

# Acquisizione dei dati archeologici, geomorfologici e stratigrafici per l'area urbana e periurbana di Pisa ed analisi preliminari

Anichini F., Bini D., Bini M., Dubbini N., Fabiani F., Gattiglia G., Giacomelli S., Gualandi M.L., Pappalardo M., Rossi V., Sarti G., Steffè S.

---

*Dopo aver definito l'area oggetto di indagine, si passano in rassegna i metodi utilizzati per l'acquisizione di nuovi dati. Gli archeologi si confrontano con i problemi degli archivi e dello stato della documentazione; i sedimentologi individuano le aree per la realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo, mentre i geomorfologi riconoscono nell'analisi del microrilievo, nella fotointerpretazione e nel telerilevamento la base delle loro analisi. I matematici descrivono infine il modello page rank classico, adattato al problema della determinazione del potenziale archeologico.*

---

**Keywords: Archivi, documentazione archeologica, scenari paleogeografici, modello stratigrafico-deposizionale, page rank**

---

## Introduzione

La raccolta dei dati archeologici, sedimentologici e geomorfologici costituisce la fase propedeutica della ricerca. Si tratta di un'operazione tutt'altro che meccanica: il campione esaminato, le modalità di acquisizione, la valutazione della quantità e della qualità dei dati infatti incidono profondamente sulle analisi che successivamente verranno condotte. Per tale motivo si è resa necessaria una riflessione che, partendo dall'analisi delle conoscenze già acquisite e delle problematiche inerenti i diversi campi di indagine, enuclei le modalità di acquisizione. Prima di tutto è stata delimitata l'area di intervento: non solo il centro storico o l'immediato suburbio, ma un più vasto settore della pianura al cui centro sorge la città. E' questa infatti l'area ritenuta concordemente la più idonea all'analisi delle componenti geomorfologiche e dei dati sedimentologici di sottosuolo; la realizzazione di una carta del potenziale archeologico per un'area

così vasta inoltre offre uno strumento di pianificazione urbanistica anche per quelle zone dove è possibile prevedere una rapida espansione nel prossimo futuro. Le diverse componenti dell'équipe tratteggiano, ciascuna per il proprio campo di indagine, lo stato delle conoscenze, la tipologia dei dati e le modalità di acquisizione, passando dal complesso sistema degli archivi che conservano una documentazione archeologica eterogenea e difforme, al micro rilievo, alla foto interpretazione e al telerilevamento per la ricostruzione del contesto geomorfologico, all'analisi dei dati di sottosuolo dell'area urbana e periurbana di Pisa per elaborare un modello stratigrafico-deposizionale preliminare e per individuare le aree destinate alla realizzazione di nuovi sondaggi a carotaggio continuo. Questi permetteranno di ottenere nuove informazioni di natura sedimentologico-stratigrafica, geochemica, pollinica, geomorfologica, paleontologica e archeologica.

E' stata inoltre avviata da parte del gruppo dei matematici la riflessione sulla definizione di un modello per la determinazione del potenziale archeologico. Particolarmente adatti appaiono i modelli di tipo "page rank", con i quali attualmente vengono classificate le pagine web dai motori di ricerca: l'importanza di un ritrovamento infatti non è assoluta, ma dipende in maniera sostanziale dai ritrovamenti "vicini", che gli attribuiscono importanza: è lo stesso criterio che viene implementato nel caso del *page rank*.

## 1. Delimitazione dell'area di indagine

Sedimentologi, geomorfologi e archeologi hanno concordemente definito come area di indagine un rettangolo che comprende la zona urbana e periurbana di Pisa, con un'ampiezza totale di circa 33 km<sup>2</sup>. A partire dalla zona del fiume Morto a nord, l'area in esame si spinge verso sud fino oltre il fiume Arno, con il limite meridionale che si attesta in prossimità della località di Putignano. All'altezza di Barbaricina è localizzato invece il confine occidentale dell'area, che si estende verso est poco oltre le località di Cisanello e Ghezzano, arrivando a lambire il grande meandro di Ripoli, che ne rappresenta dunque il limite orientale.

Qui è possibile riconoscere e caratterizzare con sufficiente dettaglio le principali unità morfologiche di cui la pianura si compone. Dal punto di vista della definizione dell'architettura deposizionale del sottosuolo, l'estensione dell'area e la concentrazione dei dati in essa presente permettono di ben contestualizzare l'evoluzione spazio-temporale degli ambienti deposizionali, come è emerso dall'analisi preliminare della banca dati. In questa zona, inoltre, sono stati recentemente realizzati, a scopo di ricerca, alcuni sondaggi a carotaggio continuo, che costituiscono, in questo momento, il riferimento stratigrafico dell'intera pianura di Pisa per dettaglio e qualità del dato.

All'interno di questo perimetro, l'analisi dei dati archeologici è limitata al territorio comunale di Pisa, con l'esclusione dei Comuni limitrofi. Il centro storico e la fascia periurbana erano già soggette a un vincolo di tutela archeologica espresso dalla legge 1089/1939 e da due declaratorie rispettivamente del 10 aprile 1986<sup>1</sup> e del 29 giugno 1993<sup>2</sup>, redatte dal Soprintendente per i Beni Archeologici della Toscana e indirizzate direttamente e per conoscenza a tutti gli Enti interessati<sup>3</sup>. L'estensione della carta del poten-

ziale archeologico ad un'area assai più vasta è apparsa la scelta più funzionale per includere non solo le aree periferiche di più recente urbanizzazione, ma anche quelle in cui è prevedibile lo sviluppo della città e delle sue infrastrutture in un prossimo futuro.

## 2. L'acquisizione della documentazione archeologica

### 2.1 I criteri nella raccolta del materiale documentario

Gli obiettivi del progetto – la creazione di una banca dati consultabile attraverso una base cartografica in webgis e la successiva definizione dell'archivio Open Data – hanno necessariamente richiesto una riflessione mirata sulla tipologia dei dati che andranno a concorrere alla realizzazione di questi prodotti e, non ultimo, alla definizione del potenziale archeologico di un'area urbana (vedi MapPapers 2).

