

El coste de la construcción medieval

Materiales, recursos y sistemas constructivos
para la petrificación del paisaje entre
los siglos XI y XIII

Rocío Maira Vidal y Ana Rodríguez (eds.)



El coste de la construcción medieval

El coste de la construcción medieval

Materiales, recursos y sistemas constructivos
para la petrificación del paisaje
entre los siglos XI y XIII

Edición a cargo de
ROCÍO MAIRA VIDAL
ANA RODRÍGUEZ

Este libro se ha desarrollado en el marco del proyecto «Petrifying Wealth. The Southern European Shift to Masonry as Collective Investment in Identity, c. 1050-1300» del CCHS-CSIC Instituto de Historia, financiado por el programa de investigación e innovación *Horizonte 2020* de la Unión Europea bajo el acuerdo n.º 695515.



© 2021

Edición a cargo de Rocío Maira Vidal y Ana Rodríguez

Imagen de la portada: «Darius et la reconstruction du temple.»
(Cliché CNRS-IRHT, *Bibliothèques d'Amiens Métropole*, Ms 21 E, fol. 167v.)

ISBN: 978-84-9728-593-3

Depósito legal: M-26005-2021

Maquetación e impresión: Gracel Asociados S.L.L.

Índice

Agradecimientos	ix
Breve biografía de los autores	xi

El estudio de los costes de la arquitectura plenomedieval a partir del análisis de las técnicas constructivas y los recursos utilizados <i>Rocío Maira Vidal</i>	1
---	---

LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LA ARQUITECTURA CRISTIANA EN EL NORTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Evolución constructiva de las iglesias del Valle de Aran pertenecientes al primer románico <i>Sergio Coll Pla</i>	27
--	----

Los costes de la arquitectura eclesiástica en Álava durante los siglos XII-XIII. Una relectura a partir de los materiales, los instrumentos de talla y las innovaciones técnicas <i>Egoitz Alfaro Suescun</i>	49
--	----

Adaptación de templos medievales al uso defensivo en Castilla y León. Análisis constructivo y funcional de las diferentes estrategias identificadas <i>Valentín Arrieta Berdasco</i>	69
---	----

LA CONSTRUCCIÓN CRISTIANA AL SUR DEL DUERO

Sistema constructivo y costes de la construcción de las murallas medievales en las Comunidades de Villa y Tierra. Comparación de los casos de Coca y Fuentidueña <i>Alicia Sainz Esteban</i>	95
---	----

Valor y precio del ladrillo medieval: consideraciones sobre la producción del ladrillo y su empleo en torres mudéjares al sur del Duero <i>Elena Merino Gómez</i>	121
--	-----

DE LA CONSTRUCCIÓN ANDALUSÍ A LA ARQUITECTURA DE RECONQUISTA.
LA TRANSFORMACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS
EN EL SUR DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Cambio y ruptura en la arquitectura monumental andalusí durante el siglo XI: de la cantería al tapial	
<i>Pedro Gurriarán Daza</i>	143

Diseño, estandarización y costes en la construcción de las parroquias medievales cordobesas	
<i>Antonio J. García Ortega</i>	165

MATERIALES, CANTERAS Y RECURSOS EMPLEADOS
EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SUR DE EUROPA

Les marbres et les calcaires de la façade de l'abbatiale romane de Saint-André-de-Sorède (sud du Roussillon). Sources, emplois et réemplois	
<i>Pierre Giresse, Caroline de Barrau et Philippe Bromblet</i>	187

10. Costruire a Siena tra XII e XIII secolo: cantieri, costi e materiali	
<i>Marie-Ange Causarano</i>	207

LA CONSTRUCCIÓN Y LOS MEDIOS AUXILIARES EN LA ICONOGRAFÍA MEDIEVAL

La iconografía medieval en el estudio de los medios auxiliares en la construcción: materiales, herramientas y oficios	
<i>Lorena Fernández Correas</i>	231

CONCLUSIONES

Para seguir reflexionando. Notas de historia social y cultural	
<i>Pascual Martínez Sopena</i>	251

Costruire a Siena tra XII e XIII secolo: cantieri, costi e materiali

Marie-Ange Causarano
Università di Padova

Siena si trova al centro di un vasto paesaggio collinare, tra le valli dei fiumi Arbia a sud, Merse a sud-ovest ed Elsa a nord, i sistemi collinari del Chianti a nord-est, della Montagnola Senese ad ovest e delle Crete Senesi a sud-est. Il paesaggio della città è caratterizzato da una geomorfologia complessa, assimilabile a una sorta di «altopiano» i cui bordi sono marcati da profonde anse di erosione (figura 1). Vi si possono identificare tre crinali principali, uniti a formare una Y in corrispondenza del punto di incontro dei tre «terzi» o «terzieri» (Terzo di Città, di Camollia e di San Martino¹) nei quali fin dal medioevo era suddivisa la città (figura 2), che convergono a formare la collina di Siena nella zona di Castelvecchio, l'area di più antico insediamento urbano insieme al colle del Duomo².

Tra la seconda metà dell'XI e per tutto il XII e XIII secolo Siena si sviluppa rapidamente. La città è attraversata da una strada di grande importanza, la via Francigena, che ne favorisce lo sviluppo demografico, economico e politico³. Al più antico nucleo urbano, formato dai colli di Castelvecchio e del Duomo – la *civitas* di età romana e altomedievale che fino all'XI secolo era ancora racchiusa dall'antico *murus Communis* –, si affiancano nuovi borghi. Nel corso del XII secolo, infatti, sebbene il cuore della città sia ancora la *civitas* vescovile, il fulcro dello sviluppo si sposta velocemente verso valle, in particolare, nei borghi sorti a nord lungo la Francigena già nella seconda metà dell'XI secolo e fortifi-

cati nel corso del XII (figura 3), dove trovano sede, oltre alle principali magistrature comunali, anche le dimore di buona parte delle maggiori famiglie consolari e, successivamente, di molti casati mercantili-bancari. La loro presenza qualifica lo spazio e il tessuto edilizio del cuore della città: sul piano architettonico e topografico, infatti, gli elementi che definiscono lo spazio urbano sono rappresentati non solo dalle strutture delle istituzioni religiose e laiche che governano la città ma anche da tutta una serie di edifici privati a carattere monumentale, tra i quali spiccano le residenze dei grandi casati egemoni della vita politica ed economica di Siena⁴. La città del XII secolo, come quella del XIII, si staglia sempre più sulle campagne circostanti per la verticalità del costruito che domina il paesaggio urbano, quello dei campanili delle chiese e, soprattutto, quello delle torri e delle case torri dei ceti dominanti, improntate alla difesa personale e all'affermazione del prestigio e del potere di famiglia, segno tangibile del ruolo politico, economico e sociale raggiunto dalle élites laiche all'interno dello scacchiere cittadino (figura 4).

All'interno di una più ampia riflessione sui processi produttivi legati all'«industria del costruire» nella realtà socio-economica e politica di Siena tra XII e XIII secolo, è difficile inquadrare, se non in via del tutto ipotetica, le dimensioni, l'organizzazione e la quantità di materiale impiegato nei principali cantieri attivi in città: ci concentreremo quin-



Figura 1. Immagine area di Siena.

di su alcuni casi di studio, analizzandone il ciclo costruttivo, in particolar modo le modalità e i costi di approvvigionamento dei principali materiali impiegati (pietra, marmo, laterizi). Per il XII secolo,



Figura 2. I tre terzi in cui è suddivisa la città. (Piattaforma GIS di Siena, LIAAM, Università di Siena)



Figura 3. Il tracciato del circuito murario di Siena tra la fine del XII e l'inizio del XIII secolo: 1. il Campo; 2. Duomo; 3. Ospedale di Santa Maria della Scala; 4. Porta Camollia; 5. Porta Ovile; 6. Porta Pispiri; 7. Porta Nuova o Romana; 8. Porta Tufi; 9. Porta San Marco; 10. Porta Laterina; 11. Porta Fontebrandia; 12. Porta dei Canonici. (Piattaforma GIS di Siena, LIAAM, Università di Siena)

in mancanza di fonti scritte specifiche, i dati in nostro possesso si basano essenzialmente sulla tipologia e le analisi dimensionali condotte sulla «pietra da torre» impiegata nell'edilizia civile e nel cantiere della cattedrale; per il XIII secolo, invece, gli studi incrociati tra la documentazione scritta – in particolare i registri della magistratura finanziaria senese della *Biccherna* (conservati a partire dal 1226/27) e dell'Opera di Santa Maria, l'organismo che dalla metà del Duecento è preposto alla gestione della costruzione del duomo – e i dati provenienti dalle indagini archeologiche sui materiali costruttivi (laterizi e «marmi»), hanno fornito importanti indizi per comprendere, anche da un punto di vista quantitativo e di costi, l'intreccio tra committenza, strutture del cantiere e maestranze all'opera nelle fabbriche del complesso episcopale.



Figura 4. La torre dei Gallerani.

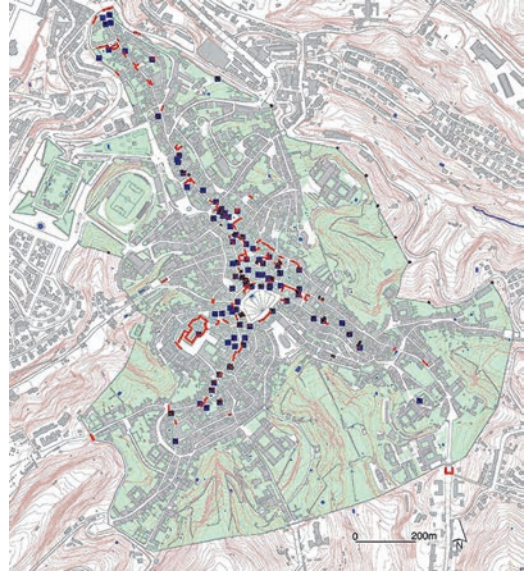


Figura 5. Mappatura dei materiali impiegati negli edifici di epoca medievale e rinascimentale a Siena. In rosso, le facciate censite (Quast 2006), in blu, le torri e le architetture in «pietra da torre» databili fra XI e XV secolo. (Piattaforma GIS di Siena, LIAAM, Università di Siena)

L'EDILIZIA CIVILE E RELIGIOSA SENESE IN «PIETRA DA TORRE»

Per tutto il XII e parte del XIII secolo, i materiali lapidei con cui vengono costruiti i principali edifici senesi sono il Calcere Cavernoso e la Breccia di Grotti, rocce calcaree divenute a tal punto rappresentative di questa stagione edilizia da essere chiamate ancora oggi «pietra da torre».

