Cultura materiale, architettura tradizionale e prodotti innovativi bioregionali

a cura di Paola De Joanna e Dora Francese

Federico II University Press

fedOA Press

Cultura materiale, architettura tradizionale e prodotti innovativi bioregionali

a cura di

Paola De Joanna e Dora Francese

Federico II University Press

fedOA Press

Cultura materiale, architettura tradizionale e prodotti innovativi bioregionali / a cura di Paola De Joanna e Dora Francese. – Napoli : FedOAPress, 2025. – 196 p. ; ill. ; 24 cm.

Accesso alla versione elettronica: http://www.fedoabooks.unina.it

ISBN: 978-88-6887-417-9
DOI: 10.6093/978-88-6887-417-9

Progetto realizzato con il contributo della Regione Campania – Direzione Generale Governo del Territorio, ai sensi della Legge Regionale 19/2019.

Centro Interdipartimentale di ricerca per lo studio delle Tecniche Tradizionali dell'Area Mediterranea, Università di Napoli Federico II

Immagine di copertina generata digitalmente a partire da texture biomateriche ispirate a gusci di castagna.

© 2025 FedOAPress – Federico II University Press

Università degli Studi di Napoli Federico II
Centro di Ateneo per le Biblioteche "Roberto Pettorino"
Piazza Bellini 59-60
80138 Napoli, Italy
http://www.fedoapress.unina.it/

Published in Italy

Gli E-Book di FedOAPress sono pubblicati con licenza Creative Commons Attribution 4.0 International

Indice

Introduzione, P. De Joanna 7

Parte I

1. *Le materie prime dell'architettura in territorio campano: filiere locali e qualità ambientale dei materiali*, D. Francese, A. Picariello 11

2. *La valutazione di compatibilità con gli ecosistemi*, A. Picariello, E. Guida, N. Esposito 27

3. *Sperimentazione sulle filiere bioregionali campane*, E. Guida, N. Esposito 55

4. *Il protocollo di Certificazione per i prodotti innovativi bioregionali e sostenibili*, P. De Joanna 63

Parte II

1. *Riuso degli Scarti Agricoli: Innovazione Sostenibile nei Sistemi Edilizi Antisismici*, A. Formisano, E. Meglio 73

2. *Materiali* low carbon *per il retrofit dell'involucro nella transizione energetica dell'edilizia residenziale*, P. Altamura, S. Baiani, M. Bellomo, V. D'Ambrosio, G. Rossini, E. Tersigni 93

3. *Un approccio olistico nelle strategie di retrofitting energetico per la regione Campania*, L. Buoninconti 109

4. *Canapa industriale: risorsa, opportunità e limiti*, M. Alessandrini 123

5. *La lettura ecologica e paesaggistica dei sistemi rurali nella definizione e implementazione delle politiche agricole in Campania*, F. Della Valle, A. di Gennaro 135

6. *Filiere circolari per il bioregionalismo*, E. M. Oliva 141

7. *La prospettiva manageriale per rispondere alla sfida del riuso degli scarti in architettura: dalla dimensione economica alla prospettiva della tripla elica della sostenibilità*, F. Caputo 157

8. *Riuso degli Scarti in Architettura: il ruolo del mercato*, A. Iannaccone 165

9. *Riuso degli Scarti in Architettura: Materiali Inerti*, C. Della Volpe 173

10. *Riuso degli Scarti in Architettura: Normative e Protezione ambientale*, M. Borrelli 181

Indice degli autori 191

Introduzione

P. De Joanna

Il volume si inscrive nel dibattito contemporaneo sul ripensamento del paradigma costruttivo alla luce della crisi climatica, della rarefazione delle risorse e della fragilità del patrimonio edilizio. La questione ambientale non può più essere interpretata come ambito specialistico o come vincolo normativo da soddisfare, ma costituisce oggi la condizione strutturale entro cui si ridefiniscono i fondamenti teorici e operativi dell'architettura.

La riflessione, declinata nella prima parte del volume, muove da una critica implicita al modello di crescita illimitata che ha guidato lo sviluppo urbano e produttivo del Novecento. In tale modello, il territorio è stato progressivamente ridotto a supporto fisico neutro, serbatoio di materie prime e spazio di consumo. Il progetto architettonico, in larga misura, ha recepito questa impostazione, separando forma e materia, estetica e provenienza delle risorse, innovazione e radicamento locale. Il ritorno ai materiali bioregionali non è dunque un'operazione nostalgica, ma un gesto teorico: riattribuire alla materia una dimensione relazionale, riconoscendone il legame con l'ecosistema, con la cultura produttiva e con la memoria dei luoghi.

La materia non è mai neutra, essa porta con sé stratificazioni storiche, significati simbolici e implicazioni ambientali; ogni scelta costruttiva implica una presa di posizione rispetto al modello di sviluppo che si intende sostenere. In questo senso, l'analisi delle filiere locali e delle potenzialità applicative delle risorse campane diventa parte di una più ampia ridefinizione del concetto di qualità architettonica, che non si esaurisce nella prestazione tecnica ma include coerenza territoriale e responsabilità ecosistemica.

La seconda parte del testo introduce una dimensione ulteriore, affrontando il riuso degli scarti agricoli e l'impiego di materiali low carbon nei sistemi edilizi antisismici e nel retrofit energetico. Qui la materia assume una valenza trasformativa: lo scarto diventa risorsa, il residuo agricolo si integra nella matrice edilizia, l'economia lineare si converte in circolare. La sperimenta-

zione su malte e intonaci rinforzati con fibre di canapa e aggregati riciclati non rappresenta soltanto un avanzamento tecnico, ma un esempio concreto di come l'innovazione possa emergere dall'intersezione tra saperi tradizionali e ricerca scientifica.

In questo quadro, la sostenibilità non è riducibile a un insieme di indicatori energetici o a parametri di emissione. Essa si configura come equilibrio dinamico tra dimensione economica, sociale e culturale, come lo studio per la valutazione ecosistemica mette in luce. La qualità di un materiale non dipende esclusivamente dal suo impatto lungo il ciclo di vita, ma dalla sua capacità di inserirsi in reti territoriali, di rafforzare filiere locali e di contribuire alla resilienza delle comunità.

Il volume propone dunque un superamento della dicotomia tra innovazione e tradizione, tra tecnica e cultura, tra efficienza e identità. L'impiego di materiali bio-based e di scarti riciclati nei sistemi antisismici e negli interventi di light retrofit dimostra come la ricerca possa orientarsi verso soluzioni capaci di coniugare sicurezza strutturale, riduzione dell'impronta carbonica e valorizzazione delle risorse locali.

La materia diviene luogo di convergenza tra etica ambientale e progetto, tra responsabilità ecologica e forma costruita. Il territorio non è più semplice contesto ma soggetto attivo, matrice generativa di soluzioni tecniche e culturali. Riconnettere progetto, materia e bioregione significa allora ridefinire l'idea stessa di progresso: non più espansione quantitativa, ma qualità relazionale; non più consumo di risorse, ma rigenerazione di cicli; non più standardizzazione globale, ma adattamento contestuale. In questa prospettiva, la ricerca qui presentata si propone come contributo teorico e sperimentale a una cultura del costruire capace di abitare la complessità contemporanea senza eluderla, trasformandola in occasione di rinnovamento disciplinare.

Parte I

1.
Le materie prime dell'architettura in territorio campano: filiere locali e qualità ambientale dei materiali

D. Francese, A. Picariello

1. *Premessa: il costruire e le risorse*

Costruire l'architettura nel XXI secolo significa non più fondarsi solo sulle questioni tecniche e di prassi, né tantomeno unicamente su considerazioni economiche, perlomeno quando queste ultime si riferiscono a quel tipo di economia consumista e globalizzante che ha condotto alla «mercificazione e finanziarizzazione del mondo intero.» (Latouche, 2025, p. 26). L'arte, come è noto, svolge un ruolo, che non si manifesta semplicemente col suscitare emozioni ma anche col permettere di riflettere su temi sociali e culturali, senza tuttavia restare ancorata al – o meno che mai strumentalizzata dal – mercato finanziario; «L'arte non può essere arruolata per un progetto sociale e politico, proprio come non può essere sottomessa agli imperativi di mercato. […] il tentativo di strumentalizzare l'arte porta alla sua pura e semplice distruzione.» (Castoriadis, 2007, p. 11 e 45) L'arte dovrebbe e potrebbe invece concorrere a incrementare la consapevolezza nei diversi campi dell'agire umano, così come nelle istituzioni e in ultimo, ma non meno importante, nei singoli individui, della necessità di reinstaurare gli ideali della cultura occidentale, mediante «[…] una nuova interpretazione del valore conoscitivo dei miti, delle religioni, delle narrazioni, della spiritualità: in breve, di tutto quanto la ricostruzione della storia delle idee informata dalla visione scientifica ha cercato di definire come superato a sfere sempre più ristrette dell'esistenza umana,» (Galli G., 1997, p. 6).

Al contrario i nuovi valori – se così si possono appellare – dell'attuale posizione occidentale, e cioè «[…] consumo, potere, status, prestigio, espansione illimitata del governo della razionalità, hanno esaurito il loro potere creativo e stanno ormai portando la civiltà occidentale al collasso.» (Castoriadis, 2007, p. 12)

Anche dunque l'architettura che «[…] è l'arte centrale, è l'arte che racchiude in sé tutte le altre, e di conseguenza racchiude in sé la società stessa […]»

(Considérant 1979, p 34) potrebbe svolgere il compito di condurre la società fuori da quello che Amitav Gosh descrive come caos. (Ghosh, 2016)

Mediante il riconoscimento, in prima istanza, della necessità di un cambiamento di paradigma (Ghosh, 2016, p.4) atto a comprendere come la società di crescita abbia generato tale disastro (Latouche, 2025, p. 19) e quindi convincersi delle implicazioni per l'architettura e l'urbanistica del progetto per una società diversa, quella che Serge Latouche definisce di decrescita o di abbondanza frugale. E una società diversa potrebbe costituirsi esclusivamente attraverso il disconoscimento dell'attuale sistema di valutazione del benessere umano, e cioè il PIL (Prodotto Interno Lordo) «[…] quale indicatore della ricchezza di un paese, visto che è stato dimostrato come quest'ultimo sia in grado di rappresentare solo il consumo piuttosto che la salute sociale (welfare) e meno che mai la felicità di una popolazione.» (De Joanna et al., 2012, p 15)

Quando dunque l'architettura si assume il compito di riconnettere l'arte al territorio, sottolineandone i caratteri bioregionali, dovrebbe «[…] cambiare radicalmente il punto di vista sul problema per passare dalla terra come contesto […] al territorio come soggetto, come prodotto umano vivente, costituito da luoghi dotati di personalità [...]» (Magnaghi 2014, p 14) Appare evidente, a questo punto, il ruolo che le scelte del progettista – e di tutto il settore delle costruzioni – circa la configurazione dello spazio, l'edificazione di corpi di fabbrica o, meglio ancora, la ricostruzione e il recupero dei sistemi già costruiti e spesso abbandonati, sia chiamato a svolgere, soprattutto nella scelta delle risorse da impiegare, sia quelle materiali, che energia e acqua e suolo, affinché siano collegati al territorio, alla bioregione e alle persone.

2. *Il rapporto tra materiali e progetto*

In primo luogo, un percorso che individui l'evoluzione nel settore delle costruzioni, soprattutto nel caso dell'architettura, contiene innegabilmente un ambito legato alla storia dei materiali per la realizzazione stessa dei manufatti.

L'architettura in quanto arte ideatrice di configurazione di spazi ha spesso motivato teorici e architetti a elaborare ipotesi compositive talvolta anche ardite e inusuali che, proprio per il relativo carattere di eccezionalità, ai fini della loro realizzazione, richiedono di perseguire la strada di sperimentare nuovi materiali. Ascoltando i segnali dell'architettura, sembra talvolta essersi verificato il fenomeno contrario, quello durante il quale, grazie alla scoperta, inaspettata o meno, di un nuovo prodotto edilizio, il progettista abbia imma-

ginato spazi e ambienti generati proprio in virtù delle potenzialità espressive della nuova risorsa materiale. Si potrebbe dunque affermare che l'architettura compiuta e i prodotti impiegati per la relativa realizzazione siano indissolubilmente legati mediante una stretta relazione e soprattutto che, tralasciando dalle presenti note il prezioso lavoro del teorico dell'architettura, non può esistere nella realtà tangibile alcuna costruzione priva di materia. Ad esempio «… pur nell'assoluta perfezione formale che gli è riconosciuta, il 'Padiglione tedesco' che Mies van der Rohe progettò per l'Esposizione Internazionale di Barcellona non sarebbe quel padiglione senza i pilastri cromati, il travertino romano del basamento, l'onice dorato color miele e il marmo verde di Tinos per le pareti, i cristalli smerigliati, quelli in grigio e quelli in nero, e senza l'acqua.» (Cardone, 1990, p. 26) Tale rapporto tra forma e materiale da costruzione è stato motivato, nel corso della storia delle città, da svariate esigenze; a volte protese al risparmio economico, altre a fattori strutturali e, ancora, ma non meno importante, alla pura espressività del decoro. Le ragioni alla base della scelta dei materiali hanno riguardato un dominio sempre più vasto, verificatosi proprio in conseguenza del costante sviluppo scientifico-tecnologico delle civiltà occidentali. Sebbene non sia corretto asserire che prima della rivoluzione industriale i materiali da costruzione venissero sempre reperiti in loco, soprattutto quando si trattava della realizzazione di un'imponente opera di rappresentanza, è tuttavia verosimile che a seguito della «[…] realizzazione della rete ferroviaria», fu possibile «innanzitutto un più agevole ed economico approvvigionamento di materiali da altre regioni», tanto da consentire, «[…] ai progettisti di poter effettuare le proprie scelte in una gamma non più limitata ai soli materiali locali.» (Cardone, 1990, p. 35) A partire dalla seconda metà dell'Ottocento «[…] l'abbandono dei materiali tradizionali fu inevitabile, perché determinato da un insieme di motivi di natura tanto culturale e ideale quanto più squisitamente tecnica.» (Cardone, 1990, p. 40)

Oggi, dopo l'indiscriminato depauperamento delle identità locali e a seguito di una generale e diffusa sensibilità nei confronti dell'equilibrio degli ecosistemi alle varie scale, sembra auspicabile un necessario ritorno all'utilizzo dei materiali tradizionali, e localmente reperibili, che siano in grado di dar vita a filiere edilizie corte, e in tal modo operare nel rispetto dei principi dell'economia circolare. A partire da queste osservazioni, nella ricerca che il nostro team ha condotto negli ultimi anni[1] sono state selezionate e analizzate

[1] Il gruppo di ricerca, guidato dalla prof. Paola De Joanna e dalla prof. Dora Francese, entrambi docenti di tec-

le risorse naturali provenienti da coltivazioni, allevamento e scarti agricoli reperibili nella regione Campania; tali risorse, seppure in taluni casi mai adoperate specificamente come materiale da costruzione, contengono tuttavia un alto potenziale di impiego nel settore dell'edilizia, proprio grazie alla capacità di sostituire i materiali di importazione. Per tale motivo, il lavoro di ricerca ha focalizzato l'attenzione su alcune materie prime: la canapa (*Cannabis sativa L.*), la lana, l'*Arundo donax L.* (canna comune), il legno e i materiali lapidei. "Ciò è dovuto innanzitutto alla ricerca di interpretazione del *genius loci,* nella quale essi riescono a essere elemento decisivo sia di decodificazione che di formulazione del linguaggio della nuova espressione, tanto per la 'naturale' attitudine di evocare e trasmettere immagini e sensazioni ataviche quanto per la più diretta e prosaica idoneità a consentire il recupero di espressioni tradizionali e vernacolari." (Cardone, 1990, p.43)

3. *La produzione dei materiali in Campania*

Prescindendo dal fatto che il presente contributo non si pone l'obiettivo di mostrare l'intera attività di ricerca svolta[2], si ritiene interessante mostrare il lavoro di indagine relativo ad alcune materie prime che, se pur ampiamente diffuse e storicamente sfruttate nell'economia del territorio campano, hanno tuttavia già riacquistato un rinnovato e interessante impiego nel settore dell'edilizia in realtà territoriali della penisola italiana diverse da quelle della regione Campania.

La prima risorsa locale studiata è la canapa:[3] senza soffermarsi a ripercor-

nologia dell'architettura presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli studi di Napoli – Federico II, ha condotto studi nell'ambito del bioregionalismo in edilizia, valorizzando il potenziale delle risorse locali, nell'intento di rivitalizzare l'impegno etico dell'architettura nei confronti dell'ambiente. In particolare, nella precedente ricerca dal titolo "Strumenti di certificazione di materiali e prodotti dell'architettura sostenibile per la valorizzazione delle risorse locali" sono stati individuati i potenziali indicatori di sostenibilità indispensabili per la costituzione di uno strumento di qualificazione di materiali e prodotti regionali.

[2] La ricerca a cui si fa riferimento riguarda la costituzione di un protocollo di certificazione per la qualificazione dei materiali bioregionalisti al fine di incentivarne la diffusione e lo sviluppo, a dimensione locale, di filiere circolari attente ai bisogni degli ecosistemi regionali. La ricerca co-finanziata dalla Regione Campania (LR. N. 19/ 11 novembre 2019) prende il titolo di "Cultura materiale, architettura tradizionale e certificazione di prodotti innovativi bioregionali e sostenibili" ed è stata svolta presso il Cittam (Centro Interdipartimentale di ricerca per lo studio delle Tecniche Tradizionali dell'Area Mediterranea) con Responsabile scientifico prof. Paola De Joanna, docente di tecnologia dell'architettura presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli – Federico II.

[3] Si fa riferimento in tutto il testo alla pianta erbacea asiatica *Cannabis sativa* che nel corso della storia è stata coltivata come pianta tessile. (Capasso, 2001)

rere le questioni legislative la cui incidenza ha avuto un ruolo decisivo sul tramonto del suo utilizzo, si è rilevato come, al contrario di quanto oggi appaia (a causa della quasi assoluta estromissione da ogni tipo di mercato), la canapa abbia rivestito grande rilevanza in Italia e soprattutto in Campania, proprio dove il suo utilizzo è stato, fin dai tempi dei Romani, notevolmente diffuso. «I comuni dell'Atellano costituivano un'importante area, la quale, per estensione e varietà di prodotto, era divisa in sottozone. […] Costituiva il settore canapicolo più importante della provincia di Napoli e uno dei migliori della Campania; la coltura della canapa occupava il primo posto rispetto alle varie attività agricole, con una superficie di oltre 4000 ettari e una produzione di circa 48000 quintali di fibra. Afragola e Casoria, compresi nella prima sottozona, vantavano una lunga tradizione nell'attività canapicola e la qualità prodotta era pregevolissima, soprattutto per il colore dorato chiaro del tiglio.» (Capasso, 2001, p. 48) In riferimento alle caratteristiche della pianta è possibile metterne in evidenza la rapida crescita, cioè 90 giorni, durante i quali raggiunge i quattro metri di altezza, nonché l'effetto di fito-rimediazione del suolo e la resistenza nei confronti di parassiti e muffe. Inoltre, la fibra della canapa ha la capacità di assorbire grandi quantità di umidità in rapporto al suo peso, è permeabile al passaggio del vapore e possiede buone capacità di isolamento termico e acustico. (Baratta, 2020) In Campania l'intensa attività di coltivazione della canapa rappresentava anche motivo di forte legame della popolazione con il territorio e la sua orografia: infatti, se in questi territori era possibile effettuare la macerazione[4] delle fibre seguendo il metodo dell'acqua corrente lo si doveva esclusivamente ai Regi Lagni (fiume Clanio), un sistema fluviale artificiale dotato della importante proprietà di essere in piena nella stagione estiva (periodo della macerazione) e in secca durante la stagione invernale. La storia della coltivazione della canapa in Campania è stata ricostruita nel dettaglio in molti studi scientifici, tra cui nel testo del più volte citato Capasso, e ai fini della presente trattazione appare superfluo riferirsi ad essa; è, al contrario, fondamentale accennare alla modalità di impiego di questa risorsa e al relativo legame con la vita delle popolazioni campane. «Gli anni di produzione intensa di canapa vanno sino al 1933 (nel quadriennio 1930-1933, sul quale gravò il peso negativo della «grande crisi» del 1929, e il relativo il

[4] La macerazione è una delle prime fasi di trasformazione della canapa e rappresenta una delle lavorazioni più importanti. La macerazione avviene in acqua e il processo naturale serve a poter facilmente separare la parte esterna da quella interna del fusto da cui si ottengono la fibra e il canapulo. Questa fase è preceduta dalla essiccazione e seguita dalla stigliatura.

numero indice non scende molto sotto la base fissata a 100 per il periodo 1909-1913). […] In taluni paesi del napoletano, soprattutto a Frattamaggiore, centro della zona ove, in particolare, l'attività canapiera si realizzava in termini industriali e artigianali, risuonavano nella notte i canti delle pettinatrici, le donne adibite alla pettinatura a mano della stoppa, un lavoro pesante, effettuato in ambienti malsani, polverosi, meno gravoso nelle ore antelucane e quelle iniziali del dì.» (Capasso, 2001, p. 67) In passato la lavorazione della canapa era fortemente dovuta alla presenza di porti e cantieri navali che necessitavano della realizzazione di cordami e reti. (Casoria et al., 2006)

Oltre ai territori menzionati, moltissime altre zone della Campania erano dedite alla coltivazione e lavorazione della Cannabis sativa L., proprio per la presenza nelle bioregioni delle diverse provincie di terreni fertili dotati dei nutrienti e dell'umidità adatti allo sviluppo della pianta.

Altri usi del canapulo e della fibra si concretizzavano allora con la realizzazione di carta e fibre tessili che, rispetto a quelle di cotone e sintetiche, possedevano caratteristiche di tenacità, resistenza allo strappo e proprietà antibatteriche superiori. (Invernizzi et al., 2016) Si può affermare che, date le sue diversificate e ottimali proprietà fisiche, la canapa sia un materiale dalle innumerevoli applicazioni, in grado di poter essere trasformato in diversi prodotti destinati a svariati settori industriali. Tra questi, soprattutto il settore dell'edilizia può vantare del suo ritorno in auge: la canapa è una risorsa in grado di rispondere agli elevati standard dettati a livello europeo in ambito energetico e ambientale. Un'analisi dell'impatto sull'ambiente (LCA- Life Cycle Analysis – Analisi del ciclo di vita) in termini di emissioni di CO2eq ha messo in evidenza la capacità della materia prima di assorbire grandi quantitativi di anidride carbonica sia nella fase di sviluppo che in quella di messa in opera del prodotto finito.[5] In edilizia la canapa, adeguatamente aggregata a leganti naturali, consente di realizzare pannelli termo-isolanti e fono assorbenti, malte e intonaci e blocchi in calce-canapulo per la realizzazione di tramezzature e tompagnature. (Luprano et al., 2018)

Altro materiale che sembra possedere il potenziale per innumerevoli usi è l'*Arundo donax L.* conosciuto come canna comune e presente ormai in tutto il

[5] Un importante studio sulle prestazioni energetiche e ambientali dei semilavorati della canapa e dei prodotti finiti da essi derivati è stato condotto da ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) in collaborazione al Politecnico di Milano con risultati pubblicati nel 2018 nel Report Ricerca di Sistema Elettrico "Componenti edili con prestazioni energetiche ottimizzate per i climi mediterranei e basati su miscele di calce e canapulo"

Figura. 1. La canapa: le varie pezzature del canapulo e le sue applicazioni in edilizia.

Mediterraneo. «A causa dei molteplici usi dei suoi steli la pianta è stata intenzionalmente distribuita in tutto il mondo. Può essere utilizzata per strumenti musicali, rayon, carta e cellulosa, pannelli truciolari, cestini tessuti a mano, canne da pesca, recinzioni, ombreggiature, piante ornamentali, ecc.» (Christou et al., 2018, p. 139) La canna comune è una pianta erbacea perenne: ciò significa che non ha stagioni e il suo ciclo riproduttivo è continuo ma, fino a oggi, non è possibile reperire dati sulla sua coltivazione poiché non risultano esistere delle attività di sistematico monitoraggio dei quantitativi prodotti e raccolti. Questa lacuna deriva dall'assenza di una vera e propria filiera in Italia dedicata all'Arundo donax in quanto riconosciuta, da una parte del mondo scientifico, come specie invasiva e nociva. (Christou et al., 2018) Al contrario molti altri studi scientifici hanno indagato e dimostrato la capacità anti erosiva del suo apparato radicale nei confronti di suoli e terreni instabili combinata con l'effetto decontaminante per l'acqua e il suolo.[6] La pianta è originaria dell'Asia e venne importata nel Mediterraneo proprio per la produzione di materiale da costruzione e come rimedio naturale per consolidare i margini

[6] All'interno del lavoro di tesi del XXVI dottorato in Valorizzazione e Gestione delle risorse Agroforestali dal titolo "Dinamica di crescita e risposta produttiva di una coltura da biomassa lignocellulosica (Arundo donax L.) in tre ambienti del territorio campano" svolto da Adriana Impagliazzo presso il Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II

di fiumi e torrenti, grazie al suo robusto ma flessibile fusto cavo (detto culmo) del diametro massimo di 3-4 cm e di altezza massima di 6-10 m raggiunta a maturità in circa un anno. La pianta cresce in qualsiasi tipo di terreno (umido, medio, azotato, povero, ecc.) e in climi diversificati, ma prospera meglio nel suo habitat privilegiato, rappresentato da terreni ricchi d'acqua (Bucci et al., 2012): per questo motivo la sua presenza è più frequente lungo i corsi d'acqua e ai margini dei campi.

Fattore importante nello studio dell'*Arundo donax* è determinato dal fatto che questa pianta definisce un ecosistema particolare, che individua una tipologia di paesaggio vegetazionale unico e molto distinguibile, donando, appunto secondo il nome, grande pregio paesaggistico ai territori in cui insiste, che grazie alla sua presenza vengono facilmente riconosciuti come bioregioni umide.

In passato è stata utilizzata in diversi settori produttivi (agricoltura, edilizia, pesca, costruzione di strumenti musicali, produzione di carta, biomassa da combustione, ecc.), ma oggi è prevalentemente valorizzata come biocombustibile ad alto rendimento. «La canna comune ha suscitato ampio interesse per la produzione di biogas/biometano, sostituendo il mais, che è una coltura alimentare e come tale non può essere utilizzata per scopi energetici. […] Sono stati studiati diversi processi di pretrattamento volti ad aumentare la resa di metano della canna comune.» (Christou et al., 2018, p. 140) Si può affermare che la canna comune sia diffusa su tutto il territorio nazionale con grandi possibilità di coltivazione e sviluppo. Nonostante la facile reperibilità di questo materiale in loco, le aziende ricorrono all'importazione della materia prima che viene oggi impiegata principalmente nella realizzazione di arredi e di graticci, stuoie per tettoie o paraventi. Ma, come accennato, la pianta ha un grande potenziale di impiego ancora inesplorato proprio quale materiale da costruzione, principalmente in Campania: «Ad esempio, nei paesi del Mediterraneo, soprattutto negli edifici rurali, le canne giganti vengono tradizionalmente impiegate nei tetti per la creazione di controsoffitti, al fine di proteggere la struttura in caso di incendio e aumentare l'isolamento termico e acustico riducendo l'altezza e contenendo la dispersione del calore. Questo materiale viene utilizzato anche per la costruzione di pareti interne o esterne, generalmente caratterizzate da un telaio in legno che sostiene pannelli di canna comune, realizzati collocando le canne in disposizione regolare, o stuoie generate da canne intrecciate. Anche fasci di canne, legati tra loro, realizzano elementi strutturali utilizzati come colonne e travi.» (Amarone et al., 2023, p. 2)

Figura 2. La canna comune (Arundo donax L.).

Altra naturale risorsa legata alla storica attività silvo-pastorale della Campania è la lana vergine ottenuta dalla tosatura del vello animale. L'uso della lana ha una storia antica quanto quella dell'uomo che se ne serviva per la realizzazione di prodotti per il settore dell'abbigliamento e dell'arredamento. In riferimento all'effettiva disponibilità e produzione, la reperibilità dei dati appare più complessa e articolata essendo strettamente legata a trasversali attività silvo-pastorali e/o altri settori produttivi. Tuttavia, i dati reperiti indicano comunque che a livello regionale un'elevata presenza di aziende (circa 8.000) garantisce una rilevante produzione di lana attestata su circa 540t. Dal punto di vista delle caratteristiche fisiche della materia prima si può descrivere la lana come un materiale con ottime proprietà termo-isolanti, di assorbimento acustico, di igroscopicità e di traspirabilità. Per questi motivi, la lana è un materiale da privilegiare nella progettazione bioclimatica essendo adatto al mantenimento di livelli di comfort elevati all'interno degli ambienti abitati anche laddove le condizioni climatiche esterne siano diversificate. In campo edile è utilizzata in forma di pannelli e materassini di varia densità come isolante naturale ottenuti tramite le operazioni di lavaggio, cardatura e agugliatura della lana. «La lana è impermeabile[7] all'acqua ma permeabile al vapore, che assorbe

[7] L'autore utilizza il termine 'impermeabile' in riferimento alla proprietà idrorepellente della lana dovuta alla lanolina, una sostanza cerosa che riveste le fibre della lana ritardando l'assorbimento dell'acqua.

Figura 3. La lana di origine animale: il suo utilizzo come materiale isolante.

e cede contribuendo a mantenere il giusto grado di umidità negli ambienti interni. Ha buone capacità di fonoassorbimento, ma in caso di incendio la cheratina contenuta in essa può sprigionare sostanze tossiche. L'elevata flessibilità del materiale lo rende facilmente adattabile a composizioni spaziali differenti.» (Baratta, 2020, p. 285) Nonostante la semplicità della lavorazione ci sono aspetti che ne rendono critica la sua diffusione e ne ostacolano il ciclo completo della filiera di produzione: i suddetti aspetti risiedono nel basso prezzo di vendita della materia prima che induce i pastori a privilegiarne un uso privato o, in modo meno opportuno, a smaltire la risorsa come rifiuto adottando pratiche controindicate e non ecologiche come quella della combustione. Sul lento abbandono della risorsa forte incidenza è stata esercitata dai fattori di rischio ambientale dovuti al consumo di risorse e ai prodotti chimici utilizzati durante le fasi di pulizia e nobilitazione della materia prima. «La fase del lavaggio incide in modo determinante sui consumi idrici; sebbene i volumi d'acqua utilizzati risultino molto variabili e condizionati dall'origine e dal tipo di lana in ingresso nell'impianto, è in questa fase che si consuma la quasi totalità dell'acqua impiegata nello stabilimento. Gli impatti determinati sulla risorsa non sono solo di tipo quantitativo ma anche di tipo qualitativo, in quanto vengono impiegati detergenti e agenti chimici funzionali all'operazione stessa.» (Foddanu et al., 2005, p. 65) Una possibile soluzione sarebbe rappresentata dall'individuazione di processi produttivi alternativi sviluppati

sull'utilizzo di sostanze naturali come solventi, sgrassanti e tinte di origine organica unitamente alla minimizzazione del consumo dell'acqua.

