

2. Gli scenari paleogeografici della pianura di Pisa dalla protostoria all'età contemporanea

Monica Bini, Marta Pappalardo,
Giovanni Sarti, Veronica Rossi (DOI: 10.4458/0917-02)

2.1 Introduzione e metodologia di indagine

Reciproci e continui condizionamenti fra l'ambiente naturale e l'attività antropica sono divenuti sempre più frequenti nell'area mediterranea a partire da circa 8000 anni fa (Neolitico), in concomitanza con lo sviluppo delle pratiche agricole e dei primi centri urbani (HOOKE 2000; RUDDIMAN 2003). Tracce dell'interazione esistente tra gli aspetti fisici e biologici dell'ambiente e le civiltà del passato sono archiviate nel record sedimentologico e geomorfologico di numerose pianure alluvionali e costiere, nonostante l'estrema variabilità degli ambienti e una evidente diacronicità nella diffusione delle comunità umane e del loro bagaglio culturale attraverso il Mediterraneo (KRAFT *et alii* 2007; ARNAUD-FASSETTA *et alii* 2009; BELLOTTI *et alii* 2011; BINI *et alii* 2012b; GHILARDI *et alii* 2012). Questa co-evoluzione degli elementi insediativi e produttivi con i corpi deposizionali e l'idrografia del territorio circostante ha determinato una storia complessa, spesso pluristratificata, di molti centri urbani dell'area mediterranea.

Autorevoli fonti storiche (Strabone, 5.2.5; Plinio il Vecchio, 3.5.50; Scolio a Tolomeo 3.1.4; Rutilio Namaziano, 1.566) documentano per la città di Pisa, a partire soprattutto dall'età etrusca (VIII-II secolo a.C.), una lunga storia di continuità di vita in stretta e reciproca connessione con i due principali corsi d'acqua che scorrevano nell'area: l'Arno e il Serchio. Questi ultimi, infatti, hanno attivamente contribuito alla costruzione della pianura pisana in seguito alla colmatazione e scomparsa di un'area lagunare che si sviluppava alla base dei Monti Pisani, a partire da circa 5000 anni fa (3000 anni a.C.; AMOROSI *et alii* 2013). Se l'Arno attraversa ancora la città, il

Serchio attualmente scorre nella pianura circa 7 km a nord della città, con orientamento est-ovest, ma durante il periodo romano e fino almeno al basso medioevo (GATTIGLIA 2011) un suo ramo, denominato dalle fonti *Auser*, arrivava a lambire la parte settentrionale di Pisa. I vari paesaggi che si sono succeduti nel corso dei secoli hanno creato un vero e proprio archivio storico-deposizionale nel primo sottosuolo (primi 15-20 metri dal piano di campagna) dell'area urbana e suburbana della città, che nell'ambito del progetto MAPPÀ è stato studiato tramite un approccio interdisciplinare.

Al fine di ricostruire gli scenari paleogeografici relativi alle sette principali fasi insediative individuate - protostorica; etrusca; romana; alto e basso medievale; moderna e contemporanea - e, ancora prima, alla situazione dell'ambiente naturale in età preistorica, sono stati integrati i dati derivanti da indagini condotte con numerose e diverse metodologie durante i due anni di attività del progetto. Dati relativi alla successione di sottosuolo sono stati ottenuti attraverso l'analisi di diciotto nuovi carotaggi (carotaggi MAPPÀ in AMOROSI *et alii* 2012a), sette dei quali realizzati con sonde di perforazione meccaniche a rotazione e undici con l'utilizzo di uno strumento di perforazione a percussione (Vibracorer Atlas Copco, modello Cobra, attrezzato con campionatori Eijkelkamp), integrata dalla lettura di altri due sondaggi a carotaggio continuo precedentemente perforati (fig. 1). La profondità raggiunta dai diversi carotaggi varia da 7 a 15 m, in funzione dei limiti dello strumento e/o delle esigenze progettuali.

La caratterizzazione cromatica, granulometrica, geochimica e del contenuto fossilifero (foraminife-

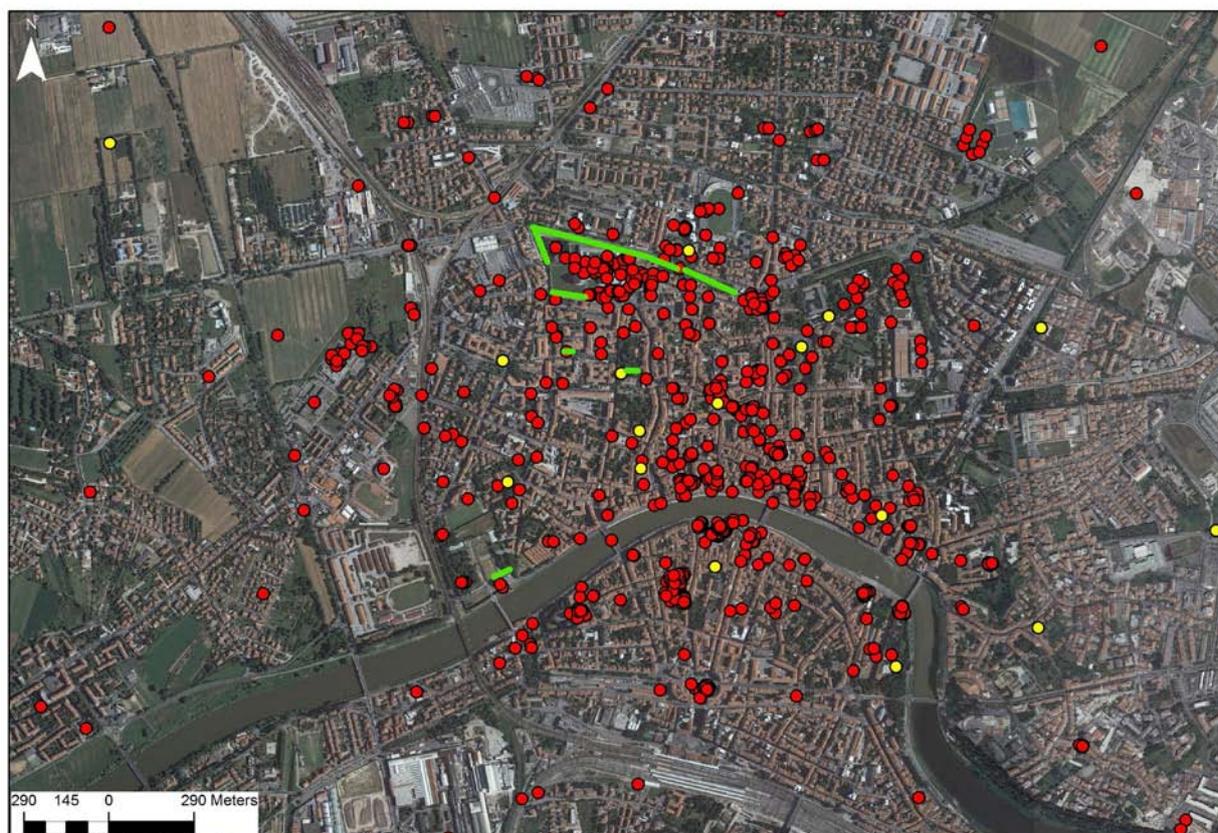


Fig. 2.1 Ubicazione dei carotaggi effettuati nell'ambito del progetto Mappa (in giallo), dei dati archeologici censiti (in rosso) e delle linee elettriche (in verde) utilizzate ai fini di questo studio

ri e ostracodi bentonici; palinomorfi) delle successioni di carotaggio ha permesso di riconoscere le *facies* deposizionali presenti del primo sottosuolo pisano, appartenenti a tre principali associazioni: barriera-laguna, pianura deltizio-costiera e pianura alluvionale. Attraverso una fitta griglia di sezioni stratigrafiche, fra loro circa ortogonali, è stata ricostruita l'architettura deposizionale della porzione di sottosuolo sovrastante il livello di argille lagunari noto come "pancone", che è stato uniformemente rinvenuto, nell'area di studio, fra circa 20 e 5 m di profondità sotto il livello del mare (AMOROSI *et alii* 2012b). La ricostruzione della distribuzione spazio-temporale dei corpi sedimentari post-pancone ha così permesso di delineare le principali fasi evolutive della pianura di Pisa e della sua rete idrografica in seguito alla colmatazione della laguna medio-tardo olocenica (AMOROSI *et alii* 2012b). Parallelamente sono state effettuate analisi specifiche sui pollini, i carboni e i macroresti pre-

senti in diversi campioni prelevati *ad hoc* da livelli significativi, che hanno consentito di tratteggiare la vegetazione naturale della pianura di Pisa nel tardo Olocene e di rilevare le evidenze di impatto antropico sulla stessa (ALLEVATO *et alii* 2013).

