

Evidenze geomorfologiche dal mappa webGIS: note esplicative

Monica Bini, Marina Bisson, Marco Capitani, Valerio Noti, Marta Pappalardo

Nell'ambito del progetto MAPPA è stata realizzata una nuova carta geomorfologica basata su analisi LIDAR e sul telerilevamento. Questi nuovi dati sono stati presentati in una modalità idonea alla visualizzazione su webGIS. In questo report saranno illustrati i criteri utilizzati per il rilevamento delle forme e quelli per cartografarle su mappa webGIS

Keywords: carta geomorfologica, pianura alluvionale, Lidar, telerilevamento, webGIS

1. Introduzione

Il rilevamento delle forme nelle pianure alluvionali è forse l'attività più difficile per un geomorfologo (CASTIGLIONI 2001). In effetti, la naturale evoluzione di una pianura alluvionale tende ad obliterare le originarie morfologie appena divengono inattive. La Pianura di Pisa, in particolare, si è costituita in una fase di costante aumento del livello del mare, conseguentemente la sua evoluzione è stata accompagnata da un continuo aumento del livello di base. L'aggradazione è stata poi combinata con la progradazione, con conseguente progressiva sepoltura delle originali morfologie. Tuttavia le forme che sono state sepolte dai successivi eventi alluvionali più recenti, come ad esempio gli alvei fluviali o le paludi, possono aver lasciato un'impronta, che può essere ancora leggibile sulla topografia, moderna sotto forma di deboli ondulazioni del piano di campagna. Queste non sono normalmente rilevabili sul terreno, e per essere evidenziate necessitano di una analisi del microrilievo estremamente dettagliata. Tali morfologie "ereditate", anche se riconosciute, sono poi difficili da classificare e vincolare cronologicamente. Infine, i loro rapporti reciproci sono difficili da valutare. La continuità insediativa tipica di molte pianure alluvionali, inoltre, contribuisce a modificare le antiche morfologie fluviali, con la creazione di una rete di drenaggio artificiale e il consolidamento dei naturali alti to-

pografici con la costruzione di piani artificiali fuori terra. Sono necessarie specifiche indagini a grande scala per analizzare l'assetto geomorfologico delle pianure alluvionali e nella maggior parte dei casi non si può prescindere da un approccio interdisciplinare (PIOVAN *et alii*, 2006). Un modello digitale del terreno che riproduce la topografia dell'area investigata con una risoluzione spaziale molto elevata diventa fondamentale per lo studio dei paesaggi di difficile interpretazione, come le pianure alluvionali nelle quali le morfologie originali possono essere cancellate o modificate dai cambiamenti ambientali naturali o dalle attività umane (Ninfo *et alii*, 2011). Il primo passo per eseguire l'interpretazione del paesaggio è cartografarne la morfologia. La legenda per la rappresentazione grafica delle carte geomorfologiche utilizzata dagli studiosi italiani (Servizio Geologico Nazionale, 1994) è un potente strumento che fornisce tutte le informazioni necessarie per vincolare geneticamente la morfologie e per valutare il loro rapporto reciproco nel tempo e nello spazio. In questo lavoro, tuttavia, abbiamo preferito non utilizzare questo tipo di legenda. Nel progetto MAPPA tutti i dati (archeologico, geologico e geomorfologico) sono inclusi in uno strumento di mappatura digitale (MAPPA webGIS, <http://www.mappaproject.org/webgis>, NOTI 2012), che consente l'accesso ai risultati del progetto ad