Gli edifici in «pietra da torre» – torri, casertori e dimore signorili fortificate (i cosiddetti *castellari*, ‘isole’ nobiliari interne alla città) – sono compresi, nella quasi totalità dei casi, entro la cerchia muraria ampliata tra la seconda metà del XII e gli inizi del XIII secolo (figura 5). L'aspetto della città doveva essere ancora abbastanza irregolare, con «diverse e improvvise intensità del costruito, un tessuto debole con aggregati forti», come è stato osservato (Gabrielli 2010, 14), in cui la pietra giocava un ruolo importante nello sviluppo di tutte quelle tipologie edilizie che contribuirono a modellare il volto di una città in continua espansione. Rappresentative del potere

delle élites signorili, queste strutture esaltavano una «ideologia della verticalità» (Le Goff 1982, 27) che entrerà in crisi nella seconda metà del Duecento a vantaggio di nuove forme dell'abitare, i ‘casamenti’ e i palazzi delle famiglie di origine mercantile, privi di connotati fortificati ed espressione dei valori di rappresentatività sociale del nuovo ceto magnatizio al governo (Balestracci e Piccini 1971, 96-99).

Oltre all'edilizia signorile, in pietra è realizzato anche il primo grande ampliamento delle mura urbane e, sempre in pietra, è costruito il cosiddetto Ponte Nuovo, importante opera edilizia degli ultimi decenni del XII secolo che, scavalcando la ripida via di Fontebranda, permetteva il collegamento diretto tra la zona sottostante la cattedrale e le aree urbane maggiormente interessate dallo sviluppo insediativo.

La presenza della pietra caratterizza anche il complesso episcopale: sia l'antica cattedrale di fine X-XI secolo che il grande ampliamento in *ecclesia maior* a croce latina (figura 6) con campanile turriforme, iniziato a metà XII secolo, sono realizzati in pietra calcarea; sempre in conci di calcare viene inoltre edifi-



Figura 6. Particolare del pilastro d'angolo, in pietra, del transetto della chiesa di XII secolo.

cato anche il primo nucleo dell'ospedale di Santa Maria della Scala (figura 7) e, presumibilmente, l'originario palazzo del vescovo.

Materiale da costruzione predominante nell'edilizia cittadina del XII secolo, dunque, la «pietra da torre» continua ad avere un ruolo importante per gran parte del Duecento, soprattutto nell'edilizia privata dove viene spesso impiegata per il rivestimento delle facciate, quale risultato di una precisa scelta estetica⁵: sebbene, infatti, in questo periodo si affermi sempre più l'uso del laterizio, da solo o in combinazione con la pietra, a quest'ultima spetta ancora il 'posto d'onore' nella scala di valore dei materiali. Molte tra le case di rango elevato ed i palazzi duecenteschi di Siena, infatti, hanno le facciate in pietra



Figura 7. La parete in pietra del più antico pellegrinaio del Santa Maria della Scala, con il portico antistante.

mentre i prospetti laterali vengono realizzati con i più economici mattoni⁶; oppure la parte inferiore della facciata è in pietra mentre il mattone è 'relegato' ai piani superiori (figura 8). Dalla seconda metà del Duecento e, con maggiore evidenza, dall'inizio del Trecento, la «pietra da torre» appare sempre meno nelle costruzioni, spesso impiegata come materiale di riuso, a vantaggio della vasta diffusione del laterizio, divenuto ormai il materiale predominante nel tessuto urbano in rapida espansione (Causarano 2015)⁷.



Figura 8. La casa-torre dei Rinuccini.

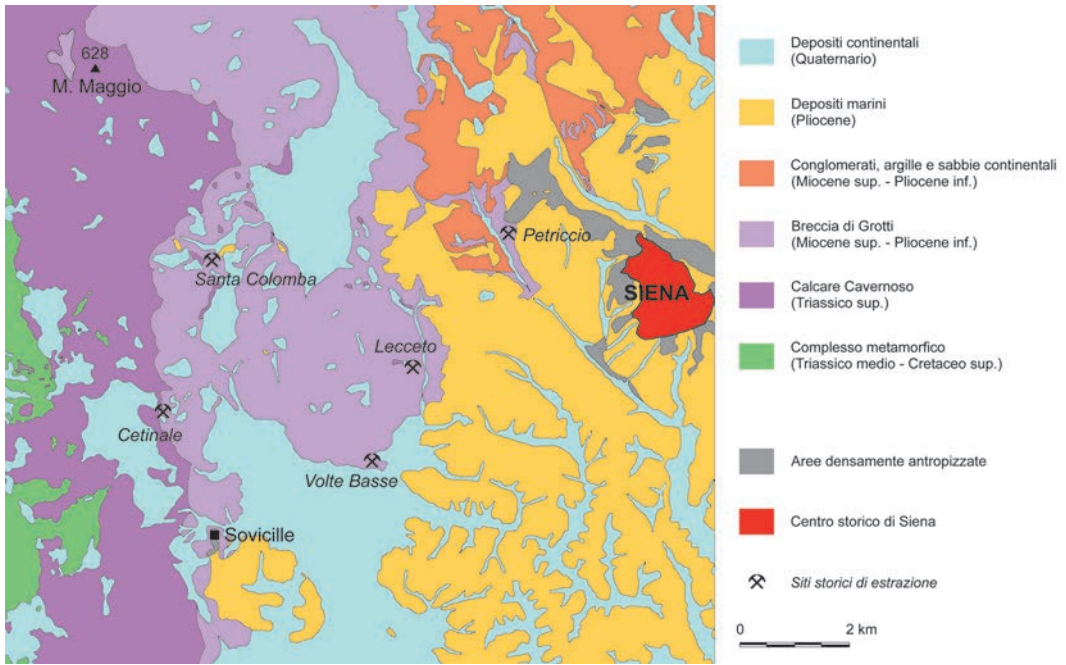


Figura 9. Carta geologica dell'area a sud di Siena (rielaborazione dalla Carta Geologica Regionale 1:25.000, 2003), con indicazioni delle principali località storiche di approvvigionamento della «pietra da torre» per l'edilizia senese. (Gandin et al. 2008)

L'area principale di approvvigionamento del calcare si trovava nei rilievi orientali della Montagnola Senese, una zona a morfologia collinare con valli non molto profonde e rilievi piuttosto dolci, situata pochi chilometri a occidente della città⁸. In quest'area affiorano litologie appartenenti a tre distinte Unità (figura 9): 1) l'Unità di Monticiano-Roccastrada costituita da litologie silicoclastiche e carbonatiche di età mesozoica interessate da metamorfismo di basso grado; 2) la Falda Toscana, non metamorfica, rappresentata essenzialmente dal Calcare Cavernoso, un calcare brecciforme con superficie spugnosa; 3) sedimenti neogenici costituiti da: a) breccie a prevalenti elementi di Calcare Cavernoso e argille, sabbie e conglomerati/brecciole fluvio-lacustri del Miocene superiore-Pliocene inferiore; b) sabbie più o meno litificate, argille e conglomerati marini di età pliocenica; c) depositi continentali del Pleistocene-Olocene (Giannini e Lazzarotto 1970; Liotta 2002; Gandin et al. 2000).

Le cave di «pietra da torre» (figura 10) erano situate principalmente nella parte orientale della Montagnola Senese o nelle immediate vicinanze (Montor-

giali, Castagneto, Sovicille, Montalbuccio, Stigliano, Santa Colomba e Cetinale, fino a Petriccio). La maggior parte del calcare impiegato in età medievale a Siena proveniva probabilmente dalle zone più vicine alla città, in particolare dalle località di Montalbuccio e Petriccio, o nelle vicinanze di Lecceto, di Ponte allo Spino e nell'area tra Toiano e le Volte Basse (Parenti 1995, 97).

Alla relativa vicinanza della quasi totalità dei siti di approvvigionamento non corrispondeva tuttavia un'analoga facilità di trasporto: il territorio senese, infatti, non solo è privo di corsi d'acqua navigabili ma era anche caratterizzato dalla presenza di pochi percorsi carribili, spesso difficoltosi, tanto che le fonti scritte attestano fin dall'inizio del Duecento il quasi esclusivo utilizzo di animali da soma per il trasporto del materiale da costruzione, scelta che obbligava a frazionarne il peso in carichi di massimo 100-130 kg, con il conseguente incremento dei prezzi⁹.

Nelle torri e nelle dimore signorili del XII e XIII secolo, la «pietra da torre» è impiegata sempre in conci più o meno accuratamente squadrate, di nuova

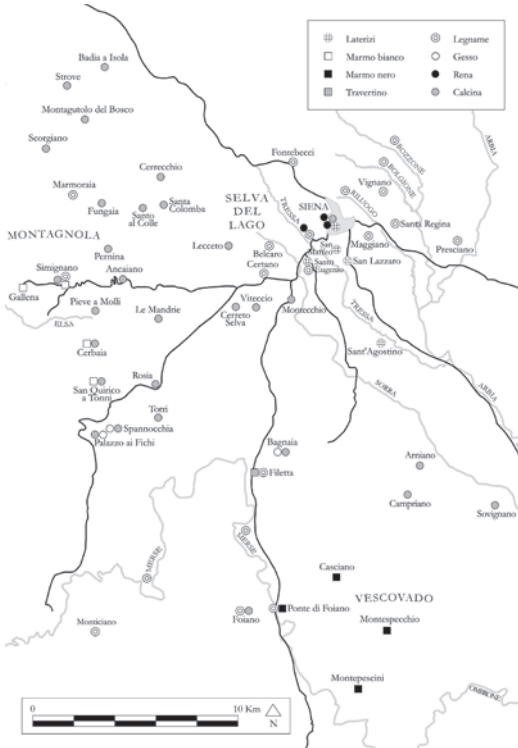


Figura 10. I luoghi di provenienza dei materiali utilizzati durante la costruzione della cattedrale. (Giorgi, Moscadelli 2005)

estrazione, posti in opera su filari ben orizzontati, in murature che erano destinate a rimanere a vista (figura 11). A Siena, la pratica del reimpiego di materiale antico è documentata raramente: tra le poche eccezioni, una torre del XII secolo posta all'ingresso di via Montanini (figura 12) che ingloba parte di un arco romano (l'arco di San Donato) e riutilizza blocchi di muratura in opera laterizia, in cocciopesto e in travertino (Pansini 2012; Pansini 2021) la torre dei Forteguerri, situata all'angolo tra via di Città e piazza della Postierla, anch'essa del XII secolo, che reimpiega nelle fondazioni materiale di epoca romana in grossi blocchi rettangolari di travertino, calcestruzzo e conglomerato, e la torre posta all'angolo del vicolo di accesso al castellaire degli Uguerri, in via Cecco Angiolieri. Al contrario, il riuso – per ragioni costruttive e politiche – di materiale lapideo proveniente dalla demolizione di edifici di epoca medievale, è ampiamente attestato, come nel caso della torre dei Bisdomini, acquistata nel



Figura 11. Particolare del paramento murario della torre dei Forteguerri.