Al fine di realizzare le carte paleogeografiche di periodo, le evidenze stratigrafico-deposizionali di sottosuolo sono state correlate alle forme del rilievo riferibili al passato assetto idrografico della pianura – come paleovalle e zone umide – cronologicamente distribuite all'interno di una finestra temporale che comprende gli ultimi 5000 anni circa. Le morfologie sono state identificate attraverso un'integrazione di diverse tecniche di telerilevamento (BINI *et alii* 2012c, 2012d). Sono state analizzate fotografie aeree, riprese da voli effettuati tra il 1943 e il 2010, e immagini multispettrali a media e alta risoluzione, acquisite dai satelliti SPOT, ALOS AVNIR-2 e TERRA ASTER. In tutti i casi sono state individuate le forme del rilievo attraverso variazioni di colore e

luminosità; le geometrie delineate da queste variazioni sono state messe in relazione a determinate morfologie: ad esempio tracce scure nastriformi e sinuose sono state interpretate come l'evidenza di ristagni localizzati di acqua nel sottosuolo, che rappresentano la traccia di antichi alvei sepolti. Sono state inoltre realizzate elaborazioni morfometriche su un modello digitale del terreno ottenuto da dati LIDAR (con densità di acquisizione di 0,8 o 1,6 impulsi/m², accuratezza verticale e orizzontale rispettivamente di ± 15 cm e ± 30 cm), che hanno consentito di evidenziare ulteriori tracce di antiche forme del rilievo nella pianura alluvionale.

L'effettiva corrispondenza delle paleotracce con sedimenti riferibili a *facies* di canale distributore o canale fluviale è stata verificata a livello puntuale tramite l'incrocio con i dati di sondaggio disponibili (carotaggi MAPPA e dati pregressi di migliore qualità) e correlati lungo sezioni bidimensionali. Lo sviluppo lineare delle paleotracce è stato inoltre controllato con l'ausilio di prospezioni geofisiche. Sono stati acquisiti dati con il metodo ERT (Tomografia Elettrica), che ha consentito un'esplorazione del sottosuolo con un'adeguata risoluzione, lungo profili di 100-300 m sino a una profondità di 18 m. Le stese geoelettriche sono state realizzate con una spaziatura degli elettrodi ogni 2 m, con tecnica di acquisizione roll-along. Sono state utilizzate le configurazioni di Schlumberger e Wenner combinate con un *array* dipolo-dipolo. Le inversioni 2D della resistività apparente sono state ottenute utilizzando il software TomoLab. In particolare, sono state effettuate sette tomografie elettriche in diversi settori chiave dell'area urbana (fig. 2.1).

I corpi deposizionali e le relative forme del rilievo riconosciute nel sottosuolo sono state cronologicamente vincolate attraverso la datazione al radiocarbonio di 50 campioni di sostanza organica, prelevati da livelli stratigraficamente significativi dei carotaggi MAPPA. Le datazioni sono state effettuate dal laboratorio CIRCE di Caserta (Università di Napoli). I campioni sottoposti a datazione corrispondono per la maggior parte a

frammenti di sostanza organica più o meno decomposta e di materia organica di origine pedologica. Questo tipo di materiale è stato preferito al carbonato di origine marina, in quanto, a causa dell'effetto riserva, restituisce età generalmente più antiche rispetto alla sostanza organica. Le età convenzionali sono state calibrate con il software CALIB5 e le curve di calibrazione di REIMER *et alii* 2009. Allo scopo di compensare l'effetto riserva, le poche datazioni realizzate su conchiglie di molluschi sono state calibrate usando un valore medio di $\Delta R \pm \Delta R_{err}$ (35 ± 42), stimato per il Mar Tirreno settentrionale e disponibile in rete (<http://calib.qub.ac.uk/marine>). Le età sono state indicate nella forma dell'intervallo a più alta probabilità, ottenuto utilizzando il doppio della deviazione standard (2σ) e riferite all'anno zero (a.C./d.C.). Altri vincoli cronologici sono stati ottenuti attraverso la datazione dei materiali archeologici rinvenuti nei carotaggi, la cui età è stata opportunamente estesa alla corrispondente Unità Stratigrafica. Queste definizioni cronologiche, particolarmente utili nei livelli più superficiali, frequentemente abbracciano un intervallo di tempo ampio fino a diverse centinaia di anni. I due set di datazioni, ottenute rispettivamente con metodo geocronologico e con il riconoscimento dei materiali archeologici, sono stati combinati e le eventuali incongruenze sono state analizzate singolarmente. Quest'operazione ha portato a rigettare alcune datazioni al radiocarbonio, per le quali è stata pertanto ipotizzata una degradazione o una contaminazione del campione.

Un elemento di sostanziale originalità della metodologia applicata nel presente lavoro ai fini della ricostruzione degli scenari paleogeografici è rappresentato dalla massiccia integrazione delle evidenze paleotopografiche, desumibili dall'analisi geologica e geomorfologica, con quelle derivanti dall'indagine archeologica. Queste ultime sono state estratte dall'imponente *dataset* realizzato nell'ambito del progetto e reso disponibile attraverso un archivio digitale consultabile attraverso il MAPPA webGIS (ANICHINI *et alii*

2011a). Nell'archivio sono state incluse le informazioni disponibili per più di 2050 ritrovamenti archeologici, effettuati sino all'anno 2011 nel territorio urbano e suburbano della città di Pisa (FABIANI 2012). Le tipologie d'intervento censite comprendono gli scavi (programmati, preventivi e di emergenza), i rinvenimenti occasionali e le ricognizioni. La disomogeneità delle informazioni disponibili per gli interventi ha imposto una drastica selezione dei dati, allo scopo di estrapolare un numero di punti per i quali si potessero desumere indicazioni sufficientemente accurate riguardo alla quota dei piani di calpestio per una o più delle fasi insediative analizzate: quest'operazione ha richiesto una revisione attenta dei dati, che in alcuni casi ha comportato la necessità di procedere alla georeferenziazione di punti la cui ubicazione era stata sommariamente indicata nella documentazione di scavo. Questa è stata ottenuta attraverso misure effettuate con il GPS differenziale Leica GS09 (precisione planimetrica ± 1 cm e altimetrica ± 2 cm) o, quando queste non erano possibili a causa delle limitazioni poste alla ricezione satellitare dalla vicinanza di edifici a più piani nel centro storico, attraverso l'utilizzo del modello digitale del terreno, realizzato a partire da dati LIDAR, che è stato messo a punto nell'ambito del progetto (BINI *et alii* 2012a).

In conclusione, a fronte di un totale di oltre 2000 ritrovamenti, sono stati selezionati 573 punti ritenuti con quota attendibile e validati statisticamente con eliminazione degli *outliers*. Ove possibile in funzione della distribuzione e densità di punti, è stata effettuata un'interpolazione spaziale, allo scopo di creare un modello digitale del terreno (DEM) indicativo della paleotopografia di una parte dell'area di studio in uno specifico periodo storico. Ovviamente, le ricostruzioni ottenute descrivono gli elementi macroscopici della paleotopografia di ogni periodo storico, ma non possono rendere conto (per ragioni di risoluzione) delle piccole variazioni, come alcune incisioni fluviali. Il principale limite nell'effettuare l'interpolazione è stato la distribuzione disomogenea dei punti dei quali sono note le coordinate. I limiti

esterni del modello digitale del terreno, ad esempio, non sono uguali per tutti i periodi, in quanto hanno dovuto essere determinati in funzione della distribuzione spaziale dei punti. Allo scopo di minimizzare gli errori d'interpolazione ai bordi, sono stati presi in considerazione anche punti distali esterni al perimetro fissato per il modello. Il DEM è stato realizzato utilizzando l'algoritmo ANUDEM (Australian National University Digital Elevation Model. HUTCHINSON 1998, 1989; <http://fennerschool.anu.edu.au/research/software-datasets/anudem>), selezionato a seguito di comparazioni quantitative con altri algoritmi del tipo *algorithms general purpose* (come ad esempio Spline, IDW), allo scopo di ottenere la migliore accuratezza altimetrica. La comparazione tra algoritmi è stata fatta tramite tecniche reiterative di *cross-validation*, che consistono nel creare un nuovo DEM omettendo alcuni punti del *dataset* originale e successivamente testare l'altezza che questi stessi punti presentano del nuovo DEM con quella che avevano nel DEM originale.