Un'analisi della bibliografia presente sulle stesse tematiche e le basi di lavoro già sviluppate per la città di Pisa (ANICHINI 2005; GATTIGLIA 2010), hanno indirizzato la fase di raccolta del materiale documentario basandosi essenzialmente sui seguenti criteri:

- Nessun tipo di selezione cronologica, sia per la fonte sia per il record archeologico. La diacronia sarà infatti uno dei cardini delle successive fasi di lavoro, in particolare negli step di creazione dei piani storici quotati e delle ricostruzioni della città nei diversi periodi. Siamo convinti che spesso esista un rapporto di continuità/discontinuità tra le destinazioni d'uso dei diversi settori urbani che possa essere, in parte, compreso anche attraverso il riconoscimento e l'analisi di alcune componenti che si protraggono nel tempo, fino, in alcuni casi, all'epoca contemporanea.

- Viste le lacune presenti nella documentazione direttamente riconducibile all'intervento archeologico (relazioni, fotografie, schedature, planimetrie, ecc...), la necessità di verificare anche quelle fonti, che potremmo definire "indirette", dove fossero presenti elementi comunque informativi: carteggi, rilascio di pareri e nulla osta, comunicazioni di carattere ordinario, pratiche per la concessione di premi di rinvenimento, ecc... Tra le righe di tutta questa documentazione si preservano infatti informazioni di interventi spesso ritenuti minori, come sondaggi che non hanno restituito evidenze di carattere archeologico (at-

---

Regione Toscana, Firenze; e p.c. al Presidente dell'Amministrazione Provinciale di Pisa; e p.c. al Soprintendente ai Beni AA.AA.AA.SS. di Pisa; e p.c. al Ministero Beni Culturali e Ambientali –Ufficio Centrale Beni AAAAS Divisione IV – ROMA; all'ENEL – Direzione di zona, lungarno Pacinotti 57 – PISA; e p.c. alla SIP – Direzione, via F. Crispi 65 – PISA; e p.c. alla A.CO.G.E.S. – Direzione, via C.Battisti 71 – PISA; e p.c. al Ministero LAVORI PUBBLICI, Piazza di Porta Pia 1 – ROMA; e p.c. al Provveditorato alle Opere Pubbliche della Toscana Sezione Operativa per la Provincia di Pisa, piazza de' Cavalieri – PISA; e p.c. al Ministero della Difesa, via Venti Settembre – ROMA; e p.c. al Prefetto di Pisa, Dott. A. Marino, lungarno Mediceo - PISA

1 Archivio storico SBAT, Firenze, Pos. 9 Pisa 4, Prot. N. 4585 del 10 aprile 1986.

2 Archivio storico SBAT, Firenze, Pos. 9 Pisa 4, Prot. N. 10610 del 29 giugno 1993.

3 Al Sindaco del Comune di PISA; all'Operaio presidente dell'Opera della Primaziale Pisana, piazza del Duomo 17 – PISA; a S.E. Arcivescovo, piazza Arcivescovado – PISA; al Magnifico Rettore dell'Università degli Studi di Pisa, lungarno Pacinotti – PISA; al Direttore della Scuola Normale Superiore, piazza de' Cavalieri – PISA; e p.c. al Presidente della Regione Toscana; e p.c. al Dip. Assetto del Territorio

testando quindi un “no data” prezioso); sopralluoghi eseguiti direttamente dai funzionari di Soprintendenza che annotano estensioni, esecutori e cronologia dei lavori; segnalazioni di rinvenimenti occasionali delle quali resta sola la dichiarazione del rinventore. Un corpus importante di notizie più o meno puntuali, a volte accessorie a dati già presenti in forma incompleta.

- Molti dei dati raccolti riferibili ad indagini archeologiche presentano una carenza di carattere topografico: alla completezza della registrazione del dato stratigrafico, in molti casi attenta e fedele, si contrappone talvolta un'imprecisione o una totale assenza del dato geografico.

- Numerosi interventi di scavo non risultano ubicabili a livello cartografico se non per generiche indicazioni di tipo urbanistico (nome della strada, numero civico di riferimento, ecc...) che non sono univoche quanto una coordinata geografica. La necessità di georeferenziare tutte le evidenze archeologiche nel modo più preciso possibile, ci ha spinto a cercare fonti usualmente inutilizzate. La raccolta degli elaborati tecnici connessi alle opere che hanno richiesto o indotto indagini archeologiche, quali planimetrie di progetto, relazioni tecniche, ecc..., permetterà infatti, in molti casi, di avere un riferimento cartografico – sia esso catastale o sulla Carta Tecnica Regionale – delle aree indagate, fornendo una base di partenza per le operazioni di georeferenziazione.

- Nessuna selezione a priori della tipologia di dato raccolto. Nella fase di acquisizione, tutte le tipologie di dati sono state trattate con pari valenza. Un'acquisizione totale delle differenti modalità di registrazione dei dati archeologici stratigrafici (grafica, fotografica, compilativa, ecc...) consentirà di poter verificare da più punti di vista il dato interpretato. Avendo già riscontrato nei lavori pregressi alcune discrepanze, presumiamo che in molti casi sarà necessario effettuare una revisione incrociata tra l'informazione sintetica, fornita ad esempio nelle relazioni di scavo, e il dato grezzo; questo soprattutto laddove chi ha effettuato la registrazione dei dati non si sia attenuto alle regole generalmente riconosciute o definite dall'Istituto Centrale del Catalogo. Lo stato attuale della pratica archeologica, sia essa sviluppata da enti di ricerca, da enti di tutela direttamente o mediante collaborazione esterna con professionisti, registra una comune abitudine legata alla ritardata fase di edizione del risultato archeologico. Sono numerosi i casi in cui i risultati delle ricerche sono stati pubblicati solo dopo molti anni dal termine dell'indagine o in cui addirittura le informazioni sono rimaste inedite. Purtroppo, spesso questa prassi è direttamente collegata al mancato deposito di tutta la documentazione, prodotta in seno alla ricerca, nella sede dell'ente preposto. Diventa così indispensabile fare una completa ricognizione dell'edito per verificare sia se esistano interventi non archiviati, sia se i dati rintracciati negli archivi corrispondano alla completezza del corpus documentario prodotto originariamente. Sono comunque rare le edizioni a stampa o elettroniche, che riportino quasi integralmente il

dato primario; già rare quelle che diano conto delle sequenze stratigrafiche non esclusivamente in forma di sintesi interpretativa; pochissime le pubblicazioni che alleghino come apparati i diagrammi stratigrafici, le quantificazioni dei materiali, la descrizione dei criteri metodologici adottati nelle successive operazioni di sintesi periodizzata.