1307 per «guastarla e far recare le pietre e mattoni» per la costruzione delle fondazioni e della facciata su vicolo di Malborghetto dell'ala dei Nove di Palazzo Pubblico (Brandi 1983, 418-418).

Gli studi finora condotti sui materiali lapidei impiegati nell'edilizia civile senese (Cataldo 2004; Parenti 1995; Parenti 1999) hanno evidenziato l'esistenza di una tendenza produttiva già ben affermata nel XII secolo, quando sul mercato urbano veniva portato materiale con parametri dimensionali tendenzialmente omogenei. Le indagini, infatti, hanno permesso di individuare l'esistenza di tre intervalli dimensionali principali entro i quali si collocano le altezze dei conci di pietra calcarea impiegati nelle torri. Per quanto riguarda le murature databili tra la fine dell'XI e la prima metà del XIII secolo, il gruppo più rappresentativo è compreso tra i 21 ed i 28 cm di altezza, misure che sono attestate nella stragrande maggioranza degli edifici civili medievali della città, con una 'normalizzazione' dei valori talmente diffusa che Roberto Parenti già negli anni '90 del secolo scorso aveva ipotizzato una possibile standardizzazione delle dimensioni delle altezze dei conci in «pietra da torre» (Parenti 1999). Gli altri due gruppi di misure (tra 14 e 21 cm e tra 35 e 44 cm), con percentuali di attestazioni nettamente inferiori al primo gruppo, sono invece attribuibili alla pratica del reimpiego.

Le strutture in Calcare Cavernoso e Breccia di Grotti caratterizzano, come già accennato, anche le fasi costruttive della cattedrale di Santa Maria databili



Figura 12. La torre in via Montanini, con il materiale romano di reimpiego squadrato e spianato a imitazione del paramento murario dell'edificio in cui è inserito.

li tra la metà del XII e l'inizio del XIII secolo, in particolare le murature del coro e del transetto, la facciata posteriore e il campanile: anche in questo caso, sono stati impiegati blocchi di brecce calcaree squadrati e spianati, con misure tendenzialmente regolari e valori dimensionali medi delle altezze raggruppabili tra 18,5 e 23-24 cm (Causarano 2017a, 145).

L'omogeneità dimensionale del materiale lapideo posto in opera sia nell'edilizia civile che in quella religiosa senese del XII secolo è dovuta solo in parte alle caratteristiche dei banchi e all'andamento dei piani preferenziali di divisibilità (i cosiddetti 'versi') dei depositi rocciosi, in base ai quali veniva organizzato il sistema di coltivazione nelle diverse cave (Cagnana 2000, 34). La normalizzazione delle altezze dei blocchi di pietra che arrivavano nei cantieri cittadini ci induce, infatti, a ipotizzare l'esistenza di processi di controllo fin dalla fase di estrazione e, suc-

cessivamente, di prima lavorazione del materiale 'a piè di cava'. In mancanza di specifiche indagini archeologiche sulle cave di calcare della Montagnola Senese, non possiamo però sapere con certezza se la 'coltivazione' della pietra avveniva tramite lo sfruttamento intensivo di un singolo banco roccioso – come nel caso del marmo (vd. *infra*) – oppure se venivano sfruttati, in maniera più o meno continuativa, degli affioramenti superficiali con diversi fronti di cava disseminati sul territorio. In assenza, quindi, di ulteriori dati sull'organizzazione dell'attività estrattiva, per le costruzioni databili al XII secolo non si può ancora parlare di processi di standardizzazione nella produzione del materiale lapideo, come invece avverrà qualche decennio dopo per i marmi.

LA STANDARDIZZAZIONE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE: IL MARMO

Se i cantieri della seconda metà del XII-prima metà del XIII secolo si possono definire in via di specializzazione, con una trasmissione dei saperi tecnici sostanzialmente implicita nel fare, nel corso del XIII secolo l'organizzazione del cantiere edile andò progressivamente specializzandosi verso la standardizzazione e la normalizzazione dei materiali da costruzione, che venivano lavorati prima di giungere in cantiere per essere poi posti in opera.

Nel caso dei «marmi»¹⁰ impiegati, nel terzo quarto del Duecento, nel rivestimento del tamburo della cupola e dei fianchi della cattedrale di Santa Maria si può parlare di vera e propria prefabbricazione del materiale lapideo da costruzione, anche se la documentazione scritta comincia ad attestare tale sistema solo negli anni '20 del secolo seguente. La cattedrale di Siena, a croce latina e a tre navate, con cupola esagonale e coro a terminazione rettilinea, si presenta oggi quasi integralmente rivestita con paramenti marmorei frutto degli ampliamenti della seconda metà del Duecento, del Trecento e delle ultime modifiche seicentesche, che le conferiscono quella bicromia bianco-nera che la caratterizza, unica nel panorama cittadino (figura 13)¹¹.

Nel cantiere del duomo, il marmo è il materiale da costruzione che ha conosciuto il maggior impiego per ampiezza e durata. Come nel caso delle brecce calcaree di cui abbiamo appena parlato, anch'esso proveniva prevalentemente dalla Montagnola



Figura 13. Foto aerea della cattedrale; sullo sfondo, la basilica di San Domenico. (Archivio LAP&T, Università di Siena)

Senese (figura 14): i tre maggiori bacini di estrazione del marmo bianco si trovavano presso Marmorata, Gallena e Montarrenti ma è attestata una distribuzione pressoché continua di cave dismesse, più o meno importanti, da nord a sud lungo tutto il versante occidentale della Montagnola, mentre la zona di approvvigionamento del cosiddetto «marmo nero» (serpentine) era situata intorno a Vescovado di Murlo.

Per questi due materiali l'Opera di Santa Maria interveniva in maniera diretta nelle operazioni di reperimento – tramite acquisizione o affitto di cave –, di trasporto, in genere organizzato in proprio, di lavorazione e adattamento alle esigenze del cantiere. Già all'inizio del Duecento, l'Opera aveva preso in affitto, e successivamente acquistato, numerose cave di marmo bianco, prima nei pressi di San Quirico a Tonni, e dalla metà del Trecento in poi, più a nord presso Cerbaia, Simignano e soprattutto a Gallena. Risalgono, invece, alla fine degli anni Settanta del XIII secolo le prime attestazioni di acquisti di terreni marmiferi e boschivi, destinati a garantire l'approvvigionamento dei «marmi neri» (*marmoribus nigris*), e un certo numero di cave situate in varie località del Vescovado, ubicate prevalentemente nel territorio di Vallerano e presso l'eremo di Montespечchio (figura 10).

Il trasporto a Siena dei marmi estratti dalle cave (*petraie*) dell'Opera era garantito da animali da soma, il cui utilizzo appare sistematico fin dall'inizio del Duecento, come attestano i primi registri conservati (1226/27) della Biccherna. Le fonti disponibili, sebbene scarse, lasciano intravedere come fino oltre

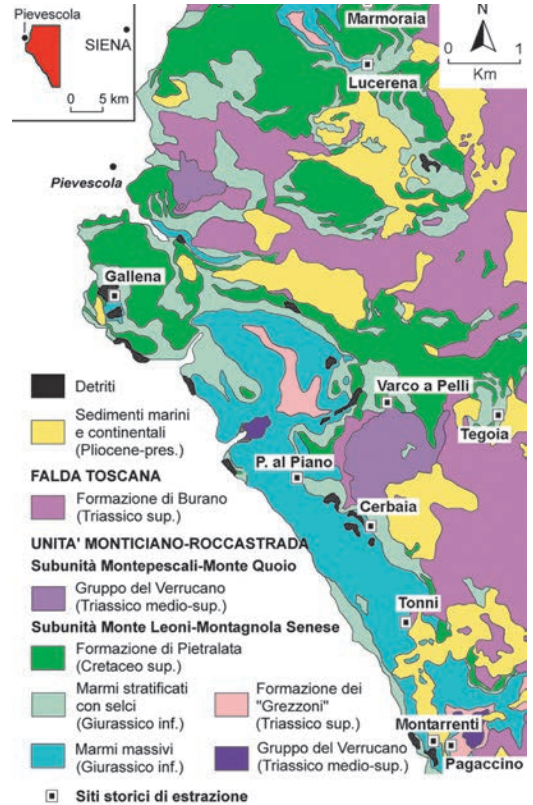


Figura 14. Carta geologica schematica della Montagnola Senese (rielaborazione dalla Carta Geologica d'Italia 1:50.000, foglio 296, Siena) con indicazione delle principali località di riferimento dei siti storici di estrazione dei marmi. (Mugnaini, Giamello, Sabatini 2010)

la metà del secolo il complesso sistema di trasporto dei marmi dalle cave al cantiere della cattedrale fosse sostanzialmente finanziato dal Comune cittadino. Dagli anni '70 in poi, invece, è attestata l'esistenza di un sistema gestito autonomamente dall'Opera, integrato dalla partecipazione delle comunità rurali. Agli inizi del Trecento, infine, i registri di spesa ci testimoniano come i numerosi vetturali impegnati nel trasporto del materiale fossero affiancati da un ristretto gruppo di maestri cavaatori, provenienti in genere da località prossime alle aree di estrazione, che trasferivano dalla *petraia* al cantiere pietre già sbazzate di grandezza presumibilmente omogenea, visto che il loro peso era di norma compreso tra le 230 e le 300



Figura 15. Particolare della loggia della cupola, con il rivestimento marmoreo a fasce alterne.

libbre (80-100 kg) che corrispondeva, in genere, all'entità costante di una soma di 300 libbre (100 kg).

Le spese per il trasporto dei marmi bianchi e della serpentinite conobbero un'evoluzione simile a quella di altri materiali da costruzione, in particolare i laterizi e la calcina, in linea con la crescente richiesta del mercato urbano. Tenendo presente che il costo dei marmi «neri» era mediamente superiore di oltre il 50% rispetto a quello dei bianchi, a fine Duecento la spesa risulta triplicata se paragonata a quella della prima metà del secolo, mentre raggiunge una relativa stabilità durante i primi decenni del Trecento¹².

Gli anni 1259-1260 segnano, infatti, una svolta nella lunga storia dell'evoluzione del duomo di Siena: in pochi mesi si avvicendano proposte e progetti che porteranno a trasformazioni radicali che ne cambieranno completamente l'aspetto e ci consegneranno l'edificio che ancora oggi è in buona parte visibile. Nel giro di pochi decenni la cattedrale romanica viene profondamente modificata, non solo dal punto di vista dei materiali – col passaggio da un impiego

quasi esclusivo della pietra ad un uso massiccio di marmi e laterizi – ma anche nella nuova declinazione stilistica voluta da Nicola e Giovanni Pisano: si costruisce la cupola (1263, figura 15) e, una volta completato il coro, si passa ad ampliare in larghezza il corpo basilicale (1268), rivestendolo, come già fatto per il tamburo della cupola, di fasce alterne di marmi bianchi e «neri». A partire dal 1268, sotto Giovanni Pisano, il corpo basilicale appena terminato viene allungato di una campata e dotato di una nuova facciata (figura 16), completata nel 1314 da Camaino di Crescentino (Causarano 2017a, 77-105).

