

Simona Raneri**/[§], Claudia Sciuto*, Giuseppe Tumbiolo*

* Dipartimento di civiltà e Forme del Sapere, Università di Pisa

** CNR-ICCOM Pisa

[§] Tutti gli autori hanno contribuito in maniera uguale all'articolo.

UNA LITOTECA DIGITALE PER I MATERIALI DELL'EDILIZIA STORICA DI PISA

Abstract: The article aims at providing a first digital geochemical and petrographic catalog of rocks quarried from the area of Monti Pisani and used in historical buildings in Pisa, from the Roman period up to the thirteenth century. The lithotheque is one of the results of a broader integrated study of ancient quarrying landscapes which has allowed a better understanding of the dynamics of supply and use of building materials in Pisa. The study of the archaeological evidence was associated with a series of surveys aimed at the documentation of quarry fronts as well as the collection of geological samples. Geochemical and petrographic analysis have been carried out on a large collection of reference materials, the results of which are made available as Open Data: for each sample analyzed, a descriptive sheet is provided that contains the geolocation of the outcrops, the characteristics of texture and autoptic observation of the sample structure, chemical maps describing the distribution of the main constituent elements of the rock (collected by portable X-ray fluorescence, pXRF) and the results of petrographic analysis, accompanied by photographic documentation of the sample both macroscopic and in thin section. The information collected constitutes a first reference dataset for future research on the exploitation of geological outcrops adjacent to the Pisa plain. In addition, the set is open to future implementations with data on materials from other geological contexts as well as ancient architectures or excavations.

Keywords: building materials, quarries, lithotheque, XRF, petrography.

1. Introduzione

Lo studio archeologico delle evidenze architettoniche antiche si avvale da anni dell'applicazione di metodi mutuati dalle scienze della terra per l'identificazione della provenienza dei materiali da costruzione. La caratterizzazione di litotipi in opera e la loro attribuzione a determinati siti di estrazione è generalmente condotta in collaborazione tra archeologi e geologi. Tuttavia, se studi su un singolo monumento o sito estrattivo sono comuni nella bibliografia specializzata, meno comune è l'applicazione di un approccio interdisciplinare allo studio olistico delle trasformazioni dei paesaggi estrattivi e palinsesti urbani in prospettiva dialettica e diacronica (Gély, 2021; Pruno, 2018).

Lo studio archeologico dei materiali da costruzione, dall'estrazione alla messa in opera, non si limita all'analisi delle strutture murarie, ma si estende all'indagine dei territori, degli affioramenti geologici e alle relazioni intercorse tra società umane e paesaggio. L'archeologia dei materiali lapidei si basa su una lettura integrata delle trasformazioni del territorio e delle metamorfosi urbane come processi ad ampio raggio, profondamente interconnessi.

In una prospettiva così delineata, l'archeologia dell'architettura si fonde all'archeologia ambientale, alla storia delle tecniche e alla storia economica, con un approccio che può – e

deve – essere pienamente transdisciplinare. La pietra in opera diventa un *proxy* utile alla lettura delle trasformazioni del territorio, dei processi di modificazione dei versanti causati dall'azione antropica, che marcano irreversibilmente la morfologia montana e collinare. Il palinsesto delle strutture urbane è invece il risultato della compartecipazione di corpi geologici e comunità cittadine: il materiale da costruzione, le tracce di lavorazione, le tecniche di messa in opera e le soluzioni architettoniche adottate costituiscono uno schema variabile che può essere investigato analizzando i ruoli di attori umani e non umani, cui si aggiungono i segni e gli effetti dell'esposizione agli agenti esogeni.

Al fine di indagare un così complesso sistema di interazioni, si rende innanzitutto necessaria una comprensione accurata del contesto paesaggistico e geologico limitrofo all'area urbana in esame. Nel caso della città di Pisa, lo studio dei siti estrattivi situati lungo i pendii dei rilievi che costeggiano la pianura, i Monti Pisani, ha infatti permesso di avviare una riflessione volta a meglio comprendere le dinamiche di approvvigionamento – prossimale e distale – che tra il l'Età romana repubblicana e il Medioevo sono soggette a importanti variazioni¹. Pisa rappresenta un caso studio emblematico per investigare le potenzialità dell'analisi sistematica dei materiali da costruzione e per comprendere lo sviluppo di un'area cittadina in una prospettiva di lunga durata. La città si trova infatti posta al crocevia di commerci marittimi Tirrenici e allo stesso tempo è situata in prossimità di affioramenti geologici di varia natura, caratterizzati da proprietà meccaniche che li rendono utilizzabili in svariati modi, permettendo la realizzazione di soluzioni architettoniche spesso originali.

I dati fino ad ora raccolti in area urbana, così come in parte del territorio circostante, consentono di valutare l'approvvigionamento e l'uso dei materiali da costruzione durante un periodo di forti cambiamenti politici e sociali, tra l'Età romana e il XIII secolo, fornendo un importante indicatore per comprendere alcune variazioni del sistema economico-amministrativo della città all'interno di una finestra temporale ampia e di grande interesse.

Questo contributo si propone di presentare parte dello studio condotto sui materiali lapidei utilizzati nelle fasi romana e medievale della città di Pisa. L'indagine si concentra sulla descrizione autoptica e l'analisi delle materie prime da approvvigionamento prossimale provenienti dall'area dei Monti Pisani, materiali prevalenti nell'edilizia cittadina per i periodi in esame. Si tenga presente che, per il periodo in oggetto, nell'edilizia urbana si fa largo impiego di blocchi di calcarenite provenienti dal sistema estrattivo dell'area costiera livornese, l'analisi del quale è affrontata in uno studio tuttora in corso. Ugualmente, in questa sede non viene presentata e catalogata l'ampia gamma dei litotipi provenienti da commerci su più ampia scala, come i marmi e i graniti, anch'essi oggetto di ricerche specifiche attualmente condotte sulle emergenze dei riusi in contesto urbano e/o conservate in ambito museale, anche con il supporto delle tecniche analitiche non distruttive.