Seguendo questi criteri si è scelto di operare lavorando contemporaneamente allo spoglio dei diversi archivi e alla ricognizione del materiale già edito, tenendo come riferimento il limite spaziale definito dall'area oggetto del progetto.

## 2.2 Gli archivi

Per consentire l'accesso agli archivi di proprietà statale, è stata definita una convenzione con gli enti partner e sostenitori del progetto che hanno messo a disposizione dei ricercatori tutte le informazioni necessarie al buon esito del lavoro.

La documentazione è fondamentalmente conservata nell'Archivio della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana a Firenze (Archivi Storico, Corrente, Grafico, Fotografico, delle “Planimetrie”) e in quello della sede distaccata di Pisa. Importante fonte di informazione è anche l'Archivio della Soprintendenza per i Beni Architettonici e per il Paesaggio, per il Patrimonio Storico, Artistico ed Etnoantropologico per le province di Pisa e Livorno (Archivio generale e Fototeca): qui sono registrati rinvenimenti di epoca medievale, fino ad anni recenti, effettuati in occasione di interventi di ripristino e restauro dell'edilizia pubblica e privata; le notizie appaiono segnalate nelle relazioni redatte dagli architetti progettisti e/o direttori dei lavori e, talvolta, nella documentazione fotografica effettuata durante i sopralluoghi inerenti la normale attività di controllo e tutela.

La raccolta della documentazione negli archivi delle due Soprintendenze era già stata in gran parte effettuata in occasione di tesi di laurea e di dottorato (ANICHINI 2005, GATTIGLIA 2010) e nell'ambito del progetto di contestualizzazione dei ritrovamenti avvenuti presso il cantiere delle antiche navi di San Rossore, commissionato al Dipartimento di Scienze Archeologiche dalla SBAT (2007). Non essendo prevista per questi lavori l'acquisizione di tutta la documentazione di scavo, ma solo una prima catalogazione, schedatura e posizionamento geografico degli interventi, si è reso necessario revisionare i dati già raccolti, acquisire quelli mancanti e completare lo spoglio della documentazione per tutti gli interventi più recenti, eseguiti successivamente alle precedenti ricognizioni.

Contestualmente è stata avviata anche la consultazione dell'Archivio Storico e dell'Archivio dell'Opera del Duomo di Pisa: anche se perlopiù già edito, le notizie dei vecchi rinvenimenti conservate in questi archivi infatti potrebbero presentare ancora dati fin'ora trascurati, oltre a piante o schizzi.

Altra fonte di informazione si sono rivelati i depositi della Soprintendenza per i Beni Archeologici; non volendo in alcun modo entrare nello studio specifi-

co dei materiali conservati, si è però verificato come, per alcuni interventi, perlopiù lontani nel tempo, non resti nessun'altra traccia documentaria, tranne il deposito siglato delle cassette dei materiali.

### 2.3 Le modalità di acquisizione

Data l'eterogeneità delle tipologie di dati, sono state definite diverse modalità di acquisizione basate sull'effettiva necessità di trasportare il dato integralmente o meno. Tale operazione è stata pianificata in un'ottica di ottimizzazione dei tempi e delle risorse impiegate, anche alla luce delle future fasi di elaborazione progettuale: inserimento nella banca dati, creazione della cartografia webgis, archivio Open Data.

- Tutti i documenti non direttamente connessi con la registrazione del record archeologico (in particolare modo di quello stratigrafico), ma utilizzati come fonte di informazione per alcuni dei campi di definizione dell'intervento (carteggi, pareri, ecc...) sono stati schedati direttamente – laddove la semplicità o esiguità dell'informazione lo consentiva – o sono stati fotocopiati per essere riletti e schedati a posteriori. Nei casi in cui il documento rappresenti l'unica fonte di informazione per un determinato intervento, si è proceduto alla sua scansione e conversione in formato interrogabile OCR per la successiva immissione nell'apposita scheda della banca dati.

- La documentazione grafica degli interventi stratigrafici e non (planimetrie a matita o lucidate a china) è stata scansionata in scala originale con risoluzione 300dpi e archiviata, suddivisa per interventi, per la successiva fase di digitalizzazione e georeferenziazione.

- Le schede di Unità Stratigrafica sono state fotocopiate o, laddove già presenti in formato digitale, acquisite in copia elettronica

- L'acquisizione della documentazione fotografica è avvenuta tramite scansione nei casi fossero presenti solo copie a stampa o diapositive, tramite copia informatica per le fotografie già in formato digitale

Tutto il materiale che fino ad ora è stato acquisito è stato trattato secondo i criteri di privacy vigenti per legge.

### 2.4 Tempi e forze impiegate in questa prima fase

Questa fase del lavoro è stata avviata il 1 agosto 2011 e stimiamo che potrà essere completata entro il mese di ottobre. Non sono comprese in questa tempistica le fasi di revisione dati, trasferimento nell'archivio digitale e georeferenziazione, oggetto di ulteriori Wps. Nei primi 3 mesi è stato impiegato un collaboratore full-time, supportato da uno dei responsabili dell'equipe per le fasi di definizione delle modalità di accesso con gli enti e le istituzioni che gestiscono i diversi archivi e per la verifica periodica degli step intermedi del lavoro. Dal mese di ottobre saranno inseriti altri due collaboratori full-time.