A questa intensa attività edilizia corrisponde, proprio a partire dalla metà del Duecento, una progressiva specializzazione del cantiere nell'organizzazione delle maestranze e del ciclo costruttivo. Nella documentazione scritta, infatti, cominciano ad apparire espliciti riferimenti ai luoghi dove veniva organizzata la produzione: le cave, dove il materiale lapideo era lavorato sotto la sorveglianza continua di specifici *magistri de petraria* dell'Opera, e il laboratorio



Figura 16. La facciata occidentale del duomo. (Opera della Metropolitana di Siena)

(*taglia*) situato vicino alla cattedrale, in uno spazio riparato (detto anche loggia) riservato alle attività dei *magistri lapidum*.

Nel susseguirsi ininterrotto di cantieri che caratterizzerà i continui ampliamenti della cattedrale dagli anni '60 del Duecento agli anni '60 del Trecento, prendono piede nuovi sistemi di produzione, come la prefabbricazione del materiale da costruzione¹³ e degli elementi architettonici collegata a un sistema di gestione dell'attività dei maestri di pietra svincolato all'occorrenza dall'immediata posa in opera dei manufatti lapidei, e nuovi rapporti di lavoro, basati su retribuzioni non più solo «a giornata» ma anche «a misura» (*a rischio*) (Giorgi e Moscadelli 2005, 272-292).

Dallo studio delle murature duecentesche del duomo si ricavano spunti interessanti non solamente sugli aspetti strettamente tecnici della costruzione, ma anche sull'organizzazione e la tecnologia del cantiere stesso, sempre più legato a un'organizzazione territoriale della produzione, specializzato e flessibile. I risultati delle analisi condotte sulle murature marmoree di rivestimento poste in opera in questi decenni (Causarano 2009; Causarano 2017a, 146-150) hanno evidenziato, infatti, una stretta relazione tra le altezze dei filari di marmo e i cantieri all'opera in quegli anni. La notevole uniformità dimensionale riscontrata – i blocchi di marmo bianco passano da altezze tendenzialmente omogenee (comprese tra i 20 ed i 22,5 cm) sotto Nicola Pisano ad altezze standard di 22 o 26 cm sotto Giovanni Pisano, mentre i filari di «marmo nero» (serpentinite) hanno altezze medie di 18-18,5 cm che restano costanti nel tempo – testimonia un maggiore controllo e una evidente standardizzazione del materiale lapideo prodotto per le opere di rivestimento murario della principale chiesa cittadina. Nonostante le misure dei conci siano testimoniate nei registri contabili dell'Opera solo dai primi decenni del Trecento (Giorgi e Moscadelli 2005, 288-289), le analisi dimensionali condotte sul materiale duecentesco ci permettono, quindi, di retrodatare di almeno 50-60 anni (primi anni '60 del Duecento) l'adozione di sistemi di lavoro in cava che prevedevano misure standard per la produzione di materiale «prefabbricato» da inviare in cantiere.

La mancanza di indicazioni specifiche continuative nella documentazione scritta duecentesca, però, non ci consente di analizzare il costruito in termini quantitativi, come invece è possibile fare, almeno in parte, per i cantieri trecenteschi del battistero e del

Duomo Nuovo (vd. *infra*). I tempi di costruzione e la quantità del materiale impiegato per ogni metro quadro di muro, infatti, cambiano a seconda dei cantieri e del loro grado di organizzazione. Nella cattedrale di Siena, ad esempio, la variabilità nel numero delle squadre di lavoratori e le differenti tempistiche di esecuzione attestata dalle fonti nei diversi cantieri che si sono succeduti tra la fine del XII e la fine del XIII secolo, rimandano a un'organizzazione dell'impresa di costruzione basata su una «velocità a due tempi» tipica di molti cantieri medievali quando, terminata velocemente la parte dell'edificio che poteva essere utilizzata per le funzioni religiose, si procedeva poi più lentamente con i mezzi a disposizione. Tra il 1227 e il 1270 la documentazione contabile del Comune attestata in 87-88 il numero delle giornate mediamente «non lavorate» in un anno solare – corrispondente a 52 domeniche più 35-36 giorni di festività religiose extra domenicali stabilite dal calendario gregoriano –, cifra che rimane inalterata negli anni '20 del Trecento. Nei decenni centrali del Duecento, quindi, l'attività annuale del cantiere è quantificabile nell'ordine di 270-280 giornate annue: se calcoliamo l'attività dei soli maestri – durante la seconda metà del secolo ne sono attestati in media una decina o poco più – si arriva quindi ad un totale di circa 3000 giornate annue di lavoro (Giorgi e Moscadelli 2005, 286, tabella XXI).

Lo studio degli elevati e le analisi dimensionali condotte sui marmi impiegati per il rivestimento del tamburo della cupola e delle pareti perimetrali del corpo basilicale, ci hanno permesso di approfondire alcuni aspetti legati ai processi produttivi dell'«industria del costruire». La notevole omogeneità dimensionale riscontrata non è infatti casuale ma legata a una precisa scelta estetica e costruttiva, come evidenzia il paragone con le fabbriche trecentesche dove, a fronte di filari di serpentinite con altezze medie (18-18,5 cm) che restano pressoché costanti tra Duecento e Trecento, i marmi bianchi impiegati tra il 1317 e il 1356/7 per la costruzione prima del battistero e poi nell'ardita impresa del Duomo Nuovo, rimasto incompiuto, mostrano invece una maggiore variabilità (da 23 a 31,5 cm di altezza). Questa differenza è motivata da una precisa scelta stilistica nella tipologia di rivestimento: mentre fino all'avvio della costruzione del battistero (1317), i paramenti marmorei vengono realizzati con una rigida alternanza di filari bianchi e neri, nel Trecento la componente bianca comincia a



Figura 17. Particolare del fianco sinistro del battistero e del coro con la nuova tipologia di rivestimento marmoreo.

prevalere (quattro-sei filari di marmo bianco alternati a uno di «marmo nero»). Nella nuova tipologia di rivestimento (figura 17), che privilegia nettamente la componente bianca, le altezze dei filari aumentano, con oscillazioni contenute tra 7 e 8 cm: se la serrata bicromia duecentesca richiedeva infatti altezze omogenee e costanti per entrambi i materiali, nel nuovo tipo di rivestimento quello che contava era mantenere tendenzialmente regolare la distanza tra le fasce nere, che potevano però essere ‘riempite’ da un numero variabile di filari di marmo bianco.

IL ‘PREDOMINIO’ DEL MATTONE

La situazione geologica di Siena consentiva una disponibilità limitata di pietra che, come abbiamo visto, era estratta per lo più dalla Montagnola con elevati costi di trasporto, mentre la composizione geologica di aree abbastanza vicine alla città, la Val

d’Arbia e le Crete, permetteva invece un facile approvvigionamento di argilla, favorendo il fiorire dell’industria laterizia.

Sono scarse le notizie sulla presenza di cave di argilla, temporanee o permanenti, nel territorio senese anche se negli Statuti non mancano accenni alla presenza di cave abusive e all’abitudine dei mattonai di rifornirsi di argilla estraendola direttamente dalle strade (Balestracci 2000, 419). Maggiori informazioni si hanno, invece, sulle fornaci situate dentro la città e su quelle, più numerose, poste all’esterno del circuito murario (figura 10): tra la seconda metà del Duecento e il Trecento, nell’arco di circa 10 km dalle mura sono attestate le fornaci di Torri, San Mamiliano, Munistero, Costa Fabbri, Costa al Pino (le ultime due di proprietà del Santa Maria della Scala) e di San Maffeo (proprietà dell’Opera di Santa Maria); all’interno della città, sono note le fornaci di Follonica e quelle dei frati di Sant’Agostino. Accanto a queste, che producono per un mercato esterno, sono presenti un’infinità di piccole e medie fornaci che, collocate spesso in prossimità del cantiere, lavoravano nella maggior parte dei casi solo il tempo di produrre i laterizi necessari alla costruzione. Quasi la metà degli opifici citati dalle fonti, inoltre, si trovava nei territori di Asciano, Buonconvento, Montalcino e Monteroni, in quelle aree tra la Val d’Arbia e le Crete dove la composizione geologica del terreno consentiva un facile approvvigionamento della materia prima.

L’introduzione del mattone a Siena è documentabile dalla seconda metà-fine del XII secolo; nel corso del Duecento, come già accennato, i laterizi trovano ampio e diffuso impiego nell’edilizia urbana fino ad assumere, nella seconda metà del secolo, un ruolo determinante e diventare ad inizio Trecento il materiale privilegiato e l’elemento caratterizzante dell’edilizia senese. Le autorità comunali cercheranno periodicamente di contenere il lievitare dei prezzi omologando il più possibile, ad esempio, i costi del trasporto, oltre a garantire la qualità e regolare la produzione (Causarano 2015). Nel *Costituto* del 1262 sono fissate le dimensioni dei laterizi, con norme che disciplinano non solo le misure degli stampi ma anche quelle del prodotto finito, codificato in 6 mattoni standard conservati come modelli (*scede*) presso l’ufficio di Biccherna, norme ripetute nel 1291 quando le misure furono equiparate a mezzo braccio di lunghezza, un quarto di braccio di larghezza e un ottavo di braccio di altezza (1 braccio da pan-

no senese = 0,601m), proporzione che sembra da considerarsi più che altro come un'espressione in termini complessivi, puramente indicativa dei rapporti intercorrenti tra le tre dimensioni dei mattoni, determinate invece con precisione mediante l'adozione dei modelli ufficiali (Fiorini 2015).

Lo studio della variazione nel tempo dei valori dimensionali dei mattoni da costruzione ha mostrato che a Siena, contrariamente a quanto attestato in altre realtà comunali del centro-nord Italia, i laterizi subiscono una costante crescita dimensionale: la lunghezza passa dai 28,2-28,5 cm attestati intorno alla metà del XIII secolo ai 30,8-30,9 cm tra fine XVIII e metà XIX secolo, mentre la larghezza passa da 12,4-12,7 a 15,2-15,4 cm e l'altezza da 5,4-5,7 a 6,5-6,9 cm (Causarano 2017b).

Le analisi mensiocronologiche hanno evidenziato, inoltre, una chiara corrispondenza tra l'aumento dimensionale dei laterizi e il costante incremento dell'attività edilizia nei decenni compresi tra la metà del Duecento e gli anni '30 del Trecento. L'andamento dei prezzi va di pari passo all'aumento della domanda (Causarano 2017b, 230, tabella 2) che, in questi decenni, è costantemente in crescita sia per i laterizi nuovi che per quelli *vecchi*, immessi sul mercato come materiale di reimpiego (con un valore generalmente inferiore di circa un terzo rispetto a quelli di nuova produzione), fino a raggiungere all'inizio del XIV secolo la cifra di 75 soldi ogni 1.000 mattoni nuovi, comprensivi delle spese di trasporto (mezzo denaro per ogni soma) e di gabella, che incideva del 2,2% sul costo finale (Giorgi e Moscadelli 2005, 197).



