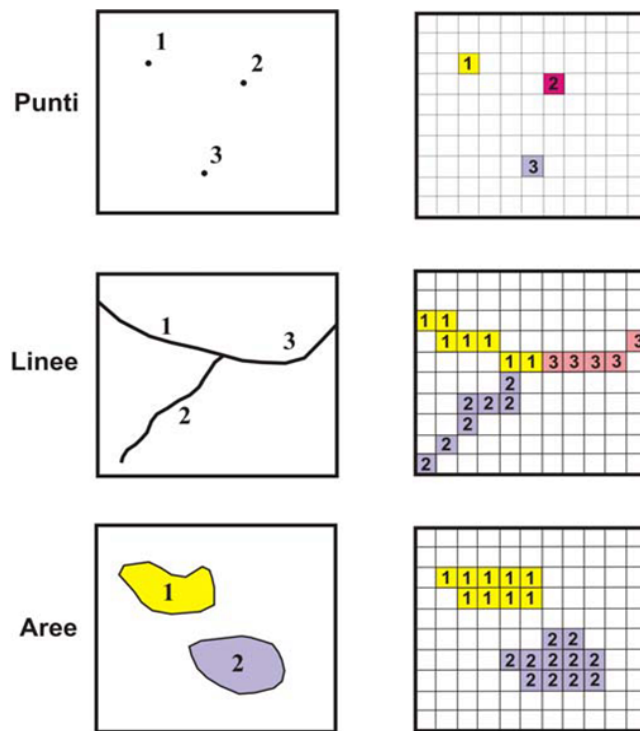


Fig. 8 - Esempi di rappresentazione di dati raster (nella colonna di destra): punti, linee e aree (web).

La qualità dei dati raster dipende non solo dalla risoluzione, ma anche dalla compressione e dalla registrazione. La risoluzione si misura in metri per pixel per le immagini satellitari, in dpi (*dots per inch* - punti per pollice) per le immagini acquisite da scanner. La compressione, necessaria per ridurre lo spazio occupato dai dati raster, generalmente molto più pesanti di quelli vettoriali, rende i dati più maneggevoli, velocizzando le operazioni.

Quali sono concretamente le differenze tra vector e raster? In primo luogo va precisato che raster e vector, benché possano trattare e importare qualunque classe di dati, rappresentano due filosofie applicative distinte (Forte, 2002).

La scelta tra raster o vettoriale non è banale in quanto vincola, più che le funzioni di visualizzazione, le successive analisi ed elaborazioni. Il formato raster, che può essere definito *data intensive* in quanto necessita di maggiore potenza hardware e di calcolo, è più indicato per la gestione ed elaborazione dei dati tematici rispetto al formato vettoriale che, vista anche la rapidità di caricamento e visualizzazione dati, appare invece più appropriato per la gestione di relazioni fra le informazioni descrittive legate agli oggetti rappresentativi del territorio,

con grandi potenzialità di interrogazione, gestione e visualizzazione di dati georeferenziati.

Nel campo dell'archeologia e dei beni culturali appare generalizzato l'uso dei sistemi vettoriali rispetto a quelli raster anche se gli attuali GIS sono orientati all'integrazione di entrambi i formati, preservando la tipologia originaria dei dati ed evitando quelle conversioni tanto praticate in passato che comportano solo un notevole dispendio di tempo. Attualmente è prassi comune creare dei formati di scambio di dati raster georeferenziati, come i GEOTIFF (raster) che, contenendo le informazioni relative all'estensione e le coordinate geografiche, consentono di leggere correttamente le informazioni geografiche a prescindere dal software utilizzato (Biallo, 2002, 1992).

I vantaggi e gli svantaggi dei modelli sono riassunti nella tabella seguente:

Parametri	Modello vettoriale	Modello raster
Volume dei dati	La struttura dei dati è più compatta	La struttura è meno compatta
Generarizzazione	La semplificazione del dato è laboriosa e complessa	La semplificazione del dato è semplice e rapida
Aspetti topologici	La struttura topologica è molto efficiente, soprattutto per gli aspetti di analisi dei dati e di connessione con database relazionali	Le relazioni topologiche sono difficili da rappresentare e da gestire
Accuratezza	L'accuratezza del dato può non avere limiti	Il dato è comunque discreto
Efficienza di elaborazione	La manipolazione del dato è complessa	Gli aspetti di elaborazione sono più semplici ed intuitivi
Tecniche di overlay	La sovrapposizione di strati informativi è più complessa ma molto più accurata	La sovrapposizione di tematismi è intuitiva ma più approssimata
Tecniche di buffering	Le tecniche per generare aree di rispetto sono molto efficienti ed accurate	Le tecniche sono meno evolute e poco usate
Image processing	La struttura non è idonea per la gestione e l'elaborazione di immagini	L'elaborazione di immagini è propria della struttura raster
Modelli digitali del terreno	La generazione e la gestione di DEM vettoriali è complessa ma più accurata	La generazione e la gestione di DEM raster è più semplice ma più approssimata
Visualizzazione	La visualizzazione è veloce e non necessita di hardware specifico	La visualizzazione è più lenta e, soprattutto per immagini a molti colori, richiede schede grafiche specifiche

Tabella 1 - Vector *vs* raster (da Gallotti, 2003).

Un'altra importante proprietà del modello dati di un GIS è la capacità di gestire oggetti tridimensionali. Per generare un modello tridimensionale è necessario avere a disposizione una serie di punti quotati e, a seconda delle caratteristiche della loro distribuzione, è possibile ottenere due tipi di modelli tridimensionali:

- il TIN (*Triangulated Irregular Network*), se si dispone di una serie di elementi quotati distribuiti in modo sparso. La tridimensionalità si ottiene collegando questi elementi attraverso un insieme di triangoli i cui vertici sono costituiti dai punti di cui si conoscono le tre coordinate (Fig. 9);
- il DTM (*Digital Terrain Model*) o DEM (*Digital Elevation Model*), se si dispone di una serie di punti quotati e distribuiti secondo griglie regolari (Poletti and Acerbi, 2005) (Fig. 10).

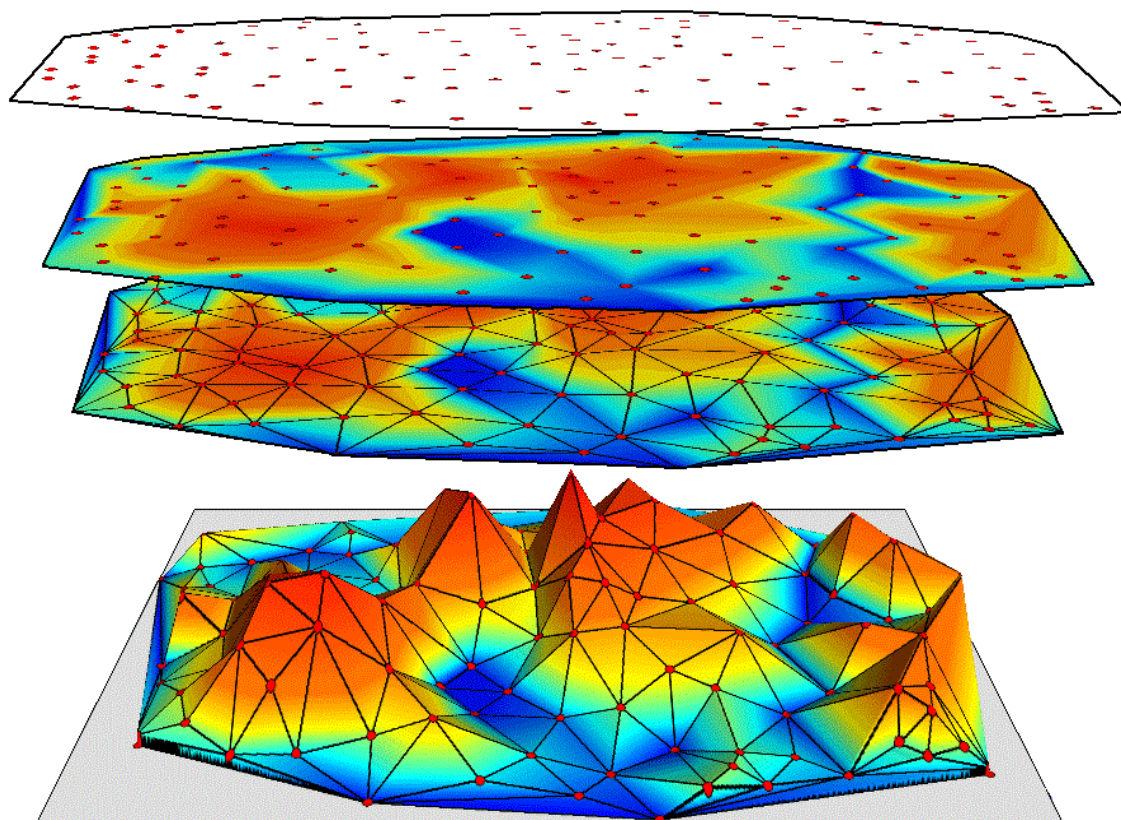


Fig. 9 - Modello TIN (Triangulated Irregular Network). La griglia di struttura è composta da una rete di triangoli irregolari, i cui vertici rappresentano punti coordinati nelle tre dimensioni (web).

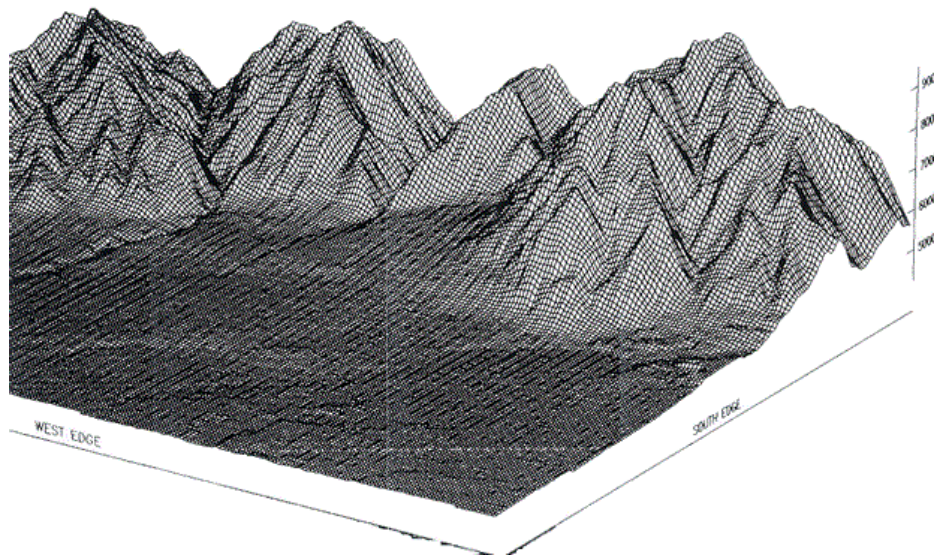


Fig. 10- DEM (Digital Elevation Model). La griglia di struttura è costituita da un griglia di poligoni regolari (web).

La visualizzazione del modello dipende dalle tecniche di interpolazione utilizzate, una serie di procedure del calcolo del valore di proprietà di siti non campionati all'interno dell'area coperta da punti di osservazione esistenti (Burrough, 1986). «La regola base è che due punti spazialmente vicini sono più simili rispetto a due punti lontani e a una certa distanza. Il fine dell'interpolazione è di modellare le variazioni altimetriche in modo che i valori di punti non noti possano essere calcolati sulla base di valori noti nella prossimità» (Forte, 2002) (Fig. 11).

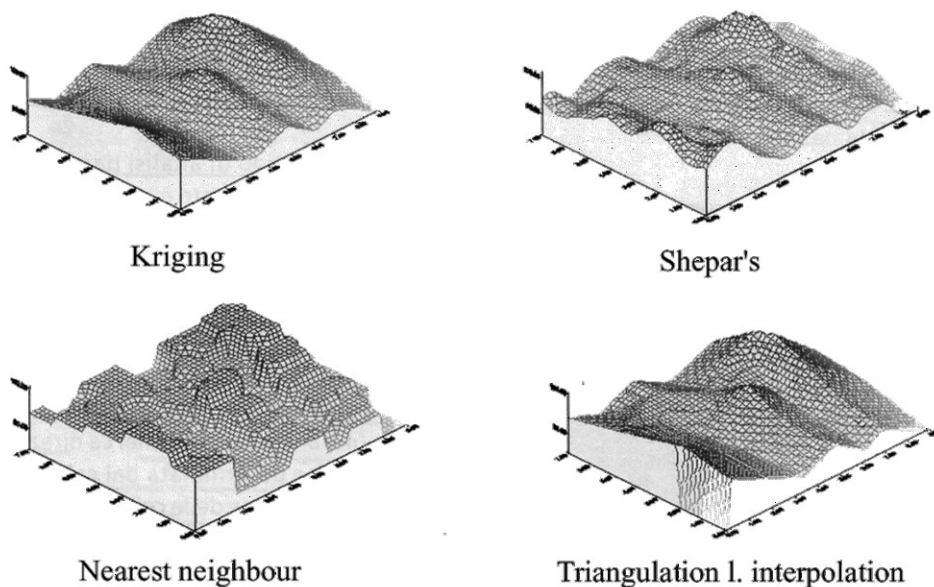


Fig. 11- DEM (Digital Elevation Model): quattro differenti interpolazioni producono modelli geometrici differenti (web).

Sui modelli tridimensionali le analisi GIS più comuni sono la *slope analysis* (Fig. 12) e l'*hillshade aspect* (Fig. 13). La *slope analysis* calcola gli indici di variazione altimetrica rispetto alla griglia di superficie del DEM e rappresenta il modello in gradi; in pratica calcola la pendenza di ogni cella sulla superficie della griglia. La *hillshade* calcola gli angoli e le fonti di illuminazione rispetto al microrilievo, esprimendo il risultato in gradi di pendenza; più precisamente, calcolando le direzioni di massima pendenza o rilievo in base alle superfici del modello tridimensionale, viene identificato il massimo valore di cambiamento tra una cella e quelle che le stanno intorno. In base al tipo di analisi è possibile porre specifiche domande al GIS e sovrapporre ai modelli tridimensionali interpolati i tematismi vettoriali. La messa a punto di un modello tridimensionale costituisce il primo step per la realizzazione di elaborazioni 3D che si avvalgono della facoltà di elaborazione in *overlay* dei dati rilevati; si parla pertanto di analisi e rappresentazioni multistrato, ottenute tramite la sovrapposizione di *n* superfici raster e vettoriali georeferenziate all'interno dello stesso sistema spaziale e secondo differenti tematismi (Wheatley, 1995).

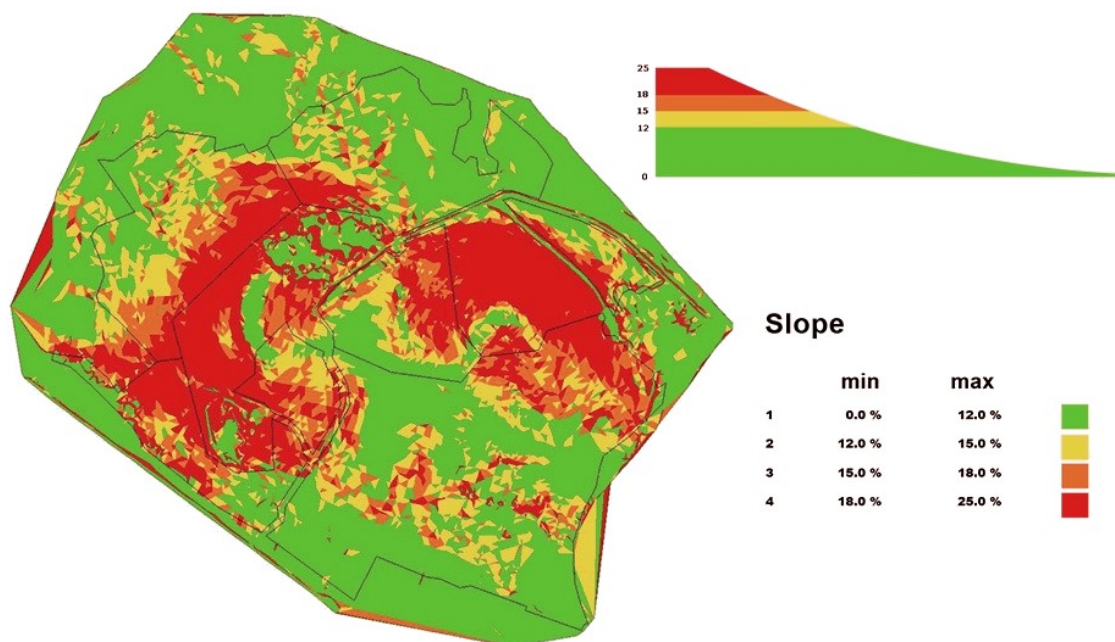


Fig. 12 - Slope analysis (web).

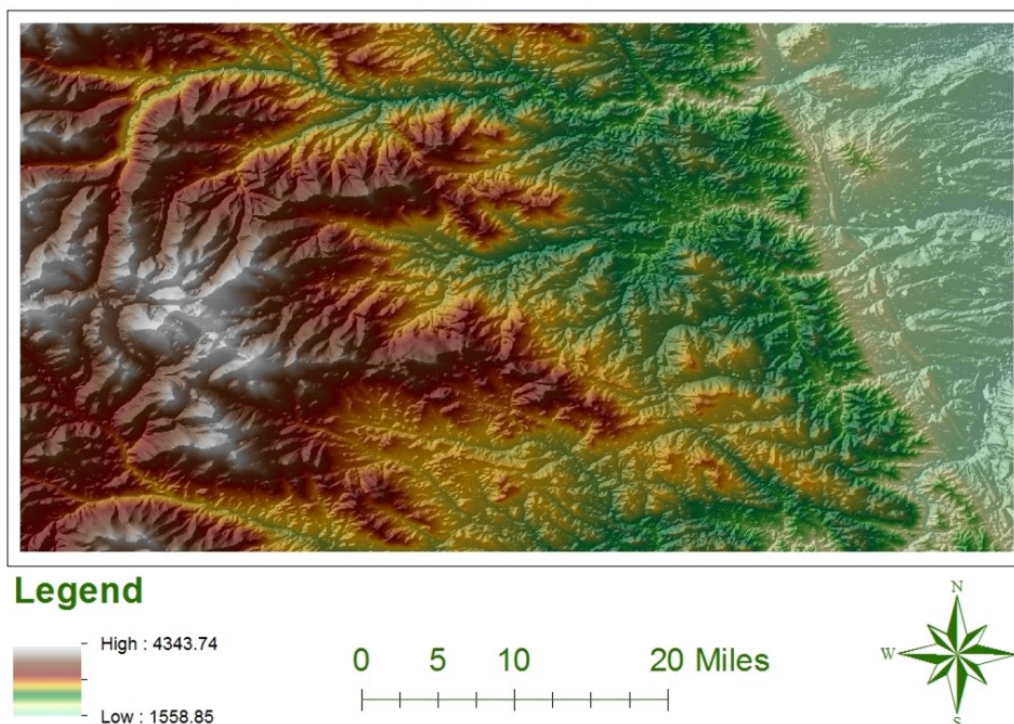


Fig. 13 - Hillshade aspect (web).

La possibilità di collegare gli elementi geometrici, rappresentativi di entità geospaziali, ad informazioni di vario tipo (dati alfanumerici, immagini, etc.), costituisce la principale peculiarità dei GIS rispetto ai sistemi di cartografia informatizzata più comuni. Il GIS, al di là della mera restituzione di informazioni cartografiche, può rappresentare tematismi, interrogando anche dati di tipo relazionale. In questo senso gli attributi costituiscono la caratteristica fondamentale di un GIS, in quanto consentono di effettuare la maggior parte delle analisi statistiche e spaziali e di formulare modelli predittivi. In questo senso un GIS diventa un efficacissimo strumento di supporto all'interpretazione. Ad ogni informazione grafica, raster o vettoriale, è possibile associare tabelle con diversi attributi. Gli attributi sono generalmente appoggiati su database relazionali ed interrogabili mediante linguaggi di tipo SQL (Structured Query Language). L'integrazione di attributi riferibili a database differenti, mediante strutture relazionali e secondo formalismi SQL, consente di effettuare analisi estremamente interessanti. I dati non contemplati negli attributi, pur visualizzabili separatamente, non potranno essere raggiunti tramite interrogazioni specifiche ("Geographic Information System," 2014).

Come già detto, un oggetto grafico e gli attributi ad esso connessi devono avere un codice univoco per poter essere associati. (DeMers, 1997; Forte, 2002; Gallotti, 2003; Lembo and Peretto, 2012).

Un GIS archeologico è in grado di creare nuovi livelli informativi, al fine di identificare relazioni difficilmente leggibili. La semplice sovrapposizione di più livelli informativi relativi, ad esempio, a dati geologici e tipologia sito, consente di effettuare analisi che mettano in luce la relazione tra tipologia di insediamento e contesto territoriale. Ma possono essere effettuate molte altre analisi ancora più articolate e complesse combinando sia dati bidimensionali che tridimensionali.

Gli attributi sono organizzati in database consultabili tramite un'apposita interfaccia. «La distinzione canonica fra database (archivi) e sistema di gestione del database o DBMS (*Data Base Management System*, tecniche e programmi per gestire i dati), riguarda appunto l'interfaccia di interrogazione, senza la quale non è possibile avviare ricerche adeguate; ecco perché è importante la razionalizzazione dei dati di ingresso nella progettazione del database» (Forte, 2002). Il database, cioè la banca dati, costituisce, insieme ai dati geografici, il cuore del GIS, l'archivio-memoria alfanumerico dell'intero sistema; senza database non si potranno associare attributi né formulare interrogazioni, rinunciando dunque a una delle priorità dei sistemi informativi che è quella di incrociare informazioni, moltiplicando la connettività delle informazioni. I database archeologici possono contenere una vasta gamma di informazioni riguardanti l'archiviazione di siti, i dati di scavo, i reperti e le relative caratteristiche, i dati territoriali, ambientali, topografici, geologici, geomorfologici, storici, etc. (Farley *et al.*, 1990; Hansen, 1993).

Un record del database, che viene realizzato con software dedicati (ad esempio Access, DB, Oracle, Informix, Filemaker Pro), identifica un oggetto, descritto da vari campi contenenti informazioni numeriche, logiche (si/no) oppure di testo (stringhe). I GIS sono in grado di leggere i database come tabelle che possono essere associate a dati, vettoriali o raster, in base ai codici di identificazione. Come già enunciato, deve esserci una corrispondenza tra i codici di identificazione, ossia l'elemento grafico deve possedere un codice comune al

corrispettivo database, in modo da consentirne l'associazione. Le funzioni GIS permettono infatti un collegamento diretto fra sistema geografico e database. L'interrogazione (*query*), finalizzata alla ricerca e selezione di informazioni, costituisce una prerogativa fondamentale della grammatica del GIS. La presenza di un campo di interrogazione, un operatore e un valore consente di effettuare una SQL (Gallotti, 2003).

2.1.3 GIS e archeologia

Nonostante le innumerevoli applicazioni del GIS in campo archeologico, non esiste un software specifico, appositamente progettato per le analisi spaziali in archeologia, ad eccezione di qualche applicazione *intra-site*. «La tendenza degli ultimi anni è di programmare solo alcune elaborazioni (ad esempio algoritmi di elaborazione delle immagini o di analisi spaziale), oppure di costruire apposite interfacce per database o per ricerche tematiche (*query*)» (Forte, 2002).

Le principali tipologie di GIS archeologico sono: GIS territoriali *inter-sites* e GIS *intra-site*. I GIS territoriali sono finalizzati all'analisi del territorio e dei sistemi insediativi; operando su vasta scala, in archeologia questo tipo di indagine consente di ricostruire l'evoluzione diacronica dell'insediamento in relazione al contesto ambientale (Poletti and Acerbi, 2005).

Se nelle applicazioni *inter-sites*, i GIS sono indirizzati all'analisi di dati territoriali in macroscale (sistemi insediativi, popolamento, evoluzione del paesaggio) (Cavulli and Pedrotti, 2013), nelle applicazioni *intra-site*, i dati vengono archiviati e analizzati in micro scala. Tra le analisi di tipo *intra-site* vanno annoverati i GIS di scavo, sistemi informativi interamente dedicati ai dati di scavo di uno specifico contesto archeologico che possono modificare notevolmente le fasi di rilievo, acquisizione ed esplorazione sul terreno (Rick, 1976). In questo ambito i GIS si qualificano come degli strumenti incredibilmente efficaci per il riconoscimento e l'identificazione dei processi di aggregazione spaziale dei reperti archeologici, consentendo modalità di trattamento dei dati la cui realizzazione sarebbe impensabile in forma manuale (Gallotti, 2003).

L'analisi del dato spaziale è infatti inscindibile dallo studio dei reperti e dunque l'applicazione di sistemi GIS su uno scavo archeologico consente di mettere in luce aspetti importanti, quali, ad esempio, quelli relativi all'organizzazione spaziale e funzionale dell'area scavata oppure all'individuazione di particolari pattern associativi (Djindjian, 1998; Khoumeri and Santucci, 2006; Moyes, 2002; Vanpool and Leonard, 2011; Westcott and Brandon, 2000).

Negli ultimi anni si è registrata una integrazione di alto livello tra i GIS e le tecnologie per il rilievo digitale (stazione totale, GPS, fotogrammetria, riprese da pallone aerostatico o da drone, etc.) rendendo oramai superate le tradizionali metodologie di disegno e restituzione cartografica. È indubbio che i progressi in campo tecnologico abbiano reso i GIS *intra-site* strumenti di gestione sempre più efficienti, in modo particolare in relazione alla possibilità di analisi 3D dei dati archeologici. È pur vero però che la loro applicazione in scavi pregressi riporti molti limiti e problemi, non soltanto nell'inserimento in un unico sistema di informazioni multivariate, ma anche per l'omologazione di dati acquisiti con tecniche diverse e quindi con diversa attendibilità. La risoluzione di questa problematica risulta decisiva in funzione della possibilità di affiancare il sistema GIS con analisi statistiche attendibili e valide.

Le elaborazioni GIS in campo archeologico sono molteplici, soprattutto in ambito preistorico e protostorico.

Nel 1999 la Palaeoanthropology Unit for Research and Exploration dell'Università del Witwatersrand e il Center for Advanced Spatial Technologies dell'Anthropological Department dell'Università dell'Arkansas elaborano un progetto GIS per indagare la natura tafonomica del deposito della cava di Swartkrans e per inglobare in un unico sistema sia le informazioni esistenti che quelle provenienti da un survey recente. Il prodotto finale è costituito da un archivio digitale dei dati di Swartkrans che permette simultaneamente di visualizzare e analizzare fossili, manufatti litici e dati geologici all'interno del loro contesto spaziale. Inoltre, costruendo un modello 3D della cava, si è potuto posizionare sulla base della griglia di scavo attuale le informazioni raccolte precedentemente. Il successivo *buffering* 3D è risultato estremamente utile nello

studio delle relazioni tra le diverse categorie di resti (Fig. 14), ma soprattutto nell'analisi dei rimontaggi, dato che esso permette di definire una distanza, considerata in qualsiasi direzione, tra un oggetto e tutti quelli posizionati all'interno di un determinato raggio (Backwill and D'Errico, 2001; Clarke, 1993; Nigro *et al.*, 2001).

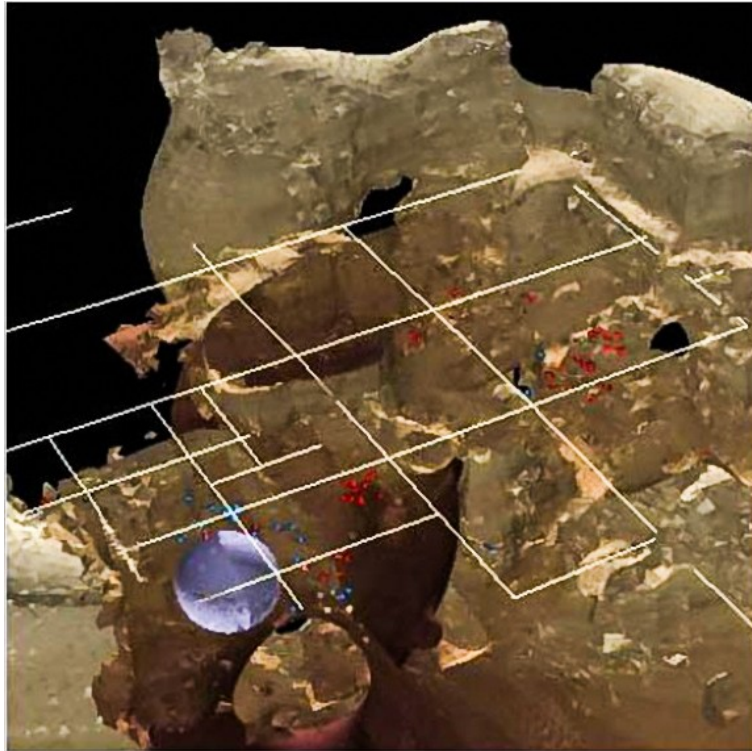


Fig. 14 - Swartkrans. Rappresentazione tridimensionale in ArcView 3D Analyst della localizzazione dei materiali scavati e del buffering tridimensionale relativo ai metapodiali di bovidi (da Nigro *et al.*, 2003).

Nel sito di Melka Kunture (Etiopia), che costituisce uno degli archivi più completi della preistoria africana, è stato possibile ricostruire i processi cognitivi e le scelte adattative che caratterizzarono i più antichi rappresentanti della nostra specie grazie anche all'ausilio di un sistema GIS. Si è operato soprattutto sull'impiego di tecniche di analisi di statistica spaziale per la lettura e l'interpretazione dei giacimenti di Gombore I B e di Garba IV D. In tale prospettiva l'adozione di un sistema GIS ha costituito senza dubbio una metodologia indispensabile per l'organizzazione di una grande quantità di informazioni al fine di evidenziare l'eventuale correlazione spaziale dei resti con le informazioni derivanti dallo studio analitico di ogni singolo reperto rinvenuto nello scavo. Nonostante le piante tematiche costituiscano una indispensabile

modalità di visualizzazione che può aiutare nella lettura delle associazioni, l'elevato numero di materiali rende comunque difficile una lettura puntuale delle distribuzioni. Per questo motivo, allo scopo di evidenziare in dettaglio particolari fenomeni di concentrazione e/o dispersione dei resti, sono state create mappe di frequenza e piante di densità (Chavaillon *et al.*, 1979; D'Andrea *et al.*, 2002a, 2002b, 2000; Piperno, 1986) (Fig. 15).

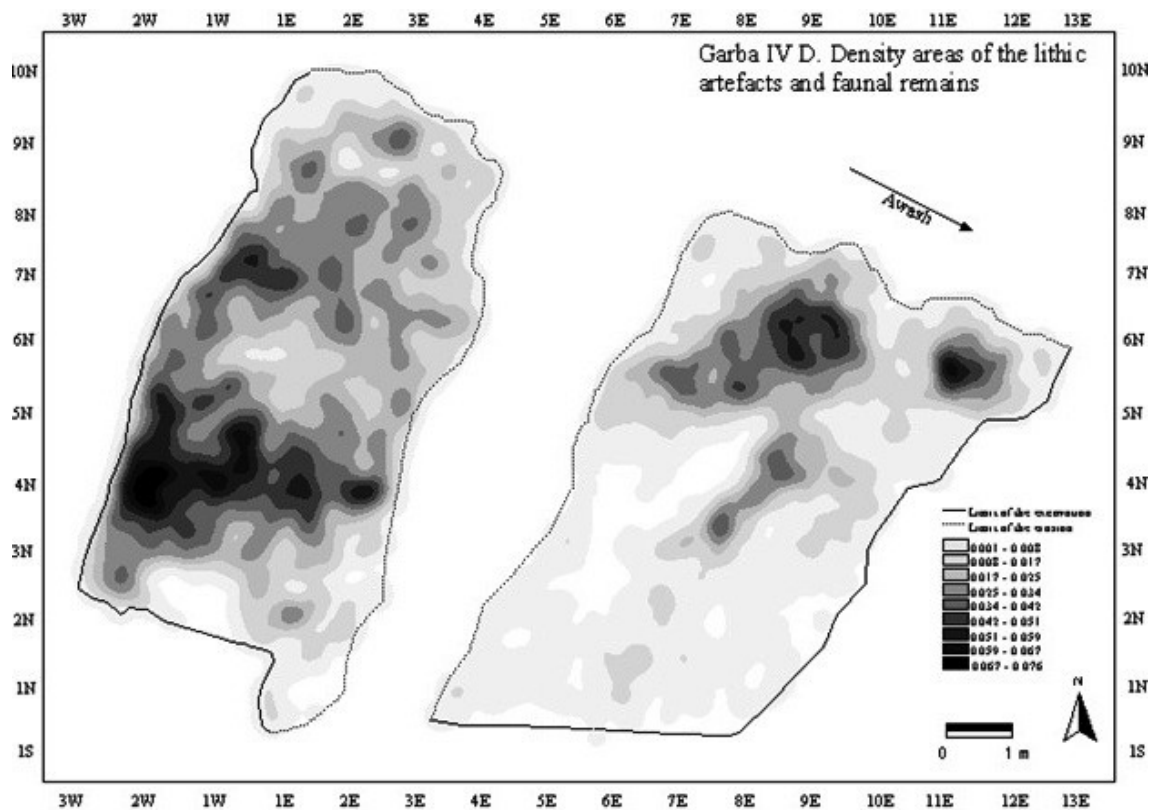


Fig. 15 - Garba IV D (Melka Kunture, Etiopia). Densità dei resti faunistici e dei manufatti litici (da D'Andrea *et al.*, 2002a).

Il ruolo dei processi naturali nella formazione dei siti Bed I e II a Olduvai Gorge (Tanzania), cinque decenni dopo il loro scavo originale, rimane l'oggetto di molte discussioni.. Utilizzando metodi GIS, sono state vettorializzate mappe del 1960 e, applicando una vasta gamma di tecniche statistiche, sono stati calcolati gli orientamenti degli oggetti dimostrando che un elevato numero di insiemi archeologici hanno un orientamento preferenziale dovuto al ruolo degli agenti naturali nel processo di formazione del sito (de la Torre and Benito-Calvo, 2013; Petraglia and Potts, 1994) (Fig. 16).

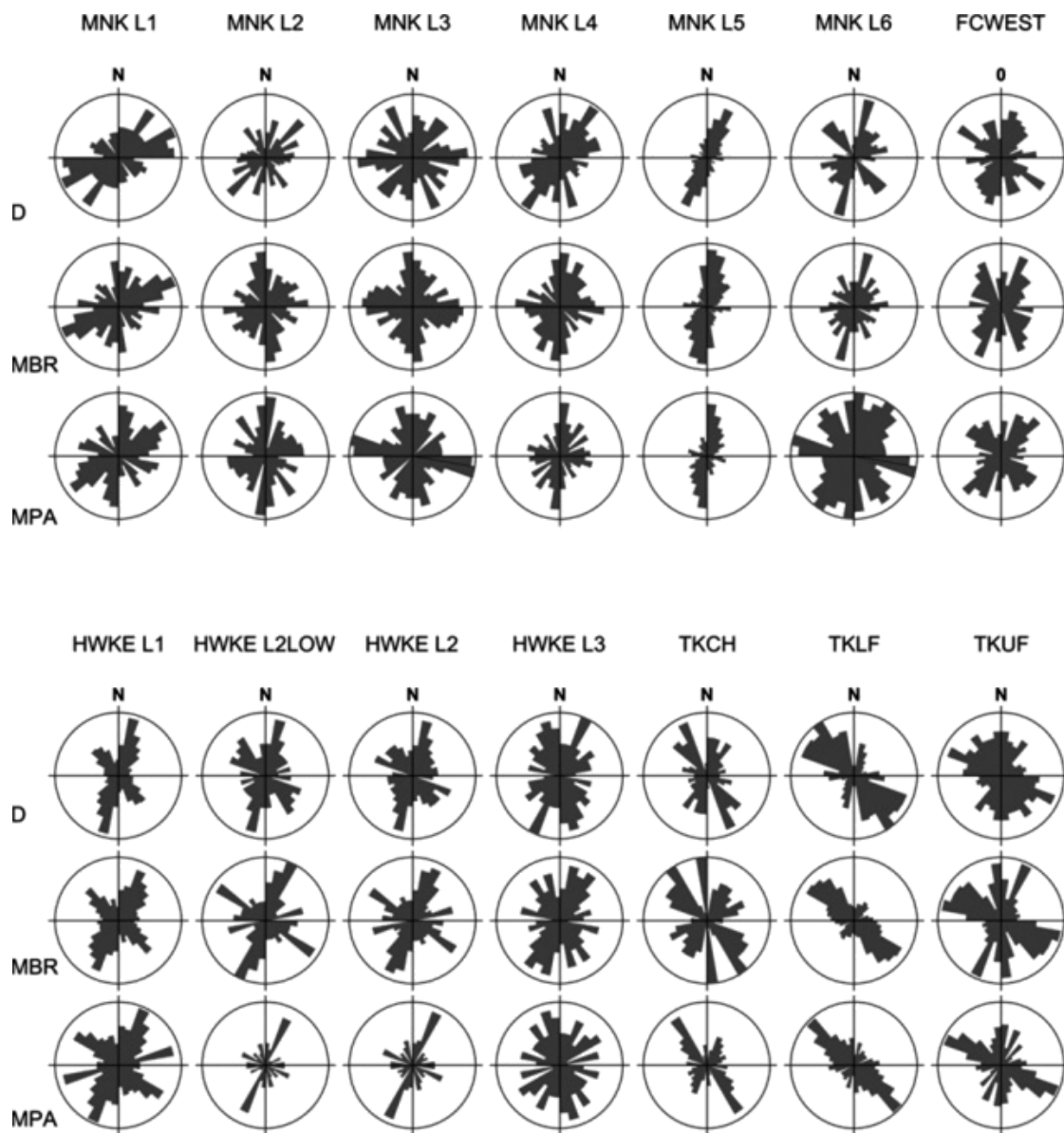


Fig. 16 - Bed II istogrammi angolari di oggetti con asse $A > 2$ cm e indice di allungamento $I_e > 1.6$, (da de la Torre and Benito-Calvo, 2013).

Nell'area archeologica Casablanca Prehistoric Sites (Marocco), al fine di gestire i dati di scavo e di esplorare la natura tafonomica dell'Unità L (*Hominid Cave* e *Rhinoceros Cave*), è stato sviluppato un metodo che combina un sistema di informazione geografica (GIS) a delle tecniche di analisi spaziale, incorporando tutte le informazioni prodotte sia dagli scavi precedenti che da quelli recenti. La fusione di questi dati in un GIS ha consentito la produzione di analisi spaziali che hanno permesso una migliore comprensione dei processi di formazione del sito (Gallotti, 2011) (Fig. 17).

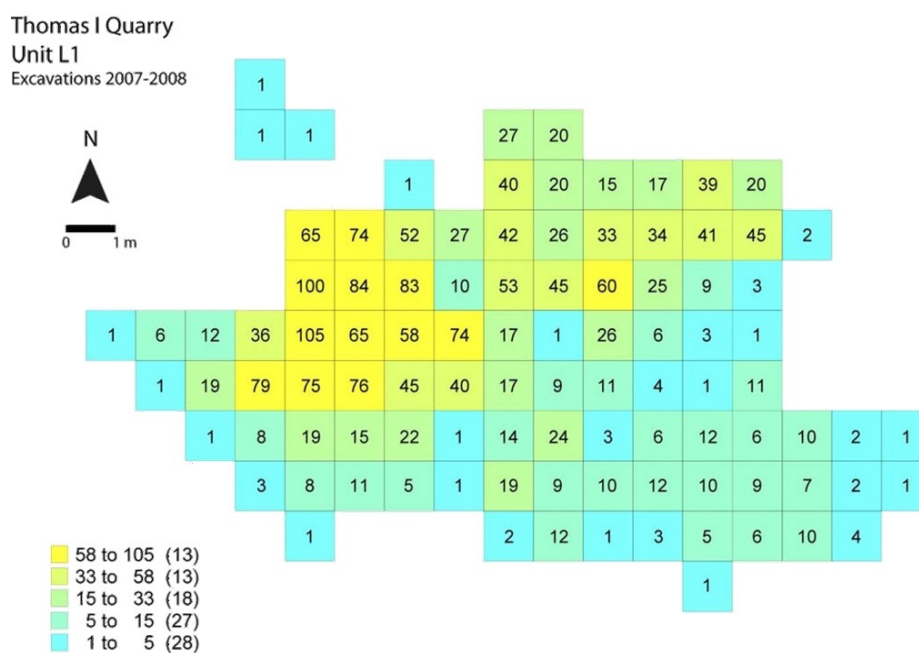


Fig. 17 - Casablanca Prehistoric Sites. Thomas I Cava-Unit L : mappa di frequenza per metro quadro di tutti i resti (da Gallotti, 2011).

Analisi spaziali *intra-site* sono state effettuate anche per lo studio del modello insediativo del sito di Shuidonggou (Cina) del Paleolitico superiore. Dati tridimensionali riferiti ai reperti sono stati impiegati per ricostruire modelli di utilizzazione del livello culturale 2, che ha restituito sette aree di combustione e decine di migliaia di manufatti e ossa. Tutto ciò ha permesso, non solo di fornire dati sul numero di individui che componevano il gruppo, ma anche di ricostruire i possibili spazi abitativi (Guan *et al.*, 2011) (Fig. 18).

Il sito di Croix-de-Canard (Francia) scoperto durante i lavori di archeologia preventiva sul tracciato di un'autostrada francese, che ha messo in evidenza numerosi livelli archeologici del Paleolitico medio, ha permesso di costruire un modello, grazie alla *fabric analysis*, utile all'identificazione dei differenti meccanismi sedimentari alla base della deposizione dei livelli archeologici. In particolare ha permesso di individuare in modo chiaro i livelli che hanno subito pedoturbazioni importanti o un trasporto in massa causato dalla solifluzione. Se questo nuovo metodo ha il merito di individuare uno o più meccanismi di perturbazione, permette altresì di apportare degli elementi precisi sul rimaneggiamento o sull'integrità degli insiemi litici (Bertran and Lenoble, 2002; Betran and Texier, 1995; Lenoble and Bertran, 2004; Lenoble *et al.*, 2003) (Fig. 19).

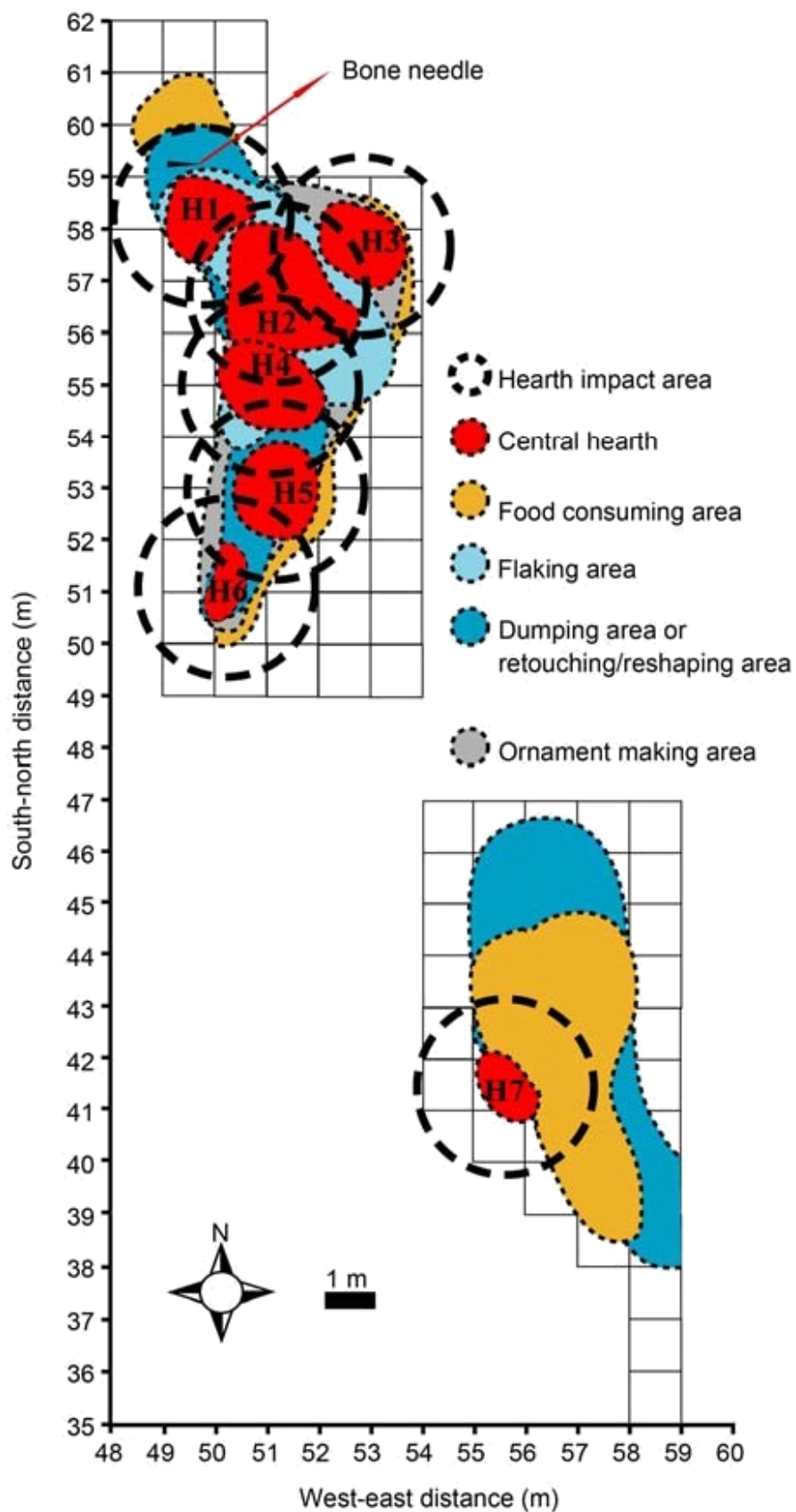


Fig. 18 - Shuidonggou (Cina). Le aree funzionali del livello culturale 2 (da Guan *et al.*, 2011).

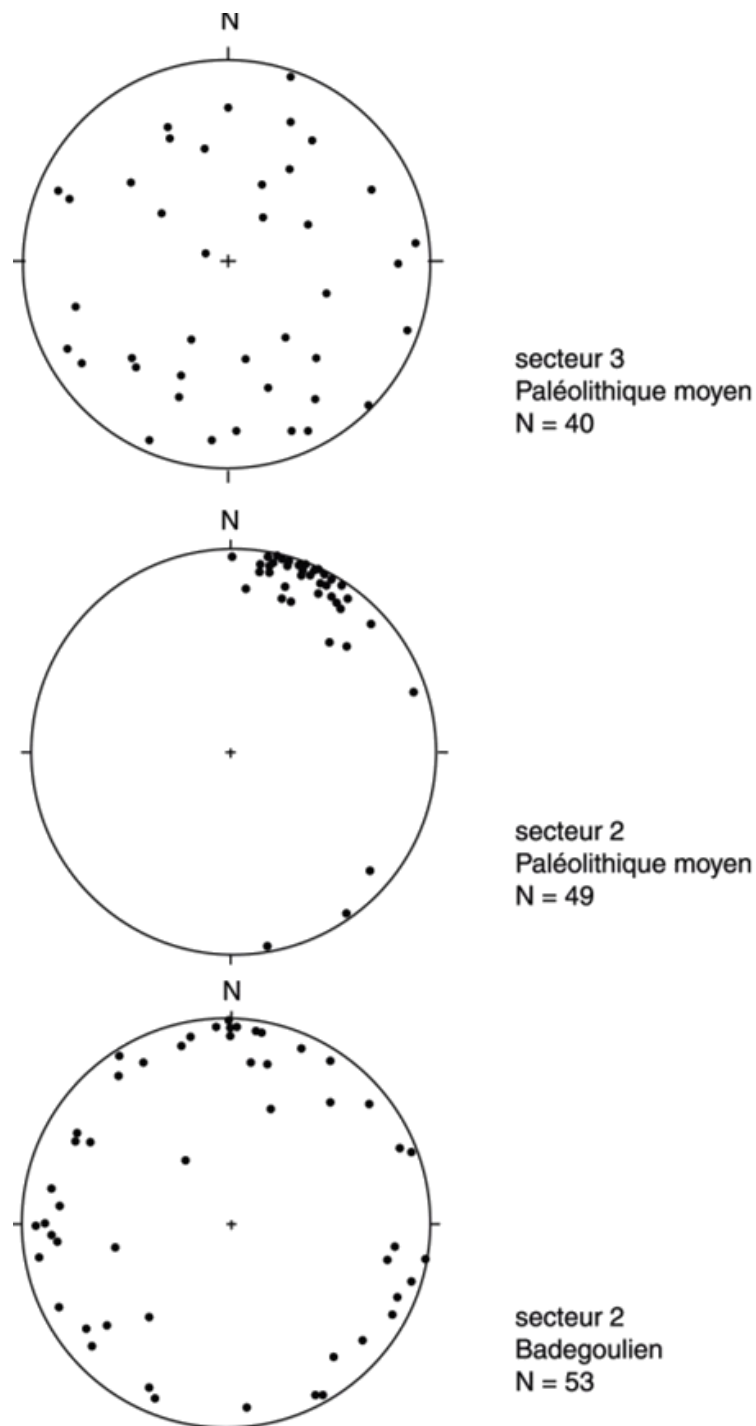


Fig. 19 - *Fabric analysis* sul sito di Croix-de-Canard (Francia), diagramma di Schmidt (da Lenoble *et al.*, 2003).

Un altro studio interessante è quello incentrato sull'indagine delle strategie di occupazione dei gruppi umani che hanno abitato l'area della grotta di Bolomor (Tavernes de la Valldigna, Spagna) nel Pleistocene superiore. Lo studio, che ha combinato l'analisi tridimensionale dei dati, il GIS e le statistiche, si è basato sulla caratterizzazione delle unità archeostratigrafiche. Grazie a queste analisi è

stato possibile ricostruire l'esistenza di strategie complesse di occupazione indicative di un comportamento sociale altamente sviluppato e di una organizzazione spaziale abitativa dei gruppi neandertaliani al limite tra Pleistocene medio e Pleistocene superiore (Sañudo Die *et al.*, 2008) (Fig. 20).

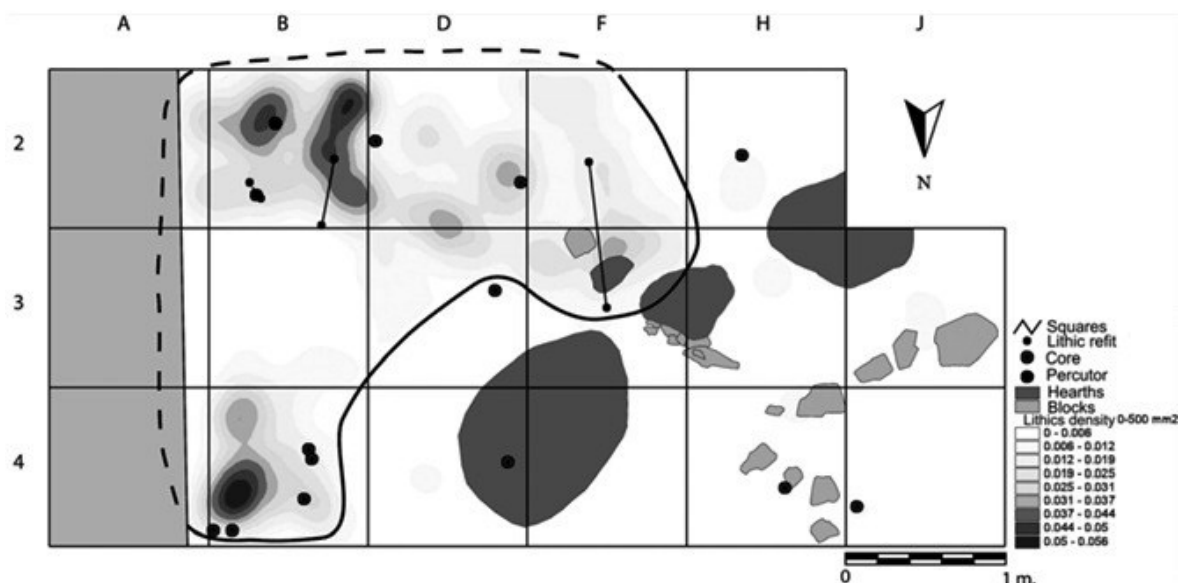


Fig. 20 - Cueva de Bolomor (Spagna). Distribuzione spaziale dell'industria litica (da Sañudo Die *et al.*, 2008).

Anche in Italia sono numerosi gli esempi di utilizzo di sistemi GIS nello studio di siti preistorici.

Il sito di Pirro Nord (Apricena, Puglia), datato a circa 1.7 – 1.3 Ma, è stato negli ultimi anni oggetto di rinnovato interesse scientifico e di sistematiche indagini archeologiche (Arzarello *et al.*, 2011, 2009, 2007). Il lavoro svolto sul sito si è basato sull'utilizzo di un sistema GIS per la gestione integrata dei dati raccolti e per la possibilità di sviluppare differenti analisi quantitative e spaziali. In particolare le analisi spaziali si sono focalizzate sulle possibilità e sui limiti di indagine dei dati circolari di *fabric* e dei processi di *point pattern*. Analisi *fabric* sono state condotte al fine di integrare i precedenti studi tafonomici ed indagare la presenza nella stratigrafia del sito di uniformità (isotropia) nell'orientazione dei materiali o al contrario di anisotropia, degli oggetti con indice di allungamento maggiore o pari a 1,5 (Giusti, 2012) (Fig. 21).

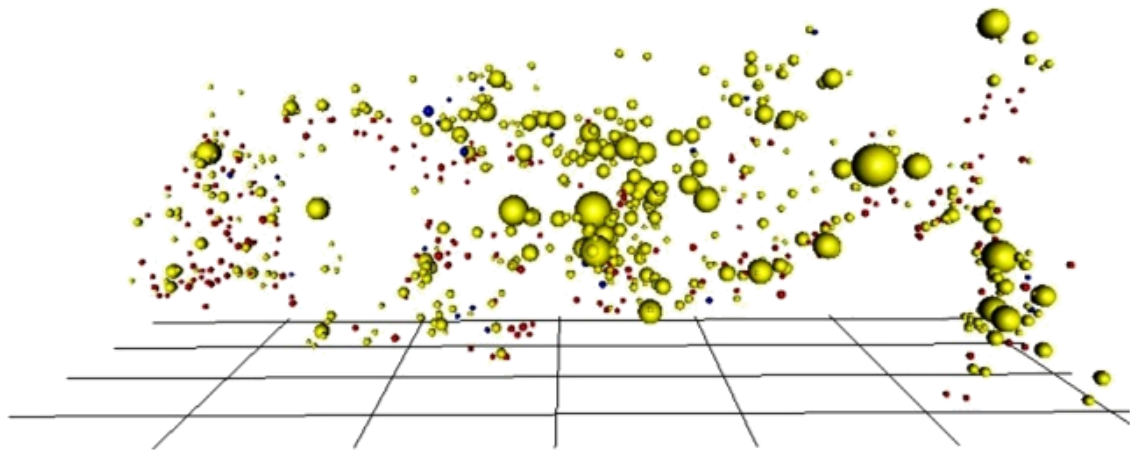


Fig. 21 - Piro Nord (Apricena, Puglia). Distribuzione 3D dei reperti con indice ≥ 1.5 . La dimensioni dei fossili (giallo), dei clasti (rosso) e delle selci (blu) è rapportata al valore dell'indice (da Giusti, 2012).

Le analisi spaziali effettuate nel sito musteriano della Grotta di Fumane (Veneto), volte alla definizione degli elementi strutturali e del loro contesto di rinvenimento, si sono focalizzate in particolare sui rapporti tra le aree di combustione e la distribuzione degli oggetti archeologici. A tal fine, tramite lo sviluppo di mappe di densità e carte tematiche, sono stati esaminati i rapporti quantitativi tra le diverse deposizioni sedimentarie, le strutture di combustione, quelle a matrice organica e il resto della paleosuperficie (Cremaschi *et al.*, 2002) (Fig. 22).

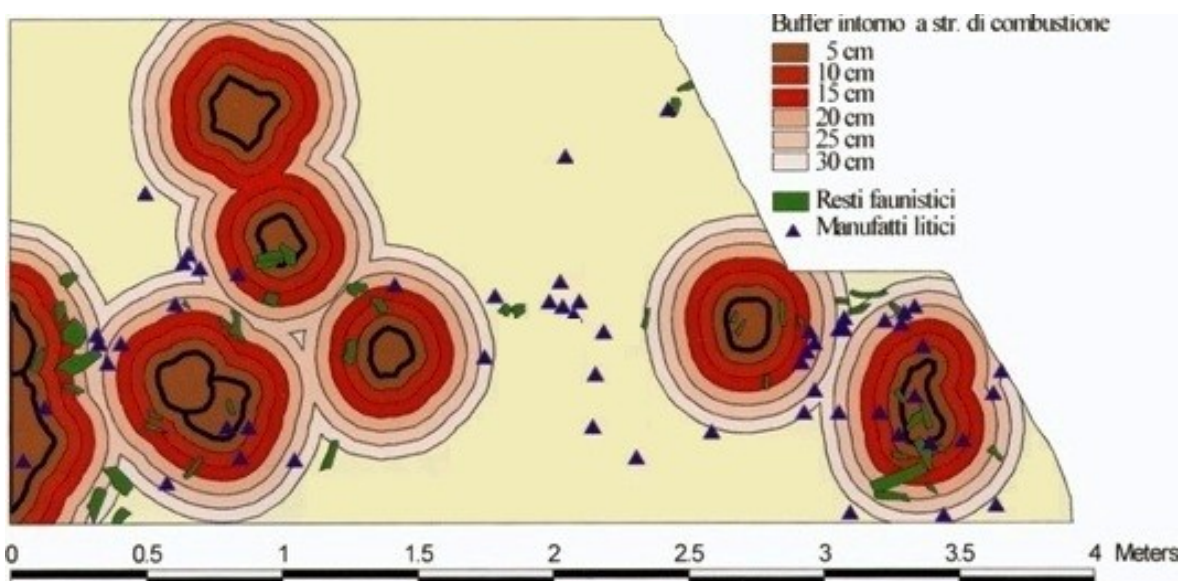


Fig. 22 - Grotta di Fumane (Veneto), BR6base. Analisi buffer intorno alle strutture di combustione (da Cremaschi *et al.* 2002).

Analisi interessanti sono state condotte anche per i seguenti siti:

- il sito gravettiano di Bilancino (Toscana) (Aranguren *et al.* 2003), in cui è stata messa in evidenza l'esistenza di un'organizzazione interna all'insediamento (Aranguren *et al.*, 2003) (Fig. 23);
- la Grotta Continenza (Abruzzo), con la realizzazione di un modello tridimensionale per la ricostruzione del suolo epigravettiano (Grifoni Cremonesi *et al.*, 2003) (Fig. 24);
- il Riparo Dalmeri (Trentino Alto Adige), dove è stato possibile individuare l'organizzazione spaziale soprattutto in rapporto alla produzione dell'industria litica (Lemorini *et al.*, 2005) (Fig. 25);
- il sito mesolitico di Alpe Veglia (Piemonte), con l'applicazione delle analisi di frequenza (Guerreschi *et al.*, 2003; Vullo *et al.*, 1999) (Fig. 26);
- l'abitato neolitico di Neto Via Verga (Toscana), con la ricostruzione del piano d'impianto di una struttura (Fenu *et al.*, 2003b) (Fig. 27);
- la Terramara di Montale (Emilia-Romagna), in cui si è dato peso alla simulazione di modelli strutturali attraverso l'elaborazione di modelli tridimensionali (Candelato *et al.*, 2003) (Fig. 28).

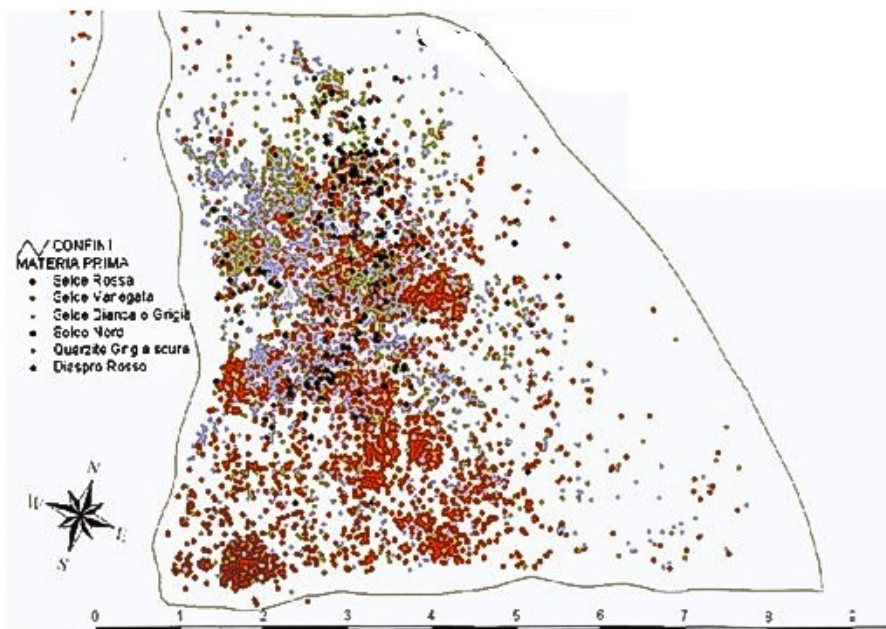


Fig. 23 - Bilancino (Toscana), settore destro della paleosuperficie. Distribuzione di tutti i manufatti per materia prima (Aranguren *et al.*, 2003).

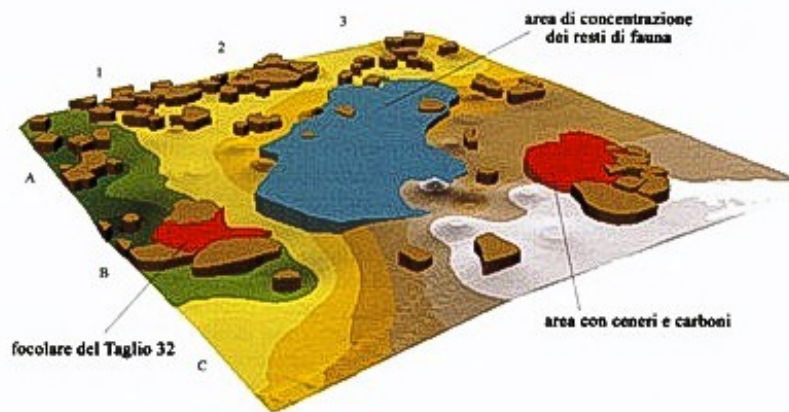


Fig. 24 - Grotta Continenza (Abruzzo). Ricostruzione in 3D, tramite interpolazione delle quote, della paleosuperficie del taglio 32 (da Grifoni Cremonesi *et al.*, 2003).

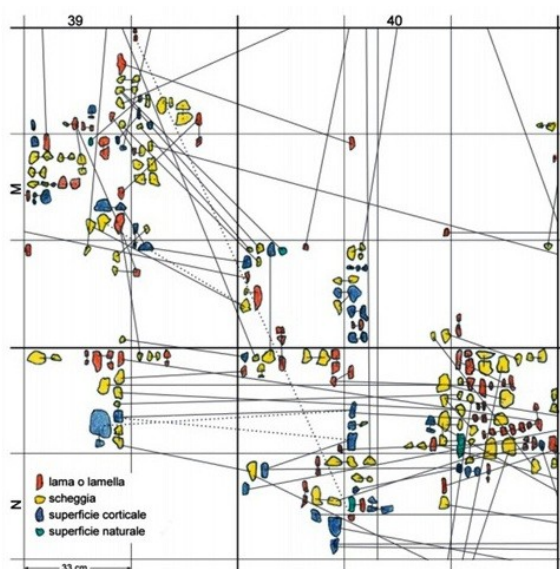


Fig. 25 - Riparo Dalmeri (Trentino Alto Adige). Esempio di distribuzione e rapporto tra i rimontaggi litici (da Lemorini *et al.*, 2005).

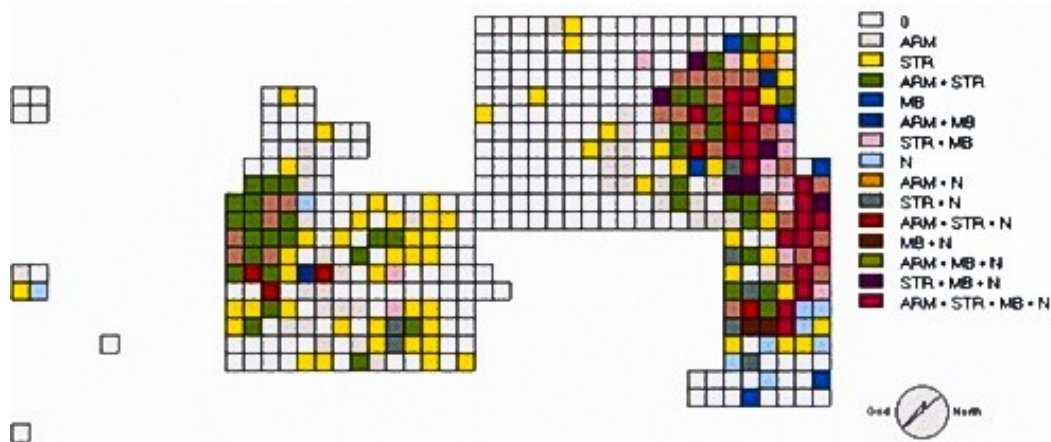


Fig. 26 - Alpe Veglia (Piemonte). Visione d'insieme della distribuzione dell'industria litica; overlay di strumenti e nuclei (da Guerreschi *et al.*, 2003).

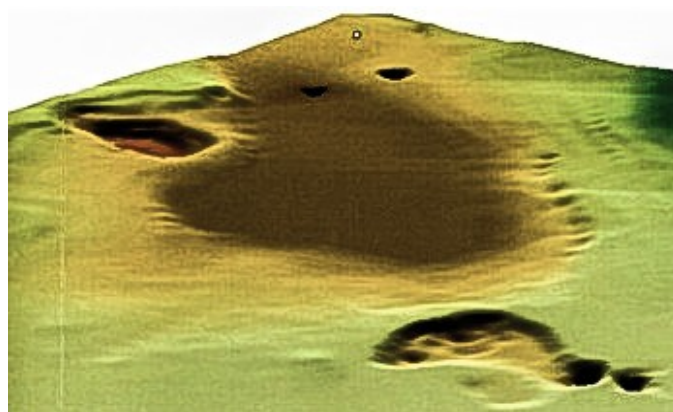


Fig. 27 - Abitato neolitico di Neto Via Verga (Toscana). Modellizzazione del piano d'impianto della Struttura A (da Fenu et al., 2003b).