### 2.5 Reperibilità e qualità dei dati: alcune riflessioni

I tempi serrati del progetto si sono scontrati con alcune problematiche pratiche e di carattere "strutturale" che dobbiamo ammettere di aver sottovalutato nella stima della tempistica di questa fase del lavoro. I passaggi burocratici per la definizione e la firma della convenzione con gli enti partner hanno richiesto tempi ben più lunghi del previsto. L'avvio del lavoro è coinciso con il mese di agosto, mese dedicato per antonomasia alle ferie estive; l'organizzazione degli archivi, che ricordiamo essere pubblici, non prevede – in molti casi a causa di un ridotto numero di unità di personale - la possibilità di mantenere un servizio di apertura costante durante tutti i periodi dell'anno e, spesso, l'accesso agli archivi è previsto solo in determinati giorni e ad orari ridotti.

Ottenuto l'accesso, la difficoltà successiva è l'effettiva reperibilità dei documenti all'interno dell'archivio stesso. L'archivio della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana, ad esempio, non ancora informatizzato, presenta una prima divisione cronologica e geografica dei documenti a seconda della data di protocollo e della provincia di provenienza. Una seconda ripartizione avviene con lo smembramento del materiale proveniente da uno stesso intervento in categorie di documenti distinti (grafici, compilativi, fotografici, allegati eterogenei). Fisicamente l'archivio è ripartito in numerosi ambienti non contigui, all'interno dei quali parte del materiale non è catalogato (archivio disegni) e parte del materiale risulta conservato in modo precario (archivio "planimetrie").

L'archivio risulta inoltre incompleto poiché di alcune indagini manca ogni traccia di documentazione. Se per alcune di esse è possibile trarre informazioni dall'edito (ma ben diverso è il valore informativo dei dati archeografici "grezzi" e di una sintesi che offre un'interpretazione legittima, ma personale, di quei dati), per altri restano tracce assai scarse desumibili da documenti accessori o dalle sigle dei materiali in deposito. Anche in questo caso tuttavia non mancano problemi di lettura dei dati: in assenza di un controllo centralizzato delle sigle utilizzate come identificativi, si è verificata talvolta l'impossibilità di sciogliere l'acronimo e di riconoscere l'intervento, mentre è capitato che una stessa sigla sia stata assegnata a più scavi diversi. L'assenza di documentazione, sia essa dovuta a un'errata archiviazione o alla sua mancata consegna da parte degli esecutori dei lavori, liberi professionisti o funzionari dello Stato, priva dunque l'archivio di importanti tessere di un patrimonio collettivo.

Al problema della reperibilità della documentazione si aggiunge poi quello della sua qualità. Questa dipende dal diverso grado di analisi -si va infatti dalla semplice relazione preliminare, alla pubblicazione integrale, passando per comunicazioni e segnalazioni parziali-, ma anche dalla differente tipologia di operatori che hanno raccolto i dati -dal volontario, all'archeologo professionale-, dall'epoca in cui è stato effettuato l'intervento e dalla sua tipologia -dal recu-

pero occasionale, all'indagine preventiva e/o di ricerca-. Tendenzialmente è possibile riscontrare come il passaggio da pratiche emergenziali e/o occasionali, dominanti fino agli inizi degli anni '90, a favore di pratiche programmate, come l'*assistenza archeologica* e lo *scavo preventivo*, adottate in modo quasi sistematico tra la fine degli anni 80 e i primi anni '90, abbia inevitabilmente comportato un aumento della quantità e della qualità dei dati prodotti, nonché una maggiore attenzione alla diacronia dei ritrovamenti e soprattutto alle fasi postclassiche. E' stato possibile verificare ad esempio, che la documentazione grafica è presente integralmente solo per gli interventi avvenuti dopo il 2000 e molto sporadicamente negli anni precedenti. Anche per le indagini più recenti è necessario tuttavia segnalare il permanere di difformità, talvolta anche notevoli, nella qualità della documentazione prodotta o consegnata, che non sempre comprende la produzione scritta, grafica e fotografica completa -schede di US, matrix, piante, piante di fase, foto, tabelle dei materiali-. A tale proposito è stata elaborata una lista di tutti gli interventi noti, segnalando per ognuno la presenza/assenza di ciascuna tipologia di documentazione. Non mancano inoltre casi in cui vengono sperimentate forme originali di documentazione, sia nelle voci delle schede sia nella redazione della sequenza stratigrafica: per quanto sia necessario mantenere vivo il dibattito sugli aspetti metodologici della ricerca, le norme codificate dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione costituiscono la garanzia della confrontabilità dei dati e di un linguaggio condiviso.

### 3. La raccolta dei dati geomorfologici

E' stata condotta una raccolta e una selezione di dati bibliografici sia specifici sull'area di studio che sulla metodologia di indagine geomorfologica da adottare in aree di pianura urbanizzata.

#### 3.1 Le conoscenze sulla geomorfologia della pianura di Pisa

Per quanto riguarda l'area oggetto di studio, i lavori moderni a carattere geomorfologico relativi all'evoluzione diacronica del paesaggio sono sorprendentemente scarsi (DELLA ROCCA et al. 1987; FEDERICI, MAZZANTI 1988; MAZZANTI (ed) 1994; FEDERICI, MAZZANTI 1995). La paleogeografia è tratteggiata con livelli di dettaglio a scala regionale o al più subregionale che perdono di risoluzione nella parte più recente dell'Olocene Superiore, quella di maggiore interesse per il progetto. In particolare il primo dei lavori citati, che è sostanzialmente il più completo ed esaustivo, risulta molto più ricco per quel che riguarda le indicazioni fornite dalle fonti storiche che per l'identificazione e l'interpretazione delle forme del rilievo. A parte le numerose paleotracce, riferibili a diverse generazioni di paleocanali, desunte dalla fotointerpretazione e dal tele-

rilevamento applicato ad immagini Landsat a bassa risoluzione, le aree interfluviali risultano grossolanamente differenziate solo in base alla litologia superficiale. A livello cronologico vengono differenziati i depositi del Pleistocene Superiore da quelli dell'Olocene. I primi sono eolianiti, residui di una paleomorfologia evoluta in condizioni di basso stazionamento del livello del mare, di età ignota ma presumibilmente compresa all'interno degli stadi isotopici marini (MIS) che vanno dal 5.3 al 3 (Sabbie dell'Isola di Coltano). Per l'Olocene vengono distinte due tipologie di depositi di esondazione fluviale (più grossolani e più fini) e depositi palustri (argille organiche), questi ultimi delimitati in estensione sulla base dell'ubicazione delle aree depresse desunte da fonte storica. Manca totalmente un'interpretazione morfologica delle variazioni altimetriche rilevabili nella pianura.