una vasta comunità di utenti finali (ricercatori, professionisti, operatori di istituzioni pubbliche locali) che si occupano di tutela del patrimonio archeologico, gestione ambientale, mitigazione dei rischi naturali. Per rendere il Web Gis facilmente leggibile e consultabile, nonché in grado di rispondere in tempo reale alle query dei visitatori, è stata ideata una specifica legenda. La legenda geomorfologica è stata quindi riprogettata per renderla facilmente leggibile e consultabile in ambiente webGIS garantendo una corretta accessibilità al dato scientifico. La pietra miliare della cartografia geomorfologica della pianura di Pisa (MAZZANTI 1994) era in realtà basata su un controllo incrociato di informazioni derivanti dalla litologia di superficie, dalla fotointerpretazione e da dati storico-archeologici. Documenti più recenti (ad es la carta geomorfologica della Provincia di Pisa <http://sit.provincia.pisa.it>), pur migliorando la risoluzione dei dati, mostrano comunque una precisione limitata a causa della mancanza di un'adeguata base topografica. Nell'ambito del Progetto MAPPA, grazie alla disponibilità di un rilevamento Lidar ad alta risoluzione e di nuove modalità di analisi di telerilevamento (BINI *et alii* 2012b,) è stato possibile ottenere nuovi dati geomorfologici. La scansione Airborne Lidar (ALS), con l'acquisizione di dati altimetrici fitti e dislocati su brevi periodi di tempo, permette la produzione di modelli digitali del terreno (DTM) molto dettagliati anche in aree fortemente urbanizzate o coperte da una fitta vegetazione. Il telerilevamento consente di mappare quelle caratteristiche che sono difficilmente rilevabili in campagna a causa della scarsa energia del rilievo. La natura delle tracce digitali superficiali rilevate come espressione di forme sepolte sono state verificate grazie alla banca dati di sottosuolo del progetto. Questi nuovi dati sono stati rappresentati secondo una legenda speciale elaborata per incorporarli in ambiente webGIS; in questo lavoro verranno illustrati brevemente i criteri utilizzati per la legenda e per il rilevamento geomorfologico.

2. Metodi

L'identificazione delle forme del rilievo si è basata su: 1) fotointerpretazione, 2) analisi di immagini satellitari, 3) analisi morfometriche sul DEM derivato dal Lidar, 4) rilevamento sul terreno.

Le analisi su fotografie aeree ed immagini satellitari sono state effettuate al fine di rilevare le tracce relative alle antiche reti di drenaggio e alle zone umide (paludi più o meno effimere e stagni). I dettagli sul tipo di immagini utilizzate e le tecniche di elaborazione impiegate sono fornite in Bini *et alii* 2012a e b. Il Lidar (Laser Imaging Detection and Ranging) è un sistema di telerilevamento che consiste di un laser (amplificazione di luce mediante l'emissione stimolata di radiazione) che emette impulsi di frequenza molto alti (fino a più di 100.000 impulsi / punti al secondo) da un aereo / elicottero che sorvola la zona di studio, con un ricevitore GPS e un sistema di navigazione inerziale (INS). Conoscendo l'intervallo di

tempo tra l'emissione del raggio laser e la ricezione del fascio riflesso, e la posizione precisa e l'orientamento della piattaforma aerea (dal ricevitore GPS e un bordo Inertial Measurement Unit), è possibile determinare la posizione 3D (x, y, z) dei punti della superficie basandosi sulla formula per la velocità della luce. Per ciascun impulso riflesso possono essere registrati due tipi di segnali: la prima e l'ultima eco. Il primo eco identifica le aree vegetate o l'urbanizzato, mentre l'ultima eco identifica i punti appartenenti al suolo. Il processamento semi-automatizzato dei dati consente di riconoscere e rimuovere i falsi echi (outliers), classificare gli echi differenti per tipo (primo e ultimo) e generare i relativi modelli digitali del terreno. In particolare si parla di modello digitale della superficie (DSM) se entrambi gli echi vengono elaborati, oppure di modelli digitali del terreno (DEM) se vengono elaborati solo gli ultimi impulsi.

Il DEM ottenuto per la nostra area di studio proviene da un rilievo Lidar effettuato nel corso del 2008 e commissionato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. I dati lidar sono stati acquisiti utilizzando un ALTM Gemini le cui specifiche tecniche includono un laser operativo nel vicino infrarosso ($\lambda = 1,064$ micron) che può emettere fino a 1670,000 impulsi / punti al secondo con una scansione semi-angolo da 0° a 25° e una divergenza fascio di $0,25$ mrad. Durante questa acquisizione, il Gemini ALTM ha operato ad una quota di volo compresa tra 1050 e il 1300 m dal suolo consentendo una densità media di acquisizione di 0,8 o 1,6 pulse/m² per le zone costiere e zone interne, rispettivamente. I dati sono stati acquisiti in WGS 84 con una precisione verticale e orizzontale rispettivamente di ± 15 centimetri e ± 30 cm. Successivamente, i dati Lidar sono stati convertiti nel sistema cartografico di riferimento Roma 40 GB Fuso W ed il modello di quota ottenuto elaborando l'ultima eco è stato memorizzato in una serie di matrici in formato di testo ASCII. Partendo da queste matrici, abbiamo trasformato ogni file ASCII in un formato ESRI GRID mantenendo la risoluzione originale spaziale. Gli 87 GRID risultanti sono stati fusi utilizzando gli operatori matematici disponibili nel software GIS utilizzato come ambiente di lavoro in questo studio (piattaforma ESRI). Il risultato è una matrice (9.640 righe X 16040 colonne) in cui ogni cella ha una risoluzione spaziale di 1 metro e contiene le informazioni di quota.