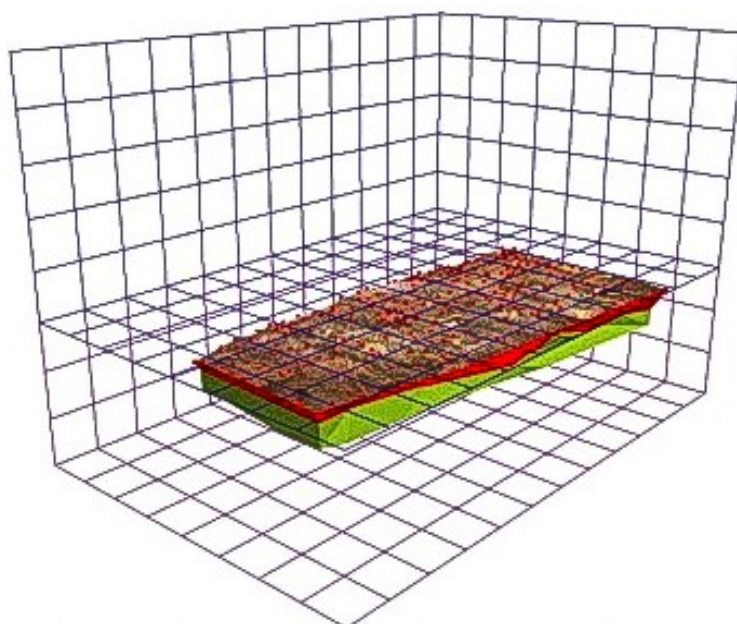


Fig. 28 - Terramara di Montale (Emilia Romagna). Sovrapposizione dei diversi layer del sistema informatizzato (Candelato *et al.*, 2003).

2.2 Le analisi spaziali *intra-site*

Le analisi spaziali, sviluppatesi agli inizi degli anni '70 del secolo scorso in ambito anglosassone, vennero considerate come lo studio quantitativo di eventi archeologici direttamente collegati con la distribuzione delle testimonianze di un territorio o di un insediamento, quale indice per la rappresentazione dell'organizzazione umana nello spazio antico (Kennedy, 1978). L'uso di queste tecniche si limitava quindi, nella maggior parte dei casi, all'elaborazione di una mappa di localizzazioni puntuali che servivano per fornire coordinate agli oggetti recuperati in riferimento all'area scavata in modo da restituire,

soggettivamente e intuitivamente, la dinamica sociale del giacimento. Dopo il rinnovamento che si produsse in tutti gli ambiti dell'archeologia mediante la New Archaeology, le analisi spaziali furono oggetto di una trasformazione radicale. La metodologia impiegata nel lavoro di campo sviluppò nuove tecniche per la raccolta di dati spaziali, vennero inclusi studi etnografici (etnoarcheologici) per riconoscere e spiegare determinati modelli spaziali, si iniziò a dare importanza ai processi post-deposizionali che incidono in maniera determinante nei processi di formazione del giacimento. In sintesi, un rinnovamento che portò allo sviluppo di differenti tendenze nello studio della variabilità spaziale archeologica. Si citano a tal proposito i lavori riferiti alle questioni teorico-metodologiche che restano i riferimenti fondamentali per conoscere lo sviluppo dell'analisi spaziale in archeologia: Whallon (1973, 1974), Binford and Bertram (1977), Zubrow and Harbaugh (1978), Kintigh and Ammerman (1982), Simek (1984), O'Connell (1987), Djindjian (1990). Con tali lavori si implementarono differenti tecniche di analisi, tanto da fornire una vasta panoplia metodologica in differenti casi studio.

A partire dagli anni '90 l'analisi spaziale quantitativa entra in crisi a causa della corrente teorico interpretativa post-moderna e allo sviluppo dei sistemi GIS (Orton 2006). La critica più importante si originò all'interno della stessa corrente analitico-quantitativa in quanto si percepì che la relazione costi-benefici tra la metodologia di analisi e i suoi risultati certificava una relazione deficitaria. Di fronte a questa situazione, lo sviluppo informatico, dato dai nuovi mezzi topografici di cattura e gestione delle informazioni spaziali, diede l'input per l'avvio di una nuova tappa sullo studio dell'analisi spaziale. I processi applicati alla cattura dei dati (stazione totale, scanner 3D, GPS), la capacità di calcolo e il grado di automazione dei processi nell'informatica computazionale, risultarono essere molto superiori alle necessità della disciplina archeologica, con i quali non solo si svilupparono una serie di algoritmi che in passato risultavano essere complessi ma si intraprese anche un iter di inserimento di nuovi strumenti analitici e nuove metodologie di ricerca. Ad oggi la mole bibliografica in materia inizia ad essere considerevole: Craig (2000), Westcott and Brandon (2000),

Moyes (2001), Barcelò (2002), Barcelò et al., (2004), Craig et al. (2004), Hardy-Smith and Edwards (2004), Maximiano (2005), McPherron (2005), Barceló and Maximiano (2006), Kooyman (2006), Losier et al. (2007), Lenoble et al. (2008), Vanpool and Leonard (2011), de la Torre and Benito-Calvo (2013).

Nello spazio archeologico, la percezione della variazione è causata da una serie di azioni sociali e processi naturali che hanno avuto luogo nell'area campione dello spazio fisico osservato. Di conseguenza il problema spaziale in archeologia fa riferimento ad azioni umane e a processi naturali in rapporto a dove hanno avuto luogo e secondo il tipo di effetto materiale che hanno prodotto. In sintesi l'analisi spaziale deve comprendere come alcuni materiali, risultato delle azioni 'sociali', si sono posizionati in un certo spazio. Naturalmente per raggiungere risultati attendibili bisogna partire dalla considerazione per cui la localizzazione nello spazio fisico, le distanze geografiche e la struttura dimensionale che emerge, rispondono a fattori causali di qualche tipo, che, per definizione, saranno esterni allo spazio, nel senso che solo dopo la comprensione dell'oggetto in sé e dell'azione umana che lo ha prodotto si può comprendere la struttura spaziale in cui è inserito. È importante quindi relazionare le informazioni spaziali con le caratteristiche dei materiali (forma, dimensioni, composizione, etc.) per stabilire un discorso interpretativo che vada oltre la quantificazione e la descrizione nella distribuzione degli oggetti (Barceló and Maximiano, 2006).

Molti studiosi, per definire meglio gli obiettivi dell'analisi spaziale *intra-site*, soprattutto per i siti preistorici, hanno cercato di sintetizzare le fasi della ricerca elencandone gli aspetti più significativi.

Djindjian (1999):

- determinazione dell'influenza dei processi post-deposizionali;
- selezione delle categorie dei ritrovamenti in grado di rilevare le strutture socio-economiche dell'abitato;
- realizzazione dell'analisi spaziale utilizzando metodi quantitativi appropriati;
- interpretazione delle strutture ottenute (caratterizzate da una associazione spaziale rappresentativa di alcune categorie di resti materiali).

Texier (2000):

- tutti i metodi classici utili per lo studio dei siti in rapporto all'analisi geologica;
- analisi tafonomiche, distribuzioni spaziali dei reperti (tipi di resti, granulometria, etc.), *fabric analysis* dei reperti faunistici, coerenza degli insiemi paleontologici identificati;
- rimontaggi; analisi di diagrammi di proiezione; analisi della *chaîne opératoire*; granulometria (distribuzione spaziale in base alle categorie dimensionali degli oggetti); *fabric analysis* (analisi delle orientazioni e delle pendenze degli oggetti allungati); presenza, assenza o modificazione delle strutture antropiche, in relazione alle metodologie archeologiche.

Quindi i processi post-deposizionali sono i fattori principali di perturbazione delle distribuzioni spaziali dei resti archeologici in quanto, come già sottolineato da Hodder and Orton (1979), «con i soli dati archeologici poco si può conoscere del processo spaziale che ha prodotto il *pattern*».

La distribuzione spaziale del record archeologico raramente riflette un indisturbato, non-selettivo stato di abbandono (Djindjian 1999). Più frequentemente complessi processi post-deposizionali, naturali o antropici, alterano l'iniziale modello e producono articolati palinsesti (Binford 1977, 1979, 1980, 1981b; Carr 1984; Malinsky-Buller *et al.* 2011; Schiffer 1972, 1983, 1987). Di conseguenza, la caratterizzazione dei processi di formazione dei siti, specialmente di quelli preistorici, costituisce l'imprescindibile fase analitica iniziale indispensabile ad un'interpretazione affidabile del deposito archeologico (Texier 2000).

Anche se le applicazioni d'analisi spaziali intra-site restano ancora un ambito poco conosciuto, sono stati sviluppati nel tempo differenti tipi di distribuzione spaziale. Ad esempio per individuare l'esistenza di insiemi, o *patterns*, all'interno di un sito si possono adoperare due diversi metodi: *quadrat count method* e *distance method*.

Il *quadrat count method* (Fig. 29) conteggia i punti presenti in ciascuna cella facente parte dell'area oggetto di studio, suddivisa secondo una griglia regolare.

Attraverso questo metodo è quindi possibile visualizzare il tipo di distribuzione dei punti che caratterizza l'area. Si avrà quindi una distribuzione spaziale caratterizzata da una serie di punti suddivisi in classi (*clustered patterns*) con celle più ricche di punti rispetto ad altre, oppure una distribuzione rappresentata da una ripartizione più uniforme (*regular patterns*). Questo metodo presenta alcuni limiti tra cui la difficoltà di delimitare l'area in rapporto ai suoi naturali 'bordi' e l'accuratezza dei risultati che possono variare a seconda delle dimensioni delle celle (Calvelli, 2006).

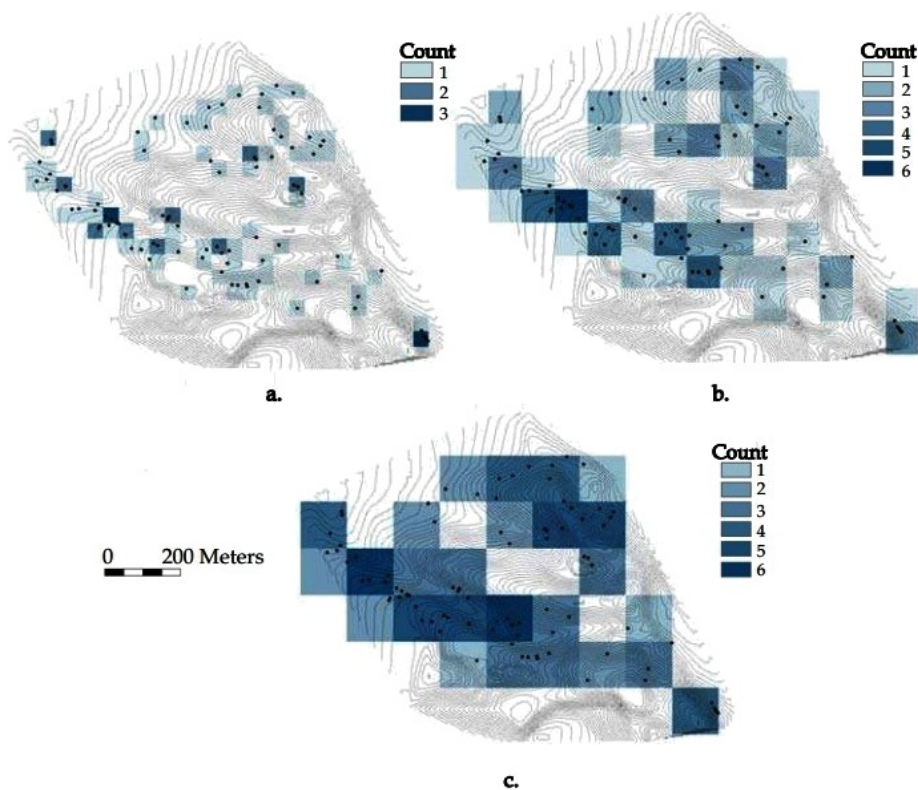


Fig. 29 - *Quadrat count method* (web)

Il *distance method* è basato invece sul calcolo della distanza fra i punti che rientrano nell'area presa in esame. Tra i metodi che rientrano in questo tipo di analisi il più utilizzato in ambito archeologico è quello del *nearest neighbour analysis*, noto anche come ricerca dei punti più vicini (Whallon, 1974).

Altri metodi sono stati proposti per lo studio dell'analisi spaziale intra-site, come la classificazione su coordinate di Kintigh and Ammerman (1982), l'analisi della densità locale di Johnson (1976), il metodo *dell'unconstrained clustering* di Whallon (1984), la *Dimensional Analysis of Variance* (ANOVA) (Fig. 30) di Whallon (1973) e la strutturazione spaziale di Djindjian (1988).

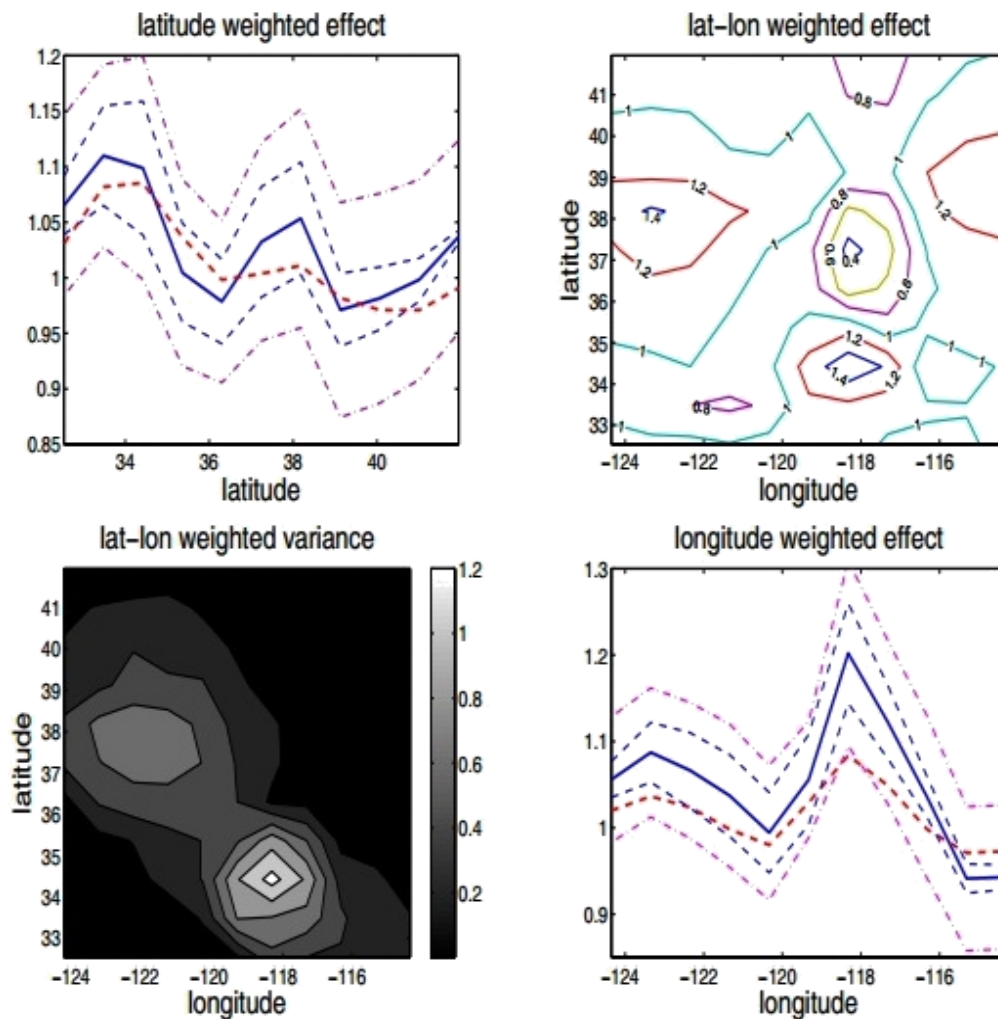


Fig. 30 - *Dimensional Analysis of Variance (ANOVA) (web).*

2.2.1 Analisi spaziali 3D

A causa di limitazioni tecniche dei software GIS più comunemente usati, la maggior parte delle analisi spaziali ha fornito modelli perlopiù bidimensionali trascurando la dispersione verticale del record (Moyes, 2002; Spikins et al., 2002).

Solo ultimamente si registra una inversione di tendenza che ha permesso ai GIS di restituire non solo la superficie, ma anche il volume e la sequenza stratigrafica dei livelli.

Tra le tecniche spaziali più utili e più impiegate figura l'analisi di densità dei manufatti archeologici che è in grado di riconoscerne la concentrazione e le tendenze di distribuzione. I valori sono espressi attraverso curve di densità a livello bidimensionale e nuvole a livello tridimensionale.

Il modello bidimensionale non è sempre appropriato per effettuare analisi spaziali in unità archeostratigrafiche che abbiano uno spessore sedimentologico importante (più di 30 cm), dove l'interpolazione verticale influenza fortemente la rappresentazione bidimensionale della distribuzione spaziale.

Il modello tridimensionale di densità spaziale si è diffuso grazie allo sviluppo di algoritmi per la visualizzazione tridimensionale dei dati che permettono ai GIS di restituire il volume e la sequenza stratigrafica dei livelli archeologici (Barcelò, 2002; Baxter et al., 1997; Beardah and Baxter, 1999; Beardah, 1999; Gallotti et al., 2012; Nigro et al., 2003).

Le analisi di densità tridimensionale (Fig. 31), associate ad altri studi archeologici e/o geologici, sono un utile strumento per indagare la formazione dei processi deposizionali e post-deposizionali. Il potenziale di questo metodo può rappresentare nel futuro un utile mezzo per la ricostruzione sempre più attendibile dei contesti archeologici.

In appendice 1 a pag. 171 del presente lavoro è presentato lo sviluppo di un algoritmo (DA3D) per calcolare la funzione di densità tridimensionale.

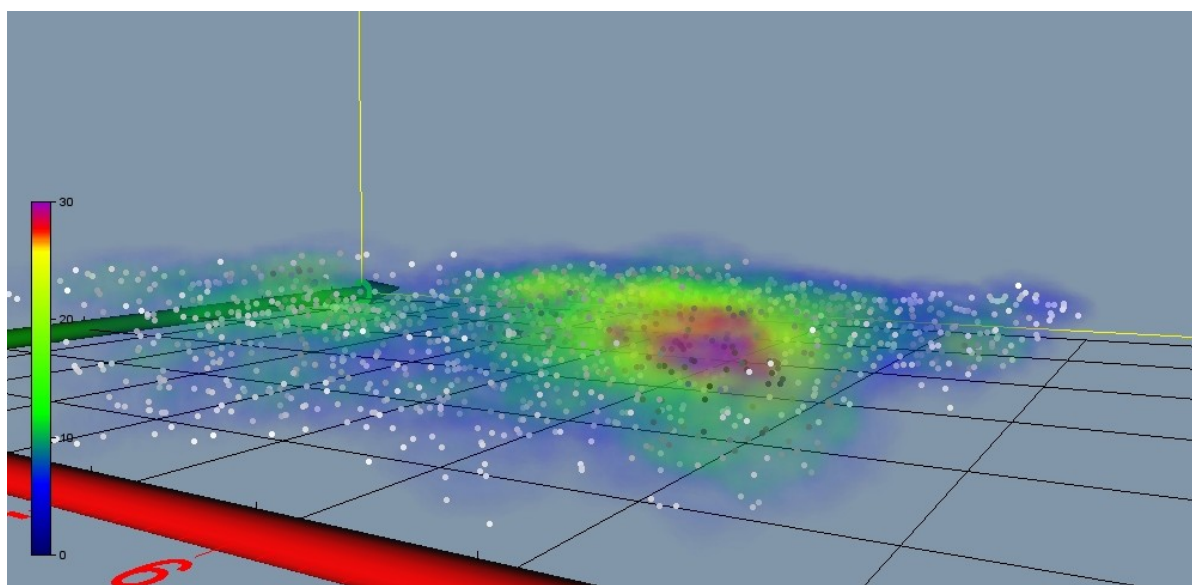


Fig. 31 - Esempio di visualizzazione in 3D dell'analisi di densità (elaborazione grafica G. Lembo).

2.2.2 *Fabric analysis*

Uno dei principali obiettivi dell'archeologia, soprattutto preistorica, è quello di ottenere informazioni comportamentali dalle distribuzioni dei manufatti nei depositi archeologici. Tale approccio si basa però sull'assunto che i materiali archeologici non abbiano subito disturbi naturali durante o dopo il seppellimento sedimentologico. Tuttavia, il carattere *in situ* degli insiemi archeologici è difficile da riconoscere ed è spesso implicitamente presunto dall'archeologo o è dedotto a posteriori (Bertran and Texier, 1995). Mentre l'analisi di densità, con cui è possibile riconoscere eventuali distribuzioni dei reperti archeologici, ha ricoperto negli ultimi decenni un ruolo preponderante per lo sviluppo di analisi di concentrazione o di dispersione, la “*analyse des orientations et des pentes des objets allongés*” (Texier, 2000), detta *fabric analysis*, è stata utilizzata soprattutto per definire la dinamica degli ambienti deposizionali per siti preistorici collegati ad un contesto fluvio-lacustre (Bar-Yosef and Tchernov, 1972; Isaac, 1977, 1967; Shick, 1991). Solo negli ultimi anni la *fabric analysis* è stata utilizzata per l'interpretazione dei processi di disturbo post-deposizionale in contesti archeologici (Bertran et al., 1997; Bertran and Texier, 1995; Esdale et al., 2001; Kluskens, 1995; Lenoble and Bertran, 2004; McPherron, 2005; Petraglia and Potts, 1994) e soprattutto in studi paleontologici e tafonomici (Chew and Oheim, 2009; de la Torre and Benito-Calvo, 2013; Giusti, 2012; Jennings and Hasiotis, 2006; Myers and Storrs, 2007).

Il termine *fabric* si riferisce al comportamento spaziale (determinato da orientazione ed inclinazione) di oggetti come clasti, manufatti litici o reperti faunistici che si trovano all'interno di uno strato geologico. Tale caratteristica è convenzionalmente individuata misurando direzione (*strike*) ed inclinazione (*dip*) dell'asse maggiore degli oggetti allungati (Fig. 32), ovvero di quelli con un rapporto (*elongation value*) tra asse maggiore (a) e asse intermedio superiore (b) a 1.5 per Giusti (2012), 1.6 per Lenoble e Bertran (2004), 1.7 per Bertran e Texier (1995), tra 1.4 e 1.7 per Millar e Nelson (2001), 2.0 per Giardino e Vitek (1988).

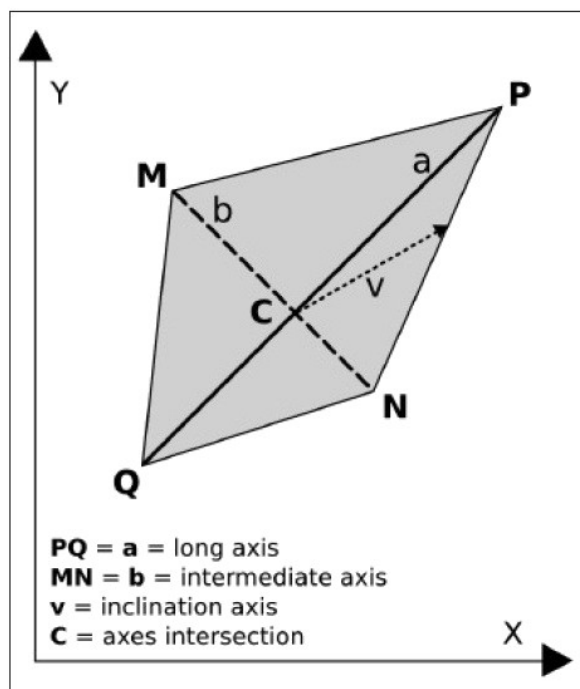


Fig. 32 - Indicazione degli assi oggetto di misurazione. Asse maggiore (a) e asse intermedio (b) (da Francisci, 2011).

La forma allungata è naturalmente quella che preserva in maniera più evidente la direzione principale della forza generatrice dell'orientazione, fornendo utili indicazioni per l'individuazione dei possibili processi naturali coinvolti.

Le analisi *fabric* sono state a lungo usate in diversi ambiti di ricerca (nelle scienze sedimentologiche, ad esempio) per definire le dinamiche di formazione di differenti ambienti deposizionali, riconoscendo specifici *fabric*s per diversi processi sedimentari, alcuni dei quali qui di seguito elencati:

- i flussi idrici (*water flow*) orientano solitamente i clasti perpendicolarmente o parallelamente alla corrente in funzione dell'energia del mezzo e della grandezza e forma dell'oggetto trasportato; i modelli di comportamento variano inoltre in funzione della ripidità (>10°) o meno del pendio;
- in una colata fangosa (*debris flow*) il sedimento a tessitura limo-argillosa, liquefatto per saturazione da parte dell'acqua e mischiato a sabbia e detriti, può muoversi con modalità simili a quelle del flusso idrico orientando i clasti parallelamente alla direzione del pendio, ma in misura minore rispetto ai soliflussi;

· in un flusso di granuli (*grain flow*) non fluidificato l'orientazione preferenziale risulta, similmente al *debris flow*, parallela alla direzione del pendio ma spesso con una accentuata imbricazione (Texier, 2000).

Tra i vari metodi per calcolare la *fabric analysis* quelli più utilizzati sono: *stereodiagrams* e *twodimensional rose diagrams* (Fig. 33).

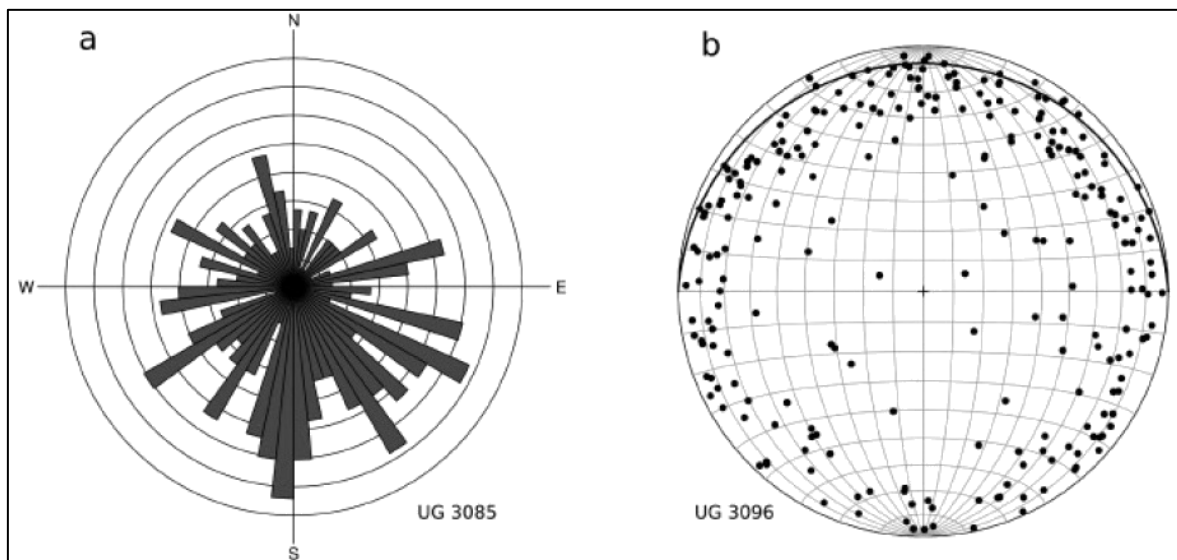


Fig. 33 - Rappresentazione grafica della *fabric analysis*; a) rose diagrams e b) stereodiagrams (da Francisci, 2011).

A partire da questi studi sono state riconosciute alcune delle innovazioni che hanno contribuito ad accrescere tutte le potenzialità delle analisi *fabric* in campo archeologico. Tuttavia l'utilizzo della *fabric analysis* nello studio dei processi di formazione resta ancora una pratica poco diffusa. Le cause di questo ritardo possono in gran parte essere rintracciate nella mancanza di adeguati metodi di rilevamento sul campo: la misura di parametri quali orientazione ed inclinazione non è infatti una comune pratica archeologica. Comunque, dalle prime misurazioni con bussola e clinometro (o tiltmetro), negli ultimi anni sono state sviluppate, parallelamente ad una metodologia più sofisticata, avanzate tecniche di acquisizione ed elaborazione delle informazioni tramite l'utilizzo della stazione totale (McPherron, 2005).

Questo tipo di analisi dovrebbe, quindi, diventare una pratica comune e le più attuali ricerche (de la Torre and Benito-Calvo, 2013; Francisci, 2011; Giusti, 2012) ne dimostrano l'applicabilità e la valenza in vari contesti archeologici.

La *fabric analysis* risulta quindi un valido strumento per la ricostruzione dei processi postdeposizionali, ma occorre sottolineare quanto sia proficuo considerare l'orientazione solo come una delle variabili coinvolte. In tal senso, solo la struttura integrata ed integrante di un GIS permette un reale approccio multivariato, multidisciplinare e multidimensionale. «Lo studio della direzione (*strike*) e dell'inclinazione (*dip*) degli elementi costituenti un deposito non può prescindere dall'analisi delle reciproche relazioni topologiche che tali componenti instaurano tra loro e con lo spazio circostante» (Francisci, 2011). In questo senso la *fabric analysis* può essere inserita a pieno titolo nel gruppo delle analisi spaziali: ciò che cambia rispetto ad uno studio spaziale tradizionale è la scala e le informazioni topografiche in quanto i dati vengono esaminati non solo all'interno di uno spazio cartesiano definito dalle coordinate x, y, z, ma anche all'interno di uno spazio descritto da coordinate angolari (Francisci, 2011).

CAPITOLO 3

IL CASO STUDIO: ISERNIA LA PINETA

3.1 Il giacimento

Isernia La Pineta è un sito del Pleistocene medio situato a 457 m sul livello del mare nell'Italia centro-meridionale, pochi chilometri a sud dal centro abitato di Isernia (Molise) (Fig. 34). È stato segnalato nell'estate del 1978 da Alberto Solinas durante i lavori di sbancamento per la realizzazione del tracciato stradale Napoli-Vasto, lavori che misero in evidenza una potente serie stratigrafica che si estendeva per centinaia di metri con uno spessore anche superiore ai 10 m. Diversi reperti furono raccolti e successivamente posti all'attenzione dei professori Carlo Peretto, Benedetto Sala e Mauro Cremaschi dell'Università degli Studi di Ferrara; nell'inverno dello stesso anno furono condotte le prime ispezioni dell'area e a partire da maggio 1979 si intrapresero gli scavi sistematici, tuttora in corso, sotto la direzione scientifica del professore Carlo Peretto, ordinario di antropologia del Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università degli Studi di Ferrara, in collaborazione con la Soprintendenza per i Beni Archeologici del Molise (Peretto, 2013).



Fig. 34 - Localizzazione geografica del sito preistorico di Isernia La Pineta (elaborazione grafica G.Lembo).

Oltre alle operazioni di scavo, lo studio delle sezioni stratigrafiche messe in luce dai lavori di sbancamento e i sondaggi a carotaggio continuo hanno testato l'estensione del giacimento archeologico su migliaia di metri quadri, pur con frequenze variabili da zona a zona. Gli scavi sistematici, condotti tra il 1979 e il 1993, poi ripresi nel 2000 e ancora in corso, hanno interessato due settori distinti:

- il I settore, suddiviso a sua volta in quattro quadranti, localizzato ad est della linea ferroviaria e costituito dagli scavi tuttora in fase di esecuzione, si estende su di una superficie di circa 300 mq all'interno di un padiglione musealizzato a partire dall'anno 2000;
- il II settore, situato a circa 50 m ad est dal settore I, indagato esclusivamente nel 1979, occupa una superficie di circa 90 mq (Peretto *et al.*, 1983) (Fig. 35).



Fig. 35 - Areale del sito di Isernia La Pineta, delimitato dalla linea continua in giallo, in cui sono visibili la struttura museale (C), il II settore di scavo (A) e il I settore di scavo (B), quest'ultimo coperto dal padiglione (modificato da Google Earth).

3.1.1 Geologia e stratigrafia

Il sito di Isernia La Pineta è inserito tra i sedimenti del bacino di Isernia, caratterizzato da tre principali unità a limiti inconformi (UBSU - Unconformity Bounded Stratigraphic Units) depositatesi prima dell'Olocene (Brancaccio *et al.* 1997; 2000). Le successioni stratigrafiche (Fig. 36) sono disposte a terrazzi fluviali posti ad altezze graduali rispetto al fondovalle. I primi due sono USBU che si trovano all'incirca alla stessa altezza e sono stati nominati 'riempimento principale' (Coltorti *et al.* 2005) o 'unità principale' (Brancaccio *et al.* 1997; 2000). Il più antico, di oltre 60 m di spessore, è costituito da ghiaie, limo e argille ricoperte da travertino per circa 20 m.

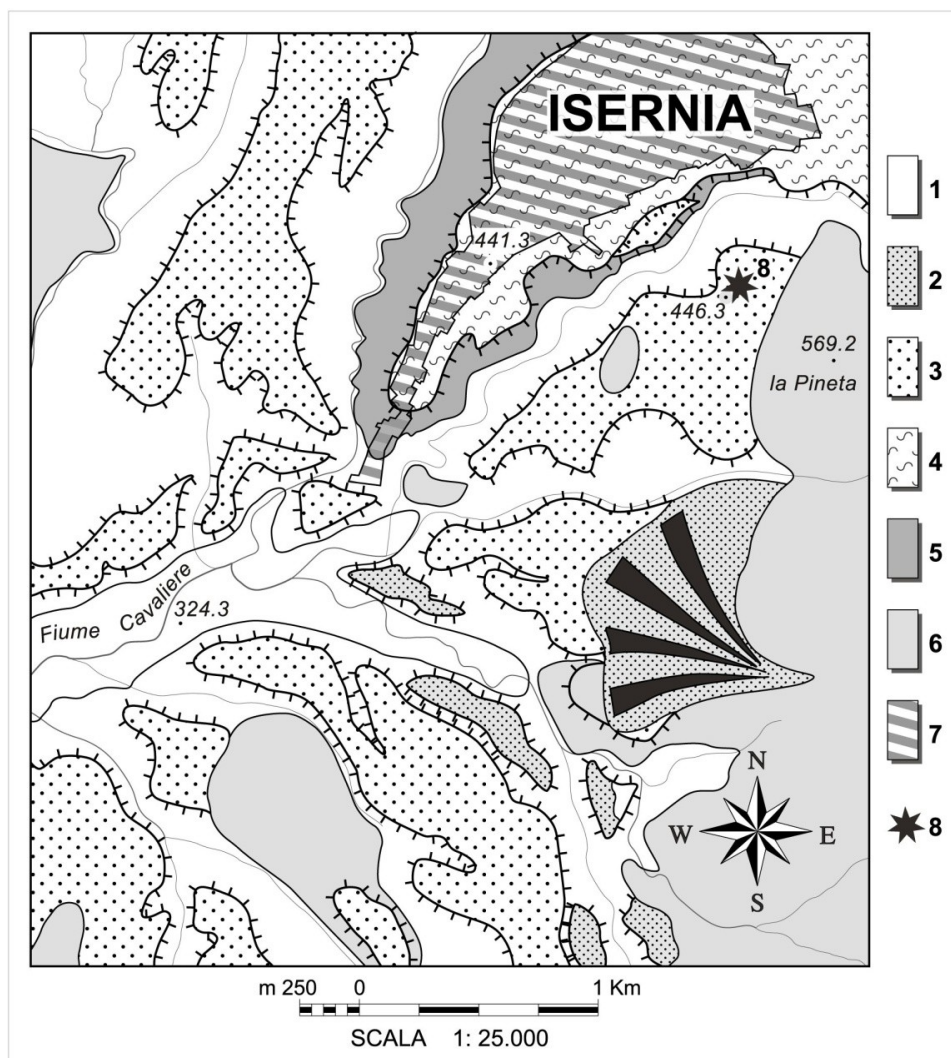


Fig. 36 - Il bacino geologico di Isernia: 1. depositi alluvionali sabbiosi, ghiaiosi e argillosi (Olocene); 2. depositi alluvionali sabbiosi, ghiaiosi e argillosi (Pleistocene superiore); 3. depositi alluvionali sabbiosi, ghiaiosi e argillosi intervallati con livelli piroclastici (Pleistocene medio); 4. travertino (Pleistocene medio-inferiore); 5. limi e argille (Pleistocene inferiore); 6. bedrock; 7. Isernia città; 8. Isernia La Pineta (elaborazione grafica M. Coltorti).

Nello specifico dell'area archeologica di Isernia La Pineta la parte superiore dell'UBSU più antica è composta di argille (Unità 5) e ricoperta dal travertino (Unità 4). La seconda UBSU è formata da sabbie, ghiaie e limi che, contenente diversi strati vulcanici (Unità 3 e 2) (Coltorti *et al.*, 2005; Cremaschi, 1983), affiora in maniera estensiva a sud-ovest di Isernia (Coltorti & Pieruccini, 2014). Quest'ultima unità del bacino di Isernia ha generato, tra la pianura alluvionale olocenica e quella più antica, un terrazzo intermedio da attribuire al tardo Pleistocene (Unità 1) (Brancaccio *et al.* 1997; 2000; Coltorti & Pieruccini, 2014).

I livelli archeologici di Isernia La Pineta sono stati rinvenuti a circa 4 m sotto il livello di campagna (e.g. Peretto, 2013). La stratigrafia (Figg. 37-38), dal basso verso l'alto, è caratterizzata da strati argillosi di origine lacustre (Unità 5), da travertini fitoclasti e in misura minore da quelli fitostromatici e fitoermali dovuti alla presenza di acqua corrente. Questa unità è ricoperta da un sottile strato vulcanico (Unità 4) su cui si sovrappongono sottili strati di sabbie e ghiaie contenenti una ricca frazione piroclastica rimaneggiata depositata da un fiume a bassa energia (Unità 3), ghiaie con sottili strati di sabbie depositate da un flusso effimero (Unità 2), un paleosuolo alterato (S2), depositi colluviali, tra cui una caduta piroclastica datata a 499 ± 13 ka (Coltorti *et al.*, 2005) ed infine da un'unità piroclastica leggermente rimaneggiata (Unità 1), alterata da un altro paleosuolo (S1).

Per quanto riguarda l'Unità 3 nel complesso, sono stati evidenziati, sempre dal basso verso l'alto, i seguenti livelli archeologici:

- 3c: lo spessore è di circa 20 cm ed è caratterizzato da sabbie rossastre a tratti concrezionate e talvolta cementate, con croste carbonatico-travertinosi anche spesse che localmente tendono a sfumare in bancate di travertino litoide, più o meno alterato da probabili fenomeni pedogenetici, corrispondenti allo strato 3c;
- 3b: si tratta di un livello sterile, dello spessore di circa 60-70 cm, caratterizzato da limo grigio a tratti giallastro chiaro che, nell'orizzonte inferiore, tende ad aumentare nel contenuto di argilla e a fratturarsi

poliedricamente, se essiccato, con frequenti laccature di ossidi di Fe e Mn e numerose concrezioni carbonatiche;

- 3 sabbie: si presentano con uno spessore di circa 150 cm e sono state suddivise nei seguenti tagli:
 - taglio 3a: corrisponde allo strato 3a del I settore di scavo;
 - taglio 3S11: presenta uno spessore di circa 30 cm ed è caratterizzato da sabbie di colore grigio-verdastro scuro, grossolane, compatte, a tratti cementate, che comprendono una frazione silicea e numerosi ciottolotti, ricche di minerali femici, che inglobano reperti osteologici e manufatti litici. Può essere interpretato come *debris flow* messo in posto da un meccanismo di colata analogo a quello già noto per il I settore di scavo;
 - taglio 3S10: presenta uno spessore di 5-10 cm. È caratterizzato da sabbie giallastre o giallo-verdastre, localmente grossolane, anche concrezionate, con importante componente limosa; sono presenti ciottoli di calcare, travertino, selce e frammenti faunistici. Esso può essere interpretato come un nuovo strato che si aggiunge ai tre già individuati;
 - tagli 3S6-9: si tratta di sabbie giallastre, compatte, intercalate da livelletti di sabbie più grossolane con frequenti laccature di ossidi di Fe e Mn e con presenza di minerali, anche grossolani, di origine vulcanica di colore verdastro e nero. Anche in questi tagli, dello spessore complessivo di circa 50 cm, sono presenti manufatti litici e reperti osteologici in giacitura secondaria;
 - tagli 3S1-5: si tratta di sabbie di colore giallastro ad andamento lentiforme, compatte, intercalate da livelletti di sabbie più grossolane, con frequenti laccature di ossidi di Fe e Mn e concentrazioni di CaCO_3 , interessate negli orizzonti inferiori, dalla presenza di rari manufatti litici e frammenti osteologici, in evidente giacitura secondaria; lo spessore complessivo è di circa 40-50 cm;

- 3 ghiaie: ghiaie a ciottoli eterometrici e poligenici, a prevalenza silicea, in matrice limoso-argillosa e limoso sabbiosa, di colore bruno, compatte, a tratti concrezionate, sterili (e.g. Lembo *et al.*, 2014).

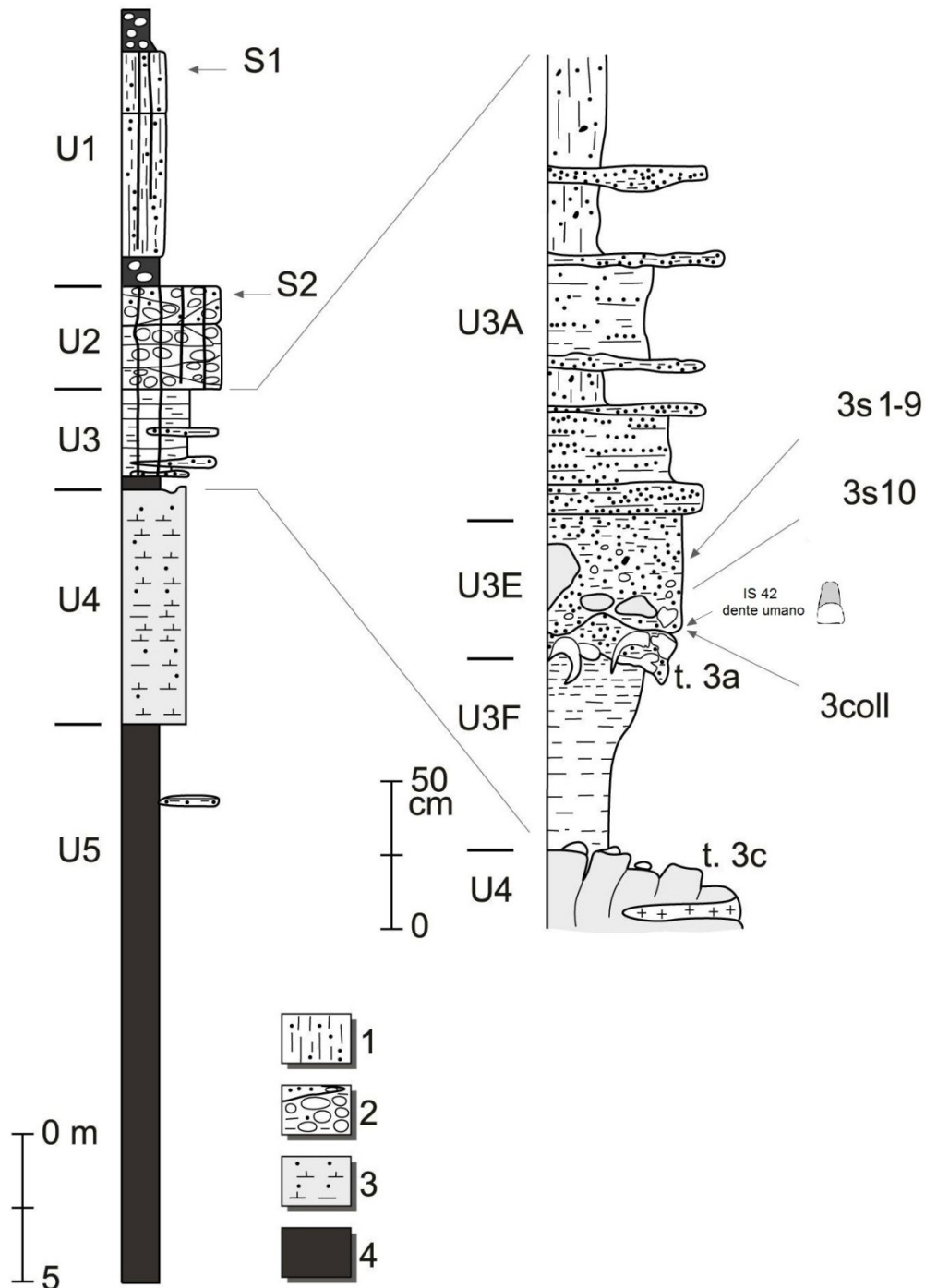


Fig. 37 - Stratigrafia del sito di Isernia la Pineta caratterizzata da 5 unità principali (da U1 a U5) e 2 paleosuoli sepolti (S1 e S2). La colonna di destra si riferisce all'Unità 3 che contiene vari strati sedimentologici (U3A, U3E, U3F) e due importanti strati archeologici (t.3a e t.3c). 1, depositi colluviali compreso uno strato di caduta piroclastica; 2, sabbie e ghiaie; 3 travertino; 4, limi e argille (elaborazione grafica M.Coltorti).

La presenza di travertino, associata alla presenza di acqua e alla ricchezza di vegetazione, suggerisce condizioni tipiche degli interglaciali o interstadiali, mentre i depositi successivi di sabbie e ghiaie rivelano l'insorgenza di condizioni di freddo con pendii spogli interessati da processi di gelifrazione. Pertanto l'occupazione umana è avvenuta durante la transizione dall'Interglaciale/Interstadiale al Glaciale/Stadiale (Coltorti *et al.*, 2005).



Fig. 38 - Sezione stratigrafica messa in luce durante i lavori di sbancamento per la costruzione del tracciato stradale Napoli-Vasto (foto B. Sala).

3.1.2 I livelli archeologici

I livelli archeologici (3c, 3a, 3s10, 3s6-9 e 3s1-5 del sett. I, 3a del sett. II) (Fig. 39) sono stati identificati e scavati negli ultimi 35 anni all'interno dell'unità 3. Il livello di occupazione più antico (3c) poggia sul travertino fitoclastico ed è sepolto sotto un sottile strato di travertino fitostromatico e sedimenti argillosi

contemporanei all'Unità 4 (Coltorti *et al.*, 2005). Il livello archeologico 3c è stata fino ad oggi esplorato su una superficie di circa 70 mq. Il 3c, dislocato da una serie di fratture che corrono parallele tra loro, già presenti nel momento della deposizionee che hanno continuato la loro attività anche dopo il suo seppellimento, possono essere attribuite all'attività tettonica sempre attiva nella zona oppure ai movimenti di assestamento del travertino sottostante (Giusberti *et al.*, 1983). Il materiale paleontologico e paleontologico rinvenuto è per lo più caratterizzato da frammenti ossei appartenenti a bisonte, rinoceronte, ippopotamo, orso, elefante, associati in misura variabile ai resti litici in selce e in calcare. La distribuzione areale dei reperti è piuttosto omogenea e regolare, soprattutto per quanto riguarda i reperti faunistici.

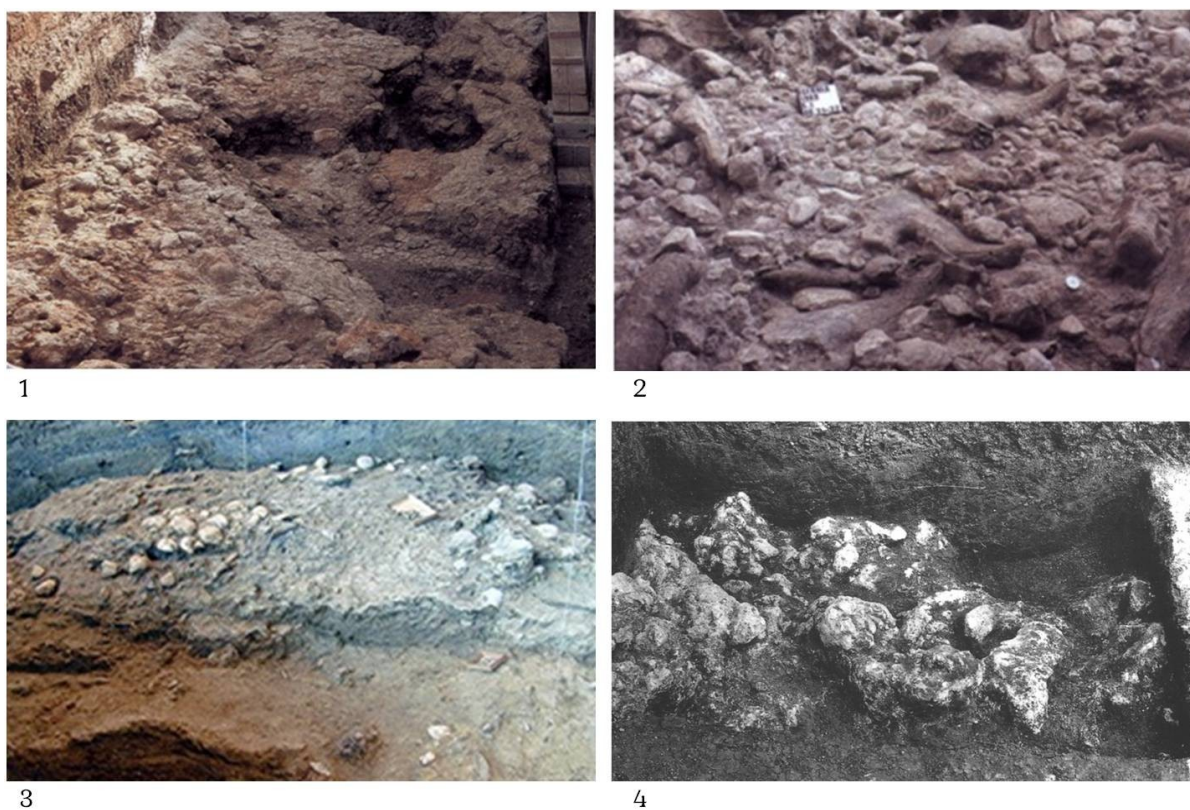


Fig. 39 - Le immagini si riferiscono rispettivamente ai livelli archeologici 3c (1) (foto C. Peretto), 3a (2) (foto A. Guerreschi), 3s10 (3) (foto G. Lembo), del I settore di scavo e 3a (4) del II settore di scavo (foto C. Peretto).

Il livello archeologico 3a del I settore di scavo si presenta, nella sua estensione, differentemente interessato da fenomeni geologici; infatti, esso risulta poggiare direttamente sul travertino nella parte sud-ovest della porzione fino ad oggi esplorata, che comprende circa 150 mq, mentre, verso nord, poggia su limi e i

manufatti e le ossa che lo caratterizzano costituiscono un'interfaccia tra la sommità dei livelli argilloso-limosi e i sovrastanti livelli di sabbie medie e grossolane. Verso nord-est tale discontinuità è meno marcata e i materiali sono contenuti all'interno dei livelli limoso-argillosi (Cremaschi, 1983). La quantità di reperti rinvenuta è maggiore rispetto agli altri livelli ed è caratterizzata, così come è stato attestato per il 3c, da una distribuzione variabile di resti faunistici e materiale litico (Minelli *et al.*, 2009).

IL livello archeologico 3S10 è stato riconosciuto soltanto a seguito dello scavo del 1992 ed è stato inizialmente esplorato su un'estensione di circa 12 mq; lo scavo della stesso è stato approfondito nel corso della campagna di esplorazione del 2001 su un'estensione di circa 20 mq ed ha permesso di comprendere meglio la sua localizzazione all'interno della serie stratigrafica, nonché il rapporto che la lega agli altri strati. I materiali paleontologici e litici rinvenuti si caratterizzano per un aspetto piuttosto frammentario e per uno stato di conservazione che è in parte fresco ed in parte fluitato. La concentrazione dei reperti interessa la porzione nord-est dello scavo, dove maggiore è anche lo spessore del livello archeologico che li ingloba, costituito da sabbie giallastre o giallo-verdastre localmente grossolane, anche concrezionate, e ciottoli di piccole dimensioni di calcare, travertino e selce, poggianti a loro volta su sabbie di colore grigio-verdastro scuro, grossolane, compatte, a tratti cementate, che comprendono una frazione silicea (Peretto, 1999).

Lo strato 3 colluvio, che copre il 3a, è costituito dalla presenza di una componente limoso-sabbiosa e rappresenta l'esito di una colata sedimentaria (*debris-flow*).

I livelli 3s6-9 e 3s1-5 sono composti da sabbie rispettivamente fini e grossolane e ricoprono lo strato 3 colluvio.

Il livello archeologico 3a del II settore di scavo è stato individuato nel 1979, direttamente a ridosso del rilevato ferroviario, dalla parte opposta della localizzazione dell'attuale I settore ricoperto dal padiglione di scavo. Si è trattato di uno scavo di emergenza esteso su un'area di 18 x 4 m, allo scopo di recuperare il materiale archeologico che altrimenti sarebbe stato distrutto e disperso dai

lavori per la costruzione della superstrada Napoli-Vasto. Questo livello archeologico, con una sigla analoga a quella del I settore di scavo, è caratterizzato da una matrice argillosa di colore bruno rossiccio che poggia sul sottostante travertino. Rispetto ai livelli del I settore, esso differisce drasticamente per la totale assenza dei manufatti in calcare, per la scarsità e la frammentarietà dei reperti paleontologici e per la grande abbondanza dei manufatti in selce (Peretto, 1999).

3.1.3 Le datazioni

Negli anni l'età geologica del giacimento, che è stata misurata attraverso vari metodi di datazione, come ad esempio $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ (Coltorti *et al.*, 1982), la biostratigrafia (Peretto *et al.*, 1983), il paleomagnetismo (Gagnepain, 1996), ed è stata inoltre oggetto di dibattito sulla base del record paleontologico ritrovato (von Koenigswald and van Kolfschoten, 1996), ha oscillato tra i 736 ± 40 e i 550 ± 140 ka. Più recentemente, grazie alla datazione dei sanidini del livello geologico USE (Coltorti *et al.*, 2005) con il metodo $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$, il sito di Isernia La Pineta è stato inserito definitivamente nella prima parte del Pleistocene medio (610 ± 10 (2σ) ka). Questa data ben si accorda con la composizione dell'insieme faunistico: indicativa, ad esempio, la presenza del roditore *Arvicola cantiana* e la sua associazione con *Bison schoetensacki*, *Stephanorhinus hundsheimensis* e *Elephas antiquus*.

Presso i laboratori di Parigi¹³ sono state realizzate nuove analisi sui sanidini provenienti dalle Unità 4 e 3, con il metodo $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ che permette di datare ogni singolo granello di sanidino in modo da fornire garanzie contro la possibilità che effluenti vulcaniche possano essere contaminate con minerali più antichi. I risultati sui sanidini non rimaneggiati dell'Unità 4 hanno restituito la data di 586 ± 1 ka che viene interpretata come l'età di deposizione di queste pomice nonché dell'Unità 4. Gli altri cristalli di sanidino analizzati e provenienti dalle pomice

¹³ Le analisi sono state effettuate da Sébastien Nomade del Laboratoire des Sciences du Climat et de L'Environnement del CNRS di e da Alison Pereira, Christophe Falguères, Jean-Jacques Bahain, Dominique Grimaud-Hervé del Dipartimento di Preistoria del Muséum national d'Histoire Naturelle.

dell'Unità 3 contenente strati archeologici (3 colluvio, 3s10 e 3s6-9) hanno individuato una datazione molto vasta compresa tra 709 e 576 ka, ma vista l'età *ante quem* dell'Unità 4 gli unici risultati che possono essere presi in considerazione sono 583 ± 2 ka, 583 ± 2 ka e 586 ± 2 ka rispettivamente degli strati 3 colluvio, 3s10 e 3s6-9 appartenenti all'Unità 3 (Peretto *et al.*, *in press*). È quindi molto probabile che l'età dell'Unità 3 che contiene i livelli archeologici più importanti corrisponda alla transizione tra la fase Interglaciale 15 e quella Glaciale 14 come è dimostrato anche dalle analisi sedimentologiche dell'area del bacino di Isernia (Coltorti and Pieruccini, 2014).

3.1.4 Dati paleobotanici e paleoambientali

In riferimento all'identificazione della flora e delle specie vegetali che caratterizzavano l'ambiente di Isernia la Pineta sono stati realizzati due studi, uno da Accorsi (Accorsi *et al.*, 1996) e l'altro da Lebreton (Lebreton, 2001). Entrambe le analisi polliniche descrivono un'alternanza di due fasi.

Nella fase più antica (zona pollinica IFC1), precedente la frequentazione umana, il paesaggio vegetale, improntato a conifere, è in trasformazione: da una situazione di foresta non fitta con dominanza di conifere e soprattutto di pini, si passa ad un paesaggio aperto caratterizzato da praterie più o meno steppiche, talora arborate. Tuttavia, le condizioni ecologiche consentono la sopravvivenza di un certo numero di latifoglie mesofile (carpini, querce, frassini) e il mantenimento di ambienti umidi in loco (presenza di *Alnus*, *Salix* e di piante acquatiche quali *Potamogeton* e *Sparganium*). Tutta la fase sembra caratterizzata da condizioni di clima temperato freddo con temperatura in diminuzione e aridità in aumento. La seconda fase (zona pollinica IFC2), caratterizzata dalla predominanza delle latifoglie, mostra una ripresa della forestazione, a cui sono correlabili i livelli archeologici, seguita da un periodo steppico. Nell'area circostante si impianta una foresta di caducifoglie in concomitanza con una fase climatica più calda rispetto alla precedente e con disponibilità di acqua. La foresta non è mai molto densa, ma è piuttosto ricca con varie arboree, arbusti e liane (*Carpinus betulus*, *Pterocarya*, *Tilia*, *Castanea*, *Hedera*, *Vitis*, *Humulus*). Anche le sclerofille

sempreverdi (*Quercus ilex* type, *Olea*, *Myrtus*, *Pistacia*) hanno una certa frequenza. La vegetazione appare organizzata in fasce altitudinali: una fascia a sclerofille sempreverdi, una collinare a caducifoglie e fasce più in quota con formazioni diverse (*Fagus*, *Abies*, *Cedrus*). In questa fase il diagramma mostra anche le più alte frequenze di piante collegate ad ambienti umidi (*Alnus*, *Salix*, *Populus*, *Platanus*) ed essa è collegata ai livelli archeologici. A questo momento segue un periodo che appare marcatamente arido, con l'estremo rarefarsi della foresta e il diffondersi di formazioni steppiche (Accorsi *et al.*, 1996) (Fig. 40).

Le analisi palinologiche più recenti (Lebreton, 2001) documentano il quadro paleoambientale e paleoclimatico contemporaneo al deposito delle argille lacustri dell'Unità 5, precedente l'occupazione del sito, così come delle argille fluviali posteriori ai livelli archeologici del giacimento. Sono state identificate quattro zone polliniche. La base della sequenza attesta la presenza di un paesaggio di steppa, ricco di *taxa* xerofili e elofili, che si formò in un periodo dal clima piuttosto arido (zona I) con temperature basse; l'estensione del lago relativamente al bacino dell'alto Volturno è minima nella sequenza esaminata. I rari *taxa* arborei caratterizzano le zone umide localizzate sulle rive. Questo episodio corrisponde alle condizioni climatiche più rigorose registrate nella sequenza ed è attribuibile ad un periodo glaciale del "complesso" Baveliano o all'inizio del "complesso" Cromeriano. Le zone successive II e III testimoniano il riempimento progressivo di un lago; una vegetazione semi-aperta si era installata e sviluppata secondo un gradiente altitudinale in condizioni climatiche temperate fresche, meno aride delle precedenti. È solo alla sommità della sequenza che si registra la ripresa dell'umidità.

La presenza di una flora tipicamente acquatica permette di seguire l'evoluzione del livello lacustre. Le praterie vicine erano probabilmente colonizzate da gruppi xerofili erbacei e arborei, ai quali si aggiungevano i *taxa* mediterranei. Una foresta mesofila a caducifoglie copriva i rilievi che circondavano il bacino lacustre. La sommità della sequenza, che si ricollega al Pleistocene medio, mostra la presenza di *Fagus* che traduce nuovi apporti pollinici con il passaggio da una sedimentazione lacustre ad una fluviale. Queste formazioni semi-aperte possono

essere attribuite sia ad episodi interstadiali, sia a dei periodi interglaciali del “complesso” Baveliano o Cromeriano (Fig. 41).

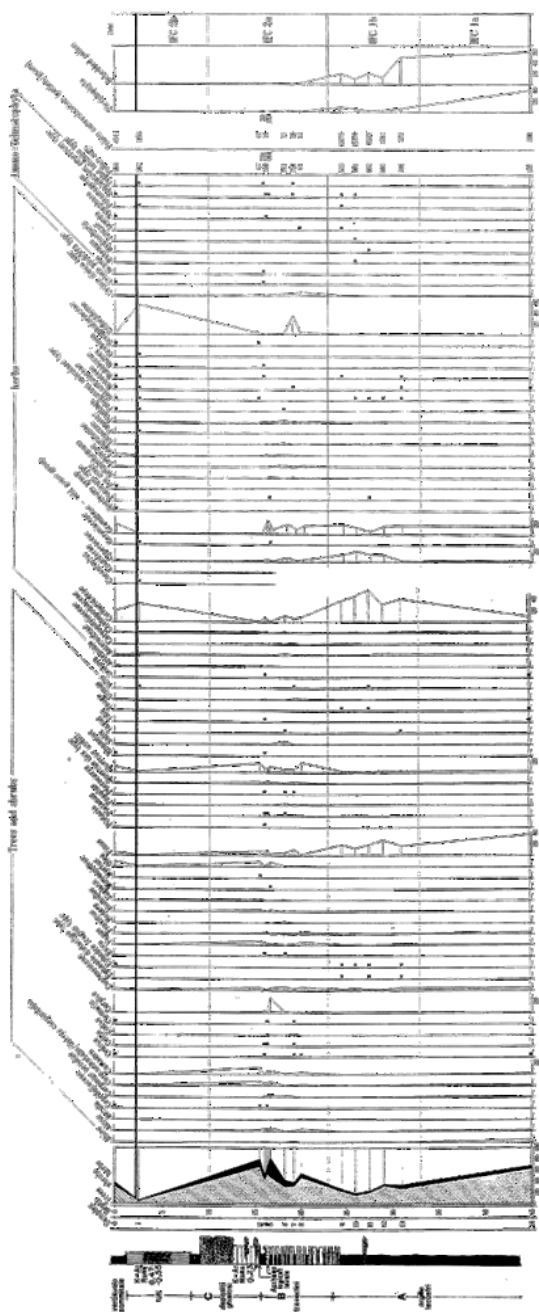


Fig. 40 - Isernia La Pineta: diagramma pollinico (da Accorsi 1985).

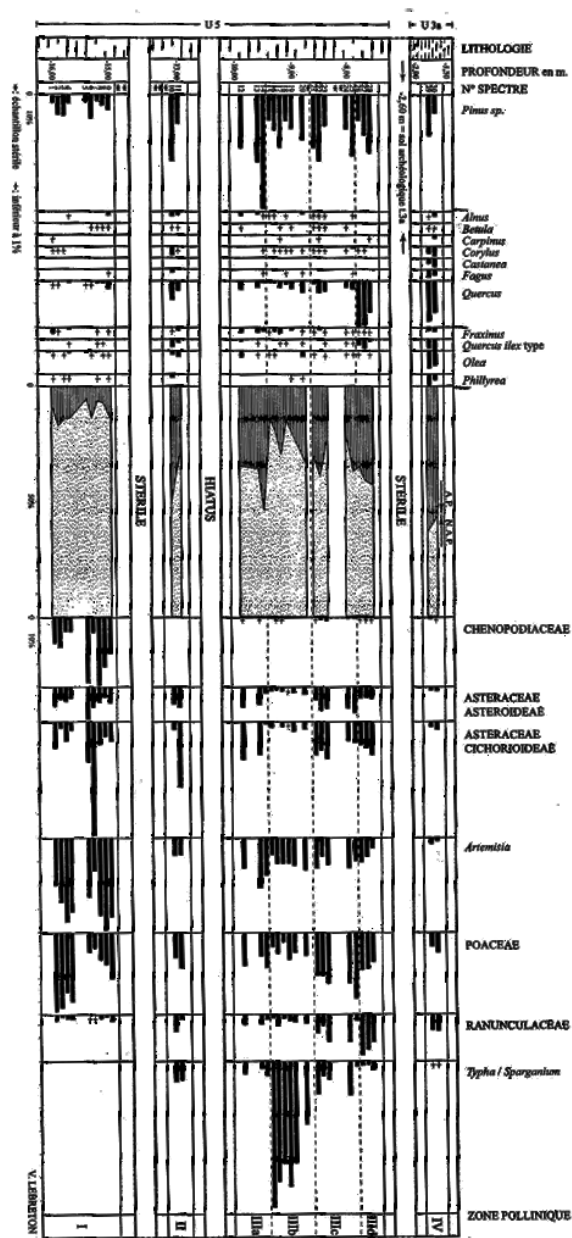


Fig. 41 - Diagramma pollinico dei taxa più significativi del sondaggio a Isernia La Pineta (da Lebreton 2001).

3.1.5 I resti umani

Nel 2014 è stato scoperto un dente umano (IS42) all'interno dello strato archeologico 3 colluvio, livello ascrivibile, in base alle ultime datazioni $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, alla fine dello stadio Interglaciale 15. Il dente, che ad oggi risulta essere il più antico esemplare fossile umano in Italia, costituisce un'importante integrazione alla scarsa documentazione fossile europea del Pleistocene medio (Peretto *et al.*, *in press*).

Il dente è stato identificato come un incisivo deciduo per la presenza di una singola radice, in parte riassorbita, e il margine oclusale mesio-distale allungato della corona. La convessità mesio distale marcata della parte labiale e il profilo asimmetrico della corona distale deviata in vista incisale sembrano suggerire che il dente sia un incisivo mascellare di sinistra. È più difficile accertare se si tratti del primo o secondo incisivo. L'ottimo stato di conservazione del dente (Fig. 42), che ha permesso di individuare il grado di riassorbimento radicolare, ha suggerito un'età dell'individuo di 5-6 anni. Visto il diversificato modello evolutivo degli ominidi durante il Pleistocene medio in Europa, la scelta più idonea e soddisfacente è quella di attribuire il dente ad una specie indeterminata del genere *Homo*, cioè a *Homo* sp. (Peretto *et al.*, *in press*).



Fig. 42 - Isernia La Pineta: incisivo deciduo superiore (IS42); altezza 7 mm (foto J. Arnaud).

3.1.6 I resti paleontologici

Il ricco insieme faunistico (Fig. 43), caratteristico del Galeriano medio, ha consentito una nutrita serie di studi specifici e lavori monografici tale da rendere Isernia La Pineta uno dei siti più conosciuti al mondo (Abbazzi and Masini, 1997; Alhaique *et al.*, 2004; Coltorti *et al.*, 1981; Minelli *et al.*, 2009; Peretto, 2013; Peretto *et al.*, 2005; Sala, 1980, 1983, 1990, 1996, 2006; Sala and Fortelius, 1993; Thun Hohenstein *et al.*, 2009; Tonon, 1989).