Il modello digitale relativo a ciascuna fase insediativa è stato infine combinato con le tracce georeferenziate dei tratti di paleovalve che è stato possibile vincolare cronologicamente a quella fase. Questa operazione non ha restituito una rappresentazione necessariamente completa dell'assetto idrografico del territorio analizzato: molte delle paleotracce evidenziate dalla fotointerpretazione, infatti, non hanno mostrato alcun riscontro nei dati di sottosuolo, talvolta perché nessun carotaggio le ha intercettate e talora perché l'interpretazione stratigrafica non ha di fatto rilevato alcuna *facies* di canale nell'intervallo di tempo nel quale si collocano le fasi insediative analizzate. Gli scenari paleogeografici proposti presentano dunque delle criticità dettagliatamente illustrate nella descrizione di ciascuno di essi. Infine le quote indicate dalle paleoisopse si devono intendere come quote relative, non essendo funzionale, ai fini di questo studio, una comparazione con le curve di variazione del livello del mare e una stima dei tassi di subsidenza, sia tettonica che per compattazione dei sedimenti.

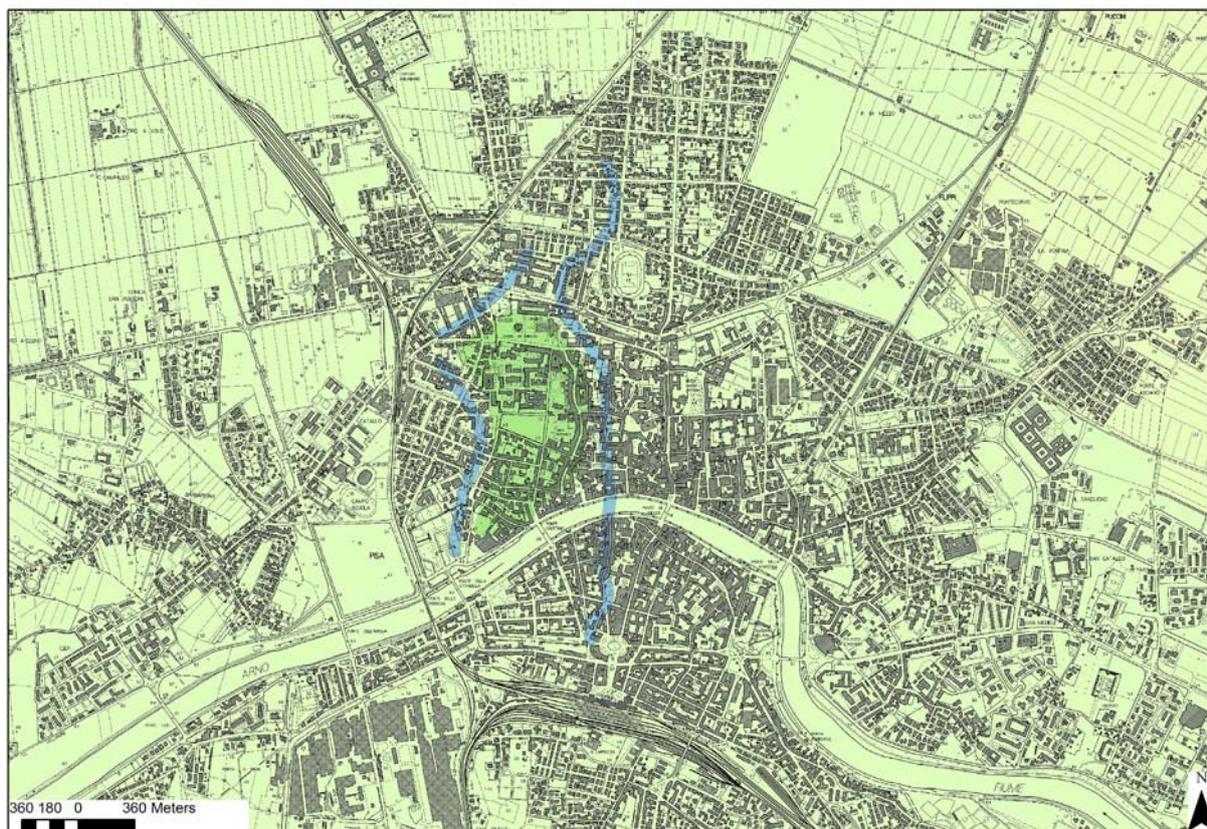


Fig. 2.2 Principali elementi paleogeografici riferibili al periodo protostorico. In azzurro corsi d'acqua in verde scuro area soggetta a frequenti episodi alluvionali, in verde chiaro pianura alluvionale non drenata. Non è stato possibile ricostruire la paleotopografia

2.2 Periodo pre e protostorico (III millennio – VIII secolo a.C.)

Lo scenario paleogeografico relativo al periodo pre- e protostorico tratteggia il paesaggio dell'area dove sorgerà Pisa al termine della sua fase evolutiva, già descritta in letteratura (AMOROSI *et alii* 2008; Rossi *et alii* 2012; SARTI *et alii* 2012) e meglio circostanziata nell'ambito del progetto MAPPA (AMOROSI *et alii* 2012a), che a partire dal III millennio a.C. ha portato alla colmatazione della laguna medio-tardo olocenica e alla conseguente costruzione della pianura deltizio-costiera.

Durante l'Eneolitico (circa 3000-1900 anni a.C.) la laguna pisana è stata sostituita da un'estesa area palustre, povera in ossigeno e probabilmente acida, alimentata e attraversata da almeno due paleocorsi fluviali, interpretabili come canali distributori del sistema deltizio in formazione (fig. 2). Questi paleocorsi trovano testimonianza sia

nella fotointerpretazione (BINI *et alii* 2012c) che nel record deposizionale di sottosuolo (AMOROSI *et alii* 2012a), dove sono fisicamente rappresentati da corpi sabbiosi di riempimento di canale con superficie di disattivazione collocata attorno ai 7-6 metri sotto il livello del mare (AMOROSI *et alii* 2012b). Il paleocorso dell'Arno non è stato chiaramente identificato, in quanto non è stato possibile riferire con precisione a questo periodo nessuna delle numerose paleotracce individuate a sud dell'ampio meandro che l'Arno disegna oggi in corrispondenza dell'attuale centro urbano. Tuttavia, in base ai dati di questa ricerca, è lecito ipotizzare che nel periodo protostorico il fiume scorresse con un orientamento circa est-ovest all'estremità meridionale dell'area di studio. Nell'Arno si immetteva, circa 250 metri ad ovest del ponte di Mezzo, un altro corso d'acqua con andamento nord-sud, proveniente dal bacino del

Serchio (paleo-*Auser*). Il suo percorso, coincidente nell'ultimo tratto con via Nicola Pisano, proveniva da nord formando un ampio meandro circa 200 metri a ovest dell'area di porta a Lucca-Arena Garibaldi, per poi proseguire lungo via della Faggiola e via Pasquale Paoli (fig. 2. 2).

Nel sottosuolo della pianura di Pisa, il reticolo fluviale dell'età del Bronzo e del Ferro è documentato da corpi di canale fluviale con tetto a circa 5 e 4-3 metri sotto il livello del mare (AMOROSI *et alii* 2012a). Essi intercettano alcune paleotracce, identificate tramite la fotointerpretazione, evidenziando la presenza di almeno due rami fluviali di età Bronzo-Ferro, il più meridionale dei quali mostra un tracciato compatibile con il fiume Arno. In esso confluiva, all'altezza dell'attuale ponte della Cittadella, un corso d'acqua orientato circa nord-sud che, grazie alla fotointerpretazione, si segue a partire dalla sede storica della Facoltà di Ingegneria,

in via Bonanno, fino al ponte della Cittadella e corrisponde a un nuovo tracciato del paleo-*Auser*. Tuttavia non è certa la connessione e la sincronicità fra questa traccia e quella che si attesta a nord-ovest della piazza del Duomo (fig. 2. 2).

Per quanto riguarda l'assetto topografico, si evidenzia la presenza di un'area soggetta a frequente alluvionamento nella zona di interfluvio tra il paleo-*Auser* dell'Eneolitico e quello dell'Età del Bronzo-Ferro, che sembra persistere durante tutta l'epoca protostorica. Non è possibile ottenere indicazioni più precise sulla paleotopografia riferibile a questo periodo, a causa della scarsità dei dati puntuali di elevazione da interpolare.