Lo studio si basa in parte sull'integrazione di ricerche pregresse, portate avanti in maniera tematica su specifici litotipi o monumenti pisani (Aquino et al., 2020; Franzini et al., 2001; Franzini et al., 2007; Franzini & Lezzerini, 1998, 2002, 2003; Lezzerini, 2005; Lezzerini et al., 2019; Ramacciotti et al., 2015), introducendo elementi di novità rispetto a quanto fatto nei decenni passati. Un unico catalogo di materiali, corredato da fotografie e dati analitici normalizzati, permette infatti di aggiungere aspetti di caratterizzazione dei materiali finora non esplorati. Il set di dati, che comprende i riferimenti per la determinazione autoptica dei litotipi sul campo, così come l'interpretazione dei dati da petrografia o analisi geochimiche, assicura l'assoluta riusabilità delle informazioni e la possibilità di confrontarle facilmente con risultati di analisi future e degli studi già in corso. Infine, l'accesso libero al dataset

¹ Lo studio si svolge nell'ambito del progetto di ricerca "le città invisibili" che ha l'obiettivo di indagare le trasformazioni dello spazio urbano della città di Pisa attraverso l'analisi sistematica dei materiali da costruzione impiegati nel periodo compreso tra il III secolo a.C. e il V secolo d.C. La fase medievale è invece oggetto di un progetto di dottorato in Scienze dell'Antichità e Archeologia del Dipartimento di Civiltà e Forme del Sapere, che si propone di indagare le forme di sfruttamento e di gestione delle risorse lapidee, leggendole attraverso i tempi e i modi in cui la pietra fu estratta, trasportata, lavorata e impiegata nell'edilizia residenziale, religiosa e pubblica delle città di Pisa e di Lucca tra il X e il XIII secolo.

si configura come un riferimento metodologico e una infrastruttura implementabile per progetti futuri, assicurando la completa trasparenza e verificabilità dell'intero processo analitico-interpretativo.

2. Verso una narrazione polivocale dell'architettura storica

Come accennato in precedenza, l'archeologia dell'architettura storica si deve avvalere di fonti di varia natura al fine di rendere la complessità delle dinamiche socioeconomiche e ambientali passate. Lo studio dei materiali da costruzione utilizzati a Pisa è stato condotto basandosi su diversi documenti e materiali: documentazione di scavi pregressi, fonti scritte da archivi e pubblicazioni, osservazione autoptica dei materiali in opera e analisi archeometriche condotte direttamente *in situ*.

Un ampio repertorio documentario, utile ai fini dello studio, è quello raccolto nell'ambito del progetto MAPPA, che comprende la documentazione grafica, fotografica e compilativa degli interventi di scavo effettuati nella città di Pisa, così come la letteratura grigia (relazioni) e i riferimenti all'edito (Anichini et al., 2012, 2013). Lo spoglio dei documenti digitalizzati ha permesso di identificare le strutture murarie pertinenti agli ambiti cronologici di riferimento e di verificarne le tecniche costruttive. L'identificazione dei litotipi risulta invece più complicata poiché basata sull'osservazione di fotografie, spesso in bianco e nero, e sulle informazioni fornite dagli operatori che hanno raccolto i dati. Seppur cruciali per la comprensione dell'uso dei materiali da costruzione su scala ampia, la determinazione delle provenienze dei litotipi da *legacy data* non è sufficientemente affidabile e richiede ulteriori verifiche. Non è infrequente imbattersi in determinazioni incorrette, effettuate da archeologi sul campo, che potrebbero influenzare erroneamente l'interpretazione dei fenomeni di approvvigionamento.

A questo proposito, la recente apertura di scavi urbani, diretti da docenti e ricercatori del Dipartimento di Civiltà e Forme del Sapere di Pisa, ha permesso l'osservazione diretta di un campionario rappresentativo di tecniche costruttive e materiali, così come il prelievo di nuovi campioni (Fabiani et al., 2021, Fabiani et al., 2018).

Un ruolo determinante nella distribuzione dei siti estrattivi e il commercio di materiali ebbero le trasformazioni della piana fluviale e in particolare dell'andamento dei corsi d'acqua principali: Arno e Auser. La geomorfologia dell'area di Pisa, e in particolare l'apporto sedimentario dei fiumi, sono state investigate dettagliatamente nell'ambito del già menzionato progetto MAPPA (Bini et al., 2015). La ricostruzione paleoambientale di Pisa in Età romana, tardoantica e medievale rivela il ruolo fondamentale dei fiumi e dei canali artificiali nello sviluppo dell'abitato, nell'impatto sulle modalità di approvvigionamento e soprattutto distribuzione dei materiali lapidei cavati dai vicini rilievi.

2.1 Le pietre di Pisa

La geologia dei Monti Pisani è prevalentemente costituita da due unità tettono-metamorfiche, rappresentate dall'Unità del Monte Serra e dall'Unità di Santa Maria del Giudice (Rau, Tongiorgi 1974) impostate su un basamento metamorfico ercinico (Fm. Filladi di Buti, metamorfie quarzitiche e filladi).

I sedimenti più antichi di pertinenza delle unità metamorfiche sono rappresentati dalla Formazione della Verruca, costituita dai membri delle anageniti grossolane, degli scisti violetti e delle anageniti minute, e dalla Formazione delle quarziti del Monte Serra (suddivisa in quattro membri, "delle quarziti viola", "delle quarziti bianco-rosate", "delle quarziti verdi" e "degli scisti verdi"). Al di sopra dei sedimenti clastici triassici troviamo le formazioni calcareo-silicee, costituite da grezzoni, calcari ceroidi e metacalcari, calcari selciferi e pseudomacigno. Queste sono sormontate dall'Unità della Falda Toscana, costituita da sedimenti non metamorfici rappresentati da calcare cavernoso, calcari a Raetavicula, calcari bianco-grigi massicci, calcari

con liste di selce chiara e scura, diaspri e rosso ammonitico. Interposte tra l'Unità della Falda Toscana e le Unità tettono-metamorfiche del Monte Serra e di Santa Maria del Giudice sono presenti breccie monogeniche e poligeniche localmente deformate, secondo alcuni autori formatesi durante la messa in posto della Falda Toscana.

I rilievi che costeggiano a Nord la piana di Pisa sono dunque ricchi di materiali lapidei tra loro molto diversi. Dal punto di vista tecnico della lavorazione del corpo roccioso, vi si trovano litotipi omogenei che si prestano alla lavorazione e alla scultura, come i calcari e le quarziti, o rocce porose e più leggere, come i calcari cavernosi o le breccie, utili ad alleggerire le strutture in alzato. Sono inoltre presenti rocce che si sfaldano in lamelle e che possono essere utilizzate per coperture o rivestimenti, come le filladi.

