

LA COSTRUZIONE DELL'ARCHITETTURA

Dall'ideazione all'attuazione

Direttore

Corrado Fianchino

Università degli Studi di Catania

Comitato scientifico

Raffaella Lione

Università degli Studi di Messina

Renato Morganti

Università degli Studi dell'Aquila

Marina Fumo

Università degli Studi di Napoli Federico II

Tutti i volumi della collana (ICAR/10 e ICAR/11) sono stati precedentemente sottoposti al vaglio di membri del comitato scientifico e di *referees* anonimi esterni per *peer review*.

LA COSTRUZIONE DELL'ARCHITETTURA

Dall'ideazione all'attuazione



L'architettura è un fatto d'arte
un fenomeno che suscita emozione
al di fuori dei problemi di costruzione, al di là di essi.

LE CORBUSIER

La collana raccoglie saggi e testi, individuali o collettivi, su temi e aspetti inerenti le procedure operative destinate alla costruzione dell'architettura, sia a livello di ideazione che di fattibilità, così che si possano individuare gli strumenti attuativi delle opere architettoniche.

Si pone l'attenzione su un'attività costruttiva conforme agli attuali sviluppi dei sistemi, alla complessità delle esigenze della società contemporanea e alla "costruzione della bellezza".

Con opere e studi di giovani studiosi si colgono i segni dei recenti apporti all'architettura, che producono avanzamenti e modificazioni verso diverse concezioni ed espressività.

Il focus è rappresentato dagli scritti che analizzano le attività sul costruito, anche di carattere storico, con riferimento all'adeguamento del patrimonio edilizio esistente alle contemporanee esigenze energetiche e statico-costruttive.

Sono di particolare interesse le ricerche che approfondiscono le caratteristiche tecniche degli interventi in relazione alle attuali possibilità espressive ottenute con procedure automatizzate, sia a livello progettuale che operativo.

Il presente volume è stato realizzato con fondi per la Ricerca di Ateneo dell'Università degli Studi di Catania, Piano di Incentivi per la Ricerca PIACERI 2020/2022, a valere sul Progetto interdipartimentale “REVERSE. The anthropocene upside down: REsponsible research, VERSatile knowledge, Environmental futures in action”, P.I. Prof.ssa Mara Benadusi (Dipartimento di Scienze Politiche e Sociali), Co-P.I. Prof. Alessandro Lutri (Dipartimento di Scienze Umanistiche) e Prof.ssa Laura Saija (Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura).

Classificazione Decimale Dewey:

693.22 (23.) COSTRUZIONE IN MATERIALI SECCATI AL SOLE

GIADA GIUFFRIDA

TERRA CRUDA OGGI

MATERIA, TECNICA E PRODUZIONE

Prefazione di

ROSA CAPONETTO





©

ISBN
979-12-218-1317-3

PRIMA EDIZIONE
ROMA 22 LUGLIO 2024

INDICE

9 *Prefazione di ROSA CAPONETTO*

13 *Introduzione*

Parte I

21 Capitolo I
La terra cruda come materiale da costruzione

29 Capitolo II
Produzione e costruzione in terra cruda, dal passato ad oggi
2.1. Tecniche costruttive storiche in terra cruda, 29 – 2.1.1. *Terra battuta/pisé*,
31 – 2.1.2. *Cob/Bauge*, 32 – 2.1.3. *Adobe*, 32 – 2.1.4. *Tecniche di riempimento*,
33 – 2.1.5. *Tecniche costruttive storiche sismoresistenti*, 34 – 2.2 Le normative
per la costruzione contemporanea in terra cruda, 36 – 2.3. Tecniche costrut-
tive contemporanee in terra cruda, 42 – 2.4. Prestazioni delle costruzioni in
terra cruda, 56 – 2.4.1. *Prestazioni strutturali*, 56 – 2.4.2. *Prestazioni termoi-
grometriche ed energetiche*, 60

67 Capitolo III
Produzione e costruzione in terra cruda tra transizione ecologica e digitale

Parte II

79 **Capitolo I**

La ricerca sperimentale sulla costruzione in terra battuta contemporanea

1.1. Materiale, 80 – 1.1.1. *Scelta dei materiali base e prima lavorazione*, 80 –

1.1.2. *Miscela*, 89 – 1.1.3. *Produzione delle campionature*, 90 – 1.1.4. *Protocollo*

di prova e risultati, 92 – 1.2. Sistema e processo costruttivo, 108 – 1.2.1.