Fig. 43 - Isernia La Pineta. Particolare di una porzione dello strato 3a che evidenzia l'enorme quantità di resti faunistici rinvenuti (foto C. Peretto).

A parte i grandi mammiferi, sono stati recuperati diversi resti di osteitti, anfibi, rettili e uccelli, in particolare vertebre di pesci dulcicoli, resti scheletrici di batraci, frammenti di carapace di tartaruga palustre (*Emys orbicularis*), alcuni resti attribuibili al germano reale (*Anas platyrhynchos*), al tuffetto (*Tachybaptus ruficollis*) e ad un passeriforme, ma soprattutto una buona quantità di resti di micromammiferi come ad esempio *Sorex* aff. *runtonensis*, *Pliomys episcopalis*, *Microtus (Terricola) arvalidens* e *Arvicola mosbachensis*, di grande utilità nella

definizione della biocronologia del Pleistocene medio. La macrofauna è rappresentata da *Palaeoloxodon antiquus*, *Stephanorhinus hundsheimensis*, *Hippopotamus* cf. *antiquus*, *Premegaceros solilhacus*, *Cervus elaphus* cf. *acoronatus*, *Bison schoetensacki*, *Hemitragus* cf. *bonali*. I carnivori sono documentati solo da *Ursus deningeri*, *Panthera pardus* e *Hyaena* sp. (Peretto, 2013). Ulteriori indicazioni possono essere desunte dall'associazione faunistica a grandi mammiferi che, sebbene sia il frutto di una selezione operata dall'uomo sui resti di macellazione e quindi non corrisponda alla reale composizione degli animali presenti sul territorio, ne rispecchia ugualmente la presenza. I reperti più frequenti appartengono soprattutto al bisonte e al rinoceronte seguiti da quelli di elefante e orso, mentre gli altri animali sono presenti con pochi resti. L'ambiente ideale per questa associazione faunistica è costituito da una steppa o prateria arborata dove, negli spazi aperti e pianeggianti ricchi di erbacee, potevano pascolare i grossi ungulati e nelle ristrette zone a copertura arborea, nei pressi del fiume, vi trovavano rifugio le specie forestali tipo cervidi e cinghiali, mentre il thar doveva occupare i versanti montuosi. Il rinvenimento di un primate, la bertuccia (*Macaca sylvanus*), nei livelli più recenti (3s1–9) fa supporre una evoluzione del clima verso condizioni più calde e interglaciali (Sala, 2006).

L'abbondanza e le caratteristiche degli insiemi faunistici provenienti dalle 3 archeosuperfici identificate nel I settore di scavo hanno consentito uno studio approfondito finalizzato alla comprensione delle attività di sfruttamento delle carcasse animali ad opera dei gruppi umani che hanno frequentato il sito di Isernia La Pineta durante la fine del Pleistocene medio (Anconetani *et al.*, 1996, 1991; Peretto, 2013; Thun Hohenstein *et al.*, 2002). Le principali attività documentate sono la macellazione e soprattutto la fratturazione intenzionale delle ossa lunghe, dei crani e della mandibola. Lo stato di conservazione dei reperti rende difficoltoso il riconoscimento delle tracce antropiche riferibili alle varie fasi della macellazione (scuoimento, depezzamento, eviscerazione, disarticolazione): infatti, l'analisi tafonomica delle superfici ossee rivela come in molti casi i reperti, pur apparendo relativamente ben conservati a livello macroscopico, siano in realtà affetti da alterazioni superficiali di varia natura ed

intensità, quali erosioni, esfoliazioni ed abrasioni. In particolare sono state identificate strie di macellazione che si presentano appaiate e subparallele tra loro, spesso con un orientamento trasversale rispetto all'asse longitudinale delle ossa lunghe (Fig. 44). Esse sono localizzate in aree anatomiche compatibili con azioni di macellazione (es. inserzioni tendinee o in prossimità delle epifisi), dove vengono esercitate azioni più insistenti (recupero legamenti, disarticolazione, recupero massa carnea) (Thun Hohenstein *et al.*, 2002).

L'attività di fratturazione intenzionale risulta ben attestata e conservata in tutte e tre le archeosuperfici ma in particolare nella 3a. Lo studio ha evidenziato che i crani, le mandibole e le ossa lunghe si presentano sistematicamente e ripetitivamente fratturati secondo piani che suggeriscono un'attività di fratturazione su osso fresco; quest'attività è stata riscontrata soprattutto sui resti di bisonte ed in minor misura di rinoceronte, orso ed elefante (Peretto, 2013).

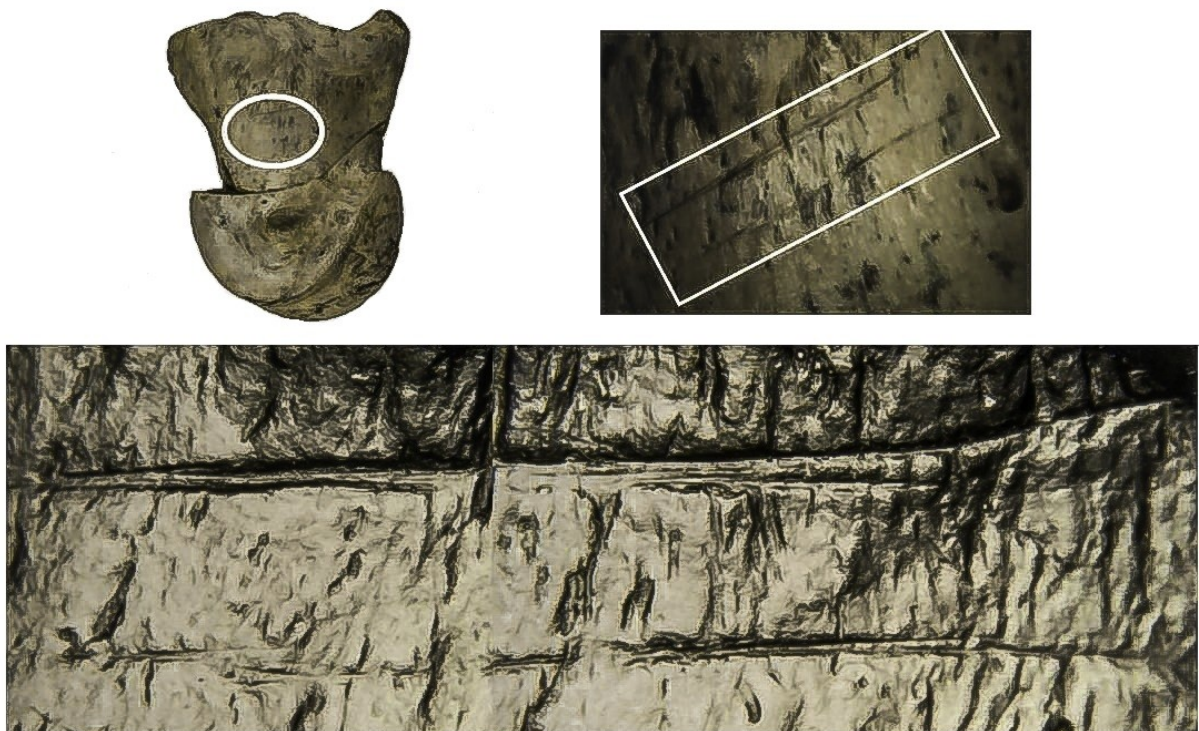


Fig. 44 - Seconda falange di bisonte con strie subparallele; al microscopio a scansione (SEM) nell'immagine in primo piano, è possibile osservare il solco a V e le microstrie secondarie prodotte dallo scorrimento dello strumento litico (foto G. Malerba).

3.1.7 L'industria litica

L'industria litica di Isernia La Pineta vede lo sfruttamento di due differenti litotipi, la selce, sottoforma di lastrine e placchette di dimensioni ridotte, e il calcare, sottoforma di blocchi di medie e grandi dimensioni.

L'approvvigionamento della materia prima è locale, riferibile, nello specifico, alla formazione dei "Diaspri varicolori", a qualche chilometro da Isernia, nelle vicinanze del borgo di Pesche.

Le *chaines opératoires* sono relativamente corte, come conseguenza delle piccole dimensioni dei supporti di partenza, ed i nuclei indicano uno sfruttamento unipolare, multidirezionale e centripeto (cfr discoide), principalmente per percussione diretta. La tecnica della percussione bipolare su incudine è stata utilizzata per la riduzione di lastrine di selce di bassa qualità, caratterizzate da numerose fratture. Le schegge, pur non avendo una morfologia standardizzata, sono generalmente spesse, corte e spesso debordanti. Il ritocco dei margini è stato adottato principalmente per la produzione di raschiatoi e denticolati (Crovetto *et al.*, 1994; Ferrari *et al.*, 1991; Lembo *et al.*, 2014; Minelli, 2003; Minelli *et al.*, 2009; Minelli *et al.*, 2004; Peretto, 2013, 1994; Sozzi *et al.*, 1994) (Fig. 45).

I ciottoli calcarei sono stati sfruttati principalmente per il *débitage* e raramente per il *façonnage*. Il metodo unipolare consentiva di ottenere schegge con dimensioni maggiori rispetto a quelle di selce (Peretto, 2013; Rufo *et al.*, 2009) (Fig. 46).

Le analisi tracceologiche condotte sui reperti litici di Isernia La Pineta a partire dagli anni '90, hanno rivelato uno stato di conservazione piuttosto fresco, come documentato dalla presenza di stacchi incipienti, dall'estrema freschezza delle costolature, dai margini potenzialmente attivi dei reperti e dall'assenza di "*background polish*", lustrature diffuse dovute a rimaneggiamento idrico o di altro tipo. Le tracce d'uso individuate, che interessano buona parte dei reperti analizzati, sono generalmente connesse con un intervento che implica la lavorazione esclusiva di biomasse animali e quindi di azioni connesse con il taglio, l'incisione e la resezione delle masse carnee (Longo *et al.*, 1997; Vergès, 2002).

I più recenti dati relativi all'analisi dell'industria litica di Isernia La Pineta, rivelano l'esistenza di aspetti tecnologici innovativi in termini di gestione del *débitage* (come la padronanza del metodo discoide o l'indipendenza dalla natura della materia prima), elementi questi che sono attestati contemporaneamente alla comparsa dei bifacciali, e dei Large Cutting Tools in generale, in diversi siti europei tra -0.8 e -0.6 Ma. (Gallotti and Peretto, 2014).

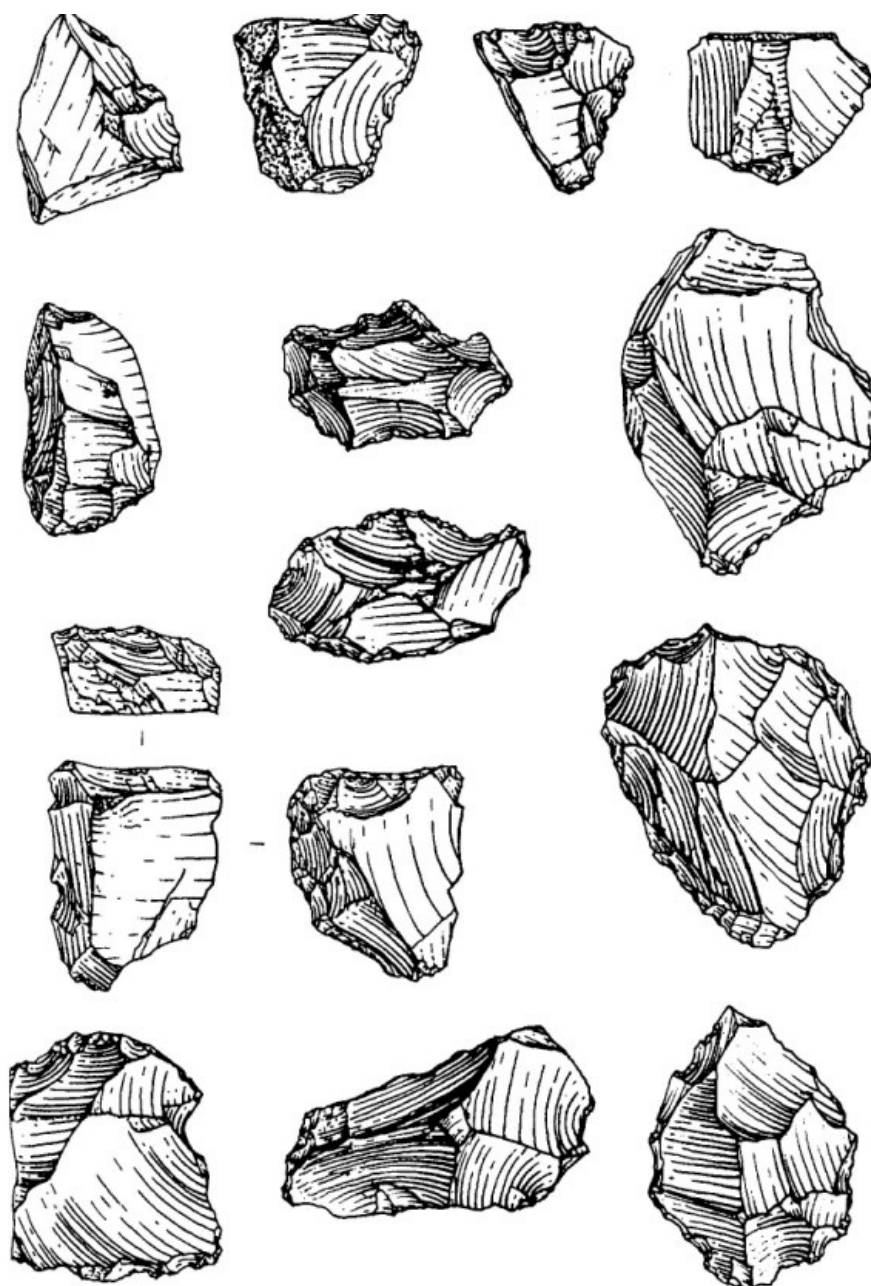


Fig. 45 - Isernia La Pineta. Industria in selce del I settore di scavo. Denticolati (disegni C. Crovetto).

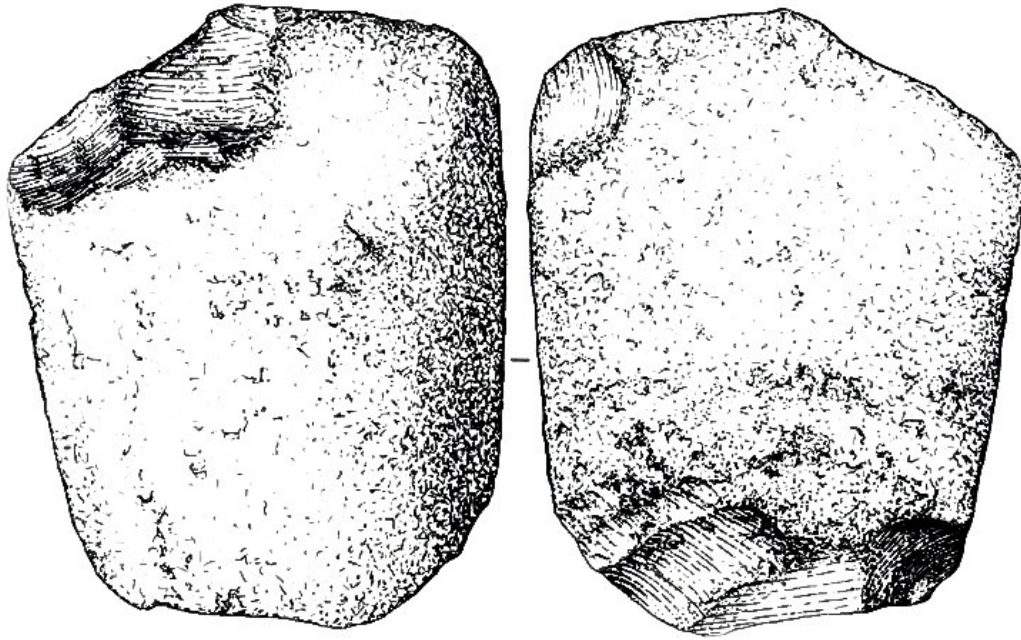


Fig. 46 - Isernia La Pineta. Industria in calcare del I settore di scavo. Chopper (disegni P. Mengoli).

3.2 Tecniche di documentazione e archiviazione informatica

L'archeologia è stata una delle prime discipline nell'ambito delle scienze sociali che ha utilizzato gli strumenti informatici sia nel lavoro sul campo che in laboratorio, specificamente per operazioni ripetitive, per l'analisi statistica degli oggetti di scavo e per la creazione di banche dati (Binford, 1978, 1983; Bowen, 1996; D'Andrea, 2007; Djindjian, 1998; Ebert, 2004; Gaffney *et al.*, 1995; Gillings, 2004; Kvamme, 1983; Wheatley, 1995). Negli ultimi anni gli sviluppi della disciplina si sono indirizzati verso un nuovo modo di concepire l'utilizzazione dell'informatica per lo scavo archeologico, nel senso che la gestione informatizzata non viene concepita a posteriori, ma segue tutte le fasi della ricerca, dallo scavo sino al momento dell'interpretazione finale. Una approfondita valutazione delle qualità informative ed analitiche di un sistema informatico applicato allo scavo archeologico e dei suoi limiti, ha comportato una rivisitazione delle tecniche di documentazione tradizionali.

Gli obiettivi precipi sono: gestione più immediata dei dati e del loro utilizzo; velocizzazione dei tempi di raccolta dati (generalmente estremamente lunghi negli scavi preistorici); riduzione degli errori di registrazione e archiviazione; possibilità di ottenere in tempo reale informazioni analitiche (Lembo, 2011).

Qualsiasi manuale di archeologia evidenzia l'importanza della registrazione di tutte le informazioni relative agli oggetti rinvenuti come base imprescindibile per la ricerca scientifica (e.g., Carandini, 1996; Manacorda, 2008; Peretto and Minelli, 2003; Renfrew and Bahn, 1995). La metodologia, che può variare in funzione delle caratteristiche del sito (*open-air*, grotta, etc.) e della cronologia (Pleistocene, Olocene, etc.), si basa sempre sulla definizione di un protocollo di documentazione (Canals *et al.*, 2008).

I metodi di scavo e le tecniche di documentazione del sito di Isernia La Pineta hanno attraversato tre differenti momenti: il primo periodo si riferisce alle campagne di scavo degli anni compresi tra il 1979 e il 1993; il secondo inizia nel 1999, a seguito dell'ultimazione di un padiglione permanente a copertura dello scavo (Fig. 47) e corrisponde all'impianto di una stazione totale stabile (Fig. 48) per la registrazione delle coordinate dei resti archeologici e all'organizzazione di

una stazione di lavoro computerizzata direttamente sul sito; il terzo, dal 2012 e ancora in corso, vede l'applicazione di nuove procedure di documentazione e archiviazione informatica, che sono oggetto del presente studio.



Fig. 47 - Isernia La Pineta. veduta esterna del padiglione che copre l'area di scavo (foto G. Lembo).



Fig. 48 - Isernia La Pineta. L'utilizzo della stazione totale, modello GTS-605 (foto G. Lembo).

Il primo passo è stato quello di superare gli inconvenienti imposti dai protocolli tradizionali di registrazione come ad esempio la necessità di una registrazione esaustiva dei dati di base su di una scheda di scavo cartacea. Ciò è stato possibile grazie alla creazione di un sistema integrato (Fig. 49) che ha utilizzato applicazioni gratuite disponibili sul mercato e dispositivi elettronici di largo consumo (smartphone, tablet, ecc.) in modo che qualsiasi archeologo possa usufruirne senza dover disporre di ingenti finanziamenti. Si tratta di un sistema basato su di una architettura modulare per la registrazione dei dati di scavo e il loro trasferimento ad un archivio centrale. Il protocollo è stato sviluppato secondo i principi di base dell'archeologia preistorica:

- la registrazione, tramite l'utilizzo della stazione totale, della posizione topografica in un sistema di riferimento tridimensionale (x, y, z) grazie alla quale si ricavano anche l'inclinazione e l'orientazione spaziale;
- la compilazione, tramite un dispositivo mobile, di un modulo online, che sostituisce la tradizionale scheda cartacea, per archiviare le informazioni di base (data di rinvenimento, codice identificativo, descrizione preliminare e dimensioni del reperto).



Fig. 49 - Struttura e architettura del sistema informatico adottato a Isernia La Pineta (elaborazione grafica G. Lembo).

Il modulo online, costruito grazie all'applicazione di Google Doc, è offerto gratuitamente da Google nel suo servizio Google Drive. Google Drive è un servizio, in ambiente *cloud computing*¹⁴, di *web storage*¹⁵ e sincronizzazione online introdotto da Google il 24 aprile 2012 che permette il *file hosting*¹⁶, *file sharing*¹⁷ e *editing* collaborativo di documenti. Google Drive dipende da software *open source* ("Guida Google drive," 2015) ed è usato via web, caricando e visualizzando i file tramite il *web browser*. Le tecnologie di comunicazione utilizzate via wireless per collegare la stazione totale e tutti dispositivi mobili al server sono Bluetooth e Wi-Fi (Fig. 50): la tecnologia Wi-Fi, di maggior consumo energetico, è stata scelta per collegare i tablet e/o gli smartphone al server a causa del loro maggiore raggio di distanza¹⁸; al contrario la tecnologia Bluetooth è stata utilizzata per collegare la stazione totale direttamente al server. La soluzione è stata creata tenendo conto che le batterie dei dispositivi mobili sottoposti ad uso intensivo hanno una durata di circa 6-7 ore.

¹⁴ In informatica con il termine inglese *cloud computing* si indica un insieme di tecnologie che permettono, tipicamente sotto forma di un servizio offerto da un provider al cliente, di memorizzare e archiviare e/o elaborare dati (tramite CPU o software) grazie all'utilizzo di risorse hardware/software distribuite e virtualizzate in rete in un'architettura tipica client-server.

¹⁵ Il *web storage* è un protocollo utilizzato per la memorizzazione dei dati in un *web browser*.

¹⁶ Un servizio di *file hosting* è un servizio di archiviazione su Internet appositamente progettato per ospitare i file degli utenti, permettendo loro di caricare file che possono poi essere scaricati da altri utenti.

¹⁷ Il *file sharing* è la condivisione di file all'interno di una rete.

¹⁸ Per attivare una rete wi-fi basta avviare l'applicazione *Tethering* che consiste nel trasformare uno smartphone in un router, per offrire una connessione internet ad altri dispositivi, quali cellulari, tablet, computer o simili, che abbiano la wi-fi attiva e si trovino nelle vicinanze. Ad oggi, tutti i maggiori sistemi operativi offrono questo tipo di tecnologia: da Android a iOS, da Blackberry a Symbian. La velocità di connessione, invece, dipenderà da diverse variabili: il tipo di rete internet a cui ci si collega, la distanza dalla torre di trasmissione di rete più vicina, il livello di congestione del web in quel momento, etc. In base al modello, il telefono cellulare può fornire connessione ad un massimo di 8 dispositivi in contemporanea. Generalmente, il segnale wi-fi del telefono ha un raggio di circa 100 metri, perciò più ci si allontana dall'hotspot, più sarà bassa la potenza del segnale (Masi, 2011).

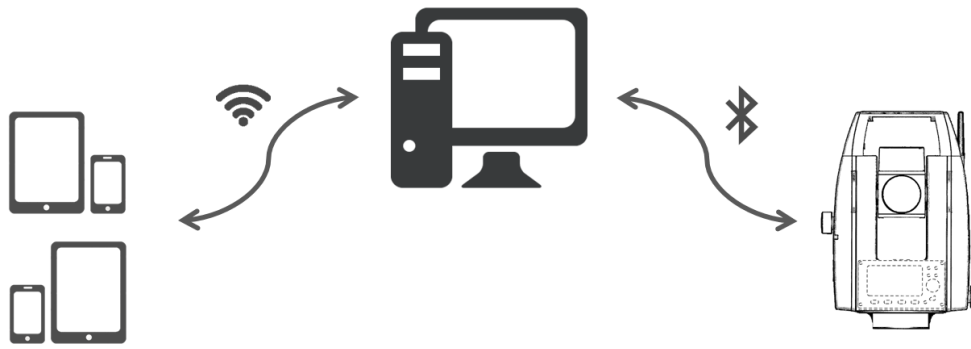


Fig. 50 - Il diagramma rappresenta l'apparato di comunicazione durante il lavoro sul campo (elaborazione grafica G. Lembo).

Il modulo di Google Doc è uno strumento per registrare informazioni sotto forma di domande che sono raccolte automaticamente in un foglio di calcolo. Quest'ultimo è visualizzabile e/o modificabile in tempo reale dagli utenti che possiedono i requisiti di condivisione e/o modifica; ciò comporta un possibile utilizzo simultaneo da parte di più operatori, consente il controllo dei dati di scavo e preliminari analisi anche in un laboratorio situato dall'altra parte del mondo.

Il protocollo di lavoro corrente è il seguente. L'archeologo utilizza un tablet o uno smartphone incorporante l'applicazione di Google Doc come terminale per l'immissione dei dati (Fig. 51).

The screenshot shows a mobile application interface for data entry. The title is "Isernia La Pineta" with a red asterisk indicating a mandatory field. Below the title, there is a "Data *" field with a date input format "gg/mm/aaaa". The "US *" section includes a legend "A=3a; B=3coll; C=3c; D=3s10; F=3s6-9; G=3s1-5" and seven radio button options labeled A through G. The "Settore *" section has a legend "1=I-1; 2=I-2; 3=I-3; 4=I-4" and four radio button options labeled 1 through 4. At the bottom, there are two more input fields labeled "Quadrato *" and "Numero *".

Fig. 51 - Isernia La Pineta. Scheda di scavo online su dispositivo mobile (foto G. Lembo).

Questa procedura offre inoltre garanzie per la compilazione di tutti i campi definiti come 'necessari' e controlla il formato dei dati di input e degli elenchi di valori per determinati campi. Una volta che l'archeologo ha registrato tutte le informazioni può inviare i dati che verranno memorizzati nel foglio di lavoro ad esso collegato.

Un identificatore unico viene generato automaticamente per ogni oggetto; il codice ha la seguente forma: S-Q-US-N, dove S è l'acronimo del settore di scavo, Q è il nome del quadrato, US lo strato ed N è il numero progressivo che è impostato a zero per ogni quadrato e strato.

Un'altra caratteristica interessante è quella di poter utilizzare il modulo nella lingua meglio conosciuta. Infatti gli scavi archeologici non solo comportano la presenza di professionalità di diverse discipline ma di solito coinvolgono persone di paesi differenti che parlano lingue diverse. Ecco quindi la possibilità di rendere disponibile in diverse lingue (italiano, inglese, spagnolo e francese) titoli, testi, etichette e elenchi a discesa, con conseguente riduzione degli errori.

La possibilità di rendere utilizzabili in tempo reale i dati acquisiti fa sì che si possano realizzare analisi statistiche che monitorino eventuali errori durante le fasi di scavo. Ad esempio un grafico di animazione, e cioè un grafico dinamico in cui sono visualizzate informazioni sull'andamento di vari indicatori lungo un periodo di tempo, può fornire indicazioni sul range dimensionale dei reperti, che può essere omogeneo o meno con quanto scavato e noto fino a quel momento; un'analisi di questo tipo può costituire pertanto uno strumento di verifica e controllo dei dati inseriti nella scheda online (Fig. 52).

Al foglio di calcolo, collegato al modulo di compilazione, si aggiungono i dati registrati dalla stazione totale che riguardano le coordinate topografiche dei reperti da cui scaturiscono anche l'orientamento e l'inclinazione degli oggetti (vedi Appendice 2).

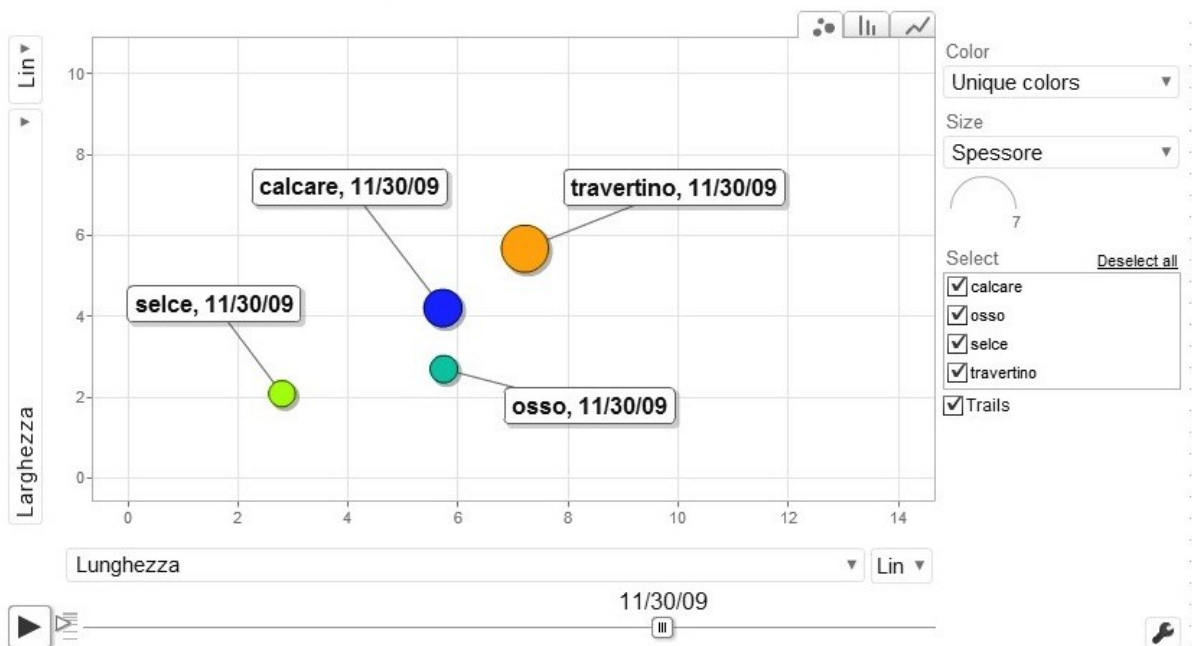


Fig. 52 - Esempio di grafico dinamico in rapporto alle tre dimensioni dei reperti, alla materia e al periodo di scavo (screenshot da <https://sites.google.com/site/isernialapineta/home>).

Per le porzioni di superficie che restano *in situ* è stata approntata un'altra procedura che fa riferimento alla realizzazione di modelli 3D acquisiti da semplici immagini fotografiche.

Esistono programmi (tra i quali Agisoft Photoscan Professional®) che consentono di ottenere immagini 3D da una serie di fotografie scattate con una comune fotocamera digitale. Senza dover collocare sul soggetto speciali marcatori e senza dover allineare centinaia di punti di riferimento manualmente (viene fatto in automatico), i risultati si possono definire pienamente soddisfacenti. In minima parte è merito della tecnologia digitale oggi disponibile a basso costo ma l'elemento fondamentale è l'estrema sofisticazione degli algoritmi del riconoscimento dell'immagine. Un modello 3D "navigabile" (che possa essere ruotato, scalato, spostato, orientato) è composto da una *mesh* (geometria 3D) e in alcuni casi, come in quello in oggetto, da una mappa di *texture* applicata alla *mesh*. Il procedimento di scansione sviluppato a partire da una serie di immagini produce una discreta *mesh* ed un'eccellente mappa di *texture* (la qualità di quest'ultima dipende dalle caratteristiche dell'apparecchio fotografico utilizzato) (Fig. 53).



Fig. 53 - Modello 3D costruito grazie alla tecnica della scansione da una serie di immagini (elaborazione grafica G Lembo).

Il risultato finale è quindi validissimo da un punto di vista visivo; l'accuratezza minima della *mesh* è sufficiente per la georeferenziazione (Fig. 54) e quindi per gli eventuali calcoli dei caratteri spaziali degli oggetti di scavo tramite il recupero delle coordinate spaziali (vedi appendice 2) o manualmente in ambiente CAD (Figg. 55-56).

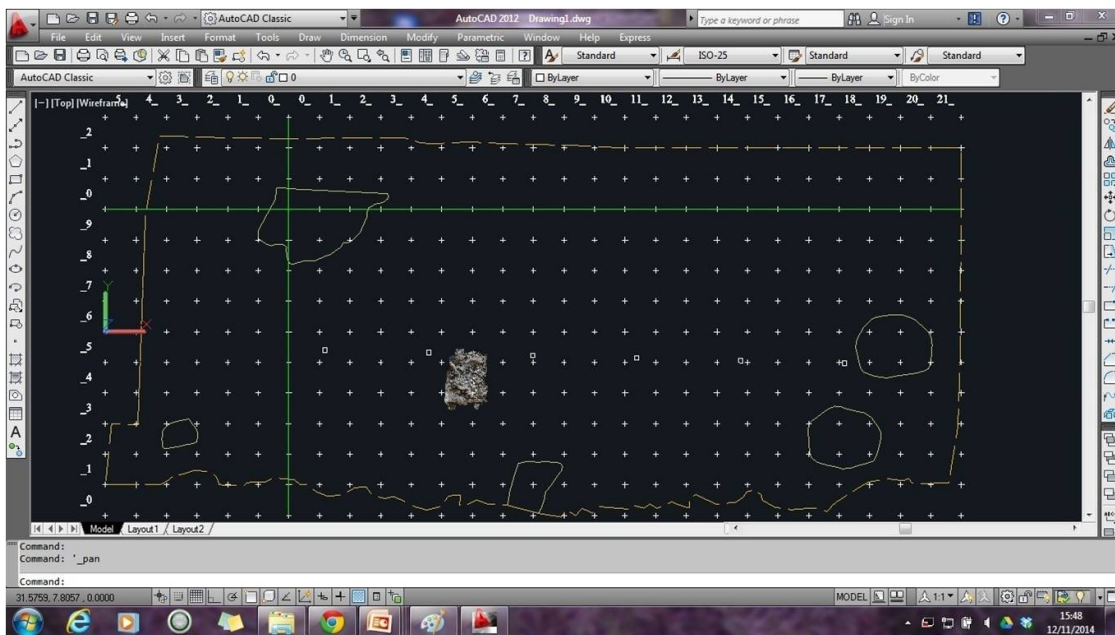


Fig. 54 - Georeferenziazione del modello 3D all'interno dell'area di scavo in ambiente CAD (elaborazione grafica G. Lembo).

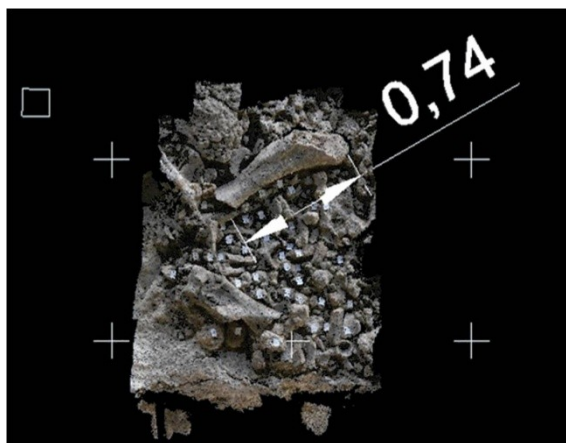


Fig. 55 - Acquisizione manuale della lunghezza di un oggetto in ambiente CAD (elaborazione G. Lembo).

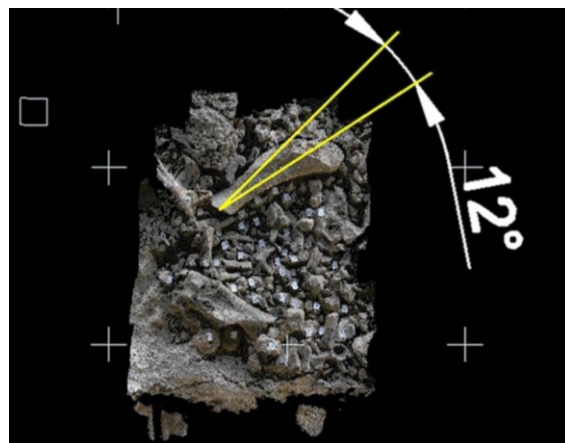


Fig. 56 - Acquisizione manuale dell'orientamento di un oggetto in ambiente CAD (elaborazione G. Lembo).

I modelli ottenuti sono inoltre ideali per la pubblicazione su siti web, per la divulgazione scientifica e per il rendering 3D. Questa tecnologia a basso costo, *software based*, che non richiede investimenti hardware (con il presupposto che fotocamere digitali siano già disponibili) offre la possibilità di riprendere pressoché qualsiasi materiale, di qualsivoglia dimensione, in qualsiasi condizione di illuminazione, in interni e in esterni, con i soli limiti imposti dall'ottica dell'apparecchio fotografico.

Tutti i dati alfanumerici confluiscono in un unico database che utilizza gli attuali sistemi di RDBMS (*Relational Data Base Management System*), in questo caso *Access* del pacchetto *Microsoft Office*. La scelta di questo *software* è stata dettata non solo dalle sue potenzialità di archiviazione, ma anche dalla sua capacità di creare relazioni tra le differenti tabelle, di uniformare le informazioni attraverso dei dizionari personalizzati e dagli infiniti tipi e combinazioni di interrogazioni. Il database si presenta costituito da tante tabelle quante sono le tipologie di schede utilizzate per la catalogazione del materiale (schede di scavo, schede studio per l'industria litica, schede studio per la fauna); ogni tabella contiene dei dati univoci ma che risultano in relazione tra loro. La relazione tra le diverse tabelle è resa possibile grazie al codice, un numero unico che rappresenta la chiave primaria di ogni record archeologico (Lembo, 2011) (Fig. 57).

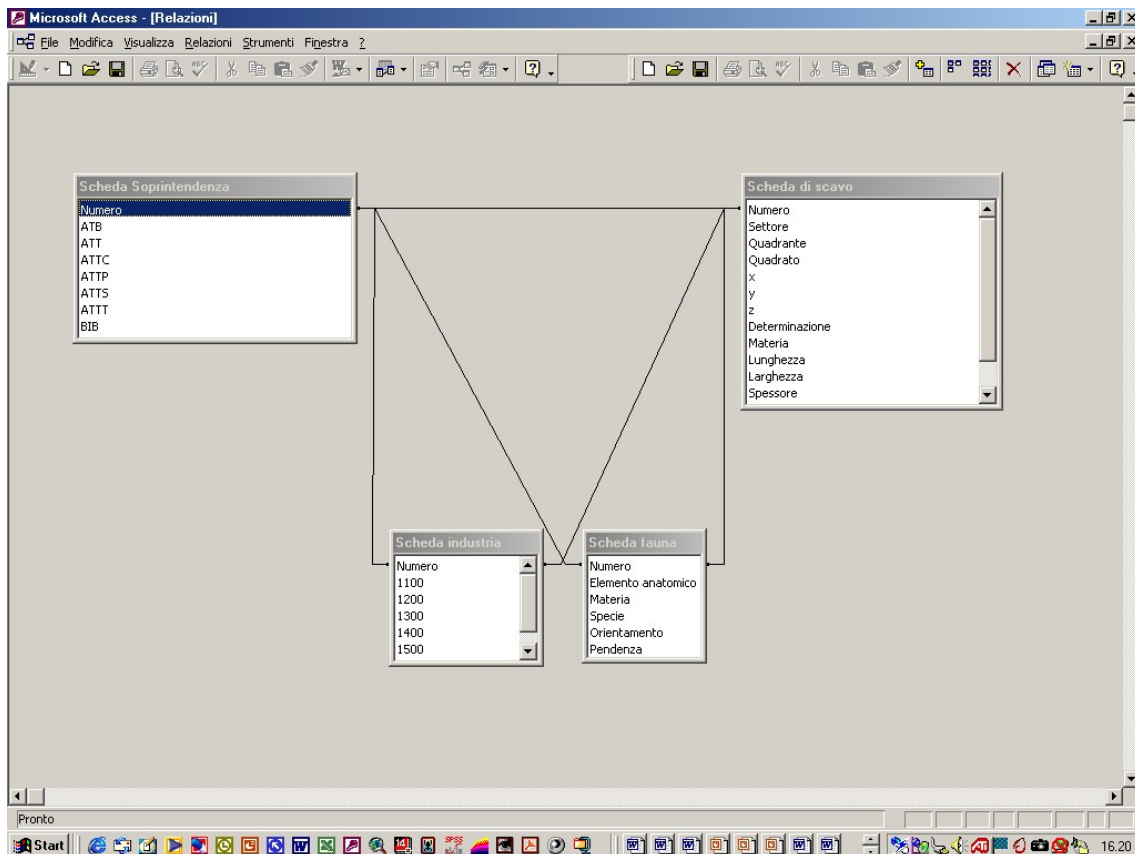


Fig. 57 - Isernia La Pineta. Struttura relazionale della banca dati (screenshot).

Il sistema di acquisizione delle planimetrie è stato rivisitato in modo da velocizzare le fasi di documentazione in fase di scavo, sempre piuttosto lunghe nei siti preistorici. È stato pertanto utilizzato il sistema della fotografia digitale ortorestituita, adattabile alle differenti condizioni di scavo, determinate dallo strato in oggetto, dal numero e dalla concentrazione dei reperti e dalle scelte di musealizzazione.

L'acquisizione digitale ha seguito le seguenti fasi:

- stabilita la superficie per la quale si ritiene necessario procedere al rilievo, si realizza la foto mediante fotocamera digitale; sulla superficie da rilevare sono preventivamente posizionati punti di controllo che corrispondono alla quadrettatura dello scavo o ad altri riferimenti metrici; questi ultimi devono comparire ai quattro angoli e al centro di ogni foto, la quale viene a coprire di solito 1 mq di superficie circa;
- trasferite nel computer le immagini ottenute con la fotocamera, si procede al loro trattamento con la modifica di luminosità, contrasto e dimensioni;

- le coordinate dei punti di controllo vengono registrate attraverso la stazione totale e importate in formato *.txt*;
- le fasi successive riguardano il raddrizzamento delle immagini e la realizzazione del fotomosaico digitale; le singole immagini digitali risultano deformate dalla lente della camera ed eventualmente dalla non perfetta verticalità del punto di ripresa e pertanto sono corrette geometricamente attraverso l'impiego di un software dedicato, RDF (Raddrizzamento Digitale Fotogrammetrico) che rappresenta un sistema di misurazione fotogrammetrico per effettuare una misurazione bidimensionale di ogni genere di oggetto. Il programma combina le possibilità dell'elaborazione digitale dell'immagine e la rappresentazione fedele in scala di tutti i tipi di piani. L'accuratezza della definizione dei parametri per la trasformazione proiettiva, e quindi il raddrizzamento, deve rispondere ai seguenti parametri:
 - regolarità dell'oggetto fotografato;
 - regolarità del mezzo di registrazione;
 - angolazione di ripresa (l'angolo della camera tra l'immagine ed il piano dell'oggetto non solo influisce sulla visibilità dell'oggetto, ma anche sull'allocazione delle informazioni dell'oggetto).

Una crescente definizione dell'immagine comporta un grado maggiore di accuratezza nel raddrizzamento, poiché è possibile un'allocazione più precisa dell'immagine e delle coordinate dell'oggetto. Un'immagine fotografica rappresenta una proiezione centrale il cui centro di proiezione è situato nell'obiettivo della camera. Le dimensioni dell'oggetto possono essere calcolate in base alle informazioni dei particolari, per esempio la conoscenza precisa dell'orientamento interno della fotocamera, la deviazione della direzione della macchina dalla linea di filo a piombo e la distanza dell'oggetto (orientamento esterno). L'orientamento interno di un fotogramma include:

- distanza focale;
- distorsione delle ottiche;
- posizione del punto principale.

La crescente irregolarità dell'oggetto, relativa al piano di riferimento, ed un crescente grado di deviazione della direzione della macchina dalla linea perpendicolare relativa al piano di riferimento, comportano nei punti dell'immagine lo spostamento in una posizione sempre più radiale. Nel caso di differenze maggiori nella regolarità, l'oggetto si presenta in scale diverse nell'immagine.

Per determinare i parametri della trasformazione proiettiva occorre un minimo di cinque punti di controllo, i cui valori sono importati dal file *.txt* scaricato dalla stazione totale (Fig. 58). Dopo aver definito i piani, il programma richiede che sia specificata l'area da raddrizzare (Fig. 59). Qui si può scegliere il piano corrispondente con l'immagine visualizzata secondo la sezione selezionata. L'importazione delle immagini raddrizzate avviene in ambiente CAD: l'immagine viene inserita all'interno del quadrato corrispondente assegnando ad almeno 2 vertici della foto le sue esatte coordinate prese dal file della stazione totale (Fig. 60); in questo modo si realizza il fotomosaico (Fig. 61), pronto per la digitalizzazione dei resti archeologici.

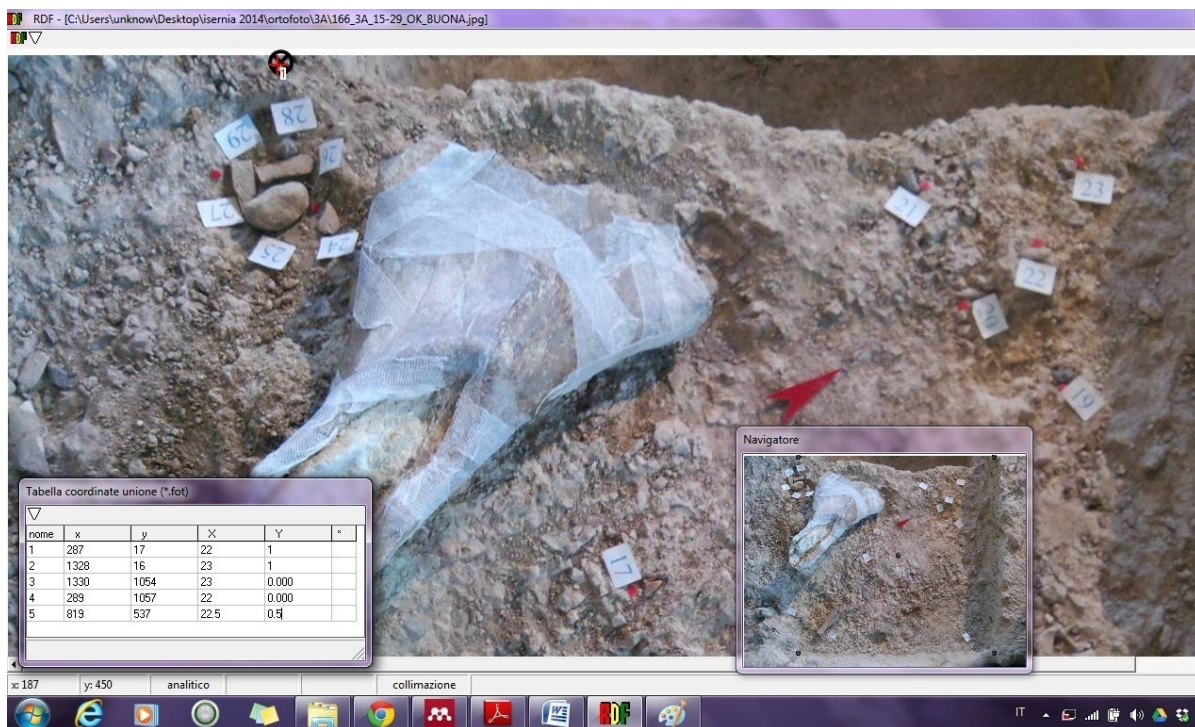


Fig. 58 - Isernia La Pineta. Definizione dei punti di controllo e immissione delle coordinate per il raddrizzamento dell'immagine in RDF (screenshot).

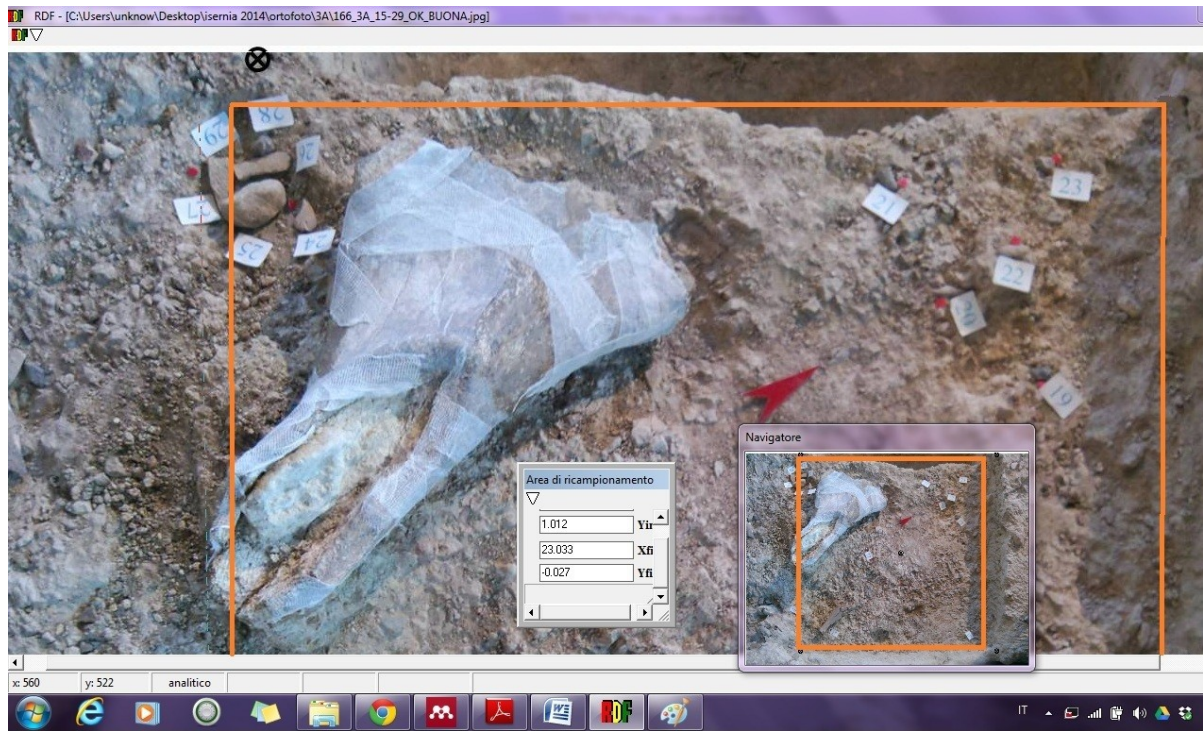


Fig. 59 - Isernia La Pineta. Determinazione dell'area di raddrizzamento dell'immagine digitale in RDF (screenshot).

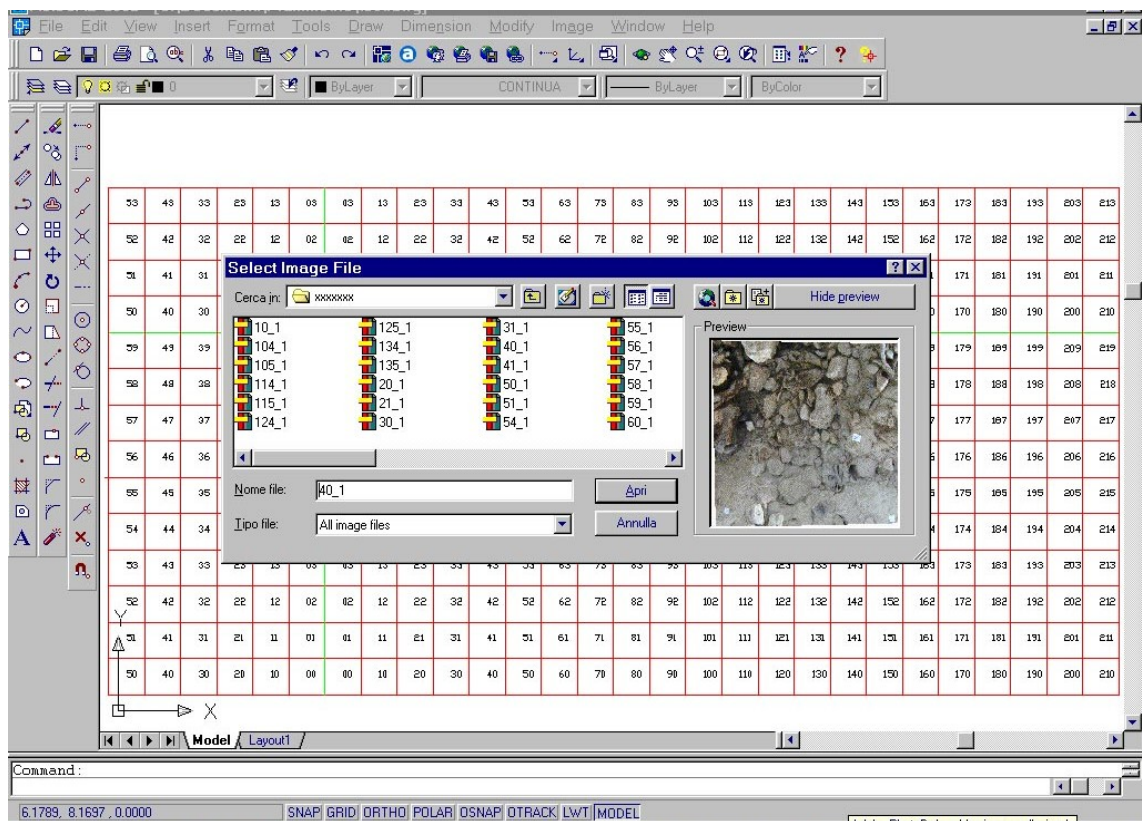


Fig. 60 - Isernia La Pineta. Immissione dell'immagine raddrizzata in ambiente CAD (screenshot).

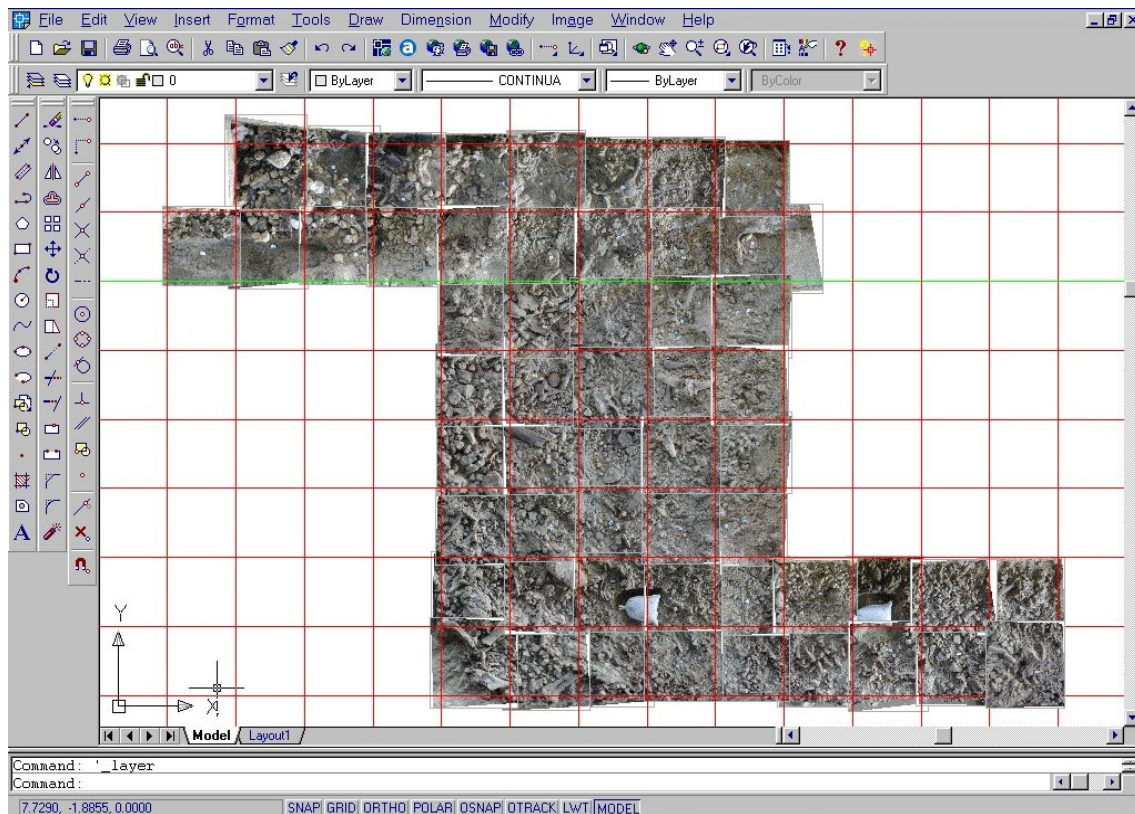


Fig. 61 - Isernia La Pineta. Fotomosaico realizzato in ambiente CAD, relativo ad una porzione del livello archeologico 3a (screenshot).

Questa soluzione informatica si è rivelata estremamente rapida e appropriata per la documentazione dei livelli archeologici di Isernia La Pineta. Il trattamento dei dati, di cui si è discusso in questo capitolo, è convogliato in un GIS che ha consentito numerose analisi.

L'applicazione di questi differenti metodi è risultata soddisfacente per il raggiungimento degli obiettivi prefissati. I tempi di documentazione durante le fasi di scavo sono state notevolmente velocizzati e i margini di errore, legati al disegno manuale e al trasferimento anch'esso manuale dei dati alfanumerici, considerevolmente ridotti.

3.3 I risultati

Le analisi spaziali sono state sviluppate grazie alla catalogazione e successiva informatizzazione di 45.353 reperti suddivisi per i rispettivi strati di ritrovamento (Tab. 2).

Strati	Osso	Selce	Calcicare	Travertino	Totale
3c	707	541	138	102	1488
3a	8372	2443	2376	8212	21403
3coll	6815	6303	1091	777	14986
3s6-9	2866	2059	534	321	5780
3s1-5	1045	624	27	-----	1696
Totale	19805	11970	4166	9412	45353

Tabella 2 - Tabella riassuntiva dei reperti catalogati in rapporto agli strati e alla materia (elaborazione grafica G. Lembo).

Gli altri reperti individuati e studiati come vaglio non sono stati analizzati a livello informatico; si tratta dei reperti esclusi dall'analisi perché di piccole dimensioni (ossa al di sotto dei 2,5 cm di lunghezza, selce 1,0 cm, calcicare 2 cm e travertino 4 cm), purché non significativi.

Lo strato designato con la sigla 3c è stato fino ad oggi esplorato all'interno del I settore di scavo, in differenti anni di intervento (1980, 1982, 1993), su una superficie di circa 52 mq (Fig. 62) (Gallotti and Peretto, 2014). I reperti poggiano sul piano di erosione che tronca il paleosuolo e altera il travertino e sono inglobati in una matrice sabbiosa di colore rossastro, a tratti cementata, dello spessore, seppur variabile, di alcuni centimetri (Cremaschi and Peretto, 1988). Il livello archeologico è dislocato da una serie di fratture che corrono parallele tra loro, già presenti alla messa in posto dei reperti, che hanno continuato la loro attività anche dopo il suo seppellimento e che possono essere attribuite o all'attività tettonica sempre attiva nella zona o ai movimenti di assestamento del

travertino sottostante (Giusberti *et al.*, 1983). Questa attività neotettonica ha in alcuni casi compromesso l'integrità dei reperti ossei, fratturandoli e dislocandoli; in altri casi ha danneggiato intere zone per un'estensione anche di alcuni mq (Fig. 63).

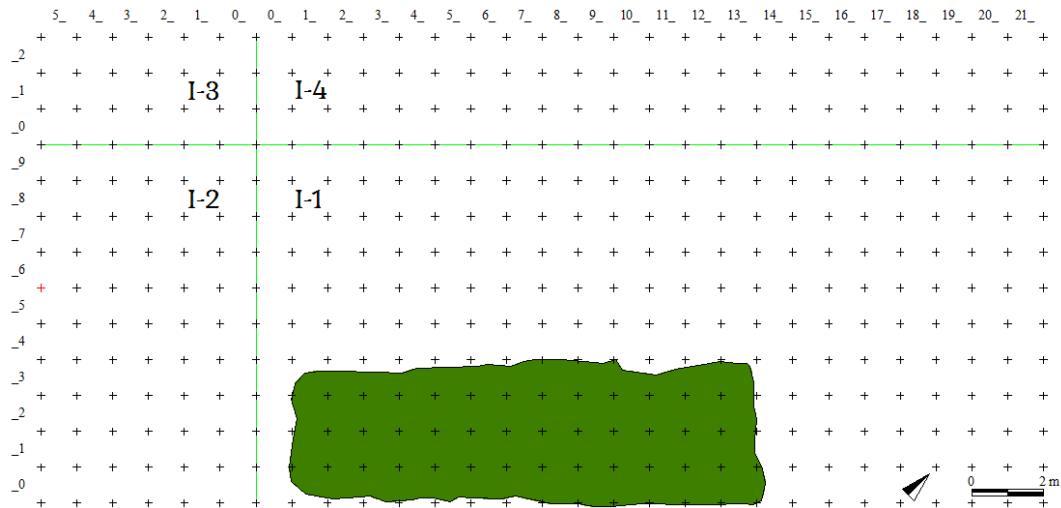


Fig. 62 - Isernia La Pineta, Settore I. Area esplorata dello strato 3c (elaborazione grafica G. Lembo).



Fig. 63 - Isernia La Pineta, Settore I-1, quadrati 50-53/130-133, strato 3c. Si possono notare le deformazioni dovute prevalentemente a fenomeni tettonici che hanno provocato infossamenti e basculamenti (foto A. Guerreschi).

Là dove l'erosione ha inciso il travertino, i reperti poggiano su di esso con un andamento monogranulare; in quelle aree nelle quali sono evidenti tasche di "Terre Rosse", i resti sono distribuiti in uno spessore decimetrico di sedimento argilloso. Questo fenomeno è maggiormente evidente in corrispondenza di quelle faglie che hanno interessato più di altre il livello archeologico (Peretto *et al.*, 1999). In questi ultimi casi i reperti sono distribuiti in profondità in tutto lo spessore delle argille.

I resti rinvenuti in questo livello ammontano a 1488, di cui 707 resti faunistici, 541 resti in selce, 138 sono reperti in calcare, 102 reperti in travertino (Fig. 64).

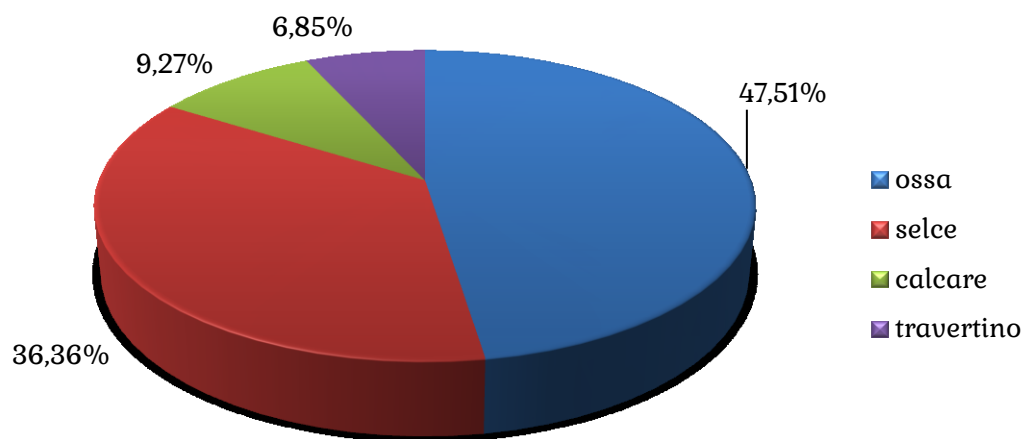


Fig. 64 - Isernia La Pineta, strato 3c. Frequenza dei resti rinvenuti considerati per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo).

Per quanto riguarda i resti paleontologici, sono stati evidenziati fenomeni riconducibili all'intervento dell'attività antropica, come tracce di fratturazione intenzionale e scarnificazione rappresentate da morfotipi caratteristici. Sono stati riscontrati anche fenomeni di alterazione e abrasione probabilmente riconducibili all'importante attività tettonica e al peso dei sedimenti soprastanti, più che ad un'attività idrica. Di 73 reperti è stata identificata la specie (Anconetani *et al.*, 1996). Si possono riconoscere (Figg. 65-67):

- i cervidi: sono le specie meglio rappresentate con il 36,99%; numerose le diafisi, i palchi e i metacarpi;

- l'elefante costituisce il 20,55% dell'insieme delle specie determinate, presente soprattutto con diafisi e qualche frammento di dente;
- il bisonte ha una frequenza del 16,44%; frequenti i denti isolati, i frammenti di diafisi, mentre sono assenti i resti cranici, anche frammentari;
- l'orso costituisce il 12,33% ed è rappresentato soprattutto da denti isolati;
- il rinoceronte rappresenta l'10,96% dell'insieme ed è documentato soprattutto dalla presenza di denti isolati ed alcuni frammenti cranici e diafisari;
- l'ippopotamo rappresenta la specie meno rappresentata con il 2,74%; sono presenti alcuni resti dentari.

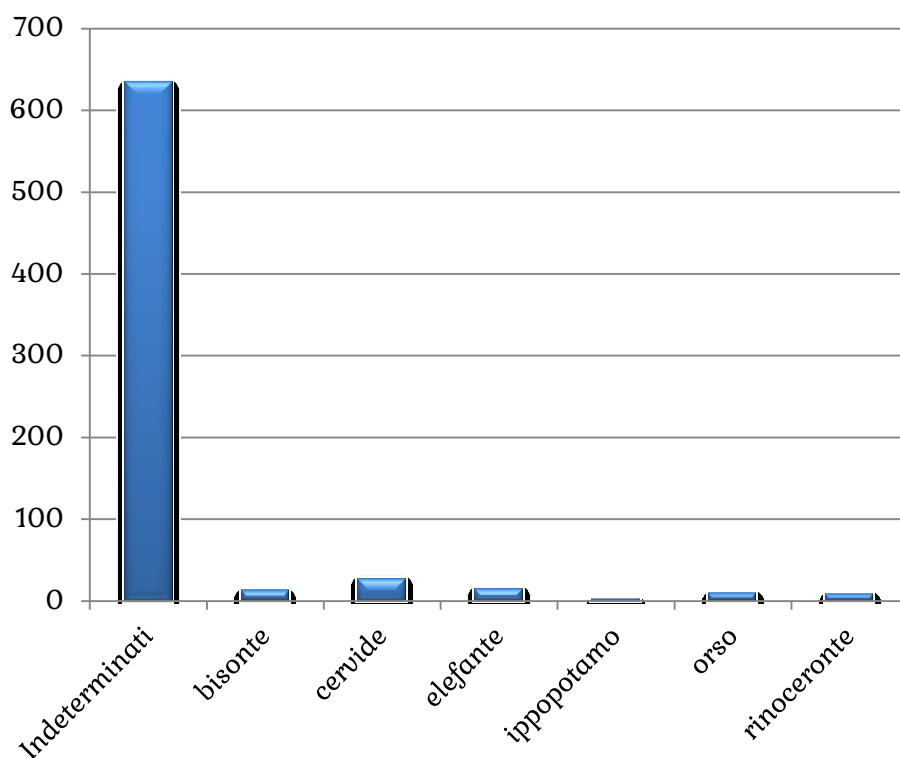


Fig. 65 - Isernia La Pineta, strato 3c. Frequenza dei reperti faunistici individuati (elaborazione grafica G. Lembo).