2.2 La città invisibile: Pisa romana

Numerosi scavi, condotti a vario titolo in ambito urbano, hanno restituito tracce delle fasi repubblicana e imperiale della città di Pisa. Si tratta di dati estremamente frammentari, il cui reperimento è reso difficile da un lato dall'insistere dei livelli medievali sulla stessa area urbana, dall'altro dalla presenza dell'acqua di falda che ostacola l'indagine stratigrafica dei livelli più antichi. Le fonti scritte ci aiutano ad immaginare il paesaggio cittadino: l'importante testimonianza epigrafica dei *cenotaphia Pisana* (CIL XI, 1420-1421), datata all'inizio del I sec. d.C., racconta una città con un foro, edifici per i *ludi scaenici*, *tabernae*, templi e *balnea* (Segenni, 2003).

L'evoluzione topografica di Pisa romana è stata tratteggiata in numerosi studi, che mirano a ricostruire l'assetto del tessuto urbano antico (Bruni, 1995; Bruni & Cosci, 2003; Fabiani et al., 2013; Pasquinucci, 1995; Pasquinucci & Menchelli, 2008). Sebbene il processo di romanizzazione della città inizi alla metà del III secolo a.C., grandi mutamenti nell'urbanistica cittadina si verificano nella seconda metà del I sec. a.C. momento della fondazione della *Colonia Opsequens Iulia Pisana*. I dati di scavo mostrano come l'area cittadina si estendesse soprattutto nella parte nord dell'odierno abitato, nell'area della Piazza del Duomo, circoscritta dal passaggio del fiume Auser, dell'asse di via della Faggiola, dell'area delle terme di Largo del Parlascio e porta san Zeno (Paribeni et al., 2011; Rizzitelli & Fabiani, 2020). A nord di questo nucleo si estendeva probabilmente il suburbio, area caratterizzata da attività produttive (Donati et al., 2020; Fabiani & Sorrentino, 2020; Menchelli et al., 2020).

L'impiego di blocchi di calcarenite sembra caratterizzare le fasi ellenistica e repubblicana della città. La roccia sedimentaria, porosa e relativamente leggera, proveniente dalle cave della costa livornese, doveva raggiungere la città attraverso le vie d'acqua. Si trova ampia attestazione anche dell'uso di marmo di San Giuliano e di calcari estratti sulla sponda occidentale della valle del Serchio (Paribeni et al., 2011). L'impiego del calcare diventa preponderante nelle architetture di II secolo d.C., una fase in cui si osservano significativi mutamenti nell'assetto di quartieri urbani e suburbani. Inoltre, dalla fine del I secolo a.C. e fino alla tarda Età imperiale, si rileva, oltre ai litotipi già menzionati, l'impiego di elementi lapidei non lavorati, dal profilo arrotondato e litologia varia, probabilmente provenienti dai depositi di frana e conoidi pedemontani: le cosiddette sassaie.

2.3 La città dissipata: i reimpieghi

Un ampio studio iconografico dei reimpieghi pisani è stato condotto a partire dagli anni 80 (si vedano, a titolo di esempio: Donati, 1988; Donati & Parra, 1983; Parra, 1983; Settis, 1992; Tedeschi Grisanti, 1990, 1995, 2007). Eppure, il solo studio iconografico risulta limitato, benché utile a stabilire un inquadramento stilistico e fornire indicazioni circa il contesto di provenienza di alcuni dei pezzi che presentano porzioni scolpite. Il fenomeno del reimpiego di elementi lapidei di varia tipologia è attestato a Pisa per tutto il periodo in esame e sembra estendersi all'intero territorio cittadino. Il recupero si verifica in maniera preponderante tra la fase tardoantica e il X secolo ma rimane difficile, ad oggi, determinare con certezza quali materiali locali siano stati reimpiegati nelle architetture medievali e da quali edifici potessero

provenire. Certamente si riscontra per l'Alto medioevo, e in particolare in edifici religiosi di X secolo, un riuso preponderante di litotipi che caratterizzano i periodi ellenistico e romano, come la calcarenite della costa livornese o il calcare di San Giuliano (Febbraro, 2011; Redi, 1991). Permangono inoltre nella toponomastica cittadina medievale indicazioni di luoghi che possono essere associati ad edifici in rovina e probabilmente sfruttati come cave a cielo aperto; è ad esempio il caso dei toponimi *a le grotte* e *petricio*, entrambi situati nell'area nord-Ovest della città medievale e in cui sono state rinvenute, all'inizio del secolo scorso, tracce di grandi edifici romani, tra cui un anfiteatro (Garzella, 1990). Di più semplice identificazione sono invece i reimpieghi di marmi, pietre lucidate e graniti, che si trovano in gran numero incastonati in edifici ecclesiastici.

Al fine di delineare i processi di spoliazione e riuso di elementi lapidei in loco, così come l'apporto di reimpieghi dagli empori della costa tirrenica, è in corso una schedatura sistematica e uno studio litologico dei reimpieghi riconoscibili in città. La gestione dei dati in ambiente GIS permetterà di identificare dei pattern geografici e cronologici di distribuzione dei singoli pezzi e una migliore comprensione del fenomeno su scala urbana.

2.4 La città manifesta: Pisa medievale

Alle labili tracce del passato romano di Pisa si contrappone la presenza voluminosa delle architetture medievali. Infatti, tra X e XIII secolo, la pietra diventa protagonista di una trasformazione sociale, economica e architettonica profonda, che travolge l'agglomerato urbano, tratteggiando molti dei caratteri paesaggistici che ancora ne definiscono il centro storico (Tumbiolo, 2020). Ancora una volta, le testimonianze delle fasi più antiche della città medievale provengono da interventi di scavo che hanno messo in luce i resti di edifici abitativi e luoghi di culto databili al IX-X secolo (Febbraro, 2011; Gattiglia, 2013). I materiali da costruzione che si trovano impiegati in queste architetture sono principalmente di reimpiego e vi si ritrovano i litotipi già osservati nelle strutture romane. Nell'XI secolo si assiste invece a un radicale cambio di direzione per quanto riguarda l'approvvigionamento di materiali lapidei. Il mercato della pietra si trasforma sotto la spinta della richiesta di materia prima per la realizzazione delle molte opere di edilizia pubblica e privata in città (Tumbiolo, 2020). Diventa sistematica l'estrazione di quarziti, filladi e brecce da siti di cava situati lungo le pendici dei Monti Pisani. Si verifica quindi un significativo aumento delle aree di cava che interessano in modo intensivo anche le propaggini sud-orientali dei rilievi contermini alla piana pisana. L'approvvigionamento della pietra era facilitato dalla presenza di importanti vie d'acqua naturali e di canali artificiali, alcuni dei quali realizzati appositamente per il trasporto dei materiali alla metà del XII secolo (Gattiglia, 2013). Proprio durante il XII secolo si verifica una crescita edilizia esponenziale, attestata da numerose testimonianze archeologiche, sia nel cuore dell'agglomerato urbano a Nord dell'Arno, sia una significativa riorganizzazione nel quartiere di Chinzica, a Sud del fiume.