Diversi profili topografici e alcune mappe specifiche sono state poi derivate dal DEM, tra le altre l'immagine del rilievo ombreggiato, la mappa delle pendenze e quella che riporta le delle curve di livello. Curve di livello semplificate sono state derivate da una matrice dell'elevazione ricampionata a 50 metri con il metodo Nearest neighbour (Fig. 1). Sono state, inoltre, effettuate analisi morfometriche utilizzando gli strumenti standard del software ArcGis (in particolare lo strumento di deviazione standard). Infine è stato effettuato un rilevamento di campagna *ad hoc* in siti specifici per distinguere le forme naturali da quelle antropiche nei casi in cui non era risultata chiara la distinzione con gli altri metodi di indagine.

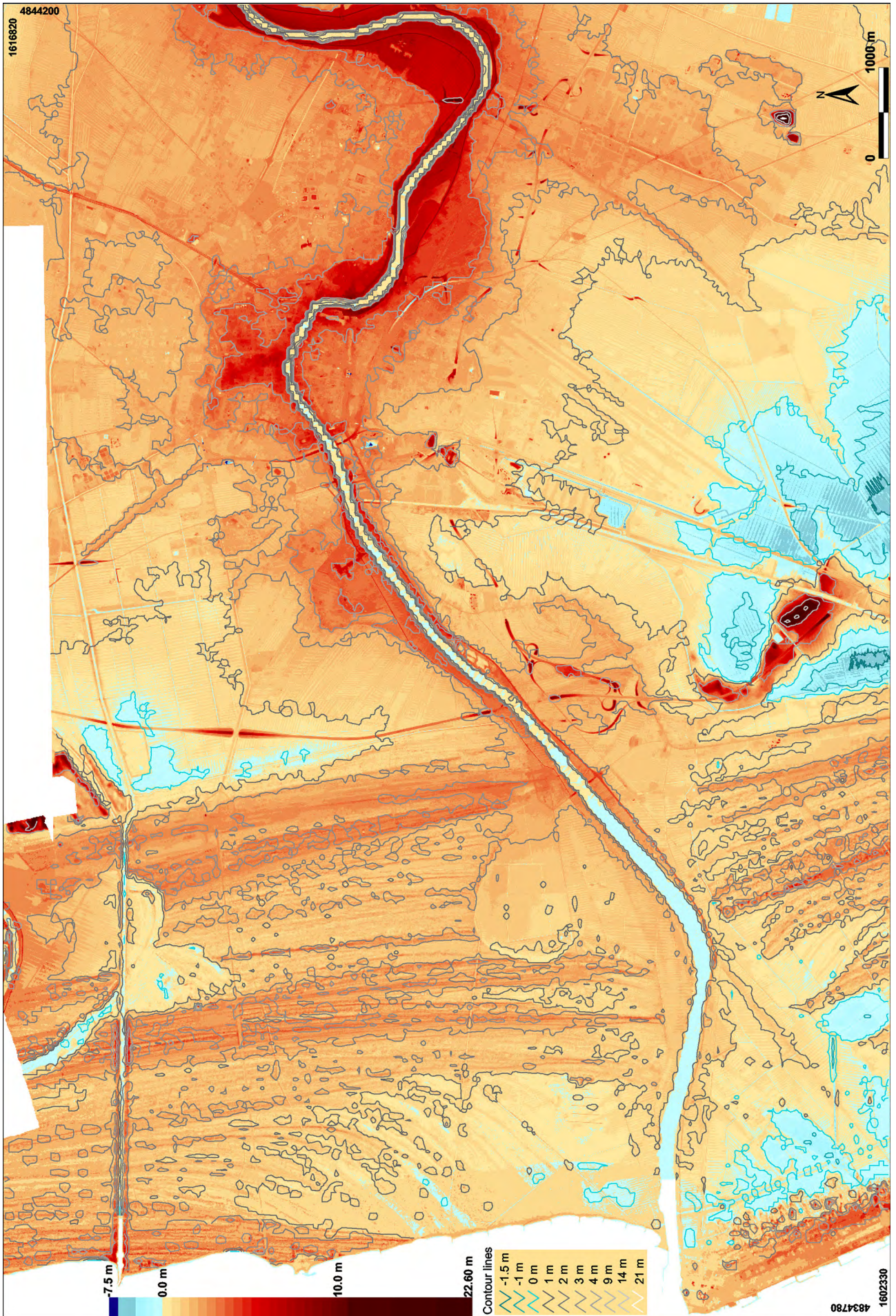




Figura 1. (pagina precedente) Esempio di immagine derivata dal DEM costruito con dati Lidar, isopse con spaziatura uguale ad 1 m sono combinate con la carta altimetrica visualizzata in 50 classi di colori.

Figura 2. Principali forme associate ad un alveo a meandri in una pianura alluvionale (after: <http://www.coolgeography.co.uk>)

3. Morfologie tipiche della pianura alluvionale

L'Egitto è un dono del Nilo (Erodoto)

Una pianura alluvionale è un terreno pianeggiante formato principalmente da un fiume o da depositi di esondazione (BUTZER 1976). Un fiume è sagomato in modo da portare verso il mare nel modo più efficiente possibile un volume variabile di acqua e sedimenti. Le ampie pianure alluvionali risultano in sezione convesse, rispetto al territorio circostante, dato che il fiume che vi scorre mostra argini in rilievo. I sedimenti in sospensione sono normalmente predominanti poiché l'energia dell'acqua è solitamente bassa quando un fiume scorre in pianura. Quando la quantità e la velocità dell'acqua nel fiume aumentano, l'acqua si riversa in golena (overbank) portando i sedimenti fuori dal letto del fiume. Un modello di flusso caratterizzato da meandri è tipico di fiumi con forte preponderanza di sedimenti in sospensione. In questo caso, l'erosione avviene sulla sponda esterna del meandro e il materiale eroso viene depositato sulla sponda interna. I meandri si sviluppano da un canale inizialmente rettilineo, ed evolvono aumentando la loro lunghezza d'onda e la loro ampiezza. Grazie al dinamismo di base di un fiume, i meandri migrano a valle con il tempo e tendono ad aumentare la loro ampiezza. La lunghezza d'onda di un meandro è direttamente proporzionale alla larghezza del canale. Un meandro può essere tagliato durante una fase di piena alluvionale e può lasciare al suo posto un lago relitto di forma arcuata.