Da questo quadro si evince tuttavia che gli elementi di maggiore interesse, per quanto riguarda l'evoluzione del paesaggio, sono rappresentati dalle fluttuazioni della rete idrografica e dei bassi morfologici. Il paesaggio si modifica in un contesto di progradazione della linea di costa che conduce, a partire almeno dal II sec a.C., alla formazione di una fascia costiera di cordoni litoranei e dunali (MAZZANTI, PASQUINUCCI 1983; PRANZINI 2001) che raggiungerà, nel XIX secolo, uno spessore di circa 7 km. La morfologia può essere descritta come quella tipica di un delta fluviale, con una barriera che separa il mare aperto da un'area depressa, gradualmente colmata dal carico solido dei corsi d'acqua che vi confluiscono. Il paesaggio in quest'area evolve nel senso di una progressiva continentalizzazione, modulata dalle modificazioni dei deflussi.

Per quanto riguarda la rete idrografica, la ricostruzione della sua evoluzione diacronica risulta estremamente complessa. Di essa abbiamo testimonianza più dalle fonti storiche e archeologiche che dagli archivi geologici e dalle analisi geomorfologiche basate sulla fotointerpretazione e sul telerilevamento (DELLA ROCCA et al. 1987) sporadicamente associati a prospezioni geofisiche mirate (MARCHISIO et al. 2001). Queste suggeriscono una complicata rete di paleotracce riferibili a diverse generazioni di paleocanali, talvolta di incerta identificazione. In sostanza non ci sono al momento ricostruzioni certe di scenari paleoidrografici ma, al più, ipotesi di identificazioni di specifiche paleotracce con tratti di corsi d'acqua esistenti in determinati periodi secondo le fonti storiche.

I temi di maggiore interesse risultano essere la separazione dei bacini idrografici dell'Arno e del Serchio, la storia del ramo "meridionale" dell'Arno e dell'evoluzione del tratto terminale del Serchio.

Un altro tema solo marginalmente indagato con approccio geomorfologico è quello dell'evoluzione delle aree lacustri/palustri. Della Rocca et al. (1987) le individuano sulla base dei documenti storici, le discriminano su base litologica, accorpandole tuttavia con i depositi di colmata, molto più recenti e geneticamente distinti, ma non è chiaro su che base le delimitano (forse in funzione delle firme spettrali). Questo è un

aspetto particolarmente critico, in quanto l'estensione dei cosiddetti "paduli" è cambiata più volte nel corso del tempo, ed è quindi fondamentale riferire un perimetro al relativo intervallo temporale.

### 3.2 Potenzialità e prospettive dell'approccio geomorfologico

La ricerca bibliografica relativa agli aspetti metodologici ha consentito di individuare, nell'ambito dell'ampia produzione geoarcheologica moderna, lavori che puntualizzano il ruolo della ricerca geomorfologica in geoarcheologia (BEACH et al. 2008). Per quanto riguarda il panorama italiano fra i numerosi casi di studio relativi alle aree di pianura, sono stati selezionati quelli (NINFO, PIOVAN 2006; PIOVAN 2008) per i quali l'indagine geomorfologica è risultata maggiormente efficace nel complementare i dati di sottosuolo ai fini della ricostruzione paleogeografica diacronica (come nella Pianura padana orientale).

La difficoltà nell'affrontare uno studio geomorfologico in area di pianura, ancor più se antropizzata, è nota in letteratura (CASTIGLIONI, PELLEGRINI 2001) ed è emersa chiaramente nell'area di studio a partire nel 2005 quando è stata redatta la prima carta geomorfologica della Provincia di Pisa scala 1:10.000.

L'analisi stereoscopica di foto aeree del 1975 era stata integrata con ricostruzioni del microrilievo derivata da interpolazione di isoipse e con il confronto delle banche dati dei carotaggi disponibili per ciascun Comune. Questo aveva permesso di distinguere nella pianura molti elementi legati alla dinamica fluviale, quali dossi interfluviali e alvei abbandonati. Questi ultimi sono stati individuati soprattutto in area agricola nel settore a nord dell'abitato di Pisa, mentre per quanto riguarda l'area urbana, solo una decina di tracce sono state riconosciute nel settore di centro storico ubicato a nord dell'Arno. Il confronto tra i vecchi dati geomorfologici, i dati derivanti dall'archivio Cosci e una preliminare analisi di alcuni fotogrammi multitemporali ha evidenziato numerose concordanze nell'individuazione di alcuni elementi (es. paleovalve che passa a sud di Piazza dei Miracoli), ma anche alcune differenze quali la presenza di lembi di paleovalve non segnalati precedentemente. Dato il dettaglio che ci si propone in questo lavoro è subito emersa dunque la necessità di attingere al numero più vasto possibile di fonti, in particolar modo poiché le diverse condizioni di umidità relative al momento della ripresa aerea condizionano fortemente la leggibilità dei fotogrammi, rendendo visibile solo alcune forme; è sembrato quindi indispensabile il reperimento di tutte le fotoaeree disponibili presso i vari Enti. I dati raccolti, sono stati organizzati in un geodatabase creato per gli scopi specifici dello studio.

Il geodatabase è stato strutturato nelle seguenti features class:

- i dati cartografici (CTR in scala 1:10.000 e 1:5.000);
- i dati LIDAR per la realizzazione del modello digitale del terreno, in forma scorporata per i diversi livelli;
- i dati satellitari in formato raster;

- immagini aeree georeferenziate e suddivise in anni di ripresa aerea.