3. La litoteca

3.1 Campionamento, caratterizzazione minero-petrografica e analisi geochimiche non distruttive

Il lavoro di studio e catalogazione dei diversi litotipi impiegati nell'architettura pisana è stato affiancato dalla raccolta di un ampio corpus di materiali di riferimento nei contesti geologici di provenienza. Il campionamento dei frammenti è stato pianificato ed effettuato seguendo una logica interdisciplinare, incrociando cartografia geologica, dati geomorfologici, informazioni storiche, notizie di rinvenimenti archeologici e ricognizioni di superficie. A questo proposito, si sono rivelate utili, seppur datate, le ricerche condotte da geologi, archeologi e storici dell'Università di Pisa, risultanti in una base cartografica che combina elementi naturalistici e storici della piana pisana e dei rilievi limitrofi (Carratori et al., 1991, Giannini & Nardi, 1964,

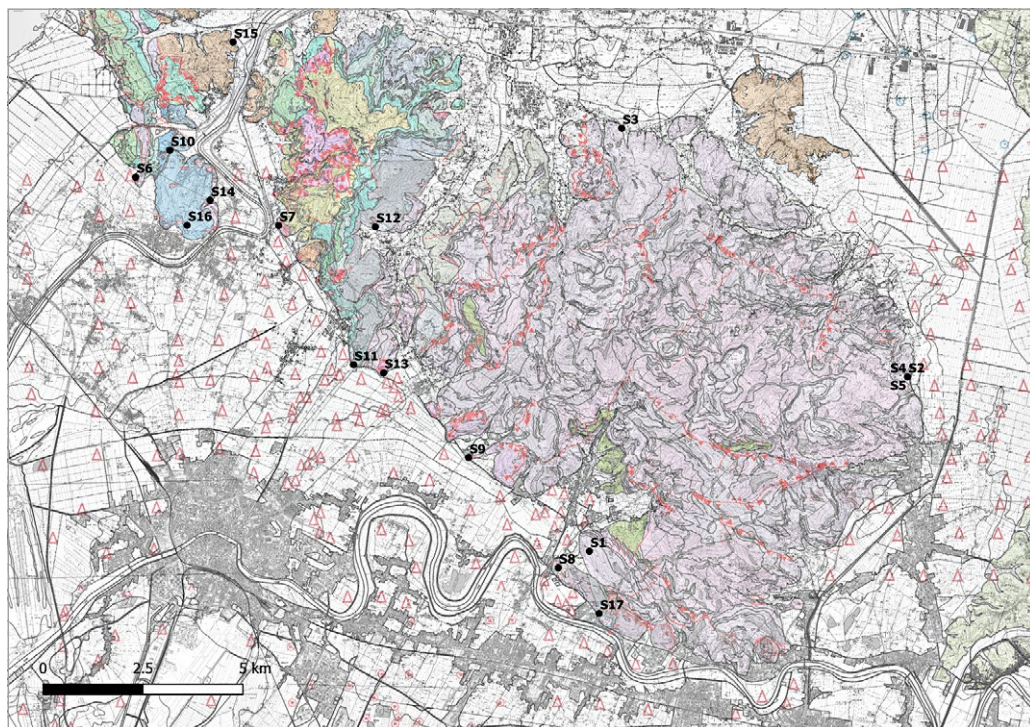


fig. 1. Posizione campionamenti: S1 Quarziti verdi del Monte Serra da Crespignano; S2 Quarziti verdi del Monte Serra da Buti; S3 Quarziti bianco-rosa del Monte Serra da Guamo; S4 Filladi verdi; S5 Filladi viola; S6 Calcare selcifero della Val di Lima con selce nera; S7 Calcare cavernoso; S8 Calcare a Rhaetavicula contorta; S9 Breccia poligenica di Agnano; S10 Rosso di Avane; S11 Metacalcari di San Giuliano nelle varietà nocciola, gialla, grigia, rosata, con selce grigia; S12 Marmi dei monti Pisani (Calcare ceroidi Auctt.); S13 Grezzone; S14 Calcare a Rhaetavicula contorta; S15 Arenaria Macigno da Filettole; S16 Calcare massiccio da Vecchiano; S17 Breccia monogenica di Caprona.

Rau & Tongiorgi, 1972). La carta geologica aggiornata (WMS da geoscopio Regione Toscana²) è stata utilizzata come base cartografica su software QGIS assieme alla carta tecnica regionale. Su questi riferimenti si è poi proceduto alla georeferenziazione della carta di Carratori et al. (1991) per localizzare eventuali cave storiche o rinvenimenti archeologici situati nei pressi di noti siti di estrazione. Inoltre, le informazioni già registrate sono state implementate utilizzando i nuovi e più precisi dati geomorfologici ottenuti tramite rilievo Lidar. Similmente, è stata riportata la posizione di aree di estrazione indicate da fonti scritte.

Le evidenze così individuate sono state poi verificate tramite ricognizioni di superficie effettuate con l'obiettivo di documentare eventuali tracce di estrazione, la morfologia dei siti di cava e di campionare il materiale estratto. I campionamenti sono stati effettuati sugli affioramenti ritenuti significativi anche in mancanza di chiari fronti di cava, al fine di raccogliere una serie di litotipi che fosse il più possibile rappresentativa dei materiali osservati in opera nelle strutture cittadine.

In questa prima fase di studio e costruzione della litoteca digitale, è stato selezionato un totale di 17 campioni (fig. 1) tutti situati in prossimità di possibili siti di estrazione antichi. I campioni prelevati in affioramento sono stati caratterizzati tramite analisi minero-petrografica in sezione sottile condotta tramite microscopio ottico polarizzatore, al fine di definire le

² Regione Toscana – DB_GEOLOGICO, Servizio WMS della Regione Toscana (Sistema Informativo Territoriale ed Ambientale) per la consultazione dei dati relativi al Database Geologico regionale.