Le più importanti morfologie di una pianura alluvionale (Fig. 2) sono connesse all'evoluzione dei corsi d'acqua. L'alveo di magra è limitato all'interno di

argini costituiti da depositi a grana fine. Le Barre intrameandro si sviluppano come una serie di argini bassi all'interno di meandri, formando creste arcuate separate da depressioni. Gli argini naturali sono creste che si innalzano sopra le rive del fiume e si formano durante i periodi di esondazione. Essi sono costituiti da sedimenti che presentano stratificazione orizzontale ed incrociata. Al di là degli argini si formano i bacini alluvionali, come risultato della persistenza dell'acqua dopo le inondazioni. Le zone umide rappresentano la parte più bassa della pianura alluvionale; sono depressioni che si formano al di sotto della falda freatica e quindi possono rimanere permanentemente o temporaneamente allagate. I sedimenti che si accumulano in queste depressioni sono a grana fine e ricchi di materia organica.

I ventagli di esondazione sono morfologie a forma di lingua, caratterizzati da depositi a granulometria media e grossolana, lasciati da flussi turbolenti di acqua dal canale verso la pianura causati da rotture nell'argine. Variazioni del carico solido o del gradiente sono responsabili dei cambiamenti di dinamismo di un fiume. Quando una pianura alluvionale si affaccia direttamente sul mare essa può essere associata ad un delta, oppure ad un sistema di cordoni litoranei. Quando il carico solido trasportato da un fiume aumenta (ad esempio a causa di cambiamenti climatici o per la deforestazione), la linea di costa si sposta verso il mare (progradazione), e si formano nuovi cordoni litoranei. Un aumento del livello del mare porta ad una sedimentazione accelerata (aggradazione) nella pianura alluvionale che si fonde alla pianura costiera. Le morfologie relitte sono quindi facilmente sepolte. Quando l'aumento del livello del mare è abbinato all'aumento della portata del fiume, l'espansione della pianura alluvionale verso il mare si combina con un aumento del tasso di sedimentazione. Infine la subsidenza, a causa della compattazione dei sedimenti o di movimenti tettonici, aumenta il tasso di aggradazione della pianura.