Fermarsi ad analizzare le potenziali risorse di cui ogni territorio dispone, andando oltre la vasta gamma di materiali e prodotti che l'industria del commercio globale offre a progettisti e costruttori, rappresenta il primo passo per la messa in opera di processi edilizi virtuosi. Uno strumento di analisi multi-criterio della qualità dei materiali per il settore dell'edilizia può essere il punto di partenza per stimolare gli stakeholder a volgere lo sguardo verso risorse naturali dimenticate eppure vantaggiose dal punto di vista tecnologico e ambientale. "Materiale e costruzione non sono l'uno mezzo per l'altra, ma unità inscindibile e la dissoluzione della stabilità del materiale è dissoluzione della costruttività stessa dell'architettura. L'architettura, cioè, ha un quotidiano commercio con l'idea di materiale nella prospettiva del costruire; anzi si può dire che l'architettura sia un'organizzazione di materiali allo scopo dell'abitare per mezzo di una forma costruita dotata di significato. Questi materiali sono essi stessi già dotati di senso (tecnico, storico, simbolico, ecc.) e quindi il lavoro architettonico si presenta come una forma complessa e seconda di organizzazione di materiali. In questo senso il lavoro su di essi ed a partire da essi è ineliminabile dal processo di costruzione dell'architettura." (Gregotti, 1986, pp. 147-148.)

4. *Criteri Ambientali Minimi e loro applicazione*

I Criteri Ambientali Minimi rappresentano in Italia un primo passo in avanti al fine di incentivare tutti gli attori coinvolti nei processi edilizi ad attuare comportamenti responsabili nei confronti dell'ambiente per mezzo di una lista di requisiti che mirano a ridurre gli sprechi economici e l'inquinamento. I Criteri Ambientali Minimi sono introdotti con un decreto ministeriale e la relativa applicazione è resa obbligatoria nel caso di appalti pubblici a partire dal 2016, con l'articolo 34 del D.Lgs. 50/2016, che ha recepito la normativa della Legge 221/2015 e, successivamente, riconfermato dall'articolo 57, comma 2 del decreto legislativo n. 36 del 31 marzo 2023. I CAM, fondati sui principi della blue economy, hanno origine dal GPP (Green Public Procurement) ovvero uno strumento di politica ambientale introdotto in Italia nel 2008 con il Piano d'Azione Nazionale seguito poi da numerosi decreti ministeriali, grazie ai quali si è proceduto alla stesura dei Criteri Ambientali Minimi per le varie categorie merceologiche. I CAM sono uno strumento di

indirizzo per l'economia nazionale verso un mercato circolare (market based tools) che si rivolge in maniera diretta alle caratteristiche di materiali e prodotti nonché ai processi produttivi, così legandosi fortemente al concetto di sostenibilità ambientale lungo l'intero ciclo di vita. Nonostante l'Italia, rispetto alle direttive comunitarie del 2004 (Direttiva 2004/17/CE e Direttiva 2004/18/CE) sia in teoria un anticipatore nell'obbligatorietà dell'applicazione, tramite i CAM, del modello di economia circolare, «[…] la limitata conoscenza degli appalti verdi, la mancanza di formazione degli operatori pubblici e la sostanziale assenza di un'attività di monitoraggio costituiscono le principali cause della scarsa diffusione del green public procurement in Italia.»[8] (Dimatteo, 2024, p. 2) Sembra, infatti, che esista una discrepanza tra la normativa e la relativa applicazione, per la quale soltanto nell'ultimo anno si comincia a intravedere un trend in crescita nell'adozione dei CAM Edilizia da parte delle stazioni appaltanti. Come già accennato, uno degli aspetti cruciali sembra essere l'assenza di un'attività di monitoraggio e controllo della fase esecutiva dei lavori: l'attività di verifica del rispetto dei CAM spetterebbe all'ANAC (Autorità Nazionale Anticorruzione), come stabilito dall'art. 220, commi 2 e 3 del D.lgs. n. 36/2023 (Nuovo Codice dei Contratti Pubblici): «l'Anac è legittimata ad agire in giudizio per l'impugnazione dei bandi, degli altri atti generali e dei provvedimenti relativi a contratti di rilevante impatto, emessi da qualsiasi stazione appaltante, qualora ritenga che siano stati adottati in violazione delle norme in materia di contratti pubblici».

Mettendo a confronto l'applicazione dei CAM Edilizia nei diversi anni da parte dei Comuni Capoluoghi, si denota un sensibile miglioramento avvenuto in breve tempo: da una percentuale del 17.9 % riferita all'anno 2019 si arriva a un valore del 62 % nel 2024.[9] Bisogna ricordare che tali dati fanno riferimento a una limitata porzione di Enti pubblici intervistati e rispetto a essi «[…], vi sono stati dei progressi su alcuni aspetti, mentre altri rimangono trascurati anche nell'ultimo anno. La maggiore difficoltà che ancora oggi le amministrazioni riscontrano concerne la stesura dei bandi, proprio per carenza di personale formato sul tema. Ecco perché si renderebbe necessario un

[8] Dal lavoro di tesi di Martina Dimatteo del corso di Laurea Magistrale in Giurisprudenza dell'Università di Pavia con relatrice la professoressa Giulia Avanzini dal Titolo "La sostenibilità negli appalti pubblici: dal Green Public Procurement ai criteri ambientali minimi", Anno accademico 2023/2024.

[9] Per un confronto approfondito consultare le fonti: I numeri del Green Public Procurement in Italia – Rapporto Osservatorio Appalti Verdi 2020 e VII Rapporto 2024 I numeri del Green Public Procurement in Italia, Il monitoraggio civico 2024 dell'applicazione del GPP e dei Criteri Ambientali Minimi nelle gare del 2023.

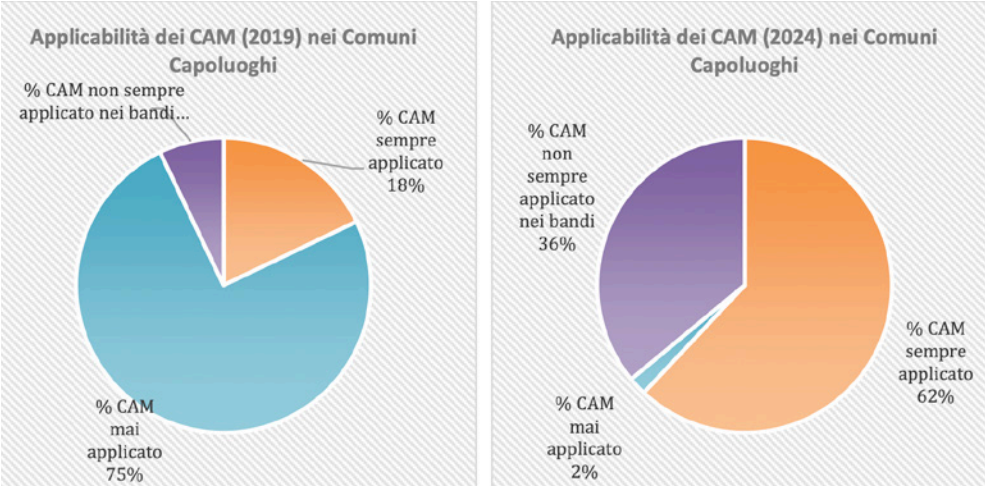


Figura 4. Percentuale di applicazione dei CAM Edilizia nei Comuni Capoluoghi. (Fonte Osservatorio Appalti Verdi).

supporto tecnico nella stesura dei documenti di gara. Una soluzione potrebbe essere quella di formare del personale specifico, che sappia seguire gli acquisti pubblici in tutte le fasi. Lo stesso può dirsi per quanto concerne il monitoraggio, che, come abbiamo visto, è pressoché assente nelle amministrazioni.» (Dimatteo, 2024, p. 114)

La prassi del settore edilizio, rispetto ai Criteri Ambientali Minimi, è, allo stato di fatto, orientata prevalentemente verso soluzioni costruttive finalizzate al risparmio energetico, alla riduzione delle emissioni inquinanti in ottemperanza agli accordi internazionali e all'abbattimento del consumo di materia prima, agendo prevalentemente secondo il principio dell'incentivazione. Il decreto dei Criteri Ambientali Minimi ha introdotto, per la prima volta, dei margini cogenti, seppur limitatamente agli appalti pubblici, affermando l'imprescindibilità delle politiche ambientali. Sulle basi di queste acquisizioni, in prassi che sono oggi supportate e regolamentate istituzionalmente, la ricerca si sposta in avanti a traguardare inediti orizzonti per definire nuovi strumenti in grado di governare gli interventi sul territorio non solo all'insegna del risparmio energetico ma anche in termini di tutela dell'adeguatezza al contesto; in tal modo i suddetti strumenti potrebbero valutare la qualità dei prodotti e dei materiali a basso consumo energetico anche in rapporto all'ecosistema in cui si inseriscono, tentando di colmare le lacune dei CAM in un mercato destinato, per sua stessa natura, a essere costantemente aggiornato.

5. *Certificazione dei materiali edili*

In conclusione, si ritiene utile sottolineare il ruolo dei sistemi di certificazione di processi, prodotti e materiali. Un'analisi degli strumenti di caratterizzazione e qualificazione dei materiali permette di chiudere il cerchio delle considerazioni svolte nelle presenti note. Se la riscoperta e l'individuazione di materiali naturali bioregionali con elevate caratteristiche di sostenibilità ambientale delineano il punto di partenza e se i Criteri Ambientali Minimi rappresentano i requisiti fondamentali che processi, prodotti e materiali devono garantire al raggiungimento di predetta sostenibilità, allora le certificazioni o le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD) e le Dichiarazioni di Prestazione (DoP) rappresentano, senza ombra di dubbio, i documenti essenziali per accertare l'effettiva messa in pratica degli ideali del Green Public Procurement.

In merito alle modalità di valutazione e qualificazione di materiali e prodotti in edilizia è possibile individuare e distinguere tre differenti metodologie applicative.

La prima, il *metodo sul ciclo di vita dei prodotti*, riguarda la valutazione dell'impatto generato sull'ambiente dai prodotti edilizi durante l'intero ciclo di vita. Si analizzano i consumi energetici, i costi e gli inquinanti generati e accumulati durante le fasi di trasporto, stoccaggio, lavorazione, trasformazione, uso, riutilizzo, riciclo e dismissione della materia prima. La normativa che regola le modalità di valutazione è la ISO 14040 che suddivide le fasi di analisi in: *Goal and scope definition* (obiettivo e definizione dello scopo) in cui si stabiliscono le finalità, le unità funzionali, i confini, i dati per la valutazione e i limiti di rappresentatività del modello; Life Cycle Inventory (Analisi d'Inventario) in cui si stabiliscono i flussi in entrata di materia ed energia, e i conseguenti flussi in uscita di ogni processo di trasformazione e trasporto; *Life Cycle Impact Assessment* (Analisi degli Impatti) in cui si analizzano i quantitativi di sostanze inquinanti rilasciate nell'ambiente duranti i vari processi; *Life Cycle Interpretation* (Interpretazione e Miglioramento) in cui si individuano le migliorie da adottare nelle varie fasi per ridurre gli impatti del processo sull'ambiente.

La seconda, il *metodo multicriteria*, intuibile dalla stessa denominazione, prevede una valutazione basata su diversi criteri definiti in base a un protocollo sistematico che stabilisce gli obiettivi da raggiungere, e di conseguenza i requisiti da soddisfare, gli indicatori e i valori soglia di ogni requisito e le modalità di assegnazione dei punteggi. La valutazione multicriterio è molto

utilizzata per il rilascio di etichette ambientali. Questo tipo di analisi può essere effettuata secondo valutazioni di tipo qualitativo e/o quantitativo che si traducono rispettivamente in check list di controllo e/o in punteggi. Le norme di riferimento sono la ISO 14020 e la norma UNI 11277:2008.

Infine, il *Metodo sintetico* prevede un'analisi di tipo quantitativo, per il quale si richiede al valutatore un elevato livello di competenze specifiche. Un esempio di metodo sintetico è la certificazione energetica degli edifici. La norma che regolamenta i principi e le procedure per la definizione di etichette di tipo III è la UNI EN ISO 14025:2010.

La verifica del possesso delle certificazioni per i prodotti e i materiali nel rispetto dei requisiti dettati dai criteri ambientali minimi spetta, tra le altre figure professionali ed Enti, in primo luogo al Direttore dei Lavori. Se il progetto deve essere effettivamente realizzato, il Direttore dei Lavori deve assumersi la responsabilità di conoscere personalmente l'ampio ambito normativo, ed eventualmente essere supportato da esperti del settore disciplinare, al fine di identificare rapidamente l'autenticità prestazionale di prodotti e materiali e di prevederne, con efficacia ed efficienza, l'eventuale sostituzione.

Bibliografia

Amarone, N., Iovane, G., Marranzini, D., Sessa, R., Guedes, M. C., Faggiano, B. (2023). Arundo donax L. as sustainable building material. Sustainable Buildings (6), 2, https://doi.org/10.1051/sbuild/2023005.

Baratta, A. F. L. (2020). Materiali per l'architettura, CLEAN, Napoli.

Bucci, A., Badone F. C., Pilu, R. (2012). La canna comune (*Arundo donax* L.) aspetti storici, scientifici e tecnologici, Aracne Editrice.

Christou, M., Alexopoulou, E., Cosentino, S. L., Copani, V., Nogues, S., Sanchez, E., Monti, A., Zegada-Lizarazu, W., Pari, L., Scarfone, A. (2018). Giant Reed: From Production to End Use. Perennial Grasses for Bioenergy and Bioproducts: Academic Press. (pp. 107-151). ISBN 9780128129005, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812900-5.00004-7.

Capasso, S. (2001). Canapicoltura: passato, presente e futuro. Istituto di Studi Atellani, Napoli.

Cardone, V. (1990). Il tufo nudo nell'architettura napoletana, CUEN, Napoli.

Casoria, P., Scognamiglio, G. (2006). Implicazioni sociali della lavorazione della canapa tessile (Cannabis sativa L.) nel territorio di Napoli. Delpinoa (48), 61-70.

Castoriadis C. (2007)., Fenestre sur le chaos, Seuil, Paris.

Considérant V. (1979). Description du phalanstère et considérations sociales sur l'arquitectonique, Guy Durier, Paris.

De Joanna P., Francese D., Passaro A. (2012). Sustainable Mediterranean Construction, FrancoAngeli, Milano.

Dimatteo, M. (2024). La sostenibilità negli appalti pubblici: dal Green Public Procurement ai criteri ambientali minimi. Tesi di Laurea magistrale in Giurisprudenza. Università di Pavia. Anno accademico 2023/2024. Relatore: Prof. Giulia Avanzini

D.lgs. 31 marzo 2023, n. 36. Codice dei contratti pubblici.

Foddanu, E., Frusca, S. B., Patrucco, E., Merlassino, C. (2005). Analisi del ciclo produttivo del settore tessile laniero. Dipartimento di Biella, Arpa Piemonte.

Galli G. (1997). Politica e New Age. In: Pluriverso, anno 2, n.1, Milano.

Ghosh A. (2016). The great derangement, The University of Chicago Press, USA.

Gregotti, V. (1986). Questioni di architettura, Einaudi, Torino.

Invernizzi, R., Melosini M. M. (2016). Filiera Canapa Sud Italia – South Hemp Tecno. Federcanapa.

Latouche S. (2025). Il disastro urbano e la crisi dell'arte contemporanea. Eleuthera, Milano.

Luprano, V. A. M., Aversa, P., Tripepi, C., Marzo, A., Daniotti, B., Dotelli, G., Sabbadini, S., Rogora, A. (2018). Componenti edili con prestazioni energetiche ottimizzate per i climi mediterranei e basati su miscele di calce-canapulo. Report Ricerca di Sistema Elettrico. Ricerca svolta all'interno dell'accordo di collaborazione "*Componenti edili a base naturale per edifici nZEB*", Responsabile scientifico ENEA: Dott.ssa Vincenza Anna Maria Luprano, Responsabile scientifico Politecnico di Milano: Prof. Alessandro Rogora.

Magnaghi A. (2014). La biorégion urbaine. Petit traité sur le territoire bien commun. Etherotopia/Rhizome, Paris.

2
La valutazione di compatibilità con gli ecosistemi

A. Picariello, E. Guida, N. Esposito

1. *Criteri e metodi di valutazione ecosistemica di materiali bioregionali*

Negli attuali scenari di transizione ecologica, i Criteri Ambientali Minimi (CAM) e le principali metodologie di valutazione ambientale, pur rappresentando riferimenti fondamentali, risultano limitati nel cogliere la complessità delle relazioni tra materiali, territorio ed ecosistemi. In risposta a tali carenze, e in continuità con gli studi sui servizi ecosistemici (Costanza et al., 1997; Häyhä & Franzese, 2014; Soldati et al., 2023), la ricerca propone un approccio di valutazione ecosistemica fondato su principi bioregionali e rigenerativi, volto ad ampliare gli strumenti di analisi e la visione sistemica della sostenibilità.

La valutazione ecosistemica dei materiali bioregionali si articola sulla base di precedenti studi sui servizi ecosistemici e sulla valorizzazione delle risorse locali, condotti dal Centro Interdipartimentale di ricerca per lo Studio delle Tecniche Tradizionali dell'Area Mediterranea dell'Università di Napoli Federico II[1], da cui sono state derivate le metodologie di ricerca. Il principio di sostenibilità impone di considerare gli aspetti economici, sociali e culturali come un sistema complesso e dinamico, in cui le componenti ambientali, socio-economiche e territoriali interagiscono reciprocamente e generano effetti sinergici misurabili.

L'obiettivo non è soltanto misurare l'impatto ecologico dei materiali, ma comprendere come essi contribuiscano al benessere complessivo delle comunità e alla resilienza dei contesti locali.

[1] *"Strumenti di certificazione di materiali e prodotti dell'architettura sostenibile per la valorizzazione delle risorse locali"* (2022-23); *"Valutazione della qualità eco sistemica di materiali e prodotti innovativi per l'architettura"* (2022-23) e *"Cultura materiale, architettura tradizionale e certificazione di prodotti innovativi bioregionali e sostenibili"* (2023-25), progetti finanziati dalla Legge Regione Campania per la Qualità dell'Architettura,11 novembre 2019 n.19.

Dal punto di vista economico, l'analisi si concentra sul grado di integrazione dei materiali nei processi produttivi e distributivi del territorio, valutando in che misura il loro utilizzo favorisca l'impiego di risorse locali e riduca la dipendenza da circuiti esterni.

Un materiale può dirsi economicamente sostenibile quando consente di contenere i costi di trasporto, ridurre il consumo di energia e rafforzare le filiere locali, generando così valore condiviso e circolare. Come osservato da IRCRES-CNR, «un sistema può essere definito economicamente sostenibile quando è in grado di mantenersi nel tempo, preservando le sue qualità ed evitando di erodere il capitale su cui si basa» (IRCRES-CNR, 2017). Indicatori come la distanza tra il luogo di produzione e quello di utilizzo o il grado di compatibilità con le infrastrutture produttive esistenti consentono di valutare in modo oggettivo il contributo del materiale alla costruzione di economie territoriali resilienti e a basso impatto ambientale.

La dimensione sociale amplia questa prospettiva, includendo il rapporto tra i materiali e le comunità che li utilizzano.

La valutazione si concentra sulla capacità dei materiali bioregionali di rispondere ai bisogni delle persone, migliorare la qualità della vita e integrarsi armoniosamente negli ambienti costruiti.

La sostenibilità sociale si manifesta quando l'utilizzo dei materiali supporta pratiche inclusive, facilita la partecipazione attiva delle comunità e contribuisce alla progettazione di spazi coerenti con le esigenze degli utenti e con il contesto territoriale, in accordo con quanto evidenziato da Lami & Mecca (2021), secondo cui la sostenibilità sociale nell'ambito architettonico si configura come la capacità di generare ambienti abitativi inclusivi, coesi e caratterizzati da elevata qualità della vita.

L'integrazione con il sistema antropizzato diventa quindi un elemento essenziale, poiché consente di verificare se i materiali riescano a coniugare innovazione tecnologica, funzionalità e rispetto del contesto umano in cui vengono impiegati.

Infine, il criterio **culturale** evidenzia la dimensione identitaria della sostenibilità; la rilevanza del patrimonio materiale e immateriale di un territorio – comprendente saperi tradizionali, tecniche costruttive vernacolari e materiali locali – emerge come elemento fondamentale per preservare l'identità culturale e promuovere la coesione comunitaria. Come dimostrato da recenti studi sul riuso sostenibile dell'architettura rurale, l'impiego di materiali e tecniche locali assicura "continuità culturale e impegno comunitario", integrando sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

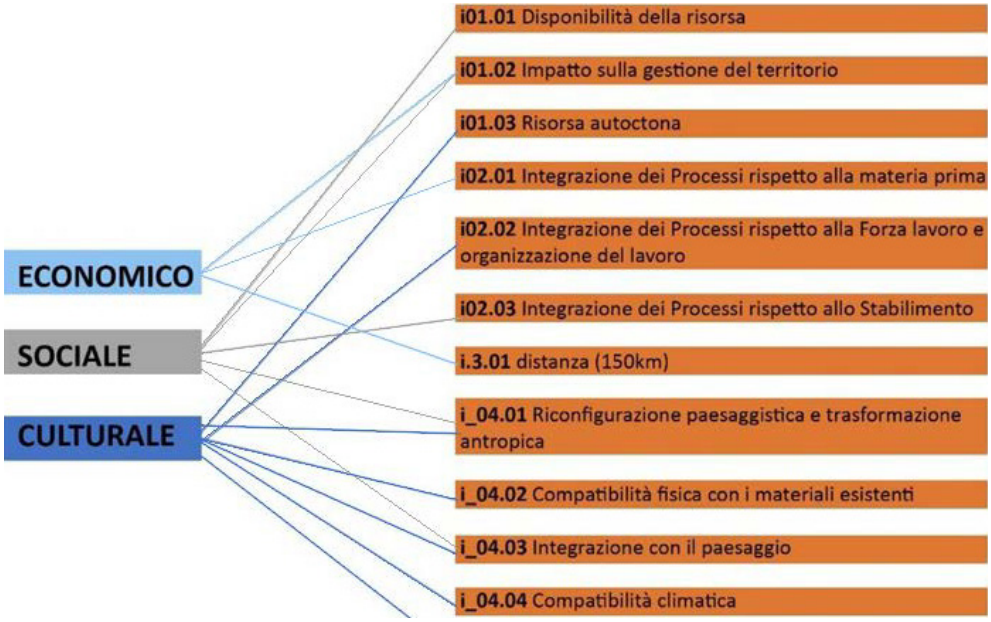


Figura 1. Dimensione economica, sociale e culturale.

In questo senso, la metodologia elaborata intende riconoscere e valorizzare questa complessità: non si tratta solo di scegliere materiali a basso impatto, ma di considerare il loro ruolo come "portatori di memoria e identità territoriale", capaci di rafforzare il legame tra comunità, paesaggio e costruito – contribuendo alla resilienza sociale e culturale del contesto.

La valutazione culturale considera la capacità dei materiali di valorizzare queste specificità locali, di preservare le competenze artigianali e di esprimere il legame tra le persone e il proprio paesaggio.

Un materiale bioregionale è culturalmente sostenibile quando diventa portatore di memoria e continuità, contribuendo a mantenere vivi i valori simbolici e storici di una comunità.

L'integrazione dei criteri economico, sociale e culturale definisce un approccio ecosistemico, in cui la sostenibilità è equilibrio dinamico tra ambiente, attività umane e identità collettiva, come si evince anche dalla figura 1. Su questa base, la ricerca propone una metodologia per valutare i materiali bioregionali in modo integrato, fornendo strumenti concreti per orientare scelte progettuali sostenibili e radicate nel territorio.

2. *Parametri e indicatori locali*

Lo studio dei materiali bioregionali della Campania è supportato dalla selezione mirata di indicatori di riferimento, elaborata a partire dal know-how consolidato nello studio di L. Buoninconti e P. De Joanna (2023). La definizione degli indicatori è stata condotta secondo criteri volti a garantire la loro coerenza con le specificità territoriali e l'efficacia nell'analisi integrata dei materiali locali, in linea con gli obiettivi di valorizzazione sostenibile e di sviluppo di approcci progettuali ecosistemici.

L'intento principale è stato quello di individuare parametri idonei a fornire un contributo innovativo alla definizione di un sistema di certificazione ecosistemica dei materiali bioregionali. In questa prospettiva, sono stati esclusi tutti quegli indicatori già inglobati in sistemi di normazione consolidati[2], al fine di evitare duplicazioni o sovrapposizioni che avrebbero potuto ridurre la chiarezza e la specificità del modello. L'analisi si è focalizzata su quegli elementi in grado di generare un valore aggiunto, con particolare attenzione agli aspetti della sostenibilità territoriale ancora poco indagati. Il campo di ricerca è stato quindi circoscritto a indicatori innovativi, selezionati per la loro capacità di orientare le strategie di sviluppo locale verso scelte coerenti con il patrimonio valoriale, culturale e sociale della regione Campania. Questa impostazione metodologica risponde all'esigenza di costruire un modello di certificazione non solo robusto dal punto di vista scientifico, ma anche in grado di interpretare le sfide contemporanee della sostenibilità mediante un approccio sistemico, integrato e fortemente radicato nel contesto territoriale.

La ricerca si fonda sui ventuno indicatori individuati nel precedente studio di L. Buoninconti e P. De Joanna (2023), che hanno costituito il quadro metodologico di riferimento. L'analisi preliminare ha evidenziato come alcuni indicatori siano già integrati nei criteri di valutazione ambientale vigenti, mentre altri restino in fase sperimentale, offrendo opportunità per lo sviluppo di approcci innovativi di valutazione ecosistemica.

Per questo motivo, il lavoro di approfondimento si è concentrato su ambiti di sostenibilità ambientale ritenuti maggiormente significativi per la valutazione dei materiali bioregionali, tra cui il consumo idrico, analizzato in rela-

[2] Complessità del processo di lavorazione, riciclabilità, impatto sul paesaggio, minaccia per la biodiversità, cambiamento di uso del suolo, variazione della superficie delle zone umide, degrado del territorio, water footprint, carbon footprint, energia incorporata contenuto di quantità riciclata, tossicità, inquinamento idrico, rifiuti emessi, durabilità nel medio periodo, durabilità nel lungo periodo, manutenibilità

zione all'impatto sulle risorse locali; il ciclo di vita dei prodotti, inteso come parametro per valutare le diverse fasi produttive e il loro impatto complessivo; l'impronta di carbonio, utile a quantificare le emissioni di gas serra associate ai materiali; l'alterazione del paesaggio, considerata nella sua influenza sulla morfologia e sull'identità visiva del territorio; il consumo di risorse naturali e le pratiche di recupero; nonché l'inquinamento dell'aria e dell'acqua, valutato in funzione delle ricadute sui contesti locali.

Come suddetto, a partire dagli indicatori individuati nel precedente studio, il lavoro di selezione ha consentito di approfondire quelli non ancora associati a normative ambientali consolidate, concentrando l'analisi sugli elementi con maggiore rilevanza per la costruzione di un modello di valutazione ecosistemica integrata e territorialmente contestualizzata.

L'obiettivo è stato quello di isolare gli indicatori non ancora associati a standard regolamentati, individuando così un'area di potenziale innovazione. A titolo esemplificativo, nel corso della fase preliminare della ricerca sono stati presi in esame due indicatori ambientali ampiamente diffusi in letteratura: la *water footprint* e la *carbon footprint*; tuttavia, tali indicatori risultano già oggetto di una solida e consolidata normazione a livello internazionale e comunitario. In particolare, la water footprint è disciplinata dalla norma ISO 14046, mentre la carbon footprint è regolata dalla ISO 14067, oltre a essere integrata nelle metodologie europee di Product Environmental Footprint (PEF) e nei riferimenti normativi nazionali quali i Criteri Ambientali Minimi CAM).

Per questa ragione, nonostante la loro rilevanza ai fini della valutazione ambientale, questi indicatori sono stati esclusi dal perimetro della presente ricerca, in quanto già definiti da metodologie standardizzate e procedure di calcolo validate. L'inclusione di tali indicatori non avrebbe apportato un contributo originale agli obiettivi dello studio. La ricerca si è pertanto concentrata sugli indicatori non normati, ovvero su quelle metriche ambientali per le quali non esistono ancora standard ufficiali o riferimenti normativi consolidati, con l'obiettivo di analizzarne il potenziale applicativo e il ruolo emergente nei processi di valutazione della sostenibilità.

INDICATORI
i1 Integrazione con l'ecosistema
i2 Complessità del processo
i3 Riciclabilità
i4 Impatto sul paesaggio
i5 Compatibilità con i processi di trasformazione esistenti
i6 Compatibilità con l'edilizia tradizionale
i7 Minaccia per la biodiversità
i8 Cambiamento di uso del suolo
i9 Variazione della superficie delle zone umide
i10 Degrado del territorio
i11 Water footprint
i12 Carbon footprint
i13 Energia incorporata
i14 Contenuto di quantità riciclata
i15 Tossicità
i16 Inquinamento idrico
i17 Rifiuti emessi
i18 Durabilità nel medio periodo
i19 Durabilità nel lungo periodo
i20 Distanza
i21Manutenibilità

Tabella 1. Indicatori selezionati dalla ricerca precedente che non risultano normati.

Dunque, la ricerca dedicata alla definizione di un sistema di certificazione ecosistemica per i materiali bioregionali si fonda su un insieme di riferimenti normativi riconosciuti a livello internazionale, in quanto utilizza standard e protocolli consolidati che garantiscono criteri oggettivi, condivisi e scienti-

ficamente validati, assicurando coerenza, confrontabilità e riconoscimento globale dei risultati.

Queste norme costituiscono la base metodologica per la misurazione e la valutazione degli impatti ambientali, sociali ed economici dei materiali lungo l'intero ciclo di vita, fornendo parametri di coerenza e comparabilità utili alla costruzione di un modello di valutazione scientificamente fondato e applicabile in diversi contesti territoriali.