2.3 Periodo Etrusco (VII-II a.C.)

Il periodo etrusco ha visto lo sviluppo di un'estesa pianura alluvionale, alimentata da un complesso reticolo idrografico, particolarmente articolato e

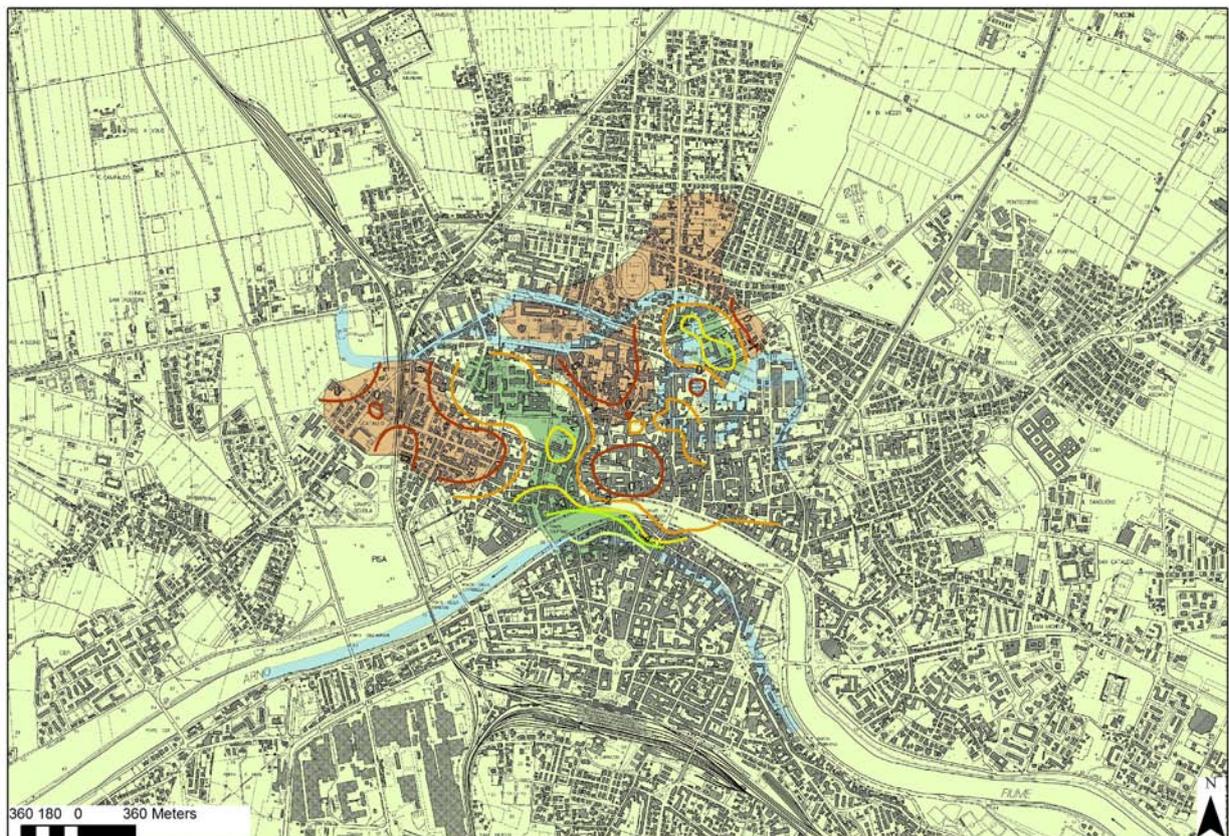


Fig. 2.3 Paleogeografia dell'area urbana di Pisa nel periodo Etrusco. In azzurro: corsi d'acqua (non necessariamente attivi contemporaneamente); in giallo: alti morfologici; in verde scuro: area soggetta ad impaludamento; in verde chiaro: livello base della pianura (prevalentemente non drenata); linee paleoisipse con equidistanza un metro (quota max +1 min -4)

soggetto a frequenti divagazioni nella porzione settentrionale della zona urbana e suburbana di Pisa. Le aree extra-canale erano rappresentate da piana inondabile non drenata, con quota attorno allo zero rispetto al livello del mare attuale, passante localmente a paludi effimere di basse profondità (fig. 2.3) e caratterizzate da acque stagnanti e abbondante materia organica (AMOROSI *et alii* 2012a,b). Il carattere effimero delle paludi e la loro appartenenza a un sistema prettamente alluvionale sono confermati dalla presenza di una particolare *palinofacies* con caratteristiche intermedie fra quelle tipicamente palustri e quelle alluvionali (AMOROSI *et alii* 2012a), nonché da una circoscritta distribuzione areale (fig. 2.3). Lo sviluppo di questi bacini palustri, infatti, è avvenuto esclusivamente in aree morfologicamente depresse della pianura (circa 2 m sotto il livello del mare), formatesi in corrispondenza di uno o più canali etruschi o connessi al reticolo idrografico del periodo storico antecedente (fig. 2.2). A tale proposito, è interessante notare la persistenza di un'estesa zona palustre in un'area attualmente compresa fra via S. Maria e le mura occidentali della città, in corrispondenza dell'interfluvio dei due principali rami di alimentazione Serchio del periodo protostorico (figg. 2 e 3). Tale area è stata intensamente frequentata durante l'età etrusca arcaica, come testimoniano i numerosi resti ceramici, per lo più risalenti al VII-V secolo a.C., rinvenuti entro i depositi palustri.

Le aree morfologicamente più elevate (fra lo zero e 1 m sopra il livello del mare) del paesaggio etrusco sono invece ubicate in prossimità dei canali coevi e protostorici, riflettendo lo sviluppo di argini fluviali, la cui presenza nel sottosuolo è documentata da alternanze ritmiche di spessore decimetrico di sabbie fini, spesso limose, e limi sabbiosi (*facies* di argine fluviale in AMOROSI *et alii* 2012b). L'incrocio dei dati stratigrafici di sottosuolo (corpi di canale fluviale con tetto a circa 2-1,5 metri sotto il livello del mare) con le paleotracce ha consentito inoltre di delineare porzioni del reticolo fluviale etrusco (AMOROSI *et alii* 2012b). Mentre la zona meridionale dell'area urbana di Pisa era solcata da un unico

fiume, ubicato circa 100-150 m a sud dell'attuale corso dell'Arno e identificabile con il paleo-Arno etrusco, la parte settentrionale era caratterizzata da un complesso intreccio di rami fluviali con andamento est-ovest (fig. 2.3). Il ramo principale correva in prossimità del tratto settentrionale delle mura bassomedievali, formando una grande ansa a sud-est del quartiere di porta a Lucca-Arena Garibaldi, per poi proseguire verso il mare. Nell'area di piazza del Duomo sono stati individuati due tracciati di questo corso d'acqua, presumibilmente non coevi (fig. 2.3). Una serie di meandri in progressiva migrazione verso sud interessava invece la zona di San Zeno e piazza Santa Caterina, che era soggetta in età etrusca a frequenti inondazioni. In quest'area s'identifica anche una traccia riconducibile all'evento conclusivo dell'evoluzione di quest'ansa, corrispondente al taglio del meandro.

2.4 Periodo Romano e Tardo Antico (I a.C.-V d.C.)

Nel periodo romano l'area di studio subisce un forte cambiamento nell'assetto idraulico della pianura. Probabilmente la naturale evoluzione della piana costiera e l'impatto dell'uomo sulla rete idrografica, agendo nella stessa direzione, giocano un ruolo importante nel passaggio da condizioni di pianura non drenata a quelle di pianura prevalentemente drenata. La maggior parte dei carotaggi studiati restituisce infatti, per il periodo romano, *facies* di piana drenata in luogo delle *facies* non drenate, presenti nel precedente periodo etrusco. Localmente sono state individuate in alcuni carotaggi *facies* di rotta di canale così come *facies* di canale, mentre praticamente assenti sono le *facies* attestanti impaludamenti.

La paleotopografia di questo periodo storico ha potuto essere ricostruita in un'area limitata e non estesa a tutto il perimetro delle mura bassomedievali della città. I dati ottenuti offrono comunque importanti spunti di riflessione sull'assetto del territorio, specie riguardo alla presenza di un alto morfologico a nord dell'Arno, all'interno del quale si evidenzia un ulteriore alto relativo, particolar-