4. La legenda geomorfologica del MAPPA webGIS

La legenda geomorfologica è stata creato in base ai vincoli imposti dall'architettura del WebGIS. Il testo illustra il significato dei simboli, primo fra tutti la necessità di sintesi che può talvolta rendere la definizione delle caratteristiche delle forme piuttosto semplificata.

- Corso d'acqua naturale
- Canale artificiale

L'attuale rete di drenaggio è rappresentata e differenziata nei suoi elementi naturali e artificiali. Questi ultimi possono a volte coincidere con rami fluviali relitti, che sono stati mantenuti e utilizzati per favorire il deflusso delle acque.

- Dosso fluviale (5m>h>4m)
- Dosso fluviale (>5m)

Nelle pianure alluvionali, i rami fluviali abbandonati risultano fiancheggiati da argini a forma di creste prominenti, sagomati in sedimenti più grossolani rispetto agli interfluvi circostanti. Nella maggior parte dei casi queste morfologie sono sepolte dai sedimenti alluvionali depositati a causa dell'aggradazione della pianura e sono rilevabili solo attraverso il telerilevamento. A volte, però, sono conservati sia perché sono molto recenti, sia perché l'aggradazione della pianura e la subsidenza hanno tassi di crescita molto bassi. Infine, talvolta, l'insediamento antropico si fonda proprio su queste superfici naturalmente elevate sopra la pianura ordinaria, proteggendole dall'erosione e le rialzandole artificialmente rispetto alle forme circostanti. Quando l'insediamento è perdurato nel tempo, si rinvengono più piani di crescita antropica come rilevato negli scavi archeologici.

- Depressione (<1.2 m asl)
- Depressione (< 0.9 m asl)

Le zone umide mostrano una forma sempre variabile, a causa della loro natura di depressioni all'interno della pianura alluvionale, possono essere alimentate direttamente dai corsi d'acqua durante le esondazioni o dalla stagnazione del drenaggio delle acque piovane, oppure semplicemente dalla risalita della falda freatica sopra il piano di campagna. Geneticamente le aree depresse possono essere connesse alle zone umide ed occupano quelle parti della pianura che sono più lontane dall'area di migrazione dei corsi d'acqua. La posizione delle attuali zone umide rappresenta il risultato della progressiva aggradazione della piana in prossimità dei corsi d'acqua, dove gli argini naturali e i ventagli di esondazione si sono giustapposti nel corso del tempo determinando così la crescita del piano di campagna. Per questo motivo la loro posizione attuale deve essere considerata una caratteristica ereditata dalla fase più recente di aggradazione alla quale la pianura è stata soggetta. Dopo il periodo romano la maggior parte delle pianure italiane sono state alimentate da carichi solidi fluviali eccezionali (FONTANA *et alii* 2008), a causa dell'abbandono delle coltivazioni lungo i versanti e probabilmente anche da cambiamenti nelle precipitazioni. Questa evidenza è segnalata per la pianura pisana (SARTI *et alii* 2010) così come per alcune pianure vicine, ad esempio la Piana di Luni (FAZZINI, MAFFEI 2000). Il perimetro delle zone umide è stato cartografato nel nostro webGIS considerando che a partire dalle depressioni attuali l'analisi morfometrica potrebbe produrre il perimetro approssimativo delle aree umide presenti nell'Alto e Basso Medioevo. Il DEM è stato quindi riclassificato applicando la deviazione standard. Due breakpoints sono stati individuati nell'istogramma e sono stati utilizzati per precisare le quote alle quali doveva trovarsi il limite delle paludi nell'Alto e Basso Medioevo. I perimetri così identificati, infatti, racchiudono aree nelle quali l'analisi morfometrica sottolinea la presenza di una morfologia piatta

coerente con il fondo di una palude. L'estensione e la cronologica delle paludi mappate sono state validate con testimonianze storiche e archeologiche (GATTIGLIA 2011).