Tra le normative di riferimento prese in considerazione si citano:

- ISO 14046:2014 – Water Footprint (Impronta Idrica)
  Questo standard specifica i principi, i requisiti e le linee guida per la valutazione dell'impronta idrica di prodotti, processi o organizzazioni.
  Valuta il consumo diretto e indiretto di acqua, misurando l'impatto sulle risorse idriche locali.
  Include l'analisi del ciclo di vita (LCA, Life Cycle Assessment) per determinare il contributo all'esaurimento delle risorse idriche e ai potenziali impatti ambientali associati.
- **ISO 14040:2006 – Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework**
  Questa norma fornisce i principi e il framework per eseguire una valutazione del ciclo di vita (LCA). L'**LCA** è una metodologia che analizza gli impatti ambientali associati a tutte le fasi di vita di un prodotto o servizio, inclusi la produzione, l'uso e la fine vita. Sebbene non si concentri esclusivamente sull'impronta di carbonio, l'LCA fornisce un quadro completo per analizzare tutti gli impatti ambientali, tra cui le emissioni di gas serra.
- **ISO 14067**
  La norma internazionale ISO 14067 riguarda la quantificazione e la comunicazione dell'impronta di carbonio di un prodotto o servizio. È spesso utilizzata dalle aziende per calcolare e ridurre la propria impronta di carbonio, e viene adottata anche in Italia per iniziative private di sostenibilità.
- **ISO 14001:2015 – Sistemi di gestione ambientale**
  ISO 14001 è una norma che fornisce un framework per la gestione degli impatti ambientali. Può essere utilizzata da organizzazioni o progetti per monitorare gli impatti sull'ambiente e sul paesaggio, inclusi quelli legati alla **morfologia** (modifiche fisiche del territorio) e all'**estetica** (aspetti visivi e paesaggistici). Le organizzazioni che operano in contesti sensibili devono rispettare requisiti per ridurre gli effetti negativi sul paesaggio e migliorare la sostenibilità estetica e fisica dell'ambiente circostante.
- **L'ISO 50001**

Si concentra sulla gestione energetica, aiutando le organizzazioni a ridurre l'uso delle risorse energetiche naturali, migliorare l'efficienza e integrare l'energia sostenibile nei processi. Utilizza il ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) e richiede un'analisi approfondita dei consumi, dei rischi e delle opportunità di ottimizzazione.

- **ISO 9001:2015 – Sistemi di gestione della qualità**
  Anche se la **ISO 9001** è principalmente focalizzata sulla gestione della qualità dei prodotti e dei servizi, può indirettamente contribuire alla riduzione dell'inquinamento atmosferico se applicata in contesti industriali o produttivi. Le organizzazioni che adottano questo standard potrebbero dover monitorare e migliorare i loro processi per ridurre le emissioni inquinanti, incluso l'inquinamento dell'aria.
- **ISO 5663:1984 – Prelievo dei campioni d'acqua per analisi**
  La **ISO 5663** riguarda le modalità di prelievo dei campioni d'acqua per l'analisi della qualità, fornendo linee guida per raccogliere campioni rappresentativi che possano essere testati per determinare la presenza di inquinanti, come metalli pesanti, nutrienti, pesticidi, ecc.

L'insieme di queste norme costituisce il quadro di riferimento tecnico e metodologico entro cui si colloca il lavoro di ricerca svolto.

Esse rappresentano gli strumenti fondamentali per comprendere e misurare gli effetti dei materiali bioregionali sulle risorse naturali e sull'ambiente costruito, e per assicurare che la valutazione ecosistemica si fondi su parametri condivisi e scientificamente validati.

A partire da tali basi normative, sono stati individuati gli indicatori rappresentativi dei valori ecosistemici più rilevanti ai fini dello studio:

- Integrazione con l'ecosistema (i01)
- Integrazione con i processi di trasformazione esistenti (i02)
- Distanza tra luogo di produzione e utilizzo (i03)
- Integrazione con il sistema antropizzato. (i04)

Gli indicatori proposti costituiscono il punto di partenza per lo sviluppo di un modello innovativo di certificazione ecosistemica applicato ai materiali bioregionali campani. Una parte di essi non risulta, allo stato attuale, standardizzata né direttamente valutabile attraverso le normative vigenti, in quanto si tratta di indicatori definiti nell'ambito della presente ricerca. Per tali indicatori, l'assenza di riferimenti normativi consolidati ha richiesto l'elaborazione di criteri interpretativi e valutativi ad hoc.

Integrazione con l'ecosistema (i01)

Il primo indicatore individuato è "Integrazione con l'ecosistema": un ecosistema è un'unità funzionale complessa costituita dall'insieme delle componenti biotiche e abiotiche e dalle interazioni che intercorrono tra esse. Tali interazioni regolano i flussi di energia, materia e informazione, determinando le condizioni di stabilità, resilienza e capacità di rigenerazione del sistema nel tempo (Odum, 1971; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

In edilizia, la scelta dei materiali costituisce uno dei principali fattori di interazione tra costruito ed ecosistema, poiché determina effetti significativi sui flussi di risorse, sulla biodiversità e sui servizi ecosistemici lungo l'intero ciclo di vita dell'opera. Un approccio ecosistemico alla selezione dei materiali consente di ridurre le pressioni ambientali e di rafforzare la coerenza tra progetto edilizio e contesto territoriale, in particolare quando applicato a una scala bioregionale (Odum, 1971; MEA, 2005).

L'obiettivo dell'indicatore "integrazione con l'ecosistema" è quello di valutare il grado di armonizzazione tra le attività umane e gli ecosistemi naturali, misurando in che misura le azioni economiche, sociali e culturali contribuiscano alla conservazione e al miglioramento dell'ambiente. Tale indicatore si fonda sui principi del bioregionalismo, secondo cui la valorizzazione delle risorse naturali e culturali locali, unita alla produzione e al consumo di beni a livello territoriale, favorisce la riduzione della dipendenza da risorse esterne e rafforza l'identità delle comunità. In questa prospettiva, l'indicatore mira a promuovere uno sviluppo realmente sostenibile, in cui le attività umane non compromettano gli ecosistemi, ma anzi li sostengano e li rigenerino, evitando l'introduzione o l'utilizzo di materie prime non affini al contesto bioregionale, che potrebbero minacciarne la biodiversità e la stabilità.

L'indicatore "Integrazione con l'ecosistema" è articolato in sotto-indicatori:

- disponibilità delle risorse
- impatto sulla gestione del territorio
- specie autoctone del territorio

Ciascun sotto-indicatore è ulteriormente declinato in sottoparametri di valutazione**.**

La *disponibilità della risorsa* viene distinta in *assoluta* e *relativa* al fine di evitare una valutazione esclusivamente quantitativa che non tenga conto delle reali condizioni di utilizzo della materia prima. La disponibilità assoluta rappresenta la quantità complessiva di una risorsa naturale presente all'interno di un territorio bioregionale, indipendentemente dalla sua accessibilità, dalle modalità di estrazione o dalla compatibilità ambientale del suo impiego. Essa

fornisce una misura conoscitiva del potenziale naturale del territorio e consente di comprendere il grado di abbondanza o rarità di una risorsa in termini ecologici. La disponibilità relativa, invece, considera la sola porzione di risorsa effettivamente utilizzabile per la produzione di materiali da costruzione, tenendo conto dei vincoli legati alla filiera produttiva, tra cui: la capacità di approvvigionamento e trasformazione locale, il livello di sfruttamento compatibile con i tempi di rigenerazione naturale, i requisiti qualitativi richiesti dal settore edilizio e i limiti ambientali, paesaggistici e normativi che possono condizionare o impedire l'estrazione. La distinzione tra disponibilità assoluta e relativa risulta pertanto necessaria per evitare una sovrastima delle risorse realmente impiegabili e per integrare la valutazione quantitativa con considerazioni di sostenibilità ecologica e territoriale.

L'impatto sulla gestione del territorio è valutato attraverso parametri mirati che consentono di analizzare gli effetti delle attività produttive sugli equilibri ecosistemici locali. La *competizione con le specie native* considera in che misura l'introduzione di specie o materiali non autoctoni possa alterare la disponibilità di risorse per la flora e la fauna locali. Numerosi studi hanno dimostrato come l'introduzione di specie alloctone possa determinare processi di competizione ecologica, riduzione della biodiversità e semplificazione delle reti trofiche; nel contesto campano, la diffusione di specie invasive quali Ailanthus altissima e Robinia pseudoacacia ha contribuito alla progressiva sostituzione di specie vegetali autoctone, con effetti significativi sulla struttura e sulla funzionalità degli ecosistemi locali. L'alterazione del ciclo dell'acqua prende in esame le modifiche indotte sul bilancio idrico del suolo e sui processi naturali di infiltrazione, ritenzione e distribuzione dell'acqua, considerando come alcune specie invasive o pratiche estrattive possano incrementare il consumo idrico o ridurre la permeabilità del suolo, generando condizioni di stress per gli ecosistemi locali; in Campania tali fenomeni sono stati osservati in aree interessate da attività estrattive e lungo alcuni corsi d'acqua, con conseguenze sui microclimi e sulla disponibilità idrica per le specie autoctone. L'alterazione del ciclo del suolo si riferisce infine ai cambiamenti nella composizione chimica, nella struttura fisica e nella fertilità del terreno causati dall'introduzione di elementi estranei o da pratiche produttive non compatibili, che possono compromettere la capacità del suolo di sostenere la biodiversità e i cicli biogeochimici; in ambito regionale, diversi studi hanno evidenziato fenomeni di degrado del suolo associati allo sfruttamento intensivo delle risorse naturali, con perdita di sostanza organica e riduzione della funzionalità ecosistemica.

Le specie autoctone del territorio rappresentano un elemento fondamen-

tale per la valutazione dell'integrazione ecosistemica, in quanto sono il risultato di processi evolutivi di lungo periodo e risultano strettamente adattate alle condizioni climatiche, pedologiche e idrologiche locali. Esse svolgono un ruolo centrale nel mantenimento delle catene trofiche, nella regolazione dei cicli biologici e nella resilienza complessiva degli ecosistemi, contribuendo alla stabilità ecologica e alla continuità del paesaggio naturale. Inoltre, le specie autoctone presentano generalmente una maggiore resistenza a parassiti e patologie rispetto alle specie introdotte, riducendo la necessità di interventi esterni e favorendo una gestione del territorio più sostenibile.

Nel suo insieme, l'indicatore di Integrazione con l'ecosistema consente di valutare la capacità di un territorio o di un'attività produttiva di interagire con l'ambiente naturale senza comprometterne i processi ecologici fondamentali. Tale approccio supera una visione della sostenibilità limitata alla sola riduzione degli impatti ambientali, ponendosi invece l'obiettivo di preservare e rafforzare le dinamiche ecosistemiche e di valorizzare le specificità bioregionali, come nel caso del contesto campano.

Successivamente all'identificazione di sotto-indicatori e parametri utili a quantificare il livello di *Integrazione con l'ecosistema* di una risorsa, la ricerca ha indagato e tentato di superare i limiti che, allo stato di fatto, delineano il campo della valutazione LCA (Life Cycle Assessment). Come riporta Lavagna: "La nascita di norme specifiche dedicate a specifici comparti ambientali (acqua, emissioni climalteranti, ecc.) per quanto utili a meglio dettagliare le questioni metodologiche, rischiano tuttavia di creare una semplificazione (la valutazione viene limitata a un solo comparto ambientale) e una scarsa chiarezza rispetto alla relazione con la metodologia LCA. Di fatto non si tratta di LCA (Klöpffer, 2014) in quanto pur avendo una similare impostazione dello studio e lo stesso approccio al ciclo di vita, analizzano però un solo indicatore, venendo meno a uno dei principi basilari di una LCA" (Lavagna, 2024, p. 181). Infatti, effettuare una valutazione lungo l'intero ciclo di vita di materiali, prodotti e servizi dei processi produttivi non sempre si traduce, in termini operativi, nella stima della quantità di emissioni, espressa in CO2eq[3], rispetto a multi-indicatori concorrenti ad accrescere l'indice del Global Warming Potential (GWP). Per questa ragione si è cercato di definire, dal punto di vista

[3] L'anidride carbonica equivalente (CO_2-eq) è un'unità di misura che esprime l'effetto dei diversi gas serra in termini comparabili. Indica la quantità di CO_2 che avrebbe lo stesso impatto sul riscaldamento globale di una data emissione di un altro gas serra, calcolata in base al suo potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential, GWP). (IPCC, 2022)

dell'impatto di un processo produttivo sugli ecosistemi locali, un indicatore in grado di tenere in considerazione parametri di valutazione, come la sostenibilità sociale[4], non ancora messi a sistema nelle valutazioni LCA. (Lavagna, 2024)

Integrazione con i processi di trasformazione esistenti (i02)

L'indicatore *Integrazione con i processi di trasformazione esistenti* mira a privilegiare i processi produttivi in cui si coniugano i vantaggi offerti dai principali modelli di trasformazione: Pre-industriale e Industriale. In quest'ottica l'indicatore mira ad incentivare la diffusione di processi di trasformazione bioregionalisti definiti come la successione programmata, sistemica e localmente sostenibile di attività artigianali e industriali integrate che consentono di ottenere, partendo dall'uso coscienzioso della materia prima locale, semilavorati e prodotti finiti tali da soddisfare le richieste di mercato in quantità e con tempi, mezzi e metodi nel rispetto delle caratteristiche intrinseche della materia, della sua storicizzata lavorazione, del suo ciclo rigenerativo e degli ecosistemi da cui si origina incentivando la crescita economica circolare regionale (Piccole e Medie Imprese, Artigiani locali) e senza compromettere il raggiungimento di livelli prestazionali ottimali.

Per poter delineare i parametri di valutazione sono state selezionate e studiate le caratteristiche dei modelli produttivi virtuosi, riferiti o meno al settore edilizio, già affini alla definizione dell'indicatore. Tra i tanti è esemplificativo il processo di produzione della carta di Amalfi, tipico prodotto artigianale della Regione Campania, la cui produzione, risalente al Medioevo, ancora oggi viene realizzata a mano in due cartiere locali. Charta Bambagina, altro diffuso nome della Carta di Amalfi, deriva dallo specifico processo di produzione che consiste nel raccogliere stracci ed altri tessuti di cotone per sottoporli ad una fase di rottura delle fibre e alla successiva macerazione, seguita dalla fase di pressatura e asciugatura per la realizzazione del foglio di carta. (Rubino, 2006) Il processo negli anni ha subito delle migliorie dovute all'evoluzione tecnologica dell'attrezzatura utilizzata e la sostituzione degli utensili in legno con strumenti in metallo. Nonostante i cambiamenti apportati, il

[4] La sostenibilità sociale è la capacità di costruire e mantenere società in cui tutti gli individui, attuali e futuri, possano vivere in condizioni di equità, inclusione e coesione; ciò implica il rispetto dei diritti umani, l'accesso ai servizi essenziali, e la partecipazione attiva alla vita comunitaria, senza pregiudicare le opportunità delle generazioni future. (de Fine Licht et al, 2019)

modello produttivo mostra che piccole e calibrate migliorie sono in grado di non alterare l'unicità e le peculiari caratteristiche del prodotto finale.

Sulle basi dello stato dell'arte delineato, è stata definita la struttura dell'indicatore decidendo di individuare e classificare i parametri di valutazione in base a *materia prima*, *know-how (organizzazione del lavoro)* e *stabilimento di lavorazione*[5], essendo questi gli elementi indispensabili costituenti ogni processo produttivo:

- Parametri riferiti alla *materia prima*
  1. Reperibilità affine al ciclo rigenerativo della materia prima:
     Il parametro qualifica i criteri e le modalità di approvvigionamento della materia prima allo scopo di premiare i processi affini alla natura della materia prima e alla sua naturale capacità rigenerativa;
  2. Impurità della materia prima durante le fasi di lavorazione:
     Il parametro misura in che percentuale la materia prima viene resa impura tramite l'aggiunta di altre sostanze estranee, necessariamente addizionate, per la riuscita del prodotto finito premiando i processi che prediligono una maggiore percentuale di purezza e/o l'uso di additivi naturali;
- Parametri riferiti al *Know-how (Organizzazione del lavoro)*
  1. Competenza nel trattamento della materia prima e qualità del lavoro:
     Il parametro mira a riconquistare quella conoscenza nella lavorazione della materia che era tipica dell'operaio nei processi di trasformazione artigianali e a incentivare il senso di cooperazione e di reciproco rispetto della persona. Inoltre, l'operaio deve conoscere il funzionamento delle principali attrezzature, macchine e degli impianti che trasformano la materia per essere in grado di valutare la qualità dei semilavorati e del prodotto finale;
- Parametri riferiti allo *stabilimento di lavorazione*
  1. Green Fabric (Fabbrica Verde):
     Il parametro mira all'ottimizzazione del layout dello stabilimento e al raggiungimento di un design ecologico. L'obiettivo è garantire che l'impianto di lavorazione abbia un impatto minimo sugli ecosistemi e sul paesaggio. Ciò si traduce nella realizzazione di stabilimenti che facciano

[5] L'individuazione delle risorse minime per lo sviluppo di un processo produttivo è ripresa dal grafico della Fig. 14 Semplificazione di una generica unità di processo riportato a pag. 78 del capitolo I sistemi di prodotto bioregionali nella filiera corta: una occasione per la Sostenibilità Sociale di Luca Buoninconti. In Bioregionalismo ed Edilizia Sostenibile a cura di Luca Buoninconti, Paola De Joanna, Antonella Falotico, Luciano Editore, Napoli, 2020.

uso di strategie e tecnologie volte alla minimizzazione del rilascio di inquinanti nell'ambiente.

L'individuazione dei parametri può rappresentare solo il punto di partenza per qualificare i processi produttivi durante l'intero ciclo di vita basato su una visione olistica che sia comprensiva di aspetti raramente integrati nelle valutazioni ambientali ma che sull'ambiente producono effetti indiretti non meno rilevanti. "Il tema ambientale richiede da un lato conoscenze specialistiche di dettaglio, ma dall'altro anche la collaborazione interdisciplinare e il superamento degli specialismi (transdisciplinarità) per cogliere la dimensione di complessità che caratterizza la natura e la realtà." (Lavagna, 2024, p. 185)

Distanza tra luogo di produzione e utilizzo (i03)

La distanza integra nelle valutazioni di sostenibilità i costi ecologici e sociali derivanti dalla logistica dei materiali. La distanza rappresenta un fattore cruciale per la sostenibilità e il bioregionalismo, poiché influisce sui costi economici e ambientali dei trasporti nel settore edilizio. L'uso di materie prime e prodotti locali riduce consumi energetici, emissioni di gas serra e impatti su suolo, habitat ed ecosistemi rispetto all'importazione da aree lontane, come dimostrato da studi di Life Cycle Assessment che evidenziano l'incidenza del trasporto su riscaldamento globale, acidificazione, eutrofizzazione e tossicità (Hammond e Jones, 2008; Monforti et al., 2014). L'indicatore i03 misura la somma delle distanze percorse dai materiali lungo l'intera filiera, dall'approvvigionamento alla distribuzione, e diventa un parametro chiave per valutare l'uso di prodotti locali, integrando i costi ambientali e sociali del trasporto nelle valutazioni di sostenibilità.

Il limite di 150 km, adottato in conformità ai Criteri Ambientali Minimi (CAM), è stato scelto come compromesso tra efficacia ambientale e fattibilità operativa, scartando distanze inferiori troppo restrittive o superiori meno incisive. Pur essendo indicativo, tale limite presenta alcune difficoltà di applicazione, ad esempio per materiali non disponibili localmente, che possono richiedere eccezioni o strategie compensative. L'applicazione di questo criterio a materiali edilizi bioregionali consente di valorizzare il patrimonio locale, garantire qualità e autenticità dei prodotti e rafforzare la coerenza ecologica e culturale tra materiali e territorio, in linea con standard internazionali come LEED (U.S. Green Building Council, 2020) e studi LCA (Cherubini et al., 2009; Pomponi e Moncaster, 2017).

Integrazione con il sistema antropizzato. (i04)

L'integrazione con il sistema antropizzato rappresenta la capacità di un progetto o di un intervento di inserirsi in modo armonioso nell'ambiente costruito e nelle dinamiche sociali, economiche e culturali di un territorio, rispettandone le caratteristiche preesistenti e valorizzandone l'identità storica, paesaggistica e culturale. Numerosi studi evidenziano come l'armonizzazione tra architettura e paesaggio costruito sia fondamentale per garantire sostenibilità, coerenza ecologica e valorizzazione culturale (Beatley, 2010; Forman, 2014; Rossi et al., 2017). Essa implica un equilibrio tra funzionalità, bisogni della comunità e sostenibilità ambientale, promuovendo interventi resilienti e capaci di adattarsi ai cambiamenti futuri legati alla crescita urbana, alle evoluzioni economiche o ai mutamenti climatici. La dimensione della bioregione amplia ulteriormente il concetto, integrando specificità ecologiche, sociali e culturali e considerando l'interconnessione tra ecosistemi, risorse naturali, specie locali, clima, tradizioni e usi delle comunità, favorendo una simbiosi tra uomo e natura. L'indicatore "Integrazione con il sistema antropizzato" misura quanto un intervento si armonizzi con il contesto esistente, migliorandone la qualità complessiva senza generare impatti negativi sul paesaggio, sulle infrastrutture o sulle dinamiche sociali ed economiche. Mira a promuovere uno sviluppo sostenibile che rispetti l'identità culturale, storica ed estetica del territorio, rafforzando il legame tra gli spazi costruiti e le comunità, e valutando la capacità di adattamento, valorizzazione delle strutture preesistenti, funzionalità, accessibilità, inclusività e sostenibilità delle risorse impiegate.

L'indicatore i04 è articolato nei sotto-indicatori:

- Riconfigurazione paesaggistica e trasformazione antropica
- Compatibilità fisica con i materiali esistenti
- Integrazione con il paesaggio
- Compatibilità climatica
- Adattamento al paesaggio culturale

La *Riconfigurazione paesaggistica e la trasformazione antropica* considerano l'impatto fisico e visivo delle costruzioni e l'uso di materiali bioregionali per ridurre l'impatto sul paesaggio naturale, favorire il risanamento degli ecosistemi e preservare la morfologia originaria, adottando tecniche compatibili con il suolo che limitino alterazioni eccessive delle superfici naturali.

La compatibilità fisica con i materiali esistenti verifica la coerenza chimica e strutturale tra elementi nuovi e preesistenti, prevenendo degrado o reazioni avverse.

L'integrazione con il paesaggio valuta la coerenza materica, cromatica e morfologica dei materiali, garantendo continuità visiva e adattamento alla morfologia del terreno.

La compatibilità climatica considera la resistenza dei materiali alle sollecitazioni ambientali locali e la capacità di mantenere le proprietà funzionali e strutturali nelle specifiche condizioni microclimatiche del sito.

L'adattamento al paesaggio culturale valuta il rispetto delle tradizioni costruttive locali, l'impiego di materiali storicamente utilizzati nella regione e la preservazione della memoria storica, delle tecniche artigianali e dell'identità culturale del territorio.

In questo modo, l'indicatore i04 permette di valutare in maniera sistematica la capacità di un intervento di armonizzarsi con il sistema antropizzato, combinando analisi qualitative e quantitative per guidare progettazioni sostenibili e coerenti con le caratteristiche ecologiche, sociali e culturali della bioregione.

3. *Definizione dei valori ponderali per ciascun criterio*

A ciascun sottoindicatore è stata attribuita una valutazione che può assumere una natura **quantitativa** o **qualitativa**, a seconda della disponibilità dei dati e delle caratteristiche intrinseche dell'indicatore stesso. Per garantire chiarezza e sistematicità nella presentazione dei risultati, sono state predisposte apposite tabelle (Tabelle da 2 a 5) che integrano le due modalità di analisi, permettendo una lettura coerente e organica dei dati raccolti. La valutazione quantitativa si fonda su misurazioni oggettive e numericamente rappresentabili, derivanti dall'elaborazione di dati concreti. Questo tipo di analisi consente di esprimere in termini numerici il comportamento o l'impatto di un sottoindicatore, facilitando il confronto diretto tra diversi elementi e fornendo parametri precisi per valutazioni comparative; tra questi, rientrano valori relativi al consumo di risorse, alla distanza percorsa dai materiali o alle emissioni di gas serra. Quando non è possibile ricorrere a dati numerici, la valutazione si basa su criteri qualitativi definiti attraverso un elenco di domande soglia. Questo strumento fornisce una scala interpretativa chiara e coerente, consentendo di descrivere in maniera uniforme e facilmente comprensibile concetti, caratteristiche e comportamenti dei sottoindicatori che non possono essere quantificati direttamente. Le tabelle risultanti diventano così uno strumento essenziale per la sintesi e l'analisi dei risultati, poiché integrano le

dimensioni quantitative e qualitative, valorizzando sia i dati numerici sia le descrizioni concettuali e costruendo un quadro analitico completo e accurato, capace di supportare efficacemente le decisioni e le valutazioni finali nell'ambito della certificazione ecosistemica dei materiali bioregionali.

Domande soglia

i01: INTEGRAZIONE CON L'ECOSISTEMA

- i01.01 *Disponibilità della risorsa*
  - i01.01.1 Disponibilità assoluta: Il materiale oggetto di valutazione è disponibile nella regione di riferimento?
  - i01.01.2 Disponibilità relativa: Il materiale oggetto di valutazione è disponibile in quantità sufficienti a soddisfare le esigenze di produzione dei prodotti edilizi?
- i01.02 *Impatto sulla gestione del territorio*
  - i01.02.1 Competizione con le specie native: Il materiale oggetto di valutazione è incluso negli elenchi delle "piante ad alto tasso di invasività"?
  - i01.02.2 Alterazione del ciclo dell'acqua: Il materiale oggetto di valutazione è incluso negli elenchi delle piante ad "alto assorbimento d'acqua"?
  - i01.02.3 Alterazione del ciclo del suolo: Il materiale oggetto di valutazione è incluso negli elenchi delle piante che sono "note per alterare il ciclo del suolo in maniera negativa o positiva"?
- i01.03 *Risorsa autoctone*: Il materiale oggetto di valutazione è incluso negli elenchi delle "specie autoctone nel territorio bioregionale"?

i02: INTEGRAZIONE CON I PROCESSI DI TRASFORMAZIONE ESISTENTI

- i02.01 *Integrazione dei Processi rispetto alla materia prima*
  - i02.01.1 Reperibilità affine al ciclo rigenerativo della materia prima:
    - Le attività di produzione e approvvigionamento della risorsa (materia prima) rispettano i fenomeni naturali di rigenerazione scongiurando l'esaurimento della risorsa o l'alterazione degli equilibri ecosistemici così come identificati prima dell'inizio delle attività suddette?
    - In caso di attività selvicolturale è garantito il corretto funzionamento biologico di foreste e boschi al fine di non compromettere la sopravvivenza di altre specie vegetali, animali e di qualsiasi altra forma di vita?

- L'allevamento e l'agricoltura sono effettuati senza ricorrere a processi, metodi e strumenti in grado di accelerare e/o intensificare i cicli naturali?
- L'attività di cava e tutte le altre attività di estrazione e/o reperimento di materiali lapidei e di qualsiasi altro inerte è effettuata nei limiti previsti dalla legge vigente e comunque senza provocare il depauperamento della risorsa all'interno dell'alveo di estrazione e, in ogni caso, senza provocare alterazioni significative dei valori paesaggistici e delle condizioni idro-geologiche del sito?
- I soggetti privati e/o pubblici e qualsiasi altro soggetto, in forma singola o aggregata, sono in possesso delle certificazioni volontarie elencate nella scheda del parametro o qualsiasi altra certificazione che attesti l'utilizzo responsabile della risorsa?

i02.01.2 Impurità della materia prima durante le fasi di lavorazione:

- La lavorazione della materia prima considerata come il principale materiale del semilavorato e/o del prodotto è effettuata con tecniche che evitano l'utilizzo di sostanze chimiche dichiarate pericolose e nocive per l'ambiente e la salute umana?
- Il semilavorato e/o il prodotto finito è considerato puro essendo composto per il 95% e oltre della materia prima di base?

i02.02 *Integrazione dei Processi rispetto alla Forza lavoro e Organizzazione del lavoro*

i02.02.1 Competenza nel trattamento della materia prima e qualità del lavoro:

- Le aziende di lavorazione e trasformazione della materia prima e dei semilavorati garantisce un continuo aggiornamento professionale dei propri dipendenti lungo le varie fasi della catena di produzione e definisce un ambiente di lavoro sano, sicuro e partecipe?

i02.03 *Integrazione dei Processi rispetto allo Stabilimento*

i02.03.1 Green Fabric (Fabbrica Verde)

- Lo stabilimento di trasformazione e lavorazione della materia prima e dei semilavorati è realizzato nel rispetto dei più stringenti requisiti in materia di sostenibilità ambientale ed energetica?

i03: DISTANZA

i.3.01.1 distanza (150km):

- La sommatoria delle distanze tra i vari stabilimenti in cui il materiale subisce le diverse lavorazioni rientra nel limite di 150 km?

i04: INTEGRAZIONE CON IL SISTEMA ANTROPIZZATO

i04.01 *Riconfigurazione paesaggistica e trasformazione antropica*

i04.01.1 Impatto delle costruzioni sul paesaggio naturale:

- L'utilizzo del materiale consente di preservare il profilo naturale del paesaggio, evitando interventi invasivi sul terreno (es. sbancamenti, spianamenti di colline, rimozione di dune, ecc.)?
- Le costruzioni realizzate con questo materiale si integrano visivamente con il contesto paesaggistico, in termini di forme, colori, texture e tecniche costruttive (es. impiego di materiali locali, rispetto dell'architettura tradizionale, armonia con l'ambiente naturale)?
- Il materiale permette soluzioni costruttive che riducono il consumo di suolo e i movimenti di terra, adattandosi al terreno esistente (es. strutture leggere, prefabbricate, fondazioni minimali, costruzioni a secco)?

i04.01.2 Risanamento del paesaggio:

- Il materiale aiuta a ripristinare le condizioni originali del terreno (es. ristabilendo la vegetazione, migliorando la permeabilità del suolo)?
- Il materiale contribuisce alla protezione di ecosistemi locali (es. limitando il degrado ambientale, sostenendo la fauna e la flora locali)?
- La produzione e l'uso del materiale si allineano con pratiche sostenibili che evitano l'estrazione o il consumo eccessivo delle risorse naturali locali?

i04.01.3 Edilizia rispettosa del territorio:

- L'utilizzo di materiali bioregionali minimizza il disboscamento, l'abbassamento o il riempimento del terreno naturale?
- Le tecniche edilizie legate all'uso di questo materiale lavorano in armonia con il paesaggio (es. riducendo le opere di livellamento, massimizzando l'uso di elementi naturali esistenti)?