Figura 18. Ospedale di Santa Maria della Scala: la Casa dei Gettatelli.



Figura 19. Lungo la cosiddetta 'strada interna' del Santa Maria della Scala sono ancora visibili le facciate delle case del quartiere di Vallepiatta di Sopra, con i portali tamponati, inglobate all'interno dell'ospedale.

Dalla metà del XIII secolo, diversi edifici presentano caratteristiche costruttive simili, con superfici murarie in mattoni disposti su filari orizzontali e paralleli ma con uno spessore dei giunti e dei letti di posa variabile: è il caso, per quanto riguarda l'ospedale di Santa Maria della Scala, della Casa dei Gettatelli (Bianchi, Parenti 1991, 407) (figura 18) e di alcune abitazioni, a pianta rettangolare, allineate lungo la strada che risaliva il pendio del colle del Duomo (la c.d. 'strada interna' o via di Vallepiatta), inglobate all'interno dell'ospedale verso la fine del Duecento (figura 19), oltre ad alcune parti della fonte di Pescia, porta San Marco e porta Ovile.

Dal terzo quarto del Duecento e, in maniera predominante, nel Trecento, anche le strutture della cattedrale si caratterizzano per il quasi esclusivo impiego del laterizio, utilizzato non solo nella costruzione dei



Figura 20. Uno dei semipilastri composti della grande sala, rimasta incompiuta, situata sotto al braccio sinistro del transetto trecentesco del duomo.

setti murari ma anche per la definizione degli elementi architettonici (pilastri, archi, finestre, volte, ecc.) (figura 20). A differenza dell'edilizia civile, però, nel duomo il mattone è destinato ad accogliere sempre un ulteriore 'strato' di rivestimento, sotto forma di intonaco, affreschi o «marmi»: le sole murature con paramenti in laterizi lasciati a vista erano, infatti, situate nelle parti non visibili o negli ambienti di servizio (figura 21). Nella cattedrale, come nelle architetture urbane, l'apparecchiatura dei laterizi mostra, in generale, un'evidente predilezione per la posa in opera per fascia per tutto il Duecento e parte del Trecento, quando comincia ad apparire, in maniera saltuaria e senza continuità, la c.d. apparecchiatura «alla senese» (due mattoni di fascia e uno di testa, figura 22), con una media di laterizi posti in opera per ogni metro quadro di pannello murario compresa tra le 78 e le 85 unità, cifra che aumenta invece a quasi 100 mattoni al metro quadro nelle strutture in muratura che utilizzano laterizi spezzati di reimpiego.



Figura 21. Duomo Nuovo: a sinistra la facciata interna (il cosiddetto 'facciatone'); a destra, particolare del fianco sinistro della navata maggiore con le sole parti a vista rivestite di marmi e il resto lasciato in mattoni.



Figura 22. Muratura in laterizi del duomo.

QUANTIFICARE I MATERIALI: I GRANDI CANTIERI TRA XIII E XIV SECOLO

Tra la seconda metà del Duecento e i primi decenni del Trecento, Siena – all'apice del suo sviluppo economico – gode di una sostanziale stabilità politica, accompagnata da una continua crescita della popolazione e da un'intensa attività edilizia.

Per inquadrare l'attività costruttiva in città in questi decenni, possiamo provare a quantificare l'entità delle demolizioni e dei materiali (laterizi e «marmi») impiegati nei principali cantieri urbani – quantitativi certamente sottostimati, almeno in parte, rispetto al reale approvvigionamento –, ossia quelli dei grandi complessi architettonici degli ordini mendicanti (predicatori, minori, agostiniani, carmelitani), prota-

gonisti dell'edilizia cittadina nella seconda metà del Duecento, del battistero e del Duomo Nuovo (1317-1356/7).

Con la grande espansione urbana del XIII secolo, i nuovi equilibri politici e istituzionali della città comunale interessarono anche le forme e il senso delle presenze architettoniche dei numerosi luoghi di culto che si inserirono organicamente nella trama sempre più fitta di strade, fondaci e case. Nel caso degli ordini mendicanti, la loro crescente importanza nello spazio fisico dell'*urbs* si accompagnò ad una vera e propria «strategia» insediativa: come in molte altre città medievali, a Siena le chiese dei Carmelitani (figura 23), dei Serviti, degli Agostiniani, dei Francescani e dei Domenicani (figura 13) furono generalmente costruite in aree di recente urbanizzazione, lungo il perimetro esterno della città duecentesca, in genere nei pressi delle principali porte di accesso, in sintonia con lo sviluppo dei borghi collocati lungo le zone periferiche del tessuto urbano (Moretti 2001, 55-68). Le autorità cittadine, pressate dai flussi d'inurbamento e dai problemi aperti dal continuo aumento del numero di abitanti, impararono presto – anche grazie ad una stretta collaborazione con gli ordini mendicanti – ad organizzare e indirizzare il processo di urbanizzazione e di annessione, nella maggioranza dei casi conclusosi positivamente (Piccini 2019, 10-18).

In questo articolato intreccio di ambiti, l'interazione tra autorità civili e religiose è esemplificata dai numerosi investimenti delle istituzioni comunali. Per l'edificazione dei loro conventi, gli ordini religiosi beneficiarono, infatti, di abbondanti donazioni da parte del Comune: a partire dagli anni '60 del Duecento, vengono registrate e regolamentate negli Statuti della città tutta una serie di sovvenzioni e di elargizioni in denari e materiali da costruzione (calcina, mattoni, ecc.), a testimonianza dello stretto rapporto tra istituzioni cittadine e enti religiosi.

Per farsi un'idea quantitativa di massima, già nei primi registri conservati della *Biccherna* (1226/27) sono documentate elargizioni annue di 15.000 mattoni all'ospedale di Santa Maria della Scala; donazioni che aumentano nel corso del Duecento, tanto che nel *Costituto* del 1262 sono stabilite elargizioni annue per 50.000 mattoni al convento di Santa Maria dei Servi e a quello di Sant'Agostino, 25.000 per il convento di San Francesco, 10.000 per la chiesa di Santa Maria al Monte Carmelo (oggi chiesa e convento di



Figura 23. Il convento e la chiesa di S. Niccolò del Carmine.

San Niccolò al Carmine). Queste donazioni vengono confermate anche negli Statuti del 1309 – con l'eccezione della chiesa del Carmine che, a tale data, era probabilmente ad uno stadio già avanzato di costruzione –, con l'aggiunta di 25.000 mattoni annui al convento di San Domenico, aumentati fino a 100.000 unità negli anni di maggiore crescita edilizia del complesso architettonico.

Già dalla semplice analisi delle fonti scritte, dunque, si evince che tra la seconda metà del Duecento e i primi anni del Trecento il Comune di Siena donò ai principali istituti religiosi della città sovvenzioni annuali comprese tra i 155.000 e i 200.000 mattoni, la maggior parte dei quali destinati alla costruzione dei nuovi complessi degli ordini mendicanti che proprio in quegli anni si andavano inserendo nel tessuto periurbano (Causarano c.s.). Pur tenendo in considerazione che non sempre le delibere del Comune erano attuate e che potevano subire anche significative variazioni, il dato resta comunque indicativo dell'importanza, anche economica, di questi enti religiosi per la città.

Ai cantieri degli ordini monastici vanno poi aggiunti quelli per i continui lavori di ampliamento dell'ospedale di Santa Maria della Scala e della cattedrale. Se finora, infatti, abbiamo provato a quantificare sommariamente i mattoni destinati alle fabbriche religiose, grazie agli Statuti comunali e ai documenti d'archivio, per quanto riguarda invece i laterizi, i «marmi» e la *calcina* destinati al battistero e al Duomo Nuovo, i registri contabili dell'Opera di Santa Maria – particolarmente ben conservati per il secondo e terzo decennio del Trecento – ci permetto-

no di confrontare la realtà materiale delle fabbriche tuttora conservate con gli acquisti e le spese registrate nei libri di conti dell'ente¹⁴. Sappiamo, infatti, che negli anni '20, durante la costruzione del battistero, l'Opera acquista e, verosimilmente, mette in opera, una media di 40-50 mila laterizi l'anno mentre durante la costruzione del Duomo Nuovo (1339-1356) la cifra sale tra i 100 mila e i 200 mila laterizi. Sempre per l'edificazione del Duomo Nuovo (figura 24) – cantiere che rappresenta, con quello del battistero, uno dei momenti di massima attività edilizia per l'Opera di Santa Maria –, dai registri contabili si ricava che furono comprati e posti in opera circa un milione di mattoni nuovi e una quantità analoga di laterizi di reimpiego (*mattoni vecchi*) provenienti dagli edifici acquistati e abbattuti gli anni precedenti nel *Planum Sancte Marie*, il pianoro sommitale del colle del Duomo. Confrontando questi dati con le murature di inizio Trecento della cattedrale, si nota che l'ingente mole di materiale di reimpiego era stata sottoposta ad un'attenta cernita prima della posa in opera, con il risultato che – pur non potendo contare sulla costanza dimensionale degli elementi riutilizzati – il materiale scelto presentava comunque una certa omogeneità di misure, al fine di privilegiare i criteri di 'serialità' dell'apparecchiatura muraria.

Negli stessi anni, inoltre, arrivano nel cantiere del battistero tra le 30.000 e le 60.000 libbre di marmo bianco (1 libbra = 0,329 kg) per un totale di circa 20 tonnellate, mentre nel decennio successivo la quantità di marmi supera le 350-400.000 libbre (120-130 tonnellate). Sempre prendendo in considerazione il



Figura 24. Veduta panoramica delle strutture del Duomo Nuovo.

cantiere del battistero, ai materiali elencati (laterizi e «marmi») va poi aggiunta la calce (*calcina*) – proveniente dalle fornaci situate nell'area della Montagna Senese – i cui quantitativi si aggiravano tra le 100 e le 300 moggia a semestre (1 moggio da aridi = 546 litri), con un consumo medio annuale che poteva variare tra le 200-250 e le 600 moggia. A questi dati, vanno infine aggiunte le spese per l'ingente quantità d'acqua indispensabile alle operazioni di spegnimento della calce, un elemento questo di cui raramente si tiene conto (a torto) quando si studiano i 'materiali' necessari al costruire, ma di importanza fondamentale durante lo svolgimento delle diverse attività di costruzione. A titolo di esempio, negli anni di costruzione del battistero (1320-1337) il cantiere necessitava di una fornitura annuale d'acqua di quasi 2.500 some, circa 4.000 barili della capacità ognuno di 2 staia (circa 42,4 l), per un totale di circa 170.000 litri d'acqua. Limitandosi al solo processo di spegnimento della calce viva, bisogna tenere presente che tale operazione richiede in media 2 litri di acqua per 1 kg di calce viva: se consideriamo il carico di una *masta*¹⁵ con dimensioni medie di 2 m di lunghezza x 1,5 m di larghezza, sono necessari 220 litri circa di acqua per ogni carico, pari a 120 kg di calce viva in zolle (Fichera 2012).