Preparazione del materiale, 110 – Preparazione della miscela di terra: uso del

premiscelato, 110 – Preparazione della miscela di terra: uso del terreno cavato

in situ, 111 – 1.2.2. *Processo costruttivo*, 113 – Attacco a terra, 113 – Muro

in terra battuta, 114 – Chiusura orizzontale/inclinata di copertura, 116 –

Finiture, 116 – 1.3. Prestazioni termiche ed energetiche, 137 – 1.4 Prestazioni

ambientali, 161

171 *Conclusioni*

175 *Bibliografia*

PREFAZIONE

Quando si discute di sostenibilità non si può prescindere dalla sua dimensione filosofica. In particolare, nel contesto della sostenibilità ambientale, emergono diverse responsabilità che coinvolgono sia le istituzioni che il singolo individuo o l'intera collettività: oltre all'obbligo morale verso le future generazioni, è essenziale promuovere una giusta distribuzione delle risorse del pianeta, garantendo a tutti l'accesso alle necessità fondamentali senza sprechi. Vi è anche l'impegno a proteggere e preservare gli ecosistemi, riconoscendo il valore intrinseco della natura e l'importanza della biodiversità per mantenere stabilità ed equilibrio ambientale. Non a caso, numerosi filosofi hanno contribuito nel corso dei secoli a sviluppare una comprensione più profonda delle questioni etiche, politiche e sociali legate alla relazione tra l'uomo e l'ambiente naturale, basta pensare ai contributi di pensatori come Hans Jonas, Arne Næss, Aldo Leopold, Murray Bookchin, Bruno Latour, i cui lavori hanno smosso le coscienze e arricchito il dibattito sulla sostenibilità con importanti riflessioni e analisi.

Questa visione ontologica della sostenibilità ambientale oggi di fatto si traduce in un impegno concreto che coinvolge tutti i settori produttivi e sociali, postulando un ripensamento delle risorse, dei processi e degli strumenti utilizzati per intervenire nell'ambito del territorio costruito e non.

Peraltro uno sguardo alle dinamiche politico-economiche e sociali degli ultimi anni disvela un ulteriore assunto: la sostenibilità non è solo

un dovere morale, ma è anche un driver di crescita economica e un'opportunità di trasformazione. Essa oggi rappresenta una componente essenziale nella strategia d'impresa, influenzando decisioni che spaziano dall'impatto ambientale alle politiche sociali (come dimostra, ad esempio, il concetto di *Corporate Social Responsibility*). L'adozione di pratiche sostenibili può senza dubbio conferire un vantaggio competitivo alle aziende del settore delle costruzioni, migliorando l'efficienza operativa e aprendo nuove opportunità di mercato.

Tra le strategie di sostegno dello sviluppo sostenibile, la scelta di "ripensare" e/o "reinterpretare" i materiali da costruzione può risultare estremamente efficace per migliorare l'efficienza energetica degli edifici, ridurre le emissioni di CO₂ e minimizzare il consumo di risorse non rinnovabili nonché per limitare i rifiuti. In questo senso, è opportuno rivalutare i materiali tradizionali, aggiornandoli alle esigenze contemporanee.

La terra cruda, ad esempio, presente da tempo immemorabile in tutta la storia dell'architettura, può rappresentare anche oggi una preziosissima risorsa perché offre numerosi vantaggi che rispondono a necessità fortemente sentite e richieste dal mercato: è facilmente reperibile e riciclabile, presenta un basso impatto ambientale ed eccellenti proprietà termoisolometriche, produce un buon isolamento acustico, garantisce versatilità estetica e modellabilità.

Certamente oggi il suo uso deve essere ripensato in chiave moderna, così da poter affrontare con nuovi strumenti i limiti intrinseci del materiale ovvero della tecnologia. Tali limiti si sostanziano soprattutto nella sensibilità all'acqua, nella bassa durabilità senza adeguate protezioni contro agenti atmosferici, nella resistenza strutturale inferiore rispetto a materiali quali il c.a. e l'acciaio (che però sono meno sostenibili), nella necessità di impiegare competenze specifiche non sempre disponibili e soprattutto nella difficoltà di standardizzare le prestazioni per la variabilità della natura del terreno utilizzato. "Rielaborare" con strumenti innovativi un materiale antico come la terra può consentire di soddisfare efficacemente gli attuali standard abitativi, architettonici e normativi oggi richiesti.