- carte tematiche esistenti (carte geologiche, geomorfologiche, pedologiche).

- dati geofisici

- nuovi dati GPS

Il geodatabase si completerà con un feature data set (suddiviso in tre feature class: poligoni, linee e punti) che conterrà la nuova carta geomorfologica di dettaglio all'interno della quale i singoli elementi saranno suddivisi in funzione del processo morfogenetico, della tipologia di forma e dello stato di attività.

Si precisa che per quanto riguarda le immagini aeree, sono stati inseriti nel geodatabase tutti i voli a fotogrammi parzialmente sovrapponibili effettuati e disponibili per il territorio in esame presso vari Enti (Aerofototeca Nazionale, Regione Toscana, Istituto Geografico Militare, Comune di Pisa, Archivio Marcello Cosci). L'intervallo temporale coperto dai fotogrammi va complessivamente dal 1937 al 2010.

Per quanto riguarda le immagini satellitari è stata fatta una ricerca relativa a quelle disponibili in archivio recente (dal 2009) restituite da satelliti ad alta risoluzione (VHR) della cosiddetta "seconda generazione". È stato identificato un prodotto (GeoEye1) che rappresenta un buon compromesso qualità/prezzo. Ha 4 bande ed una risoluzione di 2 m nel multispettrale e 0.50 nel pancromatico. Inoltre presenta acquisizioni di settembre 2010 di buona qualità perché sgombrata da nubi. Sono in corso di acquisizione i dati satellitari per una copertura corrispondente all'incirca all'area "estesa".

Nell'area estesa, con un dettaglio di indagine diverso, verranno analizzate oltre alla dinamica fluviale, quella della progradazione della linea di costa e la localizzazione ed evoluzione delle aree umide, elementi ritenuti condizionanti il popolamento. La ricerca di informazioni paleoambientali desumibili da fonti scritte/archeologiche è risultata particolarmente agevole in quanto gli archeologi dello staff hanno prodotto sintesi cartografiche degli stessi, in formato utile per essere utilizzate come dati georeferiti.

## 4. Architettura stratigrafico-depositiva: analisi dei dati di sottosuolo ed elaborazione di un modello deposizionale preliminare.

Nella prima fase di attività sono stati acquisiti circa 400 dati di sottosuolo tra sondaggi e prove penetrometriche, ubicati nell'area urbana e suburbana di Pisa e provenienti da cataloghi appartenenti ad enti pubblici e studi privati.

I dati acquisiti sono stati gestiti in ambiente GIS al fine di creare un database georeferenziato del primo sottosuolo pisano, contenente, per ogni indagine, trattata come oggetto puntuale (*shapefile*-punto), le

principali informazioni geografiche (coordinate geografiche e quota sul livello del mare) e descrittive (profondità raggiunta dalla prova).

Una prima analisi analitica del database ha evidenziato una disomogenea distribuzione spaziale dei dati ed un'eterogeneità qualitativa delle documentazioni stratigrafiche acquisite. Questo ha reso particolarmente complicate le successive fasi di interpretazione di facies e di ricostruzione di un primo modello deposizionale di sottosuolo, finalizzato, attraverso l'elaborazione di sezioni stratigrafiche bidimensionali, all'identificazione degli ambienti deposizionali e dei principali corpi sedimentari.

In questa fase preliminare sono dunque stati presi a riferimento i sondaggi a carotaggio continuo caratterizzati da un'alta percentuale di recupero e con una descrizione stratigrafica completa (dato litologico, sedimentologico e talvolta paleontologico) e di dettaglio.

Sulla base delle caratteristiche sedimentologiche (granulometria, strutture sedimentarie, colore e materiale accessorio) e fossilifere (molluschi e meiofauna a foraminiferi bentonici e ostracodi), sono state riconosciute, entro i primi 20 metri circa di sottosuolo, quattro facies deposizionali principali: laguna; palude; piana inondabile e canale fluviale o canale distributore, che si sono sviluppati nella pianura di Pisa durante gli ultimi 7000 anni circa.

Seguendo il criterio di correlazione per ambienti deposizionali-*facies* sono state interpretate dodici sezioni bidimensionali trasversali orientate NO-SE (ad alto angolo rispetto al corso attuale del fiume Arno) e diciassette sezioni longitudinali ad andamento circa SO-NE. Tramite questa griglia di sezioni e' stato possibile ricostruire un primo modello stratigrafico-deposizionale di sottosuolo, indispensabile per la scelta delle aree chiave nelle quali ubicare nuovi sondaggi a carotaggio continuo che andranno ad implementare la banca dati esistente.

In sintesi, le sezioni stratigrafiche hanno evidenziato la presenza nel sottosuolo di argille-argille limose di ambiente lagunare, la cui base si attesta dai -15m/-20m circa sul livello del mare fino a quote variabili in funzione della presenza o assenza di corpi di canale sovrastanti. Questi ultimi, sviluppatasi nella successiva fase di progradazione dell'ambiente deltizio-alluvionale, possono aver inciso, in modo più o meno importante, le argille lagunari, creando in tal caso degli *hiatus* deposizionali ovvero delle lacune stratigrafiche.

Laddove al di sopra delle argille lagunari i canali non sono presenti, sedimenti fini ricchi in materia organica e riconducibili ad un ambiente di tipo palustre documentano la colmatazione e chiusura della laguna pisana. In entrambi i casi, la successione stratigrafica si chiude verso l'alto con sedimenti fini (limi-argille) di piana inondabile o sabbie di canale fluviale riconducibili ai depositi della pianura alluvionale recente.