- Le tecniche edilizie associate promuovono una costruzione a basso impatto ambientale (es. fondazioni meno invasive, utilizzo di materiali locali senza trasporti su lunga distanza)?

i04.02 *Compatibilità con i materiali esistenti*

- Nell'interazione con i materiali esistenti si verificano effetti di degrado materico/strutturale a carico dei materiali e componenti interessati?

i04.03 *Integrazione con il paesaggio*

i04.03.1 Coerenza materica:

- Il materiale è visivamente coerente con il paesaggio circostante (es. non crea contrasti forti)?
- Le costruzioni risultano visivamente invasive rispetto al contesto naturale?

i04.03.2 Coerenza cromatica:

- Il materiale restituisce le tonalità del terreno, delle rocce, della vegetazione o degli altri elementi naturali?
- Le texture del materiale bioregionale concordano con quelle degli elementi paesaggistici (ad esempio, rocce, legno, vegetazione)?

i04.03.3 Coerenza morfologica:

- Il materiale segue le pendenze e le irregolarità del terreno, riducendo la necessità di lavori invasivi di livellamento?
- In zone rocciose o pendii scoscesi, il materiale aiuta a stabilizzare il terreno o si integra in modo naturale?
- In aree pianeggianti, il materiale risulta omogeneo e in linea con la morfologia del luogo?"

i04.04 *Compatibilità climatica*

i04.04.1 Assorbimento d'acqua:

- La resistenza all'assorbimento d'acqua del materiale è compatibile con le piogge e l'umidità presenti nel luogo di installazione?

i04.04.2 Resistenza al vento:

- Il materiale è stato testato per resistere al vento senza subire danni?

i04.04.3 Resistenza alle condizioni microclimatiche:

- Il materiale resiste alle temperature minime e massime e alle escursioni termiche del luogo?

i04.05 *Adattamento al paesaggio culturale*

i04.05.1 Rispetto delle tradizioni costruttive locali:

- Il materiale è storicamente utilizzato nella regione?
- Valutare se il materiale ha una storia di utilizzo nel territorio. La sua presenza nell'architettura tradizionale, nelle tecniche costruttive e nel paesaggio è un forte indicatore di adattamento al contesto culturale.

i01: INTEGRAZIONE CON L'ECOSISTEMA			
SOTTOINDICATORE	PARAMETRO	VALUTAZIONE	MAX CREDITI OTTENIBILI
i01.01 Disponibilità della risorsa	i01.01.1 Disponibilità assoluta	Quantitativa Ettaro/Kilogrammo	4
	i01.01.2 Disponibilità relativa	Quantitativa [%]	
i01.02 Impatto sulla gestione del territorio	i01.02.1 Competizione con le specie native	Qualitativa Presente /Assente	
	i01.02.2 Alterazione del ciclo dell'acqua	Qualitativa Presente /Assente	
	i01.02.3 Alterazione del ciclo del suolo	Qualitativa Presente /Assente	
i01.03 Risorsa autoctone	/	Qualitativa Presente /Assente	

Tabella 2. i01: Integrazione con l'ecosistema.

i02: INTEGRAZIONE CON I PROCESSI DI TRASFORMAZIONE ESISTENTI			
SOTTOINDICATORE	PARAMETRO	VALUTAZIONE	MAX CREDITI OTTENIBILI
i02.01 Integrazione dei Processi rispetto alla materia prima	i02.01.1 Reperibilità affine al ciclo rigenerativo della materia prima	Qualitativa Vero / Falso	4
	i02.01.2 Impurità della materia prima durante le fasi di lavorazione	Quantitativa [%]	
i02.02 Integrazione dei Processi rispetto alla Forza lavoro e Organizzazione del lavoro	i02.02.1 Competenza nel trattamento della materia prima e qualità del lavoro	Qualitativa Vero / Falso	
i02.03 Integrazione dei Processi rispetto allo Stabilimento	i02.03.1 Green Fabric (Fabbrica Verde)	Qualitativa Vero / Falso	

Tabella 3. i02: Integrazione con i processi di trasformazione esistenti.

i03: DISTANZA			
SOTTOINDICATORE	PARAMETRO	VALUTAZIONE	MAX CREDITI OTTENIBILI
i.3.01 Distanza (150km)	/	Quantitativa [km]	1

Tabella 4. i03: Distanza.

i04: INTEGRAZIONE CON IL SISTEMA ANTROPIZZATO			
SOTTOINDICATORE	PARAMETRO	VALUTAZIONE	MAX CREDITI OTTENIBILI
i_04.01 Riconfigurazione paesaggistica e trasformazione antropica	i_04.01.1 Impatto delle costruzioni sul paesaggio naturale	Qualitativa Vero / Falso	10
	i_04.01.2 Risanamento del paesaggio	Qualitativa Vero / Falso	
	i_04.01.3 Edilizia rispettosa del territorio	Qualitativa Vero / Falso	
i_04.02 Compatibilità fisica con i materiali esistenti	/	Qualitativa Vero / Falso	
i_04.03 Integrazione con il paesaggio	i_04.03.1 Coerenza materica	Qualitativa Presente /Assente	
	i_04.03.2 Coerenza cromatica	Qualitativa Presente /Assente	
	i_04.03.3 Coerenza morfologica	Qualitativa Presente /Assente	
i_04.04 Compatibilità climatica	i_04.04.1 Assorbimento d'acqua (in zone vicine a laghi o fiumi)	Qualitativa Presente /Assente	
	i_04.04.2 Resistenza al vento (in aree montane)	Qualitativa Presente /Assente	
i_04.05 Adattamento al paesaggio culturale	i_04.05.1 Rispetto delle tradizioni costruttive locali	Qualitativa Vero / Falso	
		MAX CREDITI OTTENIBILI	19

Tabella 5. i04: Integrazione con il sistema antropizzato.

4. *Definizione delle unità di misura qualitative o quantitative per indicatore*

Nel sistema di valutazione adottato, la distinzione tra indicatori quantitativi e qualitativi deriva dalla natura dei fenomeni analizzati e dalla possibilità, o meno, di descriverli attraverso misurazioni oggettive. Quando il fenomeno osservato è riconducibile a grandezze numeriche verificabili, come distanze o quantità, si è fatto ricorso a indicatori quantitativi, per i quali è stato possibile definire soglie limite basate su valori di riferimento chiari e replicabili. Al contrario, nei casi in cui l'oggetto di analisi riguarda relazioni complesse, livelli di integrazione o qualità sistemiche non direttamente misurabili, si è scelto un approccio qualitativo. Questa impostazione ha consentito di mantenere un equilibrio tra rigore metodologico e capacità di cogliere la complessità dei contesti analizzati.

L'indicatore relativo all'integrazione con l'ecosistema (i01) rappresenta in modo esemplare la necessità di una valutazione qualitativa. Esso non misura un singolo parametro, ma il grado di coerenza tra l'intervento considerato e il contesto ambientale in cui si inserisce, tenendo conto del rispetto delle dinamiche ecologiche locali, dell'uso di risorse del territorio, della reversibilità delle trasformazioni e della riduzione degli impatti sugli habitat. Questi aspetti non possono essere sintetizzati in un'unica unità di misura, ma richiedono una lettura interpretativa guidata da criteri chiari. Per questo motivo l'indicatore è stato articolato in sotto-indicatori descrittivi, ciascuno associato a livelli di valutazione che corrispondono a punteggi crescenti in funzione del grado di integrazione raggiunto.

Diversamente, l'indicatore relativo alla distanza tra luogo di produzione e luogo di utilizzo (i03) si presta a una valutazione quantitativa, in quanto la distanza geografica è misurabile in modo diretto e confrontabile. In questo caso le soglie di valutazione sono state definite attraverso intervalli di distanza, ciascuno associato a un punteggio specifico, con l'obiettivo di evidenziare come la prossimità tra produzione e utilizzo contribuisca a ridurre impatti ambientali, costi logistici e consumo di risorse. La misurabilità del dato consente una maggiore oggettività e una più semplice replicabilità della valutazione.

L'assegnazione dei punteggi avviene attraverso una scala discreta comune a tutti gli indicatori, che consente la comparabilità dei risultati. Ogni indicatore è scomposto in sotto-indicatori e a ciascun livello di valutazione corrisponde un punteggio definito, stabilito sulla base di soglie quantitative o descrizioni qualitative. Il punteggio complessivo dell'indicatore deriva dalla somma o dalla media dei punteggi attribuiti ai sotto-indicatori. Il valore massimo rap-

presenta la condizione ideale di integrazione o sostenibilità ed è stato fissato in modo uniforme per garantire coerenza e leggibilità all'intero sistema di valutazione.

Nello specifico viene assegnato n. 1 credito se il sottoindicatore qualitativo/quantitativo definisce una condizione favorevole all'ecosistema, in caso contrario il valore attribuito è 0.

Durante la costruzione del metodo le principali difficoltà hanno riguardato la riduzione della soggettività nelle valutazioni qualitative, la definizione di soglie sufficientemente chiare e la necessità di rendere confrontabili indicatori di natura diversa. Queste criticità sono state affrontate attraverso la costruzione di glossari dettagliati, l'utilizzo di esempi applicativi e un processo iterativo di verifica e affinamento dei criteri, che ha permesso di migliorare progressivamente la coerenza interna del sistema.

Il ragionamento metodologico si ispira agli approcci multicriteriali di valutazione, alle metodologie di assessment ambientale e territoriale e alla letteratura sulla sostenibilità e sulla progettazione sistemica. L'obiettivo non è quello di fornire una misura assoluta, ma di costruire una valutazione comparativa e argomentata, capace di rendere trasparente il percorso decisionale e le scelte effettuate.

In prospettiva futura, il sistema di valutazione potrebbe essere ulteriormente migliorato attraverso l'introduzione di pesi differenziati tra indicatori, la validazione dei criteri su un numero maggiore di casi studio, l'integrazione di dati quantitativi anche per indicatori oggi qualitativi, laddove possibile, e il coinvolgimento di più valutatori per testarne la robustezza.

Definizione soglie qualitative/quantitative per il Protocollo di Certificazione bioregionalista dei prodotti edili

Nel Protocollo di Certificazione bioregionalista dei prodotti edili, la definizione delle soglie qualitative e quantitative rappresenta un passaggio centrale per garantire l'oggettività, la trasparenza e la replicabilità del processo valutativo. Le soglie costituiscono infatti il riferimento operativo attraverso cui i valori misurati o le valutazioni interpretative vengono tradotti in livelli di performance e, conseguentemente, in punteggi utili alla certificazione. Per gli indicatori di natura quantitativa, le soglie sono definite mediante intervalli numerici chiaramente delimitati, costruiti a partire da valori di riferimento riconosciuti. Tali intervalli consentono di distinguere diversi gradi di prestazione ambientale, premiando le soluzioni che riducono l'uso di risorse, minimizzano gli impatti e valorizzano la prossimità territoriale. Le soglie quanti-

tative svolgono quindi una funzione discriminante, permettendo il confronto diretto tra prodotti o soluzioni alternative sulla base di parametri misurabili e verificabili. Nel caso degli indicatori qualitativi, la definizione delle soglie avviene attraverso la costruzione di scale interpretative strutturate, articolate in livelli descrittivi progressivi. Ogni livello corrisponde a un diverso grado di coerenza rispetto ai criteri bioregionalisti, quali l'integrazione con il contesto ecosistemico locale, l'uso consapevole delle risorse del territorio, la compatibilità con i cicli naturali e la reversibilità degli impatti. Le soglie qualitative non si limitano a una valutazione dicotomica, ma consentono di cogliere sfumature e differenze tra approcci progettuali o produttivi, rendendo espliciti i requisiti minimi, intermedi ed eccellenti. La funzione delle soglie, sia qualitative sia quantitative, non è esclusivamente quella di classificare le prestazioni, ma anche di orientare il processo decisionale verso soluzioni progressivamente più coerenti con i principi del protocollo. In questo senso, le soglie sono concepite come strumenti dinamici, capaci di stimolare il miglioramento continuo e l'adozione di pratiche virtuose lungo l'intero ciclo di vita del prodotto edilizio. Le soglie sono organizzate e rese operative attraverso tabelle di valutazione che associano a ciascun intervallo o livello descrittivo un punteggio specifico. Questa impostazione consente una lettura immediata dei risultati e garantisce coerenza tra indicatori diversi, pur nella distinzione tra dimensione quantitativa e qualitativa. L'uso combinato di soglie numeriche e scale interpretative permette così di costruire un sistema di valutazione integrato, in grado di rappresentare in modo equilibrato sia le prestazioni misurabili sia le qualità sistemiche e relazionali proprie dell'approccio bioregionalista.

Autori paragrafi

I paragrafi "*Criteri e metodi di valutazione ecosistemica di materiali bioregionali*", "*Parametri e indicatori locali*" sono da attribuirsi ad Natascia Esposito, Elena Guida e Angelo Picariello.

I paragrafi "*Definizione dei valori ponderali per ciascun criterio*" "*Definizione delle unità di misura qualitative o quantitative per indicatore*" "*Definizione soglie qualitative/quantitative per il Protocollo di Certificazione bioregionalista dei prodotti edili*" sono da attribuirsi a Natascia Esposito ed Elena Guida.

Bibliografia

Beatley, T. (2010). *Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning*. Washington, DC: Island Press.

Buoninconti, L. (2020). I sistemi di prodotto bioregionali nella filiera corta: una occasione per la sostenibilità sociale. In L. Buoninconti, P. De Joanna, & A. Falotico (a cura di), *Bioregionalismo ed edilizia sostenibile* (pp. [inserire le pagine del contributo]). Napoli: Luciano Editore.

Cherubini, F., Bird, N. D., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B., & Woess-Gallasch, S. (2009). Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(8), 434–447.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., … van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260.

de Fine Licht, K., & Folland, A. (2019). Defining "Social Sustainability": Towards a Sustainable Solution to the Conceptual Confusion. *Etikk i praksis – Nordic Journal of Applied Ethics*, 13(2), 21–39. https://doi.org/10.5324/eip.v13i2.2913

Forman, R. T. T. (2014). *Urban ecology: Science of cities*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2008). *Inventory of Carbon & Energy (ICE), Version 2.0*. Bath: University of Bath, Sustainable Energy Research Team.

Häyhä, T., & Franzese, P. P. (2014). Ecosystem services assessment: A review under an ecological–economic and systems perspective. *Ecological Modelling*, 289, 124–132.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.

Klöpffer, W. (2014). *Life cycle assessment (LCA): A guide to best practice*. Weinheim: Wiley-VCH.

Lami, I. M., & Mecca, B. (2021). *Social sustainability and the city: Urban policies and evaluation tools*. Cham: Springer.

Landes, D. S. (1969). *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lavagna, M. (2024). La metodologia Life Cycle Assessment: percorsi consolidati, recenti sviluppi e sfide future. *Ingegneria dell'Ambiente*, 11(3/2024), Collana Politecnica, Politecnico di Milano – Maggioli Editore.

Lavagna, M. (2024). *Sostenibilità ambientale e valutazione del ciclo di vita in edilizia*. Milano: FrancoAngeli.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. (2017). *Criteri Ambientali Minimi per l'edilizia (CAM)*. Roma: Ministero dell'Ambiente.

Monforti, F., Vignati, E., Benini, L., & De Angelis, E. (2014). *Environmental assessment of EU energy-related materials flows*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of ecology*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.

Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710–718.

Rossi, F., D'Alessandro, D., & Schiavoni, S. (2017). Urban form and microclimate: Designing resilient cities. *Energy Procedia*, 134, 21–30.

Rubino, G. E. (2006). *Le cartiere di Amalfi. Profili. Paesaggi protoindustriali del Mediterraneo*. Napoli: Giannini Editore.

Soldati, E., Franzese, P. P., & Gualtieri, C. (2023). Ecosystem services and sustainability assessment: Emerging approaches and challenges. *Sustainability*, 15(4), 1–18.

U.S. Green Building Council. (2020). *LEED v4.1 Building Design and Construction*. Washington, DC: USGBC.

3
Sperimentazione sulle filiere bioregionali campane

E. Guida, N. Esposito

Il campo di applicazione

La metodologia di valutazione descritta nel capitolo precedente è stata validata in relazione alle filiere produttive locali della bioregione campana. L'approccio adottato si fonda sul concetto di bioregionalità, inteso come strumento di analisi capace di valutare l'impatto ambientale e la sostenibilità dei materiali in funzione della loro provenienza geografica, della disponibilità territoriale e della compatibilità ecologica con il contesto locale. Tra le risorse significative per il territorio campano sono stati testati quattro materiali – canapa, lana di pecora, gusci di castagne e paglia – selezionati per il loro potenziale utilizzo in filiere corte e territorialmente integrate.

Lo studio ha perseguito l'obiettivo di integrare le valutazioni tecnico-prestazionali dei materiali con considerazioni relative alle ricadute ambientali e territoriali, attraverso la definizione di criteri quali la provenienza regionale, l'impatto dei processi produttivi e la sostenibilità delle fasi di trasformazione e distribuzione. L'uso di materiali naturali e *bio-based* nella costruzione e nell'isolamento è ormai riconosciuto nella letteratura specialistica come coerente con i principi di economia circolare e sviluppo sostenibile, in quanto materiali come fibre vegetali e animali sono caratterizzati da bassa energia incorporata, rinnovabilità e biodegradabilità (*Przybek, A. 2025*).

L'applicazione dello strumento di valutazione alle filiere produttive campane ha consentito di mettere in evidenza in modo puntuale sia le potenzialità sia i limiti della metodologia proposta. I risultati ottenuti mostrano come i materiali analizzati presentino complessivamente livelli di sostenibilità e di coerenza territoriale molto simili, confermando la rilevanza delle risorse selezionate e la loro potenziale integrazione nel contesto locale. Questo rispecchia quanto evidenziato in studi comparativi nella letteratura internazionale, secondo i quali materiali bio-based mostrano contributi positivi alla riduzione

delle emissioni di carbonio e alla promozione di pratiche costruttive più sostenibili.

Una delle principali potenzialità dello strumento risiede nella capacità di operare una discriminazione qualitativa fine tra materiali apparentemente equivalenti. In un territorio come quello campano, caratterizzato da una elevata biodiversità e ricchezza di risorse agricole ma anche da una certa frammentazione delle filiere produttive, la metodologia ha permesso di cogliere differenze sottili legate non tanto alle prestazioni intrinseche dei materiali quanto alle modalità di produzione, trasformazione e integrazione con il sistema territoriale.

In questo quadro, la canapa emerge come il materiale che interpreta in modo più coerente il concetto di bioregionalità, grazie alla continuità tra disponibilità territoriale, pratiche agricole consolidate e potenziale sviluppo di filiere corte. L'emergere della canapa come materiale sostenibile trova riscontro in diversi studi che evidenziano il ruolo crescente del *hempcrete* come soluzione costruttiva eco-compatibile, in grado di combinare buone proprietà termo-igrometriche con un impatto ambientale ridotto rispetto a materiali tradizionali (*Steyn, K.; De Villiers, W.; Babafemi, A. 2025*). Altre risorse come la lana di pecora, i gusci di castagne e la paglia hanno mostrato valutazioni molto prossime tra loro, confermando buone prestazioni in termini di sostenibilità ambientale e di valorizzazione delle risorse locali. Per la lana di pecora, la letteratura tecnica indica che questa fibra naturale, oltre ad avere un profilo energetico favorevole rispetto agli isolanti sintetici, può contribuire positivamente alla regolazione dell'umidità e al comfort interno (*Luprano, V. A. et al. 2020*). Allo stesso modo, la paglia è riconosciuta come materiale con proprietà isolanti interessanti, sebbene richieda specifici accorgimenti progettuali per garantirne la durabilità (*Edilportale 2025*).

Le leggere differenze emerse nel confronto tra materiali sono principalmente riconducibili a fattori esterni al materiale in sé, quali la discontinuità della disponibilità, la stagionalità delle produzioni, le criticità logistiche e la debole strutturazione delle filiere regionali; aspetti che, se osservati singolarmente, possono incidere sulla sostenibilità operativa e sulla diffusione effettiva di ciascuna risorsa.

Nel complesso, il lavoro si configura come un primo test sulle filiere produttive locali, volto ad aggiornare i dati disponibili e promuovere una riflessione consapevole sull'impiego di materiali naturali in edilizia. I risultati ottenuti confermano l'efficacia dello strumento di valutazione come supporto alla progettazione e alle politiche di valorizzazione territoriale, evidenziando

come la sostenibilità dei materiali sia strettamente legata al rafforzamento delle filiere locali e rappresenti un elemento chiave per sostenere la transizione ecologica e la valorizzazione delle risorse del territorio campano.

Il test su filiere produttive campione e aggiornamento dati

Lo sviluppo e applicazione della metodologia e degli strumenti definiti dalla ricerca persegue l'obiettivo di aggiornare i dati disponibili e promuovere una riflessione consapevole sull'impiego di materiali in edilizia, nell'ottica della transizione ecologica e della valorizzazione delle risorse territoriali.

Lo scopo della validazione è stato quello di verificare l'applicabilità dello strumento e di individuare, per le risorse selezionate, il potenziale di utilizzo all'interno di filiere locali e sostenibili. L'analisi è finalizzata alla misurazione della bioregionalità, intesa come capacità del materiale di essere prodotto e impiegato in modo efficiente e compatibile con il territorio di origine, integrando aspetti legati alla coltivazione, alla lavorazione e alla distribuzione. I dati relativi alle risorse considerate hanno mostrato che la canapa si distingue per la rapidità di crescita, la minima necessità di input chimici e l'adattabilità ai cicli agricoli locali, conferendole un vantaggio significativo in termini di sostenibilità territoriale e potenzialità produttiva; gli altri materiali hanno comunque evidenziato caratteristiche positive: la lana di pecora, pur legata a pratiche di allevamento e gestione del suolo, conserva un'elevata compatibilità con gli ecosistemi locali; i gusci di castagne rappresentano una risorsa ancora poco valorizzata, la cui efficacia dipende dalla gestione logistica e dalle tecniche di trasformazione; la paglia offre abbondanza e facilità di reperimento, ma il trasporto da zone più distanti può limitarne l'efficienza ecologica.

L'analisi comparativa dei materiali ha permesso di delineare un quadro chiaro della loro sostenibilità e del grado di integrazione con le filiere locali della Campania. Canapa, lana di pecora, gusci di castagne e paglia mostrano complessivamente prestazioni ambientali simili, sebbene la canapa emerga per una maggiore continuità della filiera e una migliore integrazione con i cicli agricoli locali, risultando pertanto particolarmente adatta a progetti di più ampia scala o a interventi che richiedono approvvigionamenti costanti. Lana, gusci di castagne e paglia evidenziano buone caratteristiche ambientali e tecniche, ma la loro applicabilità su scala più estesa è limitata da fattori quali disponibilità stagionale, logistica e frammentazione delle filiere. Il confronto evidenzia come la scelta dei materiali più idonei dipenda più dalla maturità

delle filiere e dal contesto territoriale che dalle proprietà intrinseche dei materiali, confermando l'importanza di un approccio basato sulla bioregionalità.

Questo quadro comparativo offre indicazioni pratiche per lo sviluppo di filiere corte sostenibili, suggerendo strategie volte a valorizzare le risorse locali, ottimizzare l'uso dei sottoprodotti agricoli e ridurre l'impatto ambientale dei processi produttivi; inoltre, sottolinea l'importanza di integrare le competenze dei produttori locali e degli operatori della filiera nella progettazione e nella realizzazione degli interventi, promuovendo una gestione consapevole dei materiali naturali e contribuendo al rafforzamento delle pratiche produttive a basso impatto ecologico. In questo senso, l'analisi non solo conferma le potenzialità dei materiali selezionati, ma evidenzia anche le condizioni necessarie per tradurre tali potenzialità in applicazioni concrete e sostenibili sul territorio campano.

PESO DEI SOTTOINDICATORI				
Indicatore	Punteggi			
	Canapa	Lana	Paglia	Gusci di castagna
i01: Integrazione con l'ecosistema	3	3	3	4
i02: Integrazione con i processi di trasformazione esistenti	3	2	2	1
i03: Distanza	0	0	0	0
i04: Integrazione con il sistema antropizzato	10	10	10	10,00
Punteggio complessivo	16	15	15	15

Tabella 1. Peso dei sottoindicatori.

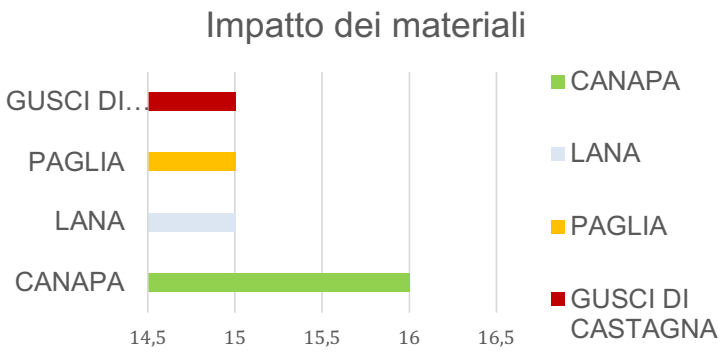


Tabella 2. Impatto dei materiali.

Valore ecosistemico per l'area campana degli scarti agricoli e da allevamento

In questo contesto, la bioregionalità emerge come criterio di valutazione fondamentale, poiché consente di garantire non solo che i materiali provengano da risorse locali e rinnovabili, ma anche che le fasi di produzione e lavorazione siano caratterizzate da un impatto ambientale ridotto. L'adozione di questo approccio rappresenta un passaggio essenziale per la costruzione di una bioeconomia locale, orientata all'utilizzo efficiente di risorse naturali disponibili nel territorio, minimizzando la dipendenza dalle filiere globali e favorendo lo sviluppo sostenibile delle comunità.

Secondo la Commissione Europea, la bioeconomia è definita come "la produzione di risorse biologiche rinnovabili e la loro conversione in alimenti, mangimi, prodotti bio-based e bioenergia" (European Commission, 2018), mentre il Global Bioeconomy Summit (2020) amplia il concetto includendo la produzione, l'utilizzo, la conservazione e la rigenerazione delle risorse biologiche per fornire soluzioni sostenibili in tutti i settori economici. In questa prospettiva, la bioeconomia non si limita alla sostituzione delle risorse fossili, ma promuove lo sviluppo di filiere territoriali integrate, basate sulla circolarità, sulla valorizzazione dei sottoprodotti e sulla riduzione degli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita dei materiali.

La canapa si distingue in modo evidente per l'elevata bioregionalità, grazie alla sua adattabilità a diversi ambienti locali e alla capacità di integrarsi facilmente nelle pratiche agricole sostenibili. La coltivazione della canapa richiede una quantità limitata di acqua, non necessita di pesticidi e si inserisce in cicli produttivi ecocompatibili, conferendo al materiale un vantaggio significativo sia dal punto di vista ambientale sia da quello economico per le filiere locali. In ambito edilizio, la canapa trova già ampio impiego sotto forma di calce-canapa (hempcrete) per tamponamenti e isolamenti, pannelli isolanti naturali e biocompositi, contribuendo al miglioramento delle prestazioni termoigrometriche e alla riduzione dell'impronta di carbonio degli edifici.

La lana di pecora, pur essendo un materiale naturale ed ecologico, presenta alcune criticità legate alla produzione animale, che può comportare un maggiore consumo di risorse rispetto a filiere vegetali. Tuttavia, quando la lana viene prodotta in contesti agricoli locali e gestita secondo pratiche ecologiche, può rappresentare una valida alternativa per sostenere la bioeconomia regionale, offrendo benefici in termini di valorizzazione del territorio e delle risorse disponibili. In edilizia, la lana viene comunemente utilizzata come materiale isolante naturale per pareti, coperture e solai, grazie alle sue proprietà di iso-

lamento termico, regolazione dell'umidità e assorbimento acustico, oltre alla possibilità di essere reinserita in cicli di recupero e riuso.

I gusci di castagne e la paglia mostrano anch'essi caratteristiche positive in termini di bioregionalità, essendo risorse naturali rinnovabili e spesso derivate da sottoprodotti agricoli o agroindustriali, in linea con i principi della bioeconomia circolare. Tuttavia, presentano alcune limitazioni operative. La gestione dei gusci di castagne richiede un sistema di raccolta e lavorazione strutturato, non sempre facilmente accessibile in tutte le regioni, il che può ridurre il punteggio complessivo in termini di sostenibilità locale. La paglia, sebbene presente in abbondanza in molte aree agricole, può comportare difficoltà legate al trasporto e alla lavorazione, determinando un maggiore impatto sul ciclo produttivo.

Nonostante ciò, entrambi i materiali mostrano un crescente potenziale di applicazione nel settore edilizio: la paglia è già impiegata in sistemi costruttivi in balle di paglia per pareti portanti o di tamponamento, nonché in pannelli prefabbricati isolanti, mentre i gusci di castagne e altri scarti lignocellulosici sono oggetto di sperimentazioni per la produzione di pannelli compositi, materiali isolanti e bio-aggregati, contribuendo alla valorizzazione di flussi di scarto locali e alla riduzione dei rifiuti.

L'analisi dei risultati conferma come la bioregionalità rappresenti un parametro discriminante nella valutazione dei materiali naturali all'interno delle filiere produttive, evidenziando la capacità della canapa di combinare prestazioni tecniche elevate con un basso impatto ecologico e una produzione efficiente a livello locale, rafforzando così la sostenibilità delle economie regionali. Gli altri materiali, pur con punteggi leggermente inferiori, mantengono un alto potenziale di integrazione nelle filiere locali, a condizione che le pratiche di raccolta, gestione e trasformazione siano organizzate in maniera sostenibile e coerente con le risorse del territorio.

Le prospettive future per l'impiego di questi materiali includono lo sviluppo e il miglioramento delle tecnologie di raccolta e lavorazione, con l'obiettivo di ottimizzare ulteriormente la bioregionalità e ridurre l'impatto ambientale complessivo delle filiere. Parallelamente, le politiche di supporto alla bioeconomia locale, insieme alla promozione di pratiche agricole e industriali sostenibili, saranno determinanti per garantire che questi materiali possano essere impiegati in modo efficiente anche nel settore delle costruzioni, riducendo al minimo il consumo di risorse non rinnovabili e favorendo il rafforzamento dell'economia circolare regionale.

Bibliografia

Edilportale. (2025). *Materiali isolanti naturali: tipologie, caratteristiche e usi*.

European Commission (2018). *A sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the connection between economy, society and the environment*, COM(2018) 673 final, Bruxelles.

European Commission (2018). *Updated Bioeconomy Strategy – Bioeconomy Strategy*, Directorate-General for Research and Innovation, Bruxelles.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *Towards Sustainable and Circular Bioeconomy in Agrifood Systems*, FAO, Roma.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). *Sustainable and Circular Bioeconomy: Definition and Framework*, FAO Forestry Paper, Roma.

Luprano, V. A., Aversa, P., Marcianò, T., Mevoli, A. (2020). *Materiali naturali per l'efficienza energetica negli edifici*. ENEA.

Przybek, A. (2025). *The Role of Natural Fibers in the Building Industry – The Perspective of Sustainable Development*. Materials (Basel).