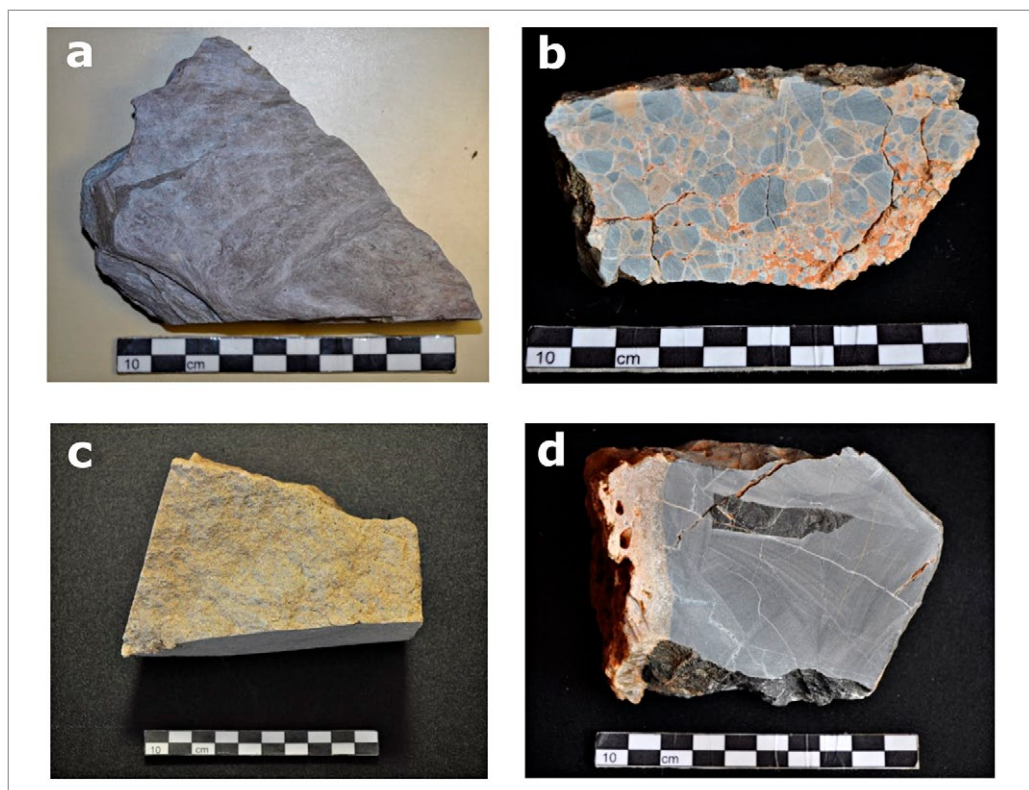


fig. 2. caratteristiche dei campioni a mano: a) Filladi viola (S5); b) Breccia di Agnano (S9); c) Quarziti verdi di Crespignano (S1); d) Calcare a Rhaetavicula contorta (S8).

caratteristiche tessiturali e composizionali dei litotipi. Una breve descrizione petrografica è disponibile all'interno del database, corredata di documentazione fotografica. La distribuzione degli elementi chimici caratteristici dei litotipi è stata determinata tramite mappatura 2D in fluorescenza a raggi X portatile (pXRF Elio, Bruker ©), che consente una caratterizzazione geochemica non distruttiva e rapida, a supporto dell'identificazione del litotipo alla scala del campione a mano e della possibile discriminazione su base geochemica di litotipi simili ma provenienti da cave e affioramenti diversi.

3.2 Il sistema di schedatura

Il catalogo digitale contiene dati di diversa natura e in vari formati. I campioni sono identificati tramite un ID univoco, uno *shapefile* contiene le coordinate dei singoli campionamenti, associate alle informazioni geologiche dedotte dalla cartografia regionale. Le foto generali e di dettaglio dei campioni prelevati sono disponibili separatamente così come un database che contiene le caratteristiche autoptiche del campione a mano e la descrizione petrografica (fig. 2, fig. 3 e fig. 4). Le immagini delle sezioni sottili al microscopio sono rese disponibili nel dataset così come le mappe geochemiche ottenute tramite XRF portatile in formato JPG (fig. 5).

4. Conclusioni

La pubblicazione dei dati grezzi, prodotti nell'ambito di ricerche di più ampio respiro, può servire da stimolo per il dibattito sulla condivisione e normalizzazione dei dati aperti