- Livello base della pianura

Quando le acque del fiume in periodo di magra sono limitate all'interno degli argini la parte asciutta della pianura rappresenta il livello base della pianura alluvionale. Per permettere al bacino idrico di essere efficiente, la quota degli argini dei fiumi deve essere "al di sopra del livello del mare". In questo caso, infatti, finché il fiume scorre entro gli argini, l'acqua può defluire in mare. Il livello del mare, però, varia all'interno di un intervallo di quota la cui ampiezza dipende dalla marea, dalla pressione atmosferica e dal movimento dell'acqua di mare dovuto alla direzione del vento e all'altezza delle onde. Questo intervallo di quota può essere stabilito localmente e riferito al valore zero convenzionale del livello medio del mare che, a sua volta, può essere riferito ad un sistema di riferimento assoluto (l'ellissoide geodetico). Lungo la fascia costiera al confine con la pianura di Pisa l'escursione di marea, compreso il contributo della marea meteorologica, mostra un'ampiezza di circa 1 m, se si considera la sua escursione annua. Alla foce dell'Arno e del Serchio il livello del mare può aumentare notevolmente quando spira il vento da Sud-Ovest (Libeccio). Nel complesso il livello ordinario della pianura alluvionale si attesta fino ad una quota di 2m sul livello medio del mare.

- Cordone Litoraneo
- Depressione tra cordoni
- Relitto di duna costiera

Verso mare la Pianura di Pisa mostra un sistema di cordoni litorali sormontati da dune costiere e separati da aree depresse strette e allungate nella direzione del cordone. Il DEM derivato dal Lidar rende possibile cartografare accuratamente queste forme, solo marginalmente incluse nell'area di studio.

- Rilievo intrameandro
- Depressione intrameandro
- Traccia di paleoalveo

Nella carta geomorfologica sono riportate le tracce dei paleoalvei desunte dalle analisi di fotointerpretazione e analisi di immagini satellitari. Il loro riconoscimento è basato su anomalie di umidità del suolo, che possono essere correlate ai cambiamenti nel contenuto di acqua indipendenti dalla presenza effettiva di un canale sepolto (PIOVAN *et alii* 2009), che quindi deve essere validata con l'ausilio di altri metodi (carotaggi, geoelettrica). È importante sottolineare che nella carta geomorfologica non sono stati riportati antichi tracciati fluviali la cui posizione è nota o ipotizzata da fonti letterarie o da scavi archeologici, a meno che non sia stato possibile il riconoscimento delle loro paleo tracce nelle immagini aeree e/o satellitari. Le depressioni e i rilievi intra meandro sono sta-

ti cartografati all'interno delle anse di meandro. La presenza di un'area rilevata o di un'area ribassata dipende la dinamica di migrazione del corso d'acqua all'interno del meandro. Una migrazione graduale della barra di canale in connessione con la tendenza all'aumento dell'ampiezza del meandro, crea una serie di creste sedimentarie depositate sulla sponda interna, una per ciascuna delle posizioni raggiunte dal canale; queste creste possono successivamente fondersi, formando nel complesso un forma positiva all'interno della curva del meandro. Al contrario, se un meandro è tagliato da un fiume, all'interno dell'ansa si creerà una depressione che verrà mantenuta ed enfatizzata dalla successiva aggradazione della pianura.

5. Prospettive

La carta geomorfologica del WebGIS di MAPPA rappresenta una delle tappe della ricerca geoarcheologica svolta nella Pianura di Pisa. Si tratta di uno strumento che illustra chiaramente le forme principali della pianura di Pisa e la loro interpretazione genetica

in termini di agenti morfologici. Questo risultato è stato raggiunto utilizzando i metodi tipici della cartografia geomorfologica. Nella successiva fase di ricerca, al fine di ricostruire lo scenario paleogeografico nelle diverse fasi temporali, saranno raccolti ulteriori dati sulle forme cartografate, per confermare la loro presenza, ricostruire la loro forma nelle tre dimensioni e vincolarla cronologicamente. In questa nuova fase della ricerca verranno applicate metodologie di prospezione geofisica (tomografia elettrica) e verrà effettuato un controllo incrociato con i dati di carotaggio. Le tomografie elettriche avranno lo scopo di rilevare l'estensione nelle tre dimensioni delle tracce paleoidrografiche evidenziate mediante fotointerpretazione. Mentre il confronto con le stratigrafie dei 18 carotaggi continui, estesi fino ai 20 m di profondità (AMOROSI *et alii* 2012 a, b), potrà fornire un ulteriore riscontro in questa direzione, se nel sottosuolo delle aree interessate da paleovalvei risulteranno presenti facies di canale. Attraverso il confronto incrociato tra dati di superficie e dati di sottosuolo sarà possibile confermare le interpretazioni genetiche di quelle forme che non sono più visibili in superficie, ma presenti nel sottosuolo sepolte sotto uno strato alluvionale più o meno spesso.