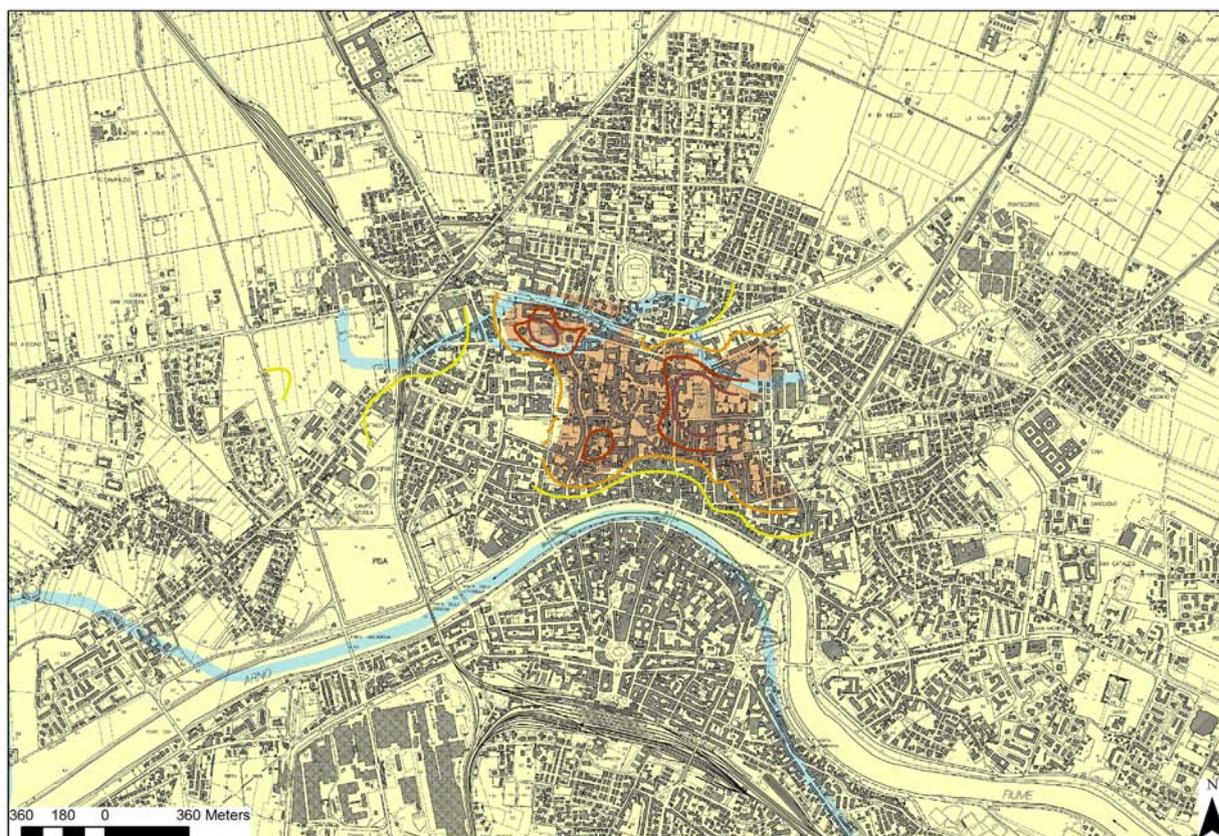


Fig. 2.4 Paleogeografia dell'area urbana ed extraurbana di Pisa nel periodo romano. In azzurro: corsi d'acqua (non necessariamente attivi contemporaneamente); in marrone: alti morfologici; in giallo: pianura alluvionale prevalentemente drenata; linee paleoisipse con equidistanza un metro (quota max.+2,5, quota min+ 0,5m slm attuale, per evidenziare ulteriormente l'alto morfologico di piazza del Duomo è stata inoltre introdotta l'isoipsa corrispondente alla quota +3 m slm attuale)

mente marcato, perfettamente coincidente con la zona di piazza del Duomo. Da qui, la paleotopografia sembra decrescere verso ovest (fig. 2.4).

Assai complessa è la ricostruzione della rete idrografica attiva in questo periodo. La posizione del corso dell'Arno risulta abbastanza chiara e non troppo dissimile da quella attuale. Per quanto riguarda il tratto periurbano si rileva, nel settore sud orientale, un tracciato con una netta orientazione sud-est/nord-ovest, mentre a valle della città il fiume disegna un ampio meandro in corrispondenza dell'attuale località di Barbaricina. Nel percorso urbano, invece, un modesto scostamento, rispetto al corso attuale, è stato evidenziato a monte del ponte di Mezzo: in quel tratto, infatti, il fiume scorreva in una posizione leggermente più meridionale, adiacente al percorso della via San Martino. Del resto l'evoluzione diacronica dell'al-

veo fluviale verso settentrione è in linea con la naturale evoluzione del meandro, che tende a erodere la sponda concava e ad accumulare sedimenti sulla sponda convessa.

Il percorso dell'*Auser*, invece, presenta ancora margini d'incertezza. In particolare un tracciato meandriforme riferibile a questo corso d'acqua è stato identificato nei pressi del tratto settentrionale delle mura, in accordo con quanto individuato in passato da Marcello Cosci (BRUNI, COSCI 2003). L'area di piazza del Duomo risulta pertanto lambita a nord dal corso di questo fiume, mentre un altro probabile ramo è stato identificato a sud di essa (fig. 2.4). Non è chiaro se i due rami siano stati attivi contemporaneamente: le ricerche in questa direzione, così come quelle per individuare il proseguimento dei rami descritti sono attualmente in corso. Teoricamente il corso dell'*Auser* potreb-

be avere avuto, già a partire dal periodo etrusco, un alveo di tipo anastomizzato (MAKASKE 2001), ovvero costituito da due o più canali ad andamento meandriforme, tra loro interconnessi. Tali alvei sono in genere tipici di fiumi ubicati in aree subsidenti, a bassa pendenza e prossime al livello di base. Essi sono caratterizzati dalla presenza di isole fluviali, superfici con caratteristiche morfologiche e tessiturali identiche a quelle della piana inondabile, ma delimitate da porzioni di alveo. Se si dimostrasse che i due rami che delimitavano l'attuale area di piazza del Duomo sono stati per un certo periodo coevi, si potrebbe supporre che il nucleo romano della città di Pisa si fosse sviluppato a partire da un'isola fluviale stabilizzata, nel contesto di un sistema fluviale di tipo anastomizzato in fase di disattivazione.

Un altro problema chiave riguardo allo studio dell'idrografia del periodo romano è l'individuazione del ramo dell'*Auser* confluyente in Arno, descritto da Strabone (5.2.5) e da altre fonti antiche. Un tracciato di questo corso era stato individuato da Marcello Cosci, sempre basandosi sulla fotointerpretazione (BRUNI, COSCI 2003). Tuttavia le indagini geofisiche e i carotaggi realizzati nell'ambito di questo studio sembrano non confermare questa ipotesi di tracciato. In particolare, i carotaggi effettuati nell'orto botanico e presso il Dipartimento di Scienze della Terra non hanno evidenziato la presenza di *facies* di canale e/o altri indizi che facessero pensare alla vicinanza di un corso d'acqua. Inoltre le indagini geoelettriche, realizzate sempre nell'area dell'orto botanico, non hanno rilevato valori di resistività riconducibili a depositi sabbiosi tipici di un alveo. Labili indizi di *facies* di argine fanno pensare alla possibile ubicazione di un corso d'acqua a est dell'orto botanico, ma allo stato attuale delle conoscenze non è possibile individuarne il tracciato.

Ugualmente problematica rimane, per il momento, la ricostruzione paleogeografica dell'area del Cantiere delle navi di S. Rossore: lo scavo infatti non è ancora ultimato e la documentazione delle indagini, essendo in corso di studio, non ha po-

tuto essere consultata. Le uniche informazioni disponibili sono pertanto quelle desumibili dalle pubblicazioni a stampa (CAMILLI 2004; CAMILLI, SETTARI 2005), che collocano i circa 16 relitti rinvenuti, databili in un arco di tempo che va dagli inizi del II secolo a.C. al V d.C., all'interno di un'ansa dell'*Auser*, attribuendo però la responsabilità degli eventi alluvionali, che a più riprese travolsero imbarcazioni in transito o in sosta, a una vicina ansa del fiume Arno.

2.5 Periodo Altomedievale (VI-X secolo)

I dati relativi ai periodi tardoantico e altomedievale sono stati considerati nel loro insieme e pertanto è stato costruito uno scenario paleogeografico comune. Se l'assetto idrografico dell'area ha potuto essere ricostruito, anche se limitatamente a quelle che sono le evidenze disponibili, non è stato possibile tratteggiare con il dettaglio dei periodi precedenti, come pure di quelli più recenti, i caratteri orografici della pianura a livello di paleorilievo, in quanto il numero di punti rappresentativi della quota della superficie relativa a quel periodo era troppo limitato per consentire un'interpolazione.

La rete idrografica pertinente al bacino del Serchio assume, là dove è possibile riconoscerla, caratteristiche simili a quella che aveva nel periodo romano. Permane l'ansa che lambisce l'attuale curva sud dell'Arena Garibaldi, così come si individuano i due rami che delimitano l'attuale piazza del Duomo e che - come già rilevato per il periodo precedente - potrebbero rappresentare i tracciati relativi a due distinte fasi evolutive del corso d'acqua e quindi non essere coevi, oppure costituire il risultato di una biforcazione dell'alveo in corrispondenza di un'ampia isola fluviale. Persiste anche il corso d'acqua che si sviluppa lungo l'attuale via Giunta Pisano, dietro la sede della Facoltà di Ingegneria, il cui tracciato mantiene un andamento sinuoso in corrispondenza dell'area prativa a ovest della stazione ferroviaria di San Rossore. Lo sviluppo dei deflussi verso nord e verso ovest risulta non identificabile sulla base dell'incrocio fra dati geomorfologici e di sottosuolo. Questi ultimi

testimoniano la persistenza, in questo periodo, di condizioni di piana drenata.