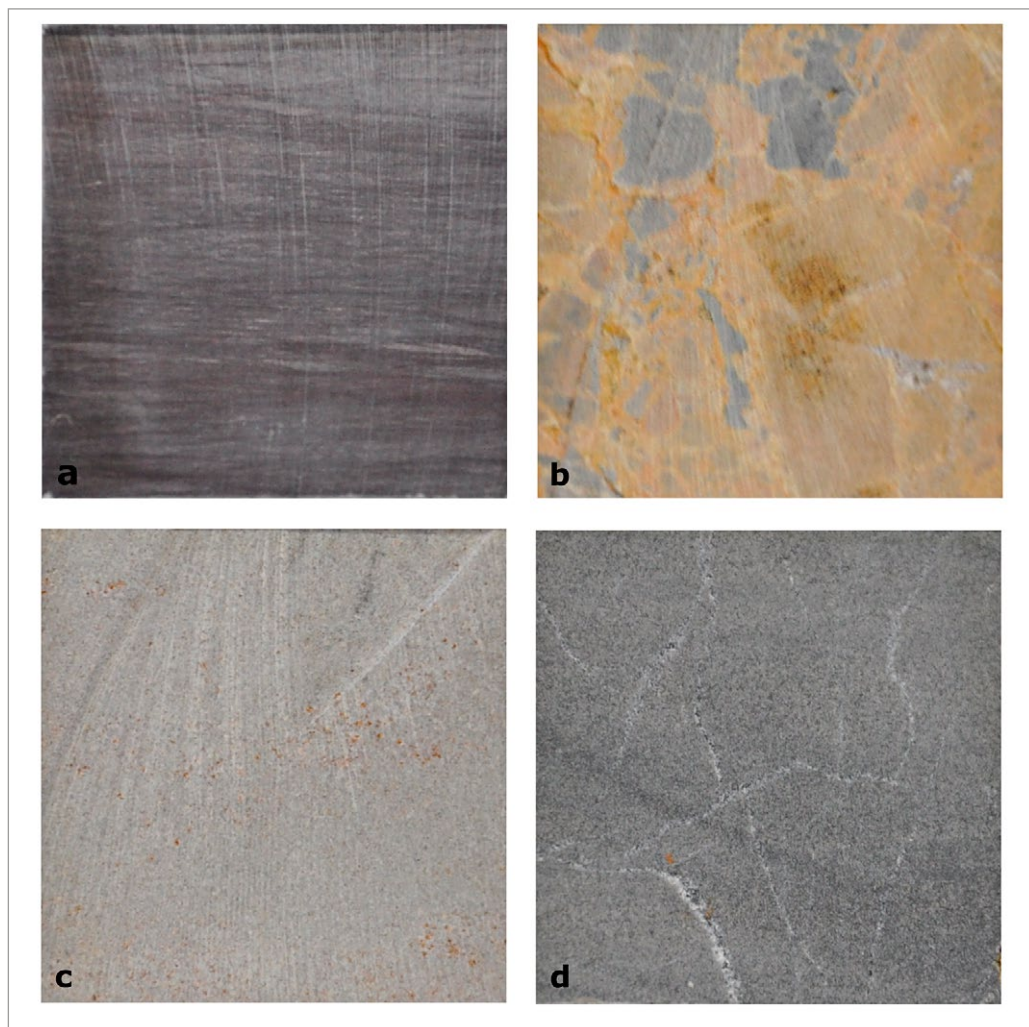


fig. 3. Foto macroscopica dei campioni, ogni immagine corrisponde a una superficie di materiale di 2cm di lato: a) Filladi viola (S5); b) Breccia di Agnano (S9); c) Quarziti verdi di Crespignano (S1); d) Calcare a Rhaetavicula contorta (S8).

nell'ambito degli studi sui materiali. L'uso diffuso di strumenti portatili per la caratterizzazione dei materiali lapidei in situ ha infatti promosso la creazione di numerosi dataset che spesso rimangono parzialmente non pubblicati. Rendendo disponibili i dati analitici si favorisce una migliore comprensione del processo scientifico, garantendo una totale trasparenza dell'elaborazione interpretativa. I dati raccolti con strumentazioni specifiche, disponibili nelle strutture universitarie, vengono così messi a disposizione dell'intera comunità scientifica, permettendo l'accesso al dato geochimico e petrografico anche a chi non ha la possibilità di generare direttamente questo tipo di informazione. La condivisione dei dati archeometrici ed ambientali permette inoltre di consolidare il profilo interdisciplinare delle ricostruzioni storico-archeologiche, sottolineando ancora una volta come le storie delle comunità umane siano intrecciate alle storie dei territori. Il dataset presentato in questo lavoro appare come uno strumento scalabile, il primo nucleo di un sistema implementabile che potrà essere arricchito tramite la produzione di nuove informazioni. Il set si compone di dati di diversa natura che,

nell'insieme, forniscono un riferimento completo per un approccio multi-analitico ai materiali archeologici. Il dato grezzo si rende quindi particolarmente fruibile in quanto permette di esplorare le diverse caratteristiche chimico-fisiche dei materiali e offre un confronto per studi effettuati con svariati strumenti analitici.

Questo studio si configura quindi come la prima sezione di un atlante analitico delle materie prime lapidee e uno strumento di lavoro utile allo studio dei materiali lapidei impiegati nelle architetture storiche.

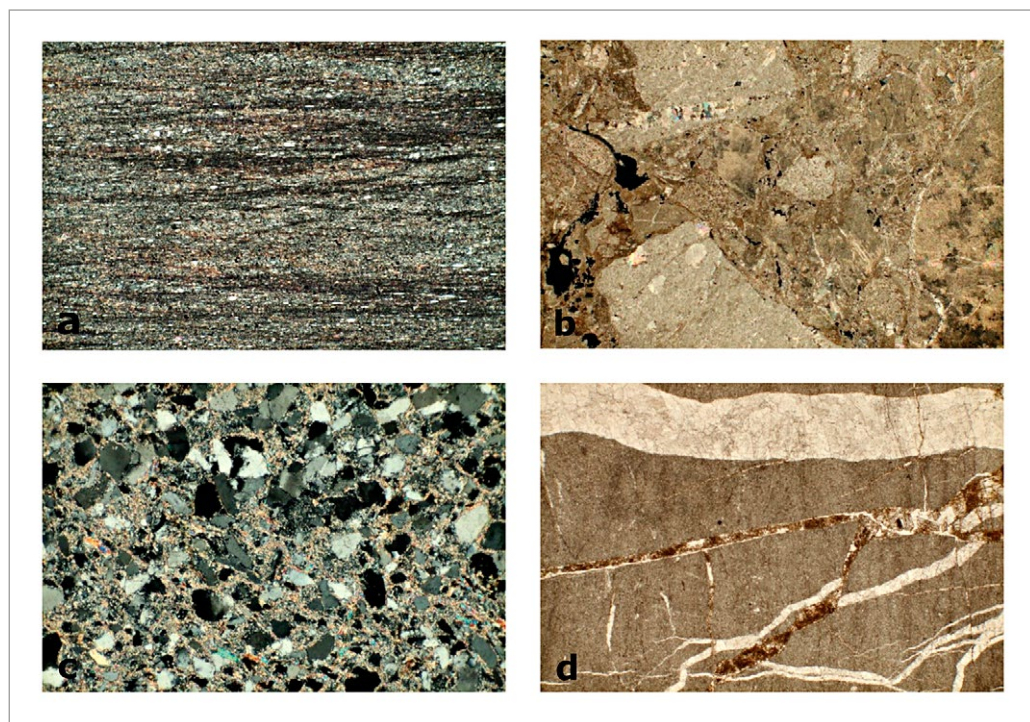


fig. 4. Campioni in sezione sottile: a) Filladi viola (S5, foto lato lungo, 2.5 mm); b) Breccia di Agnano (S9, foto lato lungo, 11 mm); c) Quarziti verdi di Crespignano (S1, foto lato lungo, 1.8 mm); d) Calcare a Rhaetavicula contorta (S8, foto lato lungo, 11 mm);