Nel corso degli anni '20 e dei primi anni '30 del Trecento, i registri dei conti illustrano in maniera efficace anche la rapida crescita delle dimensioni del cantiere e delle maestranze: se per l'anno 1320 si stimano 5.000 giornate complessive retribuite ai maestri e 3.000 giornate ai manovali – numeri che sono ancora vicini alle 3.000 giornate pagate annualmente dal Comune ai maestri nel corso della seconda metà del Duecento – per l'anno 1326 si passa a 7.000 giornate per i maestri e 1.500 per i manovali, fino ad arrivare a oltre 10.000 giornate di lavoro stimate per i maestri e 2.500 per i manovali nel 1333, cui si devono aggiungere le 800 giornate lavorative dei maestri ed altrettante dei manovali richieste nelle *petraie* (Giorgi e Moscadelli 2005, 287).

Conoscendo quindi tutti questi dati, se proviamo a fare una stima della quantità di laterizi impiegati giornalmente¹⁶, si calcola che un muratore, con un aiutante, era in grado di mettere in opera in una giornata di lavoro intorno alle 1.500 unità nei casi in cui non era richiesta lavorazione, come nelle fondazioni o nel sacco dei muri; fino a 1.000 mattoni nelle strutture destinate ad essere rivestite da intonaco o situate in parti non a vista; la quantità scende invece a 500



Figura 25. La facciata posteriore della cattedrale con i portali di ingresso al battistero. (Opera della Metropolitana di Siena)

mattoni al giorno in quelle zone della fabbrica che richiedevano una cernita, una posa in opera e una lavorazione più accurata dei materiali (DeLaine 2001, 351-352). Per il materiale lapideo di medio-piccole dimensioni, invece, la grandezza media dei blocchi di pietra trasportati dai muli (2 pietre alla volta) è calcolata in $1 \times 1 \times 3/4$ ft (DeLaine 1997, 108). Nel caso dei «marmi» della cattedrale, è stato possibile stimare il peso medio dei blocchi impiegati nei rivestimenti delle pareti tra 57,8 e 81 kg per il marmo bianco che, nel caso di conci di dimensioni medie, corrisponde a una soma composta da due blocchi di pietra, mentre per la serpentinite il peso medio si aggira tra i 18,9 ed i 31,5 kg che, in un carico del peso di circa 100 kg, equivale al trasporto di quattro pietre alla volta (Causarano 2017c, 120)¹⁷.

Per la costruzione del battistero (figura 25), una sala rettangolare trasversa di 24,5 x 14,5 m, divisa da due pilastri in tre navate coperte da volte ogivali, possiamo ipotizzare una media di circa 1000 mattoni posti in opera giornalmente dai vari maestri, circa una trentina, all'opera nell'edificazione delle cortine murarie destinate ad essere rivestite di marmi. Nel

1339, quando il cantiere si interrompe per l'avvio del Duomo Nuovo, la facciata e i fianchi della nuova fabbrica erano giunti a un'altezza di circa 27 m, erano stati costruiti i pilastri e le volte interne, i portali in facciata e buona parte delle grandi finestre bifore che dovevano illuminare il soprastante coro della cattedrale. In base ai registri contabili, come abbiamo visto, negli anni '20 del Trecento l'Opera acquista e mette in opera una media di almeno 40.000-50.000 mattoni l'anno: provando a quantificare, in via del tutto ipotetica, la stessa quantità anche per gli anni '30, il totale dei laterizi da costruzione impiegati dal cantiere tra il 1320 circa, quando si termina lo scavo delle fondamenta, ed il 1339, quando la fabbrica si interrompe, arriva a circa 1 milione e 300.000 unità¹⁸.

NOTE CONCLUSIVE

Gli studi condotti sui materiali lapidei e i laterizi impiegati nell'edilizia civile senese e nel complesso della cattedrale tra XII e XIII secolo, ci hanno permesso di inquadrare le scelte economiche e gestionali dell'«industria del costruire» in ambito urbano, consentendoci di ampliare le conoscenze sulle modalità di approvvigionamento e l'organizzazione del lavoro in cava, sul trasporto e la lavorazione dei materiali.

Nel panorama cittadino del XII secolo, la pietra diviene il simbolo delle architetture e delle residenze di prestigio, per lasciare spazio al mattone nella Siena tardo duecentesca in rapida espansione (figura 26). Lo stretto parallelismo tra le murature in «pietra da torre» della cattedrale – costruzione tra le più rappresentative della città – e l'edilizia urbana delle torri, delle case torri, dei castellari e del circuito murario, conferma il valore simbolico e 'politico' della scelta di questo materiale per l'edificazione di edifici di particolare rilevanza, ai quali era garantito un approvvigionamento di materiale con misure tendenzialmente omogenee.

Nonostante la scarsa documentazione disponibile per il XII secolo non ci consenta di delineare le dimensioni, l'organizzazione e la provenienza delle maestranze impiegate nelle costruzioni in città, il caso di studio della cattedrale ci permette, però, di indagare la progressiva specializzazione di un grande cantiere tra XII e XIII secolo. Nei primi decenni del Duecento i documenti testimoniano la presenza di un



Figura 26. Veduta area di Siena con la cattedrale e piazza del Campo. (Archivio LAP&T, Università di Siena)

piccolo gruppo di lavoratori alle dipendenze del Comune (4 maestri e 1 fabbro) ma è molto probabile che per questo periodo, come per quello precedente, la documentazione scritta ci offra solo un quadro parziale delle maestranze impegnate nella costruzione dell'*ecclesia maior*. Le fonti, infatti, ci attestano la presenza dei soli maestri retribuiti dal Comune e non quella delle altre maestranze che vi lavoravano, collegate con ogni probabilità in maniera diretta alla Chiesa cittadina. Grazie all'analisi delle architetture

è stato tuttavia possibile stabilire la scansione dei tempi di costruzione, le interruzioni e i cambi di progetto del cantiere all'opera nell'edificazione dei muri perimetrali della nuova terminazione a croce latina (figura 27): la manodopera era suddivisa in più gruppi di maestranze, probabilmente squadre di ampiezza variabile con diversi livelli di specializzazione, che procedettero nella costruzione delle nuove fabbriche da ovest verso est (Causarano 2017a, 159-162).

La progressiva evoluzione nell'organizzazione del cantiere nel corso del Duecento è evidente a partire dalla metà del secolo, quando l'Opera di Santa Maria assume un compiuto assetto istituzionale: nel 1251 il numero di maestri di pietra dipendenti dal Comune, che prima non superava le 6 unità, arriva a 10, probabilmente la quasi totalità delle maestranze specializzate impegnate nella fabbrica, numero che resta pressoché costante per tutta la seconda metà del secolo. Nel fervore edilizio che caratterizza gli anni '20 e '30 del Trecento, invece, tale numero aumenta in maniera esponenziale, fino ad arrivare a circa 30 unità.

Di fronte a un cantiere sempre più complesso, il coordinamento dei lavori era certamente facilitato dall'utilizzo di materiale prodotto in serie – le migliaia di laterizi impiegati nei sodi murari e nei paramenti, le grandi quantità di «marmi» posti in opera

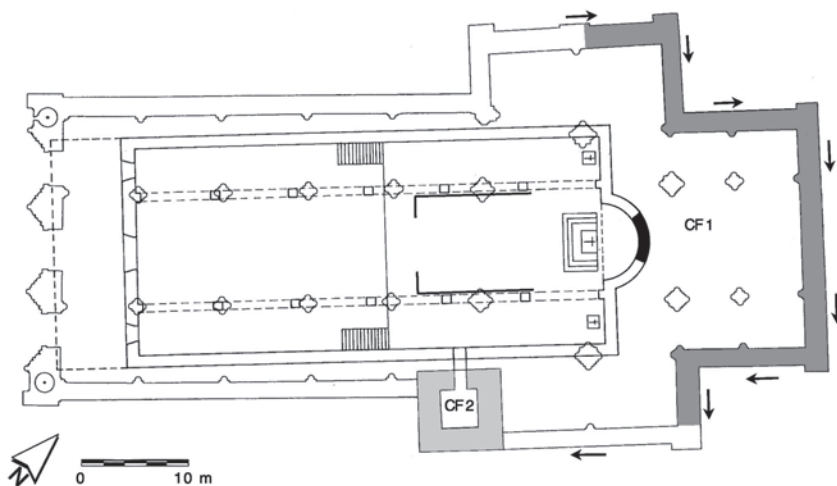


Figura 27. Ipotesi sull'evoluzione della cattedrale tra XI e XIII secolo. In nero, l'abside della chiesa di fine X-XI secolo (Periodo I); in grigio chiaro, il campanile di metà XII secolo (Periodo II, Fase 1), in grigio scuro la nuova terminazione a croce latina costruita tra la seconda metà del XII e gli inizi del XIII secolo (Periodo II, Fasi 2 e 3). Le frecce indicano l'avanzamento del cantiere da ovest verso est.



Figura 28. Particolare di un elemento del rivestimento marmoreo di seconda metà Duecento. Il 'nastrino' perimetrale che delimita le quattro facce del blocco è conservato solo su tre lati perché il concio, lavorato con misure standard già in cava, è stato ridotto di lunghezza al momento della posa in opera.

nelle superfici di rivestimento, oltre a una lunga serie di altre componenti costruttive ed elementi architettonici –, un'importante innovazione nel ciclo produttivo che consentiva di ottimizzare il tempo di lavoro e i costi, oltre ad agevolare la manodopera durante la posa in opera. Già nella seconda metà del Duecento, come abbiamo visto, per particolari tipi di materiali quali il marmo, si ricorreva a processi di produzione standardizzati, basati sulla preparazione in serie dei singoli elementi (figura 28), con implicazioni tecnologiche che si riflettono nel progressivo aumento di una produzione modulare del materiale edile, come ci mostrano i dati quantitativi, e nell'organizzazione stessa del cantiere, dove ad inizio Trecento si svilupparono nuovi rapporti di lavoro basati su retribuzioni «a misura» (*a rischio*), con le prime differenziazioni salariali. Veniva così garantita la produzione di una vasta gamma di conci «prefabbricati» di tipo modulare già in cava, con un notevole risparmio del tempo necessario a scolpire e levigare i singoli pezzi nella *taglia* e una decisa diminuzione del materiale di scarto, il cosiddetto «tritume» (Causarano 2017a, 163-165).