Steyn, K., De Villiers, W., & Babafemi, A. (2025). *A Comprehensive Review of Hempcrete as a Sustainable Building Material*. Innovative Infrastructure Solutions.

Global Bioeconomy Summit (2020). *Communiqué of the Global Bioeconomy Summit 2020*, Berlino.

4
Il protocollo di Certificazione per i prodotti innovativi bioregionali e sostenibili

P. De Joanna

Manifesto valoriale dei prodotti Bioregionali

Un manifesto valoriale è una dichiarazione esplicita dei principi non negoziabili che guidano identità e decisioni di un individuo o di un'organizzazione. Non descrive le attività operative, ma il criterio etico e culturale con cui vengono scelte. Serve a fornire uno strumento discriminante nelle scelte complesse, creare coerenza nel tempo e attrarre soggetti affini, rendendo chiari anche i confini di ciò che non si accetta. Deve essere chiaro e comprensibile anche fuori dal contesto, stabile nel tempo, normativo ed escludente: orienta comportamenti concreti e non può valere indistintamente per tutti. Più che comunicare, struttura l'azione. Il ruolo dei valori dichiarati è quello di guidare le decisioni quando le regole non bastano e la forza sta nella capacità di rendere espliciti questi principi. (Schein, E.H., 2010). Il manifesto valoriale deve essere altamente resiliente perché esplicita l'ideologia centrale che non cambia anche se cambiano obiettivi e tecnologie. (Collins, J.C., & Porras, J.I., 1996).

Sebbene il manifesto valoriale sia spesso elaborato in ambito manageriale, la letteratura che lo fonda non è intrinsecamente aziendalista: parla di identità collettiva, principi normativi e responsabilità. Per questo può essere applicato anche a un ecosistema naturale e culturale da tutelare.

Secondo Edgar Schein, i valori rendono espliciti gli assunti profondi che guidano il comportamento di una comunità; un territorio (un parco, un bacino idrografico, un paesaggio culturale) è anch'esso una comunità di attori – umani e non umani – che condivide pratiche, memorie e relazioni ecologiche. Analogamente la *core ideology* descritta da James C. Collins e Jerry I. Porras può tradursi, in questo contesto, in principi non negoziabili come: integrità ecologica, giustizia intergenerazionale, equilibrio tra uso e rigenerazione.

Le comunità locali, le specie viventi, i paesaggi e le generazioni future diventano i principali stakeholder del manifesto valoriale che diventa quindi

uno strumento etico di governo territoriale, che chiarisce priorità e limiti prima delle scelte economiche o infrastrutturali. (Freeman, R.E. et al., 2010).

Sulla dichiarazione dei valori si fondano i manifesti che hanno orientato la storia delle comunità e l'hanno attraversata senza perdere di efficacia.

I grandi manifesti ambientali contemporanei dalla World Charter for Nature (1982) alla Rio Declaration on Environment and Development, fino alla Paris Agreement (2015) condividono alcuni caratteri fondativi. Anzitutto riconoscono valore intrinseco agli ecosistemi, oltre la loro utilità economica; introducono il principio di responsabilità intergenerazionale, legando le scelte presenti ai diritti futuri; affermano il criterio di precauzione, secondo cui l'incertezza scientifica non giustifica l'inazione. Definiscono una responsabilità condivisa ma differenziata, che tiene conto delle asimmetrie storiche e di capacità. Infine, trasformano la tutela ambientale da opzione politica a cornice etica vincolante, capace di orientare governance, diritto e pianificazione territoriale.

In questo quadro si colloca il pensiero bioregionalista, configurato come un vero e proprio manifesto valoriale, anche quando non esplicitamente definito come tale. Il riferimento fondativo è rappresentato dalle elaborazioni di Peter Berg e Raymond F. Dasmann che, negli anni Settanta, definirono la bioregione come un'unità territoriale individuata da confini ecologici – bacini idrografici, ecosistemi, climi – piuttosto che amministrativi. Il loro testo "Reinhabiting a Separate Country" è considerato uno dei manifesti originari del bioregionalismo.

I principi cardine di questa impostazione riguardano l'appartenenza ecologica (living-in-place), l'autosufficienza e la resilienza locale, la responsabilità nei confronti dei cicli naturali, l'integrazione tra cultura e natura e una forma di governance radicata nel territorio. Una formulazione sistematica di tali presupposti è proposta anche da Michael Vincent McGinnis in "Bioregionalism", dove la bioregionalità viene esplicitata come paradigma normativo per la pianificazione territoriale e per una democrazia ecologica.

Il bioregionalismo si configura dunque come un dispositivo etico-politico per abitare e governare un ecosistema nel rispetto dei suoi limiti biofisici e culturali. La bioregione non è uno spazio delimitato da confini istituzionali, ma un ambito riconoscibile per coerenza ecosistemica e identità socioculturale, in cui fattori idrografici, morfologici, geologici e climatici si intrecciano con le pratiche insediative e produttive. L'essere umano non è concepito come entità separata dalla natura, bensì come parte di un sistema coevolutivo, chiamato ad agire in equilibrio con le dinamiche ambientali.

In questa prospettiva, il bioregionalismo rappresenta anche una risposta critica alla globalizzazione indiscriminata, proponendo modelli fondati sull'autosostentamento e sulla valorizzazione delle risorse locali. Sul piano della cultura materiale, l'architettura bioregionale non si limita all'impiego di materiali a breve distanza, ma considera l'intera filiera produttiva e costruttiva tipica del luogo come parte integrante del progetto. Ciò comporta la riattivazione di economie territoriali, il sostegno alla piccola imprenditoria sostenibile e l'integrazione tra strategie ambientali e sistemi produttivi locali.

Il progetto architettonico diviene così uno strumento di regolazione e indirizzo, capace di coniugare innovazione tecnologica e continuità con la tradizione. In questa prospettiva, la continuità con la tradizione non coincide con la riproduzione formale di archetipi, bensì con la capacità di sviluppare soluzioni tecnologiche radicate nel contesto, adattate alle condizioni climatiche, geologiche e sociali e orientate alla soddisfazione dei bisogni contemporanei. In questo senso, il bioregionalismo si afferma come paradigma culturale e operativo in grado di rifondare il rapporto tra progetto e territorio, orientando lo sviluppo verso modelli responsabili, autosufficienti e ambientalmente compatibili.

Il Protocollo di Certificazione Bioregionale

La certificazione bioregionalista può essere intesa come un dispositivo critico di valutazione della coerenza tra progetto, territorio ed ecosistema culturale. Essa non si limita a verificare la provenienza locale dei materiali, ma considera l'intero sistema di relazioni che lega risorse naturali, filiere produttive, tecnologie costruttive e identità dei luoghi. La certificazione bioregionalista valuta, dunque, la compatibilità culturale e ambientale delle scelte progettuali, includendo parametri di durabilità, resilienza e sostenibilità lungo l'intero ciclo di vita dei materiali: approvvigionamento, trasporto, trasformazione, manutenzione e dismissione. La durabilità non è intesa solo come resistenza fisica al degrado, ma anche come capacità di evitare l'obsolescenza tecnologica e funzionale nel tempo, vengono dunque considerati indicatori non esclusivamente energetici, capaci di misurare l'impatto complessivo sull'equilibrio territoriale e sulla qualità delle economie locali.

In tal senso, la certificazione bioregionalista orienta l'innovazione verso forme integrate e contestuali, promuovendo economie di prossimità, filiere sostenibili e un uso consapevole delle risorse. Essa diviene uno strumento

etico di regolazione, capace di sostenere modelli di sviluppo territorialmente responsabili, in equilibrio tra apertura all'innovazione e tutela delle diversità locali. (De Joanna, P., Campana, E., 2023)

Il Protocollo di certificazione bioregionale rappresenta l'evoluzione operativa dei principi del bioregionalismo applicati al settore edilizio e territoriale. Esso si colloca all'interno di una riflessione più ampia sulla transizione ecologica e sulla necessità di riorientare i processi di trasformazione dell'ambiente costruito verso modelli compatibili con le specificità ecosistemiche e culturali dei luoghi.

L'assunto teorico di riferimento è la concezione della bioregione come ambito definito da coerenze naturali e relazionali – bacini idrografici, sistemi ecologici, morfologie, condizioni climatiche – piuttosto che da confini amministrativi (Berg & Dasmann, 1977). In questa prospettiva, l'azione antropica non è estranea al sistema naturale ma ne costituisce parte integrante, in un rapporto di coevoluzione tra ambiente, cultura e produzione. Il territorio diviene così matrice identitaria e produttiva, fondamento di una progettualità radicata e responsabile.

Il Protocollo nasce dall'esigenza di tradurre tali principi in criteri verificabili, capaci di incidere concretamente sulle scelte tecnologiche e sui modelli produttivi del comparto edilizio. In particolare, esso si propone di trasformare un settore tradizionalmente energivoro e ad alto consumo di risorse primarie in un dispositivo di attivazione di economie locali integrate. La valorizzazione dei materiali autoctoni, dei sottoprodotti e delle risorse di scarto provenienti da filiere regionali, rappresenta uno dei cardini di questa strategia, in una logica di circolarità e riduzione degli impatti ambientali.

A differenza dei protocolli standardizzati di sostenibilità, prevalentemente fondati su parametri energetici o su analisi del ciclo di vita, la certificazione bioregionale introduce una dimensione contestuale e situata. Essa integra la valutazione delle prestazioni ambientali con indicatori relativi alla prossimità produttiva, alla responsabilità sociale e alla coerenza con i caratteri identitari del luogo. Il riferimento alla tradizione non implica una riproposizione formale di modelli pregressi, ma una continuità critica che riconosce nella cultura materiale del territorio un patrimonio dinamico da reinterpretare in chiave contemporanea (Magnaghi, 2014).

Il Protocollo di Certificazione Bioregionale si articola attorno a quattro assi fondamentali: il primo riguarda la compatibilità ecosistemica, intesa come coerenza tra materiali, tecnologie e condizioni biotiche e abiotiche della bioregione. Tale compatibilità non è solo ambientale ma anche paesaggistica e

culturale; il secondo asse concerne la valorizzazione delle filiere locali, attraverso la promozione della prossimità produttiva, la riduzione dei trasporti e il rafforzamento dell'identità economica territoriale. In questa dimensione, la certificazione agisce come strumento di riconoscimento e qualificazione delle produzioni locali; il terzo asse è costituito da durabilità e resilienza, intese non soltanto come prestazioni strutturali ma come capacità del sistema edilizio di mantenere nel tempo efficienza, salubrità e adattabilità, limitando processi di obsolescenza e riducendo l'entropia dei cicli produttivi; infine, il quarto asse riguarda l'impatto socio-economico, valutato in termini di occupazione locale, inclusione delle comunità nei processi decisionali e rafforzamento delle reti territoriali.

L'obiettivo del Protocollo di Certificazione Bioregionale non è l'autarchia, bensì la costruzione di un sistema aperto e relazionale, in cui le economie locali possano interagire con reti più ampie senza perdere coerenza con il proprio patrimonio materiale e culturale. In tal senso, la certificazione assume una funzione regolativa e orientativa: favorisce la trasparenza delle filiere, sostiene le amministrazioni nella definizione di politiche mirate e incentiva buone pratiche progettuali.

Il passaggio dalla teoria alla prassi costituisce l'elemento più significativo di questo strumento. La certificazione bioregionale traduce infatti il paradigma culturale del bioregionalismo in un dispositivo tecnico-operativo capace di incidere sulle trasformazioni reali del territorio, contribuendo alla costruzione di modelli di sviluppo ecosistemici, resilienti e culturalmente consapevoli.

Sotto il profilo metodologico l'efficacia del Protocollo di certificazione bioregionale dipende dalla capacità di integrare analisi ambientali, economiche, culturali e prestazionali in un quadro unitario. La certificazione non si limita alla verifica di singoli requisiti tecnici, ma si configura come un percorso articolato che accompagna il progetto dalla fase conoscitiva fino alla valutazione finale.

Il processo si articola nelle fasi di:

- Perimetrazione della bioregione di riferimento: individuazione dell'ambito territoriale entro cui valutare la coerenza bioregionale; tale perimetrazione non coincide necessariamente con confini amministrativi, ma si fonda su criteri ecosistemici (bacini idrografici, morfologie, sistemi climatici), produttivi e culturali. In questa fase si procede alla mappatura delle risorse locali disponibili, delle filiere produttive attive e delle competenze artigianali e industriali presenti.
- Analisi delle filiere e delle risorse: è centrata sulle filiere coinvolte nel pro-

getto edilizio, considera la provenienza delle materie prime, la distanza di trasporto, i processi di trasformazione, il consumo energetico, la presenza di sottoprodotti o materiali di recupero. L'obiettivo è valutare il grado di integrazione tra il progetto e il sistema produttivo locale, verificando la capacità di attivare economie territoriali e ridurre impatti ambientali.

- Valutazione prestazionale e durabilità: in questa fase si analizzano le prestazioni tecniche dei materiali e dei sistemi costruttivi, con particolare attenzione alla durabilità, alla manutenibilità e alla resilienza nel tempo. La valutazione non si limita ai parametri strutturali, ma include aspetti legati alla salubrità, all'adattabilità funzionale e alla capacità di prevenire fenomeni di obsolescenza. La durabilità è intesa come stabilizzazione nel tempo dei benefici ambientali e sociali generati dall'intervento.
- Indicatori socioeconomici e culturali: questa fase introduce indicatori relativi all'impatto sociale ed economico del progetto: occupazione locale generata, rafforzamento delle competenze territoriali, inclusione di attori locali nel processo decisionale, coerenza con l'identità paesaggistica e culturale del luogo. Questa dimensione distingue il Protocollo di Certificazione Bioregionale da sistemi di certificazione esclusivamente energetici o ambientali.
- Attribuzione del livello di certificazione: la fase conclusiva consiste nella sintesi dei risultati ottenuti nelle fasi precedenti e nell'attribuzione di un livello di certificazione, graduato in base al grado di coerenza bioregionale raggiunto. Tale livello può essere articolato in classi progressive, che incentivano il miglioramento continuo delle prestazioni e dell'integrazione territoriale.

In caratteri distintivi della metodologia possono essere sintetizzati in: approccio place-based, situato e non standardizzato su parametri astratti; integrazione tra indicatori ambientali, economici e culturali; centralità della filiera corta e della prossimità produttiva; valorizzazione della durabilità come criterio strategico di resilienza urbana; coinvolgimento attivo delle comunità locali nel processo di valutazione.

In questo modo il Protocollo non si limita a certificare un prodotto o un edificio, ma contribuisce a misurare e orientare un modello di sviluppo territoriale. La certificazione bioregionale diviene così uno strumento dinamico di governance, capace di connettere progetto, economia locale ed equilibrio ecosistemico in un unico quadro operativo.

Il Label di Bioregionalità

Il concetto di label applicato al bioregionalismo può essere interpretato come dispositivo di riconoscimento e qualificazione della coerenza tra prodotto, territorio ed ecosistema culturale. Sebbene la letteratura bioregionalista non abbia ancora formalizzato un sistema di etichettatura universalmente riconosciuto, i presupposti teorici per la sua costruzione sono rintracciabili nei testi fondativi del movimento. La bioregione, definita come ambito delimitato da confini ecologici e culturali piuttosto che amministrativi (Berg & Dasmann, 1977), implica infatti che ogni produzione materiale sia valutata in relazione alla sua compatibilità con le dinamiche biofisiche e con le identità locali. In questa prospettiva, un Bioregional label non si limiterebbe a certificare parametri ambientali standardizzati, ma attesterebbe l'integrazione tra risorse locali, filiere produttive e cultura materiale del luogo (Sale, 1985).

L'approccio normativo proposto da McGinnis individua nel bioregionalismo un paradigma per la pianificazione e la governance ecologica (McGinnis, 1999), suggerendo implicitamente la possibilità di strumenti operativi capaci di tradurre tali principi in criteri verificabili. Analogamente, la prospettiva territorialista sottolinea la necessità di riconoscere il patrimonio produttivo locale come elemento fondativo dello sviluppo sostenibile (Magnaghi, 2014). Un'etichetta bioregionale assumerebbe dunque una funzione regolativa, distinguendosi dai comuni ecolabel in quanto orientata non solo alla riduzione degli impatti ambientali, ma alla valorizzazione delle relazioni tra comunità, paesaggio ed economia territoriale (Capra, 1997).

In questo senso, il label diverrebbe uno strumento di trasparenza delle filiere e di promozione della responsabilità socio-ecologica, capace di segnalare la provenienza territoriale, la durabilità dei materiali e la coerenza con i cicli naturali. Esso contribuirebbe a rafforzare economie di prossimità e modelli di sviluppo place-based, senza precludere l'apertura alle reti globali, ma qualificandone l'interazione su basi di reciprocità e sostenibilità (Magnaghi, 2014). Il Bioregional label si configurerebbe così come passaggio dalla teoria del riabitare i luoghi alla costruzione di criteri condivisi di appartenenza e qualità territoriale.

Bibliografia essenziale

P. De Joanna e E. Campana (2023) *Ipotesi per una procedura di certificazione*, in "Materiali e prodotti nell'architettura sostenibile per la valorizzazione delle risorse locali" (P. De Joanna e L. Buoninconti eds.), GianniLuciano Ed., Napoli.

P. De Joanna e E. Campana (2023) *Prodotti e materiali a elevata naturalità per l'architettura*, in "Materiali e prodotti nell'architettura sostenibile per la valorizzazione delle risorse locali" (P. De Joanna e L. Buoninconti eds.), GianniLuciano Ed., Napoli.

De Joanna, P., & Francese, D. (eds, 2023). *Transizione ecologica e materiali bioregionali. Valutazione della qualità ecosistemica in architettura*, GianniLuciano Ed., Napoli.

Buoninconti, L., De Joanna, P., & Falotico, A. (a cura di). (2020). *Bioregionalismo ed edilizia sostenibile*. Napoli: GianniLuciano Ed., Napoli.

De Joanna, P., Passaro, A., Vaccaro, G. (2019), *Architettura bioregionale: un approccio etico alla valorizzazione e allo sviluppo del territorio*, in Atti Convegno VIII FORUM PROARCH Napoli – 21-23 novembre 2019 – pp. 1394-1398, Il progetto di architettura come intersezione di saperi, ProArch, Napoli.

Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (2015), *Paris Agreement*

Magnaghi, A. (2014). *La regola e il progetto. Un approccio bioregionalista alla pianificazione territoriale*. Firenze: Firenze University Press.

Schein, E.H. (2010), *Organizational Culture and Leadership,* Jossey-Bass.

Freeman, R.E. et al. (2010), *Stakeholder Theory: The State of the Art*, Cambridge University Press.

McGinnis, M.V. (ed. 1999), *Bioregionalism,* Routledge, London and New York.

Michael Vincent McGinnis (Ed.) (1999). *Bioregionalism*. London & New York: Routledge.

Capra, F. (1997), *The Web of Life: A New Scientific Understanding of Living Systems,* Anchor Books, New York.

Collins, J.C., & Porras, J.I. (1996), *Building Your Company's Vision,* Harvard Business Review.

Sale, K. (1985), *Dwellers in the Land: The Bioregional Vision,* Sierra Club Books, San Francisco.

Assemblea generale delle Nazioni Unite (1982), *World Charter for Nature*

Peter Berg & Raymond F. Dasmann (1978). *Reinhabiting a Separate Country*. San Francisco: Planet Drum Foundation.

Berg, P., & Dasmann, R. F. (1977). *Reinhabiting California*. The Ecologist.

Parte II

1
Riuso degli Scarti Agricoli: Innovazione Sostenibile nei Sistemi Edilizi Antisismici

A. Formisano, E. Meglio

1. *Introduzione*

Negli ultimi decenni la sostenibilità è divenuta un pilastro imprescindibile per ogni settore produttivo. L'aumento della popolazione mondiale, l'intensificazione dei consumi e l'impatto delle attività antropiche sugli ecosistemi hanno reso evidente la necessità di sviluppare modelli economici e tecnologici capaci di coniugare crescita e tutela ambientale. In questo scenario, i comparti agricolo ed edilizio assumono un ruolo strategico, sia per la loro rilevanza economica sia per l'impatto diretto sulla qualità della vita delle comunità.

L'agricoltura produce annualmente ingenti quantità di scarti organici e inorganici, spesso avviati a processi di smaltimento che comportano costi elevati e criticità ambientali. Parallelamente, l'edilizia è chiamata a ridurre l'impiego di risorse non rinnovabili e a garantire la sicurezza delle costruzioni in aree sismiche, dove la vulnerabilità degli edifici rappresenta un rischio costante per la popolazione [1].

L'integrazione tra questi due settori apre prospettive innovative: gli scarti agricoli possono essere trasformati in una risorsa preziosa per la produzione di materiali e sistemi edilizi sostenibili, capaci non solo di ridurre l'impatto ambientale, ma anche di migliorare le prestazioni antisismiche delle strutture. In tale prospettiva, il concetto di "rifiuto" si trasforma in opportunità di innovazione, inserendosi in un modello di economia circolare che valorizza ciò che altrimenti verrebbe disperso. Fibre vegetali, residui colturali e sottoprodotti della lavorazione alimentare possono essere trattati e combinati con leganti naturali o sintetici per realizzare pannelli, blocchi e materiali compositi da costruzione. Oltre a essere più leggeri e meno energivori rispetto a quelli tradizionali, tali materiali offrono proprietà interessanti in termini di isolamento termico e acustico, flessibilità e resistenza, caratteristiche fondamentali per affrontare le sollecitazioni sismiche.

Il legame tra riuso degli scarti agricoli e sistemi edilizi antisismici non è soltanto tecnico, ma anche culturale e sociale. Da un lato, promuove una visione più integrata e sostenibile della produzione agricola; dall'altro, stimola l'edilizia a superare i modelli convenzionali, orientandola verso edifici ecocompatibili e sicuri.

Le sperimentazioni hanno dimostrato come il riuso intelligente degli scarti consenta di ridurre significativamente l'impiego di materie prime vergini, contenere le emissioni di CO_2 e, al contempo, conferire ai materiali da costruzione adeguate proprietà meccaniche [2, 3]. Questo approccio risponde anche alle esigenze delle comunità locali, soprattutto di quelle collocate in territori ad alto rischio sismico. L'utilizzo di risorse agricole provenienti da filiere locali consente infatti di rafforzare l'economia del territorio, ridurre i costi di trasporto e sviluppare un'edilizia a "chilometro zero". La filiera agricolo–edilizia diventa così un motore di innovazione sostenibile, capace di generare occupazione, ridurre la dipendenza dalle importazioni e migliorare la sicurezza del costruito. L'integrazione tra sostenibilità ambientale e sicurezza antisismica rappresenta quindi una risposta strategica a sfide globali e locali: la lotta al cambiamento climatico, la riduzione dei rifiuti e la salvaguardia della vita umana.

L'obiettivo della presente ricerca è indagare il potenziale degli scarti agricoli come risorsa innovativa per l'edilizia, con particolare attenzione alle applicazioni in ambito strutturale. In questo studio il focus è rivolto ai sottoprodotti derivanti dalla coltivazione della canapa (fibre e canapulo) provenienti da filiere locali della regione Campania. Tali materiali, altrimenti destinati a rifiuto, vengono valorizzati attraverso due differenti tipologie di prodotti: un intonaco a base di canapulo e fibre corte di canapa, e una malta per massetti o blocchi ottenuta mediante la combinazione di canapa e aggregati riciclati da rifiuti da demolizione edilizia.

L'inserimento della canapa nei compositi offre molteplici vantaggi meccanici e prestazionali. Tra i principali benefici si annoverano l'incremento della resistenza a flessione e della duttilità, insieme alla riduzione del peso proprio delle miscele [4, 5, 6, 7]. Queste caratteristiche rendono i materiali sviluppati particolarmente adatti a contesti in cui leggerezza e capacità dissipative rivestono un ruolo cruciale, come nelle costruzioni localizzate in aree sismiche.

In linea con gli obiettivi di sostenibilità, per gli intonaci la ricerca privilegia l'impiego di leganti a base di calce, caratterizzati da un impatto ambientale inferiore rispetto ai leganti cementizi tradizionali. Oltre a ridurre le emissioni di CO_2 associate alla produzione, le malte di calce garantiscono inoltre una migliore compatibilità chimico-fisica con il costruito storico in muratura.

2. *Intonaco rinforzato con fibre corte di canapa e canapulo*

La prima fase della ricerca ha riguardato la sperimentazione di intonaci rinforzati con fibre corte di canapa e canapulo, inseriti in maniera discontinua nella miscela. L'obiettivo principale è stato valutare l'influenza della canapa, inserita in un intonaco tradizionale, sulla lavorabilità e sulle prestazioni meccaniche a flessione e compressione. A tal fine sono stati predisposti diversi mix design, variando la percentuale di aggiunta di canapa e la tipologia di componente impiegato (fibra o canapulo), successivamente sottoposti a prove fisiche e meccaniche. Tutti i risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli della miscela di controllo priva di canapa.

2.1. *Materiali impiegati*

L'intonaco a base calce è stato realizzato impiegando un premiscelato di pura calce idraulica naturale (NHL 3.5, conforme alla norma EN 459-1), classificato come CS III secondo la EN 998-1 e come M5 secondo la EN 998-2. Tali classificazioni corrispondono a una resistenza a compressione della malta superiore a 5 MPa dopo 28 giorni di stagionatura.

Il premiscelato è stato rinforzato con fibre e canapulo, ottenuti come scarti agricoli derivanti dalla lavorazione della pianta di canapa e provenienti da una filiera locale. La materia prima si presentava inizialmente in forma mista (fibra e canapulo); prima dell'inserimento nella miscela, i due componenti sono stati separati, ripuliti da eventuali impurità e tagliati in lunghezze di circa 3 cm.

L'integrazione della canapa nella miscela ha lo scopo di incrementare la resistenza a flessione e la duttilità dell'intonaco, sfruttando le buone proprietà meccaniche della fibra. In letteratura, infatti, sono riportati valori di resisten-

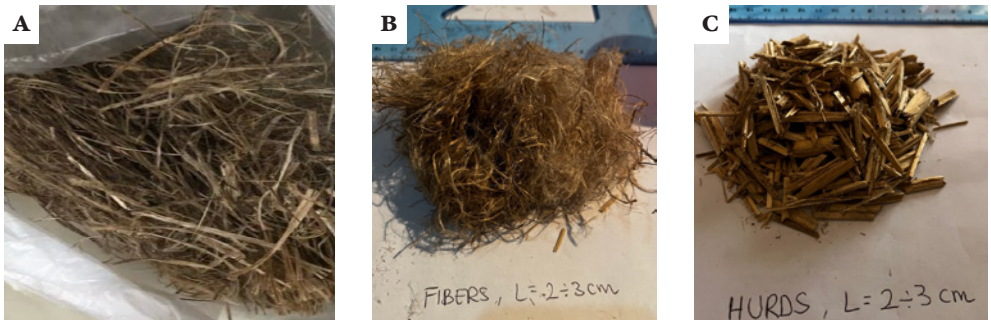


Figura 1. Canapa impiegata come rinforzo nelle miscele: scarto agricolo misto (a), fibre (b) e canapulo (c) dopo la separazione.

za a trazione pari a circa 690 MPa, modulo elastico compreso tra 30 e 60 GPa e deformazione a rottura dell'1,6% [8, 9].

La Figura 1 illustra il materiale di partenza e i componenti in fibra e canapulo inseriti nella miscela dopo il processo di preparazione.

2.2. *Prova di assorbimento d'acqua delle fibre e del canapulo*

Le fibre di canapa e il canapulo presentano un'elevata capacità di assorbimento d'acqua. Una volta inseriti nella miscela, tendono a sottrarre parte dell'acqua di impasto dell'intonaco, modificando così il rapporto acqua/legante stabilito dal produttore del premiscelato per garantire la corretta lavorabilità e le prestazioni meccaniche dichiarate nella scheda tecnica. È quindi fondamentale conoscere l'effettiva capacità di assorbimento d'acqua di fibre e canapulo, al fine di correggere opportunamente il quantitativo d'acqua da aggiungere alla miscela ed evitare variazioni che possano compromettere la qualità della malta.

Per la valutazione di tale parametro è stata condotta una prova di laboratorio separatamente su fibre e canapulo, dopo la fase di preparazione e il taglio in lunghezze di circa 3 cm. Ogni campione, caratterizzato da un peso iniziale secco noto (W_i), è stato immerso in acqua e successivamente pesato a intervalli regolari per determinare il peso finale (W_f) a ciascun tempo di misura. Le misurazioni sono state effettuate estraendo il campione dall'acqua, rimuovendo l'eccesso superficiale e registrando il peso a intervalli di 30 minuti, fino al raggiungimento della condizione di saturazione. Il grado di assorbimento d'acqua di ciascun campione è stato calcolato secondo l'Eq. (1):

$$R_a = \frac{W_f - W_i}{W_i} \times 100\,[\%] \tag{1}$$

La saturazione delle fibre e del canapulo si considera raggiunta quando la curva di Figura 2, che descrive l'assorbimento d'acqua in funzione del tempo, tende ad assumere un andamento orizzontale.

Dalla figura precedentemente riportata si evince che le fibre di canapa raggiungono la saturazione dopo 90 minuti di immersione in acqua con una capacità di assorbimento d'acqua pari a 314,3%, ossia assorbono un quantitativo d'acqua pari a circa 3,14 volte il loro peso. Il canapulo, invece, raggiunge la saturazione già nei primi 30 minuti di immersione con una capacità di assorbimento d'acqua inferiore, pari al 171,4%. Considerati i tempi ridotti necessari al raggiungimento della saturazione, per semplicità operativa e al fine di

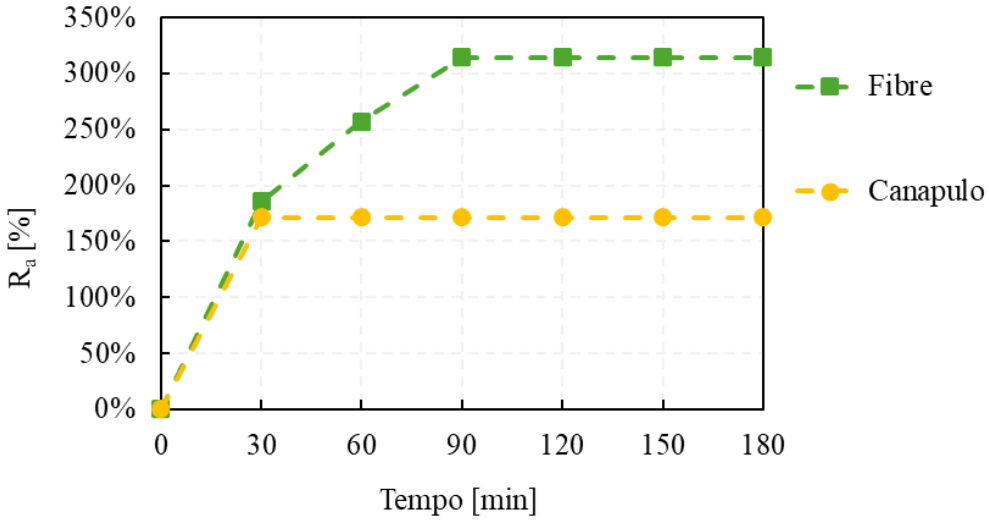


Figura 2. Capacità di assorbimento d'acqua di fibre e canapulo.

garantire risultati ottimali, si è scelto di inserire fibre e canapulo nelle miscele già in condizioni sature, ossia dopo due ore di immersione in acqua.