E a proposito di standard normativi, che attualmente rappresentano uno degli aspetti più delicati dell'architettura in terra, è interessante notare come in alcuni paesi esteri, in cui la cultura di questo materiale

è più radicata, le normative stiano evolvendo e diventando più stringenti e complete. Il fenomeno si registra non solo nelle aree meno industrializzate come l’Africa e l’America del Sud, ma anche in regioni più sviluppate come l’Australia, il Nord America e in alcuni paesi europei (Spagna, Francia, Germania). Questo potenziamento normativo sta di fatto facilitando la diffusione della terra cruda, regolamentandone in modo sistematico e organico l’utilizzo. In altre aree/nazioni e in particolare in Italia, invece, la mancanza di una normativa di riferimento smorza gli impulsi di ripresa del mercato della terra e di fatto costituisce una difficoltà non banale anche per chi opera nell’ambito del recupero e della riqualificazione di edifici in crudo.

Una buona conoscenza del materiale e dei processi di selezione, vagliatura, caratterizzazione e costruzione consente di superare molti dei limiti prima citati, rilanciando l’opportunità di impiego di questo straordinario materiale; un’opportunità legata anche alle potenzialità espressive della terra, in passato associata solo all’architettura vernacolare e “minore”, oggi utilizzata in nuove costruzioni di grande valore evocativo e innovativo. In questo contesto, l’uso degli strumenti digitali attualmente disponibili permette di reinterpretare e modernizzare l’architettura in terra, implementandone le prestazioni, facilitandone i processi di produzione e costruzione, ampliandone le capacità espressive.

Questo volume ha il grande merito non solo di trasmettere conoscenza e cultura tecnica, ma anche di stimolare un approfondimento appassionato di questo materiale, disvelandone la natura straordinariamente variegata e ricca, contribuendo ad accendere un rinnovato e responsabile interesse.

Ritornando all’inizio di questa premessa, l’approccio ontologico alla sostenibilità ci obbliga a considerare come essa sia strettamente legata alla nostra comprensione della natura, dell’essere umano e delle reciproche interconnessioni. Ci esorta a esaminare le radici filosofiche e concettuali della responsabilità umana verso ciò che è al di fuori di noi e a riflettere su come queste influenzino le nostre azioni e la nostra visione del mondo. In questo senso, la lettura di questo libro ci invita a fare un passo avanti, aprendo una porta ancora socchiusa verso questo paradigma. Ci sollecita a riflettere su come conciliare l’incessante richiesta di risultati/prestazioni a cui quotidianamente dobbiamo far fronte,

sia come individui che come studiosi o professionisti, con il profondo bisogno di ristabilire il legame con la natura. Questa necessità è tanto evidente quanto imperativa per coloro che si confrontano, lavorano, sperimentano e costruiscono con la terra. Ma è auspicabile che tale urgenza sia riconosciuta a poco a poco, e con pari rilevanza, anche da coloro che mostrano minor interesse e sensibilità verso il rapporto con la natura, affinché tutti possano cogliere appieno l'importanza di un approccio biofilico nell'esistenza.

ROSA CAPONETTO

INTRODUZIONE

Com'è noto, il settore delle costruzioni incide in maniera sostanziale sulla domanda di energia (nella misura del 34% sul totale) e sulle emissioni di sostanze nocive a livello ambientale (nella misura del 37%), rispetto ad altri settori della produzione (2022 Global Status Report for Buildings and Construction). I rifiuti da costruzione e demolizione rappresentano il flusso più consistente nell'Unione Europea (e nel resto del mondo) nella percentuale del 30% (Purchase *et al.* 2022). Dall'analisi dei fattori nocivi per l'ambiente, risulta che la maggior parte di essi (effetto serra, potenziale di acidificazione, tossicità, ecc.) derivano dalla combustione di combustibili fossili.

È risaputo che l'incidenza sull'aumento dell'effetto serra prevale durante la fase di utilizzo dell'edificio, mentre gli altri fattori prevalgono durante la fase di produzione (Sobotka *et al.* 2009). Le attuali linee guida europee (*Déclaration environnementale 2023*) mirano al contenimento dei consumi energetici, all'abbattimento delle emissioni climalteranti e alla minimizzazione dei rifiuti in relazione alle fasi di produzione, costruzione, uso e mantenimento, in accordo con l'approccio dell'analisi del ciclo di vita applicato al comparto delle costruzioni, mirando alla cosiddetta transizione verde. Il fine ultimo di questi indirizzi normativi è quello di mitigare l'impatto del costruito sulle nostre città, sugli ecosistemi e sui nostri territori, auspicando dunque l'implementazione

di tecniche che mirino alla promozione dell'utilizzo di risorse rinnovabili ed energeticamente efficienti.