Negli anni '20 del Trecento questo sistema entra a pieno regime, con una produzione del materiale edile che potremmo definire «industriale»¹⁹: la prefabbricazione nelle cave dell'Opera di precise tipologie di conci marmorei destinati al rivestimento delle nuove fabbriche in costruzione è ora testimoniata anche dai registri di spesa, dove si elencano i diversi tipi di ma-



Figura 29. Duomo di Siena, disegno per la facciata est. Disegno su pergamena, post 1315, Siena, Museo dell'Opera del Duomo, inv. n. 20. (Foto Lensini)

teriale, di dimensioni fisse e dal costo inferiore rispetto alle pietre lavorate in cantiere o ad altri elementi più elaborati (*pietre di marmi nuovi dela misura del sei, pietre del meço braccio, pietra nera tonda e dritta, pietra dritta, mora/pietra tonda, pietra tubertina, cornicie, quadri, ecc.*; Giorgi e Moscadelli 2005, 289). Il

loro impiego ha ripercussioni di natura storico-economica che trascendono il campo strettamente tecnico della costruzione per coinvolgere l'organizzazione e la tecnologia del cantiere stesso, con precise ricadute nella costruzione della fabbrica. I nuovi sistemi di produzione rivoluzionarono, infatti, anche l'ambito dei metodi di progettazione. Proprio alla pratica estensiva della prefabbricazione degli elementi architettonici, infatti, viene in genere imputata la necessità di definire la loro esatta forma e collocazione prima dell'inizio dei lavori. Tali necessità sono alla base della diffusione dei cosiddetti disegni «progettuali» (Borgherini 2001): si inseriscono pienamente in questa tradizione i quattro disegni su pergamena conservati presso il Museo dell'Opera di Siena, inerenti il progetto per la facciata est del duomo (figura 29), le due planimetrie (ad abside semiottagonale o ad abside poligonale) per il Duomo Nuovo e, sempre per quest'ultimo cantiere, il disegno del campanile. In maniera analoga, per facilitare il posizionamento dei vari pezzi, aumentano le testimonianze di segni lapidari e marchi di assemblaggio («segni di montaggio») sulle pietre che permettevano di organizzare al meglio il lavoro durante la posa in opera delle varie componenti della muratura (figura 30).



Figura 30. Duomo Nuovo: esempi di segni lapidari ancora visibili sui conci di marmo della navata sud-est.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se ha desarrollado parcialmente a partir del coloquio que tuvo lugar en el congreso titulado «Costes y técnicas de la construcción medieval para la petrificación del paisaje», organizado en febrero de 2020 a cargo del proyecto «Petrifying Wealth. The Southern European Shift to Masonry as Collective Investment in Identity, c. 1050-1300» del CCHS-C-SIC Instituto de Historia, financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea bajo el acuerdo n.º 695515.

NOTAS

1. Dei tre terzi, il primo corrisponde all'originaria *civitas*; quello di Camollia nasce dall'unione dei borghi sviluppatasi a nord mentre nel terzo di San Martino sono compresi i borghi nati a sud-est; ognuno di essi occupa la dorsale di una collina ed è percorso da un asse stradale principale (la via Francigena per i terzi di Camollia e San Martino, via di Città-via Stalloreggi per quello di Città).
2. Sulle origini e lo sviluppo della Siena più antica (Cristofani 1979, 194-196). Le prime frequentazioni risalgono all'XI-X sec. a. C.; tra la fine dell'VIII e la prima metà del VII secolo a.C., nelle zone circostanti la città è attestata la formazione di piccoli villaggi ma le prime tracce di un insediamento stabile sono documentate con certezza solo dal VII-VI secolo a.C. A partire dal IV sec. a. C., invece, aumentano le testimonianze archeologiche, soprattutto nell'area di Castelvecchio, il primitivo nucleo dell'abitato; nel 90 a.C. Siena acquisisce la cittadinanza romana e tra I-III sec. d.C. si amplia fino ad occupare anche la collina del Duomo, oggetto di una 'nuova' urbanizzazione. In epoca tardoantica la città, dopo la crisi che l'aveva colpita tra la fine del II e il III secolo, sembra riprendersi ma gli eventi bellici che segnano il VI secolo, prima la guerra greco-gotica (535-553 d.C.) poi l'invasione longobarda (568 d.C.), la colpiscono duramente. Tra la fine del VII e l'VIII secolo mancano del tutto tracce di edilizia residenziale in muratura, che invece iniziano a ricomparire in molte città italiane su committenza dei rappresentanti del potere regio, dei vescovi o delle oligarchie signorili (Brogiolo 2014, 45-59). Solo a partire dal IX secolo il paesaggio urbano comincia a mostrare segni di ripresa, testimoniati dalle prime, sporadiche, strutture murarie. Sullo sviluppo della città tra l'età romana e l'alto medioevo, si veda Pallecchi (2007), Cantini (2005) e Brogini (2003).
3. Sul ruolo svolto dalla via Francigena nello sviluppo della città a partire dal X-XI secolo, si veda l'importan-

- te saggio di Sestan (1961) dove lo storico, non a caso, definisce Siena «figlia della strada».
4. Ugurgeri, Forteguerra, Antolini, Cauli e Ponzi sono tra le principali famiglie protagoniste della prima affermazione del Comune; sugli spazi ed i «luoghi del potere» a Siena tra XI e XIV secolo, si veda Causarano (2019).
 5. Sull'utilizzo della pietra a Siena nell'edilizia civile del XII e XIII secolo, si veda Gabrielli (2010, 13-78).
 6. Fa eccezione Palazzo Tolomei, edificato negli anni '70 del XIII secolo interamente in pietra. Anche in questo caso, però, assistiamo ad una gerarchizzazione dei prospetti, ben visibile nel diverso grado di lavorazione del materiale lapideo impiegato: conci perfettamente squadrati e spianati nel prospetto principale, che affaccia sull'omonima piazza, bozze regolarizzate ma solo sommarariamente lavorate negli altri tre lati (sulle vicende costruttive di Palazzo Tolomei, Gabrielli 2010, 113-122).
 7. In Toscana, una ripresa non episodica nella produzione di laterizi sembra collocarsi precocemente a Pisa tra la fine dell'XI e i primi decenni del XII secolo (Quirós Castillo 2006, 566), anche se sarà necessario attendere la metà del secolo e, soprattutto, gli anni immediatamente successivi, perché la diffusione del mattone acquisti una qualche importanza. Il XII secolo costituisce, infatti, un momento centrale nella reintroduzione della produzione dei laterizi in modo stabile in ampi settori sia italiani che europei, anche se solo con il XIII secolo assistiamo a un po' ovunque alla ripresa di una loro produzione sistematica, caratterizzata da una relativa omogeneità dimensionale.
 8. Questo territorio, ben studiato da un punto di vista geologico, storico e archeologico, manca invece di ricerche mirate all'individuazione e allo studio delle cave medievali, note per lo più grazie alle attestazioni delle fonti scritte e non prima della metà del XIII secolo.
 9. L'approvvigionamento dei materiali è, come noto, strettamente correlato non solo alle maestranze in grado di lavorarli, alle scelte e alle disponibilità economiche della committenza, ma anche alla distanza dal cantiere di costruzione: l'approvvigionamento e il trasporto rappresentavano spesso, infatti, una delle principali voci di spesa dei cantieri medievali.
 10. Sono dette impropriamente «marmi» tutte le pietre suscettibili di lucidatura. Per quanto riguarda i «marmi» impiegati nel duomo di Siena, il termine può essere attribuito ai soli marmi bianchi e grigi, ad alcuni marmi brecciati e ai gialli. Il cosiddetto «marmo nero», in realtà è una serpentinite proveniente dalla zona di Murlo mentre il «marmo rosso» – utilizzato come pietra ornamentale nelle facciate del duomo, del battistero, del Duomo Nuovo e nel pavimento della cattedrale – è un calcare ammonitico (Rosso di Gerfalco).
 11. Tra i materiali utilizzati negli edifici storici in ambito urbano, infatti, il marmo è quasi del tutto assente: oltre alla cattedrale, i soli monumenti dove viene impiegato sono la Cappella di Piazza, edificata a partire dal 1352, la Fonte Gaia in piazza del Campo e la vicina Loggia della Mercanzia, entrambe di inizi Quattrocento, e la facciata della chiesa di San Raimondo al Refugio, costruita su volere di papa Alessandro VII Chigi nel 1660.
 12. Sul costo dei «marmi» e del trasporto dalle cave al cantiere della cattedrale nel XIII secolo (Giorgi e Moscadelli 2005, 366-367 (tabelle XVIIIa, XIX), 394, grafico 14).
 13. Sulla diffusione nell'architettura religiosa gotica di criteri di prefabbricazione proprio a partire dalla produzione di conci lapidei di altezze prefissate, si vedano i numerosi studi condotti da D. Kimpel (in particolare Kimpel 1977; Kimpel 1989, 98-99; Kimpel 1990, 130-132).
 14. Sugli acquisti di mattoni effettuati dall'Opera di Santa Maria tra 1320 e 1364, (Giorgi e Moscadelli 2005, 393, grafico 11); sul costo del trasporto dei «marmi» dalle cave al cantiere tra 1320 e 1386, (si veda invece Giorgi e Moscadelli 2005, 366-367 (tabella XVIIIb)); infine, sull'andamento dei prezzi della calcina e dei «marmi» tra Duecento e Trecento (Giorgi e Moscadelli 2005, 394, grafici 13 e 14).
 15. Il termine *masta* impiegato nelle fonti scritte indicava la vasca di legno utilizzata per la prolungata fase di idratazione cui era sottoposta la calce prima di essere impastata con sabbia e, nuovamente, con acqua per ottenere la malta.
 16. Per quanto riguarda i laterizi, si fa riferimento ai lavori di quantificazione condotti da J. DeLaine sulle terme di Caralla a Roma (DeLaine 1997) e su Ostia (DeLaine 2001) dove l'autrice utilizza il *Manuale pratico per l'estimazione dei lavori architettonici, stradali e idraulici e di fortificazione ad uso degli ingegneri e degli architetti* compilato dall'architetto Pegoretti (1843), dove veniva proposto un computo metrico estimativo al fine di fornire al committente un calcolo dei costi necessari alla costruzione.
 17. Il peso specifico reale del marmo bianco è di 2,72 g/cm³ mentre quello della serpentinite è di 2,66 g/cm³.
 18. Per una quantificazione del materiale laterizio necessario all'edificazione del solo fianco nord del battistero (fino alle imposte degli archi delle finestre del coro, dove nel 1339 si interruppe il cantiere), si stima che la realizzazione delle sole cortine richiese quasi 59.000 laterizi, ai quali bisogna aggiungere un numero ben maggiore di mattoni impiegati nel sodo murario (Causarano 2017c, 115-116).
 19. Alla metà del XIV secolo, la necessità di approvvigionamento di marmi era tale che per i lavori di estrazione si fece ricorso a varie squadre di operai che lavoravano in contemporanea su più fronti, con un impiego sistematico di manodopera di provenienza lombarda specie nelle cave di marmo bianco, il più richiesto (Causarano 2017a, 164; Giorgi e Moscadelli 2005, 259-260).