2.3. *Mix design*

I mix design sono stati definiti sulla base dei risultati di precedenti sperimentazioni e delle indicazioni presenti in letteratura. Per ottenere un buon bilanciamento tra l'incremento di resistenza a flessione e duttilità, da un lato, e la riduzione di resistenza a compressione, dall'altro, è opportuno inserire basse percentuali di canapa nelle miscele. Nella presente campagna sperimentale sono state quindi investigate tre percentuali di aggiunta di fibre e canapulo, ossia 0,25%, 0,50% e 1,00% in peso rispetto al premiscelato. Per ciascuna percentuale, sono stati preparati intonaci rinforzati con sole fibre (F), con soli canapuli (C) e con una combinazione dei due (F+C). In quest'ultimo caso, la percentuale indicata si riferisce al quantitativo complessivo di canapa, equamente suddiviso tra fibre e canapulo. A fini comparativi, è stato infine predisposto un mix design di controllo privo di rinforzi, in modo da valutare l'influenza della canapa sulle prestazioni dell'intonaco tradizionale. Tutti i mix design investigati sono riportati in Tabella 1.

Tipo	ID	Fibre		Canapulo		Acqua
Controllo	CNTL	-	-	-	-	400 g
Solo fibre	F_0,25%	0,25%	2,5 g	-	-	400 g
	F_0,50%	0,50%	5,0 g	-	-	400 g
	F_1,00%	1,00%	10,0 g	-	-	400 g
Solo canapulo	C_0,25%	-	-	0,25%	2,5 g	400 g
	C_0,50%	-	-	0,50%	5,0 g	400 g
	C_1,00%	-	-	1,00%	10,0 g	400 g
Fibre + canapulo	F+C_0,25%	0,125%	1,25 g	0,125%	1,25 g	400 g
	F+C_0,50%	0,25%	2,5 g	0,25%	2,5 g	400 g
	F+C_1,00%	0,50%	5,0 g	0,50%	5,0 g	400 g

Tabella 1. Mix design intonaci con fibre di canapa corte riferiti a 1 kg di premiscelato.

2.4. *Prove di lavorabilità*

La lavorabilità dell'intonaco consiste nell'attitudine della miscela fresca a essere applicata, stesa e rifinita in modo uniforme sul supporto, mantenendo coesione interna e adesione adeguata. Tale proprietà condiziona la corretta compattazione, la finitura superficiale e, di conseguenza, le prestazioni meccaniche e la durabilità del rivestimento.

Per la valutazione della lavorabilità degli intonaci oggetto di studio è stata eseguita, su ciascun mix design incluso il campione di controllo non rinforzato, la prova di spandimento su tavola a scosse, in conformità alla norma EN 1015-3.

La prova consiste nel riempire con la malta uno stampo tronco-conico posto al centro di una tavola metallica graduata. Una volta estratto lo stampo, la tavola viene sollevata e lasciata cadere da una piccola altezza per un numero prefissato di colpi (15 scosse in 15 secondi). L'effetto delle scosse provoca l'allargamento della malta, formando un disco più o meno ampio a seconda della sua fluidità. Il diametro medio dello spandimento così ottenuto rappresenta un indice diretto della consistenza e quindi della lavorabilità della miscela: valori troppo bassi indicano un impasto rigido e difficile da applicare, mentre valori troppo elevati corrispondono a una malta eccessivamente fluida, che può per-

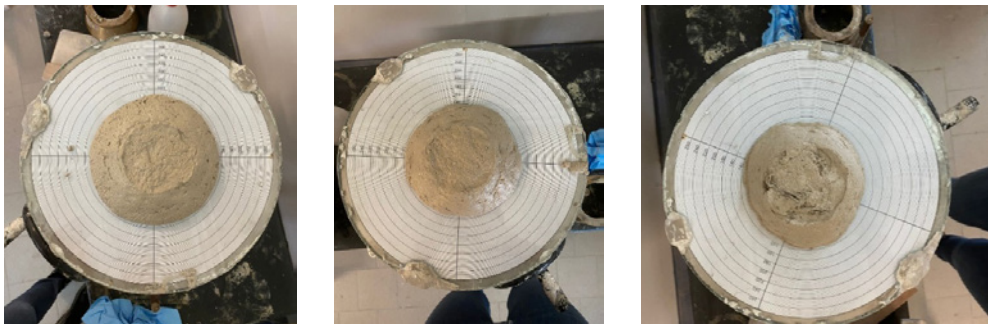


Figura 3. Prova di spandimento su tavola a scosse.

dere coesione e resistenza. Il diametro di spandimento (Sp) è valutato come valore medio tra due diametri ortogonali al termine della prova (Figura 3).

I risultati sono stati quindi confrontati con un range di diametri di spandimento suggeriti dalla norma per ottenere una buona lavorabilità degli intonaci, ossia:

$$140 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm} < Sp < 180 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$$

In Figura 4 sono riportati i risultati per ciascuna miscela con un'indicazione in rosso degli estremi del range suggerito.

I risultati ottenuti mostrano che l'intonaco di controllo ha un diametro di spandimento di 145 mm. L'aggiunta di canapa comporta una riduzione di lavorabilità all'aumentare delle percentuali che risulta però sempre contenuta all'interno dei range suggeriti dalla norma, ad eccezione della miscela con l'1,00% di fibre e canapulo.

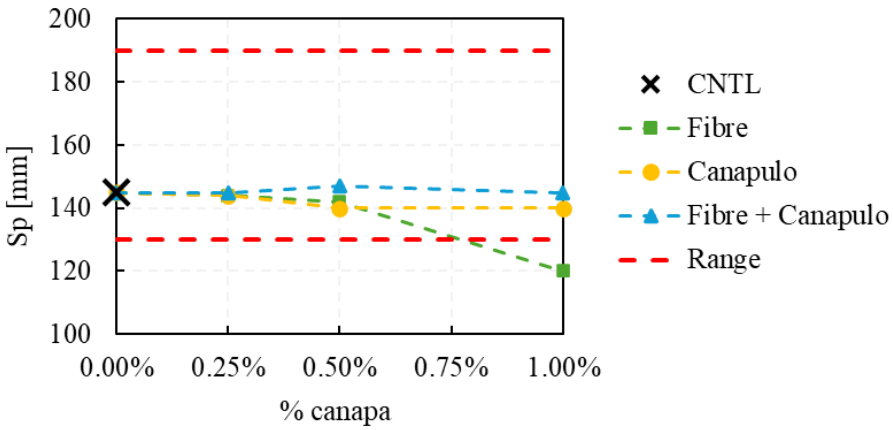


Figura 4. Risultati prova di lavorabilità intonaci fibrorinforzati.

2.5. *Confezionamento dei provini per le prove meccaniche*

Per valutare le prestazioni meccaniche dell'intonaco fibrorinforzato, sono stati confezionati tre provini prismatici per ciascun mix design, aventi dimensioni 40 × 40 × 160 mm secondo le indicazioni della norma EN 1015-11. I provini sono stati impiegati inizialmente per eseguire la prova di flessione su tre punti; successivamente, a seguito della rottura, una delle due metà dei provini è stata utilizzata per eseguire la prova di compressione. Il confezionamento dei provini ha seguito il processo standardizzato suggerito dalla norma. Le miscele fresche sono state colate in due strati successivi all'interno di uno stampo metallico a tre scomparti, precedentemente pulito e cosparso di liquido disarmante per facilitare la rimozione del provino. Ogni strato è stato compattato con colpi regolari di un pestello metallico, in modo da eliminare eventuali vuoti e assicurare l'omogeneità dell'impasto nel provino. Una volta completato il riempimento, la superficie è stata livellata con una spatola. Gli stampi sono stati quindi conservati per i primi due giorni in ambiente controllato, a temperatura e umidità costanti, per favorire la presa iniziale. Successivamente i provini sono stati estratti dallo stampo e mantenuti in condizioni di umidità e temperatura controllata per tutta la durata della stagionatura. Dopo 28 giorni complessivi di maturazione, i provini sono stati sottoposti alle prove di flessione su tre punti e poi a quelle di compressione. La Figura 5 illustra gli stampi impiegati e un set di provini oggetto di indagine a seguito del processo di stagionatura.

2.6. *Prove di rottura a flessione su tre punti*

La procedura prevede il posizionamento del provino prismatico, stagionato per 28 giorni, su due appoggi paralleli distanziati di 100 mm. Un carico concentrato viene applicato al centro del campione tramite una traversa mobile, sollecitando il provino a flessione. L'aumento del carico è progressivo e controllato fino al momento della rottura, che si verifica generalmente nella sezione centrale.

Figura 5. Confezionamento dei provini 40 × 40 × 160 mm.

Le prove sono state eseguite a controllo di spostamento, con velocità di 0,05 mm/min, utilizzando una cella di carico da 10 kN. Durante la prova, vengono registrati il carico sopportato dal provino (F) e lo spostamento della traversa (δ).

La resistenza a flessione del materiale (f_f) viene calcolata in funzione del carico massimo sopportato dal provino (F_{max}) e delle sue caratteristiche dimensionali (d_1 = 40 mm, d_2 = 40 mm, l = 100 mm), secondo quanto riportato nell'Eq. (2):

$$f_f = \frac{3 \times F_{max} \times l}{2 \times d_1 \times d_2^2} \tag{2}$$

I risultati della prova sono riportati in Figura 6 in termini di resistenza media a flessione ottenuta su tre provini per ciascuna miscela.

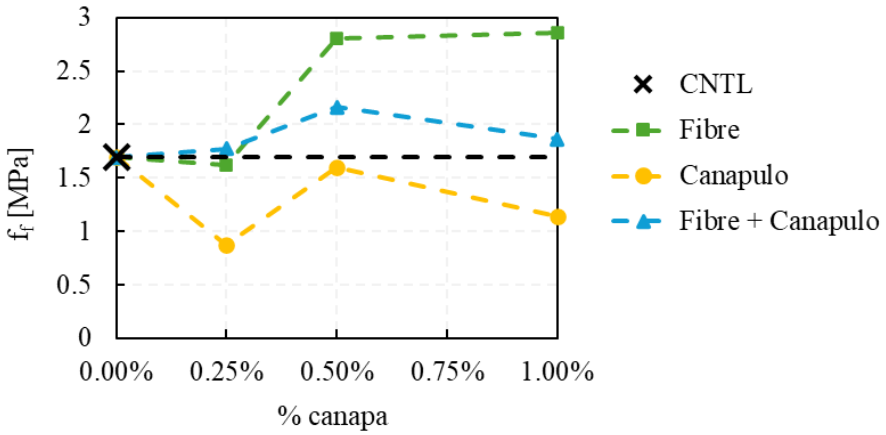


Figura 6. Resistenza a flessione degli intonaci al variare del contenuto di fibre (la linea nera tratteggiata indica la resistenza del mix di controllo).

Gli intonaci rinforzati con fibre di canapa mostrano un incremento della resistenza a flessione rispetto al mix di controllo, con valori generalmente crescenti all'aumentare della percentuale di rinforzo. L'aggiunta dell'1,00% di sole fibre determina il miglior risultato (+68,7%), sebbene la differenza rispetto allo 0,50% sia minima (+65,6%), indicando che aumenti superiori non comportano benefici proporzionali. Un andamento analogo si osserva nei mix contenenti fibre e canapulo combinati; in questo caso, la percentuale complessiva dello 0,50% di canapa fornisce le prestazioni più elevate,

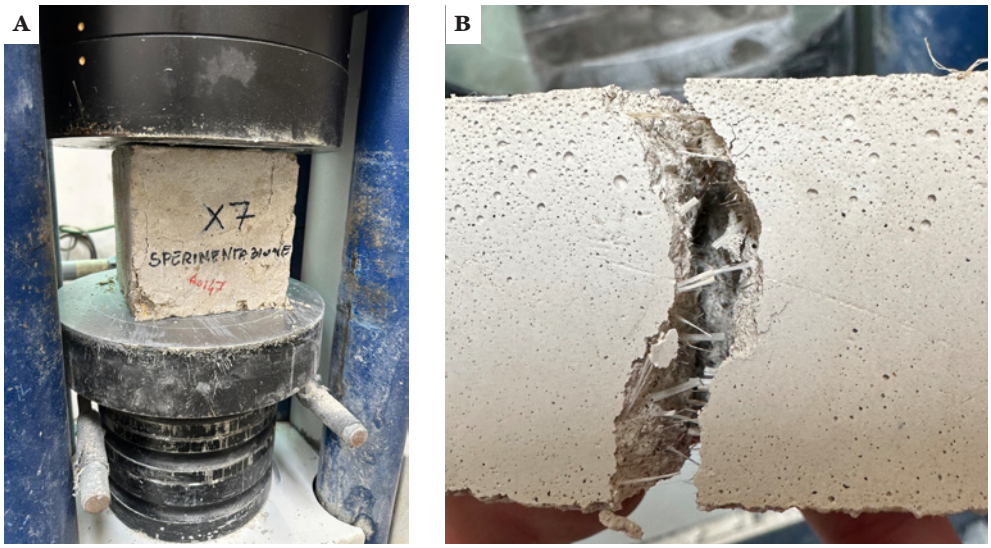


Figura 7. Prova di rottura a flessione su tre punti: esecuzione della prova (a) e provino a seguito della rottura (b).

con un incremento del 27,5% rispetto al controllo. Al contrario, i campioni contenenti solo canapulo mostrano valori di resistenza inferiori a quelli della miscela di riferimento. Il comportamento migliore in questa categoria si registra con lo 0,50% di canapulo, che limita la riduzione della resistenza al 5,4%.

Oltre a fornire un dato numerico, questa prova consente di osservare il comportamento del materiale sotto sollecitazione. Un intonaco fragile tende a rompersi bruscamente, mentre un composito fibrorinforzato mostra maggiore duttilità, con formazione e propagazione graduale delle fessure grazie all'effetto cucitura delle fibre. Tale comportamento è evidenziato in Figura 7, che mostra i provini a seguito della rottura a flessione, con fessurazioni localizzate nella zona centrale del campione.

2.7. *Prove di rottura a compressione*

La resistenza a compressione è stata determinata, come previsto dalla norma UNI EN 1015-11, utilizzando i due semi-provini ottenuti dalla rottura a flessione dei prismi 40 × 40 × 160 mm. La procedura di prova consiste nel posizionare ciascun semi-provino tra le piastre di una pressa idraulica e nel sollecitarlo con un carico crescente applicato verticalmente. Il carico viene aumentato in modo continuo e controllato fino al raggiungimento della rottura del campione. Il valore massimo registrato rappresenta il carico di rottura

(F_{max}) che, rapportato all'area della sezione sollecitata (A), consente di calcolare la resistenza a compressione della malta (f_c), come riportato nell'Eq. (3):

$$f_c = \frac{F_{max}}{A} \tag{3}$$

Questa prova fornisce un parametro essenziale per la caratterizzazione dei materiali cementizi e a base di calce, poiché misura la capacità del materiale di resistere a sforzi assiali, strettamente legata sia alla durabilità sia alla sicurezza strutturale. L'analisi comparativa tra provini rinforzati e di controllo permette inoltre di valutare l'influenza della canapa sulla prestazione complessiva della malta. I risultati della prova sono riportati nell'istogramma di Figura 8 in termini di resistenza media a compressione ottenuta su tre provini per ciascuna miscela.

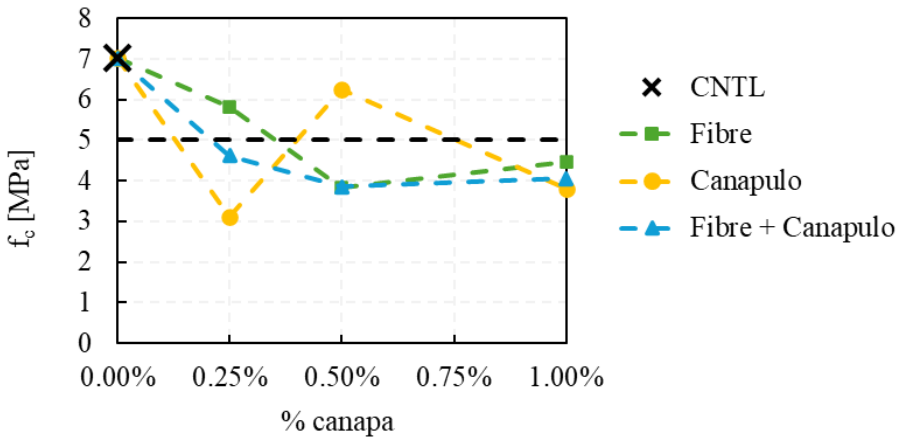


Figura 8. Resistenza a compressione degli intonaci al variare del contenuto di fibre (la linea nera tratteggiata indica la resistenza minima per le malte f_c = 5 MPa).

I risultati delle prove di compressione mostrano che l'aggiunta di canapa, in tutte le configurazioni testate, comporta una riduzione della resistenza rispetto al mix di controllo. Nei provini rinforzati con sole fibre, la resistenza diminuisce all'aumentare della percentuale di aggiunta, passando da –16,9% con lo 0,25% a –45,3% e –36,3% rispettivamente per lo 0,50% e l'1,00%. Un andamento analogo si osserva nei campioni contenenti solo canapulo, che mostrano riduzioni più marcate: la perdita di resistenza varia da –55,5% con lo 0,25% a –46,0% con l'1,00%, mentre lo 0,50% registra un valore nettamente

inferiore, pari a –10,8%. Nei mix realizzati con fibre e canapulo combinati, la riduzione è compresa tra –34,2% e –45,2%, con prestazioni relativamente uniformi tra lo 0,25% e l'1,00%. In generale, i risultati confermano che l'aggiunta di canapa comporta una diminuzione della resistenza a compressione della malta, con valori che nella maggior parte dei casi scendono al di sotto del limite minimo necessario per mantenere la classe M5 dichiarata dal produttore del premiscelato. Le uniche eccezioni sono rappresentate dai mix contenenti lo 0,25% di sole fibre e lo 0,50% di solo canapulo, che mantengono valori sufficienti per rientrare nella classificazione M5.

3. *Malta con canapa e aggregati riciclati*

La seconda fase della ricerca ha riguardato la sperimentazione di una malta per massetti e blocchi rinforzata con fibre corte di canapa e canapulo, distribuiti in maniera discontinua nella miscela, insieme all'aggiunta di aggregati riciclati derivanti dai rifiuti della demolizione edilizia. L'obiettivo principale era valutare l'influenza della canapa e degli aggregati riciclati, inseriti in malte tradizionali a base di calce e cemento, sul peso e sulla resistenza a compressione. A tal fine sono stati predisposti tre mix design: uno di controllo, uno contenente solo canapa e uno con canapa e aggregati riciclati. Nelle miscele modificate, la canapa è stata introdotta in quantità pari allo 0,50% in peso rispetto al premiscelato, sulla base dei risultati della fase precedente sugli intonaci, mentre gli aggregati riciclati sono stati aggiunti in misura del 25%.

3.1. *Materiali impiegati*

La malta cementizia è stata realizzata utilizzando un premiscelato tixotropico a ritiro compensato, classificato come R3 secondo la norma EN 1504-3, corrispondente a una resistenza a compressione superiore a 25 MPa dopo 28 giorni di stagionatura. La malta di calce, invece, è stata preparata impiegando un premiscelato di pura calce naturale NHL 3.5 e geolegante, rientrante nella classe di resistenza M15 secondo la norma EN 998-2.

La canapa utilizzata è la stessa impiegata per gli intonaci, costituita da fibre e canapulo derivati come sottoprodotto della lavorazione della fibra di canapa. Il materiale, inizialmente in forma mista, è stato sottoposto a un processo di separazione delle componenti, seguito da pulitura per eliminare eventuali impurità e da taglio per ottenere lunghezze comprese tra 2 e 4 cm.

La Figura 9 mostra il materiale di partenza e le componenti (fibre e canapu-

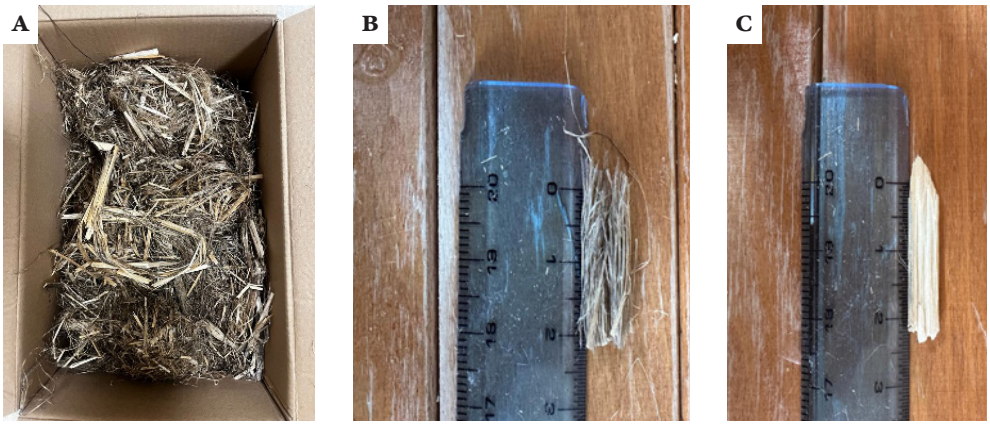


Figura 9. Malta per massetti/blocchi: sottoprodotto agricolo misto (a), fibre (b) e canapulo (c) a seguito della preparazione.

lo) dopo le fasi di preparazione, pronte per l'inserimento nella miscela.

Sulla base della prova di assorbimento d'acqua illustrata nella campagna sperimentale sugli intonaci, si è deciso di procedere anche in questo caso con la pre-saturazione degli scarti di canapa prima della loro incorporazione nella malta. Anche in questo caso, infatti, fibre e canapulo sono stati immersi in acqua per almeno due ore per raggiungere il punto di saturazione.

Figura 10. Malta per massetti/blocchi: aggregati riciclati.

Gli aggregati riciclati sono stati ottenuti da rifiuti misti da costruzione e demolizione raccolti nella provincia di Napoli e presentano una distribuzione granulometrica fine-media. Il materiale è costituito prevalentemente da componenti litici, quali pietrisco frantumato, frammenti di calcestruzzo e laterizi, mentre la frazione residua comprende piccole quantità di vetro, conglomerati bituminosi e altri materiali derivanti da pavimentazioni stradali e demolizioni affini. La Figura 10 mostra gli aggregati riciclati impiegati nella campagna sperimentale.

3.2. *Mix design e confezionamento dei provini*

Per ciascuna tipologia di legante, a base di calce (LIME) e a base di cemento (CEM), sono stati predisposti tre differenti mix design:

- CNTL: miscela di controllo, costituita solo dal premiscelato;
- F+H: miscela con l'aggiunta di fibre di canapa e canapulo;
- A+F+H: miscela contenente fibre di canapa, canapulo e aggregati riciclati.

Il quantitativo di canapa da inserire nelle miscele è stato determinato sulla base della precedente sperimentazione condotta sugli intonaci, dalla quale è emerso che complessivamente la percentuale che garantisce le migliori prestazioni è pari allo 0,50% in peso di premiscelato, equamente distribuita tra fibre (0,25%) e canapulo (0,25%). La composizione delle miscele e i relativi codici identificativi sono riportati in Tabella 2.

Tipo	ID	Fibre		Canapulo		Aggregati	
Calce	LIME_CNTL	-	-	-	-	-	-
	LIME_F+H	0,25%	62,5 g	0,25%	62,5 g	-	-
	LIME_A+F+H	0,25%	62,5 g	0,25%	62,5 g	25%	6250 g
Cemento	CEM_CNTL	-	-	-	-	-	-
	CEM_F+H	0,25%	62,5 g	0,25%	62,5 g	-	-
	CEM_A+F+H	0,25%	62,5 g	0,25%	62,5 g	25%	6250 g

Tabella 2. Mix design malte con canapa e aggregati riciclati riferiti a 25 kg di premiscelato.

Figura 11. Provini cubici 150 × 150 × 150 mm utilizzati per le prove di compressione sulle malte per massetti e blocchi.

Per ciascun mix design sono stati preparati tre provini cubici di dimensioni 150 × 150 × 150 mm per le prove di compressione, utilizzando stampi in polistirene. Dopo 24 ore, i campioni sono stati sformati e trasferiti in vasca di stagionatura, dove sono rimasti immersi in acqua per 28 giorni, momento in cui è stata eseguita la prova di resistenza a compressione.

La Figura 11 mostra i provini realizzati durante la campagna sperimentale.

3.3. *Variazione di peso*

L'inserimento di materiali leggeri, come la canapa e gli aggregati riciclati, nelle miscele di malta determina variazioni del peso proprio, che, seppur limitate, sono state osservate nelle malte investigate. Per quantificarle, i provini sono stati pesati al termine della stagionatura, prima dell'esecuzione delle prove meccaniche.

Nelle malte a base cemento, l'aggiunta di canapa comporta una riduzione del peso proprio di circa il 2,9% rispetto al mix di controllo. Quando, oltre alla canapa, vengono introdotti anche gli aggregati riciclati, parte della perdita viene compensata; tuttavia, il peso complessivo resta comunque leggermente inferiore, circa il 2% rispetto alla miscela di riferimento.

Un andamento simile, ma con effetti differenti, si osserva nelle malte a base calce. In questo caso, la riduzione è meno marcata nelle miscele contenenti la sola canapa (–3,4%), mentre risulta più evidente nei campioni con canapa e aggregati riciclati (–4,9% rispetto al controllo).

I valori medi, calcolati su tre provini per ciascuna miscela, sono riportati nell'istogramma di Figura 12.

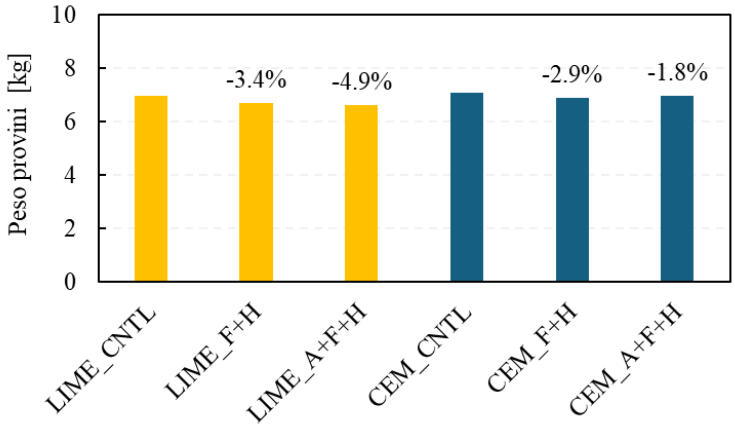


Figura 12. Malte per massetti/blocchi: variazioni di peso.

3.4. *Prove di rottura a compressione*

La valutazione delle prestazioni meccaniche delle malte è stata completata mediante la prova di resistenza a compressione eseguita sui provini cubici di dimensioni 150 × 150 × 150 mm. Dopo un periodo di stagionatura di 28 giorni in condizioni controllate, ciascun provino è stato posizionato nel macchinario di prova avente le stesse caratteristiche di quello impiegato per le prove

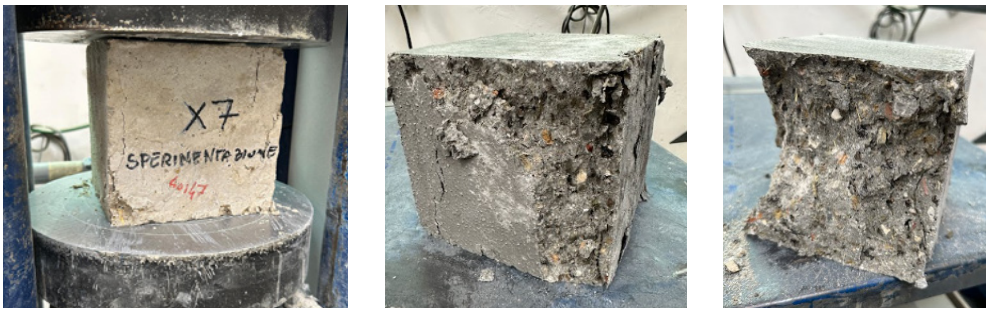


Figura 13. Malte per massetti/blocchi: provini al termine della prova di rottura a compressione.

sugli intonaci (Figura 13). Il carico è stato applicato lungo l'asse verticale in modo progressivo e continuo, fino al raggiungimento della rottura. Il valore massimo del carico registrato è stato quindi rapportato all'area della sezione sollecitata, ricavando la resistenza a compressione della malta. Per ogni mix design sono stati testati tre provini, in modo da garantire la ripetibilità dei risultati e calcolare un valore medio rappresentativo delle prestazioni di ciascuna miscela.

L'analisi dei dati ottenuti ha permesso di confrontare l'effetto delle diverse aggiunte rispetto ai mix di controllo, fornendo indicazioni utili sul comportamento meccanico dei materiali. I valori medi, calcolati sui tre provini per ciascun mix, sono riportati nell'istogramma di Figura 14.

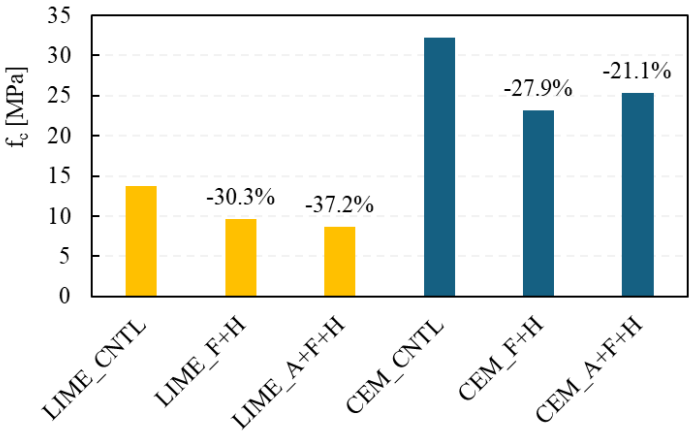


Figura 14. Malte per massetti/blocchi: resistenza a compressione.