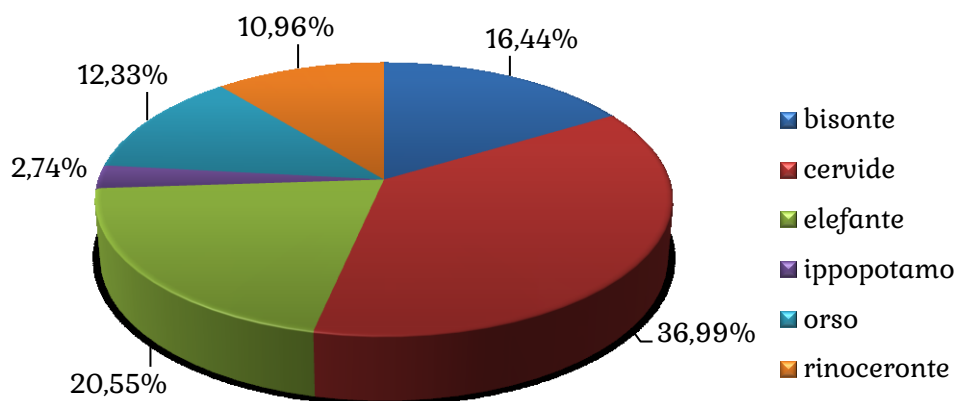


Fig. 66 - Isernia La Pineta, strato 3c. Frequenza dei reperti faunistici determinati (elaborazione grafica G. Lembo).

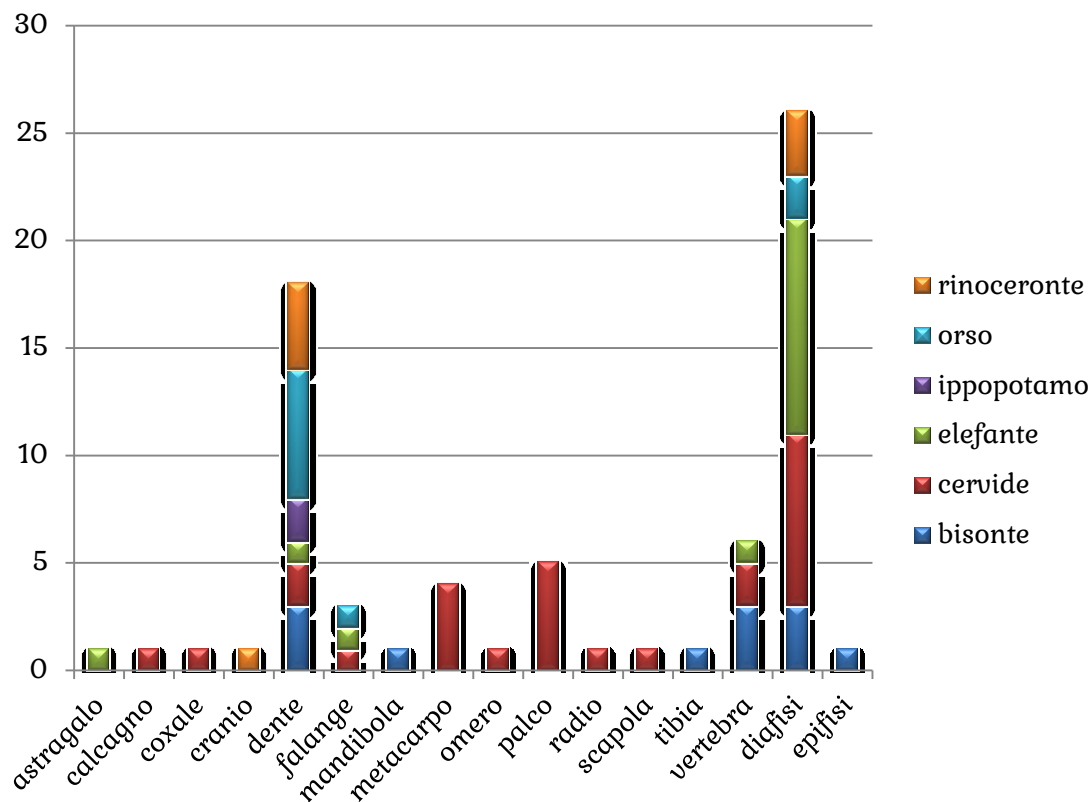


Fig. 67 - Isernia La Pineta, strato 3c. Frequenza degli elementi anatomici determinati (elaborazione grafica G. Lembo).

Dei 676 reperti litici catalogati solo 350 (319 in selce e 39 in calcare) costituiscono il risultato dell'attività antropica e sono classificati in nuclei, schegge, strumenti e frammenti indeterminati (Gallotti and Peretto, 2014) (Figg. 68-69).

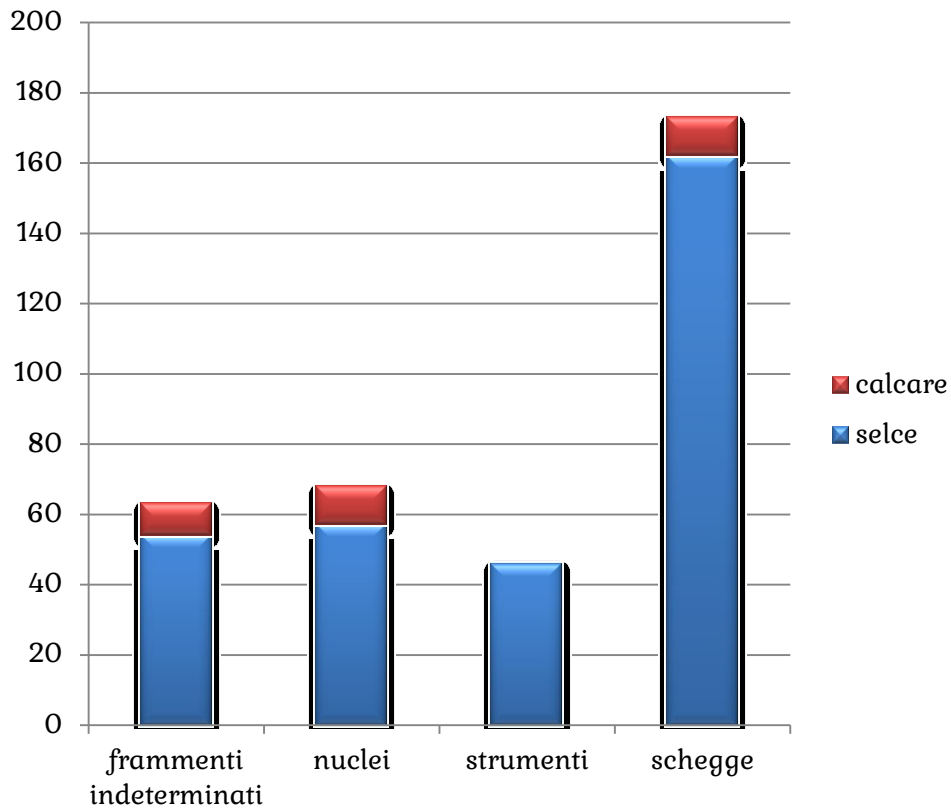


Fig. 68 - Isernia La Pineta, strato 3c. Struttura tipologica dell'industria litica (elaborazione grafica G. Lembo).

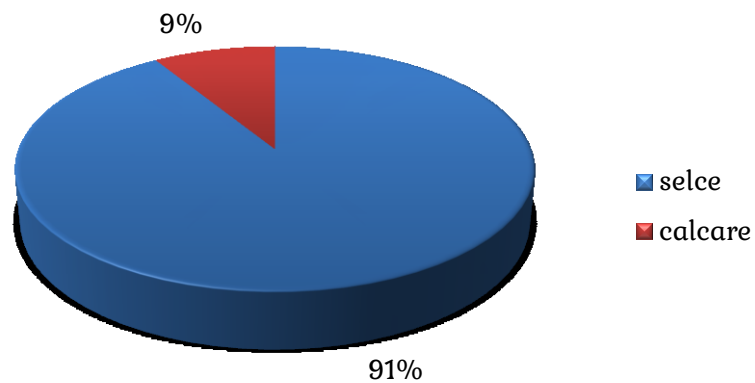


Fig. 69 - Isernia La Pineta, strato 3c. Rapporto quantitativo tra l'industria in selce e in calcare (elaborazione grafica G. Lembo).

Il livello archeologico 3a del I Settore, il più ricco tra quelli individuati a Isernia La Pineta, è stata indagato su un'estensione di circa 200 mq (Fig. 70). Esso è caratterizzato da un'enorme quantità di reperti, distribuiti in alcuni punti in forti sovrapposizioni. Una parte è stata studiata e restaurata in posto ed è attualmente

visibile all'interno del padiglione che copre lo scavo del I settore (Fig. 71), mentre un'altra porzione è stata scavata nella sua interezza, asportata e in parte musealizzata in una sala del Museo Paleolitico di Isernia (Fig. 72).

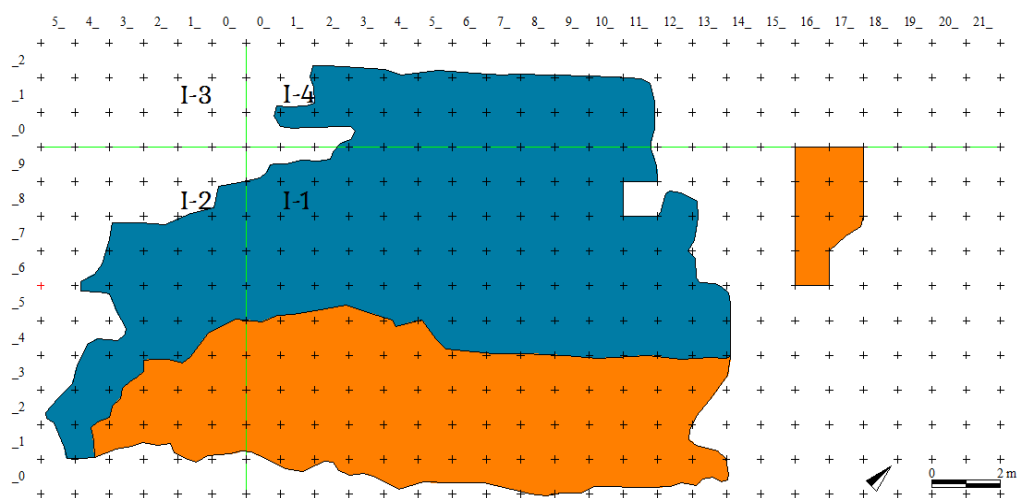


Fig. 70 - Isernia La Pineta, strato 3a, I Settore. In arancio: area asportata e in parte musealizzata; in azzurro: area in posto, attualmente visibile all'interno del padiglione degli scavi (elaborazione grafica G. Lembo).



Fig. 71 - Isernia La Pineta. Vista generale dello strato 3a all'interno del padiglione di scavo (foto di C. Peretto).



Fig. 72 - Museo Paleolitico di Isernia. Veduta dello strato 3a musealizzato (foto di C. Peretto).

I resti rinvenuti nel 3a ammontano a 21403, di cui 2376 sono resti in calcare, 2443 sono reperti in selce, 8372 resti paleontologici e 8212 resti in travertino; questi ultimi non presentano alcuna traccia di utilizzazione o modificazione intenzionale (Fig. 73).

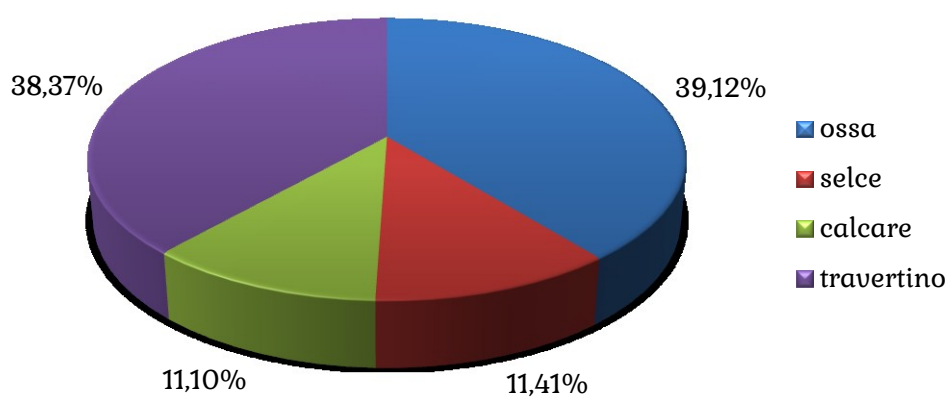


Fig. 73 - Isernia La Pineta, strato 3a. Frequenza dei resti rinvenuti considerati per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo).

Come per lo strato 3c anche i reperti faunistici del livello archeologico 3a presentano fenomeni di fratturazione intenzionale e scarnificazione. Degli 8372 ne sono stati determinati 2225 (Anconetani *et al.*, 1996) (Figg. 74-76):

- il bisonte è la specie più rappresentata ha una frequenza pari al 50,43%; frequenti le vertebre e i crani, molti dei quali ancora integri;
- i cervidi, al contrario dello strato 3c, hanno una frequenza bassa (solo il 3,82%); frequenti soprattutto palchi e diafisi;
- l'elefante costituisce il 19,42% dell'insieme delle specie determinate, rappresentato soprattutto da denti, coste e diafisi;
- l'ippopotamo è rappresentato da pochissimi i resti (0,45%), perlopiù denti;
- l'orso, che costituisce il 5,66 %, è rappresentato soprattutto da denti isolati e mandibole;
- il rinoceronte rappresenta il 20,13% dell'insieme ed è documentato soprattutto dalla presenza dello scheletro craniale (frammenti di cranio, mandibole e denti);
- i suidi sono rappresentati esclusivamente da 2 reperti (0,09%).

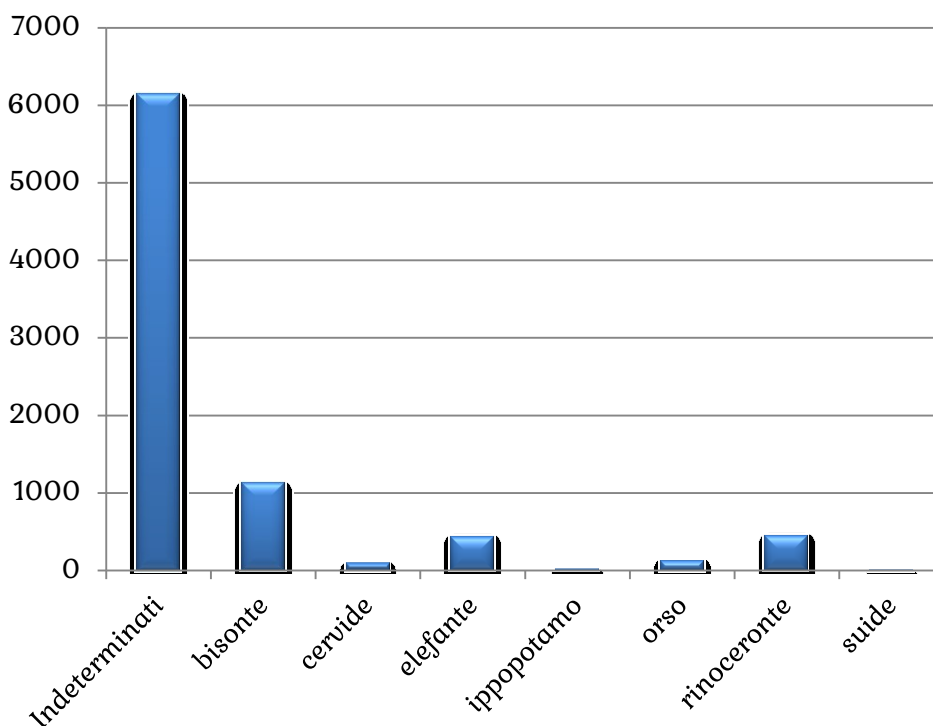


Fig. 74 - Isernia La Pineta, strato 3a. Frequenza dei reperti faunistici individuati (elaborazione grafica G. Lembo).

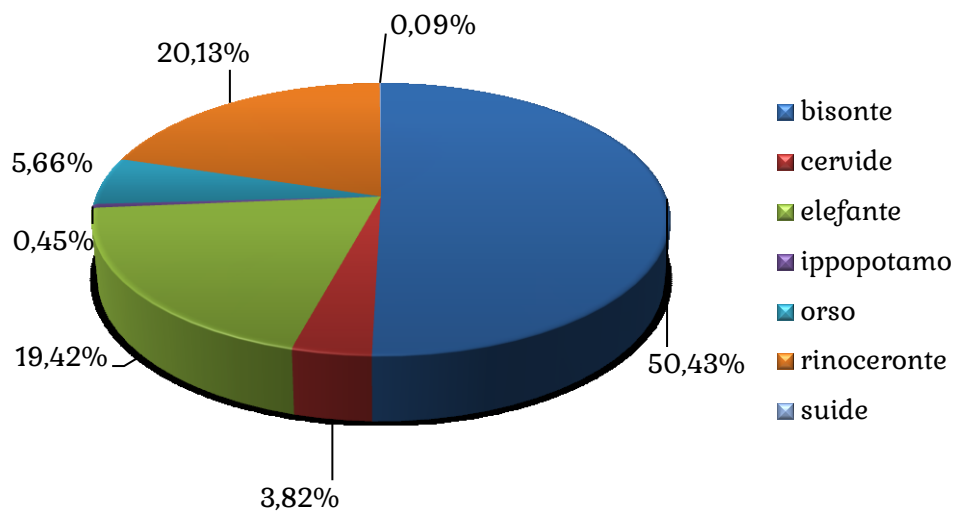


Fig. 75 - Isernia La Pineta, strato 3a. Frequenza dei reperti faunistici determinati (elaborazione grafica G. Lembo).

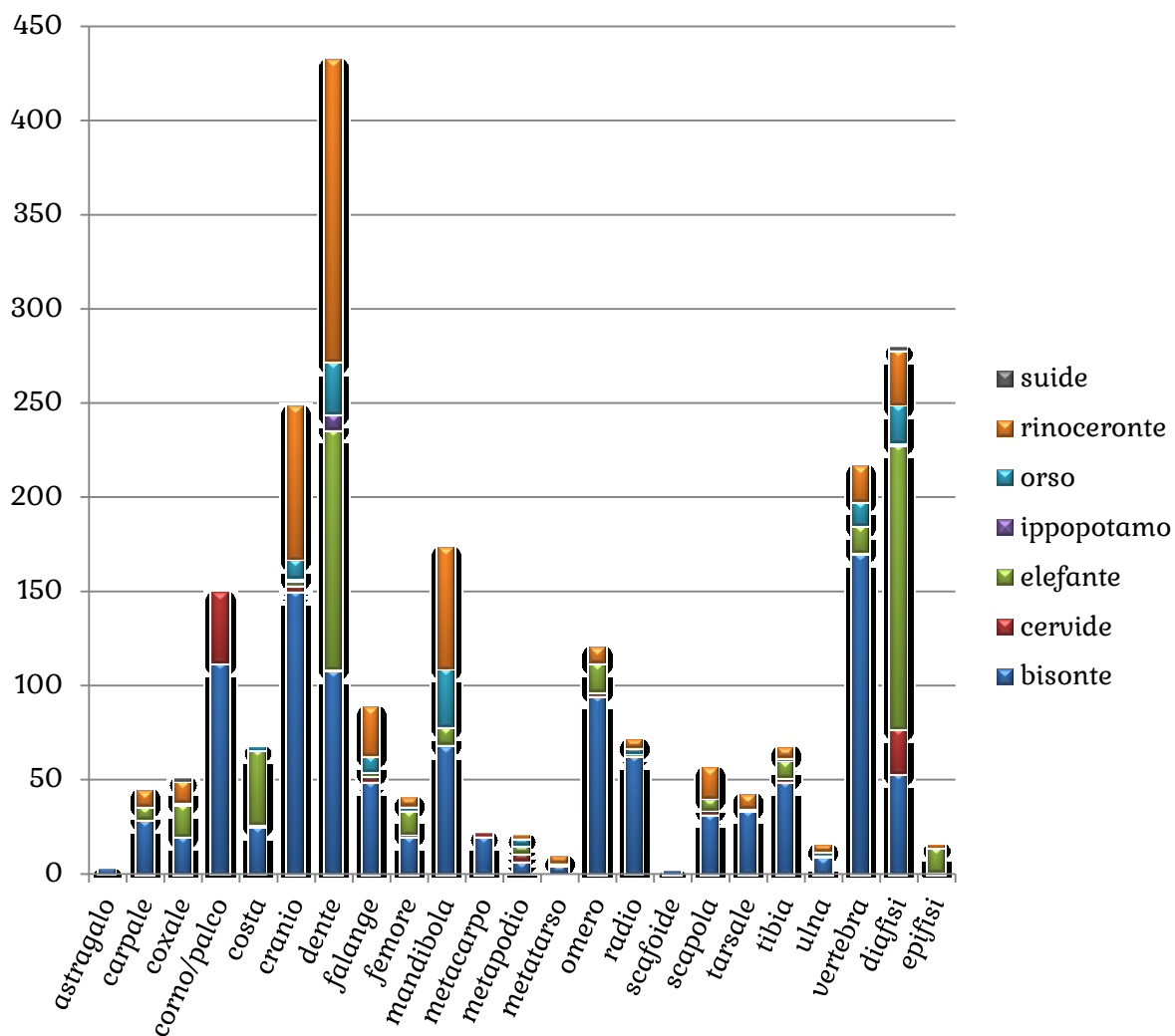


Fig. 76 - Isernia La Pineta, strato 3a. Frequenza degli elementi anatomici determinati (elaborazione grafica G. Lembo).

Dei 4819 reperti litici catalogati 2234 (1762 in selce e 472 in calcare) costituiscono l'industria litica e sono classificati in chopper core, nuclei, schegge, strumenti e *debris* (Figg. 77-78).

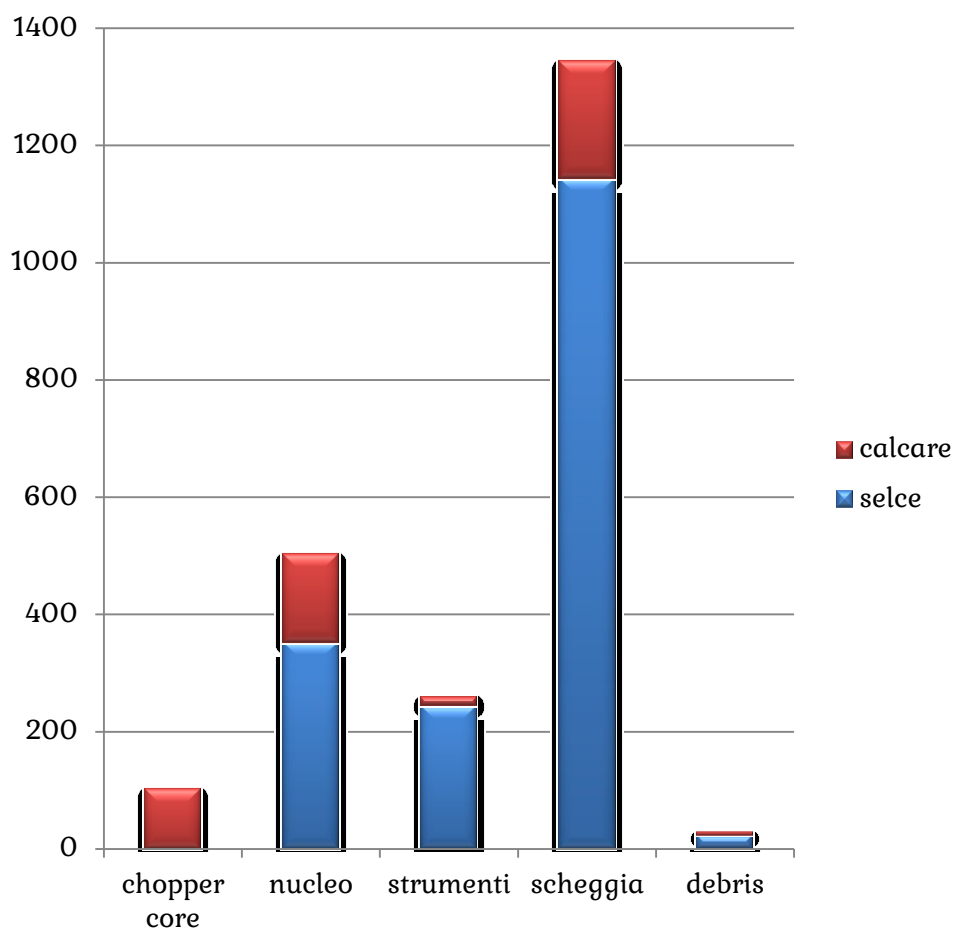


Fig. 77 - Isernia La Pineta, strato 3a. Struttura tipologica dell'industria litica (elaborazione grafica G. Lembo).

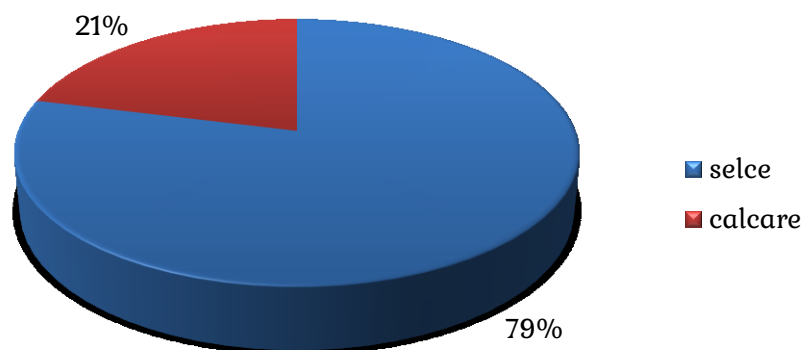


Fig. 78 - Isernia La Pineta, strato 3a. Rapporto quantitativo tra l'industria in selce e in calcare (elaborazione grafica G. Lembo).

Per quanto riguarda gli strati superiori, 3 colluvio (Fig. 79), 3s6-9 (Fig. 80) e 3s1-5 (Fig. 81), si è potuto stabilire solo il rapporto quantitativo tra i diversi materiali recuperati (Figg. 82-84) in quanto sia le analisi sui reperti faunistici che quelle sui reperti litici sono tuttora in corso di studio.

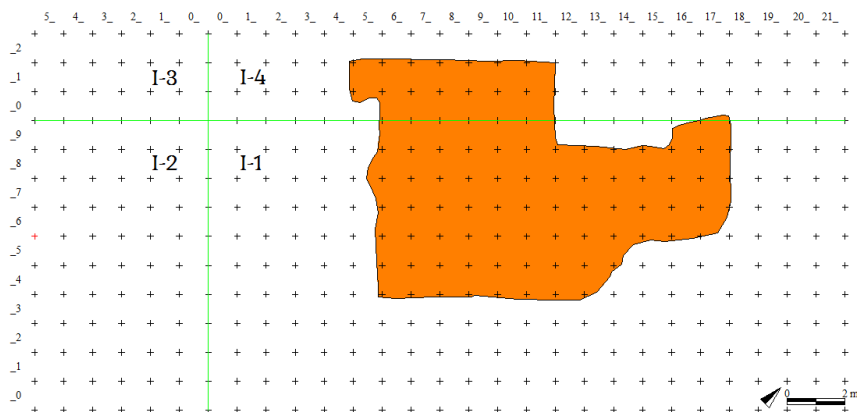


Fig. 79 - Isernia La Pineta, 3 colluvio, I Settore. Estensione dell'area indagata (elaborazione grafica G. Lembo).

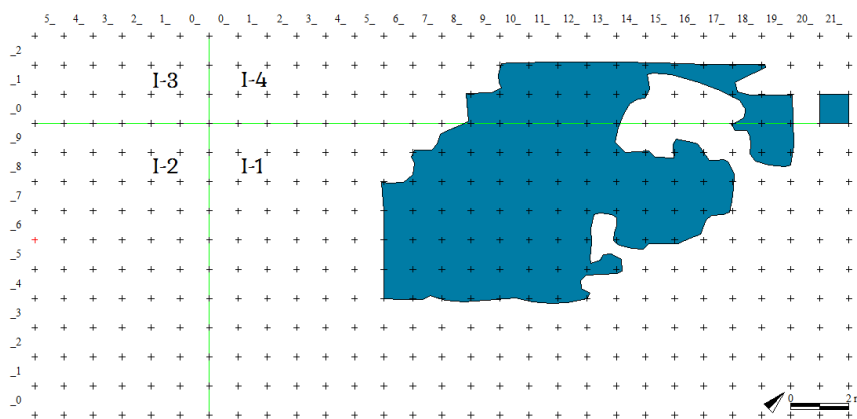


Fig. 80 - Isernia La Pineta, 3s6-9, I Settore. Estensione dell'area indagata (elaborazione grafica G. Lembo).

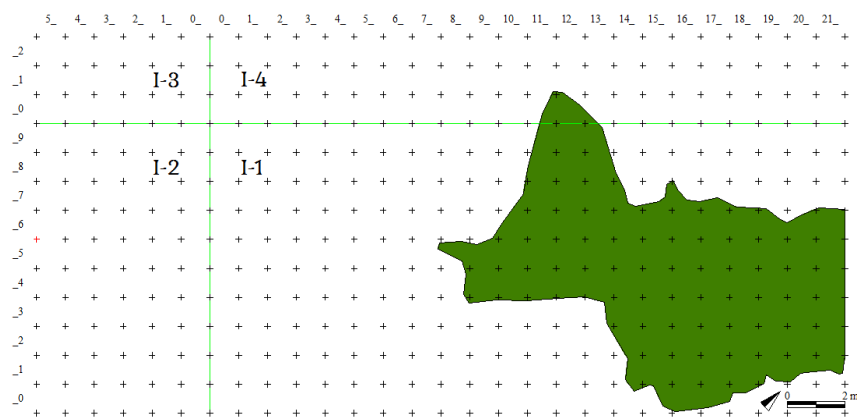


Fig. 81 - Isernia La Pineta, 3s1-5, I Settore. Estensione dell'area indagata (elaborazione grafica G. Lembo).

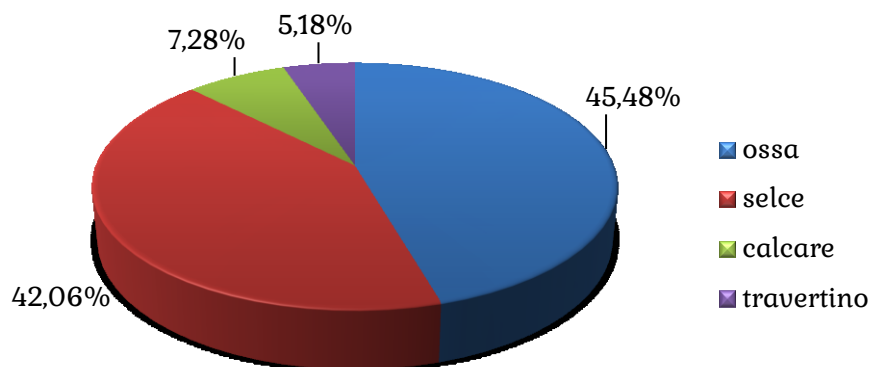


Fig. 82 - Isernia La Pineta, strato 3 colluvio. Frequenza dei resti rinvenuti suddivisi per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo).

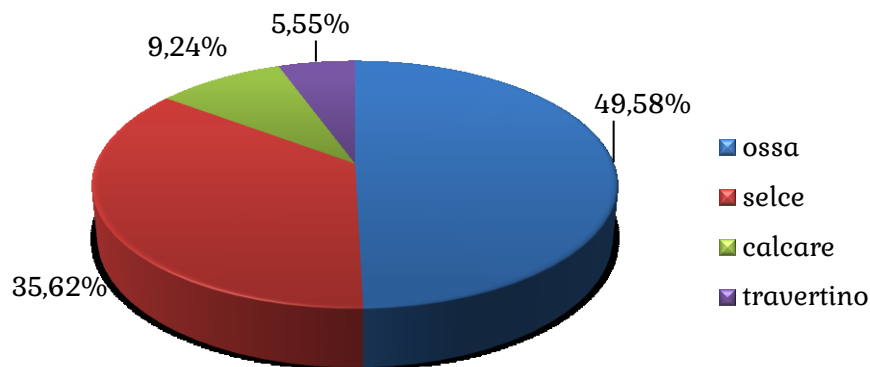


Fig. 83 - Isernia La Pineta, strato 3s6-9. Frequenza dei resti rinvenuti suddivisi per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo).

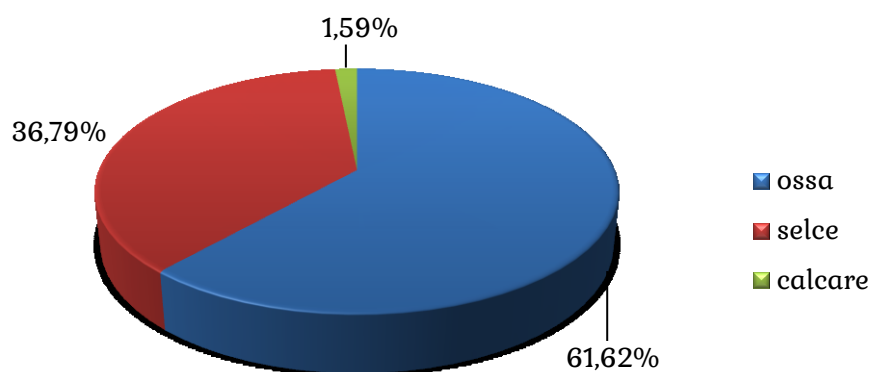


Fig. 84 - Isernia La Pineta, strato 3s1-5. Frequenza dei resti rinvenuti suddivisi per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo).

Associando le informazioni alfanumeriche a quelle grafiche è possibile eseguire qualsiasi tipo di interrogazione e di selezione sui campi del database. Si è così proceduto nel predisporre numerose mappe tematiche, visualizzando le evidenze rinvenute nelle archeosuperfici e nei vari strati, considerate sia singolarmente che in associazione con ogni altro tipo di informazioni e selezioni tematiche (Lembo and Peretto, 2012). La creazione delle piante tematiche è stata realizzata in QGIS■ attraverso il visualizzatore Categorizzato (Fig. 85) che viene usato per visualizzare tutti gli elementi di un vettore, dove il colore di un simbolo singolo riflette i valori di un determinato attributo. Il menu Stile permette quindi di scegliere l'attributo, il simbolo e il colore ("QGIS User Guide," 2015).

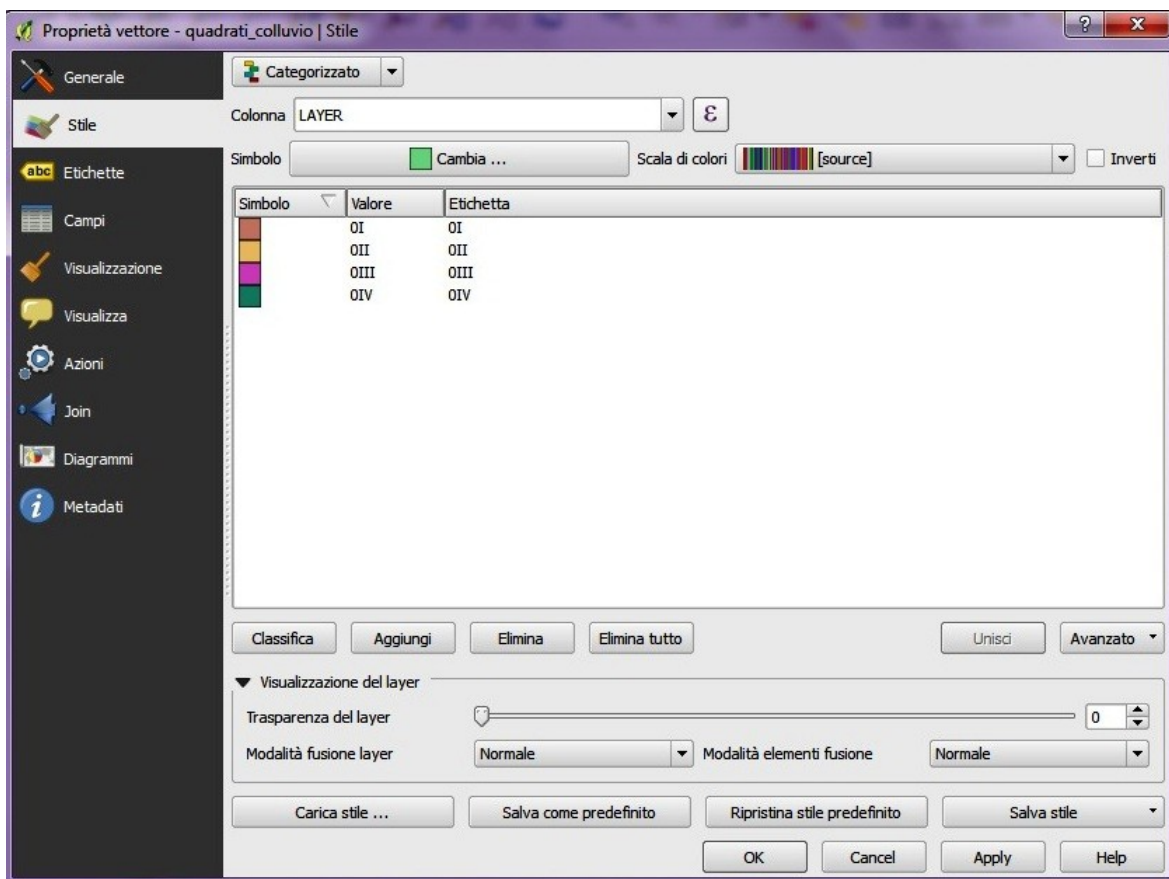


Fig. 85 - Finestra di dialogo simbologia categorizzata (screenshot di QGIS).

Anche per lo sviluppo delle mappe di frequenza, tramite il procedimento del *Quadrat count method*, è stato utilizzato il software QGIS■. Dopo aver creato in Access® una query a campi incrociati in cui scegliere il campo da cui trarre i valori da usare come intestazioni di righe (nel nostro caso il campo definito 'quadrato' riferito ai quadrati di scavo di 1m x 1m in cui è suddivisa l'area di

scavo) e successivamente il campo da cui trarre i valori da utilizzare da intestazioni di colonne (da scegliere tra gli elementi che si vogliono analizzare), associando in QGIS le informazioni alfanumeriche con il disegno vettoriale è possibile sviluppare tramite il visualizzatore Graduato (Fig. 86) le mappe di frequenza. Il visualizzatore Graduato rende visibile tutti gli elementi del vettore tramite un unico simbolo con i colori che riflettono la classificazione in classi dell'attributo scelto e la possibilità di specificare il numero di classi e la modalità di classificazione degli elementi. Si hanno a disposizione i seguenti tipi di classificazione ("QGIS User Guide," 2015):

- *Equal Interval*
- *Quantile*
- *Natural Breaks (Jenks)*
- *Standard Deviation*
- *Pretty Breaks*

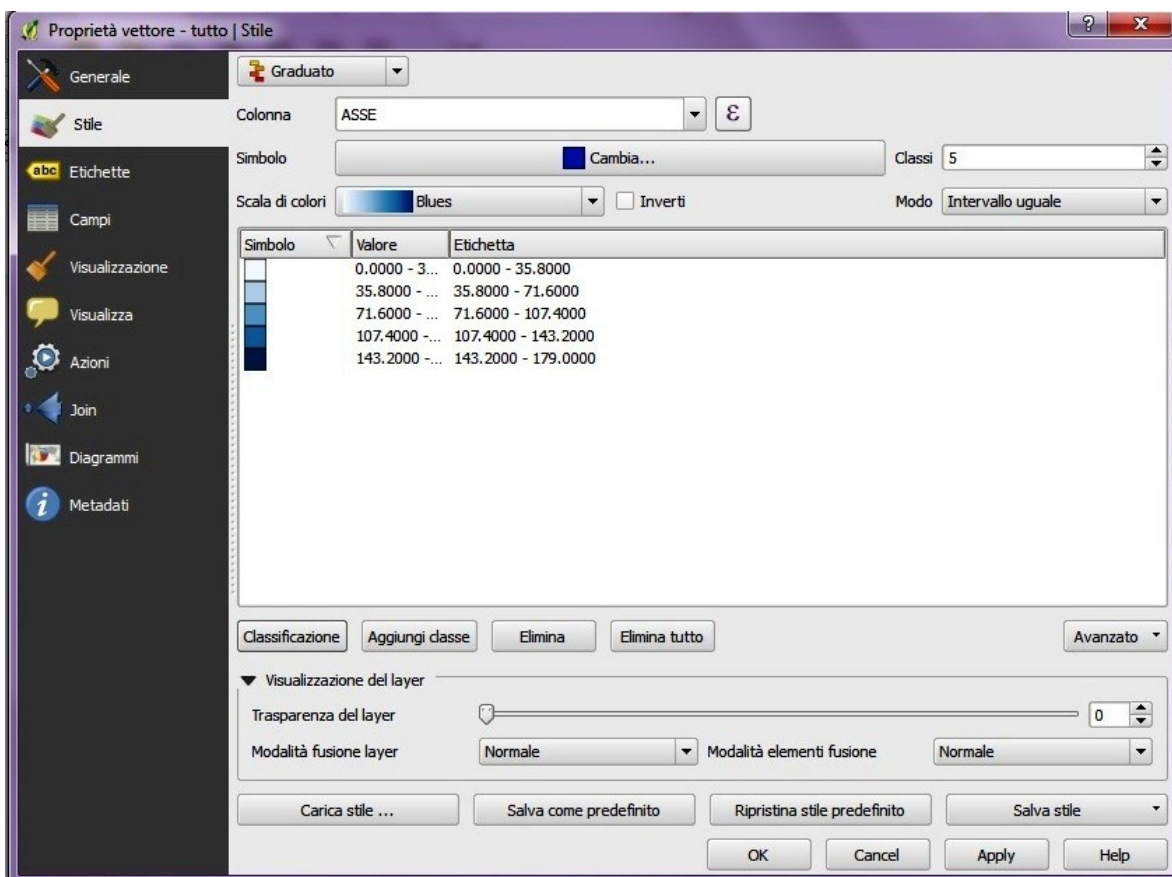


Fig. 86 - Finestra di dialogo simbologia graduato (screenshot di QGIS).

Inoltre con il menu Diagrammi si possono sovrapporre diagrammi al vettore (grafici a torta, diagrammi di testo e istogrammi) (Fig. 87). La dimensione dei diagrammi è basata su una scala fissa oppure in base a un attributo ("QGIS User Guide," 2015).

Le analisi di densità (2D e 3D) sono state sviluppate con Voxler® (vedi Appendice 1).

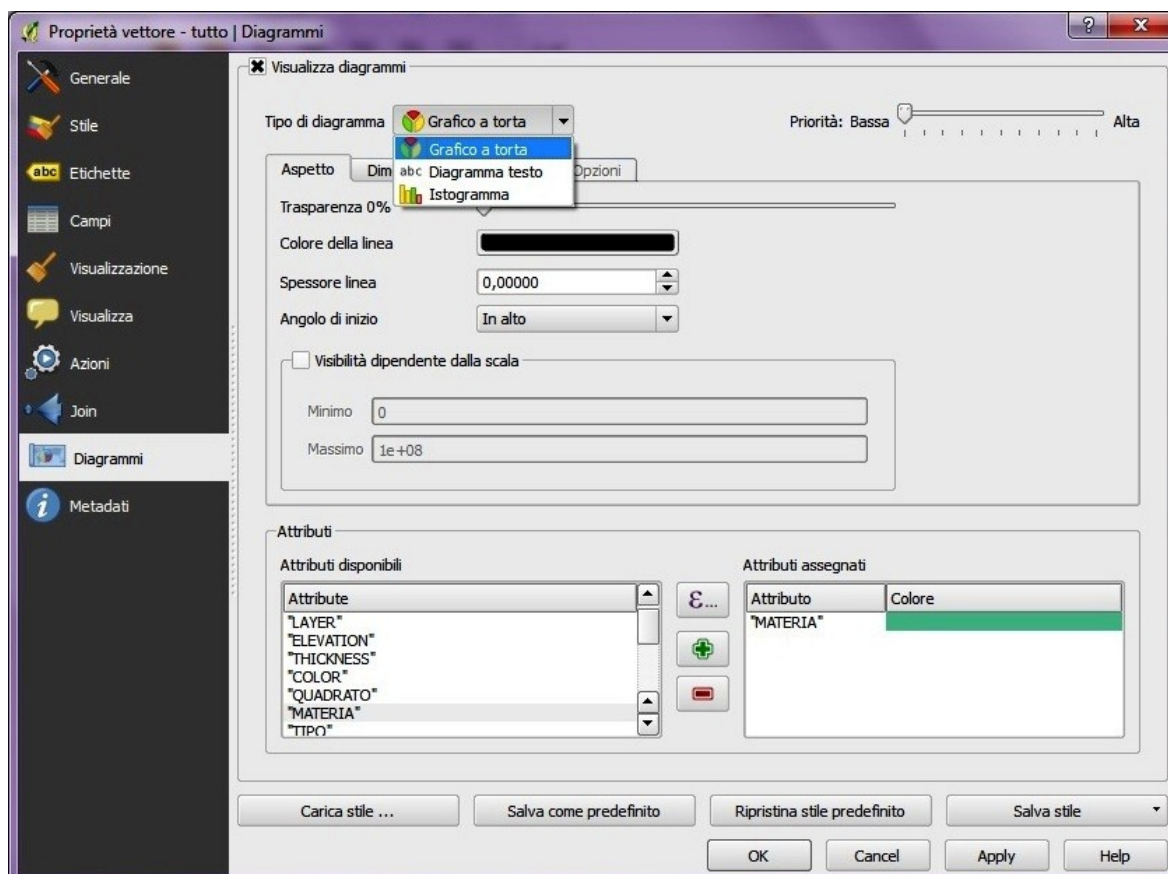


Fig. 87 - Finestra di dialogo simbologia graduato (screenshot di QGIS).

Per quanto riguarda lo strato 3c i fenomeni di ordine geologico sopradescritti (cap. 3.1.2), che hanno notevolmente disturbato il trend spaziale dei reperti, in particolar modo nella parte centrale e orientale dell'area indagata, unitamente alla porzione relativamente poco estesa del livello archeologico, hanno reso inapplicabile l'elaborazione spaziale particolareggiata. La distribuzione dei reperti, sarà, quindi, affidata alla semplice visualizzazione tematica delle planimetrie (Figg. 88-91).

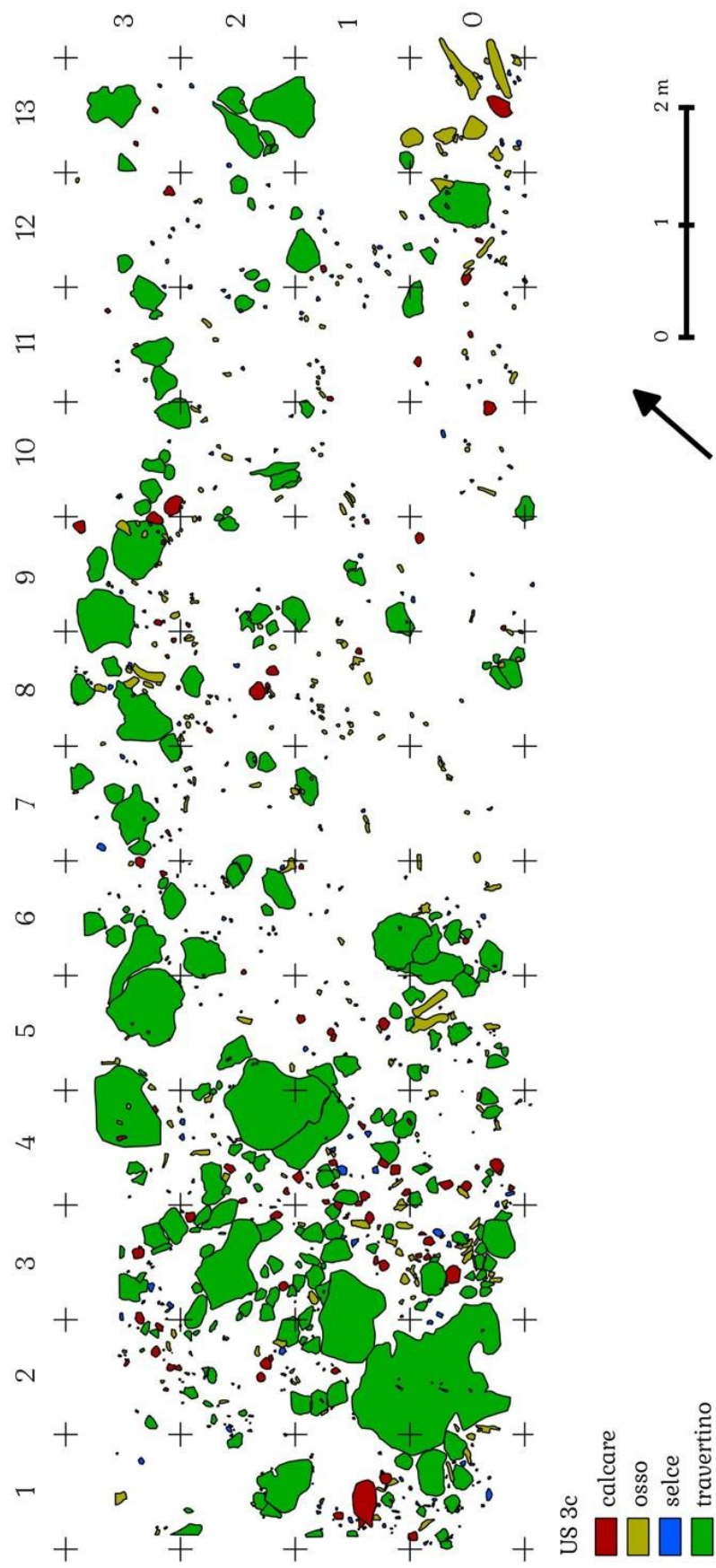


Fig. 88 - Isernia La Pineta, strato 3c. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo).

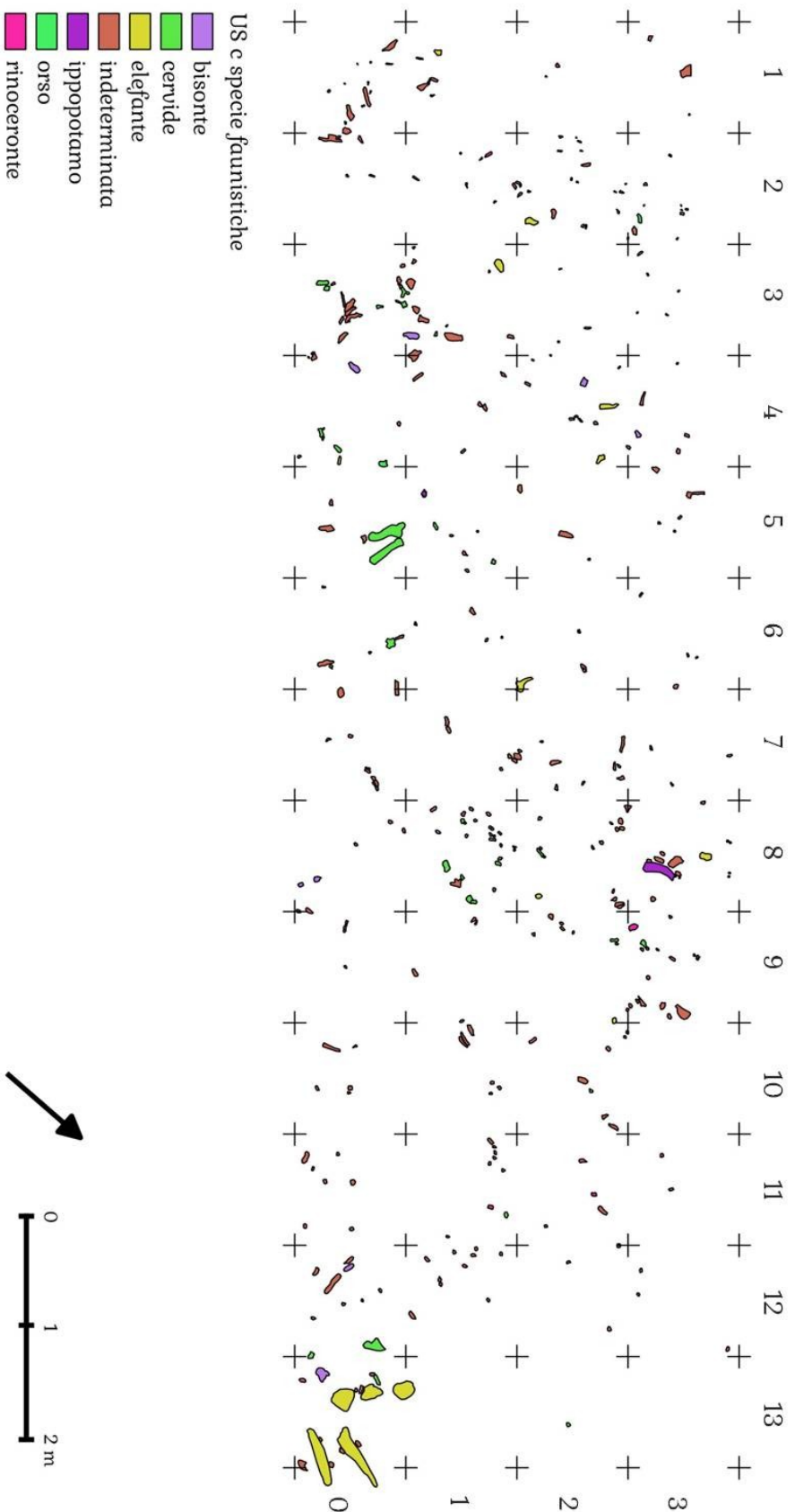


Fig. 89 - Isernia La Pineta, strato 3c. Distribuzione dei reperti faunistici suddivisi per specie (elaborazione grafica G. Lembo).

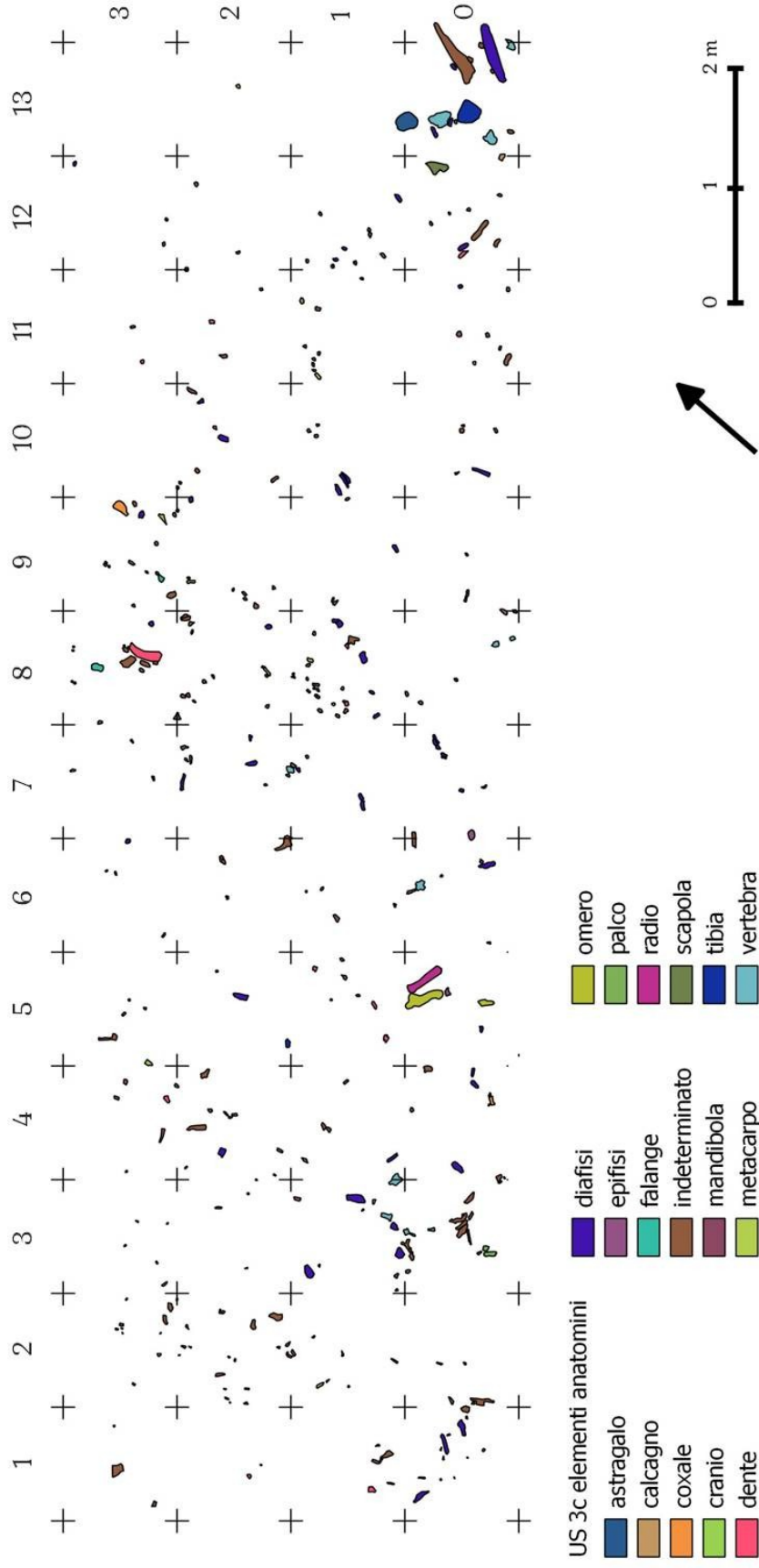


Fig. 90 - Isernia La Pineta, strato 3c. Distribuzione dei reperti faunistici suddivisi per elementi anatomici (elaborazione grafica G. Lembo).

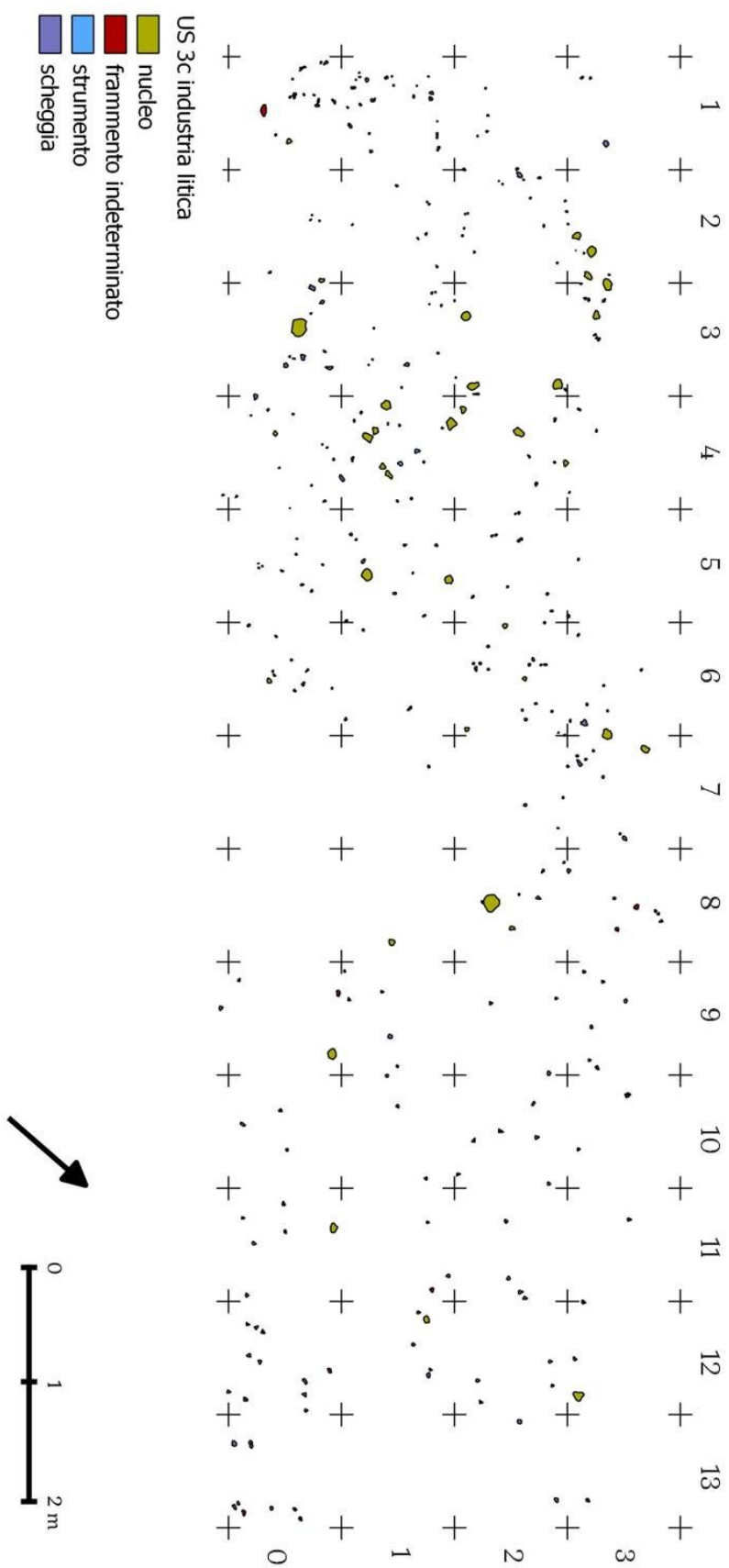


Fig. 91 - Isernia La Pineta, strato 3c. Distribuzione dell'industria litica suddivisa per tipologia (elaborazione grafica G. Lembo).

Per quanto riguarda lo strato 3a (Fig. 92), il contesto archeologico risulta molto più articolato considerando l'ampia superficie scavata, i processi post-deposizionali che hanno influenzato le distribuzioni spaziali e le diverse modalità di scavo (un'area completamente asportata per consentire l'ultimazione della strada e la maggior parte lasciata in situ per renderla fruibile nel contesto della musealizzazione) con la perdita di alcuni importanti dati come ad esempio le quote dei reperti. Inoltre la ripetuta frequentazione dell'area in un lasso di tempo ampio, che ha prodotto un grande volume di reperti, contribuisce a rendere problematica l'individuazione di eventuali azioni antropiche. Ciò nonostante è stato possibile rilevare delle discontinuità interessanti: l'elevata concentrazione dell'industria nell'area sud/sud-ovest dello scavo e quella di tutti gli altri reperti nella zona centrale.

La prima, anche se si trova a ridosso di una buca di sprofondamento, che non dovrebbe aver compromesso in maniera rilevante la distribuzione dei reperti visto il loro ottimo stato di conservazione, sembra attestare la presenza di un'area di scheggiatura per il ragguardevole numero di oggetti lavorati (nuclei e soprattutto schegge) (Figg. 93-97); ciò è confermato anche dal ritrovamento di alcuni rimontaggi (Peretto, 1994).

La seconda area di concentrazione si riscontra nella zona centrale dell'area esplorata e riguarda tutti i materiali (ossa, travertino, calcare e selci lavorate e non) (Figg. 98-107). Si tratta di una situazione difficile da interpretare anche per l'impossibilità di sviluppare una mappa di densità 3D.

Per quanto riguarda le diverse specie l'analisi spaziale risente dei numerosi reperti non determinati ma si può senz'altro attestare l'alta concentrazione di crani e frammenti di cranio (denti, mandibole e corna) per il bisonte (Fig. 108), il rinoceronte (Fig. 109) e l'elefante (soprattutto denti) (Fig. 110).

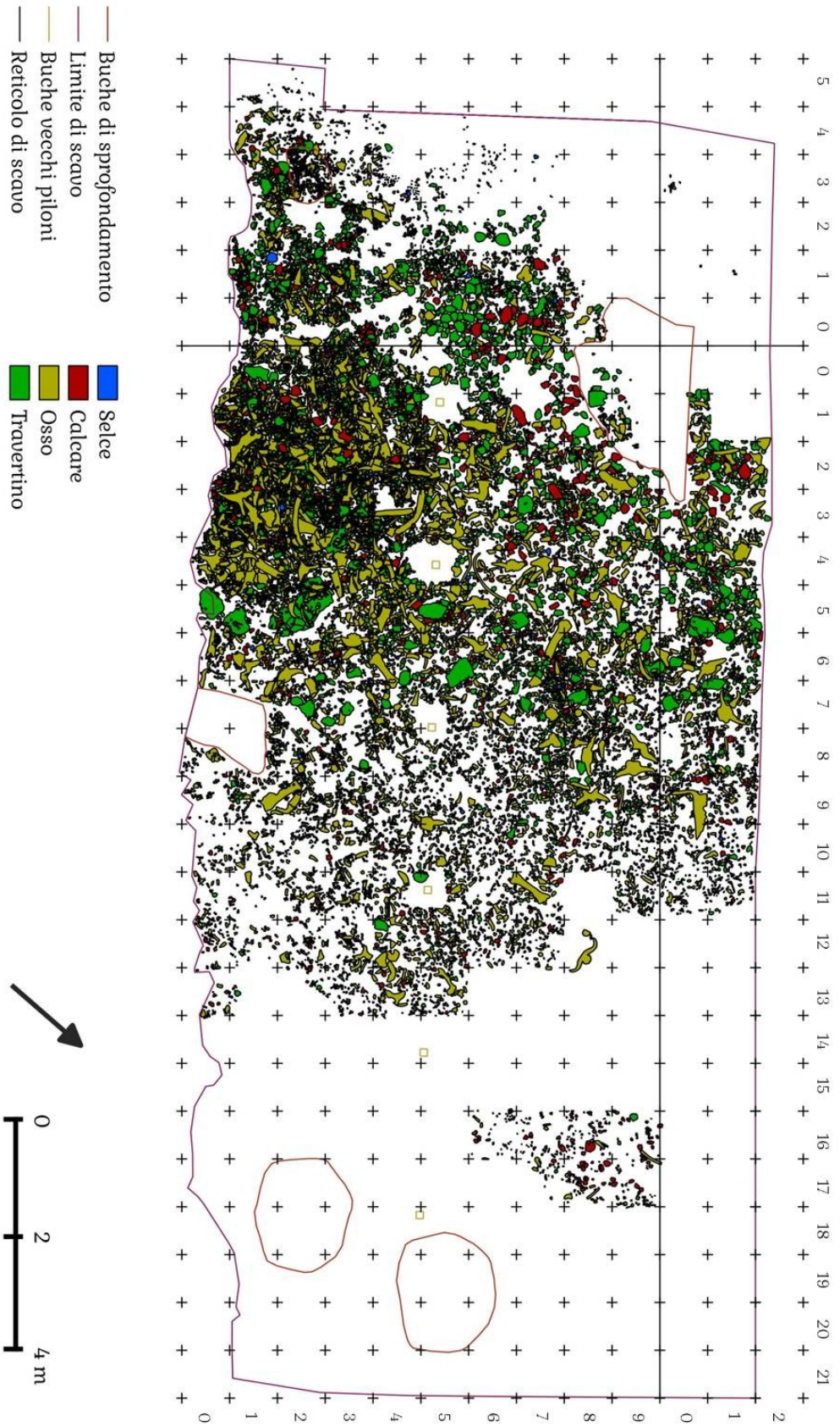


Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo).