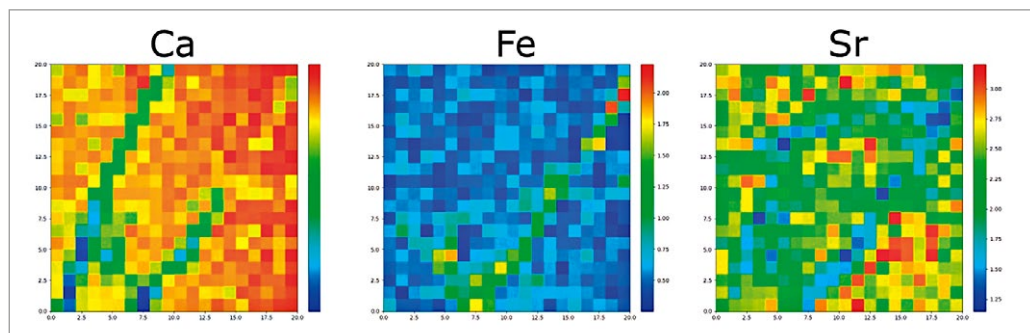


fig. 5. Mappe chimiche in falsi colori (RGB), Calcare a Rhaetavicula contorta (S8), area 2x2 cm.

Bibliografia

- Anichini, F., Dubbini, N., Fabiani, F., Gattiglia, G., & Gualandi, M. L. (a cura di) (2012). *MAPPa Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico. Volume I*. Edizioni Nuova Cultura.
- Anichini, F., Dubbini, N., Fabiani, F., Gattiglia, G., & Gualandi, M. L. (a cura di) (2013). *MAPPa Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico. Volume II*. Edizioni Nuova Cultura.
- Aquino, A., Pagnotta, S., Polese, S., Tamponi, M., & Lezzerini, M. (2020). Panchina Calcarene: A Building Material from Tuscany Coast. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 609. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012077>
- Fabiani, F., Genovesi, S., Basile, S., Campus, A., Caroti, A., Galli, L., Pace, G., Sala, F., Sorrentino, G., & Tacco-
la, E. (2021). Pisa Progetto Suburbio: L'Area Scheibler La campagna di scavo 2020. *FOLD&R FastiOnLine documents & research*, 501.
- Bini, M., Rossi, V., Amorosi, A., Pappalardo, M., Sarti, G., Noti, V., Capitani, M., Fabiani, F., & Gualandi, M. L. (2015). Palaeoenvironments and palaeotopography of a multilayered city during the Etruscan and Roman periods: Early interaction of fluvial processes and urban growth at Pisa (Tuscany, Italy). *Journal of Archaeological Science*, 59, 197-210. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.04.005>
- Bruni, S. (1995). Prima dei miracoli. Aspetti e problemi dell'insediamento antico nell'area della Piazza del Duomo, in *Storia ed arte nella Piazza del duomo. Conferenze 1992-1993, Opera della Primaziale pisana. Quaderni* (4, pp. 163-195). Bandecchi e Vivaldi.
- Bruni, S., & Cosci, M. (2003). «Alpheae veterem contemptor originis urbem, quam cingunt geminis Arnus et Ausur aquis». Il paesaggio di Pisa etrusca e romana: Materiali e problemi. In S. Bruni (a cura di) *Il porto urbano di Pisa Antica: la fase Etrusca in contesto e il relitto Ellenistico* (pp. 29-43). Silvana Editoriale.
- Carratori L., Ceccarelli Lemut M.L., Frattarelli Fischer L., Garzella G., Grifoni Cremonesi R., Mazzanti R., Morelli P., Pasquinucci M., Pescagliani Monti R., Pult Quaglia A.M., Rau A., Ronzani M., & Tozzi C. (1991) Carta degli elementi naturalistici e storici della Pianura di Pisa e dei rilievi contermini, scala 1:50000. In Mazzanti R (a cura di), *La pianura di Pisa e i rilievi contermini la natura e la storia. Memorie della Società Geografica Italiana* (50, p. 491). Società geografica italiana.
- Donati, F. (1988). Ancora un caso di reimpiego a Pisa dal nuovo Museo dell'opera del Duomo. *Studi Classici e Orientali*, 37, 521-525.
- Donati, F., & Parra, M. C. (1983). Pisa e il reimpiego "laico": La nobiltà di sangue e d'ingegno e la potenza economica. In B. Andreae & S. Settis *Colloquio sul reimpiego dei sarcofagi romani nel Medioevo* (pp. 103-119). Philipps Universitaet.
- Donati, F., Genovesi, S., & Pasini, D. (2020). Una fattoria sulla via di Gello. Rilettura di un contesto nel suburbio settentrionale di Pisa (metà II sec. AC-V sec. DC). In F. Cantini, F. Fabiani, M. L. Gualandi, & C. Rizzitelli (a cura di), *Le case di Pisa. Edilizia privata tra età romana e Medioevo* (pp. 75-84). All'Insegna del Giglio.
- Fabiani, F., & Sorrentino, G. (2020). Via Caruso-ex Area Scheibler. Una villa affacciata sull'Auser? In F. Cantini, F. Fabiani, M. L. Gualandi, & C. Rizzitelli (a cura di), *Le case di Pisa. Edilizia privata tra Età romana e Medioevo* (pp. 85-90). All'Insegna del Giglio.
- Fabiani, F., Basile, S., Campus, A., & Clemente, G. (2018). Indagini archeologiche alle Terme "di Nerone" a Pisa: Ricerca, didattica, valorizzazione. *FOLD&R FastiOnLine documents & research*, 410, 1-19.
- Fabiani, F., Marcia, F. G., & Gualandi, M. L. (2013). 10. Dai metodi alla storia: Pisa in età romana e tardoantica. In F. Anichini, N. Dubbini, F. Fabiani, G. Gattiglia, & M.L. Gualandi (a cura di). *MAPPa Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico* (II, pp. 161-193). Edizioni Nuova Cultura.
- Febbraro, M. (2011). Prima della Cattedrale. Un contributo alla conoscenza dell'architettura altomedievale a Pisa. In A. Alberti & E. Paribeni (a cura di), *Archeologia in Piazza dei Miracoli. Gli scavi 2003-2009* (pp. 551-570). Edizioni ETS.
- Franzini, M., & Lezzerini, M. (1998). Le pietre dell'edilizia medievale pisana e lucchese (Toscana occidentale). 2. I calcari selciferi del Monte Pisano. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A*, 105, 1-8.
- Franzini, M., & Lezzerini, M. (2002). The stones of medieval buildings in Pisa and Lucca (western Tuscany, Italy). 4 - Agnano breccias from Mt. Pisano. *European journal of mineralogy*, 14(2), 447-451.
- Franzini, M., & Lezzerini, M. (2003). The stones of medieval buildings in Pisa and Lucca provinces (western Tuscany, Italy). 1 - The Monte Pisano marble. *European Journal of Mineralogy*, 15(1), 217-224.
- Franzini, M., Gioncada, A., & Lezzerini, M. (2007). Le pietre dell'edilizia medievale Pisana e Lucchese (Toscana Occidentale). 5 - La maiolica e il nummulitico della bassa valle del fiume Serchio. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A*, 112, 9-19.
- Franzini, M., Lezzerini, M., & Mannella, L. (2001). The stones of medieval buildings in Pisa and Lucca (western Tuscany, Italy). 3-Green and white-pink quartzites from Mt. Pisano. *European Journal of Mineralogy*, 13(1), 187-195.
- Garzella, G. (1990). *Pisa com'era: Topografia e insediamento: Dall'impianto tardoantico alla città murata del secolo XII* (Vol. 6). Liguori.