Una vasta area umida, che s'identifica nella porzione settentrionale e occidentale dell'area di studio e si estende soprattutto ai margini del nucleo storico della città (fig. 2.5), è la caratteristica dominante del paesaggio altomedievale. Il diffuso impaludamento di ampi tratti delle pianure italiane, a partire dalla fine del periodo romano, ben testimoniato in numerosi casi di studio (BINTLIFF 2002), è legato sia a cause naturali, connesse con le modificazioni dei caratteri idrologici dei corsi d'acqua indotte da fluttuazioni climatiche a scala globale, sia a cause antropiche e precisamente alla mancata manutenzione delle opere di regimazione delle acque connesse con il sistema di centuriazione, esteso in età romana praticamente su tutte le aree pianeggianti. Il territorio intorno a Pisa non fa eccezione, com'è

ribadito e circostanziato dai risultati del progetto MAPPA (BINI *et alii* 2012c). Il perimetro dell'area umida non è mai stato temporalmente continuo, ma soggetto a fluttuazioni consistenti anche a carattere interannuale. Come già illustrato (BINI *et alii* 2012a), tale perimetro è stato tratteggiato nella carta geomorfologica associata al webGIS di progetto, sulla base di una caratterizzazione morfometrica che si fonda sulla microtopografia attuale della pianura, desunta dal modello digitale del terreno costruito sul rilievo LIDAR. L'analisi morfometrica ha permesso di evidenziare dunque una naturale depressione della topografia attuale, che rappresenta necessariamente l'impronta sull'orografia attuale di una paleotopografia; la sua attribuzione cronologica all'Alto medioevo è stata possibile grazie al confronto con le fonti documentali e archeologiche (GATTIGLIA 2011).

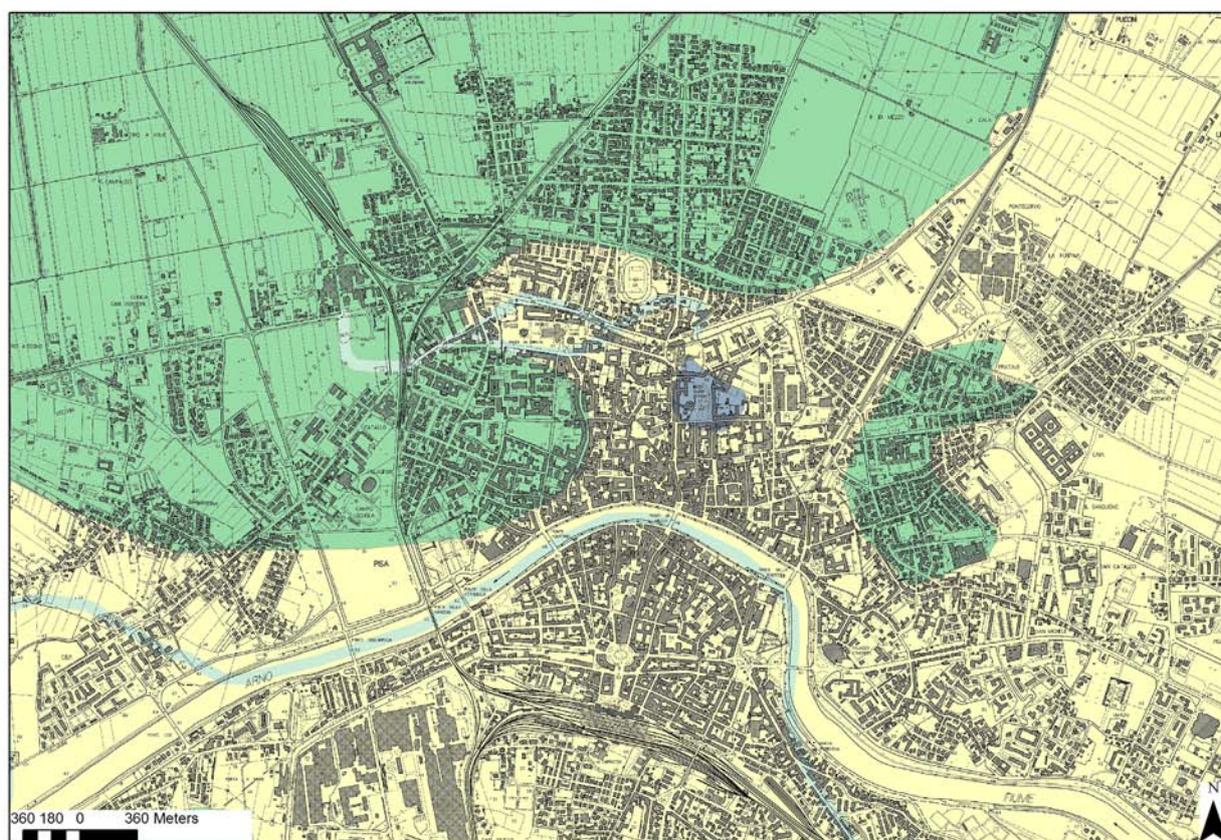


Fig. 2.5 Paleogeografia dell'area urbana ed extraurbana di Pisa nel periodo tardoantico - altomedioevale. In azzurro: corsi d'acqua (non necessariamente attivi contemporaneamente); in giallo: pianura alluvionale prevalentemente drenata; in verde: aree palustri o soggette ad impaludamento; in blu: aree soggette ad alluvionamento frequente. Non è stato possibile ricostruire la paleotopografia

Il drenaggio della porzione meridionale dell'area di studio risulta più efficiente, grazie alla presenza di un alveo ben definito e quasi stabilizzato dell'Arno. Il percorso del fiume risulta infatti abbastanza simile a quello del periodo romano, fatte salve alcune significative differenze. In particolare, nel tratto orientale del tracciato urbano, il fiume tende a spostarsi leggermente più a nord rispetto all'età romana, verso il corso attuale. A monte della città, l'andamento è meno sinuoso di quello attuale e con un'orientazione da sud-est a nord-ovest; l'ampia ansa che disegna a partire dall'attuale quartiere di porta Fiorentina è più stretta, lasciando sulla destra idrografica alcune porzioni di pianura che attualmente sono sulla sinistra (in corrispondenza dell'attuale tracciato suburbano della strada Tosco-romagnola). Il tratto a valle del centro urbano presenta ancora l'ampia ansa del meandro di Barbaricina, sulla destra idrografica rispetto al percorso attuale. Questo tratto dell'Arno, visibile già nel periodo romano, ha creato nel tempo un sovralluvionamento, tanto che nell'alto Medioevo l'alveo risulta pensile e fiancheggiato da due zone umide depresse: quella in destra idrografica rappresenta la propaggine sud-occidentale della vasta palude periurbana che fiancheggia verso nord e verso ovest il nucleo urbano e nella quale, come già illustrato, le acque di provenienza dal bacino del Serchio trovano un impedimento ad un efficiente deflusso verso mare. Le evidenze dell'area umida in sinistra idrografica, invece, ci suggeriscono che si tratti di una depressione di limitata estensione, così come quella ricostruita a est del nucleo urbano attuale, lungo un asse pressappoco meridiano a partire dall'attuale quartiere di Pratale.

In sostanza, nel periodo tardoantico e altomedievale il paesaggio nell'area di studio è caratterizzato da una marcata dicotomia tra porzioni di territorio soggette a deflussi naturalmente ben canalizzati, facenti capo all'asta fluviale dell'Arno, e ampie zone umide determinate da un'inefficienza del sistema di drenaggio naturale, che ha motivazioni in parte naturali ed in parte antropiche. Cercando di schematizzare, possiamo dire che l'*Auser* è ca-

ratterizzato da un alveo a canali intrecciati, mentre l'Arno ha un alveo a canale singolo e meandriforme. La morfologia degli alvei dipende, come noto, da un complesso rapporto tra l'energia del corso d'acqua e il suo carico solido, che varia nel tempo tendendo naturalmente ad un equilibrio identificabile con la situazione di drenaggio più efficiente, corrispondente ad una forma d'alveo semplice e lineare. In questo senso si può dunque dire che, nei tratti di nostro interesse, l'Arno ha raggiunto una condizione di equilibrio assai più precocemente rispetto al Serchio.

Entrando nel dettaglio dell'area urbana, lo scenario paleogeografico tardoantico e altomedievale suggerisce un paleorilievo articolato, caratterizzato da una fitta giustapposizione di aree rilevate e depresse sin dentro l'abitato. I dati di sottosuolo testimoniano la presenza di una modesta zona umida in corrispondenza dell'attuale piazza S. Caterina, che rappresenta un'area golenale sviluppata tra i sovralluvionamenti verso sud del ramo urbano del Serchio (*Auser*) e verso nord di quello dell'Arno. La stessa dinamica idrografica condiziona la penetrazione verso est dell'area umida già descritta a ovest della città, separata dalla modesta depressione posta ancora più ad est da un alto morfologico allungato in direzione meridiana, che a partire dalla tarda Antichità rappresenterà l'area preferenziale di espansione urbana.