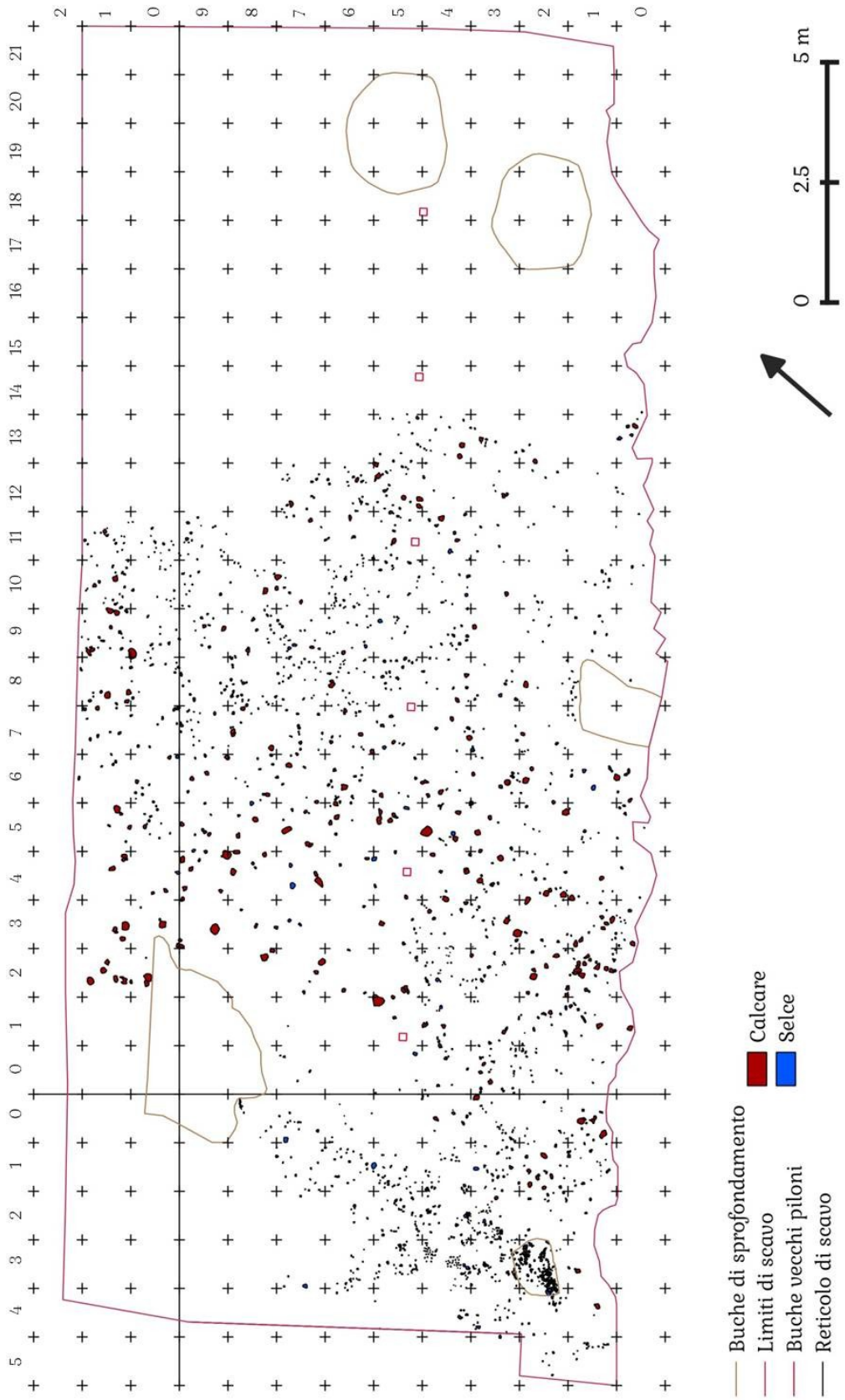


Fig. 93 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dell'industria litica (elaborazione grafica G. Lembo).

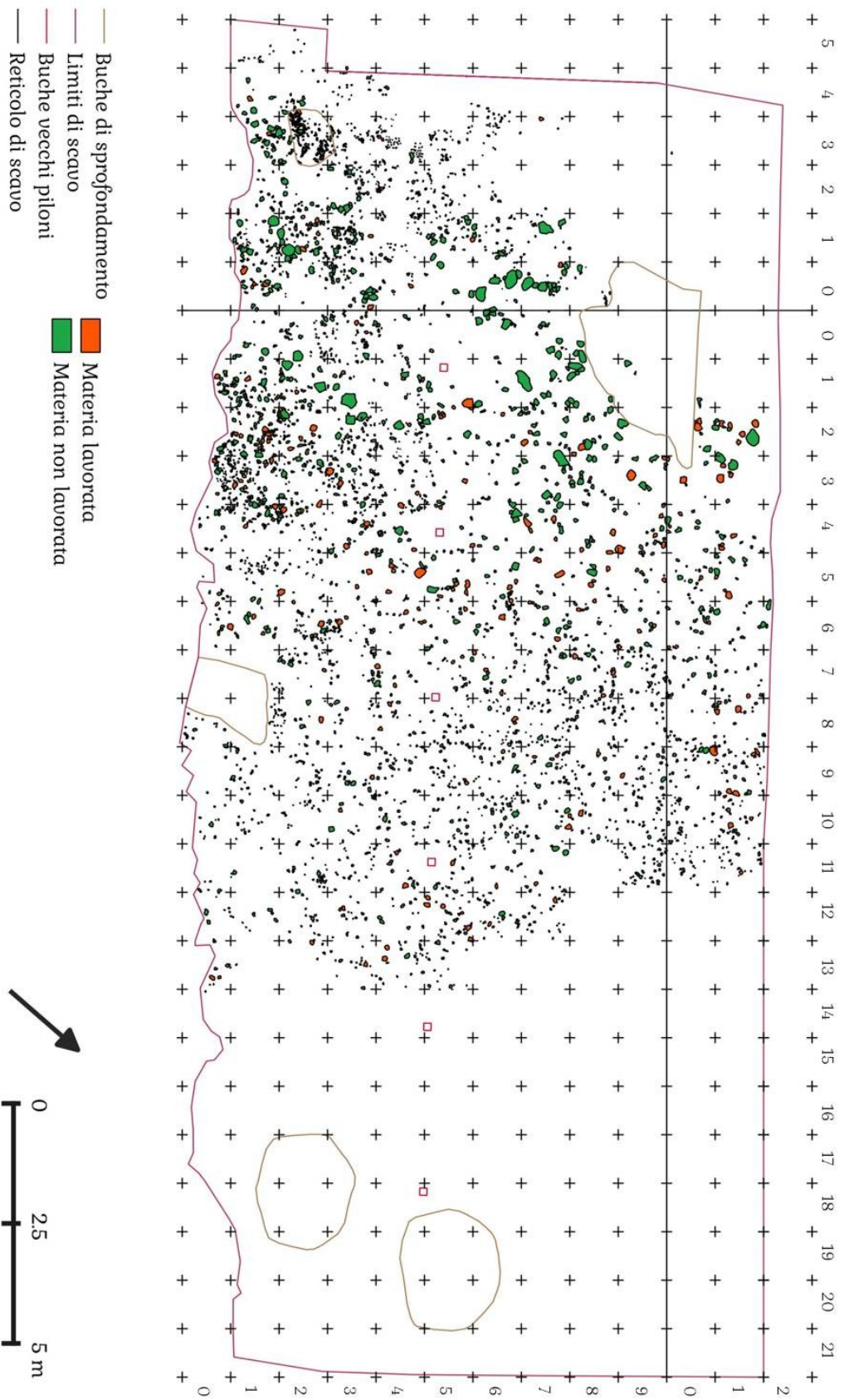


Fig. 94 Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione del materiale litico (elaborazione grafica G. Lembo).

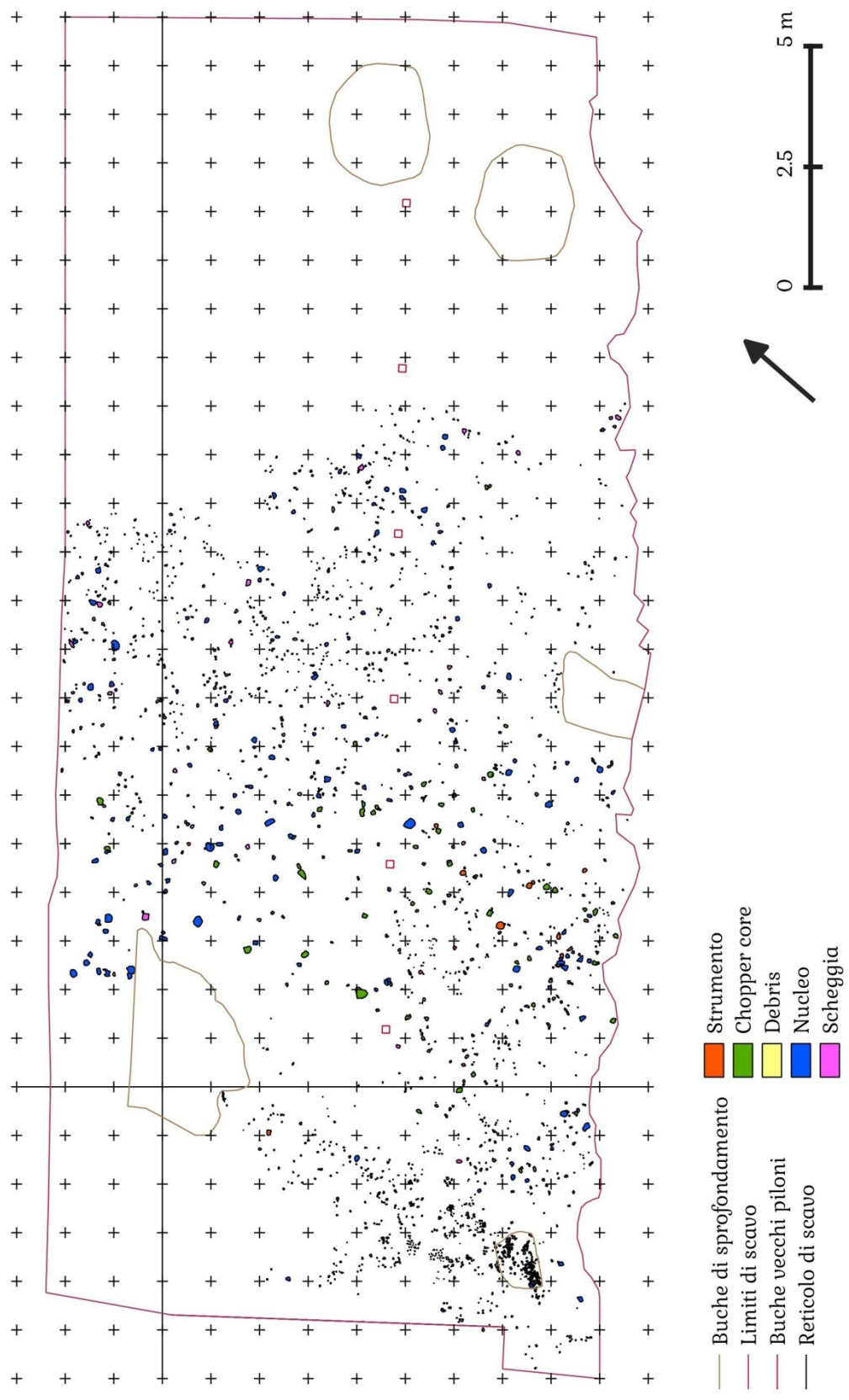


Fig. 95 Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dell'industria litica suddivisa per tipologia (elaborazione grafica G. Lembo).

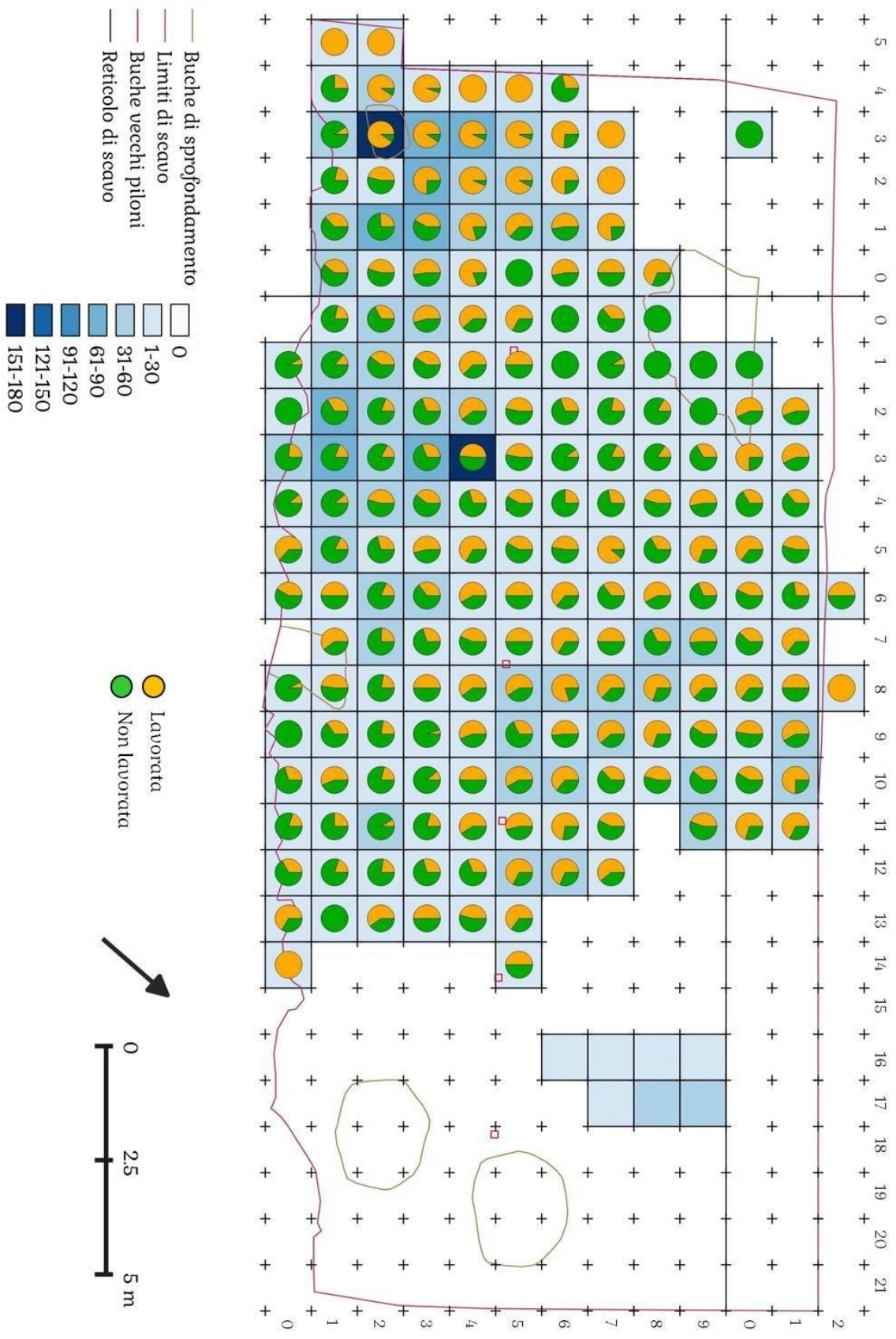


Fig. 96 Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di frequenza del materiale litico con il rapporto tra lavorato e non lavorato (elaborazione grafica G. Lembo).

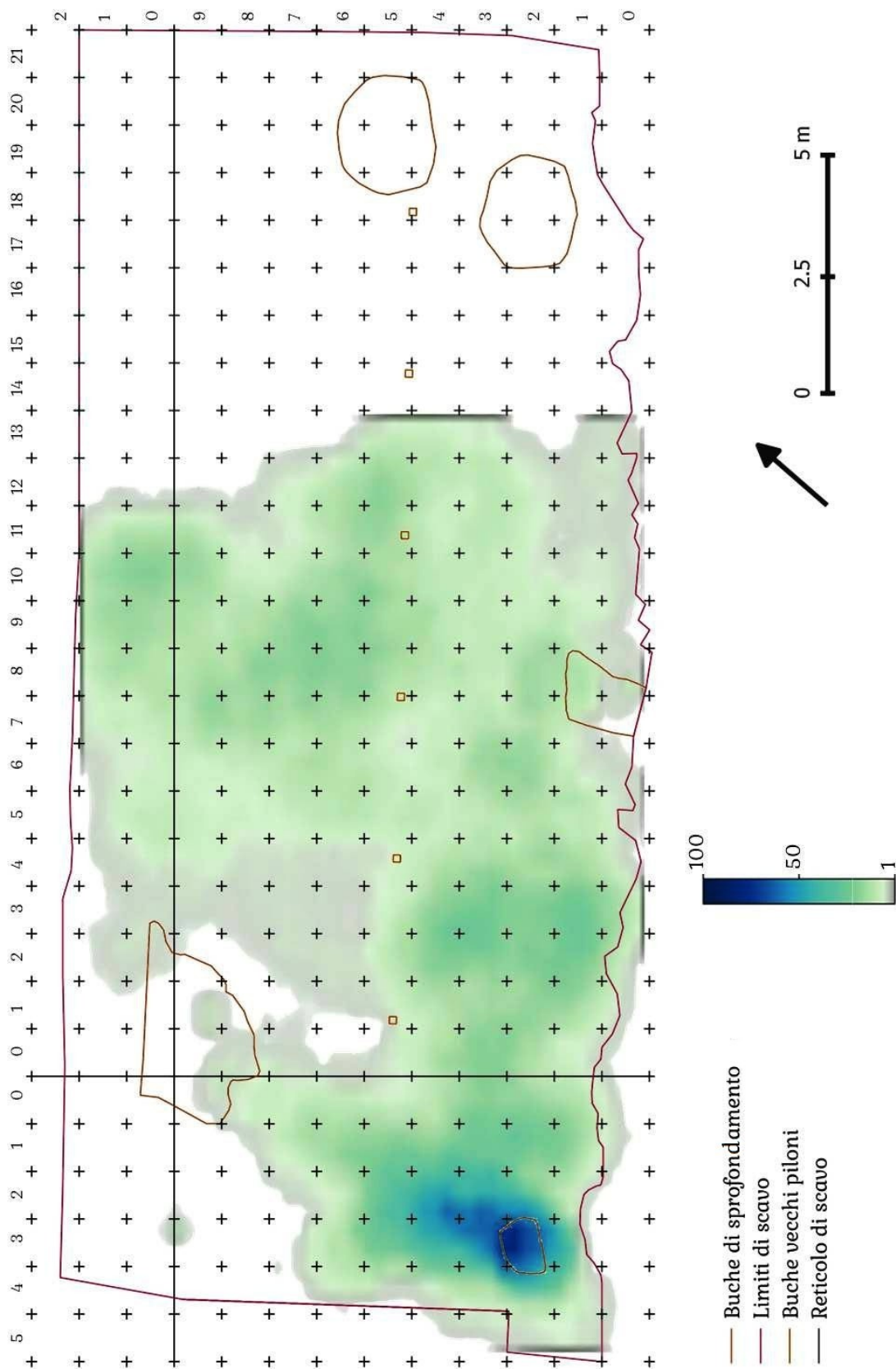


Fig. 97 Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di concentrazione dell'industria litica (elaborazione grafica G. Lembo).

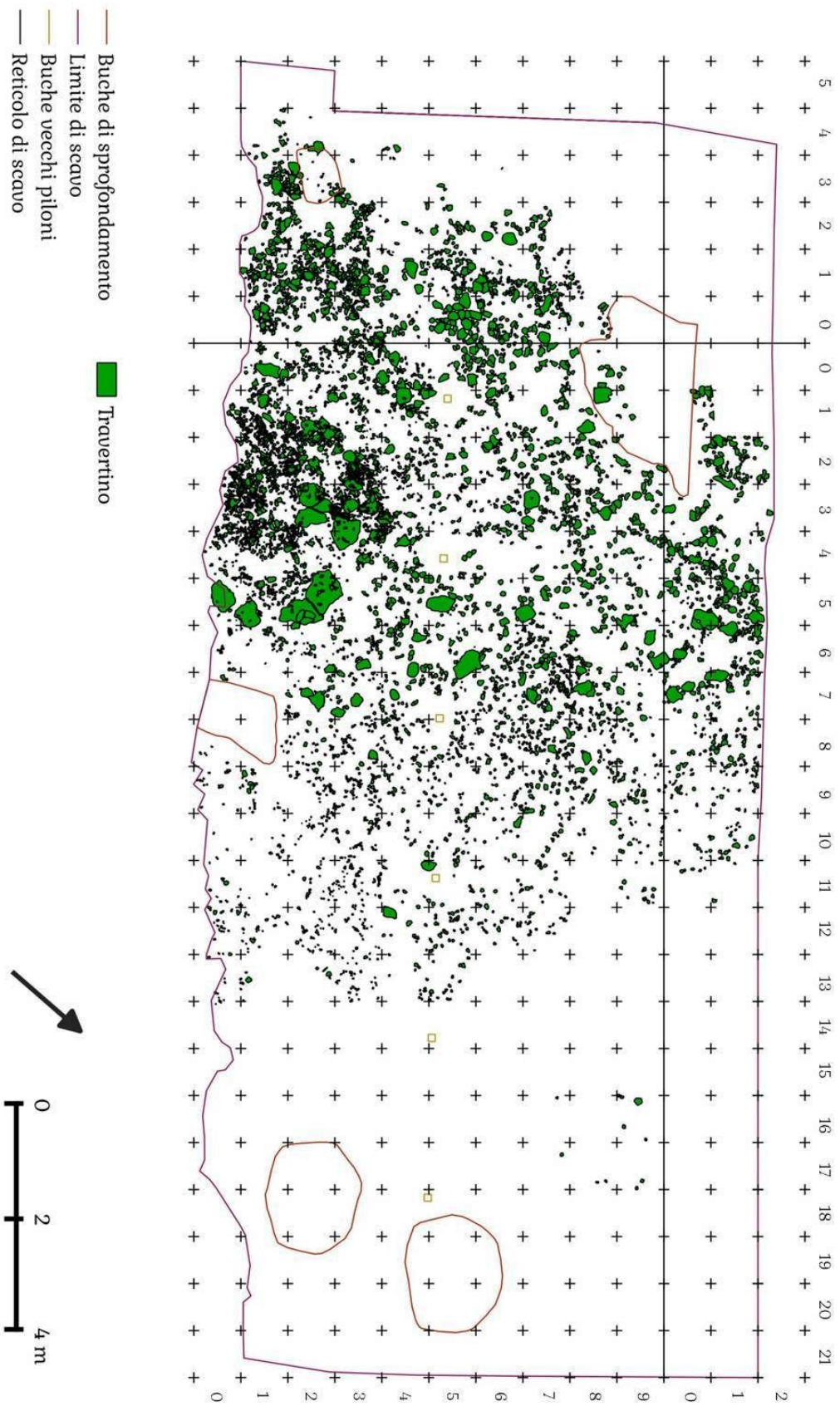


Fig. 98 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione del travertino (elaborazione grafica G. Lembo).

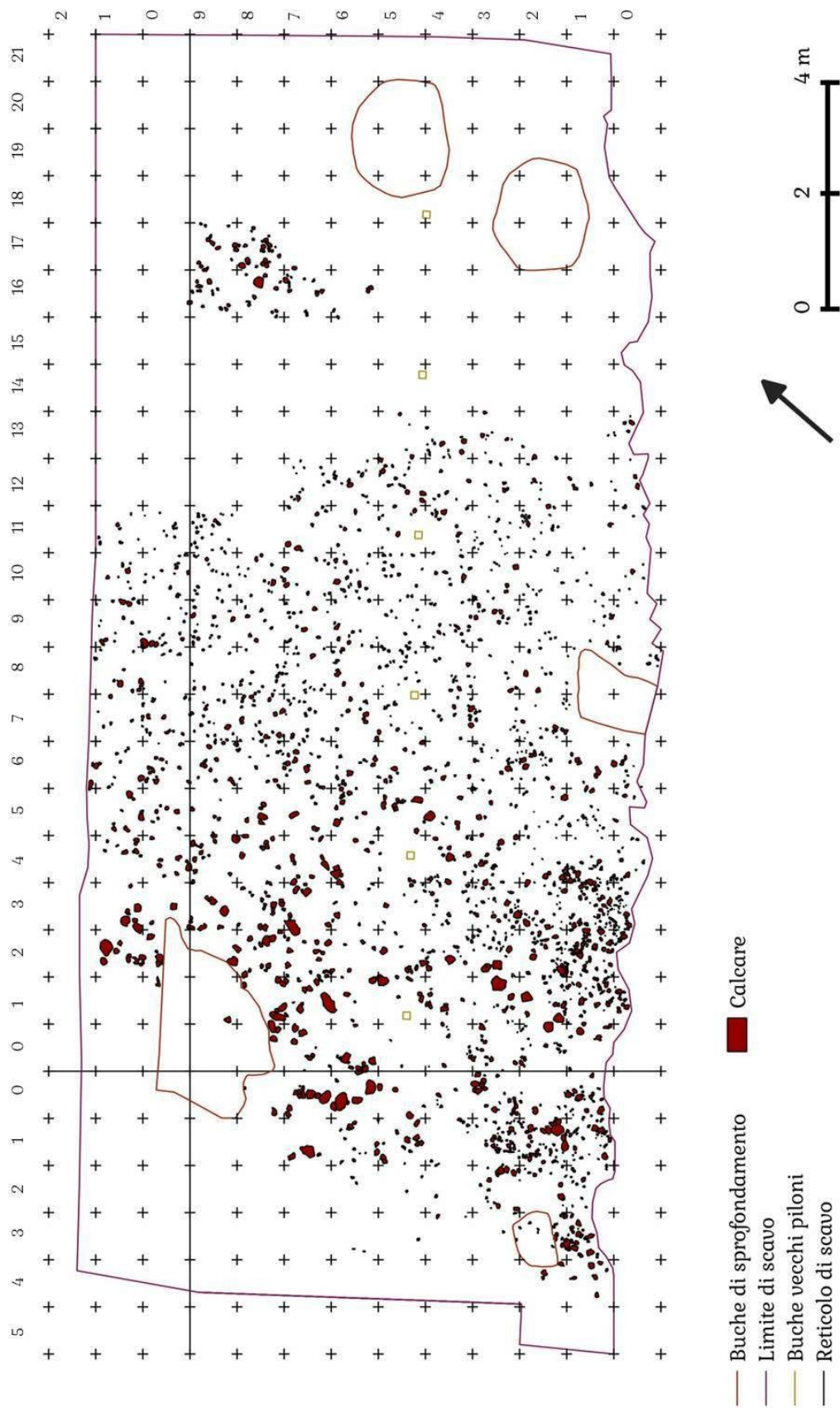


Fig. 99 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione del calcare (elaborazione grafica G. Lembo).

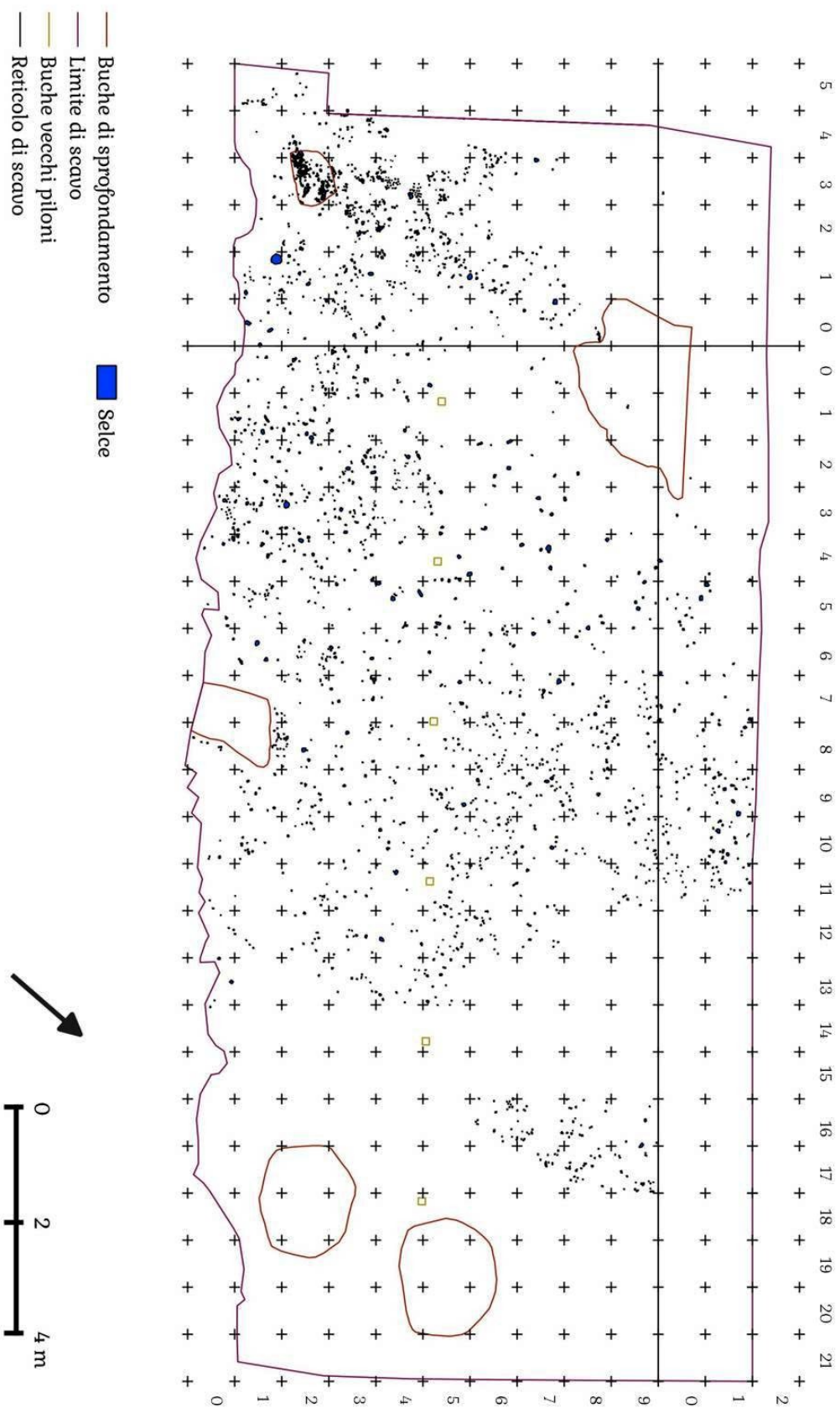


Fig. 100 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione della selce (elaborazione grafica G. Lembo).

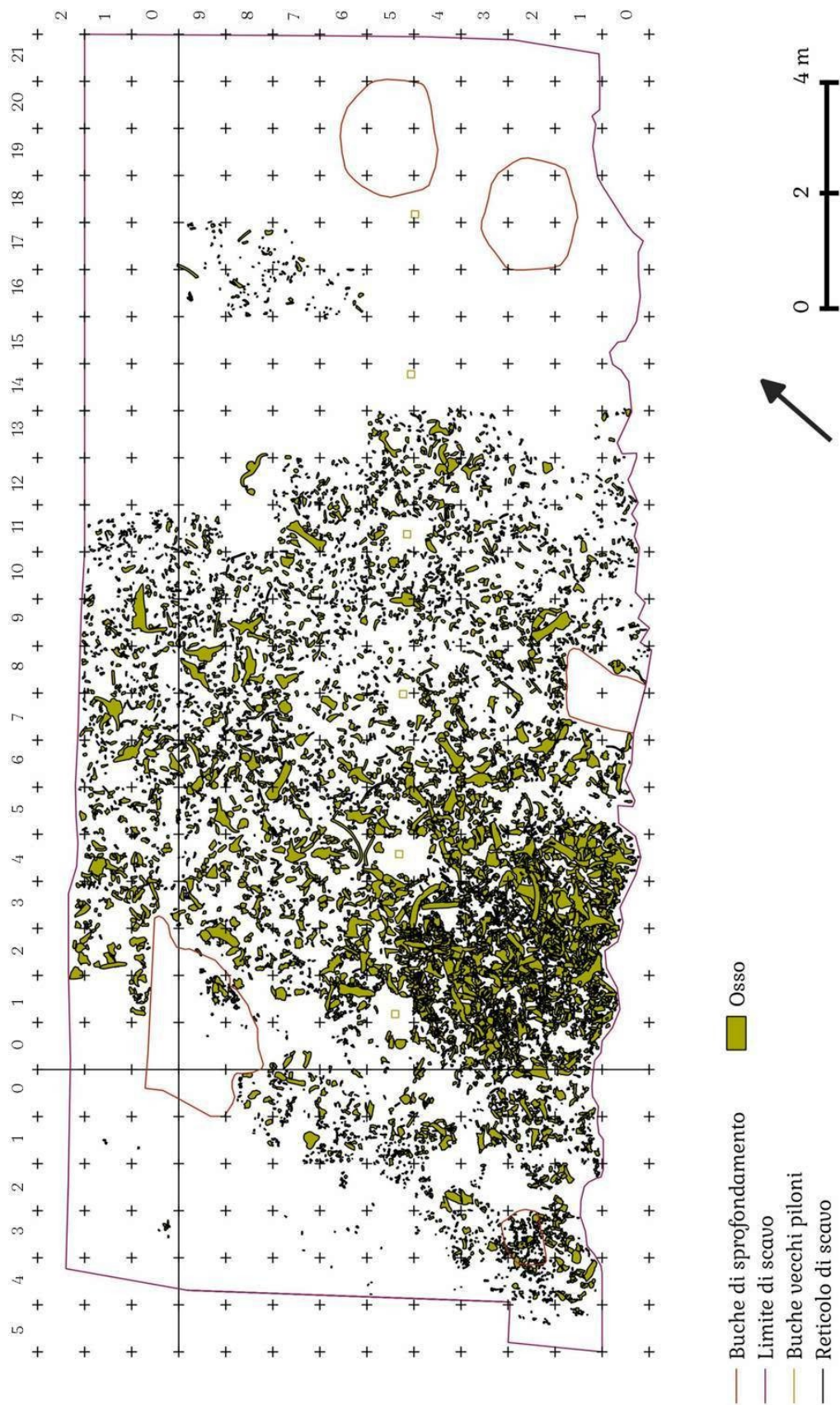


Fig. 101 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei resti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo).

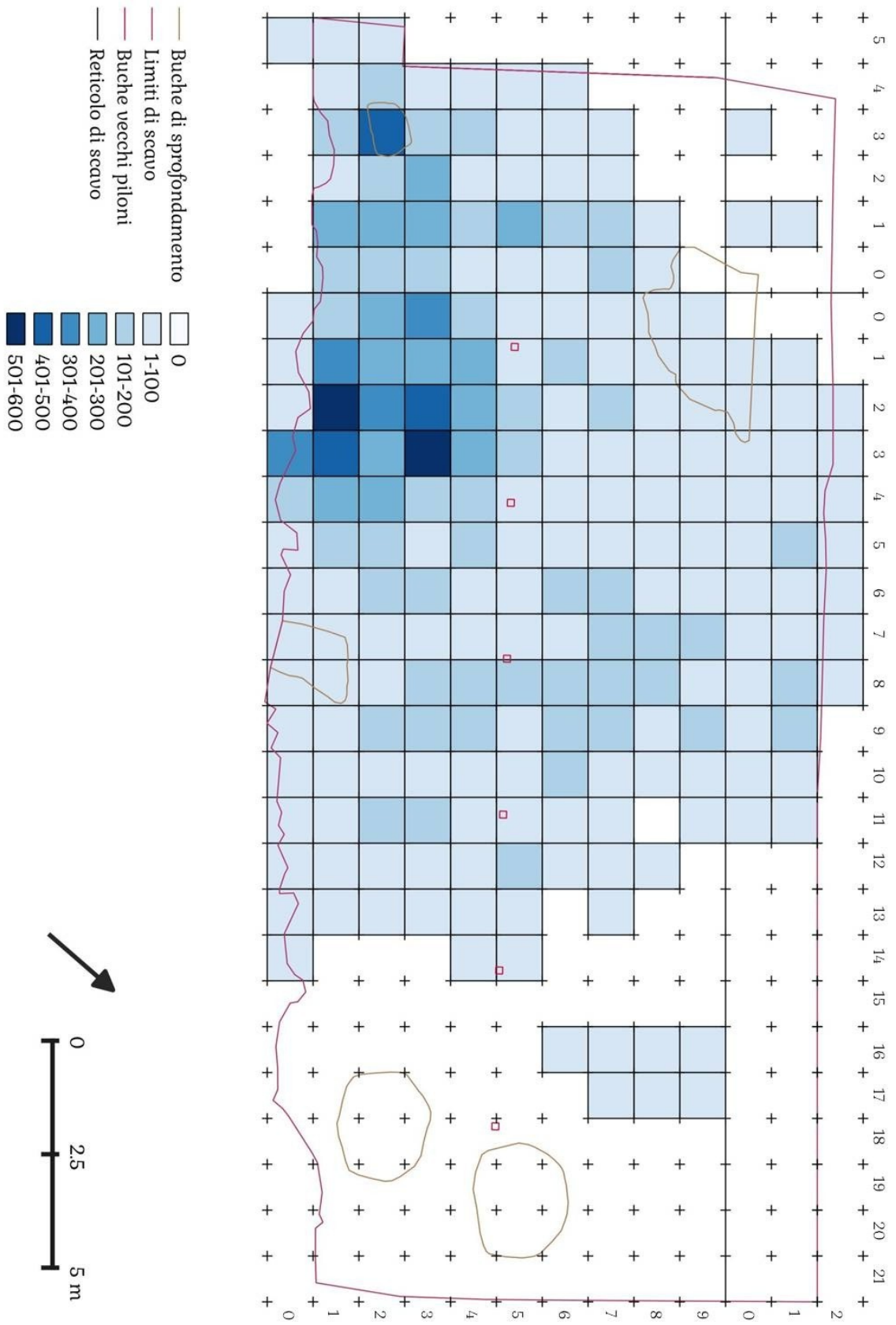


Fig. 102 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di frequenza di tutti i resti (elaborazione grafica G. Lembo).

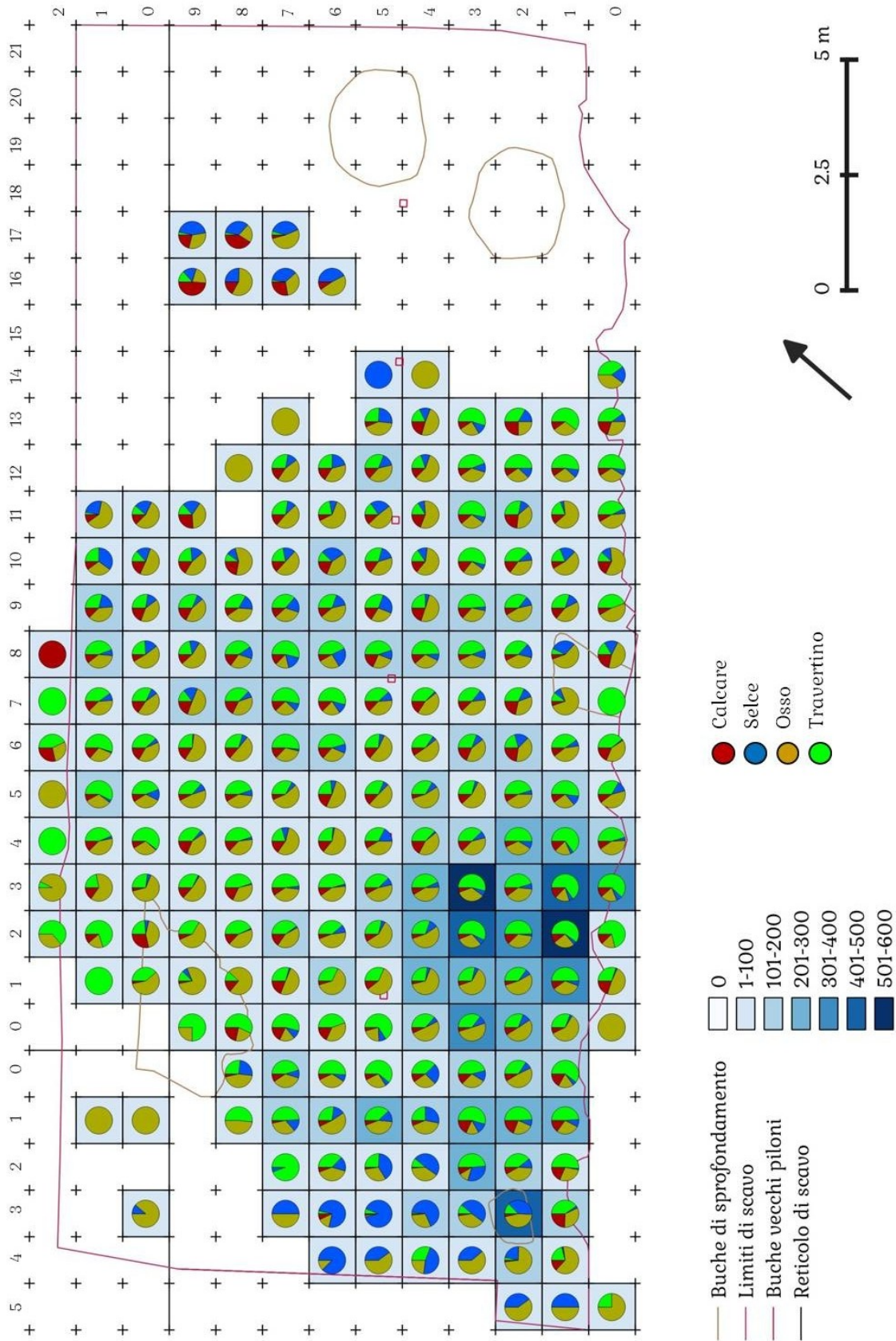


Fig. 103 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di frequenza di tutti i resti con il rapporto tra i vari tipi di materia (elaborazione grafica G. Lembo).

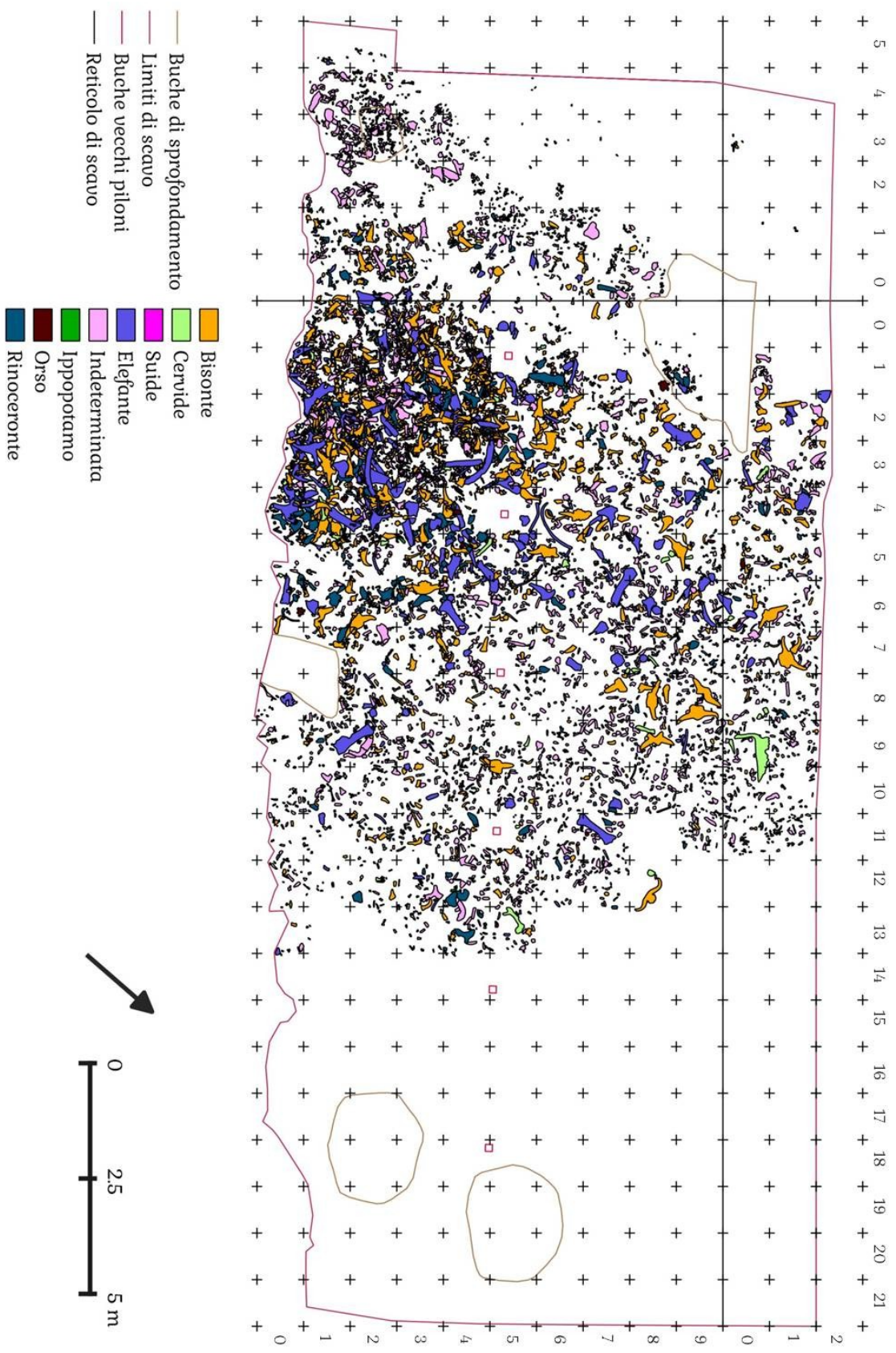


Fig. 104 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei resti faunistici suddivisi per specie (elaborazione grafica G. Lembo).

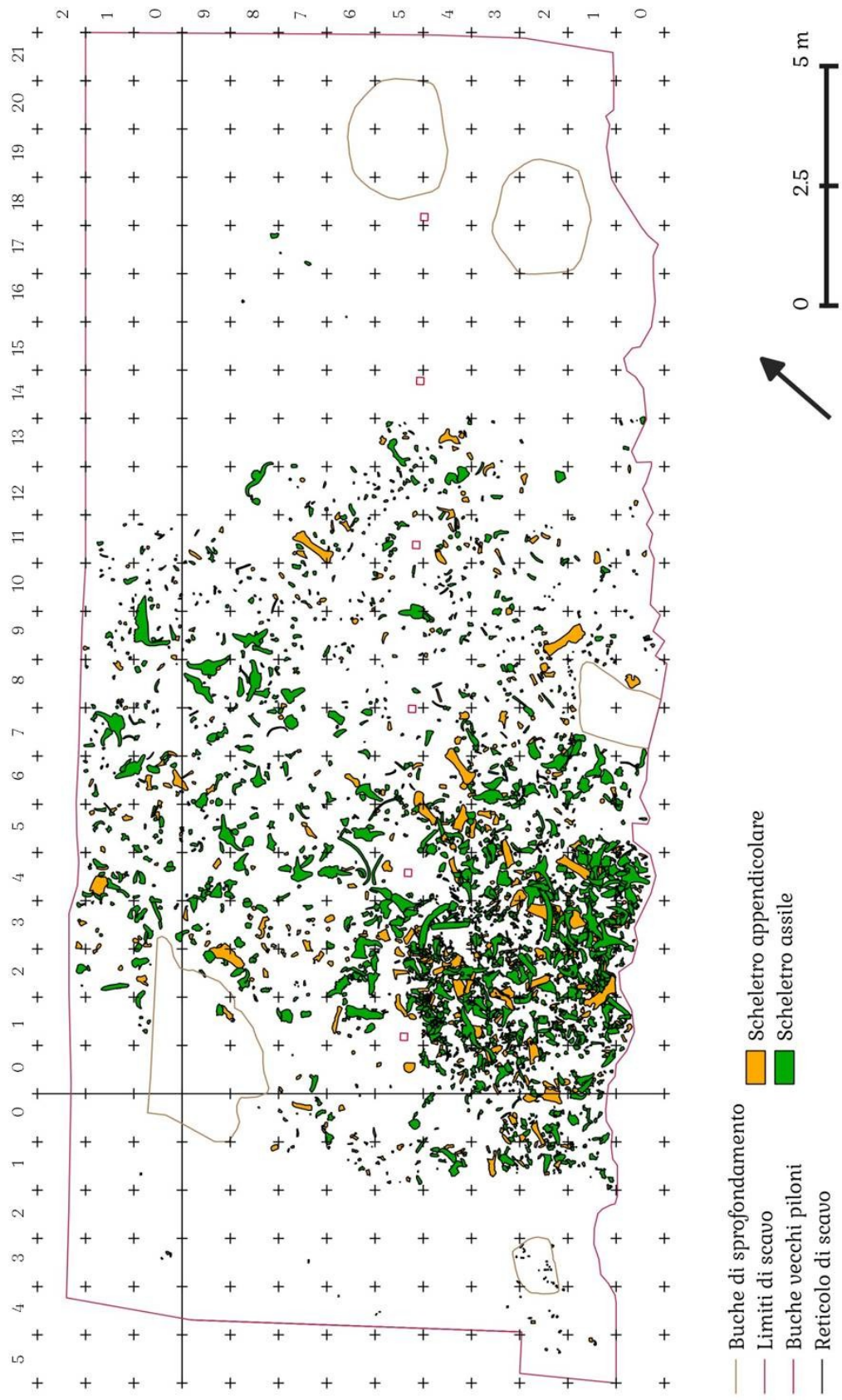


Fig. 105 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei resti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo).

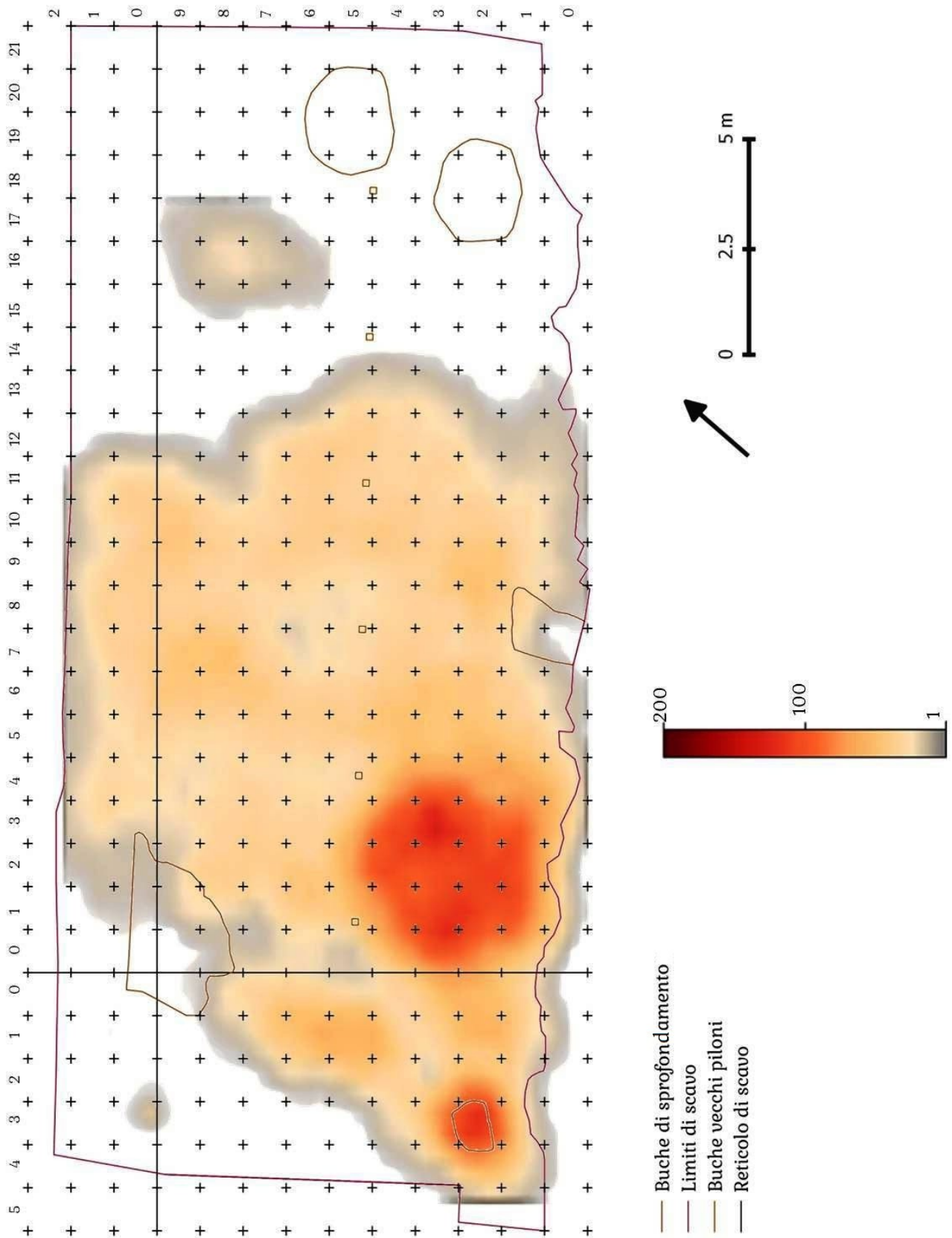


Fig. 107 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di concentrazione dei reperti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo).

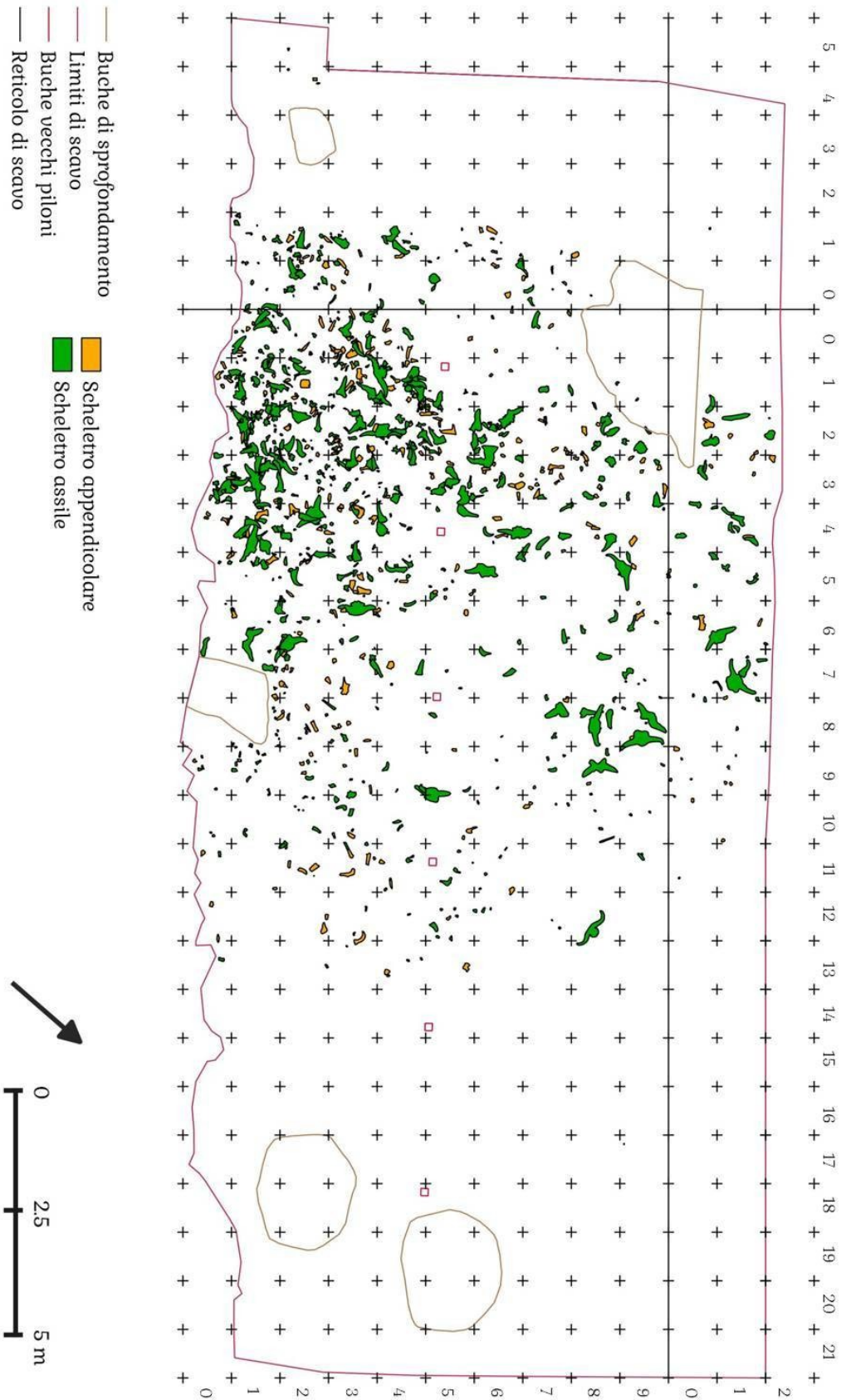


Fig. 108 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei reperti di bisonte (elaborazione grafica G. Lembo).

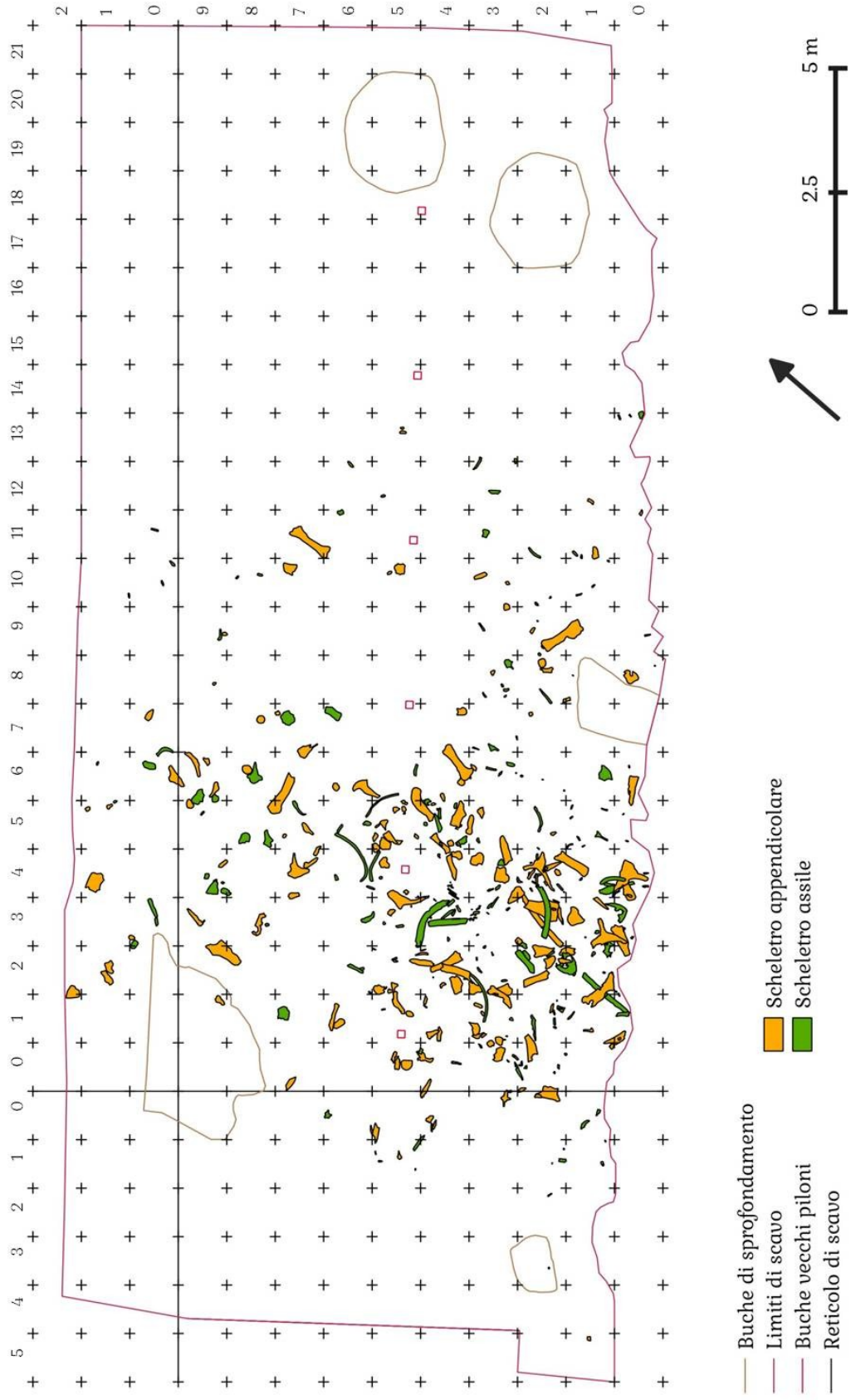


Fig. 109 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei reperti di elefante (elaborazione grafica G. Lembo).

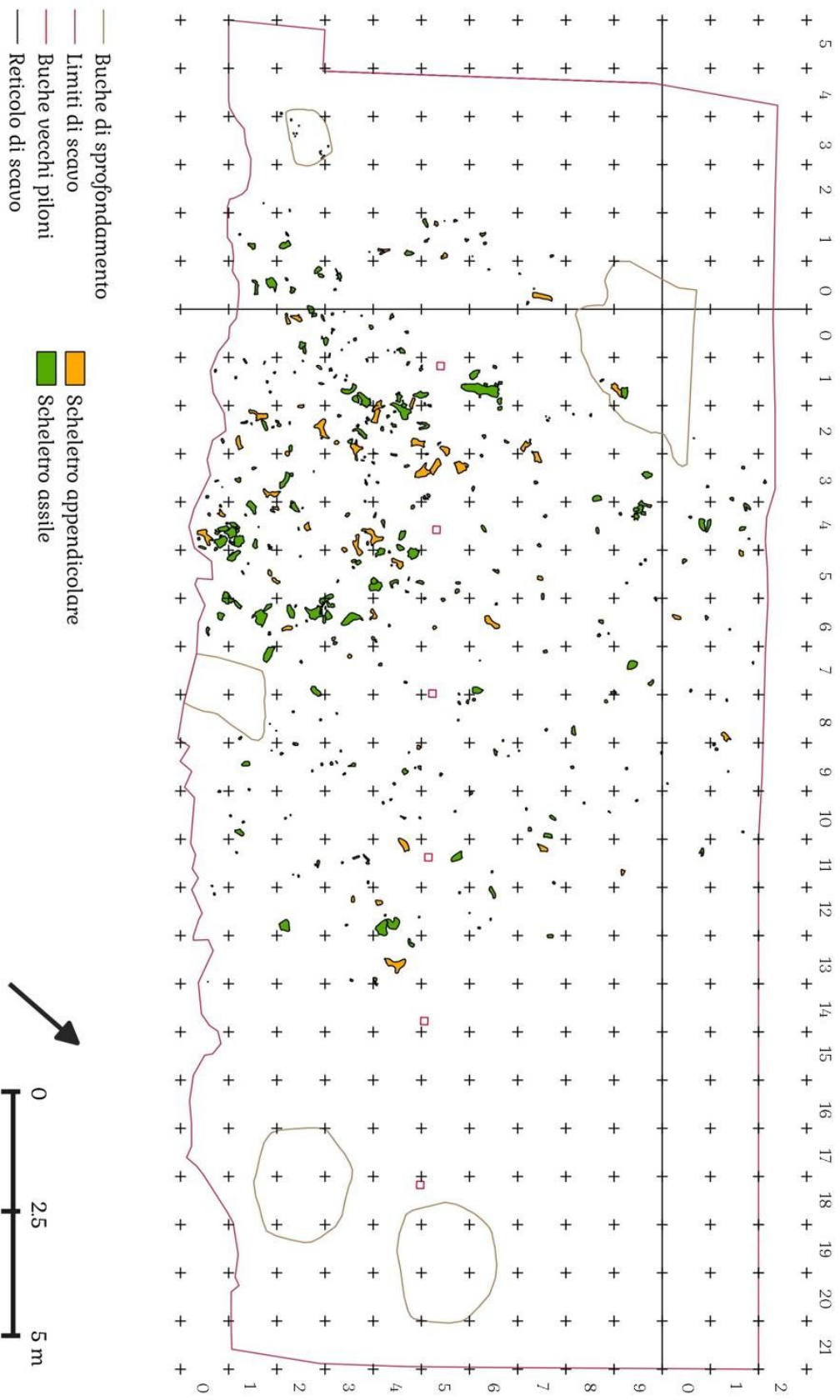


Fig. 110 - Iserria La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei reperti di rinoceronte (elaborazione grafica G. Lembo).

L'analisi del 3 colluvio, che ricopre lo strato 3a, è stata condotta su di un'area solo parzialmente definita, in quanto in tutta la zona a sud-ovest dello scavo il livello è stato asportato senza essere documentato a causa dei lavori per l'ultimazione del tratto di strada che collega Napoli a Vasto. Lo strato si caratterizza per una forte componente limoso-sabbiosa legata ad un fenomeno deposizionale di *debris-flow*, cioè ad una colata sedimentaria probabilmente a bassa energia (Coltorti *et al.*, 2005; Peretto, 2013, 1999; Peretto *et al.*, 1999).

In considerazione dell'elevato numero di materiale archeologico rinvenuto (Fig. 111) e della registrazione delle coordinate spaziali (x, y, z) riferite al posizionamento dei riperti scavati, si è ritenuto opportuno operare con analisi spaziali per tentare di comprendere meglio le caratteristiche del livello archeologico 3 colluvio. A causa dello studio ancora in corso sui materiali recuperati (ossa e industria litica in selce e calcare), la distribuzione dei reperti è stata analizzata in base alle categorie generali della materia prima (Figg. 112-114). Le analisi spaziali 3D hanno messo in evidenza una elevata concentrazione nell'area centrale dell'area oggetto di studio con un andamento N/S molto evidente soprattutto per quanto riguarda i reperti faunistici e litici (Figg. 115-118). Inoltre dai tre tipi di sezioni sviluppati (piano XY verticale, piano XZ longitudinale, piano YZ trasversale) (Figg. 119-130) è stato possibile rilevare una pendenza in direzione sud che ha condizionato la distribuzione del materiale durante il processo di scivolamento. Tutto ciò è stato verificato grazie allo sviluppo della *fabric analysis*. I dati acquisiti sono stati importati nel software R■, che si integra perfettamente nel sistema GIS, in cui è stato calcolato il rapporto tra asse maggiore e medio dei reperti (*elongation index*), uguale e/o superiore a 2 (Giardino and Vitek, 1988) in base al quale sono stati selezionati i dati oggetto dell'analisi *fabric*. L'indice così elevato ha permesso di analizzare i dati dei reperti oggettivamente molto allungati (3954 reperti faunistici, 570 reperti in selce, 94 in calcare e 23 in travertino), filtro che quasi automaticamente ha eliminato la maggior parte degli oggetti litici di morfologia più regolare. I valori nominali delle variabili ordinali di orientazione (o) e pendenza (p), adattandoli alle esigenze delle funzioni statistiche circolari, sono stati convertiti con una

approssimazione di 45° in gradi angolari ed aggiunti alla tabella dei *records* nei corrispondenti campi di *bearing* (orientazione rispetto al nord), *plunge* (pendenza rispetto all'orizzonte) e *plunge direction* (inclinazione di *plunge*) (Tab. 3).

o	<i>bearing</i>	P	<i>Plunge</i>	<i>Plunge direction</i>
N/S	0	N	6-85	0
NE/SW	45	NE	6-85	45
E/W	90	E	6-85	90
NW/SE	135	SE	6-85	135
		S	6-85	180
		SW	6-85	225
		W	6-85	270
		NW	6-85	315
		VL (verticale lunghezza)	86-90	NC
		VI (verticale larghezza)	86-90	NC
		P (piatto)	0-5	NC

Tabella 3 - Conversione dei valori di orientazione e pendenza in gradi angolari.