Sono stati discussi congiuntamente i criteri da utilizzare per la localizzazione dei sei/otto carotaggi continui, di riferimento per le indagini di sottosuolo ed

è stata avanzata una proposta di ubicazione che ha trovato concordi le diverse componenti dello staff. I criteri per la scelta delle aree chiave nelle quali realizzare i nuovi sondaggi hanno tenuto conto sia delle indicazioni del modello preliminare di sottosuolo sia delle lacune del database dal quale e' stato ottenuto il modello, riconducibili prevalentemente alla disomogenea distribuzione dei dati sul territorio e alla loro eterogenea qualità. Sono state quindi prescelte "zone strategiche" tali da consentire di acquisire il maggior numero di informazioni sedimentologico-stratigrafiche, paleontologiche, geochimiche, polliniche, geomorfologiche, e paleontologiche. Sono infatti previste, per ciascun sondaggio, l'analisi stratigrafica di dettaglio con realizzazione di documentazione fotografica ed il campionamento di sedimenti destinato all'analisi paleontologica, pollinica e geochimica. L'analisi stratigrafica di dettaglio, congiuntamente con le analisi di laboratorio paleontologiche e polliniche, permetteranno di ricalibrare e raffinare l'interpretazione stratigrafico-deposizionale del sottosuolo derivata dal modello preliminare necessaria per poter successivamente elaborare carte paleogeografiche. Le analisi geochimiche invece contribuiranno a discriminare le aree di provenienza (sistema Arno/sistema Serchio) dei depositi contribuendo alla ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica dell'area di studio.

Sono state inoltre definite le procedure operative per una lettura congiunta dei carotaggi. Contestualmente sarà effettuata l'analisi stratigrafica di carattere archeologico che, oltre ad implementare i dati già raccolti con i nuovi interventi di carattere puntuale, consentirà di dettagliare con la massima precisione i primi metri di sottosuolo, laddove presumibilmente saranno riscontrate tracce di tipo antropico o cronologie di ambito storico.

## 5. Un modello matematico di potenziale archeologico

Astraendo dal modo di procedere nella pratica della determinazione del potenziale archeologico da parte degli archeologi e dei geologi, un modello di tipo *page rank* sembra adatto per determinare il potenziale archeologico dell'area urbana di Pisa, a partire dai dati esistenti. Infatti, opportunamente modellati, i criteri per attribuire il potenziale archeologico usati nella pratica ricordano molto il criterio secondo cui viene assegnata l'importanza delle pagine web, in quanto ogni ritrovamento/reperto archeologico dà importanza a quelli vicini, dai quali a sua volta riceve importanza. Di conseguenza l'importanza di un ritrovamento e il potenziale archeologico di un punto del sottosuolo dipendono in maniera sostanziale dall'importanza dei ritrovamenti e dal potenziale archeologico delle zone in prossimità, e viceversa. Modelli di tipo *page rank* sono usati dai motori di ricerca per attribuire importanza alle pagine web. Quello che cercheremo di fare è estendere questi modelli in modo

tale da poter essere utilizzati per la determinazione del potenziale archeologico, e nel seguito esponiamo il modello originale e le modifiche che dovranno essere fatte per tale adattamento.

### 5.1 Il modello page rank

Esponiamo ora l'idea principale su cui si basa un modello di tipo *page rank*, senza entrare nei dettagli matematici, perché al di fuori degli scopi del seguente report, che è da intendere come quello in cui mettiamo in campo le idee da utilizzare nelle future modellazioni matematiche.

Senza entrare nei dettagli matematici dei modelli esistenti dunque (alcuni dei quali coperti da segreto industriale in quanto utilizzati da aziende nei motori di ricerca sul *web*), il criterio che viene utilizzato per dare importanza alle pagine web è basato sul numero di link uscenti dalla pagina stessa. Una pagina  $i$  che punta (cioè che possiede un *link* verso) altre pagine, che denotiamo con  $j_1, j_2, \dots, j_k$ , distribuisce la sua importanza in parti uguali alle pagine  $j_1, j_2, \dots, j_k$  e quindi dà  $1/k$  della sua importanza alle pagine che punta. A partire da questo criterio, ed applicandolo ad ogni pagina, l'importanza di ogni pagina viene assegnata in base al peso che le attribuiscono le altre pagine, viceversa contribuisce ad assegnare l'importanza delle pagine a cui punta. Ciò che viene fuori dall'applicazione di tutte queste operazioni è un sistema lineare con un gran numero di equazioni (nel caso delle pagine web si possono quantificare in circa 10 miliardi): questo sistema di equazioni, risolto, dà come risultato l'importanza di ogni singola pagina. Per risolverlo, ci si riconduce a risolvere un cosiddetto "problema agli autovalori", che a livello teorico è possibile risolvere grazie al teorema di Perron-Frobenius, che assicura l'esistenza di una soluzione sotto alcune condizioni. Computazionalmente invece, trattandosi di un numero enorme di equazioni, il calcolo della soluzione è reso possibile grazie al fatto che le matrici che si incontrano in tale tipo di problema sono "sparse", e cioè hanno una grande quantità di zeri.

### 5.2 Come adattare il modello al potenziale archeologico

Per adattare un modello di tipo *page rank* alla determinazione del potenziale archeologico, bisognerà creare delle varianti che tengano conto di alcune peculiarità del problema che vogliamo affrontare. In particolare il sottosuolo verrà modellizzato come un insieme di celle in uno spazio tridimensionale, e il trasferimento di importanza da una cella (che ora gioca il ruolo della pagina web) alle altre verrà assegnato in base ad una categorizzazione (preventiva) dei ritrovamenti. La strategia che vorremmo mettere in atto per adattare il modello del *page rank* è la seguente:

una griglia tridimensionale modella il sottosuolo dell'area urbana pisana. La singola cella della griglia svolge il ruolo della pagina web, e l'importanza della cella, determinata alla fine del procedimento, sarà il

suo potenziale archeologico;

l'informazione archeologica disponibile relativa ad una cella verrà utilizzata in modo duplice: da una parte, in *modo relativo* per costruire gli elementi della matrice che regola il trasferimento di importanza delle celle; dall'altra, in *modo assoluto*, dando un valore di importanza alla specifica cella in cui è presente un ritrovamento archeologico;

la parte relativa alla costruzione della matrice che regola il trasferimento di importanza viene svolta in base alle categorie che verranno utilizzate per classificare i ritrovamenti archeologici; in particolare, ogni categoria caratterizzerà la *geometria* della distribuzione di importanza;

la parte relativa all'importanza specifica delle singole celle, servirà infine a determinare il valore effettivo del potenziale archeologico; infatti la matrice di trasferimento di importanza determinerà il "potenziale archeologico" relativo di una cella rispetto alle altre, ma per dare un valore assoluto sarà necessario assegnare ad alcune celle un "valore di base", necessario a calcolare tutti gli altri valori.