Per le malte a base cementizia, i valori di resistenza a compressione hanno evidenziato una riduzione significativa con l'introduzione degli scarti di canapa. In particolare, la miscela F+H ha mostrato una diminuzione del 27,9% rispetto a quella di controllo. Quando alla canapa sono stati aggiunti anche gli aggregati riciclati (A+F+H), la perdita di resistenza si è rivelata più contenuta (–21,1% rispetto alla miscela di controllo). È interessante notare come tale miscela, nonostante la riduzione, abbia raggiunto una resistenza media superiore a 25 MPa, mantenendo quindi la classificazione in classe R3 secondo la EN 1504-3. Questi risultati suggeriscono che, se da un lato la canapa penalizza le prestazioni meccaniche della malta, dall'altro la presenza di aggregati riciclati contribuisce a compensare parzialmente tale effetto.

Per le malte a base calce, l'andamento risulta differente. Anche in questo caso, l'aggiunta di particelle di canapa comporta una riduzione della resistenza a compressione: la miscela F+H ha registrato un calo del 30,3% rispetto al controllo. Con l'inserimento combinato di canapa e aggregati riciclati (A+F+H), la resistenza è diminuita ulteriormente, risultando inferiore del 37% rispetto al mix di riferimento.

Nel complesso, questi risultati evidenziano la necessità di ulteriori approfondimenti sperimentali, poiché le prestazioni inferiori delle malte calce-canapa-aggregati potrebbero essere attribuite a una distribuzione non omogenea dei componenti all'interno della matrice.

4. *Conclusioni*

La ricerca ha evidenziato come il riuso degli scarti agricoli, in particolare della canapa, possa costituire una risorsa concreta per l'innovazione in edilizia, con benefici sia ambientali sia strutturali. I risultati ottenuti sulle malte e sugli intonaci rinforzati confermano che l'introduzione di fibre vegetali modifica in modo significativo le proprietà del materiale: incrementa la resistenza a flessione e la duttilità, ma comporta una riduzione della resistenza a compressione. Ciò evidenzia la necessità di bilanciare attentamente le percentuali di aggiunta, per valorizzare i benefici senza compromettere la sicurezza e le prestazioni complessive.

Le prove sperimentali hanno inoltre dimostrato che l'uso combinato di canapa e aggregati riciclati può attenuare parzialmente gli effetti negativi sulla resistenza, restituendo prestazioni più equilibrate. Questa sinergia integra due filiere di recupero – agricola ed edilizia – in un'ottica di economia circolare.

Dal punto di vista applicativo, le malte a base calce con canapa si distinguono per la compatibilità con il costruito storico e per l'impatto ambientale contenuto, rendendole particolarmente indicate per interventi di restauro e consolidamento. Le malte cementizie, pur mostrando un calo prestazionale con l'introduzione della canapa, mantengono valori di resistenza sufficienti a soddisfare le classi prestazionali normative, aprendo a possibili impieghi anche in nuove costruzioni.

In conclusione, il lavoro conferma la validità dell'approccio basato sul riuso di scarti agricoli e materiali riciclati come strada percorribile verso un'edilizia più sostenibile e resiliente. Allo stesso tempo, sottolinea la necessità di ulteriori ricerche per ottimizzare le percentuali di aggiunta, migliorare l'omogeneità delle miscele e sviluppare trattamenti specifici delle fibre, così da rafforzare l'interfaccia con la matrice e aumentarne la durabilità. L'esperienza condotta rappresenta dunque un contributo significativo per una progettazione edilizia capace di coniugare sicurezza, innovazione e rispetto per l'ambiente.

5. *Ringraziamenti*

Gli Autori desiderano esprimere la loro gratitudine all'Unione Europea – Next Generation EU per il finanziamento ricevuto nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Missione 4 – Componente 2, Investimento 1.1, Bando PRIN 2022 PNR (D.D. 1409 del 14/09/2022), progetto *RE.SI.LI.ENT – Riutilizzo degli scarti per edifici in muratura antisismica con comportamento energeticamente efficiente* (CUP E53D23017560001).

6. *Bibliografia*

[1] H. Kumbasaroglu e A. Kumbasaroglu, «Applicability of Agro-Waste Materials in Structural Systems for Building Construction: A Scoping Review,» *Applied Sciences*, 15(1), 71, 2025.

[2] C. Maraveas, «Production of Sustainable Construction Materials Using Agro-Wastes,» *Materials*, 13(2), 262, 2020.

[3] L. E. A. Chen, «Conversion of waste into sustainable construction materials: A review of recent developments and prospects,» Materials Today Sustainability, 27, 100930, 2024.

[4] F. Kesikidou e M. Stefanidou, «Natural fiber-reinforced mortars,» *Journal of Building Engineering*, 25, 100786, 2019.

[5] B. Comak, A. Bideci e B.O.S., «Effects of hemp fibers on characteristics of cement based mortar,» *Construction and Building Materials*, 169, 794-799, 2018.

[6] T. Sen e H. Reddy, «Application of Sisal, Bamboo, Coir and Jute Natural Composites in Structural Upgradation,",» *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 11, 3, 2011.
[7] Z. Li, X. Wang e L. Wang, «Properties of hemp fibre reinforced concrete composites,» *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(3), 497-505, 2006.
[8] B. Prasad e M. Sain, «Mechanical properties of thermally treated hemp fibers inert atmosphere for potential composite reinforcement,» *Mater. Res. Innov.*, 7, 231-238, 2016.
[9] M. Fan, «Characterization and performance of elementary hemp fibres: Factors influencing tensile strength,» *BioResources*, 5, 2307-2322, 2010.

2
Materiali *low carbon* per il retrofit dell'involucro nella transizione energetica dell'edilizia residenziale

P. Altamura, S. Baiani, M. Bellomo, V. D'Ambrosio, G. Rossini, E. Tersigni

Introduzione

L'edilizia residenziale del secondo dopoguerra risponde a una ingente domanda di alloggi per ridare la casa a chi l'aveva perduta nel conflitto e per accogliere i corposi flussi migratori che da sud si muovevano verso il "triangolo industriale" (Genova, Torino e Milano), luogo attrattore per tutti coloro che desideravano rinascere dalle macerie materiali e immateriali. Tale edilizia è l'esito di sperimentazioni innovative rispetto alla tradizione costruttiva preindustriale, di risultati tecnici raggiunti con il calcestruzzo armato, della presenza di vari materiali nel sistema struttura-involucro, nonché dell'apporto dell'impiantistica sempre più articolata e complessa. Oggi questo patrimonio giunge a noi, in molti casi, con evidenti fenomeni di degrado, di obsolescenza e di naturale invecchiamento, ma soprattutto incapace di soddisfare i dettati normativi, sempre più stringenti, in materia di prestazioni energetiche. È quindi necessario individuare strategie e pratiche attuative per transitare il costruito esistente nel futuro di neutralità carbonica, previsto e programmato dall'Unione Europea entro il 2050. L'approccio alla base delle strategie e delle pratiche è opportuno che abbia l'obiettivo di ridurre l'uso di energia ottenuta da fonte non rinnovabile, di utilizzare le risorse locali, i materiali a basso impatto ambientale, riciclati e riciclabili, e di prediligere, laddove possibile, il ricorso a sistemi solari passivi. Tecnologie leggere, sistemi a secco, realizzazione di sistemi buffer sono da preferire sia in casi di interventi di riqualificazione sia in casi di costruzioni ex-novo. Conciliare interventi in grado di garantire condizioni di abitabilità sicure e salubri con la salvaguardia del pianeta deve poter significare assicurare, da un lato, un incremento di qualità di vita, dall'altro, l'adattabilità degli edifici alle nuove condizioni climatiche, nonché l'adesione al dibattito della cultura architettonica contemporanea che è, inevitabilmente, una cultura progettuale immersa nella questione ambientale.

Progressive upgrade del patrimonio residenziale nazionale: un modello per il supporto alle decisioni negli interventi di retrofit edilizio

Il Piano Nazionale di Ristrutturazione degli Edifici entro il 2026 definirà strategie, strumenti e risorse che saranno mobilitate per perseguire gli obiettivi fissati dalla direttiva "Case Green"[1] per decarbonizzare il patrimonio edilizio entro il 2050. Per gli edifici residenziali, viene definita una traiettoria nazionale per la progressiva ristrutturazione del parco edilizio, espressa in termini di diminuzione del consumo medio di energia primaria in kWh/m^2 anno nel periodo compreso tra il 2020 e il 2050 e individua il numero di edifici da ristrutturare annualmente. In Italia, secondo i dati della STREPIN[2], vi sono circa 12 milioni di edifici residenziali e oltre il 60% di tale parco edilizio ha più di 45 anni, ovvero è precedente alla prima legge sul risparmio energetico[3]. Sulla base degli APE emessi dalla fine del 2015 alla fine del 2022 [1], gli immobili residenziali censiti si distribuiscono in ordine crescente al peggioramento della classe energetica e circa il 55% ricade nelle classi energetiche meno efficienti (F e G).

Per perseguire gli obiettivi di neutralità climatica e rispettare la direttiva "Case Green", sarà prioritario intervenire riqualificando il 15% degli immobili in classe F e G entro il 2030 e il 26% entro il 2033. Tale quadro rende necessaria la definizione di scenari di progressive upgrade ovvero di interventi incrementali nel tempo finalizzati a raggiungere gli obiettivi individuati dalla direttiva per il patrimonio residenziale, capaci di individuare gli interventi maggiormente efficaci rispetto ai contesti climatici e le specifiche caratteristiche del patrimonio nazionale.

Nell'ambito della ricerca FASTECH[4] è stato elaborato il modello HOUSE_UP – *HOUsing retrofit model for progreSsivE UPgrade*, uno strumento di supporto per la selezione di alternative di intervento per la transizione energetica degli edifici residenziali esistenti. A partire da una tassonomia delle tipologie edilizie prevalenti in ambito nazionale, delle caratteristiche costruttive di ogni tipo edilizio rispetto a epoca costruttiva e contesto climatico di

[1] Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 aprile 2024, sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD – Energy Performance of Building Directive).

[2] Ministero della Transizione Ecologica, STREPIN 2021, elaborazioni Cresme ed ENEA su dati 2018.

[3] Legge 30 marzo 1976, n. 373, Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.

[4] Progetto di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale PRIN 2022 "FASTECH – a model for rapid technological building retroFit to cut energy demAnd and GHG emiSsions of housing Toward rEnewable energy self-Consumption and tHe smart energy communities", PI nazionale Prof. F. Tucci, sviluppato dalle UR "Sapienza" Università di Roma, UR "Università degli Studi di Napoli Federico II" e UR "Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli".

riferimento, il modello consente di valutare i benefici di interventi di retrofit edilizio in termini di fabbisogno energetico (kWh/m^2/annuo); emissione di CO_2 (kg/m^2/annuo); classe energetica[5].

La tassonomia si è concentrata su quattro tipi edilizi prevalenti, maggiormente diffusi e rilevabili nell'ambito residenziale nazionale: casa singola mono/bifamiliare, edificio in linea, edificio a blocco, edificio a torre. A questi tipi di edifici sono state associate delle specifiche caratteristiche costruttive relative all'involucro rispetto a due condizioni determinanti: contesto climatico di riferimento ed epoca costruttiva (ante 45 / 1945-1975 / 1976-1990 / post 1991), classificazione elaborata in base a diversi fattori, quali l'entrata in vigore di leggi in materia di efficienza energetica degli edifici nella legislazione nazionale italiana o i principali eventi storici verificatisi in Italia che hanno determinato cambiamenti nel mondo dell'edilizia. Rispetto a un set di categorie di interventi attivi (sostituzione impianti; inserimento di sistemi fotovoltaici) e passivi (isolamento a cappotto; sostituzione infissi; inserimento sistemi di schermatura; integrazione di un tetto verde estensivo) sono state valutate le potenziali ricadute in termini di riduzione dei fabbisogni e delle emissioni di CO_2 e di miglioramento della classe energetica.

Dalle simulazioni effettuate emerge come nella Macroregione climatica 2, caratterizzata dalla più alta densità di unità abitative, gli edifici realizzati nel periodo di riferimento 1946-1975 siano fra i più energivori (classe energetica F) e gli interventi di retrofit dell'involucro siano in grando di ridurre di circa il 55% il fabbisogno energetico, con un salto di oltre due classi energetiche. In particolare, fra gli interventi passivi previsti per l'involucro, l'isolamento a cappotto risulta essere il più efficace, riducendo il fabbisogno energetico di circa il 29%. Tuttavia, è solo con l'introduzione di impianti efficienti – come pompe di calore alimentate da impianti fotovoltaici – che si riesce a ridurre di circa il 95% il fabbisogno energetico e le emissioni di CO_2, raggiungendo anche la classe energetica A4.

Il modello sviluppato si basa su un database di simulazioni mirate alla valutazione del fabbisogno energetico operativo, solo parte del bilancio energeti-

[5] L'attività di classificazione e di simulazione riferita al patrimonio edilizio residenziale rientra nell'ambito degli esiti della ricerca FASTECH elaborati dall'UR dell'Università degli Studi di Napoli Federico II (Resp. Scientifico: M. Losasso; Resp. Scientifico dal 3.2024: V. D'Ambrosio; E. Attaianese, M. Bellomo, A. Botta, A. Claudi de St. Mihiel, E. Tersigni, M. F. Clemente, G. Stanco, Y. Di Dario, E. Maiella, F. Marandino, G. Esposito Mocerino, M. Perillo, S. Puzone, G. Santomartino, S. Verde) dal Gruppo di Ricerca composto da V. D'Ambrosio, M. Losasso ed E. Tersigni.

co globale di un edificio. Al fine di fornire un approccio olistico, è stata implementata una sezione relativa all'impronta di carbonio nel ciclo di vita (*whole life carbon*) dei materiali previsti negli interventi di retrofit, consentendo di valutare nel progressive upgrade del costruito anche le ricadute in termini di *embodied carbon* dei materiali utilizzati.

Approccio low tech/low carbon *per la transizione energetica dell'edilizia residenziale: il contributo dei materiali* bio-based

Nel contesto della ricerca FASTECH[6], coerentemente con il concetto di *Whole Life Carbon*, una delle strategie chiave individuate per interventi di *light retrofit* dell'involucro del patrimonio edilizio su descritto, consiste nel ricorso a soluzioni tecniche a basso impatto tecnologico, economico e ambientale basate su materiali *low carbon*, circolari e *bio-based* reperibili localmente, in grado di contribuire ad alleggerire l'impronta ecologica sia in termini di carbonio incorporato, sia in termini di carbonio operazionale. L'adozione di soluzioni materiche per l'*upgrade* prestazionale dell'involucro edilizio che includono materiali *bio-based* locali, preferibilmente ottenuti da scarti vegetali, in particolare per la coibentazione dell'involucro in sistemi a secco reversibili, permette di ridurre l'*embodied carbon* dei materiali di intervento, oltre che di stoccare il carbonio in ottica di *carbon sink* [2]. Si valorizza così l'opportunità di decarbonizzazione offerta soprattutto dai materiali biogenici a crescita rapida (quali paglia e canapa) nell'impiego come isolamento, grazie alla conducibilità termica generalmente bassa e potenziale disponibilità locale [3, 4, 5]. I materiali *bio-based* a rapida crescita rappresentano infatti una valida alternativa per l'isolamento termico, poiché il carbonio biogenico può essere immagazzinato nell'involucro per un periodo relativamente lungo, attribuendogli il ruolo di *carbon sponge* [6]. Al contempo, tramite l'efficientamento energetico dell'involucro, i materiali *bio-based* contribuiscono alla riduzione del carbonio operazionale, tagliando le emissioni dovute alla produzione di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento. Obiettivo dell'attività di ricerca qui riportata è quindi costruire un quadro di materiali *low carbon – bio-based*

[6] Questa parte del contributo, relativa allo studio su materiali *low carbon*, circolari e *bio-based* per il light retrofit dell'involucro, è un prodotto del lavoro condotto all'interno dell'UR della "Sapienza" Università di Roma (PI F. Tucci; Coordinatore Scientifico S. Baiani; P. Altamura, F. Amadei, V. Cecafosso, L. Montagner, K. Mitrik, M.M. Pani, G. Romano, G. Rossini) dal Gruppo di Ricerca composto da S. Baiani, P. Altamura e G. Rossini.

e da scarti – impiegabili per il retrofit dell'involucro di edifici residenziali, ed una matrice multi-criteriale di confronto per supportare la selezione in fase di progetto.

Metodologia

A partire dalla costruzione di un database di 70 materiali naturali (biogenici, *bio-based* e da scarti), sono stati selezionati i prodotti appropriati all'utilizzo come elementi tecnici stratificati per l'*upgrade* dell'involucro di edifici di housing. In particolare, sono stati selezionati materiali e componenti che potessero essere utilizzati nel retrofit in sistemi *low cost*, *low tech* e a basso impatto (pareti ventilate, cappotti esterni, *cladding*, etc.). I prodotti selezionati sono stati organizzati in macro-famiglie all'interno della classificazione per strati funzionali secondo la Norma UNI pertinente[7], in base alla funzione che assolvono e alla matrice materica che li caratterizza. In particolare, sono state selezionate le macro-famiglie di prodotti relativi allo "Strato di isolamento termico-acustico" e allo "Strato di protezione e rivestimento", interno ed esterno. Le macro-famiglie sono poi state dettagliate in famiglie di prodotti affini per tipologia e origine materica, confrontate poi secondo alcuni parametri: origine del materiale, modalità di posa in opera, livello di durabilità, livello di disassemblabilità e scenario a fine vita. Tali parametri, selezionati in base alla rilevanza che ricoprono negli studi presenti in letteratura relativamente a potenzialità e criticità dei materiali naturali, hanno la finalità di restituire un quadro critico di soluzioni tecniche coerente con i principi di regionalità e circolarità delle risorse materiche.

Successivamente, ai fini di un ulteriore approfondimento in relazione al potenziale di decarbonizzazione in ottica *Whole Life Carbon*, all'interno della categoria relativa allo "Strato di isolamento termico-acustico" è stata selezionata la macro-famiglia degli "Isolanti in fibre vegetali". Le famiglie di prodotti appartenenti a tale macrofamiglia sono state quindi suddivise in sottofamiglie definite in base a caratteristiche tecniche e composizione materica (es. pannelli flessibili, pannelli semirigidi, pannelli compositi, fibra sciolta, con composizione diversificata, ricavata dal confronto tra diversi prodotti presenti nel database) al fine di analizzarne e confrontarne gli aspetti relativi a biomassa

[7] Norma UNI 8290-1:1981 + A122:1983. Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.

(quota percentuale), densità e conducibilità termica. Inoltre, alle sottofamiglie sono stati attribuiti valori di impatto ambientale con riferimento al livello di *Embodied Carbon* (EC, in $kgCO_2eq/kg$) relativo alle fasi *cradle-to-gate* (dall'estrazione delle materie prime al trasporto, alla manifattura), che non considera la quota di carbonio assorbita dalla pianta durante la sua crescita (*carbon storage*). I dati sono stati estrapolati da database specifici[8] [7, 8], da studi di letteratura [9, 10] e da *Environmental Product Declarations* (EPD), oltre che da schede tecniche e report pubblicati da aziende produttrici. Tale confronto è stato operato non solo tra gli isolanti naturali, ma anche rispetto ai dati di impatto ambientale relativi a materiali isolanti convenzionali di estrazione e di sintesi.

Risultati e discussione

La ricerca restituisce un quadro di soluzioni materiche *low carbon* integrabili negli strati dell'involucro di edifici residenziali oggetto di *light retrofit*, analizzando le caratteristiche relative a potenzialità e criticità di ogni famiglia di prodotti. Nella selezione della tipologia di intervento di *low impact retrofit* è necessario tenere in considerazione diversi parametri relativi all'impatto ambientale della soluzione tecnologica in ottica *life cycle*; in questo senso, la matrice multi-criteriale per la scelta della tipologia di prodotto può divenire uno strumento di screening preliminare sulla base di alcuni criteri chiave nella scelta di componenti per il retrofit circolare in ottica di decarbonizzazione dell'intervento.

Il criterio relativo all'origine del materiale – Coltivato, Da scarto, Riciclato – fa riferimento ai processo di produzione della componente (in particolare del materiale che la costituisce principalmente) anche in relazione alla regionalità delle fonti di approvvigionamento; tale parametro, preso in considerazione in studi olistici finalizzati alla valutazione della circolarità di ristrutturazioni [11], è rilevante ai fini del calcolo dell'impronta di carbonio della componente e quindi ai fini della scelta della stessa ai fini dell'abbattimento degli impatti dell'intervento.

Il criterio di durabilità, analizzato secondo una scala qualitativa che va da Basso ad Alto, è da intendere come la capacità dei materiali da costruzione di

[8] Inventory of Carbon and Energy (ICE), database V4.1 del 2025.

non presentare un deterioramento tale da comportare la perdita della funzionalità per cui sono stati progettati e diviene rilevante soprattutto nella scelta dei materiali biogenici, in relazione ai quali costituisce uno tra i principali limiti alla diffusione nel settore [12].

Il criterio di disassemblabilità, analizzato secondo una scala qualitativa che va da Basso ad Alto, e quello della modalità di posa in opera – A secco o A umido – valutano invece la facilità del processo di reversibilità di un manufatto edilizio preservando la massima integrità degli elementi rimossi e assicurando il minimo danno a quelli mantenuti – con l'obiettivo non di smaltire bensì di reinserire gli elementi rimossi all'interno di cicli di riuso [12]. La posa in opera è quindi un momento cardine nel processo di assemblaggio della componente, influenzando l'eventuale decostruzione dell'edificio in relazione alla tipologia e all'accessibilità delle connessioni e all'indipendenza degli strati; per questi motivi, in parallelo alla progettazione per il disassemblaggio (DfD), rientra in diverse ricerche concentrate sullo sviluppo di indicatori di circolarità specifici per l'intervento sull'esistente [11].

Il criterio che valuta lo scenario a fine vita – Biodegradabile o Riciclabile – fa riferimento alle qualità di Rinnovamento e Compostabilità, criteri di progettazione per l'edilizia circolare[9] che declinano scenari preferibili rispetto agli energivori processi di riciclaggio in termini di impatto ambientale [13]. L'analisi degli scenari di fine vita per comprendere il rispetto dei principi di circolarità è particolarmente rilevante nel caso dei materiali bio-ibridi, dove la separazione dei diversi elementi organici e inorganici non sempre è una soluzione percorribile [14].

Dall'analisi della matrice emerge un panorama ricco e diversificato di famiglie di prodotti *bio-based* e circolari utilizzabili negli interventi di retrofit (Tabella 1). Questi presentano livelli variabili di durabilità, anche in relazione al posizionamento previsto esternamente o internamente all'involucro, la quale costituisce uno dei principali svantaggi dei materiali a base biologica [15]. Tuttavia, diversi trattamenti disponibili sul mercato possono garantire le proprietà e la funzionalità previste, prolungandone così la durata.

Alcuni sistemi compositi di rivestimento esterno sono realizzati in modo da incrementare la propria resistenza agli agenti atmosferici. Le piastrelle di rivestimento in materiale composito, come quelle in fibra di cellulosa da scar-

[9] Secondo lo studio "Le Bâti Bruxellois: Source de nouveaux Matériaux" (BBSM) portato avanti Vrije Universiteit Brussel (VUB), sono 16 le principali qualità di progettazione per l'edilizia circolare.

Componenti di involucro			Caratteristiche dei prodotti				
Strato funzionale	Macro-famiglie	Famiglie di prodotti	Origine del materiale	Modalità di posa in opera	Livello di durabilità	Livello di dis-assemblabilità	Scenario a fine vita
Strato di isolamento termico-acustico	Isolanti in fibre vegetali	Isolanti in canapa	Coltivato	A secco	Medio	Alto	Biodegradabile
		Isolanti in fibra di legno	Da scarto	A secco	Alto	Medio	Biodegradabile/ Riciclabile
		Isolanti in micelio	Riciclato	A secco	Alto	Alto	Biodegradabile/ Riciclabile
		Isolanti in paglia	Da scarto	A secco	Medio	Alto	Biodegradabile
		Isolanti in fibra d'erba	Da scarto	A secco	Medio	Medio	Riciclabile
		Isolanti in sughero	Da scarto/ Coltivato	A secco	Medio	Alto	Biodegradabile/ Riciclabile
		Inotanci isolanti	Da scarto	A umido	Alto	Basso	Biodegradabile
	Isolanti in fibra tessile	Isolanti in lana	Riciclato	A secco	Medio	Alto	Biodegradabile
		Isolanti in lino	Riciclato	A secco	Medio	Alto	Biodegradabile
		Isolanti in filati misti	Riciclato	A secco	Alto	Medio	Riciclabile
Strato di protezione e rivestimento interno	Biolaminati	Biolaminati da fibre vegetali	Da scarto	A secco/A umido	Alto	Medio	Biodegradabile
		Biolaminati da micelio	Da scarto	A secco/A umido	Alto	Medio	Biodegradabile/ Riciclabile
		Biolaminati da scarti minerali	Riciclato	A secco/A umido	Alto	Medio	Riciclabile
	Finiture superficiali	Intonaci naturali	Da scarto	A umido	Medio	Basso	Biodegradabile
		Rivestimenti naturali	Da scarto/ Coltivato	A secco/A umido	Medio	Medio	Biodegradabile
		Rivestimenti a base liquida	Da scarto/ Coltivato	A umido	Medio	Basso	Biodegradabile
	Pannelli in fibre vegetali	Pannelli in fibra di canapa	Coltivato	A secco	Medio	Alto	Biodegradabile
		Pannelli in fibre di legno	Da scarto	A secco	Alto	Alto	Riciclabile
		Pannelli in fondi di caffé	Da scarto	A secco	Medio	Alto	Biodegradabile
		Pannelli in sughero	Da scarto/ Coltivato	A secco	Medio	Alto	Biodegradabile
	Pannelli in fibra tessile	Pannelli in filati misti	Riciclato	A secco	Medio	Alto	Riciclabile
		Pannelli in lana	Riciclato	A secco	Medio	Alto	Riciclabile
Strato di protezione e rivestimento esterno	Pannelli compositi	Pannelli compositi con bioplastica	Da scarto/ Riciclato	A secco	Alto	Medio	Riciclabile
		Pannelli in fibra di cellulosa	Da scarto	A secco	Alto	Alto	Riciclabile
	Rivestimenti naturali	Rivestimenti a base minerale	Riciclato	A secco	Alto	Alto	Riciclabile
		Rivestimenti in legno di recupero	Da scarto	A secco	Alto	Alto	Riciclabile

Tabella 1. Quadro di sintesi dei componenti di involucro in materiali *bio-based*.
Elaborazione di G. Rossini, P. Altamura, S. Baiani

ti organici[10], possono resistere al fuoco, hanno proprietà meccaniche leggermente inferiori a quelle del vetro convenzionale e possono essere reinserite nel proprio ciclo produttivo a fine vita [16]; sperimentate in un progetto presentato al Solar Decathlon 2018[11], sono state scelte come rivestimento di una parete ventilata dove anche lo strato isolante interno è a base naturale in quanto costituito da materia vegetale grezza trattata in modo da renderla resistente all'umidità, alla pressione, ai parassiti e alla crescita di funghi e batteri [17], tentando quindi di risolvere una delle principali criticità dei materiali naturali, ovvero la bassa resistenza ai processi di degradazione biotica e abiotica [15].

La maggior parte delle famiglie di prodotti vede una modalità di posa in opera a secco, che favorisce la disassemblabilità delle parti e quindi è maggiormente coerente con i principi di circolarità dell'intervento rispetto a una posa in opera a umido; tuttavia, questa si rivela l'unica opzione in alcuni casi, come nelle famiglie degli intonaci naturali e nei rivestimenti naturali a base liquida – in questi casi la strada da preferire è quindi quella che garantisce una totale biodegradazione a fine vita dello strato di rivestimento, come nel caso dei prodotti di Ricehouse, azienda italiana che ha creato una filiera di valorizzazione dei sottoprodotti del riso per la produzione di prodotti naturali [18].

Gli isolanti naturali, tra i prodotti *bio-based* più consolidati nell'industria delle costruzioni e quindi tra i più analizzati negli studi presenti in letteratura, sono tra le soluzioni più efficaci per ridurre i consumi energetici operativi negli edifici e migliorarne il profilo ambientale; il loro aspetto maggiormente competitivo rispetto agli isolanti convenzionali deriva dalla loro maggiore percentuale di energia rinnovabile incorporata e dalle loro proprietà di assorbimento del carbonio [19]. Negli interventi sull'esistente, infatti, l'utilizzo di materiali convenzionali aumenta il rischio di determinare una situazione in cui le misure volte a mitigare il cambiamento climatico contribuiscono in realtà ad aggravarlo, attraverso un *burden shift* tra le fasi di produzione dei materiali e quella d'uso dell'edificio. Rispetto a una ristrutturazione energetica profonda con materiali tradizionali e alla sola sostituzione dell'impianto di riscaldamento, gli isolanti a base biologica a spessore elevato costituiscono la soluzione maggiormente a basso impatto e basso costo [9].

[10] Le piastrelle in materiale Nabasco 8010 sono composte da fibra di cellulosa da carta igienica, erba e canne, tessuti riciclati, scarti del trattamento dell'acqua potabile e bioresina. Si veda: https://www.npsp.nl/en/material/nabasco-8010.

[11] Il progetto LINQ per il concorso Solar Decathlon Middle East (SDME, 2018) è stato realizzato a Dubai dal team VIRTUe, composto da studenti della Eindhoven University of Technology (TUe).