Dopo la crisi del petrolio degli anni Settanta, si assiste ad un radicale cambio negli obiettivi di progettazione che caratterizzano la costruzione e la ricerca architettonica, abbandonando l'utopia dell'*International Style* che concepiva un unico tipo edilizio valido per tutte le latitudini e i climi. Al contrario, maggiore attenzione viene rivolta alla ricerca sul contesto, all'adattamento degli edifici (ed in particolare del loro involucro) alle caratteristiche fisiche ed ambientali dei siti di costruzione, all'utilizzo di materiali base locali che a fine vita prevedessero una bassa produzione di rifiuti, all'individuazione dunque di tecnologie che garantissero bassi costi di costruzione e di gestione.

Negli ultimi decenni, questo approccio più attento in termini ambientali ha portato alla riscoperta di alcune tecniche costruttive tradizionali caratterizzate dall'utilizzo di materiali poveri, di origine naturale e spesso locale e dal recupero del saper fare tradizionale, allo scopo di minimizzare le problematiche relative al consumo di risorse e di energia. Questo *know-how*, il sapere come (fare, ma anche sapere come progettare, costruire), si esplicita, sul piano pratico, con il saper formulare correttamente materiali base e con il saper costruire sapientemente, mentre sul piano teorico comporta la conoscenza del contesto ambientale in cui l'edificio si installa, in relazione alla presenza di risorse naturali che possono essere utilizzate nella costruzione, all'esperienza dei costruttori e alla validazione di sistemi costruttivi e criteri di progettazione che tengano in considerazione le caratteristiche naturali del sito (approccio bioclimatico).

Si riscoprono dunque le architetture vernacolari, da un lato tradizionalmente associate all'idea di indigenza delle popolazioni che vi hanno storicamente vissuto (che costruivano appunto con i materiali disponibili, spesso gratuitamente, sul sito di costruzione) e dall'altro, alla crescente consapevolezza (accumulata soprattutto negli ultimi decenni) della salubrità dello spazio costruito e della non tossicità dei materiali base utilizzati, delle buone prestazioni termoigrometriche degli involucri, dell'economicità dei processi di costruzione e gestione degli edifici e dello sviluppo delle economie locali.

Oggi, gli approcci di progettazione come quelli della bioarchitettura e della bioedilizia si occupano di seguire questa linea di indagine,

provando a proporre una valida alternativa alla costruzione contemporanea convenzionale, caratterizzata da tecnologie ad elevata energia incorporata a causa dei materiali base (di sintesi chimica) e dei processi di produzione (fortemente industrializzati) utilizzati, postulando l'utilizzo di materiali base a minore impatto ambientale, meno processati, più economici ed integralmente riciclabili a fine vita.

Come sottolineano Rashid e Ara, l'enorme quantità di architettura vernacolare presente nel mondo potrebbe funzionare come un database infinito di soluzioni tecnologiche e sostenibili per l'edilizia (Rashid et Ara, 2015). La conoscenza vernacolare si configura come un sistema dinamico in cui l'innovazione è stata sottoposta al vaglio del lungo periodo e della sostenibilità ambientale (Staid 2021). Aspetti e dettagli dell'architettura vernacolare vengono oggi riscoperti attraverso limitati esempi basati su alcune loro prestazioni. Alcuni autori suppongono che ciò avvenga perché c'è ancora una forte opposizione tra le nozioni convenzionali di "tradizionale" e "moderno" nella ricerca architettonica (Rashid et Ara, 2015). In realtà, l'ingegnosità delle soluzioni tecnologiche nella tecnica costruttiva vernacolare è qualcosa che non ha bisogno di essere dimostrato. La resilienza e la durabilità di questi sistemi costruttivi è evidente e testimoniata dal fatto che hanno resistito per millenni.

Tecniche costruttive basate sull'utilizzo di materiali naturali come la terra cruda, le fibre naturali, il legno e il bambù sembrano offrire una valida alternativa alla costruzione contemporanea con un approccio più consapevole alle tematiche del consumo di risorse ambientali ed energetiche e dell'impatto dovuto alla produzione di rifiuti.