L'informazione strettamente geologica, relativa alla presenza di corsi d'acqua o particolari conformazioni del terreno, sarà utilizzata in modo binario, cioè sarà utilizzata come condizione necessaria ad un valore di potenziale archeologico maggiore di zero: sarà quell'informazione, insomma, che a priori, ci permetterà di escludere alcune celle dal calcolo del potenziale archeologico.

## Bibliografia

- AGUZZI M., AMOROSI A., SARTI G. 2005, *Stratigraphic architecture of Late Quaternary deposits in the Lower Arno Plain (Tuscany, Italy)*, in «Geologica Romana», 38, pp. 1-9.
- AGUZZI M., AMOROSI A., COLALONGO M.L., RICCI LUCCHI M., ROSSI V., SARTI G., VAIANI C.S. 2007, *Late Quaternary climatic evolution of the Arno coastal plain (Western Tuscany, Italy) from subsurface data*, in «Sedimentary Geology», 202, pp. 211-229.
- AMOROSI A., SARTI G., ROSSI V., FONTANA V. 2008, *Anatomy and sequence stratigraphy of the late Quaternary Arno valley fill (Tuscany, Italy)*, in «Geoacta», pp. 117-129.
- AMOROSI A., RICCI LUCCHI M., ROSSI V., SARTI G. 2009, *Climatic signature of millennial-scale parasequences from late-glacial-holocene transgressive deposits of Arno valley fill (Tuscany, Italy)*, in «Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology», 273, pp. 142-153.
- ANICHINI F., 2004-2005, Tutela, ricerca, valorizzazione del patrimonio archeologico: progetto per il G.I.S. della città di Pisa, t.d.I. Università di Pisa, rel. prof. M. Milanese.
- BEACH T. DUNNING N. DOYLE M. (eds) 2008, *Geoarchaeology and Geomorphology: Soils, Sediments, and Societies*, in «Geomorphology», 101.
- CASTIGLIONI G.B., PELLEGRINI G.B. (eds) 2001 - *Note Illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», Supplemento 4.
- DELLA ROCCA B., MAZZANTI R., PRANZINI E. 1987, *Studio geomorfologico della pianura di Pisa*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», 10, pp. 56-84.
- FEDERICI P.R., MAZZANTI R. 1988, *L'evoluzione della paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno Inferiore*, in «Bollettino della Società Geografica Italiana», 10-12, pp. 573-615.
- FEDERICI P.R., MAZZANTI R. 1995, *Note sulle pianure costiere della Toscana*, in *Assetto fisico e problemi ambientali delle pianure italiane*, «Memorie della Società Geografica Italiana», 53, pp. 165-270.
- GATTIGLIA G. 2010, *Pisa tra VII e XIV secolo alla luce dell'archeologia*. Tesi di dottorato.
- LANGVILLE A.N., MEYER C.D. 2009, *Google's PageRank and Beyond: The Science of Search Engine Rankings*, Princeton.
- MARCHISIO M., COSCI M., D'ONOFRIO L., BIAGIONI A., CIUFFI P., LANDUCCI N., SAVIOZZI F. 2001, *Ricostruzione degli antichi corsi fluviali nella pianura di Pisa con metodi geofisici*, in «Science and Technology for the Cultural Heritage», 1-2, pp. 9-76.
- MAZZANTI R. (ed) 1994, *La Pianura di Pisa ed i rilievi contermini. La natura e la storia*, Pisa.
- MAZZANTI R. PASQUINUCCI M. 1983, *L'evoluzione del litorale lunense - pisano fino allametà del XIX secolo*, in «Bollettino della Società Geografica Italiana», 10-11, pp. 605-628.
- NINFO A., PIOVAN S. 2006, *Methodologies in a geomorphological approach: examples from the Venetian Po Plain*, in ROOSE A. (ed) «Managing Drought and Water Scarcity in Vulnerable Environments. Proceedings of the 10th European Seminar on Geography of Water, », Publications Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 101, Tartu Ulikool, pp. 161-168.
- PIOVAN S. 2008, *Evoluzione paleoidrografica della pianura veneta meridionale e rapporto Uomo-Ambiente nell'Olocene*, in «Quaderni del Dottorato. Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Geografia, Dottorato "Uomo e Ambiente"», 2, Padova, pp. 41-62.
- PRANZINI E. 2001, *Updrift river mouth migration on cusped deltas: two examples from the coast of Tuscany (Italy)*, in «Geomorphology», 38, pp. 125-132.
- ROSSI V., AMOROSI A., SARTI G., ROMAGNOLI R. (a cura di) 2010, *Fluvial architecture of the Holocene succession in the Arno Plain*, in «L'Appennino nella geologia del Mediterraneo centrale». Convegno nazionale (Pisa, 2010), Pisa, pp. 197-197.
- ROSSI V., AMOROSI A., SARTI G., POTENZA M. 2011, *Influence of inherited topography on the Holocene sedimentary evolution of coastal systems: An example from Arno coastal plain (Tuscany, Italy)*, in «Geomorphology», 135, pp. 117-128.
- SARTI G., REDINI M., FONTANA V., GIACOMELLI S. (a cura di) 2008, *Ricostruzione dell'architettura deposizionale dei depositi tardo Quaternari del sottosuolo della pianura di Pisa attraverso l'utilizzo di sistemi di modellazione 3d*, in «Stato del territorio e delle risorse naturali in Toscana». Convegno nazionale (Firenze, 2008), 1, pp. 107-116.



Quest'opera è stata rilasciata con licenza Creative Commons Attribuzione 3.0 Unported. Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/> o spedisci una lettera a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.