LISTA DE REFERENCIAS

- Balestracci, Duccio. 2000. Produzione e uso del mattone a Siena nel Medioevo, in *La brique antique et médiévale. Production et commercialisation d'un matériau*, a cura di P. Boucheron, H. Broise e Y. Thébert. Actes du colloque international (Saint-Cloud, 16-18 novembre 1995), 417-428. Roma: Collection de l'École Française de Rome.
- Balestracci, Duccio e Gabriella Piccinni. 1977. *Siena nel Trecento. Assetto urbano e strutture edilizie*, Firenze: Clusf.
- Bianchi, Giovanna e Roberto Parenti. 1991. La campionatura di alcune tecniche costruttive, in *Santa Maria della Scala. Archeologia e edilizia sulla piazza dello Spedale*, a cura di E. Boldrini e R. Parenti, 405-408. Firenze: All'Insegna del Giglio.
- Borgherini, Malvina. 2001. *Disegno e progetto nel cantiere medievale. Esempi toscani del XIV secolo*. Milano: Marsilio ed.
- Brandi, Cesare. a cura di. 1983. *Palazzo Pubblico di Siena. Vicende costruttive e decorazione*. Milano: Silvana ed.
- Brogini, Paolo. 2003. L'individuazione della Siena romana ed altomedievale: alcune considerazioni e nuove ipotesi. *Accademia de Rozzi*, X, 18: 6-14.
- Brogio, Gian Pietro. 2014. Architetture di qualità tra VI e IX secolo in Italia Settentrionale. *Archeologia dell'Architettura*, XVIII (2013): 45-59.
- Cagnana, Aurora. 2000. *Archeologia dei materiali da costruzione*. Mantova: Editrice S.A.P.
- Cantini, Federico. 2005. *Archeologia urbana a Siena. L'area dell'Ospedale di Santa Maria della Scala prima dell'Ospedale. Altomedioevo*. Firenze: All'Insegna del Giglio.
- Cataldo, Caterina. 2004. L'architettura in pietra a Siena tra i secoli XI e XV: ricognizione e studio sul territorio urbano. *Archeologia dell'Architettura*, VIII (2003): 113-122.
- Causarano, Marie-Ange. 2009. La cattedrale di Siena tra seconda metà XIII e XIV secolo: trasformazioni e ridefinizione dell'edificio, in *V Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Foggia – Manfredonia, 30 settembre-3 ottobre 2009)*, a cura di G. Volpe e P. Favia, 773-778. Firenze: All'Insegna del Giglio.
- Causarano, Marie-Ange. 2015. Produzione e uso del mattone a Siena tra XIII e XVIII secolo, in *VII Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Lecce, 9-12 settembre 2015)*, a cura di P. Arthur e M.L. Imperiale, 2 voll., Vol. 1: 150-154. Firenze: All'Insegna del Giglio.
- Causarano, Marie-Ange. 2017a. *La cattedrale e la città. Il cantiere del duomo di Siena tra XI e XIV secolo*, Firenze: All'Insegna del Giglio.
- Causarano, Marie-Ange. 2017b. Mensiocronologia e produzione dei laterizi a Siena in età medievale e moderna (XII-XIX sec.). *Archeologia dell'Architettura*, XXII: 227-238.
- Causarano, Marie-Ange. 2017c. Quantificare le architetture. I materiali da costruzione nei grandi cantieri medievali di Siena. *Archeologia dell'Architettura*, XXII: 113-121.
- Causarano, Marie-Ange. 2019. Vescovi, Comune ed élites cittadine. Spazi e luoghi del potere nella Siena medievale. *Hortus Artium Medievalium*, XXV: 177-188.
- Causarano, Marie-Ange. c.s. L'edilizia degli ordini mendicanti a Siena tra la seconda metà del Duecento e il Trecento: cantieri, materiali e assetti topografici, in *La città globale. La condizione urbana come fenomeno pervasivo*, a cura di M. Pretelli, I. Tolic e R. Tamborrino. Atti del IX Congresso AISU (Bologna, 11-14 settembre 2019). Collana Insight.
- Cristofani, Maurizio. a cura di. 1979. *Siena: le origini. Testimonianze e miti archeologici*, Firenze: Leo S. Olschki.
- DeLaine, Janet. 1997. *The Baths of Caracalla. A Study in the Design, Construction, and Economics of large-scale Building Project in Imperial Rome*. Portsmouth, Rodh Island: Journal of Roman Archaeology.
- DeLaine J., 2001, *Bricks and mortar. Exploring the economics of building techniques at Rome and Ostia*, in *Economics Beyond Agriculture in the Classical World*, a cura di D.J. Mattingly e J. Salmon, 344-489. London e New York: Routledge.
- Giorgi, Andrea e Stefano Moscadelli. 2005. *Costruire una cattedrale. L'Opera di Santa Maria di Siena tra XII e XIV secolo*. Italienische Forschungen, Sonderreihe: Die Kirchen von Siena, a cura di Peter Anselm Riedl e Max Seidel, Beiheft, 3. Munich: Deutscher Kunstverlag.
- Kimpel, Dieter. 1977. Le développement de la taille en série dans l'architecture médiévale et son rôle dans l'histoire économique. *Bulletin Monumental*, 135: 195-222.
- Kimpel, Dieter. 1989. Les methodes de production des cathédrales, in *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Catalogue d'exposition (Strasbourg, 3 septembre – 26 novembre 1989), sous la direction de R. Recht, 91-101. Strasbourg: Editions Les musées de la ville de Strasbourg.
- Kimpel, Dieter. 1990. *La razionalizzazione dell'architettura religiosa gotica in Francia. Fattori endogeni ed esogeni*, in *Ars et Ratio. Dalla torre di Babele al ponte di Rialto*, a cura di J.C. Maire Vigueur e A. Paravicini Bagliani, 127-146. Palermo: Sellerio.
- Fichera, Giuseppe. 2012. Archeologia sperimentale alla Rocca di San Silvestro (LI). Dal ciclo di produzione della calce alla costruzione di una casa, in *Dopo la calce: la produzione della calce nell'altomedioevo. Nuovi dati da Lazio e Toscana fra ricerca sul campo, archeologia sperimentale e archeometria*, a cura di G. Bianchi. *Archeologia dell'Architettura*, XVI (2011): 86-95.
- Fiorini, Andrea. 2015. Modani e campioni mensori: verso un censimento dell'Italia centrosettentrionale (secoli XIII-XVIII). *Debates de Arqueologia Medieval*, 5: 69-90.

- Gabbrielli, Fabio. 2010. *Siena medievale. L'architettura civile*. Siena: Protagon Editori.
- Gandin, Anna; M. Giamello, G. Guasparri, S. Mugnaini e G. Sabatini. 2000. The Calcere Cavernoso of the Montagnola Senese (Siena, Italy): mineralogical-petrographic and petrogenetic features. *Mineralogica et petrographica acta*, XLIII: 271-289.
- Gandin, Anna; G. Guasparri, S. Mugnaini e G. Sabatini. 2008. La «pietra da torre» nel centro storico di Siena. *Etruria natura*, 5: 82-94.
- Giannini, Enzo e Antonio Lazzarotto. 1970. Studio geologico della Montagnola Senese. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 9: 451-495.
- Le Goff, Jacques. 1982. L'immaginario urbano nell'Italia medievale (secoli V-XV), in *Storia d'Italia. Annali. 5. Il paesaggio*, a cura di C. De Seta, 13-44. Torino: Einaudi.
- Liotta, Domenico. 2002. D₂ asymmetric folds and their vergence meaning in the Montagnola Senese metamorphic rocks (inner northern Apennines, central Italy). *Journal of Structural Geology*, 24: 1479-1490.
- Moretti, Italo. 2001. Ordini mendicanti e organizzazione dello spazio urbano nelle città toscane, in *Gli ordini mendicanti a Pistoia*, a cura di R. Nelli, 55-68. Pistoia: Società Pistoiese di Storia Patria.
- Mugnaini, Sonia; M. Giamello e G. Sabatini. 2010. I marmi della Montagnola Senese. Aspetti geologico-petrografici e impiego nell'edilizia medievale. *Diamante-Applicazioni & Tecnologia*, 60: 7-15.
- Pallecchi, Silvia. 2007. Il palinsesto di una città medievale. Metodi e problemi dell'archeologia urbana a Siena, *Città e Storia*, I: 583-594.
- Pansini, Rossella. 2012. San Donato Arch in Siena. A Contribution to the History of the Roman Settlement through Building Archaeology. *17th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies*. Consultabile online: <https://www.chnt.at/chnt-17-2012-proceedings/>
- Pansini, Rossella. 2021. Uso e riuso di laterizi romani in una torre medievale: il caso di via dei Montanini 16 a Siena. In *Demolire, riciclare, reinventare. La lunga vita e l'eredità del laterizio romano nella storia dell'architettura*, atti del III convegno internazionale «Laterizio» (Roma, 6-8 marzo 2019), a cura di E. Bukowiecki, A. Pizzo, R. Volpe, 145-152- Roma: Edizioni Quasar.
- Parenti, Roberto. 1995. Approvvigionamento e diffusione di alcuni materiali litici da costruzione dei dintorni di Siena, in *Le pietre delle città d'Italia*, a cura di D. Lamberini. Atti della Giornata di Studi in onore di Francesco Rodolico (Firenze, 23 ottobre 1993), 87-108. Firenze: Le Monnier.
- Parenti, Roberto. 1999. La lettura stratigrafica di un centro urbano: Siena, in *Arqueologia del monumento. Actas de los III Encuentros sobre Arqueología y Patrimonio. Salobreña, del 13 al 16 de Octubre del 1992*, 153-172. Salobreña: Ayuntº de Salobreña.
- Pegoretti, Giovanni. 1943. *Manuale pratico per l'estimazione dei lavori architettonici, stradali e idraulici e di fortificazione ad uso degli ingegneri e degli architetti*, Milano: Monti.
- Piccinni, Gabbriella. 2019. *Nascita e morte di un quartiere medievale. Siena e il borgo di Santa Maria a cavallo della peste del 1348*, Pisa: Pacini Editore.
- Quast, Matthias. 2006. *Siena: banca dati delle facciate del centro storico*. Consultabile online: <http://db.biblherz.it/siena/siena.xq>.
- Quirós Castillo, Juan Antonio. 2006. Costruire la città medievale: i materiali prodotti in serie nella città di Pisa, in *IV Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Abbazia di San Galgano, Chiusdino-Siena)*, 26-30 settem-