2.6 Periodo bassomedievale (XI-XV secolo)

Lo scenario paleogeografico bassomedievale ha potuto essere ricostruito con un notevole livello di dettaglio, che consente di evidenziare le articolazioni del paleorilievo all'interno dell'area urbana (fig.2.6). I corsi dell'Arno e dell'*Auser* sono ben delineati e il drenaggio della pianura risulta nel complesso più efficiente che nel periodo precedente. Le zone umide periurbane sono molto meno estese. La zona di interfluvio tra i due bacini è stata resa più asciutta grazie ai sovralluvionamenti dei due corsi d'acqua, ma anche grazie a locali sistemazioni e sopraelevazioni dovute all'intervento antropico.

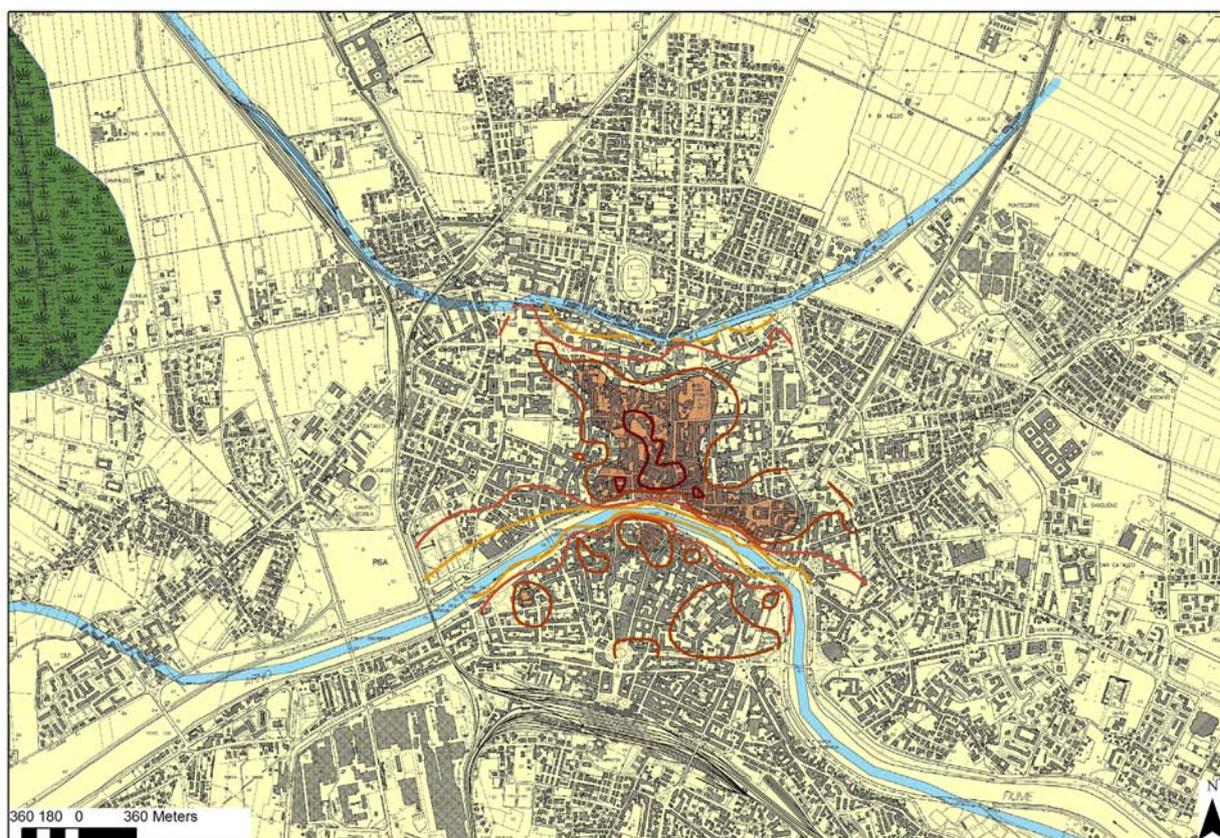


Fig. 2.6 Paleogeografia dell'area urbana ed extraurbana di Pisa nel periodo bassomedievale. In azzurro: corsi d'acqua; in marrone alto morfologico; in giallo: pianura alluvionale prevalentemente drenata; in verde scuro: aree palustri; linee paleoisipse. con equidistanza 2 m (quota max +4, min 0 slm attuale)

In un generale contesto di piana drenata si evidenziano entro il tessuto urbano aree rilevate e depresse. L'area rilevata più prominente, già delineatasi nel periodo precedente, si sviluppa in corrispondenza del tratto in cui i due corsi d'acqua sono più vicini tra loro. I dati di sottosuolo suggeriscono che, grossomodo lungo l'attuale asse viario di via San Frediano, i depositi di esondazione abbiano creato un dosso trasversale alla direzione di deflusso; tale rilievo è stato sicuramente preservato ed enfatizzato a partire dall'alto Medioevo dalle opere antropiche connesse con lo sviluppo dell'insediamento. A est e a ovest di questo alto morfologico, due bassi relativi in corrispondenza rispettivamente di Piazza Santa Caterina e dell'Orto Botanico rappresentano la traccia morfologica delle due aree palustri descritte nel periodo precedente e ben rappresentate dai dati stratigrafici.

La riduzione areale della zona umida occidentale consente la creazione di un tratto ben delineato dell'alveo dell'*Auser* lungo l'attuale percorso della ferrovia Pisa-Genova, che favorisce la canalizzazione dei deflussi a nord e a ovest del nucleo urbano. Sulla base delle evidenze morfologiche e stratigrafiche sembrerebbe che in questa fase che i bacini dei due fiumi siano totalmente indipendenti, il che è in certa misura in contraddizione con le notizie delle fonti storiche. Il corso dell'Arno a est della città si attesta in una posizione più settentrionale rispetto alle fasi precedenti, con un tracciato abbastanza simile a quello attuale. A tergo della sponda convessa dell'ampia ansa che il fiume disegna in corrispondenza del nucleo urbano, si delineano morfologie positive riferibili a lembi di barre intrameandro. Verso mare permane il meandro presso l'attuale quartiere di Barbaricina mentre l'area umida, che

era presente alla stessa altezza in sponda sinistra, è totalmente scomparsa, confinata nella porzione meridionale della pianura.

2.7 Periodo Moderno (XVI-XVIII secolo)

All'inizio del periodo moderno (1500) la situazione paleogeografica dell'area di studio è abbastanza chiara: i carotaggi restituiscono infatti *facies* di pianura drenata, fatti salvi i punti nei quali è stata individuata la *facies* di canale. Data la disposizione e la densità di punti è stato possibile ricostruire integralmente la topografia dell'area all'interno delle mura (fig. 2.7). È stato individuato un alto morfologico ben definito tra i due principali corsi d'acqua, che proprio nell'area urbana di Pisa formano due meandri con concavità opposte, separati da un alto topografico centrato sull'area di piazza dei Cavalieri, dove si raggiungono le quote più elevate (6 m slm). Anche a sud dell'Arno, in

prossimità di ponte di Mezzo, si osserva un alto morfologico di estensione limitata, ma di quota analoga a quello precedentemente descritto.

Riguardo alla ricostruzione della rete idrografica, l'Arno corre praticamente nella posizione attuale, fatta eccezione per il meandro di Barbaricina, a valle della città che sarà tagliato nel 1771-1774, mentre l'*Auser* si attesta in prossimità del tratto settentrionale delle mura fino alla metà del XVI secolo, come attestano le fonti e la cartografia storica.

2.8 Periodo Contemporaneo (XIX- inizio XX secolo)

La ricostruzione topografica per il periodo contemporaneo è basata sui punti quotati disponibili per i livelli del XIX-inizio XX secolo. In questo periodo non si ha più riscontro geomorfologico della presenza dell'*Auser* nei pressi del tratto settentrionale delle mura della città e il drenaggio della