Tuttavia, il passaggio da approccio costruttivo vernacolare ad una sua forma maggiormente standardizzata e/o industrializzata che lo renda più speditamente e facilmente utilizzabile nella costruzione contemporanea, tipica dei paesi maggiormente industrializzati spinti, come sono, dalla spinta verso un'Industria 4.0, ha postulato la perdita di alcune caratteristiche essenziali della costruzione tradizionale, come la riciclabilità, il basso costo e l'esiguo consumo di energia per la sua produzione.

Allo scopo di comprendere come la costruzione in materiali naturali possa reinvertarsi ed essere traspunta al giorno d'oggi, prenderemo come caso studio quello della costruzione in terra cruda e, ripercorrendo

brevemente i fondamenti materici e costruttivi sui quali si basano le diverse tecnologie in terra cruda, proporremo un'analisi critica delle ultime innovazioni che hanno coinvolto i materiali base ed i processi adottati negli ultimi decenni. Tale analisi si rende necessaria proprio per vagliare le traiettorie di sviluppo adottate e per comprendere se la costruzione e la produzione in terra cruda contemporanea possono essere una risposta alla necessaria transizione verde del costruito.

Particolare attenzione verrà rivolta a quei sistemi che, a causa delle elevate performances richieste nell'ambito strutturale (ad esempio nel caso di sistemi pensati per aree sismiche) e/o termofisico (aspetto comune alla maggior parte dei paesi del mondo a causa delle stringenti misure sul contenimento dei consumi energetici degli edifici), si sono dotati di un complesso apparato tecnologico o si sono basati su un pesante processo produttivo che, come vedremo, rischia di tradire i presupposti base della bioedilizia in generale, e dell'edilizia in terra cruda nello specifico. Il rischio, come vedremo, è quello di adattare passivamente sistemi e processi ereditati da altre tecnologie costruttive, altamente standardizzate (come quella del calcestruzzo armato), senza ripensare a livello strutturale i metodi di produzione e senza adattare gli standard costruttivi ad una progettazione che metta al centro del suo operato i valori della sostenibilità ambientale, del riuso, dell'economia circolare.

Esamineremo infine alcuni approcci innovativi alla costruzione in terra cruda contemporanea, le cui linee di ricerca e/o di produzione pongono al centro del loro operato la creazione di un'alternativa sostenibile (in termini ambientali, economici e sociali) al costruito contemporaneo *mainstream*.

In particolare, a questo proposito, la seconda parte del volume riporta i risultati della ricerca di dottorato dell'autrice, che ha riguardato la definizione di un sistema costruttivo innovativo in terra battuta ad elevata prestazione termica ed energetica, studiato per un contesto ad elevato rischio sismico. La soluzione studiata e brevettata insieme al partner industriale locale Guglielmino Soc. Coop., consiste in un sistema costruttivo composto da muri in terra battuta realizzati con nuove miscele di terre argillose e materiali riciclati da altre filiere produttive (fibre naturali e materiale di riempimento proveniente dall'industria del taglio della pietra), rinforzati con dispositivi antisismici

costituiti da un telaio di rinforzo in legno e tiranti in corda di nylon/poliestere. Tale sistema, come vedremo, prevede lo sviluppo di un sistema di casseforme integrato con il telaio di irrigidimento in legno, in grado di garantire una posa in opera rapida, economica e parzialmente prefabbricata.

Nell'ottica dell'ottimizzazione del processo produttivo e costruttivo, il sistema prevede l'utilizzo di premiscelati di terra e la prefabbricazione di telai irrigidenti lignei. Tali telai, in particolare, hanno una duplice funzione: fungono da elementi di supporto per la cassaforma in fase di costruzione e da sistema di rinforzo per le pareti in caso di sisma. Il sistema viene in parte prodotto in stabilimento (con una filiera controllata in relazione alla forma e alle dimensioni delle componenti in legno, alle miscele costituenti, ai sistemi di giunzione, ecc.) per poi essere assemblato in cantiere, al fine di garantire il controllo della qualità del prodotto, del processo e quindi della risposta prestazionale attesa. Ulteriori informazioni circa la tecnologia in oggetto, con dettagli relativi alla formulazione del materiale base, al sistema strutturale concepito, al processo di costruzione previsto e alle principali prestazioni attese, saranno riportati come si è detto, nella seconda parte del libro (v. Parte II, cap. I).