I diagrammi circolari sono stati prodotti tramite la funzione *Rose* del pacchetto *heR.Misc* sia per la distribuzione dell'orientazione che della pendenza. Mentre il primo mette in risalto una maggiore distribuzione verso 2 direzioni N/S e E/W (Fig. 131), il secondo enfatizza la direzione della pendenza verso S (Fig. 132), confermando la pendenza del livello verso questa direzione e stabilendo quasi inequivocabilmente che la colata sedimentaria colluviale abbia avuto una direzionale preferenziale da N a S.

Questi meccanismi deposizionali dello strato 3 colluvio, legati a fenomeni di *debris-flow*, hanno quindi influenzato un livello archeologico di una certa rilevanza se si valuta l'elevato numero di reperti rinvenuti.

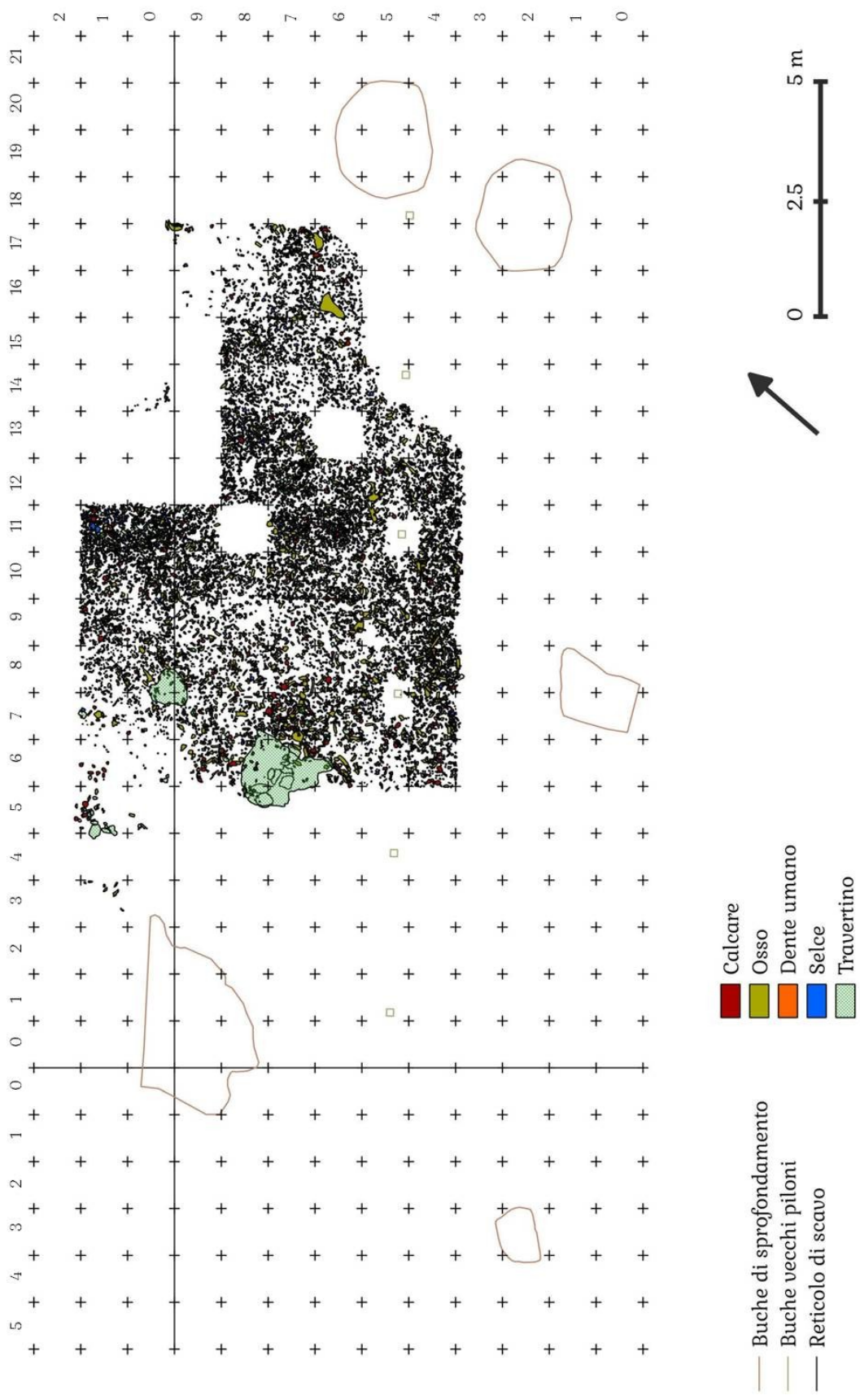


Fig. 111 - Isermia La Pineta, 3 colluvio. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo).

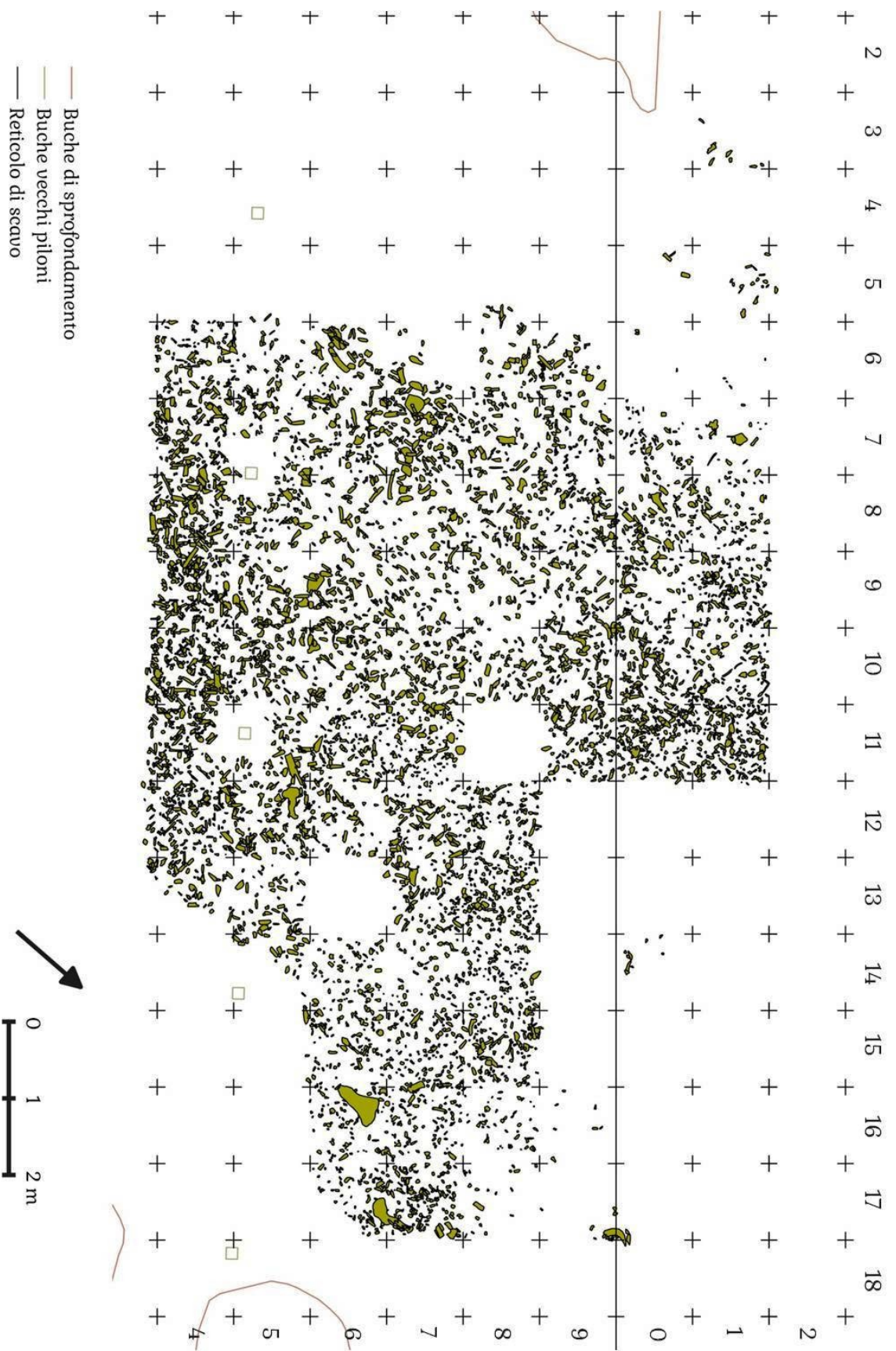


Fig. 112 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Distribuzione dei resti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo).

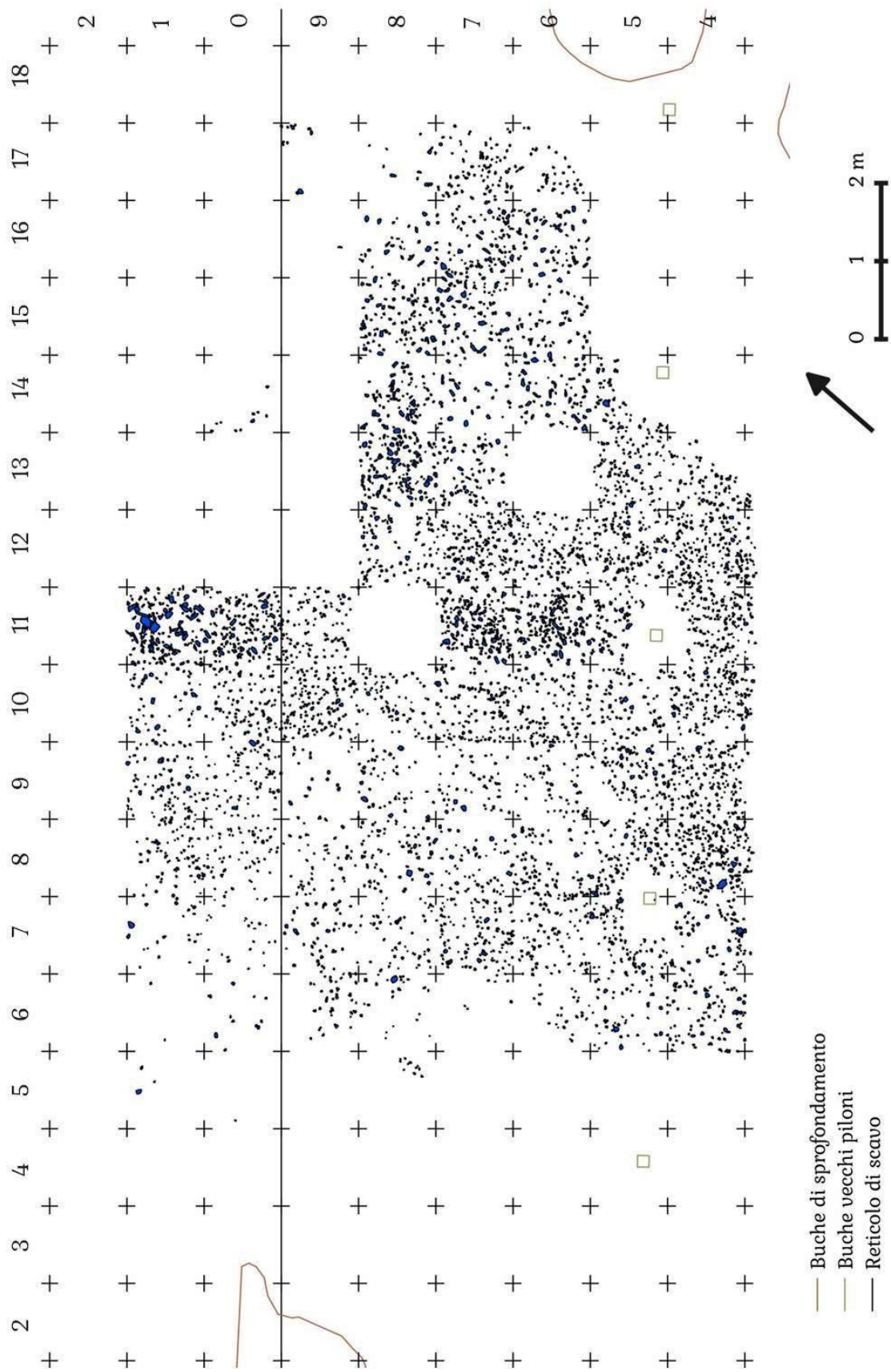


Fig. 113 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Distribuzione dei reperti in selce (elaborazione grafica G. Lembo).

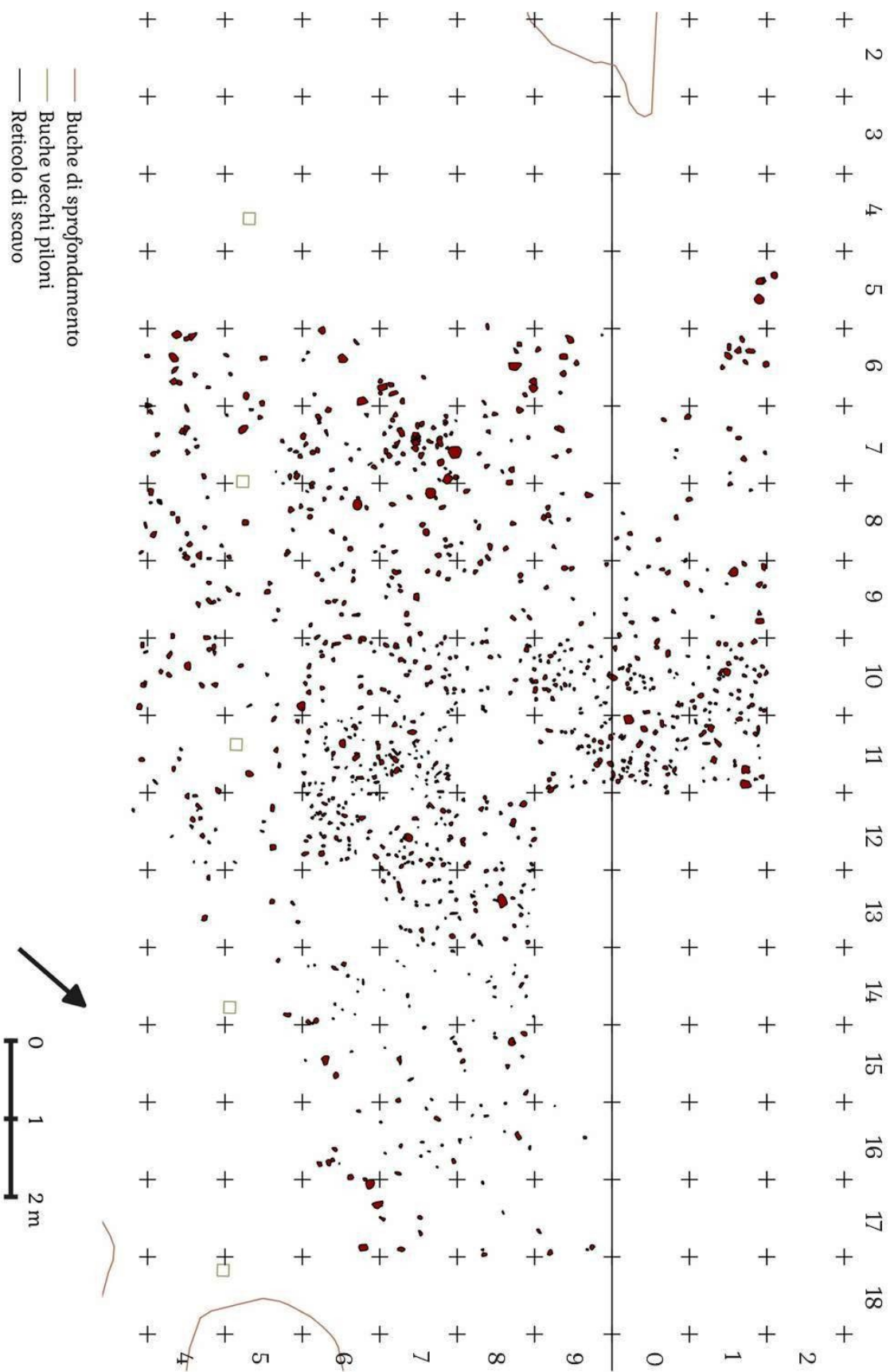


Fig. 114 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Distribuzione dei resti in calcare (elaborazione grafica G. Lembo).

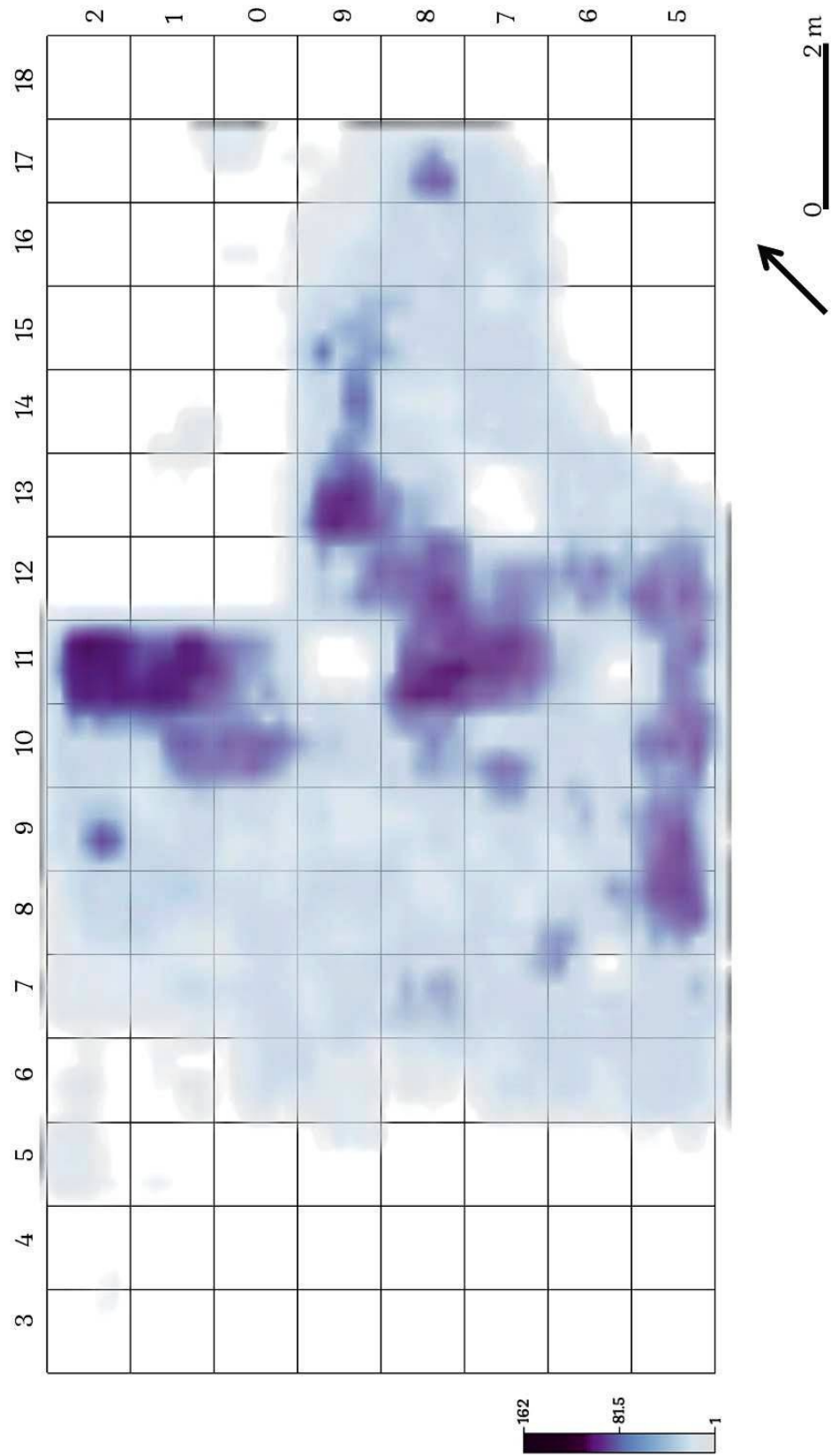


Fig. 115 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo).

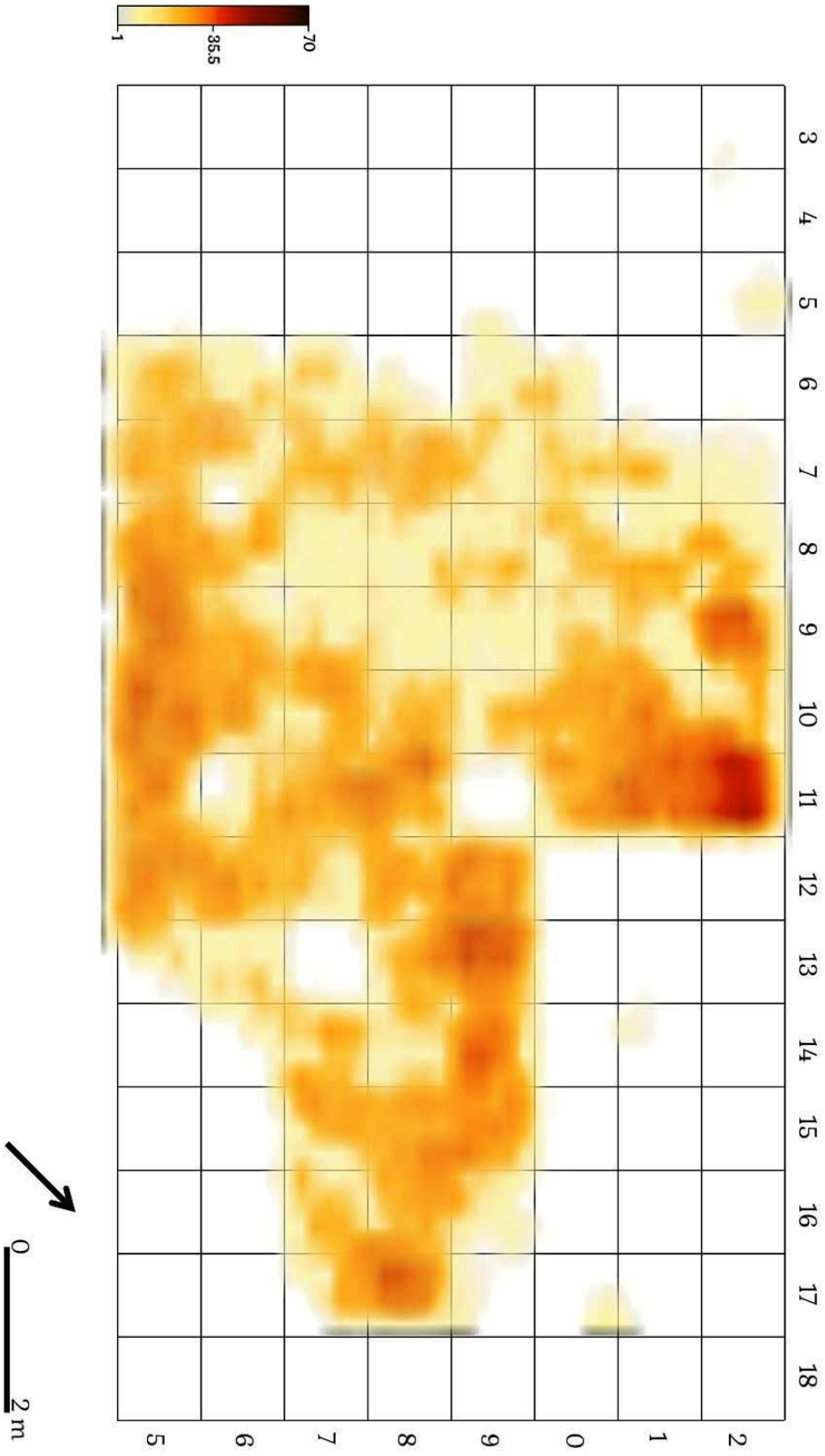


Fig. 116 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei resti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo).

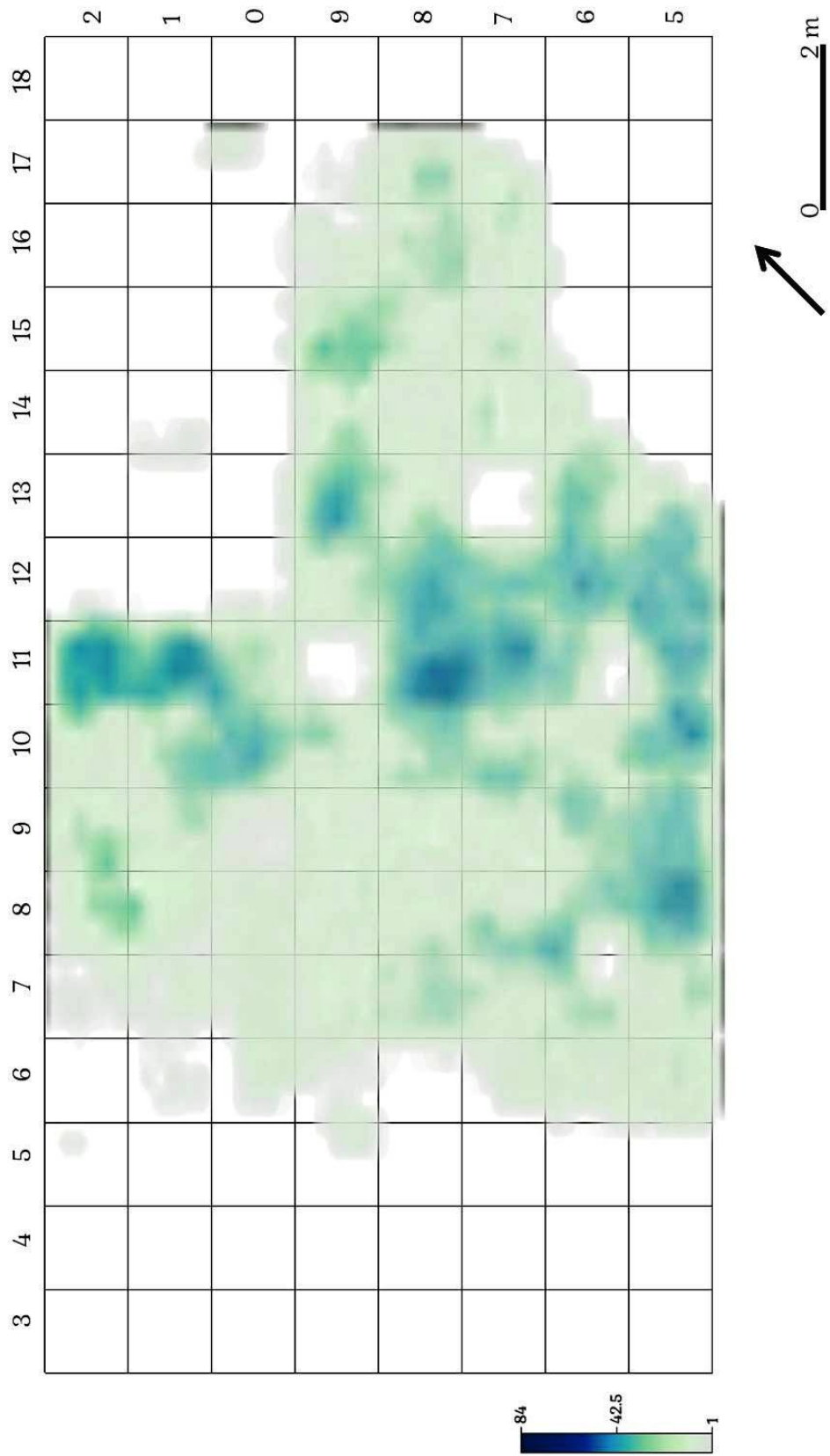


Fig. 117 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in selce (elaborazione grafica G. Lembo).

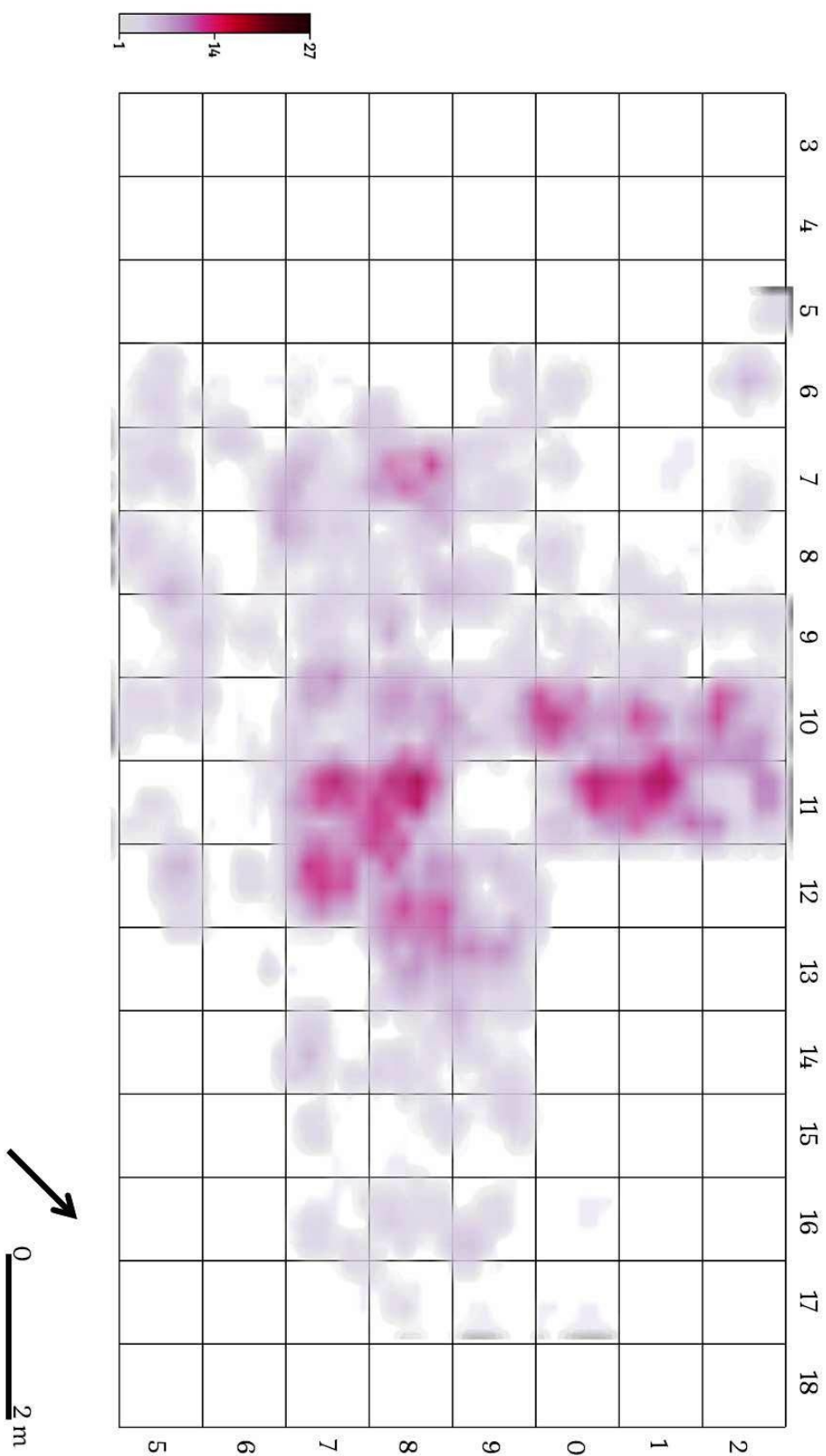


Fig. 118 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in calcare (elaborazione grafica G. Lembo).

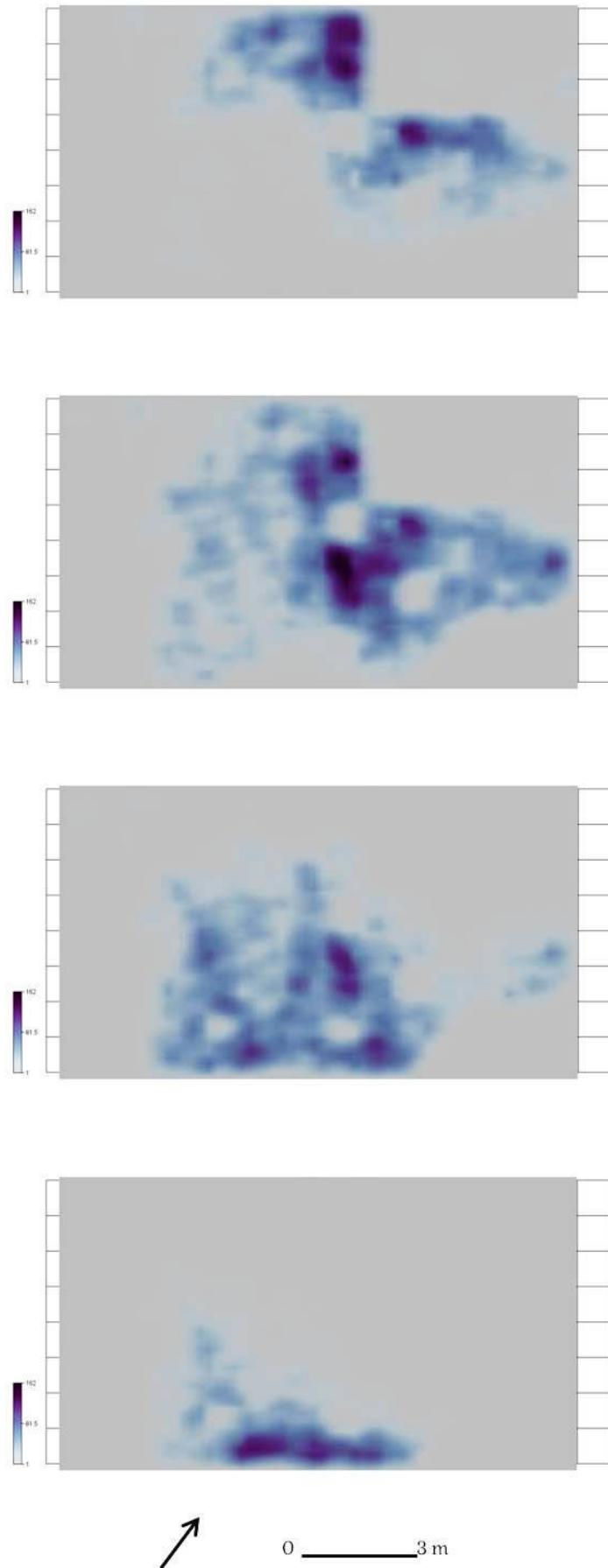


Fig. 119 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione di tutti i reperti: sezioni verticali a differenti quote (dall'alto in basso: 0, -40, -80, -120 cm) (elaborazione grafica G. Lembo).

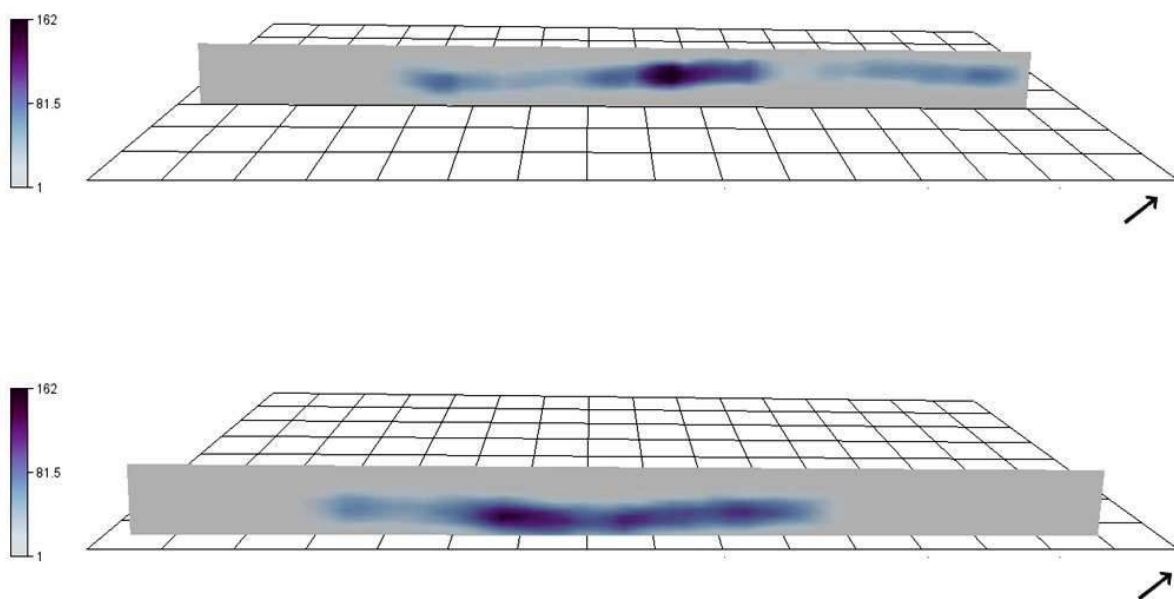


Fig. 120 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione di tutti i reperti: sezioni longitudinali (elaborazione grafica G. Lembo).

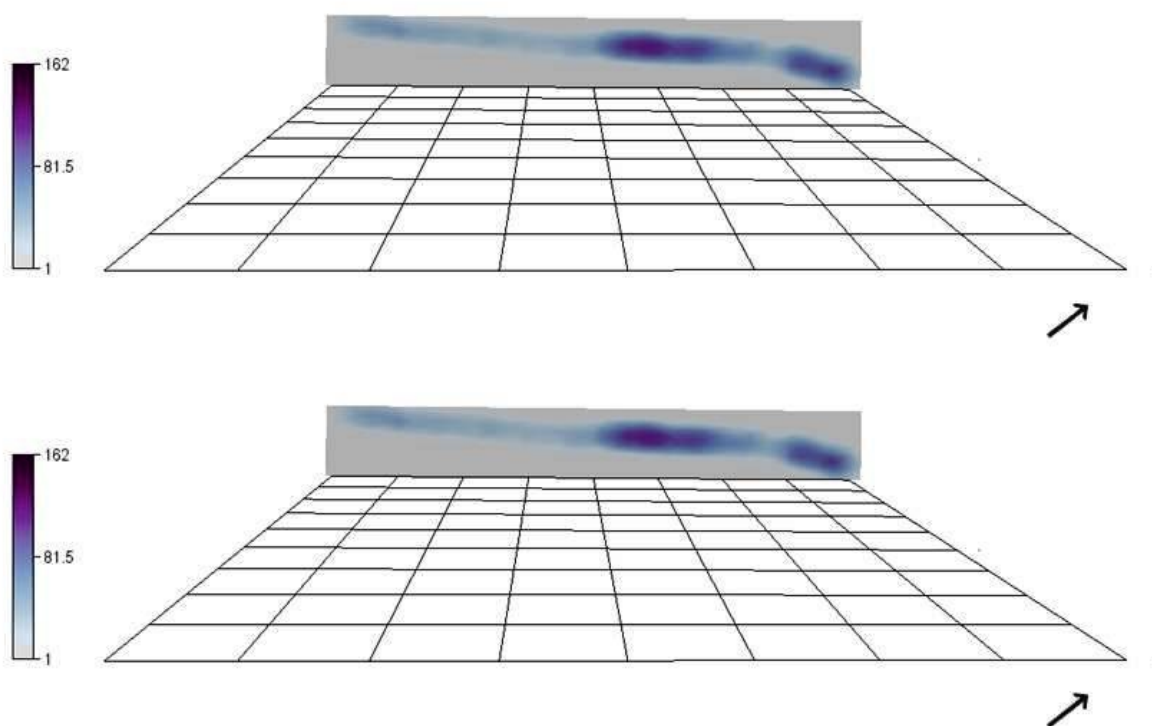


Fig. 121 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione di tutti i reperti: sezioni trasversali (elaborazione grafica G. Lembo).

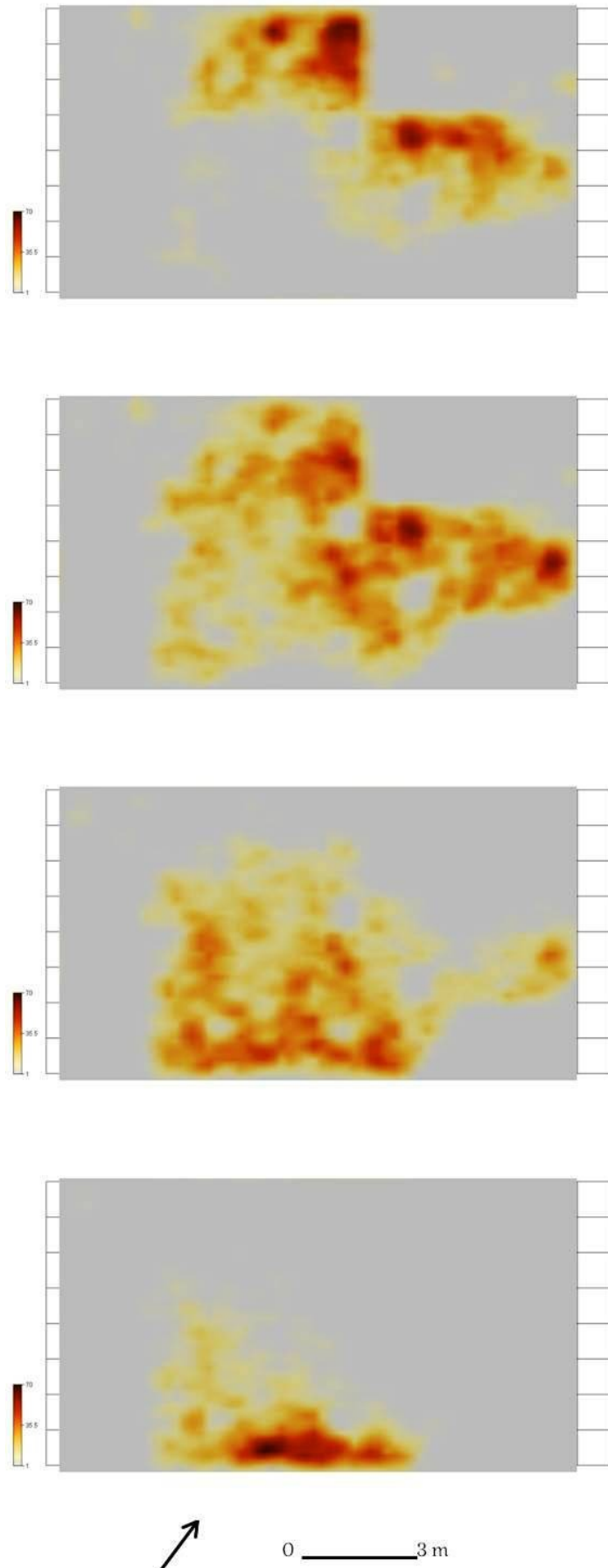


Fig. 122 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti faunistici: sezioni verticali a differenti quote (dall'alto in basso: 0, -40, -80, -120 cm) (elaborazione grafica G. Lembo).

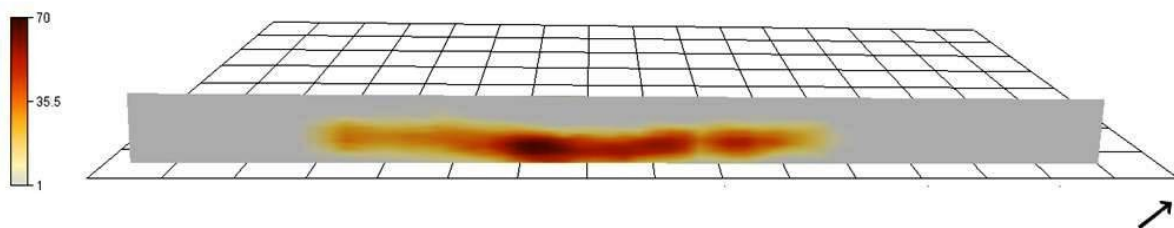
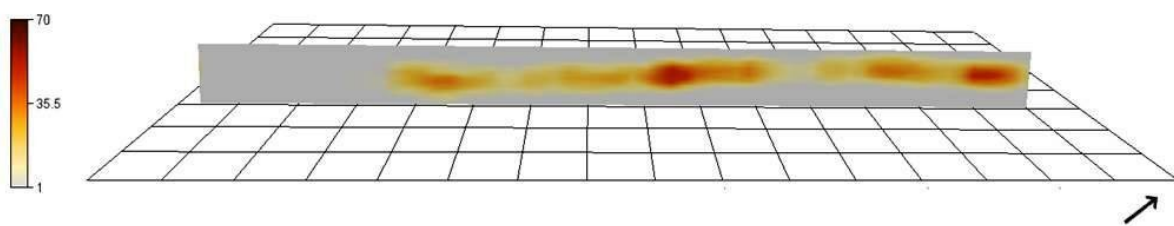


Fig. 123 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti faunistici: sezioni longitudinali (elaborazione grafica G. Lembo).

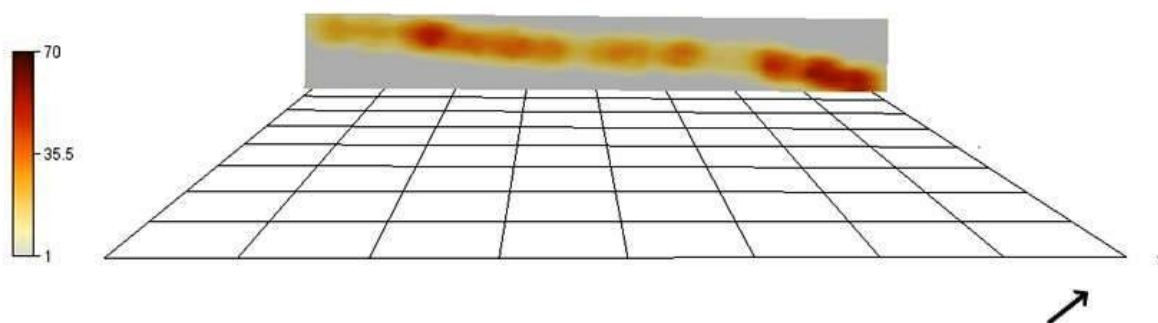
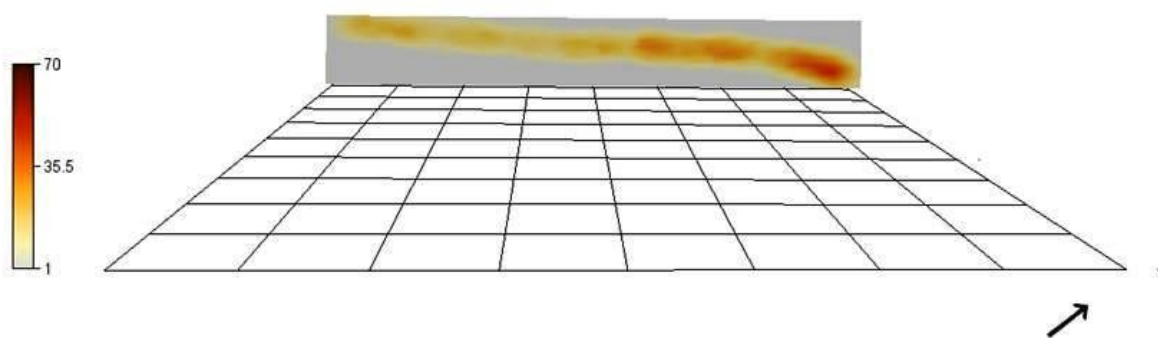


Fig. 124 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti faunistici: sezioni trasversali (elaborazione grafica G. Lembo).

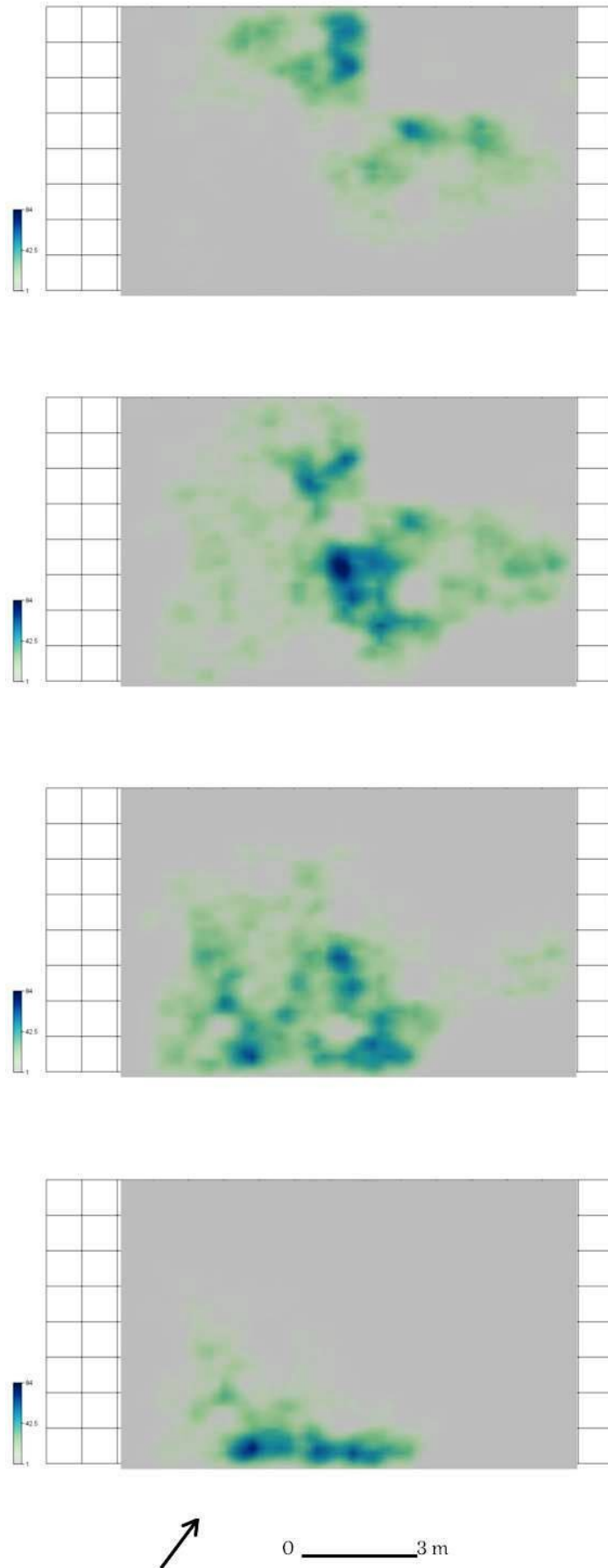


Fig. 125 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in selce: sezioni verticali a differenti quote (dall'alto in basso: 0, -40, -80, -120 cm) (elaborazione grafica G. Lembo).

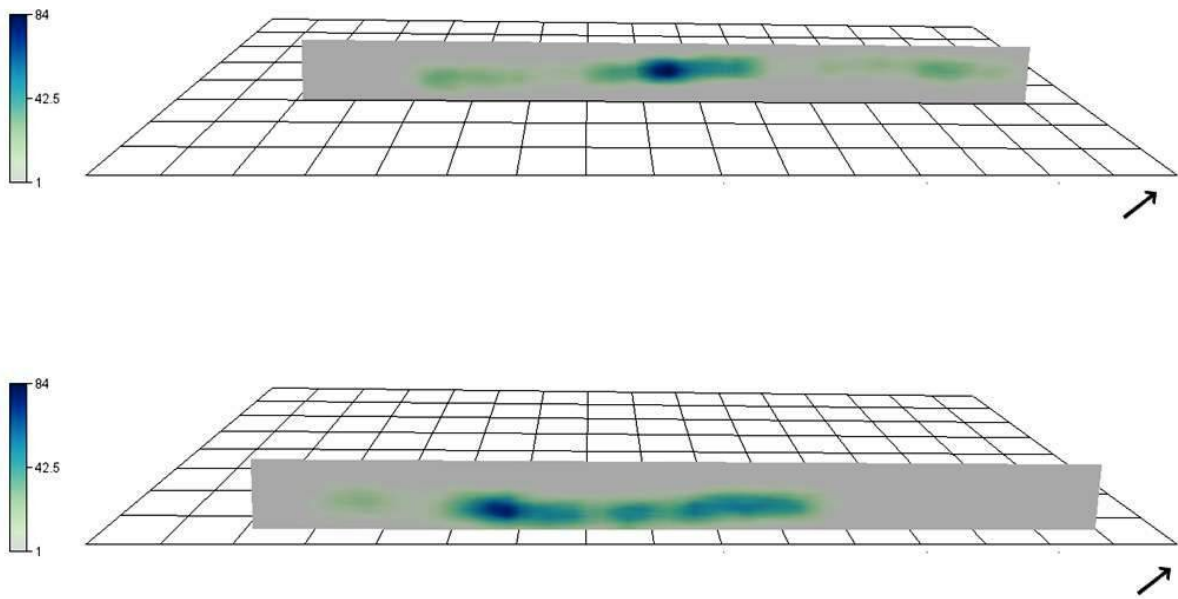


Fig. 126 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in selce: sezioni longitudinali (elaborazione grafica G. Lembo).

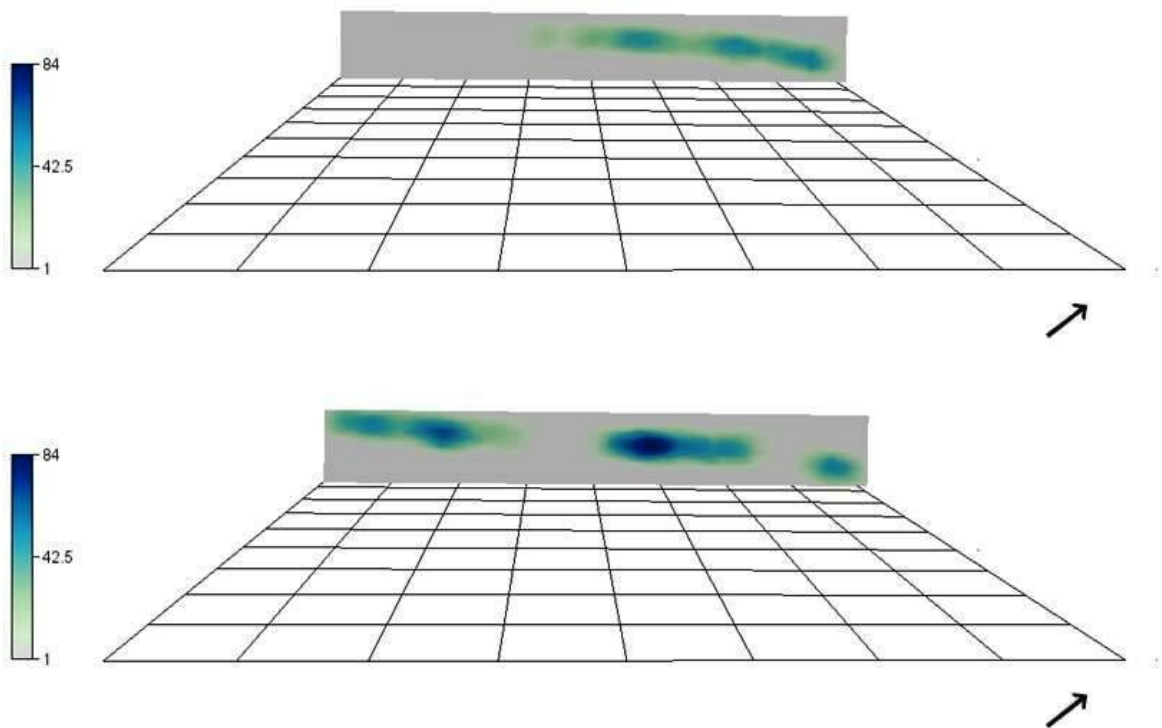
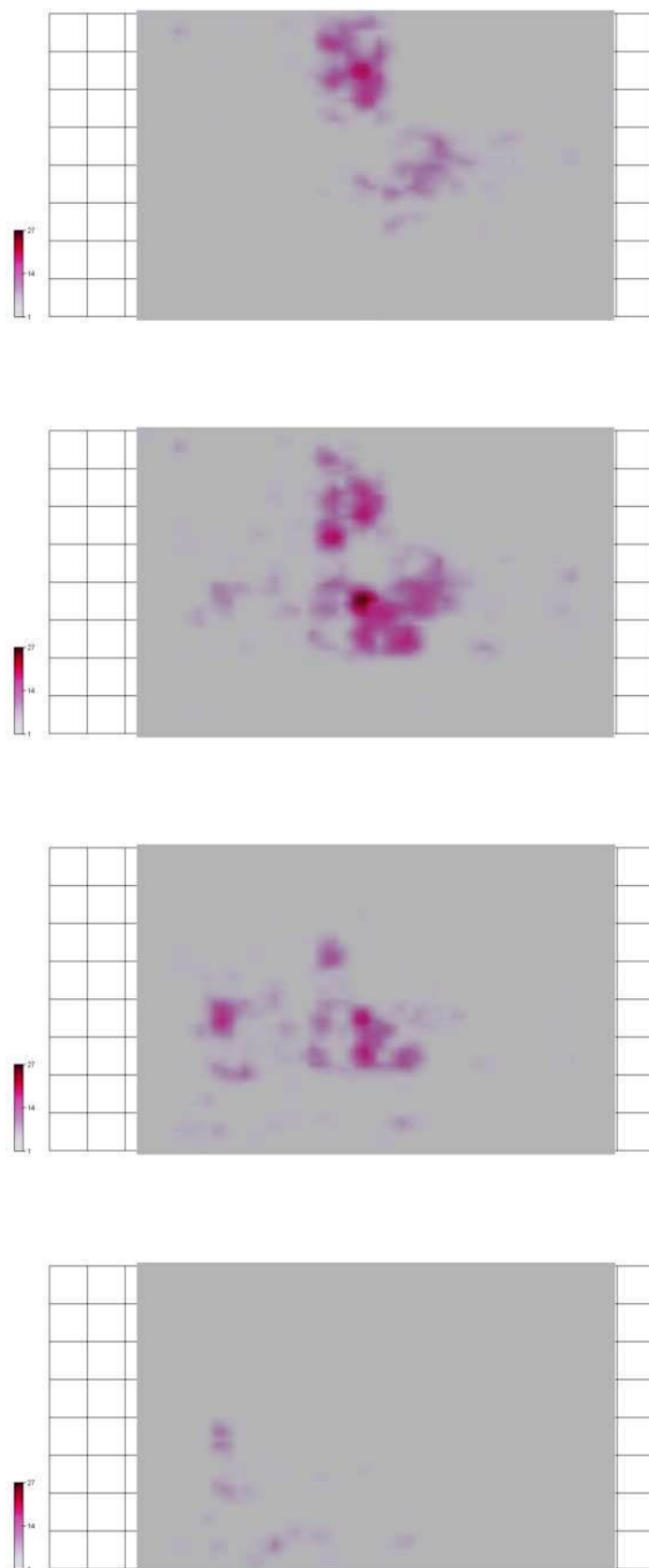


Fig. 127 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in selce: sezioni trasversali (elaborazione grafica G. Lembo).



0 ————— 3 m

Fig. 128 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in calcare: sezioni verticali a differenti quote (dall'alto in basso: 0, -40, -80, -120 cm) (elaborazione grafica G. Lembo).

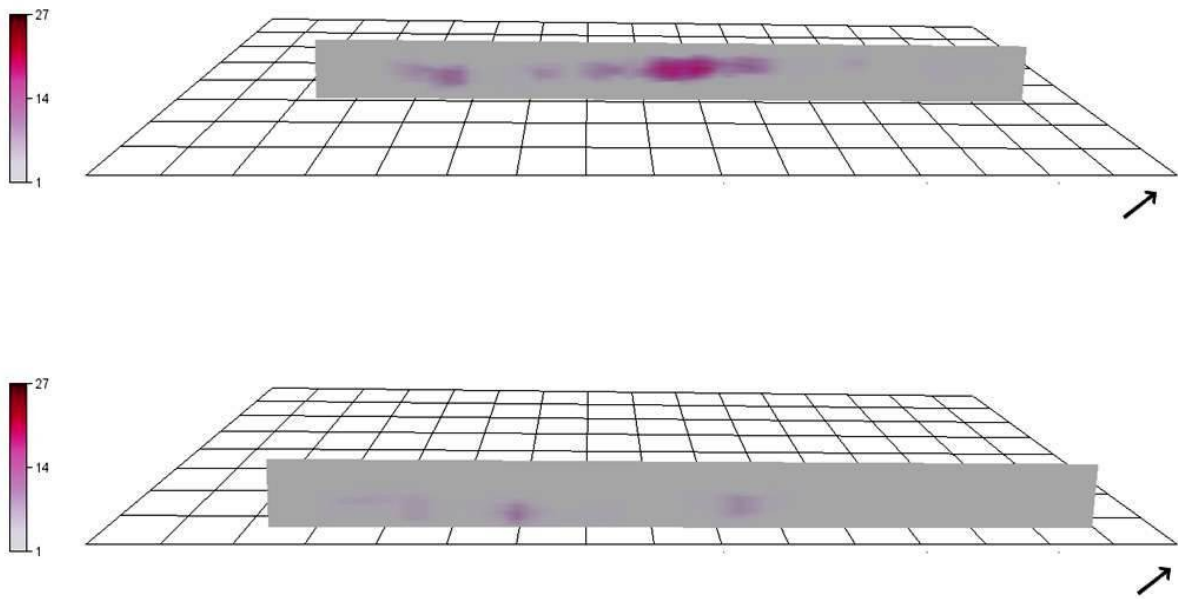


Fig. 129 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in calcare: sezioni longitudinali (elaborazione grafica G. Lembo).

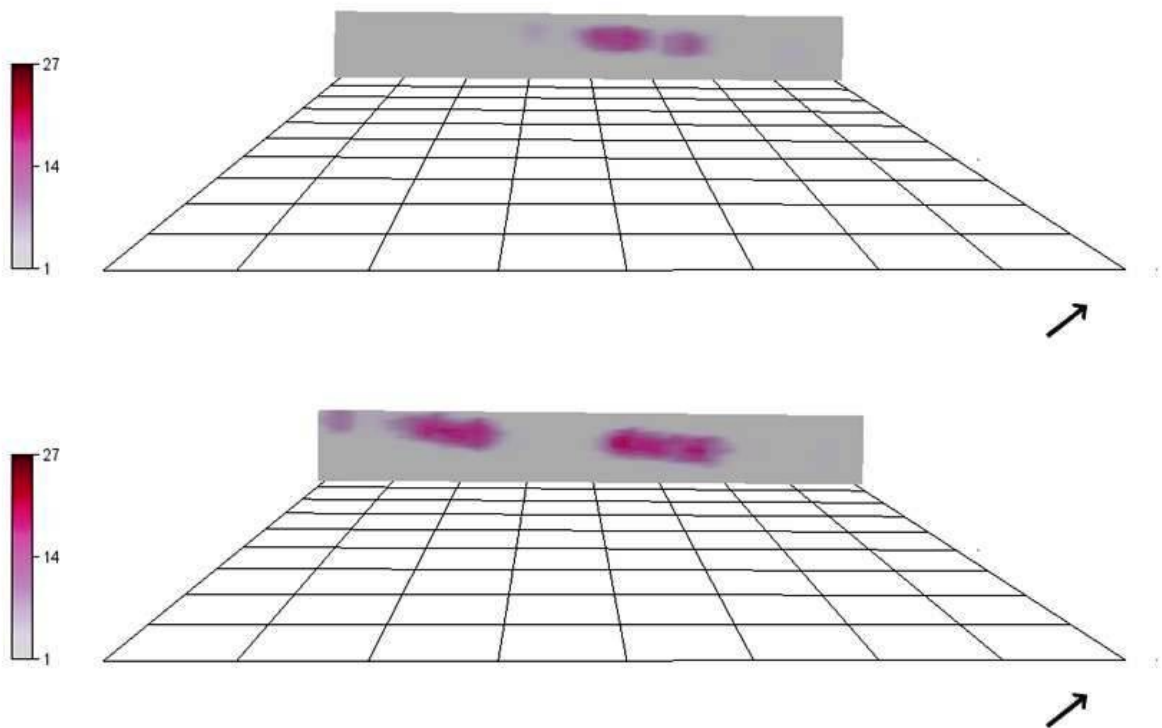


Fig. 130 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in calcare: sezioni trasversali (elaborazione grafica G. Lembo).

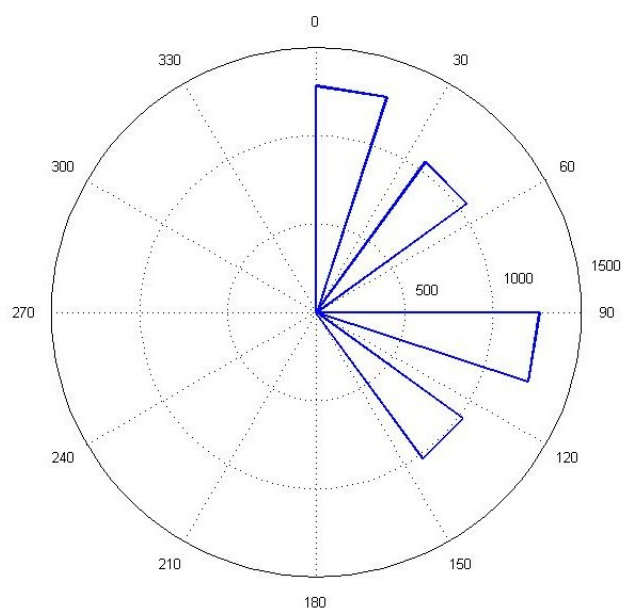


Fig. 131 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Diagramma *Rose*. distribuzione dell'orientamento dei reperti con *elongation index* ≥ 2 (elaborazione grafica G. Lembo).