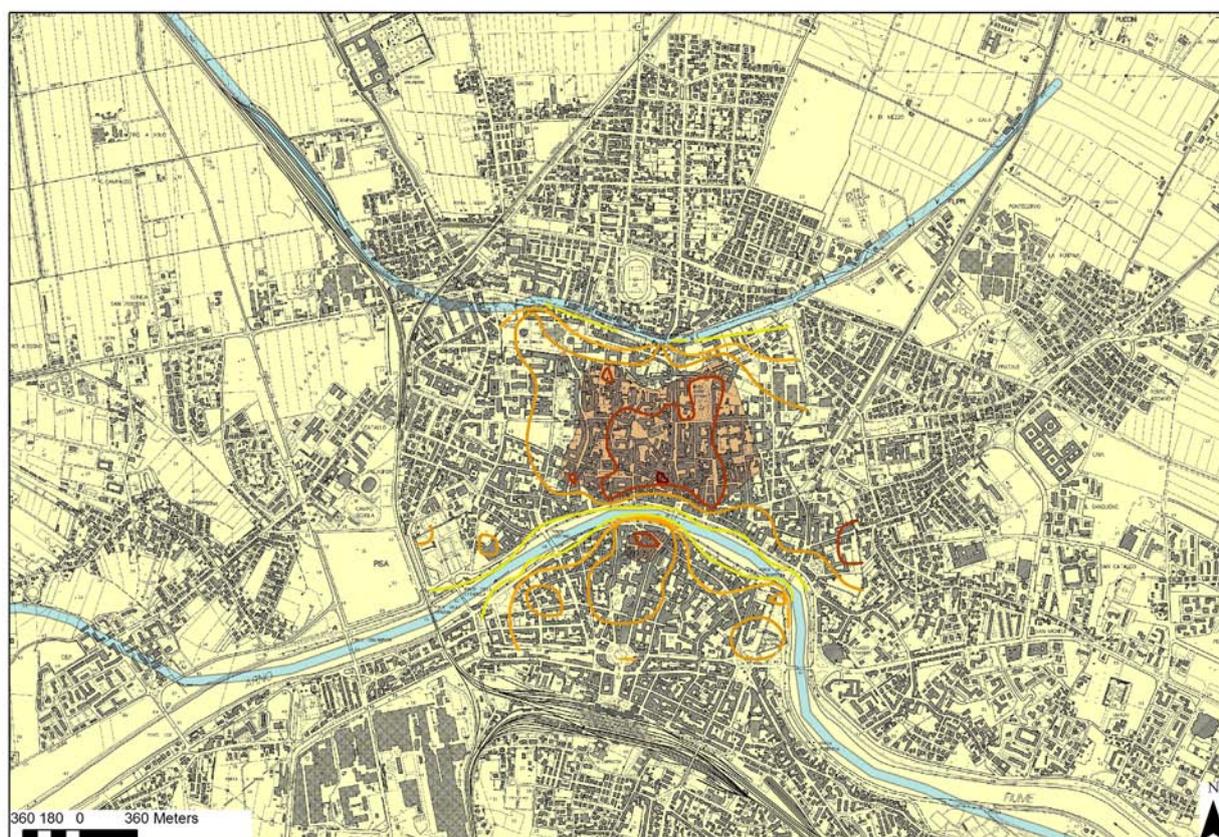


Fig. 2.7 Paleogeografia dell'area urbana ed extraurbana di Pisa nel periodo moderno. In azzurro: corsi d'acqua; in giallo: pianura alluvionale prevalentemente drenata; in marrone: alto morfologico; linee paleoisipse con equidistanza 2 m (quota max 6m, min 0 m slm attuale)

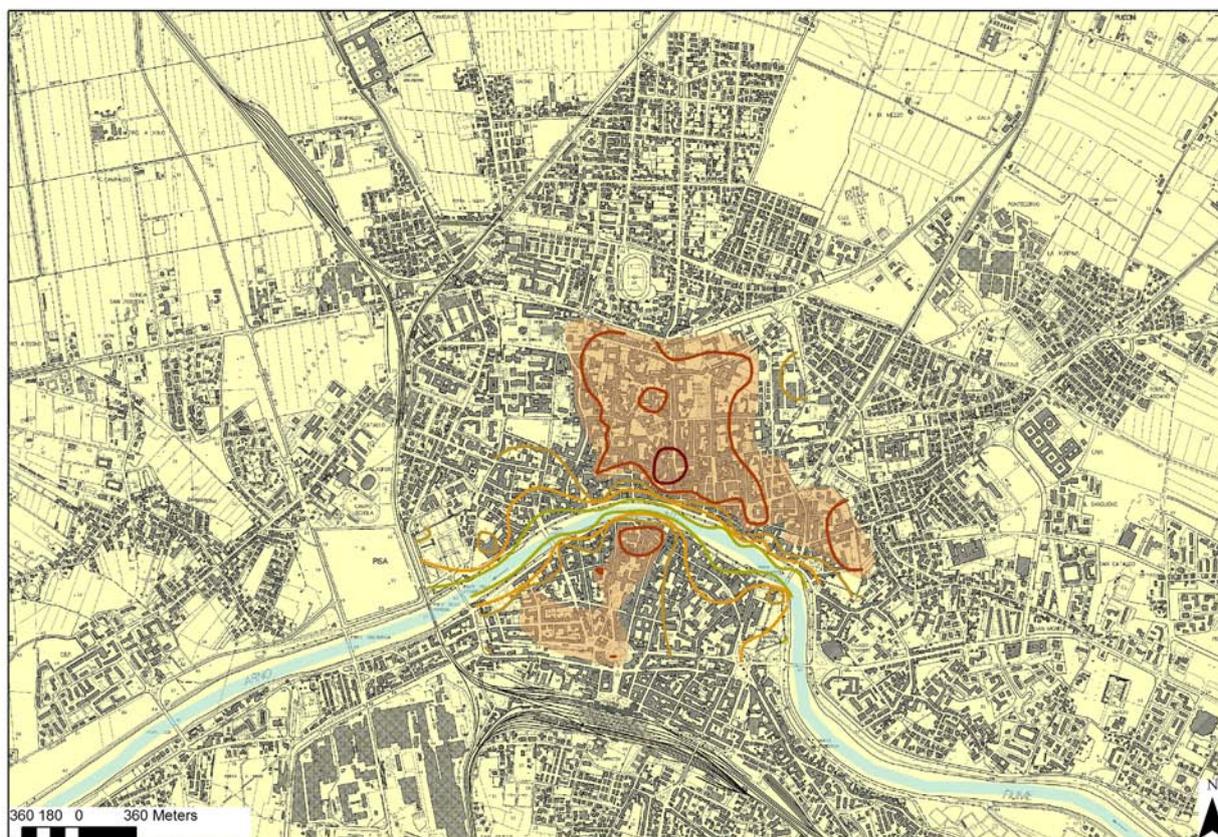


Fig. 2.8 Paleogeografia dell'area urbana ed extraurbana di Pisa nel periodo contemporaneo. In azzurro: corso dell'Arno; in giallo: pianura alluvionale prevalentemente drenata; in marrone: alto morfologico; linee paleoisopse con equidistanza 2 m (quota max +6m, min 0 slm attuale)

pianura a nord di Pisa è garantito dal basso corso del Serchio e dal fiume Morto. L'Arno scorre nella posizione attuale, essendo ormai stato tagliato anche il meandro di Barbaricina (BINI *et alii* 2012c). Le *facies* riscontrate nei carotaggi evidenziano sempre più la presenza di pianura drenata, mentre un alto morfologico, topograficamente più elevato e morfologicamente più ampio che in passato, si sviluppa nell'area urbana. In questo periodo le quote topografiche più elevate si registrano nell'area immediatamente a nord di ponte di Mezzo.

L'assetto della pianura sembra aver raggiunto una buona stabilità sia per quanto riguarda la rete idrografica sia per quello che riguarda la morfologia. In particolare sul drenaggio della pianura ha indubbiamente agito in tempi recenti l'azione dell'uomo, con imponenti ed efficienti opere di bonifica e con una gestione strategica dell'assetto idraulico.

2.9 Conclusioni

Gli scenari paleogeografici tratteggiati in questo lavoro, pur non essendo esaustivi per nessuno dei periodi esaminati, rappresentano un caposaldo di conoscenze sui caratteri ambientali del territorio urbano e suburbano di Pisa durante i quasi tre millenni nei quali esso è stato oggetto di frequentazione non sporadica da parte dell'uomo. L'analisi stratigrafica di sottosuolo ha evidenziato inoltre che durante tutto il lasso di tempo che comprende le fasi insediative di maggiore interesse (romana, alto e bassomedievale, moderna e contemporanea) la maggior parte del territorio esaminato è stato caratterizzato da una sola tipologia di associazione di *facies* sedimentaria, ovvero quella di pianura alluvionale. Questo ha reso molto più difficile, rispetto ai casi di studio presenti nella letteratura, rendere graficamente in modo efficace i diversi scenari paleogeografici previsti, tanto più che questi hanno una scansione cronologica mol-

to fitta (tra uno scenario e l'altro intercorrono per lo più pochi secoli).

I risultati ottenuti sono più che sufficienti per fornire un attendibile vincolo quantitativo che concorra alla determinazione del parametro del potenziale archeologico, ma ai fini di una rappresentazione completa e dettagliata degli scenari paleogeografici delle epoche passate è necessario un

approfondimento delle indagini in alcuni precisi punti nodali. La ricerca condotta ha dunque un duplice valore: aver fissato in modo ineccepibile alcuni punti chiave nella ricostruzione dell'evoluzione diacronica del paesaggio del territorio urbano di Pisa, e aver circoscritto spazialmente e temporalmente i *gap* conoscitivi sui quali concentrare le ricerche future.