Bibliografia

- BINI M., CAPITANI M., PAPPALARDO M., POCOBELLI G.F. 2012 *Aerial archaeology: new and old data*, in ANICHINI F., FABIANI F., GATTIGLIA G., GUALANDI M.L., MAPPA. *Methologies Applied To Archaeological Potential Predictivity*, Edizioni Nuova Cultura, Roma. ISBN: 9788861348943 (DOI: 10.4458/8219-12), pp.131-156
- BUTZER K.W.1976, *Geomorphology from the earth*. New York, Harper and Row, pp. 463
- CASTIGLIONI G.B. 2001, *Response of the fluvial system to environmental variations*, in CASTIGLIONI G.B., PELLEGRINI G.B. (eds.), *Illustrative notes of the geomorphological map of Po Plain (Italy)*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», Suppl. 4. Torino: Comitato Glaciologico Italiano, pp. 165-188
- FAZZINI P., MAFFEI M. 2000, *The disappearance of the city of Luni*, in «Journal of Cultural Heritage» 1, pp. 247-260.
- FONTANA, A., MOZZI P., BONDESAN A. 2008, *Alluvial megafans in the Venetian-Friulian Plain (northeastern Italy): Evidence of sedimentary and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene*, in «Quaternary International», 189, pp. 71-90.
- GATTIGLIA G. 2011, *Pisa nel Medioevo. Produzione, società, urbanistica: una lettura archeologica*, Pisa
- AMOROSI A., BINI M., FABIANI F., GIACOMELLI S., PAPPALARDO M., RIBECAL C., RIBOLINI A., ROSSI V., SANMARTINO I., SARTI G. 2012a, *I carotaggi MAPPA: un'integrazione interdisciplinare*, in GUALANDI M.L. , *MapPapers 2/2012*, Roma, pp.96-148.
- AMOROSI A., GIACOMELLI S., RIBECAL C., ROSSI V., SAMMARTINO I., SARTI G. 2012b, *Il sottosuolo dell'area urbana e periurbana di Pisa: architettura deposizionale ed evoluzione paleoambientale durante il medio-tardo olocene*, in *MapPapers 7-II*, pp. 247-256
- BINI M., KUKAVICIC M., PAPPALARDO M. 2012, *Interpretazione di immagini satellitari della Pianura di Pisa*, in *MapPapers 5-II*, pp. 212-222.
- MAZZANTI R. (ed) 1994, *La pianura di Pisa e i rilievi contermini. La natura e la storia*. Memorie della Società Geografica Italiana, pp. 50
- NINFO A., FERRARESE F., MOZZI P., FONTANA A. 2011, *High resolution dems for the analysis of fluvial and ancient anthropogenic landforms in the alluvial plain of Padua (Italy)*. «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», 34 (1), pp. 95-104
- PIOVAN S., PERETTO R., MOZZI P. 2006, *Palaeohydrography and ancient settlements in the Adige river plain, between Rovigo and Adria (Italy)*, in Campana S., Forte M. (eds.), *From Space To Place: 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. Proceedings of the 2nd International Workshop*. BAR International Series 1568. Oxford: British Archaeological Reports, pp. 311-317
- PIOVAN S., MOZZI P., STEFANI C. 2009, *Bronze Age Paleohydrography of the Southern Venetian Plain*, «Geoarchaeology» 25, pp. 6-35.
- SARTI G., BINI M., GIACOMELLI S. 2010, *Correlations between landscape, geology and the growth and decline of Pisa (Tuscany, Italy) up to the Middle Ages*, in «Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences», 23(2Bis), pp. 311-322.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE 1994, *Carta geomorfologica d'Italia - 1:50.000. Guida al rilevamento*. Quaderni del Serv. Geol. Naz., ser. 3, 4 , Roma, pp. 42



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 spedisce una lettera a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.