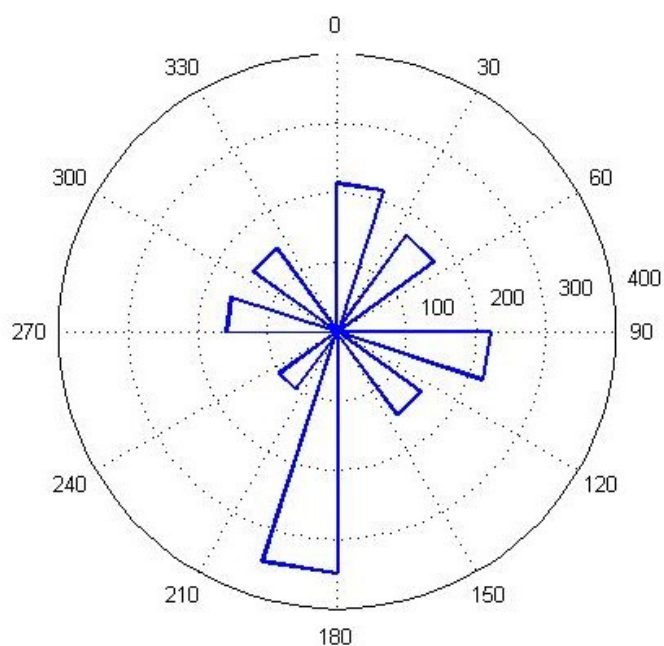


Fig. 132 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Diagramma *Rose*. distribuzione della *plunge direction* (elaborazione grafica G. Lembo).

Infine per quanto riguarda i livelli archeologici superiori, composti perlopiù da sabbie medio fini (3s 6-9) e da sabbie più grossolane (3s 1-5), le distribuzioni spaziali non forniscono una lettura particolare, anzi sottolineano la casualità della dispersione degli oggetti archeologici (Figg. 133-141).

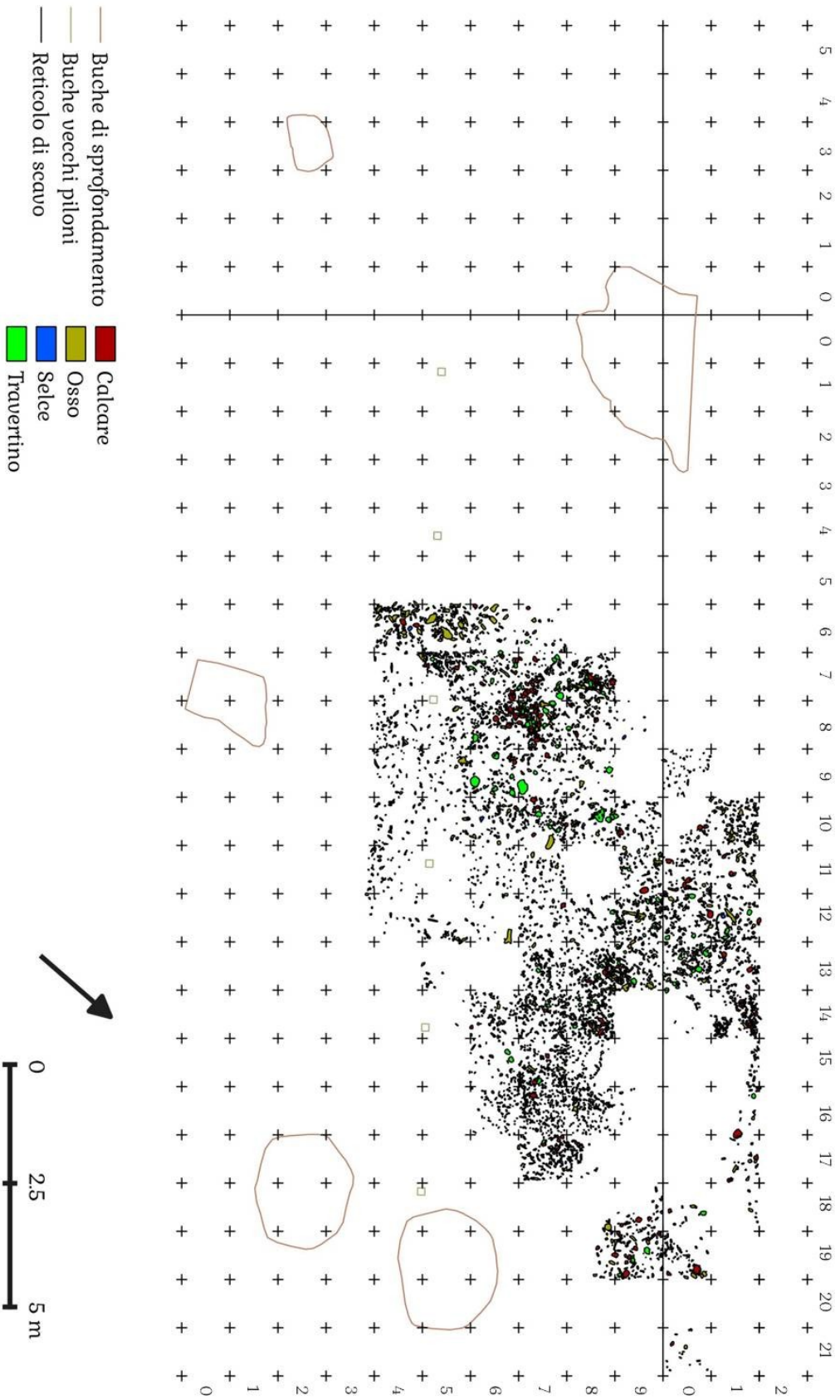


Fig. 133 - Isernia La Pineta, 3s 6-9. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo).

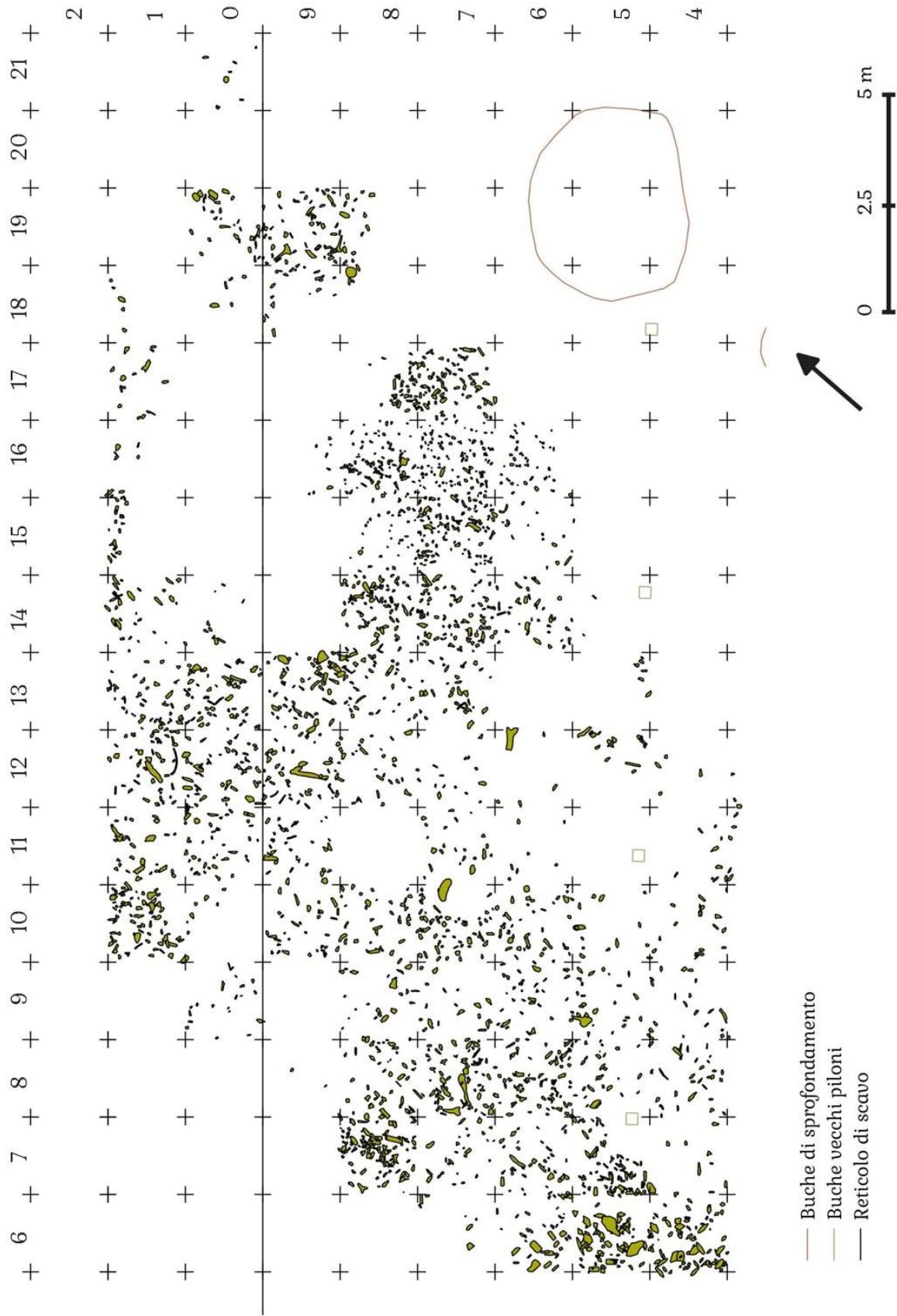


Fig. 134 - Isernia La Pineta, 3s 6-9. Distribuzione dei reperti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo).

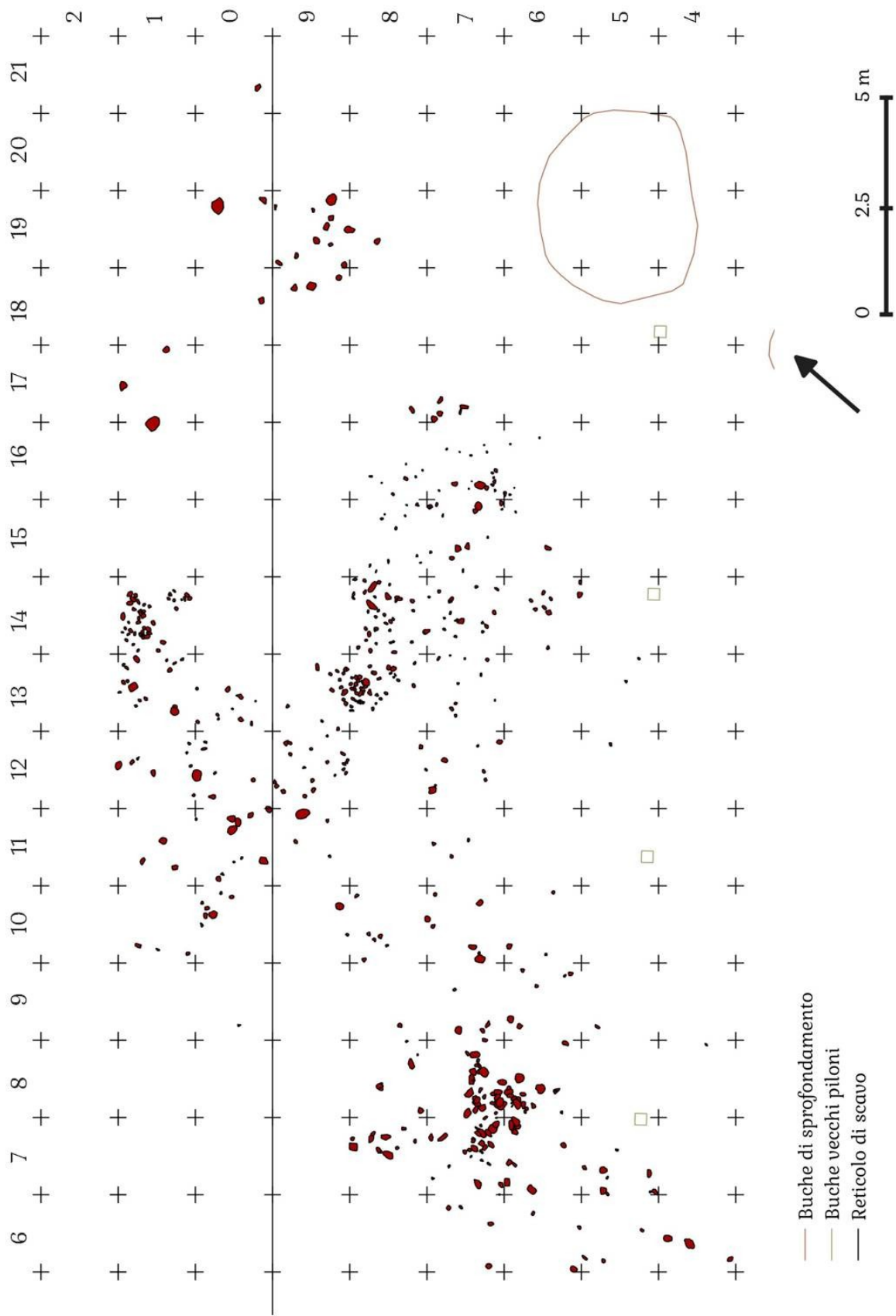


Fig. 136 - Isernia La Pineta, 3s 6-9. Distribuzione dei reperti in calcare (elaborazione grafica G. Lembo).

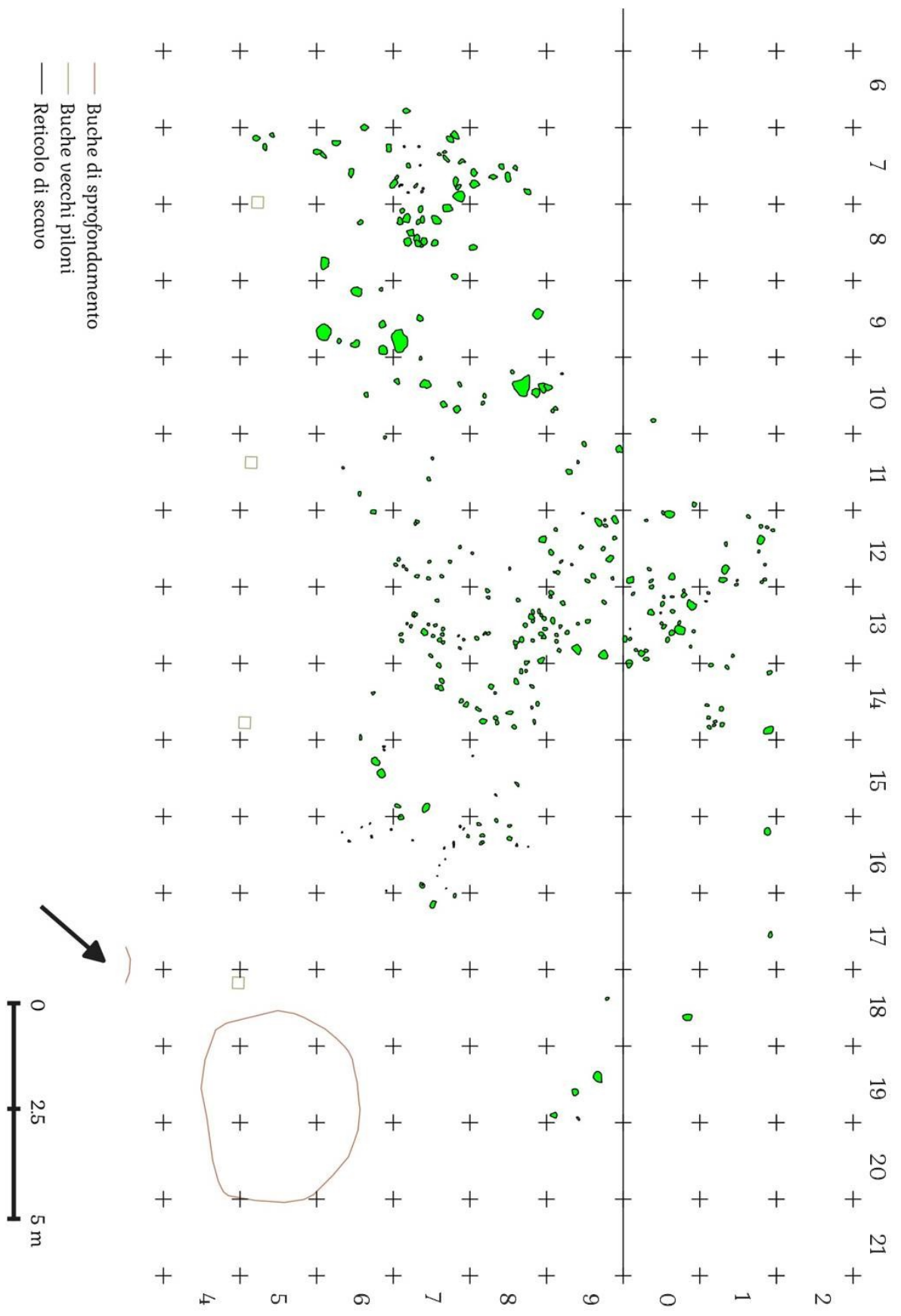


Fig. 137 - Isernia La Pineta, 3s 6-9. Distribuzione dei reperti in travertino (elaborazione grafica G. Lembo).

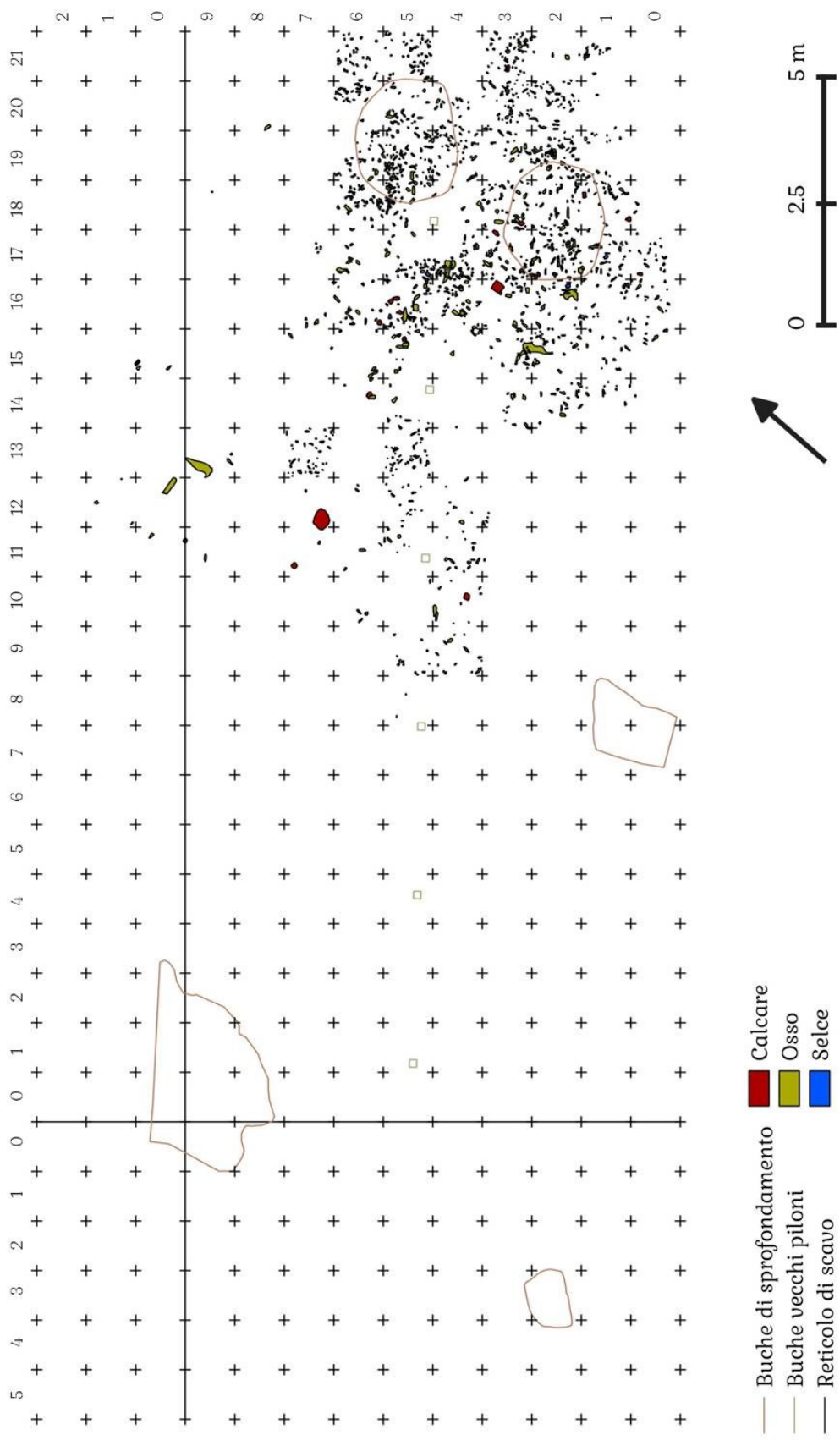


Fig. 138 - Isernia La Pineta, 3s 1-5. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo).

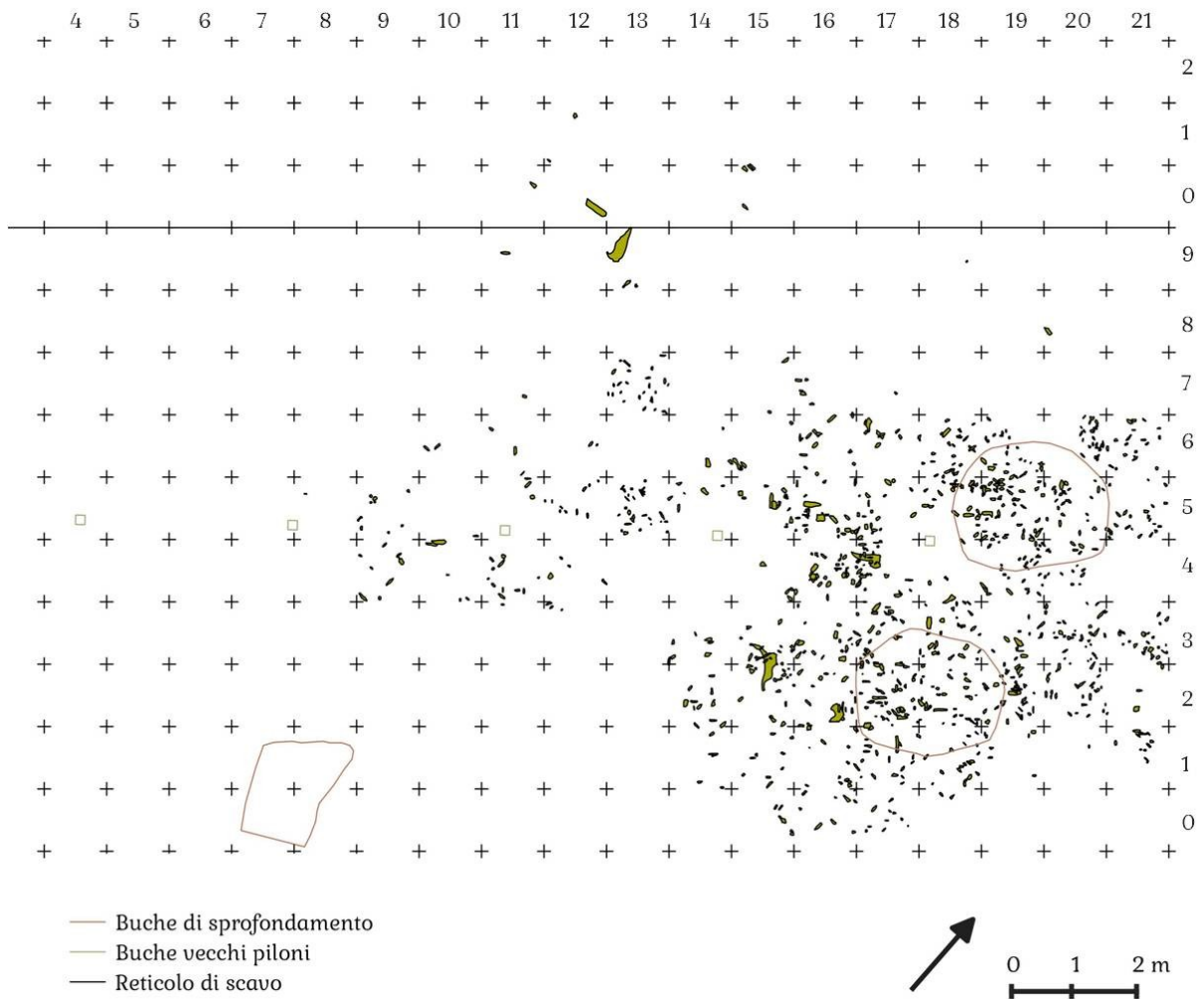


Fig. 139 - Isernia La Pineta, 3s 1-5. Distribuzione dei reperti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo).

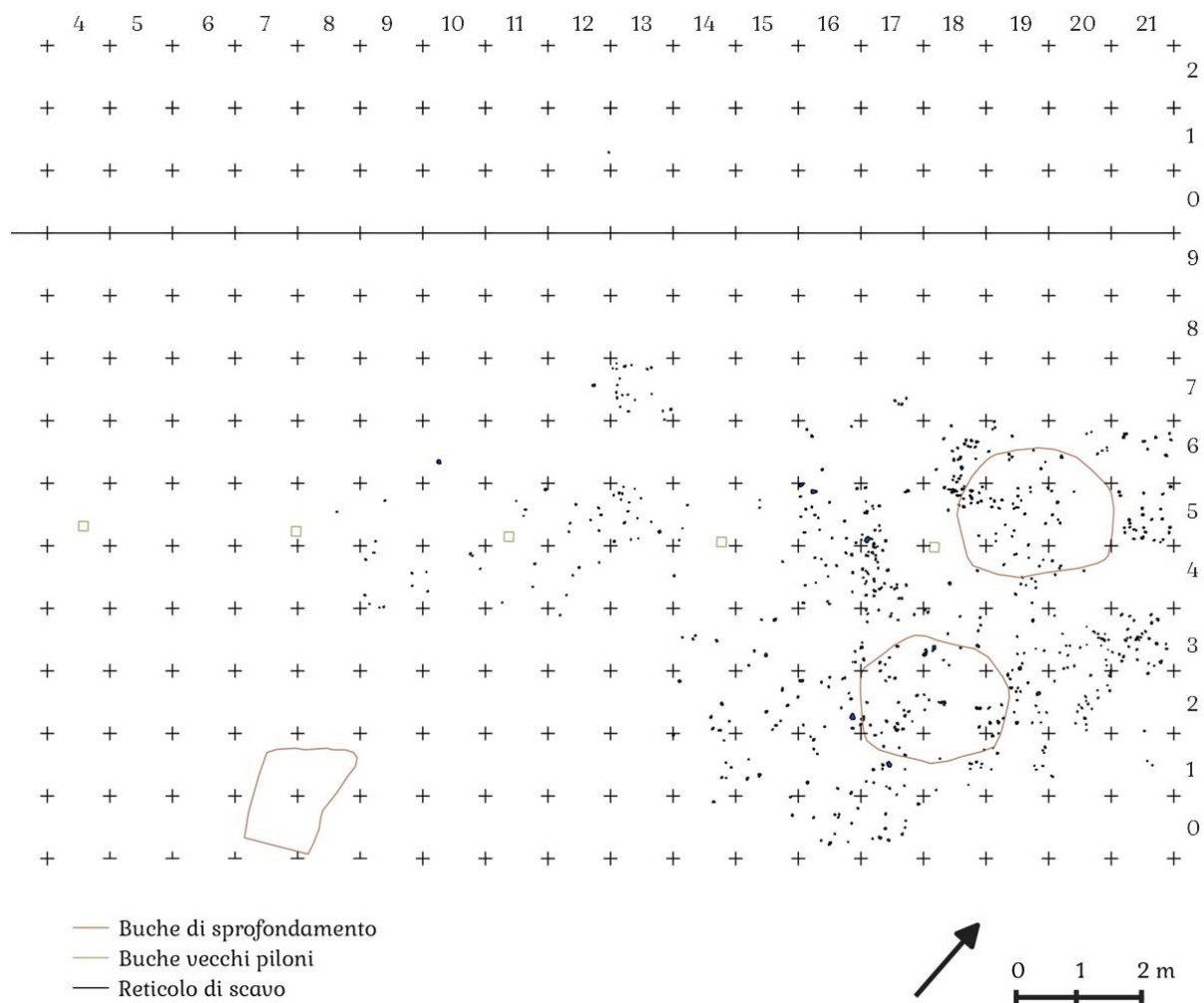


Fig. 140 - Isernia La Pineta, 3s 1-5. Distribuzione dei reperti in selce (elaborazione grafica G. Lembo).

CONCLUSIONI

L'utilizzo dell'informatica in campo archeologico ha aperto la strada a nuovi e sempre più utili e sofisticati sistemi di documentazione; tuttavia appare oggi chiaro che non deve, e non può, esimersi dalla definizione di un'adeguata base teorica e dalla discussione sui metodi di documentazione adottati, che sono propri e specifici di ogni contesto archeologico.

In molti casi, infatti, sembra sussistere una sorta di 'determinismo tecnologico', in cui la tecnologia, da strumento al servizio della ricerca, diventa l'obiettivo primario e tende a dirigere la natura stessa della ricerca. La qualità dei dati non dipende dallo strumento utilizzato ma da come esso viene adoperato e applicato, per quali finalità, in risposta a quali esigenze, in base a quali metodi; pertanto la qualità dei dati dipende esclusivamente dal metodo di documentazione archeologica che si è deciso di adottare.

In questa ottica è stato messo a punto un nuovo modello metodologico, la cui sperimentazione e applicazione è stata condotta sul sito preistorico di Isernia La Pineta, caratterizzato da una straordinaria concentrazione di reperti archeologici e da complessi meccanismi deposizionali e post-deposizionali. Un'attenta valutazione dell'intero iter di ricerca, dalla documentazione durante le fasi di scavo fino all'elaborazione dei dati, ha portato ad una effettiva rielaborazione delle tecniche di documentazione tradizionali tramite la progettazione e la sperimentazione di un modello creato *ad hoc*. L'applicazione di questo nuovo modello metodologico ha consentito di raggiungere pienamente gli obiettivi prestabiliti: la velocità di acquisizione dei dati è aumentata unitamente al grado di precisione ed accuratezza degli stessi e, contestualmente, è stata registrata una riduzione degli errori in fase di rilevazione e documentazione (vedi cap. 2 e appendice).

Il sistema di fotogrammetria non calibrata per il rilievo digitale 3D e il sistema di ortorestituzione e registrazione delle coordinate per mezzo della stazione totale, si sono rivelati degli ottimi strumenti in grado di produrre risultati soddisfacenti,

i cui margini di precisione sono risultati compatibili con i bisogni di una documentazione accurata e rigorosa dello scavo archeologico.

Per quanto riguarda i risultati acquisiti, il sistema GIS progettato e le successive analisi spaziali sviluppate per i diversi livelli archeologici individuati (3c, 3a, 3colluvio, 3s6-9 e 3s1-5) hanno fornito delle sequenze distributive, in alcuni casi evidenti e in altri meno, ciò a causa di una molteplicità di fattori, non ultimo l'evolversi delle modalità di registrazione e raccolta dati nel corso del quarantennale periodo di scavo (vedi cap. 3).

Eventuali discordanze con quanto ricostruito fino a questo momento con la metodologia tradizionale non sono al momento valutabili ma saranno percepibili solamente nel lungo periodo, considerando inoltre che esistono oggettive difficoltà di integrazione dei 'vecchi dati' con i nuovi (vedi cap. 3).

Al di là dell'applicazione al contesto specifico di Isernia La Pineta, l'elemento estremamente interessante di questo nuovo modello metodologico è la possibilità di replicazione in altri contesti archeologici. Si tratta di un modello che coniuga semplicità e versatilità di utilizzo e che, realizzato per buona parte in ambiente open-source, non richiede grossi investimenti e neppure particolari capacità e conoscenze informatiche per il suo utilizzo. Consente inoltre la visualizzazione e l'aggiornamento in tempo reale dei dati di scavo e, garantendo un collegamento tra area di scavo e laboratorio, anche un controllo dei dati, con conseguente riduzione degli errori.

In futuro ci si spingerà sempre di più verso una elaborazione *real time* dei dati risultanti dallo scavo, con l'opportunità di condividere la ricerca in rete, sul campo e in laboratorio. Questa possibilità operativa di gestione di flussi aumenterà in maniera considerevole le potenzialità di interpretazione velocizzando le fasi di elaborazione della ricerca archeologica.

APPENDICE 1

DA3D: l'algoritmo per la distribuzione spaziale 3D

Il metodo di analisi della densità tridimensionale è stato elaborato a seguito dello sviluppo del sistema GIS applicato al sito di Isernia La Pineta. La complessità dei fenomeni deposizionali e lo spessore della sequenza stratigrafica hanno richiesto un'analisi spaziale che tenesse conto della distribuzione tridimensionale dei reperti.

Per questo motivo è stato creato un software (DA3D) atto a contare il numero di reperti (punti) all'interno di una sfera in un raggio variabile, il cui centro è un punto dato. Questo conteggio risulta dal calcolo euclideo della distanza per misurare lo spazio da un punto definito dall'utente a tutti gli altri punti del dataset. Se questa distanza è uguale o inferiore al raggio della sfera, il punto viene conteggiato (Gallotti *et al.*, 2012) (Fig. 142).

In questo modo avremo il seguente algoritmo:

```
dataset: A (x, y, z), B (x, y, z), C (x, y, z) ... N (x, y, z)
```

```
for each (PA in Points)
```

```
    for each (PB in Points)
```

```
        if (k ≤ d (PA, PB))
```

```
            count (PA) ++
```

dove:

P = dataset per il calcolo della densità. Esempio: P_A è l'insieme dei punti considerati per il conteggio e il centro della sfera è il punto A

k = raggio della sfera

$$d \text{ (distanza euclidea)} = \sqrt{(x_{P_A} - x_{P_B})^2 + (y_{P_A} - y_{P_B})^2 + (z_{P_A} - z_{P_B})^2}$$

La complessità dell'algoritmo è O (n²).

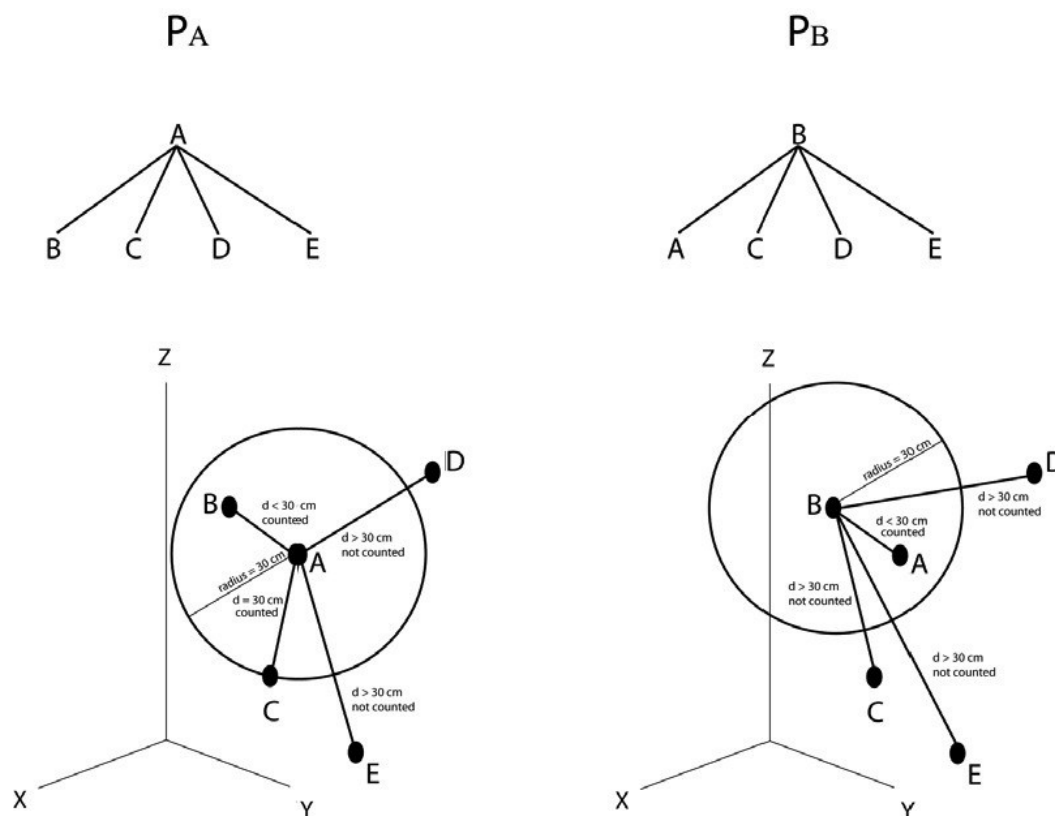


Fig. 142 - Rappresentazione schematica del metodo di calcolo della densità 3D (da Gallotti et al., 2012).

Il database ottenuto dall'elaborazione dati DA3D viene successivamente importato in Voxler®, un programma di visualizzazione scientifica tridimensionale, orientato principalmente verso il *rendering* volumetrico e la visualizzazione di dati tridimensionali (Fig. 143). Se il punto di forza è sui volumi tridimensionali, Voxler® può anche utilizzare griglie bidimensionali, inclusi i file DEM, immagini e dati di punti sparsi. Voxler® può visualizzare *streamlines*, grafici vettoriali, mappe vettorializzate, isosuperfici, immagini, diagrammi di dispersione tridimensionali. I moduli computazionali includono *grid* tridimensionale, numerose operazioni reticolari e l'elaborazione delle immagini. Voxler® è progettato per visualizzare dati XYZC, dove C è una variabile in rapporto alla posizione delle coordinate X, Y, Z. Con Voxler® inoltre è possibile creare output di grafici per i modelli tridimensionali. I modelli tridimensionali creati possono essere sezionati, visualizzati in qualsiasi angolazione, e anche animati con un semplice movimento del mouse (Figg. 144-145). È possibile visualizzare i modelli tridimensionali sia simultaneamente che separatamente (“Getting Started Guide,” 2010).

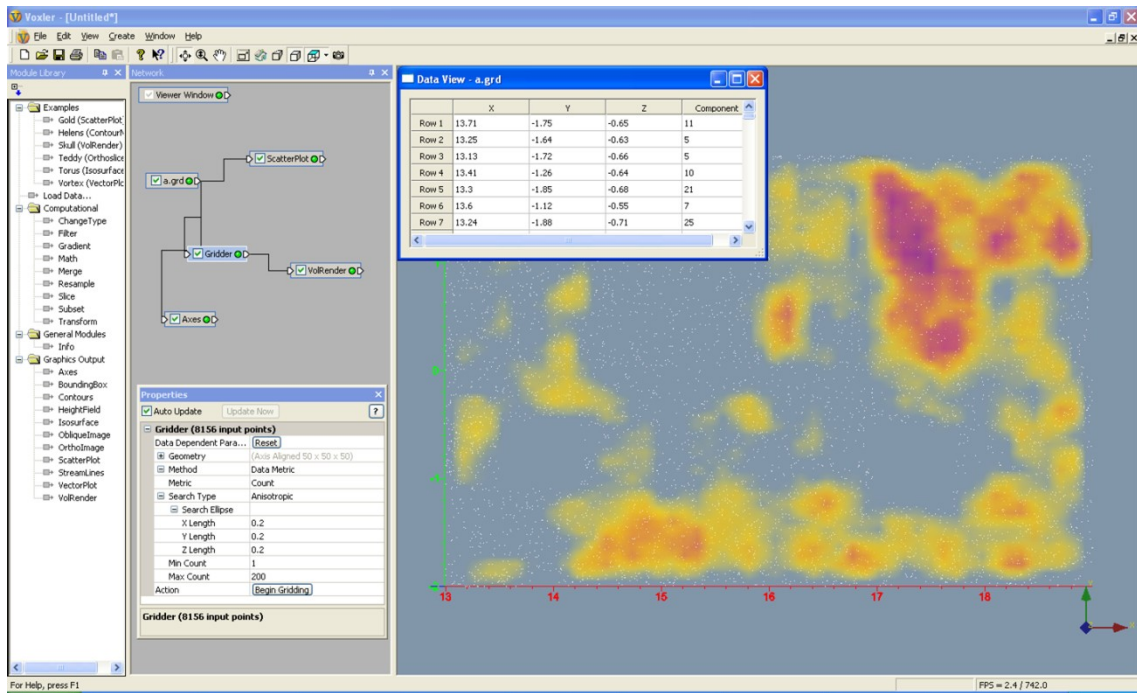


Fig. 143 - Esempio di elaborazione dati in Voxler® (elaborazione grafica G. Lembo)

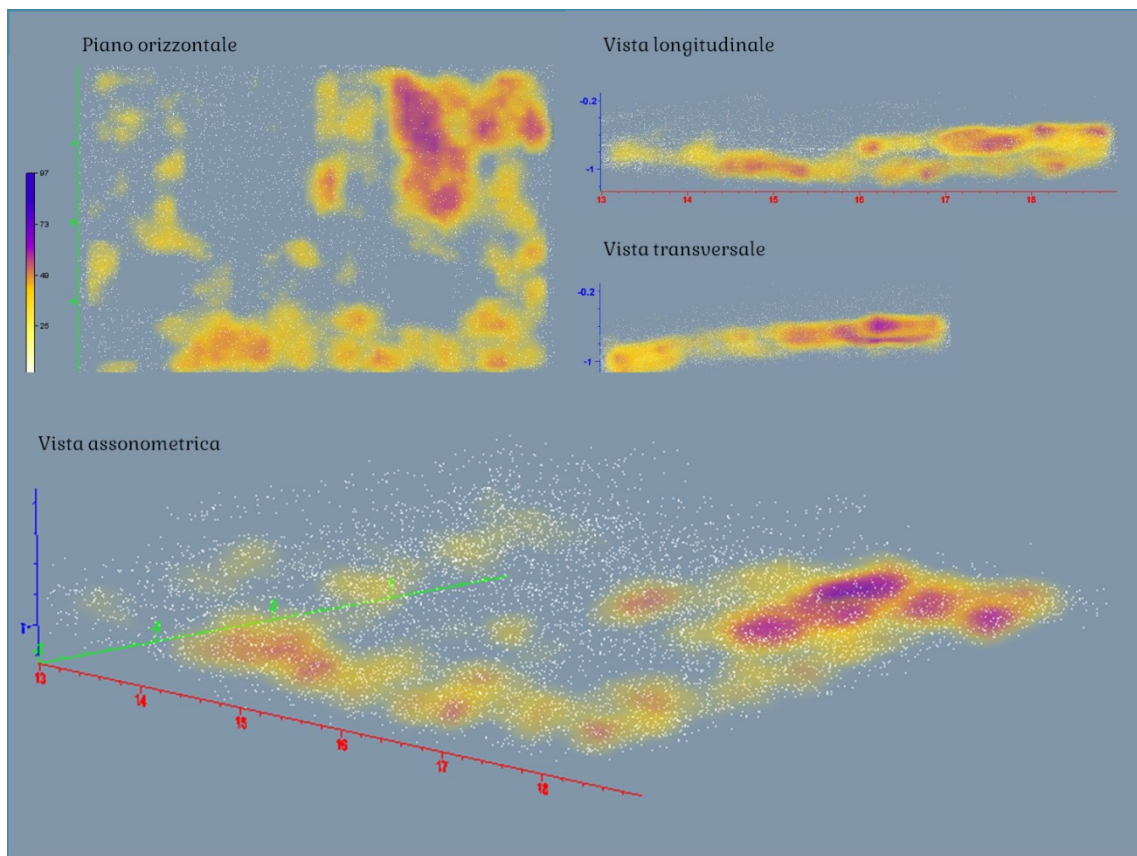


Fig. 144 - Esempi di visualizzazione 3D (elaborazione grafica G. Lembo).

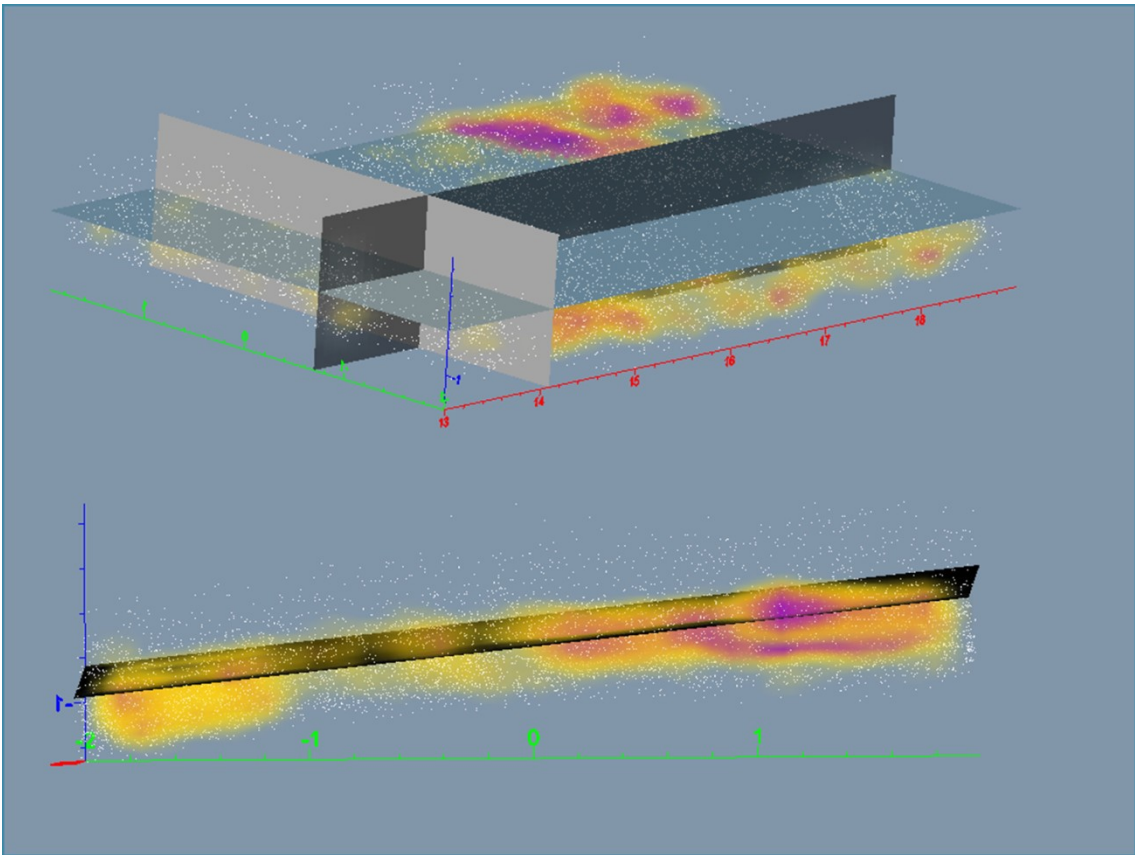


Fig. 145 - Esempi delle varie possibilità di sezionare i modelli tridimensionali (elaborazione grafica G. Lembo).

APPENDICE 2

Calcolo del carattere spaziale di un oggetto

La registrazione del carattere spaziale dei reperti di scavo, sulla base dell'orientamento e dell'inclinazione, è prassi comune per quanto concerne i siti del Pleistocene per comprendere il ruolo dei processi naturali nella formazione dei depositi.

Tra le diverse modalità di acquisizione dell'orientamento esistenti (de la Torre and Benito-Calvo, 2013), quella senz'altro più efficace è il *Minimum Bounding Rectangle* (MBR) e cioè la misurazione della direzione (*strike*) e dell'inclinazione (*dip*) dell'asse maggiore degli oggetti allungati, ovvero di quelli con un rapporto (*elongation value*) tra asse maggiore (a) e asse intermedio (b) (Ricci Lucchi, 1980) (Figg. 146-147) superiore a 1.6 per Lenoble e Bertran (2004), 1.7 per Bertran e Texier (1995), tra 1.4 e 1.7 per Millar e Nelson (2001), 2.0 per Giardino e Vitek (1988) racchiusi nel parallelepipedo minimo che include l'oggetto secondo le sue dimensioni. Questo metodo fornisce una buona stima dell'orientamento anche dei reperti di forma più irregolare.

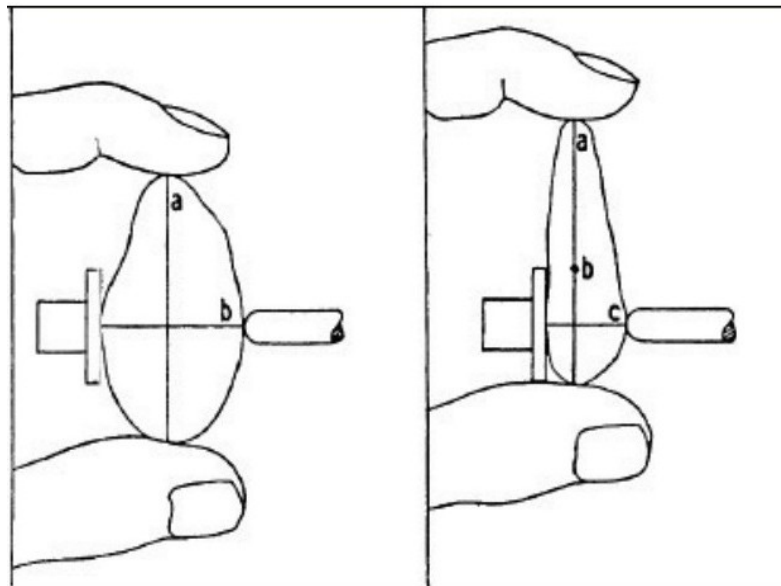


Fig. 146 - Definizione degli assi maggiore (a), intermedio (b) e minore (c) (da Ricci Lucchi, 1980).

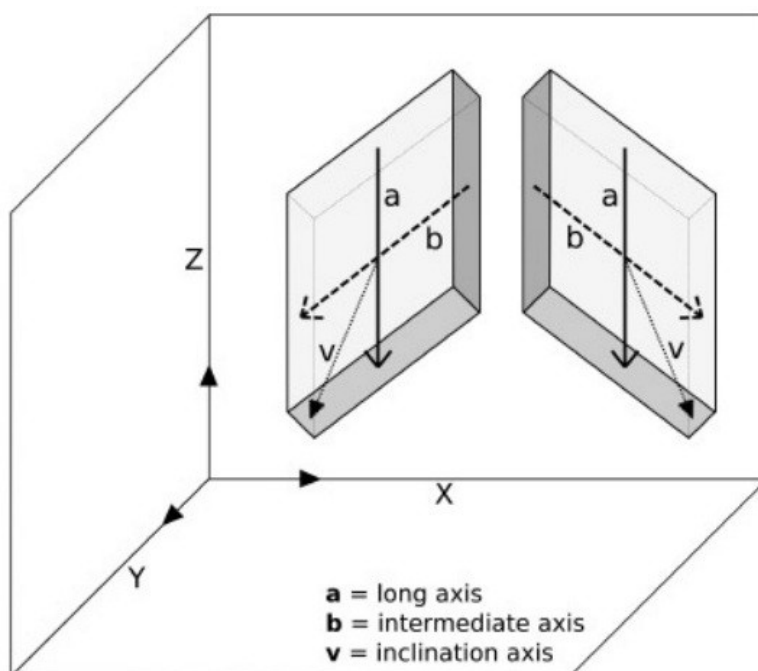


Fig. 147 - Rappresentazione schematica di due clasti con identico asse (a) ed opposto asse (b) (da Francisci, 2011).

L'acquisizione, tramite la stazione totale, di due punti del reperto che corrispondono agli estremi del suo asse maggiore, ci offre la possibilità di calcolare automaticamente, oltre al punto centrale di riferimento¹⁹ (Fig. 148), anche l'orientamento.

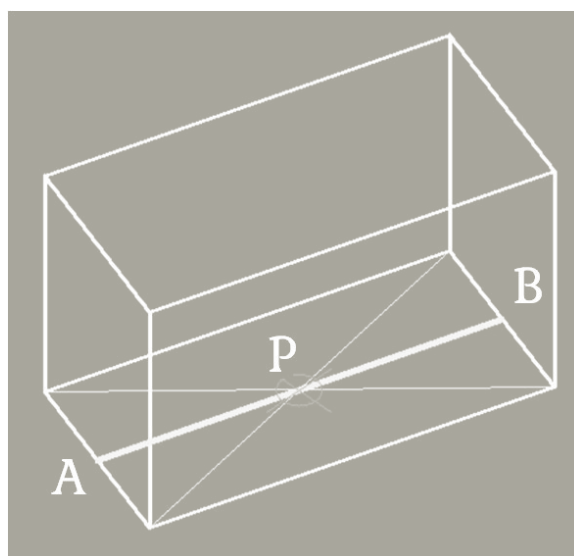


Fig. 148 - Parallelepipedo che include l'oggetto secondo le sue dimensioni con gli estremi dell'asse maggiore da cui scaturisce il punto centrale (elaborazione grafica G. Lembo).

¹⁹ Il punto medio tra due punti noti nello spazio è dato dalla formula:
 $P_x = \frac{X_a + X_b}{2}$; $P_y = \frac{Y_a + Y_b}{2}$; $P_z = \frac{Z_a + Z_b}{2}$; con A (X, Y, Z) e B (X, Y, Z)

Per quanto riguarda l'orientamento giocano i soli piani X e Y e quindi, conoscendo le coordinate dei due punti corrispondenti agli estremi dell'asse maggiore del reperto, possiamo calcolare il coefficiente angolare della retta che coincide con la direzione dell'asse maggiore (Fig. 149).

Il coefficiente angolare non è altro che la tangente trigonometrica che la retta forma con l'asse delle x. Il coefficiente angolare di una retta passante per due punti, siano $A = (x_A, y_A)$ e $B = (x_B, y_B)$, è esattamente $\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$, che equivale al rapporto tra il seno e il coseno dell'angolo compreso tra la retta e l'asse delle X (Fig. 150).

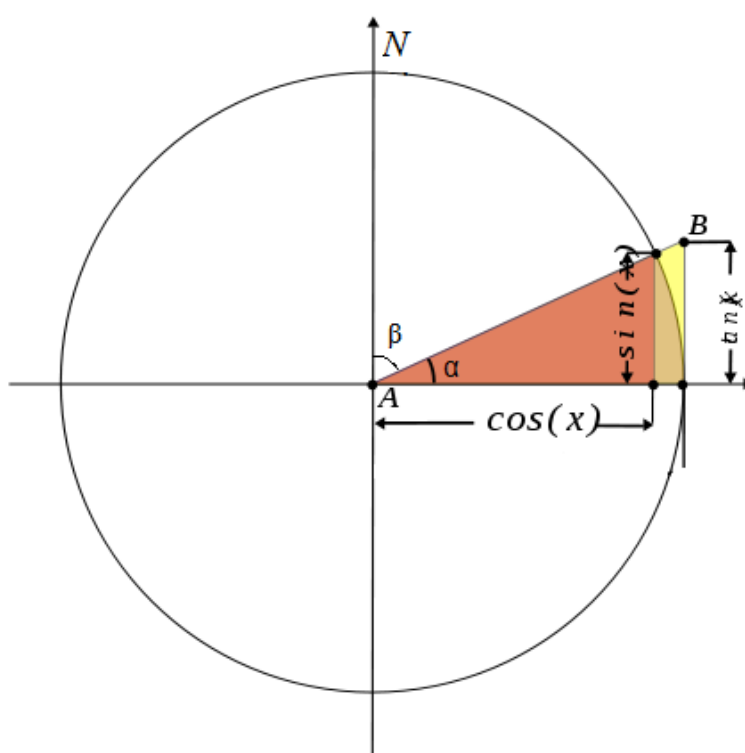


Fig. 149 - Visualizzazione geometrica della tangente dell'angolo α (elaborazione grafica G. Lembo).

Per conoscere il valore in gradi di una retta che ha coefficiente angolare diverso da 1 (uguale a 1 è di 45°) si utilizzano le funzioni matematiche di Excel. Per il calcolo, occorre prima trasformare il coefficiente angolare in radianti e successivamente trasformare quest'ultimo in gradi. Per trasformare un numero in radianti si utilizza la funzione ARCTAN che restituisce l'arcotangente di un numero. La sua sintassi è =ARCTAN(Num) dove Num è la tangente dell'angolo desiderato. Pertanto, se utilizziamo la funzione =ARCTAN() viene restituito il

valore che esprime il risultato in radianti. Per trasformare quest'ultimo valore in gradi occorre moltiplicare il risultato ottenuto per 180 e dividerlo per il numero π (3,1415...); si può, pertanto, utilizzare la formula: $=\text{ARCTAN}() \cdot 180 / \text{PI.GRECO}$. In alternativa alla formula si può utilizzare la funzione GRADI ed inserire il valore precedente come argomento; in questo caso la formula sarà: $=\text{GRADI}(\text{ARCTAN}())$. A questo punto per ottenere il valore dell'angolo complementare β , che corrisponde all'angolo in rapporto al Nord che coincide con l'asse delle ordinate, basta semplicemente sottrarre 90° . Per quanto riguarda la direzione dell'inclinazione questa, se coincide con la direzione dell'asse maggiore dell'oggetto, sarà uguale all'orientamento dell'oggetto se il punto A si trova ad una quota superiore rispetto a B, altrimenti la direzione sarà opposta. Se la direzione dell'inclinazione non coincide con la direzione dell'asse maggiore dell'oggetto bisogna, con l'aiuto della stazione totale, registrare ulteriori due punti che risulteranno essere gli estremi della direzione dell'inclinazione dell'oggetto.

L'inclinazione non è altro che la pendenza espressa in gradi. Quindi considerati due punti P e Q si ha:

pendenza assoluta (p) = rapporto tra il dislivello (h) e la distanza orizzontale (d) tra i due punti espressi.

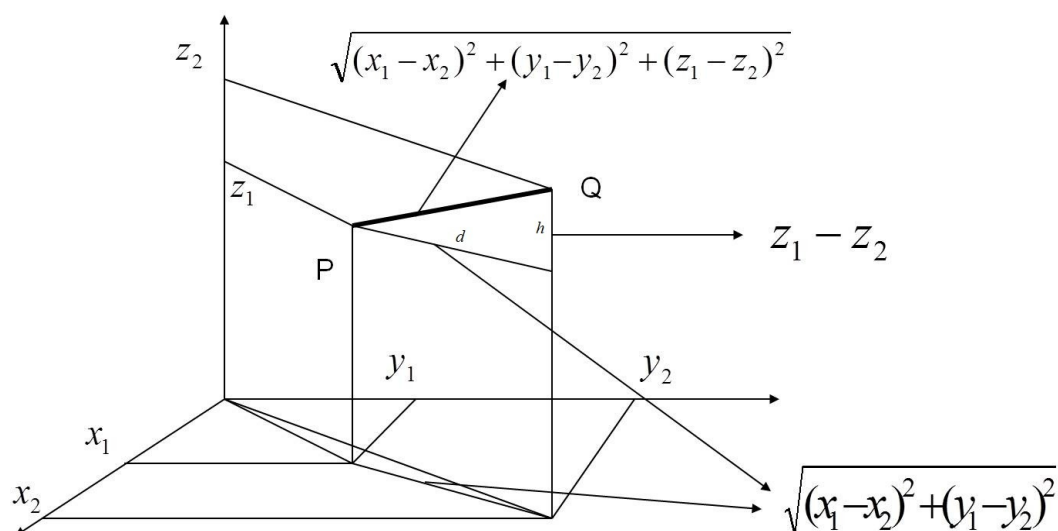


Fig. 150 - Visualizzazione dell'inclinazione di un oggetto nello spazio (elaborazione grafica G. Lembo)

Per cui $p = \frac{h}{d}$ e applicando il teorema della distanza euclidea nello spazio $(\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2})$ avremo $\frac{z_Q - z_P}{\sqrt{(x_Q - x_P)^2 + (y_Q - y_P)^2}}$

A questo punto per conoscere il valore in gradi dell'inclinazione si procede come descritto precedentemente.

Questo procedimento automatico per calcolare la direzione e l'inclinazione di un oggetto di scavo, grazie alla registrazione di due (massimo quattro) coordinate tramite la stazione totale, permette una maggiore precisione e una velocizzazione delle fasi di scavo evitando di utilizzare la bussola o di analizzare eventuali immagini e disegni. Il controllo effettuato (Fig. 151) ha dimostrato che la percentuale di errore è molto bassa, e varia dalla facilità nel poter registrare i punti con la stazione totale alla precisione dell'archeologo nello scegliere i punti esatti dell'oggetto.

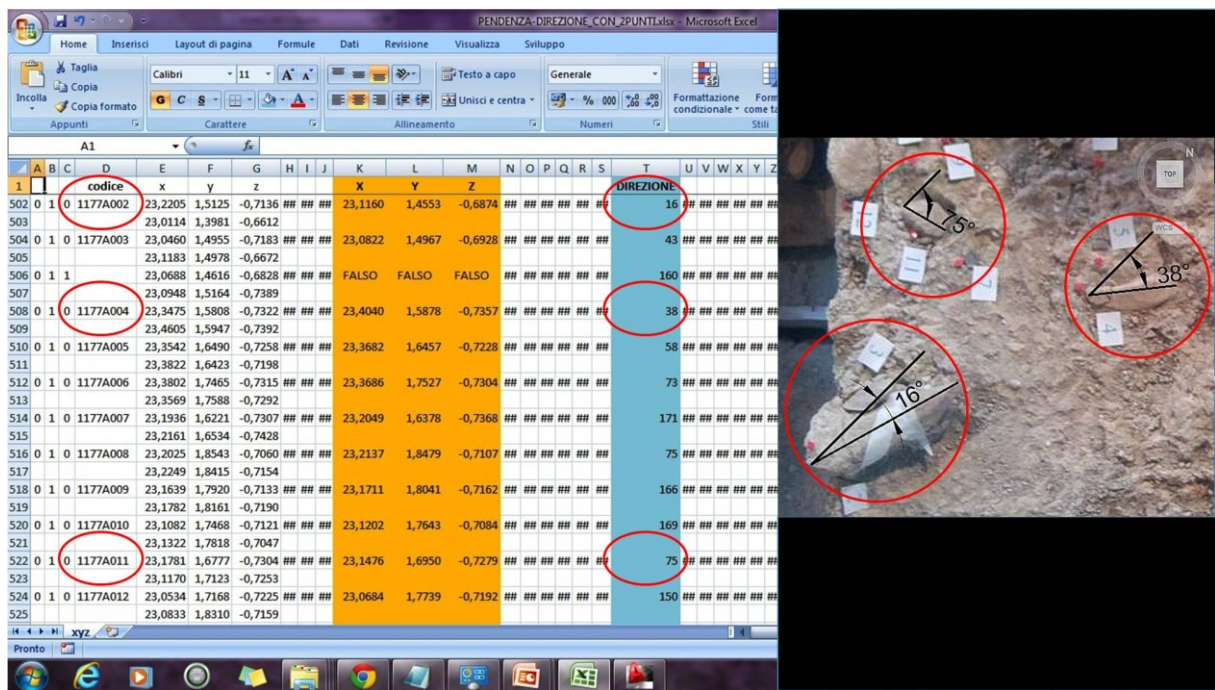


Fig. 151 - Screenshot che mette in relazione i risultati derivanti dal nuovo procedimento di acquisizione (nella tabella a sinistra) e quelli recuperati manualmente da un'immagine (a destra) (elaborazione grafica G. Lembo).

BIBLIOGRAFIA

- Abbazzi, L., Masini, F., 1997. *Megaceroides solilhacus* and other deer from the middle Pleistocene site of Isernia La Pineta (Molise, Italy). *Boll. della Soc. Paleontol. Ital.* 35, 213–227.
- Accorsi, C.A., Cremaschi, M., Mercuri, A.M., 1996. Qualche dato sul paesaggio dell'accampamento paleolitico di Isernia (Molise, Italia centrale): dati litostratigrafici e spettri pollinici della serie "Isernia-Fiume Cavaliere, in: Peretto, C. (Ed.), *I Reperti Paleontologici Di Isernia La Pineta. L'Uomo E L'ambiente*. Cosmo Iannone Editore, Isernia, pp. 7–23.
- Alhaique, F., Bisconti, M., Castiglioni, E., Guerreschi, A., Iacopini, A., Malerba, G., Peretto, C., Rottoli, M., Hohenstein, U.T., Tozzi, C., Visentini, P., 2004. *Animal Resources and Subsistence Strategies*. *Coll. Antropol.* 28, 23–40.
- Allen, K.M.S., Green, S.W., Zubrow, E.B.W., 1990. *Interpreting Space: GIS and archaeology*. Taylor and Francis, London.
- Anconetani, P., Giusberti, G., Peretto, C., 1991. Schema raccolta dati per lo studio della fratturazione intenzionale delle ossa dei suoli d'abitato paleolitici di Isernia La Pineta (Molise), in: Peretto, C. (Ed.), *Isernia La Pineta, Nuovi Contributi Scientifici*. Istituto Regionale per gli Studi Storici del Molise "V. Cuoco," Venosa-Isernia, pp. 97–99.
- Anconetani, P., Giusberti, G., Peretto, C., 1996. Metodica di raccolta, codifica e trattamento dati per la ricerca archeozoologica, in: *I Reperti Paleontologici Del Giacimento Paleolitico Di Isernia La Pineta, l'Uomo E L'ambiente*. Cosmo Iannone Editore, Isernia, pp. 577–597.
- Aranguren, B., Revedin, A., Bartolacci, S., Morandi, R., 2003. L'insediamento gravettiano di Bilancino (Firenze), in: Peretto, C. (Ed.), *Analisi Informatizzata E Trattamento Dati Delle Strutture Di Abitato Di Età Preistorica E Protostorica in Italia*. Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, Firenze, pp. 71–81.
- Arzarello, M., Marcolini, F., Pavia, G., Pavia, M., Petronio, C., Petrucci, M., Rook, L., Sardella, R., 2007. Evidence of earliest human occurrence in Europe: the site of Pirro Nord (Southern Italy). *Naturwissenschaften* 94, 107–112.
- Arzarello, M., Marcolini, F., Pavia, G., Pavia, M., Petronio, C., Petrucci, M., Rook, L., Sardella, R., 2009. L'industrie lithique du site Pléistocène inférieur de Pirro Nord (Apricena, Italie du Sud): une occupation humaine entre 1,3 et 1,7 Ma. *Anthropologie*. 113, 47–58.
- Arzarello, M., Pavia, M., Peretto, C., Petronio, C., Sardella, R., 2011. Evidence of an Early Pleistocene hominin presence at Pirro Nord (Apricena, Foggia, southern Italy): P13 site. *Quat. Int.*

- Azzena, G., 2009. Punto di non ritorno (Cartografia numerica, Sistemi Informativi Territoriali, Analisi spaziali). *Archeol. e Calc.* 20, 169–177.
- Backwell, L., D’Errico, F., 2001. From the Cover: Evidence of termite foraging by Swartkrans early hominids, in: *Proceedings of the National Academy of Science*. pp. 1358–1363.
- Baldi, J.S., 2010. La carta d’identità di chi non conobbi mai. *Riv. di Antropol.* XV, 37–46.
- Barceló, J., Maximiano, A., 2006. The Mathematics of domestic spaces, in: *Archaeology of the Household Workshop*. Barcellona.
- Barcelò, J.A., 2002. Archaeological thinking: between space and time. *Archeol. e Calc.* 13, 237–257.
- Barcelò, J.A., Maximiano, A., Vicente, O., 2004. La Multidimensionalidad del Espacio Arqueològico: Teoria, Matemáticas, Visualización, in: *Jornadas de Arqueología Del Paisaje Y Aplicaciones de Lo SIG*. Universidad de Alicante, Alicante.
- Bar-Yosef, O., Tchernov, E., 1972. On the Palaeo-Ecological History of the site of Ubeidiya. *Israel: Publications of the Israel Academy of Sciences and Humanities*.
- Baxter, M., Beardah, C.C., Wright, R.V.S., 1997. Some archaeological applications of Kernel Density Estimates. *J. Archaeol. Sci.* 24, 347–354.
- Beardah, C.C., 1999. Uses of multivariate Kernel Density Estimates in archaeology, in: Dingwall, L., Exon, S., Gaffney, V., Laflin, S. (Eds.), *CAA Proceedings of the 25th Anniversary Conference (Birmingham 1997)*. BAR International Series 750, Oxford.
- Beardah, C.C., Baxter, M., 1999. Three-dimensional data display using kernel density estimates, in: Barceló, J., Briz, I., Vila, A. (Eds.), *New Techniques for Old Times. Proceedings of CAA98*. Archaeopress, Oxford, pp. 163–169.
- Beni archeologici [WWW Document], 2010. . Ist. Cent. per Cat. e la Doc. URL <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/251/beni-archeologici> (accessed 1.2.15).
- Bertran, P., Hétu, B., Texier, J., Steijn, H., 1997. Fabric characteristics of subaerial slope deposits. *Sedimentology* 44, 1–16.
- Bertran, P., Lenoble, A., 2002. Fabriques des niveaux archéologiques: méthode et premier bilan des apports à l’étude taphonomique des sites paléolithiques. *Paléo* 14, 1–19.