- Gattiglia, G. (2013). *MAPPA, Pisa medievale: Archeologia, analisi spaziali e modelli predittivi*. Edizioni Nuova Cultura.
- Gély, J.-P. (2021). Building stone through the centuries: The 'Paris stone' versus the 'Oise stone' (France). In C. Sciuto, A. Lamesa, K. Whitaker, & A. Yamaç (a cura di), *Carved in Stone. The archaeology of rock-cut sites and quarries*. BAR Publishing.
- Giannini E., & Nardi R. (1964). *Carta geologica della zona nord-occidentale del Monte Pisano e dei Monti d'Oltre Serchio, scala 1:25000*. Litografia Artistico Cartografica.
- Lezzerini, M. (2005). Mappatura delle pietre presenti nella facciata della chiesa di San Frediano (Pisa, Italia). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A., 110*, 43-50.
- Lezzerini, M., Pagnotta, S., Legnaioli, S., & Palleschi, V. (2019). Walking in the Streets of Pisa to Discover the Stones Used in the Middle Ages. *Geoheritage*, 11(4), 1631-1641. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00372-3>
- Menchelli, S., Baronti, T., & Sangriso, P. (2020). Gli scavi in via Galluppi. In F. Cantini, F. Fabiani, M. L. Gualandi, & C. Rizzitelli (a cura di), *Le case di Pisa. Edilizia privata tra Età romana e Medioevo* (pp. 57-64). All'Insegna del Giglio.
- Paribeni, E., Parodi, L., Genovesi, S., Mani, F., Stiaffini, D., & Alberti, A. (2011). Un quartiere residenziale di Pisa romana (Periodo II). In E. Paribeni & A. Alberti (a cura di), *Archeologia in Piazza dei Miracoli. Gli scavi 2003-2009* (pp. 71-166). Felici Editore.
- Parra, M. C. (1983). Rimeditando sul reimpiego: Pisa e Modena viste in parallelo. *Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa. Classe di Lettere e Filosofia*, 13, 453-483.
- Pasquinucci, M. (1995). Colonia Opsequens Iulia Pisana: Qualche riflessione sulla città ed il suo territorio. *Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa. Classe di Lettere e Filosofia*, 25(1/2), 311-317.
- Pasquinucci, M., & Menchelli, S. (2008). Pisae and its suburbium: Looking for the ancient landscapes in the urban periphery. In J. Poblome & H. Vanhaverbeke (a cura di), *Dialogue with Sites. The definition of the Space at the Macro and Micro Level in Imperial Times*. Brepols.
- Pruno, E. (2018). *Cave e petriere nell'Amiata occidentale. Lo sfruttamento delle risorse lapidee per la produzione edilizia medievale*. All'Insegna del Giglio.
- Ramacciotti, M., Spampinato, M., & Lezzerini, M. (2015). The building stones of the apsidal walls of the Pisa's Cathedral. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A., 122*, 55-62.
- Rau A., & Tongiorgi M. (1972) *Carta geologica dei Monti Pisani a sud-est della Valle del Guappero, scala 1:25000*. Litografia Artistico Cartografica.
- Redi, F. (1991). *Pisa com'era: Archeologia, urbanistica e strutture materiali (secoli V-XIV)*. Liguori Editore.
- Rizzitelli, C., & Fabiani, F. (2020). Area dell'Arcivescovado. La ricomposizione di contesti residenziali da vecchi e nuovi scavi. In F. Cantini, M. L. Gualandi, F. Fabiani, & C. Rizzitelli (a cura di), *Le case di Pisa. Edilizia privata tra età romana e Medioevo* (pp. 39-48). All'Insegna del Giglio.
- Segenni, S. (2003). Pisa in età romana. Le fonti letterarie ed epigrafiche. In M. Tangheroni (a cura di) *Pisa e il Mediterraneo. Uomini, merci, idee dagli Etruschi ai Medici* (pp. 87-91). Skira
- Settis, S. (a cura di). (1992). *Capitelli di mitologia. Da un tempio romano alla chiesa di San Felice in Pisa*. Pacini.
- Tedeschi Grisanti, G. (1990). I marmi romani di Pisa. Problemi di provenienza e di commercio. In E. Dolci (a cura di), *Il marmo nella civiltà romana. La produzione e il commercio* (pp. 116-125). Internazionale Marmi e Macchine Carrara.
- Tedeschi Grisanti, G. (1995). Il reimpiego di materiali di età classica. In A. Peroni (a cura di), *Il Duomo di Pisa* (pp. 153-164). Panini.
- Tedeschi Grisanti, G. (2007). Marmi lunensi di età romana reimpiegati a Pisa durante l'Alto Medioevo. In *Ante et post Lunam. Reimpiego e ripresa estrattiva dei marmi apuani* (pp. 29-33). Tipografia Graficatre.
- Tumbiolo, G. (2020). I materiali lapidei dell'edilizia abitativa pisana tra X e XIII secolo. In F. Cantini, M. L. Gualandi, F. Fabiani, & C. Rizzitelli (a cura di), *Le case di Pisa. Edilizia privata tra età romana e Medioevo* (pp. 157-166). All'insegna del giglio.