- Betran, B., Texier, J., 1995. Fabric Analysis: Application to Paleolithic Site. *J. Archaeol. Sci.* 22, 521–535.
- Biallo, G., 1992. Integrazione di Dati Raster e Vettoriali nelle Applicazioni dei Sistemi Informativi Territoriali, in: *Atti Del XXVIII Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana Dei Cartografi*. Pitagora Editore, Bologna, pp. 33–37.
- Biallo, G., 2002. *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*. MondoGis Edizioni, Roma.
- Binford, L.R., 1962. Archaeology as Anthropology. *Am. Antiq.* 28, 217–225.
- Binford, L.R., 1978. Dimensional Analysis of Behavior and Site Structure: Learning from an Eskimo Hunting Stand. *Am. Antiq.* 43, 330–361.
- Binford, L.R., Bertram, J.B., 1977. Bone frequencies and attritional processes, in: Binford, L.R. (Ed.), *For Theory Building in Archaeology*. Academic Press, New York.
- Binford, R.L., 1983. *Working at Archaeology*, *Studies in Archaeology*.
- Boulton, G., 2012. Open your minds and share your results. *Nature* 486.
- Bowen, W., 1996. Environmental modeling with GIS. *Agric. Syst.*
- Brancaccio, L., Cinque, A., Di Crescenzo, G., Santangelo, N., Scarciglia, F., 1997. Alcune osservazioni sulla tettonica quaternaria nell'alta valle del F. Volturno (Molise). *Quat.* 10, 321–328.
- Brancaccio, L., Di Crescenzo, G., Roskopf, C., Santangelo, N., Scarciglia, F., 2000. Carta geologica dei depositi quaternari e carta geomorfologica dell'alta valle del F. Volturno (Molise). *Note illustrative. Ital. J. Quat. Sci.* 13, 81–94.
- Brandt, R., Groenewoudt, B.J., Kvamme, K.L., 1992. An experiment in archaeological site location: Modeling in the Netherlands using GIS techniques. *World Archaeol.*
- Burrough, P.A., 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press, Oxford.
- Burrough, P.A., 2001. GIS and geostatistics: Essential partners for spatial analysis. *Environ. Ecol. Stat.* 8, 361–377.
- Burrough, P.A., McDonnell, R.A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems, Economic Geography*.

- Cadwick, A.J., 1979. Settlement simulation, in: Renfrew, C., Cooke, D. (Eds.), *Transformations: Mathematical Approaches to Culture Change*. Academic Press, New York, pp. 237–255.
- Calvelli, A., 2006. Analisi spaziale [WWW Document]. URL [http://www.antiqui.it/archeologiaquantitativa/analisi spaziale.htm](http://www.antiqui.it/archeologiaquantitativa/analisi%20spaziale.htm) (accessed 12.12.14).
- Canals, A., Rodríguez, J., Sánchez, R., 2008. The 3COORsystem for data recording in archaeology. *J. Anthropol. Sci.* 86, 133–141.
- Candelato, F., Cardarelli, A., Cattani, M., Labate, D., Pellacani, G., 2003. Il sistema informativo dello scavo della Terramara di Montale (Castelnuovo Rangone – MO), in: Peretto, C. (Ed.), *Analisi Informatizzata E Trattamento Dati Delle Strutture Di Abitato Di Età Preistorica E Protostorica in Italia*. Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, Firenze, pp. 257–270.
- Canu, N., 2010. L'utilizzo delle applicazioni GIS in archeologia [WWW Document]. URL <http://it.scribd.com/doc/30427546/Dipense-Lezioni-GIS#scribd> (accessed 10.2.14).
- Carandini, A., 1996. *Storie dalla terra. Manuale di scavo archeologico*. Einaudi Editore.
- Cavulli, F., 2004. Problemi stratigrafici relativi allo scavo di sedimenti sciolti in ambiente arido. *Ocnus* 12, 49–62.
- Cavulli, F., Pedrotti, A., 2013. A.I.S., Archaeological Information System. Un WebGIS come strumento di lavoro del Progetto APSAT: la struttura dei dati, in: Angelucci, D.E., Casagrande, L., Colecchia, A., Rottoli, M. (Eds.), *Apsat 2. Paesaggi D'altura Del Trentino. Evoluzione Naturale E Aspetti Culturali*. SAP Società Archeologica, Mantova, pp. 11–39.
- Chavaillon, J., Chavaillon, N., Hours, F., Piperno, M., 1979. From the Oldowan to the Middle Stone Age at Melka-Konturé (Ethiopia). Understanding cultural changes. *Quaternaria XXI*, 87–114.
- Chew, A., Oheim, K., 2009. Using GIS to determine the effects of two common taphonomic biases on vertebrate fossil assemblages. *Palaio* 24, 367–376.
- Clarke, D.L., 1968. *Analytical Archaeology*. Methuen, London.
- Clarke, D.L., 1972. *Models in Archaeology*. Methuen, London.
- Clarke, J.D., 1993. Stone Artefacts Assemblages from Members 1-3, Swartkrans Cave, in: Brain, .K. (Ed.), *Swartkrans: A Cave's Chronicle of Early Man*. Transvaal Museum, Pretoria, pp. 167–194.

- Coltorti, M., Cremaschi, M., Delitala, M.C., Esu, D., Fornaseri, ., McPherron, A., Nicoletti, M., van Otterloo, R., Peretto, C., Sala, B., Schmidt, V., Sevink, J., 1981. Isernia la Pineta: lower paleolithic with fauna before 0.7 M. y. in the upper Volturno basin, central Italy. First report, in: X° Congr. U.I.S.P.P. Mexico City, pp. 58–63.
- Coltorti, M., Cremaschi, M., Guerreschi, A., Peretto, C., Sala, B., 1982. L'accampamento preistorico di Isernia La Pineta, in: Atti Della XXIII Riunione Scientifica I.I.P.P. Firenze.
- Coltorti, M., Féraud, G., Marzoli, A., Ton-That, T., Voinchet, P., Bahain, J.-J., Minelli, A., Thun Hohenstein, U., Peretto, C., 2005. New 40Ar/39Ar, stratigraphic and palaeoclimatic data on the Isernia la Pineta Lower Palaeolithic site, Molise, Italy. *Quat. Int.* 113, 11–22.
- Coltorti, M., Pieruccini, P., 2014. Guado San Nicola Acheulean site: preliminary remarks on the litho-, morpho- and pedo-stratigraphical setting., in: Muttillio, B., Lembo, G., Peretto, C. (Eds.), *L'insediamento a Bifacciali Di Guado San Nicola, Monteroduni, Molise, Italia*. *Annali dell'Università degli Studi di Ferrara*, Ferrara, pp. 13–24.
- Constantinidis, D., 2001. Introspective sitescaping with GIS. *Comput. Archaeol. Underst. Past Proc.* S931, 165–172.
- Coppock, J.T., Rhind, D.W., 1991. The history of GIS, in: *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Vol. 1. pp. 21–43.
- Craig, N., 2000. Real-time GIS construction and digital data recording of the Jiskairomuoko excavation, Perù. *SAA Bulletin* 18, 24–28.
- Craig, N., Aldenderfer, M., Moyes, H., 2004. Rapid Piece Plotting of Small Artifact Distributions in Domestic and Ritual Activity Areas Using GIS, in: *Society for American Archaeology 69th Annual Meetings*. Montreal.
- Cremaschi, M., 1983. La serie stratigrafica pleistocenica di Isernia La Pineta e la posizione stratigrafica dei suoli d'abitato paleolitici in essa inclusi., in: Peretto, C., Terzani, C., Cremaschi, M. (Eds.), *Isernia La Pineta, Un Accampamento Più Antico Di 700.000 Anni*. Calderini Editore, Bologna.
- Cremaschi, M., Peresani, M., Pizziolo, G., 2002. Analisi spaziale del suolo d'abitato musteriano BR6base della Grotta di Fumane, in: Peretto, C. (Ed.), *Analisi Informatizzata E Trattamento Dati Delle Strutture Di Abitato Di Età Preistorica E Protostorica in Italia*. Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, pp. 59–70.
- Cremaschi, M., Peretto, C., 1988. Le sols d'habitat du site paléolithique d'Isernia La Pineta. *Anthropologie.* 92, 1017–1040.

- Crovetto, C., Ferrari, M., Longo, L., Peretto, C., Vianello, F., 1994. The carinated denticulates from the Paleolithic site of Isernia La Pineta (Molise, Central Italy): tools or flaking waste? The results of the 1993 lithic experiments. *Hum. Evol.* 9, 175–207.
- D'Andrea, A., 1999. Il GIS nella produzione delle carte dell'impatto archeologico: l'esempio di Pontecagnano. *Archeol. e Calc.* 10, 227–237.
- D'Andrea, A., 2006. Documentazione archeologica, standard e trattamento informatico. *ARCHAEOLINGUA*, Bidapest.
- D'Andrea, A., Gallotti, R., Piperno, M., 2000. Applicazione di un GIS intra-site al giacimento paleolitico di Garba IV - Melka Kunture (Etiopia). *Archeol. e Calc.* 11, 319–338.
- D'Andrea, A., Gallotti, R., Piperno, M., 2002a. Taphonomic interpretation of the Developed Oldowan site of Garba IV (Melka Kunture, Ethiopia) through a GIS application. *Antiquity* 76, 991–1001.
- D'Andrea, A., Gallotti, R., Piperno, M., 2002b. A GIS intra-site application to the early palaeolithic site of Garba IV (Melka Kunture, Ethiopia), in: Rayna, J.P., Albore-Livadie, C., Piperno, M. (Eds.), *Hommes et Volcans. De L'éruption À L'objet*, Atti Del XIV Congresso UISPP. Liegi, pp. 93–99.
- De la Torre, I., Benito-Calvo, A., 2013. Application of GIS methods to retrieve orientation patterns from imagery; a case study from Beds I and II, Olduvai Gorge (Tanzania). *J. Archaeol. Sci.* 40, 2446–2457.
- De Maigret, A., 2007. Lo sguardo dell'archeologo, in: D'Andrea, A. (Ed.), *Documentazione Archeologica, Standard E Trattamento Informatico*. *ARCHAEOLINGUA*, Budapest, pp. 9–10.
- DeMers, M.N., 1997. *Fundamentals of Geographic Information System*. John Wiley & Sons, New York.
- Djindjian, F., 1988. Improvements in intrasite spatial analysis techniques, in: Rahtz, S.P.Q. (Ed.), *Computer and Quantitative Methods in Archaeology*. *BAR International Series* 446, Oxford, pp. 95–106.
- Djindjian, F., 1990. Data analysis in archaeology. *Sci. Archaeol.* 57–62.
- Djindjian, F., 1996. Méthode archéologique assistée par ordinateur. *Archeol. e Calc.* 7, 1259–1266.
- Djindjian, F., 1998. GIS usage in worldwide archaeology. *Archeol. e Calc.* 19–29.
- Djindjian, F., 1999. L'analyse spatiale de l'habitat: un état de l'art. *Archeol. e Calc.* 10, 17–32.

- Duecker, K., 1976. Land Resource Information Systems: a Review of Fifteen Years' Experience. *Geoprocessing* 1, 105–128.
- Dunn, C.E., 2012. Participatory GIS – a people ' s GIS ? *Prog. Hum. Geogr.* 5, 616–637.
- Ebert, D., 2004. Applications of archaeological GIS. *Can. J. Archaeol.* 28, 319–341.
- Effland, R.W., 1979. Statistical Distribution Cartography and Computer Graphics, in: Upham, S. (Ed.), *Statistical Distribution Cartography and Computer Graphics*. Arizona State University Anthropological Research Papers, pp. 17–29.
- Esdale, J.A., Le Blanc, R., Cinq-Mars, J., 2001. Periglacial geoarchaeology at the Dog Creek site, Northern Yukon. *Geoarchaeological Int. J.* 16, 151–176.
- Farley, J., Limp, F.W., Lockhart, J., 1990. The Archeologist's workbench: integrating GIS, Remote Sensing, EDA and Database Management, in: Allen, K.M., Green, S., Zubrow, E. (Eds.), *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. Taylor and Francis, London, pp. 141–164.
- Fenu, P., Pizziollo, G., Sarti, L., Viti, S., Volante, N., 2003. Elaborazioni e analisi distributive del sito di Neto Via Verga: problemi e prospettive di ricerca di un contesto insediativo complesso, in: Peretto, C. (Ed.), *Analisi Informatizzata E Trattamento Dati Delle Strutture Di Abitato Di Età Preistorica E Protostorica in Italia*. Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, Firenze, pp. 159–171.
- Ferrari, M., Giusberti, G., Peretto, C., 1991. Struttura della paleosuperficie t.3a del I settore di scavo di Isernia La Pineta (Molise), in: *XXX Riunione Scientifica I.I.P.P.* pp. 197–210.
- Forte, M., 2002. *I Sistemi Informativi Geografici in archeologia*. MondoGis Edizioni, Roma.
- Fotheringham, S., Brunsdon, C., Charlton, M., 2000. *Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis*, Applied Geography.
- Fotheringham, S., Rogerson, P., 1993. GIS and spatial analytical problems. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.*
- Fotheringham, S., Rogerson, P., 1994a. *GIS and Spatial Analysis*, Environment.
- Fotheringham, S., Rogerson, P., 1994b. Spatial analysis and GIS. *Appl. Geogr.* 29, 250–259.
- Francisci, D., 2011. Analisis di fabric in archeologia: proposta per la raccolta, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati. *Archeol. e Calc.* 217–241.

- Gaffney, V., Stančić, Z., Watson, H., 1995. The Impact of GIS on Archaeology: A Personal Perspective, in: *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*. pp. 211–230.
- Gagnepain, J., 1996. *Etude magnétostratigraphique de sites du Pléistocène inférieur et moyen des Alpes-Maritimes et d'Italie: Grotte du Vallonet, Marina Airport, Ca' Belvedere di Monte Poggiolo, Isernia La Pineta, Venosa Loreto*. Paris.
- Gallotti, R., 2003. *Analisi spaziali e metodologie computazionali per un approccio cognitivo ai modelli di frequentazione antropica del giacimento di Isernia La Pineta (Molise, Italia)*. Università degli Studi di Ferrara.
- Gallotti, R., 2011. GIS and Intra-Site Spatial Analyses: An Integrated Approach for Recording and Analyzing the Fossil Deposits at Casablanca Prehistoric Sites (Morocco). *J. Geogr. Inf. Syst.* 3, 373–381.
- Gallotti, R., Lembo, G., Peretto, C., 2012. Mapping three-dimensional density patterns for analyzing artefact (re) distribution trends in Palaeolithic sites. *Adv. Anthropol.* 02, 39–48.
- Gallotti, R., Peretto, C., 2014. The Lower/early Middle Pleistocene small débitage productions in Western Europe: New data from Isernia La Pineta t.3c (Upper Volturno Basin, Italy). *Quat. Int.* 1–18.
- Gamble, C., 2008. *Archaeology. The Basics*. Routledge, Abingdon.
- Garcia, A., 2013. GIS-based methodology for Palaeolithic site location preferences analysis. A case study from Late Palaeolithic Cantabria (Northern Iberian Peninsula). *J. Archaeol. Sci.* 40, 217–226.
- Gardin, J.C., 1955. Problèmes de la documentation. *Diogenes* II, 107–124.
- Gattiglia, G., 2009. Open digital archives in archeologia. Good practice. *Archeol. e Calc.*
- Geographic Information System [WWW Document], 2014. <http://en.wikipedia.org/>. URL http://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_information_system
- Getting Started Guide [WWW Document], 2010. . Golden Software, Inc. URL www.goldensoftware.com (accessed 1.10.15).
- Giardino, J.R., Vitek, J.D., 1988. Interpreting the internal fabric of a rock glacier. *Geogr. Ann. Ser. A, Phys. Geogr.* 70, 15–25.
- Gillings, M., 2004. Using Computers in Archaeology: towards virtual pasts. *Ind. Archaeol. Rev.* 26, 144–145.

- Gillings, M., Wise, A.L., 1998. *GIS Guide to Good Practice*. Oxford.
- Giusberti, G., Guerreschi, A., Peretto, C., 1983. Le strutture d'abitato dell'accampamento paleolitico di Isernia La Pineta. Prime considerazioni., in: Peretto, C., Terzani, C., Cremaschi, M. (Eds.), *Isernia La Pineta, Un Accampamento Più Antico Di 700.000 Anni*. Calderini Editore, Bologna.
- Giusti, D., 2012. L'applicazione di tecnologie spaziali al sito paleolitico di Pirro Nord (P13) Apricena (Italia). Università degli Studi di Ferrara.
- Grifoni Cremonesi, R., Iacopini, A., Tarantini, M., Bisconti, M., Carnevale, G., Marcolini, F., 2003. Analisi informatizzata di una paleosuperficie epigravettiana della Grotta Continenza (Trasacco, L'Aquila), in: Peretto, C. (Ed.), *Analisi Informatizzata E Trattamento Dati Delle Strutture Di Abitato Di Età Preistorica E Protostorica in Italia*. Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, Firenze, pp. 83–99.
- Guan, Y., Gao, X., Wang, H., Chen, F., Pei, S., Zhang, X., Zhou, Z., 2011. Spatial analysis of intra-site use at a Late Paleolithic site at Shuidonggou, Northwest China. *Chinese Sci. Bull.* 56, 3457–3463.
- Guerreschi, A., Pizziolo, G., Vullo, N., 2003. Il sito mesolitico d'altura di Alpe Veglia (Verbania). Analisi GIS per uno studio intra-site, in: Peretto, C. (Ed.), *Analisi Informatizzata E Trattamento Dati Delle Strutture Di Abitato Di Età Preistorica E Protostorica in Italia*. Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, Firenze, pp. 135–145.
- Guida Google drive [WWW Document], 2015. . Google. URL <https://support.google.com/drive/answer/2424384?hl=it> (accessed 2.1.15).
- Guides to Good Practice [WWW Document], 2009. . Archaeol. Data Serv. URL <http://archaeologydataservice.ac.uk/advice/g2gp> (accessed 2.3.15).
- Guralnick, R., Constable, H., Wieczorek, J., Moritz, C., Townsend Peterson, A., 2009. Sharing: lessons from natural history's success story. *Nature* 461, 160–163.
- Hansen, H.J., 1993. European Archaeological Database: Problems and Prospects, in: Andresen, J., Madse, n T., Scolla, r I. (Eds.), *Computing the Past: Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. University Press, Aarhus, pp. 229–237.
- Hardy-Smith, T., Edwards, P.C., 2004. The Garbage Crisis in prehistory: artefact discard patterns at the Early Natufian site of Wadi Hammeh 27 and the origins of household refuse disposal strategies. *Anthropol. Archaeol.* 23, 253–289.

- Harris, T., Lock, G., 1995. Toward an evaluation of GIS in European archaeology: the past, present and future of theory and applications, in: *Archaeology and Geographical Information Systems*. pp. 349–365.
- Hey, J., 2004. The Data, Information, Knowledge, Wisdom Chain: The Metaphorical link [WWW Document]. URL <http://www.dataschemata.com/uploads/7/4/8/7/7487334/dikwchain.pdf> (accessed 11.28.14).
- Hodder, I., 1982. *Symbolic and Structural Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hodder, I., 1984. Burials, houses, men and women in the European Neolithic, in: Miller, Tilley (Eds.), *Ideology, Power and Prehistory*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 51–68.
- Hodder, I., 1999. *The Archaeological Process*. Oxford.
- Hodder, I., 2000. *Towards Reflexive Method in Archaeology: The Example at Çatalhöyük*. Ankara.
- Hodder, I., Orton, C., 1979. *Spatial Analysis in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Isaac, G.L., 1967. Towards the interpretation of occupation debris: some experiments and observations. *Kroeber Anthropol. Soc. Pap.* 37, 31–57.
- Isaac, G.L., 1977. Olorgesailie. *Archaeological Studies of a Middle Pleistocene Lake Basin in Kenya*, in: Butzer, K.W., Freeman, L. (Eds.), *Prehistoric Archaeology and Ecology Series*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Jennings, D.S., Hasiotis, S.T., 2006. Taphonomic analysis of a dinosaur feeding site using geographic information systems (GIS), Morrison Formation, southern Bighorn Basin, Wyoming, USA. *Palaios* 21, 480–492.
- Johnson, G.A., 1976. Contribution méthodologique à l'étude de la répartition des vestiges dans les niveaux archéologique.
- Kennedy, B.A., 1978. Spatial analysis in archaeology. *J. Hist. Geogr.*
- Khoumeri, E.H., Santucci, J.F., 2006. GIS in archaeology, in: *2006 1st International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area, ISEIM*. pp. 441–446.
- Kintigh, W., Ammerman, A.J., 1982. Heuristic Approaches to Spatial Analysis in Archaeology. *Am. Antiq.* 47, 31–63.

- Klusken, S.L., 1995. Archaeological taphonomy of Combe-Capelle Bas from artifact orientation and density analysis, in: Dibble, H.L., Lenoir, M. (Eds.), *The Middle Paleolithic Site of Combe-Capelle Bas (France)*. The University Museum Press, Philadelphia, pp. 199–243.
- Kooyman, B., 2006. Boundary theory as a means to understanding social space in archaeological sites. *J. Anthropol. Sci.* 25.
- Kvamme, K.L., 1983. Computer processing techniques for regional modeling of archaeological site locations. *Adv. Comput. Archaeol.* 1, 26–52.
- Kvamme, K.L., 1995. A View from Across the water: the North American experience in archaeological GIS, in: *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*. pp. 1–14.
- Kvamme, K.L., 1997. Archaeological spatial analysis using GIS: Methods and issues. *Quad. del Dip. di Archeol. e Stor. delle Arti* 42, 45–58.
- Lebreton, V., 2001. Paysages et climats contemporains des premiers hominides en Italie. Analyse pollinique des sites du Pleistocene inferieur et moyen de Cà Belvedere di Monte Poggiolo (Forlì, Emilie-Romagne) et de La Pineta (Isernia, Molise). Paris.
- Lembo, G., 2011. Analisi spaziali intra-site del sito paleolitico di Isernia La Pineta alla luce delle recenti scoperte. Università degli Studi di Ferrara.
- Lembo, G., Muttillio, B., Peretto, C., 2014. Isernia La Pineta: il sito preistorico che ha fatto storia, in: *Almanacco Del Molise*. Habacrus Editore, Campobasso, pp. 127–158.
- Lembo, G., Peretto, C., 2012. Applicazioni GIS per l'interpretazione della superficie di Isernia La Pineta (Isernia). *Ann. dell'Università di Ferrara* 8, 109–115.
- Lemorini, C., Rossetti, P., Cusinato, A., Dalmeri, G., Hrozny Kompatsher, M., Kompatsher, K., 2005. L'analisi delle tracce d'uso e l'elaborazione spaziale: il riconoscimento di un'area specializzata nel sito epigravettiano di Riparo Dalmeri, livelli 26b e 26c (Trento). *Preist. Alp.* 41, 171–197.
- Lenoble, A., Bertran, P., 2004. Fabric of Paleolithic levels: method and implications for site formation processes. *J. Archaeol. Sci.* 31, 457–469.
- Lenoble, A., Bertran, P., Lacrampe, F., 2008. Solifluction-induced modifications of archaeological levels: simulation based data from a modern periglacial slope and application to French Palaeolithic sites. *J. Archaeol. Sci.* 35.
- Lenoble, A., Bertran, P., Lacrampe, F., Bourguignon, L., Detrain, L., 2003. Impact de la solifluction sur les niveaux archéologiques: simulation à partir d'une

expérience en milieu actif et application à des sites paléolithiques aquitains. *Paléo* 15, 1–23.

Lock, G., 2003. *Using computers in archaeology*. Routledge, London and New York.

Lock, G., Stančič, Z., 1995. Archaeology and geographical information systems: a European perspective, *American Journal of Archaeology*.

Lock, G.R., Harris, T., 1992. Visualizing Spatial Data: The Importance of Geographic Information Systems, in: *Archaeology and the Information Age: A Global Perspective*. pp. 81–96.

Longo, L., Peretto, C., Sozzi, M., Vannucci, S., 1997. Artefacts, outils ou supports épuisés? Une nouvelle approche pour l'étude des industries du paléolithique ancien: le cas d'Isernia La Pineta (Molise, Italie Centrale). *Anthropologie*. 101, 579–596.

Losier, L.-M., Pouliot, J., Fortin, M., 2007. 3D geometrical modeling of excavation units at the archaeological site of Tell 'Acharneh (Syria). *J. Archaeol. Sci.* 34.

Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W., 1991. *Geographical Information System: principles and applications*. Longman Scientific and Technical, New York.

Manacorda, D., 2008. *Lezioni di Archeologia*. Laterza.

Manson, S.M., Burrough, P.A., McDonnell, R.A., 1999. *Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics*. *Econ. Geogr.* 75, 422.

Mappa Project [WWW Document], 2011. . Metodol. applicate alla predittività del potenziale Archeol. URL <http://mappaproject.arch.unipi.it/> (accessed 1.13.15).

Marble, D., 1990. The potential methodological impact of geographic information systems on the social sciences, in: Allen, K., Green, S., Zubrow, E. (Eds.), *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. Taylor and Francis, New York, pp. 9–21.

Maschner, H.D.G., 1996. New methods, old problems: geographical information system in modern archaeological research (No. 23). Carbondale.

Masi, E., 2011. Tethering Wi-Fi, converti il tuo smartphone in un router [HOW TO] [WWW Document]. URL <http://www.ninjamarketing.it/2011/12/29/tethering-wi-fi-converti-il-tuo-smartphone-in-un-router-how-to/> (accessed 2.2.15).

Maximiano, A., 2005. *Métodos geocomputacionales aplicados al análisis espacial en arqueología*.

- McHarg, I., 1969. *Design With Nature*. Doubleday and Co, Garden City.
- McPherron, S.J.P., 2005. Artifact orientations and site formation processes from total station proveniences. *J. Archaeol. Sci.* 32, 1003–1014.
- Mehrer, M., Wescott, K., 2006. GIS and archaeological site location modeling, In Allen K Green S and Zubrow E.
- Millar, S.W.S., Nelson, F.E., 2001. Sampling-surface orientation and clast macrofabric in periglacial colluvium. *Earth Surf. Process. Landforms* 26, 523–529.
- Miller, P., 1999. The Importance of Metadata to Archaeology: One View from within the Archaeology Data Service, in: Dingwall, L., Exon, S., Gaffney, V., Laflin, S., van Leusen, M. (Eds.), *Archaeology in the Age of the Internet*. Archaeopress, Oxford, pp. 133–136.
- Minelli, A., 2003. Il giacimento di Isernia La Pineta (Molise) per lo sviluppo delle conoscenze del popolamento antico in Italia i reperti litici e le archeosuperfici. Università degli Studi di Ferrara.
- Minelli, A., Longo, L., Arzarello, M., Olle, A., Vergès, J.M., Peretto, C., 2004. Nouvelles recherches sur l'industrie lithique d'Isernia La Pineta: typologie, technologie et analyse fonctionnelle, in: XIV Congresso UISPP. BAR International Series 1272.
- Minelli, A., Peretto, C., Lembo, G., Di Nucci, A., Rufo, E., Rufo, M.A., Arzarello, M., Thun Hohenstein, U., 2009. Isernia La Pineta. Il sito preistorico alla luce delle recenti acquisizioni. *ArcheoMolise* 0, 6–17.
- Moscato, P., 1994. Choice, representation and structuring of archaeological information: a current problem. *Archeol. e Calc.* 5, 9–21.
- Moyes, H., 2001. *The Cave as a Cosmogram: The Use of GIS in an Intrasite Spatial Analysis of The Main Chamber of Actun Tunichil Muknal, A Maya Ceremonial Cave in Western Belize*. Florida Atlantic University.
- Moyes, H., 2002. The use of GIS in the Spatial analysis of an archaeological cave site. *J. Cave Karst Stud.* 64, 9–16.
- Myers, T., Storrs, T.G.W., 2007. Taphonomy of the Mother's Day quarry, Upper Jurassic Morrison Formation, south-central Montana, USA. *Palaios* 22, 651–666.
- Nicolucci, F., 2006. Lo sguardo del matematico, in: D'Andrea, A. (Ed.), *Documentazione Archeologica, Standard E Trattamento Informatico*. ARCHAEOLOGIA, Budapest, pp. 11–12.

- Nigro, D., De Ruiter, D.J., Berger, L.R., Ungar, P.S., 2001. A tridimensional Geographic Information System for Swartkrans, in: Meeting of the Paleoanthropology Society. Kansas City.
- Nigro, D., Ungar, P.S., De Ruiter, D.J., Berger, L.R., 2003. Developing a Geographical Information System (GIS) for Mapping and Analysing Fossil Deposits at Swartkrans, Gauteng Province, South Africa. *J. Archaeol. Sci.* 30, 317–324.
- O'Connell, J.F., 1987. Alyawara site structure and its archaeological implications. *Am. Antiq.* 52, 74–108.
- Orlandi, T., 1996. Formalizzazione dei dati, semiotica e comunicazione. *Archeol. e Calc.* 7, 1247–1258.
- Orton, C., 2006. Adding value to GIS—some spatial-analytical techniques and their applications, in: *Reading the Historical Spatial Information in the World*. Kyoto, pp. 3–16.
- Peretto, C., 1994. Le industrie litiche del giacimento paleolitico di Isernia La Pineta. La tipologia, le tracce di utilizzazione, la sperimentazione. Cosmo Iannone Editore, Isernia.
- Peretto, C., 1999. I suoli d'abitato di Isernia La Pineta, natura e distribuzione dei reperti. Cosmo Iannone Editore, Isernia.
- Peretto, C., 2013. Isernia La Pineta. Cosmo Iannone Editore.
- Peretto, C., Arnaud, J., Moggi-Cecchi, J., Manzi, G., Nomade, S., Pereira, A., Falguères, C., Bahain, J.-J., Grimaud-Hervé, D., Berto, C., Sala, B., Lembo, G., Muttillio, B., Gallotti, R., Thun Hohenstein, U., Vaccaro, C., Coltorti, M., Arzarello, M., n.d. A human deciduous tooth and new dating results from the Middle Pleistocene site of Isernia La Pineta, Italy. *J. Hum. Evol.* in press.
- Peretto, C., Benvenuto, C., Bisi, F., Cavallini, E., Evangelista, L., Ferioli, V., Guerreschi, A., Longo, L., Milliken, S., Thun Hohenstein, U., Vullo, N., 1999. Le archeosuperfici di Isernia La Pineta: numero, reciproci rapporti stratigrafici, descrizione, in: *I Suoli D'abitato Del Giacimento Paleolitico Di Isernia La Pineta, Natura E Distribuzione Dei Reperti*. Cosmo Iannone Editore, Isernia, pp. 27–44.
- Peretto, C., Minelli, A., 2003. Metodologie per lo scavo archeologico: il caso di Isernia La Pineta (Molise). CERP, Isernia.
- Peretto, C., Minelli, A., Arzarello, M., Lembo, G., Sala, B., Thun Hohenstein, U., 2005. Les faunes du site paléolithique d'Isernia La Pineta, in: *L'Homme Préhistorique et Son Environnement*. Quinson, pp. 74–78.

- Peretto, C., Terzani, C., Cremaschi, M., 1983. Isernia La Pineta: un accampamento più antico di 700.000 anni. Calderini Editore, Bologna.
- Petraglia, M.D., Potts, R., 1994. Water flow and the formation of Early Pleistocene artifact sites in Olduvai Gorge, Tanzania. *J. Anthropol. Sci.* 13, 228–254.
- Peuquet, D.J., 1984. A conceptual framework and comparison of spatial data models. *Cartographica* 21, 66–113.
- Piperno, M., 1986. Garba IV at Melka Konturé: a synthesis of the actual stage of excavations and studies, in: *The Longest Record: The Human Career in Africa*, Conferenza in Onore Di J. Desmond Clark. p. 67.
- Poletti, A., Acerbi, A., 2005. Corso GIS per funzionari tecnici della pubblica amministrazione [WWW Document]. URL http://www.dipartimentodibiologiabari.it/media/materiale/fAkc48K56FLHmOgzcUcMRXY9Qp6Wdd9q/GIS_metodi_e_strumenti.pdf (accessed 9.10.14).
- Pollefeys, M., Proesmans, M., Koch, R., Vergauwen, M., Gool, L. Van, Leuven, K.U., 1998. Acquisition of Detailed Models for Virtual Reality. *BAR Int. Ser.* 71–78.
- QGIS User Guide [WWW Document], 2015. . QGIS Proj. URL <http://www.qgis.org/en/docs/> (accessed 1.26.15).
- Renfrew, C., Bahn, P., 1995. *Archeologia. Teoria, metodi, pratica*. Zanichelli.
- Ricci Lucchi, F., 1980. *Sedimentologia II. Processi e meccanismi di sedimentazione*. Clueb.
- Richards, J.D., Robinson, D.J., 2000. *Digital Archives from Excavation and Fieldwork: Guide to Good Practice*. York.
- Rick, J.W., 1976. Downslope Movement and Archaeological Intrasite Spatial Patterning. *Am. Antiq.* 41, 133–144.
- Rivett, P., 1997. Conceptual data modelling in an archaeological GIS, in: *Proceedings of GeoComputation '97 & SIRC '97*. University of Otago, pp. 15–26.
- Rufo, M.A., Minelli, A., Peretto, C., 2009. L'industrie en calcaire du site Paléolithique d'Isernia la Pineta: un modèle interprétatif de stratégie comportementale. *Anthropologie*. 113, 78–95.
- Sala, B., 1980. Il giacimento di Isernia la Pineta, in: *I Vertebrati Fossili Italiani*. Museo Civico di Storia Naturale, Verona, p. 233.

- Sala, B., 1983. La fauna del giacimento di Isernia la Pineta. Nota preliminare, in: Isernia La Pineta, Un Accampamento Più Antico Di 700.000 Anni. Calderini Editore, Bologna, pp. 71–79.
- Sala, B., 1990. *Panthera leo fossilis* (v, REICH., 1906) (Felidae) de Isernia la Pineta (Pléistocène moyen inférieur d'Italie). *Geobios* 23, 189–194.
- Sala, B., 1996. Gli animali del giacimento di Isernia La Pineta, in: I Reperti Paleontologici Del Giacimento Paleolitico Di Isernia La Pineta. Cosmo Iannone Editore, Isernia, pp. 25–49.
- Sala, B., 2006. I vertebrati fossili: le nuove specie rinvenute a La Pineta, in: Peretto, C., Minelli, A. (Eds.), *Preistoria in Molise, Gli Insediamenti Del Territorio Di Isernia*. Aracne Editore, Isernia, pp. 36–38.
- Sala, B., Fortelius, M., 1993. The rhinoceroses of Isernia la Pineta (early Middle Pleistocene, Southern Italy). *Palaeontogr. Ital.* 80, 157–174.
- Sañudo Die, P., Canals, A., Fernández Peris, J., Vaquero, M., 2008. Spatial analysis of Bolomor Cave level IV (Tavernes de la Valldigna, Valencia). *Ann. dell'Università degli Stud. di Ferrara* 155–160.
- Shand, P.J., Moore, R.V., 1989. *The Association for Geographic Information Yearbook 1989*. Taylor and Francis, London.
- Shanks, M., Tilley, C., 1987a. *Re-Constructing Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Shanks, M., Tilley, C., 1987b. *Social Theory and Archaeology*. Polity Press, Cambridge.
- Shick, K.D., 1991. On making behavioral inferences from early archaeological sites, in: Desmond Clark, J. (Ed.), *Cultural Beginnings*. pp. 79–107.
- Simek, J.F., 1984. A K-means Approach to the Analysis of Spatial Structure in Upper Paleolithic Habitation Sites: Le Flageolet I and Pincevent Section 36. *BAR International Series S205*, Oxford.
- Sisk, M.L., Shea, J.J., 2008. Intrasite spatial variation of the Omo Kibish Middle Stone Age assemblages: Artifact refitting and distribution patterns. *J. Hum. Evol.* 55, 486–500.
- Sozzi, M., Vannucci, S., Vaselli, O., 1994. Le industrie litiche: la materia prima impiegata nella scheggiatura, in: Peretto, C. (Ed.), *Le Industrie Litiche Del Giacimento Paleolitico Di Isernia La Pineta*. Cosmo Iannone Editore, Isernia.

- Spikins, P., Conneler, C., Ayestaran, H., Scaife, B., 2002. GIS Based Interpolation Applied to Distinguishing Occupation Phases of Early Prehistoric Sites. *J. Archaeol. Sci.* 29, 1235–1245.
- Texier, J., 2000. À propos des processus de formation des sites préhistoriques. *Paléo* 12, 379–386.
- Thun Hohenstein, U., Di Nucci, A., Moigne, A.-M., 2009. Mode de vie à Isernia La Pineta (Molise, Italie). Stratégie d'exploitation du *Bison schoetensacki* par les groupes humains au Paléolithique inférieur. *L'Anthropologie* 113, 96–100.
- Thun Hohenstein, U., Malerba, G., Ghirelli, E., Giacobini, G., Peretto, C., 2002. Attività di sussistenza nel Paleolitico inferiore di Isernia La Pineta: archeozoologia delle US 3810 e 3coll (scavi 2000). *Riv. di Sci. Preist.* LII, 3–20.
- Tilke, C., 1992. Statistics for spatial data. *Comput. Stat. Data Anal.*
- Tomlinson, R.F., 1967. An Introduction to the Geographic Information System of the Canada Land Inventory. Department of Forestry and Rural Development, Ottawa.
- Tomlinson, R.F., 1968. A Geographic Information System for Regional Planning. *Data Handl. Interpret.* 200–210.
- Tonon, M., 1989. Note sull'avifauna del deposito di Isernia La Pineta. *Quat.* 2, 171–173.
- Topouzi, A., Tripolitsiotis, A., Sarris, A., Mertikas, S., Soetens, S., 2002. Errors and Inaccuracies in Repositioning of Archaeological Sites. *BURENHULT* 417–426.
- Trigger, B., 1989. *A History of Archaeological Thought*. Cambridge University Press, New York.
- Vanpool, T.L., Leonard, R.D., 2011. *Quantitative Analysis in Archaeology, Quantitative Analysis in Archaeology*.
- Vergès, J.M., 2002. Caracterizació dels models d'instrumental lític del mode 1 de les dades de l'anàlisi funcional dels conjunt litotècnics d'Aïn Hanech El Kherba (Algeria), Monte Poggiolo i Isernia La Pineta (Italia). Universitat Rovira i Virgili Tarragona.
- Von Koenigswald, W., van Kolfschoten, T., 1996. The *Mimomys*-*Arvicola* boundary and the enamel thickness quotient (SDQ) of *Arvicola* as stratigraphic markers in the Middle Pleistocene, in: Turner, C. (Ed.), *The Early Middle Pleistocene in Europe*. Rotterdam, pp. 211–226.

- Vullo, N., Fontana, F., Guerreschi, A., 1999. The application of GIS to intra-site spatial analysis: preliminary results from Alpe Veglia (VB) and Mondeval de Sora (BL), two mesolithic sites in Italian Alps, in: Barcelò, J., Briz, I., Vila, A. (Eds.), CAA 1998, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. BAR International Series 757, Barcellona, pp. 111–115.
- Westcott, K.L., Brandon, J., 2000. Practical applications of GIS for archaeologist. A predictive modeling kit. Taylor and Francis, London.
- Whallon, R., 1973. Spatial analysis of occupation floors I: the application of nearest neighbor analysis of variance. *Am. Antiq.* 38.
- Whallon, R., 1974. Spatial analysis of occupation floors II: the application of nearestneighbor analysis. *Am. Antiq.* 39.
- Whallon, R., 1984. Unconstrained Clustering for the Analysis of Spatial Distributions in Archaeology, in: Hietala, H. (Ed.), *Intrasite Spatial Analysis in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 242–277.
- Wheatley, D., 1993. Going over old ground: GIS: archaeological theory and the act of perception, in: *Computing the Past: Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology : CAA92*. pp. 133–138.
- Wheatley, D., 1995. Cumulative viewshed analysis: a GIS-based method for investigating intervisibility, and its archaeological application, in: *Archaeology and Geographic Information Systems: A European Perspective*. pp. 171–186.
- Wheatley, D., Gillings, M., 2002. *Spatial Technology and Archaeology: the archaeological applications of GIS*. Taylor and Francis, London.
- Williams, M., 2004. *Archaeology and GIS: Prehistoric Habitat Reconstruction*. Proc. ESRI User Conf.
- Zimmerman, L.J., 1977. *Prehistoric Locational Behaviour: A Computer Simulation*. University of Iowa Press.
- Zubrow, E., Harbaugh, J., 1978. Archaeological prospecting: Kriging and simulation, in: Hodder, I. (Ed.), *Simulation Studies in Archaeology*. University Press, Cambridge.
- Zubrow, E.B., 1994. Knowledge representation and archaeology: a cognitive example using GIS, in: *The Ancient Mind. Elements of Cognitive Archaeology*. pp. 119–132.

Indice delle figure

- Fig. 1 Metodo per la determinazione di un modello concettuale di dati in archeologia (da Rivett, 1997). 17
- Fig. 2 - Schema delle interrelazioni all'interno di un GIS (da Marble, 1990). 24
- Fig. 3 - Schema della genealogia del GIS negli USA. I cerchi rappresentano i 'luoghi', ad esempio agenzie governative, centri di ricerca, etc.; i rettangoli rappresentano le idee o i concetti; le linee indicano la migrazione (da Coppock and Rhind, 1991). 28
- Fig. 4 - Schema riassuntivo dei livelli di modellizzazione nella costruzione di una banca dati (da Peuquet, 1984). 34
- Fig. 5 - Esempio di georeferenziazione in ambito GIS (web). 36
- Fig. 6 - Overlay topologico (web). 37
- Fig. 7 - Esempi di modelli di dati vettoriali in cui sono rappresentati punti, polilinee, poligoni, superfici e volumi (web). 38
- Fig. 8 - Esempi di rappresentazione di dati raster (nella colonna di destra): punti, linee e aree (web). 39
- Fig. 9 - Modello TIN (Triangulated Irregular Network). La griglia di struttura è composta da una rete di triangoli irregolari, i cui vertici rappresentano punti coordinati nelle tre dimensioni (web). 41
- Fig. 10- DEM (Digital Elevation Model). La griglia di struttura è costituita da un griglia di poligoni regolari (web). 42
- Fig. 11- DEM (Digital Elevation Model): quattro differenti interpolazioni producono modelli geometrici differenti (web). 42
- Fig. 12 - Slope analysis (web). 43
- Fig. 13 - Hillshade aspect (web). 44
- Fig. 14 - Swartkrans. Rappresentazione tridimensionale in ArcView 3D Analyst della localizzazione dei materiali scavati e del buffering tridimensionale relativo ai metapodiali di bovidi (da Nigro et al., 2003). 48
- Fig. 15 - Garba IV D (Melka Kunture, Etiopia). Densità dei resti faunistici e dei manufatti litici (da D'Andrea et al., 2002a). 49

- Fig. 16 - Bed II istogrammi angolari di oggetti con asse $A > 2$ cm e indice di allungamento $I_e > 1.6$, (da de la Torre and Benito-Calvo, 2013). 50
- Fig. 17 - Casablanca Prehistoric Sites. Thomas I Cava-Unit L : mappa di frequenza per metro quadro di tutti i resti (da Gallotti, 2011). 51
- Fig. 18 - Shuidonggou (Cina). Le aree funzionali del livello culturale 2 (da Guan et al., 2011). 52
- Fig. 19 - Fabric analysis sul sito di Croix-de-Canard (Francia), diagramma di Schmidt (da Lenoble et al., 2003). 53
- Fig. 20 - Cueva de Bolomor (Spagna). Distribuzione spaziale dell'industria litica (da Sañudo Die et al., 2008). 54
- Fig. 21 - Piro Nord (Apricena, Puglia). Distribuzione 3D dei reperti con indice ≥ 15 . Le dimensioni dei fossili (giallo), dei clasti (rosso) e delle selci (blu) è rapportata al valore dell'indice (da Giusti, 2012). 55
- Fig. 22 - Grotta di Fumane (Veneto), BR6base. Analisi buffer intorno alle strutture di combustione (da Cremaschi et al. 2002). 55
- Fig. 23 - Bilancino (Toscana), settore destro della paleosuperficie. Distribuzione di tutti i manufatti per materia prima (Aranguren et al., 2003). 56
- Fig. 24 - Grotta Continenza (Abruzzo). Ricostruzione in 3D, tramite interpolazione delle quote, della paleosuperficie del taglio 32 (da Grifoni Cremonesi et al., 2003). 57
- Fig. 25 - Riparo Dalmeri (Trentino Alto Adige). Esempio di distribuzione e rapporto tra i rimontaggi litici (da Lemorini et al., 2005). 57
- Fig. 26 - Alpe Veglia (Piemonte). Visione d'insieme della distribuzione dell'industria litica; overlay di strumenti e nuclei (da Guerreschi et al., 2003). 57
- Fig. 27 - Abitato neolitico di Neto Via Verga (Toscana). Modellizzazione del piano d'impianto della Struttura A (da Fenu et al., 2003b). 58
- Fig. 28 - Terramara di Montale (Emilia Romagna). Sovrapposizione dei diversi layer del sistema informatizzato (Candelato et al., 2003). 58
- Fig. 29 - Quadrat count method (web) 62
- Fig. 30 - Dimensional Analysis of Variance (ANOVA) (web). 63

- Fig. 31 - Esempio di visualizzazione in 3D dell'analisi di densità (elaborazione grafica G. Lembo). 64
- Fig. 32 - Indicazione degli assi oggetto di misurazione. Asse maggiore (a) e asse intermedio (b) (da Francisci, 2011). 66
- Fig. 33 - Rappresentazione grafica della fabric analysis; a) rose diagrams e b) stereodiagrams (da Francisci, 2011). 67
- Fig. 34 - Localizzazione geografica del sito preistorico di Isernia La Pineta (elaborazione grafica G.Lembo). 69
- Fig. 35 - Areale del sito di Isernia La Pineta, delimitato dalla linea continua in giallo, in cui sono visibili la struttura museale (C), il II settore di scavo (A) e il I settore di scavo (B), quest'ultimo coperto dal padiglione (modificato da Google Earth). 70
- Fig. 36 - Il bacino geologico di Isernia: 1. depositi alluvionali sabbiosi, ghiaiosi e argillosi (Olocene); 2. depositi alluvionali sabbiosi, ghiaiosi e argillosi (Pleistocene superiore); 3. depositi alluvionali sabbiosi, ghiaiosi e argillosi intervallati con livelli piroclastici (Pleistocene medio); 4. travertino (Pleistocene medio-inferiore); 5. limi e argille (Pleistocene inferiore); 6. bedrock; 7. Isernia città; 8. Isernia La Pineta (elaborazione grafica M. Coltorti). 71
- Fig. 37 - Stratigrafia del sito di Isernia la Pineta caratterizzata da 5 unità principali (da U1 a U5) e 2 paleosuoli sepolti (S1 e S2). La colonna di destra si riferisce all'Unità 3 che contiene vari strati sedimentologici (U3A, U3E, U3F) e due importanti strati archeologici (t.3a e t.3c). 1, depositi colluviali compreso uno strato di caduta piroclastica; 2, sabbie e ghiaie; 3 travertino; 4, limi e argille (elaborazione grafica M.Colortorti). 74
- Fig. 38 - Sezione stratigrafica messa in luce durante i lavori di sbancamento per la costruzione del tracciato stradale Napoli-Vasto (foto B. Sala). 75
- Fig. 39 - Le immagini si riferiscono rispettivamente ai livelli archeologici 3c (1) (foto C. Peretto), 3a (2) (foto A. Guerreschi), 3s10 (3) (foto G. Lembo), del I settore di scavo e 3a (4) del II settore di scavo (foto C. Peretto). 76
- Fig. 40 - Isernia La Pineta: diagramma pollinico (da Accorsi 1985). 81

- Fig. 41 - Diagramma pollinico dei taxa più significativi del sondaggio a Isernia La Pineta (da Lebreton 2001). 81
- Fig. 42 - Isernia La Pineta: incisivo deciduo superiore (IS42); altezza 7 mm (foto J. Arnaud). 82
- Fig. 43 - Isernia La Pineta. Particolare di una porzione dello strato 3a che evidenzia l'enorme quantità di resti faunistici rinvenuti (foto C. Peretto). 83
- Fig. 44 - Seconda falange di bisonte con strie subparallele; al microscopio a scansione (SEM) nell'immagine in primo piano, è possibile osservare il solco a V e le microstrie secondarie prodotte dallo scorrimento dello strumento litico (foto G. Malerba). 85
- Fig. 45 - Isernia La Pineta. Industria in selce del I settore di scavo. Denticolati (disegni C. Crovetto). 87
- Fig. 46 - Isernia La Pineta. Industria in calcare del I settore di scavo. Chopper (disegni P. Mengoli). 88
- Fig. 47 - Isernia La Pineta. veduta esterna del padiglione che copre l'area di scavo (foto G. Lembo). 90
- Fig. 48 - Isernia La Pineta. L'utilizzo della stazione totale, modello GTS-605 (foto G. Lembo). 90
- Fig. 49 - Struttura e architettura del sistema informatico adottato a Isernia La Pineta (elaborazione grafica G. Lembo). 91
- Fig. 50 - Il diagramma rappresenta l'apparato di comunicazione durante il lavoro sul campo (elaborazione grafica G. Lembo). 93
- Fig. 51 - Isernia La Pineta. Scheda di scavo online su dispositivo mobile (foto G. Lembo). 93
- Fig. 52 - Esempio di grafico dinamico in rapporto alle tre dimensioni dei reperti, alla materia e al periodo di scavo (screenshot da <https://sites.google.com/site/isernialapineta/home>). 95
- Fig. 53 - Modello 3D costruito grazie alla tecnica della scansione da una serie di immagini (elaborazione grafica G. Lembo). 96
- Fig. 54 - Georeferenziazione del modello 3D all'interno dell'area di scavo in ambiente CAD (elaborazione grafica G. Lembo). 96

- Fig. 55 - Acquisizione manuale della lunghezza di un oggetto in ambiente CAD (elaborazione G. Lembo). 97
- Fig. 56 - Acquisizione manuale dell'orientamento di un oggetto in ambiente CAD (elaborazione G. Lembo). 97
- Fig. 57 - Isernia La Pineta. Struttura relazionale della banca dati (screenshot). 98
- Fig. 58 - Isernia La Pineta. Definizione dei punti di controllo e immissione delle coordinate per il raddrizzamento dell'immagine in RDF■ (screenshot). 100
- Fig. 59 - Isernia La Pineta. Determinazione dell'area di raddrizzamento dell'immagine digitale in RDF■ (screenshot). 101
- Fig. 60 - Isernia La Pineta. Immissione dell'immagine raddrizzata in ambiente CAD (screenshot). 101
- Fig. 61 - Isernia La Pineta. Fotomosaico realizzato in ambiente CAD, relativo ad una porzione del livello archeologico 3a (screenshot). 102
- Fig. 62 - Isernia La Pineta, Settore I. Area esplorata dello strato 3c (elaborazione grafica G. Lembo). 104
- Fig. 63 - Isernia La Pineta, Settore I-1, quadrati 50-53/130-133, strato 3c. Si possono notare le deformazioni dovute prevalentemente a fenomeni tettonici che hanno provocato infossamenti e basculamenti (foto A. Guerreschi). 104
- Fig. 64 - Isernia La Pineta, strato 3c. Frequenza dei resti rinvenuti considerati per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo). 105
- Fig. 65 - Isernia La Pineta, strato 3c. Frequenza dei reperti faunistici individuati (elaborazione grafica G. Lembo). 106
- Fig. 66 - Isernia La Pineta, strato 3c. Frequenza dei reperti faunistici determinati (elaborazione grafica G. Lembo). 107
- Fig. 67 - Isernia La Pineta, strato 3c. Frequenza degli elementi anatomici determinati (elaborazione grafica G. Lembo). 107
- Fig. 68 - Isernia La Pineta, strato 3c. Struttura tipologica dell'industria litica (elaborazione grafica G. Lembo). 108
- Fig. 69 - Isernia La Pineta, strato 3c. Rapporto quantitativo tra l'industria in selce e in calcare (elaborazione grafica G. Lembo). 108

- Fig. 70 - Isernia La Pineta, strato 3a, I Settore. In arancio: area asportata e in parte musealizzata; in azzurro: area in posto, attualmente visibile all'interno del padiglione degli scavi (elaborazione grafica G. Lembo). 109
- Fig. 71 - Isernia La Pineta. Vista generale dello strato 3a all'interno del padiglione di scavo (foto di C. Peretto). 109
- Fig. 72 - Museo Paleolitico di Isernia. Veduta dello strato 3a musealizzato (foto di C. Peretto). 110
- Fig. 73 - Isernia La Pineta, strato 3a. Frequenza dei resti rinvenuti considerati per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo). 110
- Fig. 74 - Isernia La Pineta, strato 3a. Frequenza dei reperti faunistici individuati (elaborazione grafica G. Lembo). 111
- Fig. 75 - Isernia La Pineta, strato 3a. Frequenza dei reperti faunistici determinati (elaborazione grafica G. Lembo). 112
- Fig. 76 - Isernia La Pineta, strato 3a. Frequenza degli elementi anatomici determinati (elaborazione grafica G. Lembo). 112
- Fig. 77 - Isernia La Pineta, strato 3a. Struttura tipologica dell'industria litica (elaborazione grafica G. Lembo). 113
- Fig. 78 - Isernia La Pineta, strato 3a. Rapporto quantitativo tra l'industria in selce e in calcare (elaborazione grafica G. Lembo). 113
- Fig. 79 - Isernia La Pineta, 3 colluvio, I Settore. Estensione dell'area indagata (elaborazione grafica G. Lembo). 114
- Fig. 80 - Isernia La Pineta, 3s6-9, I Settore. Estensione dell'area indagata (elaborazione grafica G. Lembo). 114
- Fig. 81 - Isernia La Pineta, 3s1-5, I Settore. Estensione dell'area indagata (elaborazione grafica G. Lembo). 114
- Fig. 82 - Isernia La Pineta, strato 3 colluvio. Frequenza dei resti rinvenuti suddivisi per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo). 115
- Fig. 83 - Isernia La Pineta, strato 3s6-9. Frequenza dei resti rinvenuti suddivisi per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo). 115
- Fig. 84 - Isernia La Pineta, strato 3s1-5. Frequenza dei resti rinvenuti suddivisi per materia prima (elaborazione grafica G. Lembo). 115

- Fig. 85 - Finestra di dialogo simbologia categorizzata (screenshot di QGIS). 116
- Fig. 86 - Finestra di dialogo simbologia graduato (screenshot di QGIS). 117
- Fig. 87 - Finestra di dialogo simbologia graduato (screenshot di QGIS). 118
- Fig. 88 - Isernia La Pineta, strato 3c. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo). 119
- Fig. 89 - Isernia La Pineta, strato 3c. Distribuzione dei reperti faunistici suddivisi per specie (elaborazione grafica G. Lembo). 120
- Fig. 90 - Isernia La Pineta, strato 3c. Distribuzione dei reperti faunistici suddivisi per elementi anatomici (elaborazione grafica G. Lembo). 121
- Fig. 91 - Isernia La Pineta, strato 3c. Distribuzione dell'industria litica suddivisa per tipologia (elaborazione grafica G. Lembo). 122
- Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo). 124
- Fig. 93 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dell'industria litica (elaborazione grafica G. Lembo). 125
- Fig. 94 Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione del materiale litico (elaborazione grafica G. Lembo). 126
- Fig. 95 Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dell'industria litica suddivisa per tipologia (elaborazione grafica G. Lembo). 127
- Fig. 96 Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di frequenza del materiale litico con il rapporto tra lavorato e non lavorato (elaborazione grafica G. Lembo). 128
- Fig. 97 Fig. 92 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di concentrazione dell'industria litica (elaborazione grafica G. Lembo). 129
- Fig. 98 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione del travertino (elaborazione grafica G. Lembo). 130
- Fig. 99 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione del calcare (elaborazione grafica G. Lembo). 131
- Fig. 100 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione della selce (elaborazione grafica G. Lembo). 132

- Fig. 101 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei resti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo). 133
- Fig. 102 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di frequenza di tutti i resti (elaborazione grafica G. Lembo). 134
- Fig. 103 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di frequenza di tutti i resti con il rapporto tra i vari tipi di materia (elaborazione grafica G. Lembo). 135
- Fig. 104 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei resti faunistici suddivisi per specie (elaborazione grafica G. Lembo). 136
- Fig. 105 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei resti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo). 137
- Fig. 106 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di frequenza dei resti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo). 138
- Fig. 107 - Isernia La Pineta, strato 3a. Mappa di concentrazione dei reperti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo). 139
- Fig. 108 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei reperti di bisonte (elaborazione grafica G. Lembo). 140
- Fig. 109 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei reperti di elefante (elaborazione grafica G. Lembo). 141
- Fig. 110 - Isernia La Pineta, strato 3a. Distribuzione dei reperti di rinoceronte (elaborazione grafica G. Lembo). 142
- Fig. 111 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo). 145
- Fig. 112 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Distribuzione dei resti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo). 146
- Fig. 113 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Distribuzione dei reperti in selce (elaborazione grafica G. Lembo). 147
- Fig. 114 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Distribuzione dei resti in calcare (elaborazione grafica G. Lembo). 148
- Fig. 115 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo). 149

- Fig. 116 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei resti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo). 150
- Fig. 117 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in selce (elaborazione grafica G. Lembo). 151
- Fig. 118 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in calcare (elaborazione grafica G. Lembo). 152
- Fig. 119 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione di tutti i reperti: sezioni verticali a differenti quote (dall'alto in basso: 0, -40, -80, -120 cm) (elaborazione grafica G. Lembo). 153
- Fig. 120 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione di tutti i reperti: sezioni longitudinali (elaborazione grafica G. Lembo). 154
- Fig. 121 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione di tutti i reperti: sezioni trasversali (elaborazione grafica G. Lembo). 154
- Fig. 122 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti faunistici: sezioni verticali a differenti quote (dall'alto in basso: 0, -40, -80, -120 cm) (elaborazione grafica G. Lembo). 155
- Fig. 123 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti faunistici: sezioni longitudinali (elaborazione grafica G. Lembo). 156
- Fig. 124 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti faunistici: sezioni trasversali (elaborazione grafica G. Lembo). 156
- Fig. 125 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in selce: sezioni verticali a differenti quote (dall'alto in basso: 0, -40, -80, -120 cm) (elaborazione grafica G. Lembo). 157
- Fig. 126 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in selce: sezioni longitudinali (elaborazione grafica G. Lembo). 158
- Fig. 127 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in selce: sezioni trasversali (elaborazione grafica G. Lembo). 158
- Fig. 128 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in calcare: sezioni verticali a differenti quote (dall'alto in basso: 0, -40, -80, -120 cm) (elaborazione grafica G. Lembo). 159

- Fig. 129 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in calcare: sezioni longitudinali (elaborazione grafica G. Lembo). 160
- Fig. 130 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Mappa di concentrazione dei reperti in calcare: sezioni trasversali (elaborazione grafica G. Lembo). 160
- Fig. 131 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Diagramma Rose: distribuzione dell'orientamento dei reperti con elongation index ≥ 2 (elaborazione grafica G. Lembo). 161
- Fig. 132 - Isernia La Pineta, 3 colluvio. Diagramma Rose: distribuzione della plunge direction (elaborazione grafica G. Lembo). 161
- Fig. 133 - Isernia La Pineta, 3s 6-9. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo). 162
- Fig. 134 - Isernia La Pineta, 3s 6-9. Distribuzione dei reperti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo). 163
- Fig. 135 - Isernia La Pineta, 3s 6-9. Distribuzione dei reperti in selce (elaborazione grafica G. Lembo). 164
- Fig. 136 - Isernia La Pineta, 3s 6-9. Distribuzione dei reperti in calcare (elaborazione grafica G. Lembo). 165
- Fig. 137 - Isernia La Pineta, 3s 6-9. Distribuzione dei reperti in travertino (elaborazione grafica G. Lembo). 166
- Fig. 138 - Isernia La Pineta, 3s 1-5. Distribuzione di tutti i reperti (elaborazione grafica G. Lembo). 167
- Fig. 139 - Isernia La Pineta, 3s 1-5. Distribuzione dei reperti faunistici (elaborazione grafica G. Lembo). 168
- Fig. 140 - Isernia La Pineta, 3s 1-5. Distribuzione dei reperti in selce (elaborazione grafica G. Lembo). 169
- Fig. 141 - Isernia La Pineta, 3s 1-5. Distribuzione dei reperti in calcare (elaborazione grafica G. Lembo). 170
- Fig. 142 - Rappresentazione schematica del metodo di calcolo della densità 3D (da Gallotti et al., 2012). 174
- Fig. 143 - Esempio di elaborazione dati in Voxler® (elaborazione grafica G. Lembo) 175

- Fig. 144 - Esempi di visualizzazione 3D (elaborazione grafica G. Lembo). 175
- Fig. 145 - Esempi delle varie possibilità di sezionare i modelli tridimensionali (elaborazione grafica G. Lembo). 176
- Fig. 146 - Definizione degli assi maggiore (a), intermedio (b) e minore (c) (da Ricci Lucchi, 1980). 177
- Fig. 147 - Rappresentazione schematica di due clasti con identico asse (a) ed opposto asse (b) (da Francisci, 2011). 178
- Fig. 148 - Parallelepipedo che include l'oggetto secondo le sue dimensioni con gli estremi dell'asse maggiore da cui scaturisce il punto centrale (elaborazione grafica G. Lembo). 178
- Fig. 149 - Visualizzazione geometrica della tangente dell'angolo α (elaborazione grafica G. Lembo). 179
- Fig. 150 - Visualizzazione dell'inclinazione di un oggetto nello spazio (elaborazione grafica G. Lembo) 180
- Fig. 151 - Screenshot che mette in relazione i risultati derivanti dal nuovo procedimento di acquisizione (nella tabella a sinistra) e quelli recuperati manualmente da un'immagine (a destra) (elaborazione grafica G. Lembo). 181

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Vector *vs* raster (da Gallotti, 2003). 40

Tabella 2 - Tabella riassuntiva dei reperti catalogati in rapporto agli strati e alla materia (elaborazione grafica G. Lembo). 103

Tabella 3 - Conversione dei valori di orientazione e pendenza in gradi angolari.

144

Elenco software utilizzati

Agisoft Photoscan Professional®

Arcview 3.2®

Autocad 2012®

Microsoft Office Access 2007®

Microsoft Office Excel 2007®

Quantum GIS 2.4.0■

RDF■ (Raddrizzamento Digitale Fotogrammetrico)

R Studio☉

Voxler 1.0®

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro rappresenta l'esito di più di un decennio di studi condotti nel sito di Isernia La Pineta. Proprio qui per la prima volta ho iniziato ad avvicinarmi alle metodologie informatiche applicate alla ricerca archeologica. Isernia pertanto ha rappresentato per me un laboratorio, di formazione e ricerca, ma anche di vita; un laboratorio in continua e costante evoluzione che mi ha permesso, nonostante le alterne vicende, a volte anche molto complesse, di arrivare dove sono e di scrivere qualche pagina della storia di questo sito straordinario.

Sarà difficile ringraziare tutte le persone che in questi anni hanno contribuito, chi più chi meno, a scrivere un pezzo di storia del sito.

Un primo doveroso ringraziamento devo rivolgerlo al professore Carlo Peretto che, in qualità di tutor, ha seguito con costanza e pazienza l'evoluzione del mio lavoro in questi tre impegnativi anni di dottorato.

É naturale inoltre ringraziare tutte le persone che, direttamente o indirettamente, hanno contribuito alla realizzazione di questa tesi e mi hanno accompagnato in questo percorso.

In particolare, desidero ringraziare:

il professore Luigi Carmignani, direttore del Centro di Geotecnologie dell'Università degli Studi di Siena e membro del consiglio di amministrazione della Fondazione Masaccio che ha cofinanziato la mia borsa di dottorato;

Rosalia Gallotti, per avermi guidato in questi anni e per le piacevoli ore trascorse in discussioni edificanti sia dal punto di vista scientifico che umano;

Marta Arzarello e Julie Arnaud per aver messo a disposizione, oltre alla strumentazione per i primi rilievi fotogrammetrici "esplorativi", soprattutto la loro professionalità e simpatia;

Ursula Thun Hohenstein per le qualità professionali con cui ho avuto il privilegio di avere a che fare;

tutti i colleghi del Dipartimento di Studi Umanistici (sezione Preistoria), Federica Fontana, Marco Peresani, Benedetto Sala, Maria Chiara Turrini, Marco Bertolini, Claudio Berto, Marina Cangemi;

i compagni di lavoro, tra cui Pedro, Guido, Eleonora, Dario, Marja, Sandra, Camille, Juanma, per tutti i momenti passati insieme, le piadine, i caffè e le chiacchierate;

i miei amici, con i quali continuo a divertirmi e a confrontarmi ormai da diversi anni e che hanno sempre creduto in me, Massimiliano, Annalisa, Salvatore, Juan, Marta, Giulia, Piero, Monica, Giovanna, Ettore, Alessandro, Nicola, Domenico, Michele, Elena, Antonio solo per citare quelli che sono stati più direttamente coinvolti e "infastiditi" dal mio lavoro di dottorato;

Ciro il cui ricordo mi strappa sempre un sorriso;

i miei cari, dalla mia famiglia di origine (Antonietta, la mamma, Mimì, il papà, Maria Teresa e Giuditta, le sorelle, Carlotta e Alessia, le nipoti) a quella acquisita (Giovanni, Filomena e Laura rispettivamente i genitori e la sorella della mia compagna, Francesco, il cognato), per tutto il sostegno che mi hanno sempre dato.

Last but not least ringrazio Brunella, per la pazienza che ha avuto in questi anni, per i confronti e gli scambi di idee, per avermi aiutato a curare la parte testuale della tesi, per avermi accompagnato nei lavori sul sito di Isernia La Pineta così come nella vita; assieme a lei ho trascorso i momenti più felici della mia vita.