Famiglie	Sottofamiglie	Composizione	Biomassa (%)	Densità (kg/m3)	Conducibilità termica (W/mK)	EC ($kgCo_2eq/kg$)
Isolanti in canapa	Pannelli a densità variabile in fibra di canapa e calce	- fibra di canapa - acqua - calce	90% ca	280-300	0,044-0,048	0,08
	Pannelli flessibili in canapa con fibre di rinforzo	- fibra di canapa, 85–90% - fibre di rinforzo in mais, 8–10% - soda (ritardante di fiamma), 2–5%	100%	40 ca	0,043	0,62
	Pannelli compositi in canapa e fibre di sintesi da riciclo	- fibre di canapa - fibre di juta da sacchi riciclati - fibre in PET riciclato	86% ca	39 – 45	0,043	0,55
Isolanti in fibra di legno	Pannelli rigidi in trucioli di legno e colla	- trucioli di legno, ca. 90% - acqua, ca. 5/9% - colla PMDI, ca. 3,5% - cera paraffinica, 0,5/3%	90%	250	0,048	0,72
	Pannelli semirigidi in fibra di legno e resina	- legno di abete rosso non trattato - resina PUR, 4,0 % - paraffina, 0,5 %	95,5%	120	0,038	0,46
	Pannelli compositi semirigidi in fibre di legno e fibre sintetiche	- fibre di legno - fibre di poliolefina - solfato di ammonio	90% ca	50	0,038	0,46
Isolanti in micelio	Pannelli rigidi in micelio e fibre organiche di scarto	- fibre di scarto organico (es. canapa) - micelio - additivi naturali	100%	128	0,030-0,060	0,37
Isolanti in paglia	Lolla di riso sciolta	- fibra vegetale essiccata e polverizzata di lolla di riso pura	100%	125	0,053	0,08
	Fibra sciolta	- fibra di paglia sciolta	100%	80-120	0,036 - 0,040	0,09
	Pannelli flessibili in paglia di riso	- fibre di paglia di riso, 92% - fibre termofusibili in poliestere, 8%	92%	50	0,045	0,19
	Blocchi precompressi in paglia di riso	- fibra vegetale di paglia di riso precompressa	99% ca	120	0,044	0,08
	Blocchi ad altà densità in lolla e canapulo	- lolla di riso, canapulo - legante idraulico naturale	90% ca	500	0,068	0,36
Isolanti in fibra di erba	Pannelli flessibili in scarti da sfalci e potature	- fibre di erba naturale, 72% - fibre di iuta, 20% - fibre leganti in poliestere, 8%	86%	35-45	0,041	0,62
Isolanti in sughero	Pannelli in sughero espanso	- sughero bruno sardo processato tramite tostatura	100%	105-125	0,036-0,040	0,72
	Granulati di sughero	- sughero biondo sardo	100%	-	0,037	0,82
	Pannelli in sughero agglomerato	- sughero biondo sardo - colla	99% ca	150-160	0,041	0,06
Intonaci isolanti	Termointonaco con sughero	- calce naturale - sughero (85% riciclato) - argilla - polveri diatomeiche	90% ca	360	0,045	0,80

Pannelli a densità variabile in fibra di canapa e calce — *Pannelli rigidi in trucioli di legno e colla* — *Pannelli rigidi in micelio e fibre organiche di scarto* — *Lolla di riso sciolta* — *Pannelli flessibili in scarti da sfalci e potature* — *Pannelli in sughero espanso* — *Termointonaco con sughero*

Tabella 2. Quadro di sintesi delle componenti relative agli isolanti in fibre vegetali.
Per EC: Embodied Carbon (cradle to gate). Elaborazione di G. Rossini, P. Altamura, S. Baiani

In particolare, l'analisi dei principali prodotti presenti sul mercato nazionale e internazionale relativamente agli isolanti in fibra vegetale, organizzati in sottofamiglie (Tabella 2), ha permesso di comprendere i reali benefici che questi possono portare nell'abbattimento degli impatti ambientali degli interventi di retrofit [9], raccogliendo e confrontando dati in termini di CO_2 incor-

porata e sequestrata per 17 materiali *bio-based* e 4 materiali tradizionali scelti per confronto tra quelli normati al punto 2.5.7 del DM 256 del 23/06/2022 relativo ai Criteri Ambientali Minimi per l'edilizia: poliuretano espanso rigido, polistirene espanso, lana di roccia, lana di vetro.

Le 17 sottofamiglie, afferenti a 7 famiglie, presentano differente composizione e matrice materica delle fibre che ne costituiscono la matrice, con relative quote percentuali di biomassa, sempre superiore all'80%; al variare della densità si registrano leggere variazioni nei valori di conducibilità termica, ma consistenti variazioni in termini di EC.

I 17 isolanti *bio-based* considerati hanno un range di conducibilità compreso tra 0,03 W/mK per il micelio e 0,068 W/mK per i blocchi ad alta densità in lolla di riso; i materiali di sintesi hanno valori di conducibilità compresi tra 0,02 W/mK (poliuretano espanso) e 0,045 W/mK (lana di roccia). Tra i materiali *bio-based*, dal punto di vista delle prestazioni isolanti, i pannelli in micelio mostrano la conducibilità più bassa (0,03 W/mK), seguiti dalle fibre sciolte di paglia, dal sughero granulare e dai pannelli semirigidi in fibra di legno, tutti con valori di conducibilità termica compresi tra 0,036-0,038 W/mK. Anche altri 9 isolanti *bio-based* – di fibra d'erba, canapa, sughero e paglia (non sciolti ma espansi e compressi) – risultano comunque competitivi con gli isolanti sintetici convenzionali, avendo conducibilità termica inferiore o uguale a 0,045 W/mK. I materiali considerati offrono quindi ottime prestazioni isolanti, mostrando nelle diverse sottofamiglie di prodotti una variabilità legata alla tecnologia di produzione, la quale influenza anche l'EC.

L'analisi dell'EC relativa alle fasi *cradle-to-gate* delle 17 sottofamiglie rivela differenze sostanziali tra materiali *bio-based* e convenzionali non rinnovabili. L'EC varia tra 0,06 $kgCO_2eq/kg$ dei pannelli in sughero agglomerato e il valore di 0,72 $kgCO_2eq/kg$ dei pannelli rigidi in fibra di legno, con livelli leggermente più elevati per il termointonaco con sughero. I materiali lignocellulosici di origine vegetale mostrano un EC molto contenuto, e dunque un ottimo profilo ambientale dal punto di vista della *climate mitigation*: il sughero (0,06-0,82 $kgCO_2eq/kg$), le fibre di legno (0,46-0,72 $kgCO_2eq/kg$) e la canapa (0,08-0,62 $kgCO_2eq/kg$) rappresentano le soluzioni a minor EC *cradle-to-gate*. I prodotti in paglia evidenziano un profilo ambientale molto variabile a seconda della tecnologia di produzione, con valori di EC da 0,08 a 0,36 $kgCO_2eq/kg$, associati a conducibilità discrete (0,036-0,068 W/mK).

Il confronto dell'EC con i materiali convenzionali non rinnovabili è particolarmente significativo: i prodotti a base di lana minerale (lana di roccia, 1,25 $kgCO_2eq/kg$; lana di vetro, 1,53 $kgCO_2eq/kg$) presentano valori di EC

da 20 a 25 volte superiori rispetto ai materiali *bio-based* a minor carbonio incorporato. Ancora più critico è il caso dei polimeri espansi di origine fossile: il polistirene espanso (3,69 $kgCO_2eq/kg$) e il poliuretano espanso rigido (4,53 $kgCO_2eq/kg$) hanno valori di EC 60 volte superiori rispetto al sughero a più bassa EC, e da 6 a 12 volte superiori rispetto ai materiali lignocellulosici. Particolarmente interessante è il micelio (0,03 W/mK; 0,37 $kgCO_2eq/kg$), che combina prestazioni isolanti competitive con un impatto ambientale minimo, con l'EC dei poliuretani espansi pari a circa 12 volte quella del micelio. Gli isolanti in fibra di legno (pannelli semirigidi e rigidi) presentano un eccellente equilibrio tra prestazioni termiche (0,038-0,048 W/mK) e bassa EC (0,46-0,72 $kgCO_2eq/kg$), configurandosi come una delle soluzioni più promettenti.

I dati evidenziano chiaramente il vantaggio ambientale dei materiali *bio-based* di origine vegetale rispetto agli isolanti convenzionali non rinnovabili. Materiali a base di sughero, fibra di legno, canapa e paglia combinano prestazioni tecniche competitive (conducibilità termica comparabile o superiore) con un EC drasticamente inferiore, confermando i vantaggi significativi per la riduzione della EC dell'involucro, seppure vadano considerati i già citati limiti riguardo alla durabilità, alla resistenza al fuoco e all'acqua, all'attacco di parassiti e alla disponibilità delle risorse [20].

Nella scelta di tali materiali, infine, un altro punto di forza da considerare è la quota di *carbon storage* delle diverse specie in fase di crescita: nel processo di sequestro di gas climalteranti, la velocità di accrescimento della specie vegetale influenza la capacità di sottrazione della CO_2. In alcuni casi, da questo punto di vista, la produzione di isolanti da materia vergine risulta più conveniente rispetto all'utilizzo di fibre di recupero: gli isolanti in fibra di legno da scarto, per esempio, seppur maggiormente coerenti con i principi di circolarità delle risorse materiche, hanno un livello di CO_2 sequestrata minore (-0,86 kg CO2eq/Kg di EC incluso *carbon storage*) rispetto a isolanti in fibra di erba (-5,01), ma anche di canapa e lolla di riso ad esempio, a causa dei tempi necessari per la crescita arborea e la successiva raccolta di materiale rispetto alle colture a rapido accrescimento.

Conclusioni

L'intervento sull'esistente, realizzato dagli Anni Quaranta ai Novanta del '900, richiede un approccio leggero, adattivo e compatibile, caratterizzato dall'adozione di tecnologie a basso impatto – ambientale, economico e sociale

nell'intero ciclo di vita – che garantiscano un uso limitato dell'energia da fonti non rinnovabili, ridotta complessità nella fase d'uso e costi minimi o nulli di manutenzione e gestione.

La scelta orientata prevalentemente all'adozione di sistemi passivi nell'intervento progressivo di retrofit delle architetture residenziali del secondo dopoguerra, ha mostrato nel sistema stratificato dell'involucro (in riferimento alla componente di isolamento termo-acustica e di rivestimento interna-esterna) un elevato miglioramento prestazionale, che contribuisce, in modo significativo, alla riduzione della richiesta energetica. Nella valutazione, inoltre, degli scenari materici potenziali, la prevalenza di materiali *bio-based* a rapida crescita, reperibili regionalmente, ottenuti anche da scarti vegetali o da riciclo, garantisce un equilibrato valore dell'impronta ecologica in termini di carbonio incorporato e operazionale.

La scelta di operare, inoltre, con componenti differenziate per comportamento termico-acustico e tipologia (dalla fibra sciolta ai pannelli omomaterici o compositi) poste in opera a secco, eleva le potenzialità di durabilità dell'involucro (per la sostituibilità selettiva degli strati) e le opzioni di riuso nello scenario di fine vita, attraverso sistemi facilmente disassemblabili o la biodegradazione del sistema tecnico.

Il quadro di soluzioni a matrice naturale, coerente con i principi di regionalità e circolarità delle risorse materiche, evidenzia una coerenza in tutte le fasi di vita del prodotto (dalla produzione al fine vita), mostrando una elevata capacità di ridurre i consumi energetici operativi, coerenti con gli obiettivi normativi, migliorando il profilo ambientale dei sistemi tecnici adottati e dell'involucro architettonico (elevata percentuale di energia rinnovabile incorporata, capacità di stoccaggio del carbonio, costi ridotti anche con spessori elevati), anche nel confronto con i criteri ambientali minimi di materiali isolanti, a matrice non rinnovabile, comunemente adottati (lane minerali, polimeri).

Bibliografia

[1] Caffari, F., Calabrese, N., Murano, G., Signoretti, P. (2024). *La consistenza del parco immobiliare nazionale*. ENEA.

[2] Pittau, F., Lumia, G., Heeren, N., Iannaccone, G., Habert, G., (2019). Retrofit as a carbon sink: The carbon storage potentials of the EU housing stock, *Journal of Cleaner Production,* Volume 214, 365-376, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.304.

[3] Garas, G, Allam, M., & Dessuky, R. E. (2009). Straw bale construction as an economic environmental building alternative—a case study. *Journal of Engineering and Applied*

Sciences, 4(9), 54–59, https://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2009/jeas_1109_265.pdf.

[4] Göswein, V., Arehart, J., Phan-huy, C., Pomponi, F. and Habert, G. (2022). Barriers and opportunities of fast-growing biobased material use in buildings, *Buildings and Cities*, 3(1), pp. 745–755. Available at: https://doi.org/10.5334/bc.254.

[5] Tucci, F., Baiani, S., Altamura, P., Tulelli, V., Rossini, G. (2025). Low carbon bio-based building materials from organic waste: a closed-loop production model within circular neighbourhoods, in Sayigh, A., Trombadore, A., Calcagno, G. (a cura di) *Getting to Zero – Beyond Energy Transition Towards Carbon-Neutral Mediterranean Cities. Innovative Renewable Energy*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82323-7_73.

[6] Carcassi, O.B., De Angelis, E., Iannaccone, G., Malighetti, L.E., Masera, G., Pittau, F. (2020). Bio-Based Materials for the Italian Construction Industry: Buildings as Carbon Sponges. In: Della Torre, S., Cattaneo, S., Lenzi, C., Zanelli, A. (a cura di) Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective. Research for Development. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33256-3_23.

[7] Hammond, G., Craig, J., Lowrie, F., Tse, P. (2011). Embodied Carbon: the Inventory of Carbon and Energy (ICE), A BSRIA Guide. University of Bath, iCAT & Building Services Research & Information Association. Available at: http://www.emccement.com/pdf/Full-BSRIA-ICE-guide.pdf.

[8] Circular Ecology (2025). Embodied Carbon. The ICE Database v4.1, https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html.

[9] Galimshina, A., Moustapha, M., Hollberg, A., Padey, P., Lasvaux, S., Sudret, B., Habert, G. (2022). Bio-based materials as a robust solution for building renovation: A case study, *Applied Energy*, Volume 316, ISSN 0306-2619, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119102.

[10] Volk, R., Schröter, M., Saeidi, N., Steffl, S., Javadian, A. Hebel, D. E., Schultmann, F. (2024), Life cycle assessment of mycelium-based composite materials, Resources, Conservation and Recycling, Volume 205, 107579, https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107579.

[11] Seddiki, M., Bennadji, A. (2025). A Life Cycle Carbon Assessment and Multi-Criteria Decision-Making Framework for Building Renovation Within the Circular Economy Context: A Case Study. *Buildings*, 15, 1894. https://doi.org/10.3390/buildings15111894.

[12] Antonini, E., Boeri, A., Lauria, M., Giglio, F. (2020). Reversibility and Durability as Potential Indicators for Circular Building Technologies. *Sustainability*, *12*(18), 7659. https://doi.org/10.3390/su12187659.

[13] Cambier, C., Elsen, S., Galle, W., Lanckriet, W., Poppe, J., Tavernier, I., Vandervaeren, C. (2019). Building a Circular Economy; Vrije Universiteit Brussel VUB Architectural Engineering: Brussel, Belgium.

[14] Rossini, G., Altamura, P., Baiani, S. (2025). Towards the definition of Circular Bio-hybrid Building Materials. An experimental glossary linking research and design, in Etyemez Çiplak, L., Özkan Öztürk, H. Nur, Yeşilbağ, D., Tünger, Ç (a cura di), *Beyond All Limits Conference 2025. Proceedings Book of Papers*, Çankaya University Press, Ankara, pp. 86-100.

[15] Sandak, A., Sandak, J., Brzezicki, M., Kutnar, A. (2019). Bio-based Building Skin. Springer Nature, Singapore.

[16] Böttger, W., van Olphen, W., Sluis, J., & Lepelaar, M. (2019). Development of interactive

facade elements on base of waste materials of water companies. *Academic Journal of Civil Engineering*, *37*(2), 672-677. https://doi.org/10.26168/icbbm2019.97.

[17] Pujadas-Gispert, E., Alsailani, M., Van Dijk, K.C.A., Rozema, A.D.K., Ten Hoope, J.P., Korevaar, C.C., Moonen, S.P.G. (2020). Design, construction, and thermal performance evaluation of an innovative bio-based ventilated façade, *Frontiers of Architectural Research*, Volume 9, Issue 3, 681-696, ISSN 2095-2635, https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.02.003.

[18] Ghisellini, P., Quinto, I., Passaro, R., Ulgiati, S. (2024). Bio-based products for a more sustainable construction sector. Technical, environmental and social performances and impacts, *Procedia Structural Integrity*, Volume 64, 1689-1695, ISSN 2452-3216, https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.09.174.

[19] Grazieschi, G., Asdrubali, F., Thomas, G. (2021). Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review, *Cleaner Environmental Systems*, Volume 2, ISSN 2666-7894, https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100032.

[20] Thiebat, F., & Morselli, F. (2025). Biogenic materials for the decarbonisation of the built environment. *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, (29), 108–117. https://doi.org/10.36253/techne-16598.

3
Un approccio olistico nelle strategie di retrofitting energetico per la regione Campania

L. Buoninconti

L'Italia registra un consumo energetico annuo stimato in circa 145 milioni di tonnellate di petrolio equivalente [1], delle quali ben l'83,5% proviene da fonti o produzioni situate all'estero [2]. Nell'economia globale e capitalista che si è affermata come modello dominante di sviluppo, l'elevata specializzazione dei processi produttivi porta ogni Paese a importare da altri i beni che non è in grado di generare autonomamente, in un contesto di forte interconnessione. La dipendenza energetica, tuttavia, riveste un ruolo particolarmente cruciale nelle strategie di sviluppo, perché espone l'intera produttività nazionale a fluttuazioni che possono scaturire in modo determinante da fattori esogeni e, in qualche misura, incontrollabili: per tale motivo la politica energetica perseguita negli ultimi decenni, attraverso l'emanazione di leggi *ad hoc*, è stata orientata verso una riduzione fabbisogno, perseguibile attraverso due principali obiettivi:

- cercare e utilizzare fonti alternative e rinnovabili, che possano affiancare e – si spera – un giorno sostituire quelle attuali, derivanti dal nucleare e dai combustibili fossili[1];
- migliorare l'efficienza delle apparecchiature e dei sistemi che utilizzano l'energia per il loro funzionamento, riducendo i consumi[2].

[1] Tra queste si annoverano:
- La L.10/1991 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili";
- Il D.Lgs. 28/2011 "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE. (11G0067)";
- Il D.Lgs. 199/2021 "Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili".

[2] Tra le principali norme, si richiamano:
- La L.373/1976 "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici";
- Il DPR 412/1993 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia";

In particolar modo, si assiste ad una costante ricerca per intervenire sul patrimonio edilizio esistente allo scopo di migliorarne le caratteristiche termiche, riconoscendo implicitamente in esso – e nella sua obsolescenza – una delle principali cause di spreco.

Le motivazioni possono probabilmente essere ricondotte ad alcune considerazioni oggettive, quali: i) su una quantità di circa 14,5 milioni di costruzioni presenti in Italia, ben 12,2 milioni hanno una destinazione d'uso residenziale, con un'incidenza pari a circa l'84% del totale [3]; ii) il numero di unità abitative è approssimativamente di 35,3 milioni, di cui 25,7 milioni stabilmente occupate da residenti [4] e quindi permanentemente utilizzate; iii) solo una minima parte di esse (circa l'11,4%) è stata costruita in tempi recentissimi (dal 2001 in poi), secondo criteri di efficienza energetica e rispettando i limiti di trasmittanza fissati dalla legge[3][5][5], ed una frazione ancora più ridotta (circa il 9,5%) appartiene all'edilizia storica (antecedente al 1910), i cui sistemi costruttivi prevedevano l'impiego di elementi con notevole massa e, conseguentemente, con alti valori di resistenza e di capacità termica [7].

Ne consegue che più della metà delle unità abitative (il 56,3%) è stata costruita nel ventennio del *boom edilizio*, dal 1961 al 1980 [4], con caratteristiche tecniche – ed in special modo termiche – di dubbia efficacia [7]: tale osservazione fornisce una plausibile argomentazione tecnica all'ipotesi secondo la quale il consumo energetico destinato al riscaldamento delle residenze, stimabile con una certa approssimazione a circa 20 tonnellate di petrolio equiva-

– Il D.Lgs. 192/2005 "Attuazione della direttiva (UE) 2018/844, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, della direttiva 2010/31/UE, sulla prestazione energetica nell'edilizia, e della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia" ed il successivo DLgs 311/2006;
– Il D.Lgs. 115/2008 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE su efficienza degli usi finali dell'energia e servizi energetici";
– La L.90/2013 "Misure urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE (EPBD) e disposizioni fiscali: aggiornamenti a certificazione energetica, agevolazioni fiscali per riqualificazione energetica";
– Il D.Lgs. 102/2014 "Attuazione della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica (EED): diagnosi energetiche obbligatorie per grandi imprese, sistemi di incentivazione, fondo nazionale per l'efficienza, misure per il settore industria e servizi";
– I Decreti emanati nel biennio 2014-2015 (come ad es. il DM 26/06/2009 e il DM 26/06/2015) che definiscono metodi di calcolo, requisiti minimi per prestazioni energetiche, modalità applicative dell'APE;
– Il D.Lgs. 48/2020 "Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica".

[3] In particolare, si fa riferimento alla Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo sul rendimento energetico nell'edilizia [5], e sul successivo D.Lgs. 192/2005 (vedi nota 2).

lente (13,8% del fabbisogno annuo nazionale)[4], possa e debba essere diminuito attraverso interventi di *retrofitting*[5].

Oltre al solo consumo, un'altra importante motivazione risiede nella possibile riduzione dell'emissione di anidride carbonica come prodotto di scarto della combustione, che rappresenta la modalità più diffusa in Italia sia per il riscaldare gli ambienti che per ottenere acqua calda sanitaria. Un calcolo basato sull'estrapolazione dei dati disponibili porta ad una stima per difetto di almeno 45 milioni di tonnellate di CO_2 liberate ogni anno[6], pari al 14% delle emissioni totali [14].

All'interno di questo *frame* interpretativo devono iscriversi gli incentivi che il Governo italiano, dal 2007 ad oggi [15], ha messo in campo per promuovere gli interventi di efficientamento energetico delle abitazioni (i cosiddetti *Ecobonus*) attraverso un sistema che ha previsto un *credito d'imposta*[7] che, con aliquote variabili, ha previsto tempi di restituzione di tre, cinque e dieci anni. In particolare, rilevante sia dal punto di vista cronologico che per l'elevata percentuale coperta, il cosiddetto *Superbonus* ha effettivamente prodotto nel quinquennio 2020-2024 un incremento delle ristrutturazioni, ed in special modo nel 2021 con più di un milione di interventi [16], ma anche se questo *trend* si mantenesse costante nel lungo periodo si assisterebbe ad interventi di retrofitting che coinvolgerebbero ogni anno meno del 3% del patrimonio residenziale esistente. Tale scenario sarebbe comunque estremamente ottimista, visto che l'andamento mostra una progressiva riduzione già negli anni immediatamente successivi[8] e le previsioni per i prossimi non fanno sperare in un repentino incremento. Le motivazioni alla base di questo costante decremento possono essere numerose, ma tra le differenti ipotesi certamente ha un ruolo l'aspetto economico alla base degli incentivi; in particolare l'effetto *volano*

[4] Il valore è stato ottenuto per estrapolazione nel seguente modo: il consumo di energia annuo in Italia nel 2023 effettivamente utilizzato dall'utenza finale è stato pari a 118,7 Mtoe [11], dei quali il 27% destinato alle residenze (abitazioni e terziario *leggero*) [12]; secondo una stima databile al precedente anno, di questo quantitativo il 65% circa è impiegato nel riscaldamento [13].

[5] Per una definizione, *cfr.* voce *retrofitting* del Vocabolario online Treccani, disponibile all'indirizzo https://www.treccani.it/vocabolario/retrofitting/

[6] Valutando che la percentuale delle unità abitative che utilizza caldaie a metano è circa il 60% [8][9], e che per questo tipo di impianto il consumo si attesta intorno a 1200 m^3/anno [10] con una produzione di CO_2 di 2,4 tonnellate annue, solo per tali abitazioni (circa 18 milioni) la quantità di anidride carbonica liberata sarebbe di 43,2 milioni di tonnellate.

[7] Per un approfondimento, *cfr.* Denora, B. (2019). "Credito d'Imposta" in *Enciclopedia di Diritto Online Treccani*, disponibile all'indirizzo https://www.treccani.it/enciclopedia/credito-d-imposta_(Diritto-on-line)/

[8] Nel 2022 le unità immobiliari che hanno richiesto accesso alle agevolazioni sono state poco più di 940.000 [17], ridotte a 584500 nel 2004 [18].

scaturito dalla possibilità pratica di coprire l'intero importo della ristrutturazione, calibrandola in modo da raggiungere il massimo importo coperto dalle agevolazioni (fino al 110%) e cedendo poi il credito maturato ad un soggetto terzo disposto ad acquistarlo, monetizzandolo all'istante.

Purtroppo questo meccanismo, oggi non più praticabile sia per la riduzione della percentuale (ridotta al 50% dei lavori) che per la sempre più complessa procedura per la cessione del credito, più che ingenerare un ciclo virtuoso ne ha creato uno vizioso per il quale il principale, se non l'unico obiettivo, è stato quello di riuscire ad accedere a questa sorta di *stanziamento statale indiretto*, riducendo l'intero processo alla sola operazione finanziaria, snaturandolo dalle motivazioni tecniche che avrebbero dovuto animarlo.

In special modo, si è assistito all'uso indiscriminato delle soluzioni costruttive atte soltanto a soddisfare quegli interventi considerati *trainanti*, cioè necessari a giustificare la richiesta di accesso al Superbonus, e che consistono in:

- incremento della coibentazione delle chiusure opache (pareti esterne, coperture) allo scopo di rispettare i limiti di trasmittanza richiesti dalla legge[9];
- sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale con sistemi ammessi[10];
- migliorare l'unità immobiliare almeno di due classi energetiche rispetto allo stato di fatto.

Vista l'oggettiva difficoltà di sostituire i vecchi impianti con i nuovi, l'intervento trainante più spesso impiegato è stato il primo riguardante la coibentazione delle facciate e delle coperture. L'intervento sulle centrali termiche è infatti molto complesso, e richiede interventi massicci per l'adeguamento alle prescrizioni di sicurezza; anche lavorare sulle linee di distribuzione, per coibentarle adeguatamente, è tutt'altro che semplice perché le tubazioni o sono interrate o sono interne alle pareti degli edifici.

Tra le possibili opzioni, quella probabilmente più spesso perseguita è stata la realizzazione delle *facciate a cappotto*[11], che indubbiamente ha avuto i pregi di:

- ridurre considerevolmente la trasmittanza termica delle pareti, avendo ricadute sia sui consumi che sul comfort interno eliminando gli effetti di parete fredda e di condensa, principali cause delle muffe;

[9] *Cfr.* All.E Tab.1 del DM 6 agosto 2020 "Requisiti tecnici per l'accesso alle detrazioni fiscali per la riqualificazione energetica degli edifici – cd. Ecobonus". Disponibile all'indirizzo https://www.efficienzaenergetica.enea.it/media/attachments/2020/10/13/30-decreto_efficienza_energetica_2020_gu.pdf

[10] *Ivi*, All. A.

[11] Non esiste una stima certa del numero di interventi realizzati utilizzando facciate a cappotto, ma estrapolando i dati di spesa disponibili forniti da ENEA [17], si ottiene una cifra pari a circa 250.000 interventi di questo tipo.

- attenuare il fenomeno dei ponti termici che, in assenza di aggetti, possono essere coperti dalla struttura di rivestimento;
- aumentare il valore degli immobili in quanto ad una classe energetica migliore corrisponde quasi sempre un prezzo di mercato più elevato (almeno nelle città di medie e piccole dimensioni).

Oltre agli aspetti positivi, però, occorre tener presente anche quelli negativi, derivati da tre principali fattori: l'esecuzione dell'opera, la scelta dei materiali coibenti e l'aspetto finale.

Per quanto attiene al primo, è pacifico che qualunque opera può essere mal realizzata, per cui tale problema non può ascriversi alla soluzione tecnica "cappotto termico"; è però vero che, in presenza di condizioni meteorologiche avverse sempre più frequenti, il distacco di parti[12] se non dell'intero rivestimento[13], comporta un alto fattore di rischio per l'incolumità delle persone in strada.

Per quanto concerne i *materiali*, quelli più diffusi sono i polistireni espansi (EPS), che coprono circa il 70% della produzione europea per il settore [19]; quelli estrusi (XPS) e le schiume poliuretaniche (PUR) sono anch'essi indicati frequentemente come soluzioni alternative nelle guide tecniche di settore [20]. Tali sostanze hanno alcune caratteristiche termiche che possono essere giudicate ottime per la coibentazione, in special modo per quanto attiene alla *conducibilità termica*, che si attesta da un minimo di 0,022 W/mK ad un massimo di 0,040 W/mK, per una media aritmetica pari a 0,031 W/mK. Diversa è la situazione quando invece si osservano i valori relativi al *calore specifico*, che si attesta intorno ai 1415 J/Kg K: un valore così basso può causare temperature estive interne più alte, perché i pannelli prodotti con tali materiali sintetici si riscaldano velocemente, ed altrettanto velocemente rilasciano il calore verso l'interno della costruzione, senza contribuire ad incrementare il valore di *sfasamento termico*, cioè il tempo che impiega l'*onda termica* (la fluttuazione di temperatura esterna nell'arco della giornata) ad attraversare i diversi strati della parete. Ben peggiori sono i dati relativi alla resistenza al vapore, dove si osserva un *range* che va da 10 a 200, per una media di μ pari a 105: la permeabilità delle chiusure è una caratteristica di grande importanza per quei climi umidi che si osservano soprattutto sulle coste, dove occorre smaltire vapore acqueo verso l'esterno,

[12] *Cfr.* https://corrieredelveneto.corriere.it/notizie/padova/cronaca/23_luglio_28/veneto-l-ultima-grana-del-superbonus-maltempo-cappotti-devastati-4eef8b75-8082-4f3b-a418-1bcce8084xlk.shtml

[13] *Cfr.* https://www.ntr24.tv/2021/12/30/rione-ferrovia-crolla-cappotto-termico-ma-i-detriti-sono-in-strada-da-novembre/. Vedi anche https://www.lacittadisalerno.it/cronaca/2023/11/25/salerno-il-vento-stacca-cappotto-termico-da-palazzina

mentre può essere un pregio nell'entroterra, caratterizzato da un clima secco che si riscontra nei luoghi distanti più di 200 km dal mare. Per ultima, ma non certo trascurabile per importanza, la quantità di *anidride carbonica equivalente*, valutata secondo i confini *craddle-to-gate*[14] da un minimo di 2,5 ad un massimo di 4,0 kg di CO_2 per ogni chilo di prodotto (Tabella 1).

Materiale	*Densità* ρ (kg/m^3)	*Conducibilità* λ (W/m K)	*Calore specifico* c (J/kg K)	Resist. vapore μ (*adim.*)	CO_2 *equival.* (kg CO_2eq/kg)
EPS[15]	15 ÷ 30	0,035 ÷ 0,040	1400	20 ÷ 40	2,5 ÷ 4,0
XPS[16]	30 ÷ 45	0,029 ÷ 0,036	1450	80 ÷ 200	3,5 ÷ 4,0
PUR[17] in pannelli	30 ÷ 40	0,022 ÷ 0,028	1400	50 ÷ 150	3,0 ÷ 3,3
Fibra di legno in pannelli[18]	110 ÷ 270	0,038 ÷ 0,048	2100	3,0 ÷ 5,0	−0,9 ÷ −0,4
PUR[19] in schiume	10 ÷ 20	0,025 ÷ 0,030	1400	50 ÷ 150	3,5 ÷ 6,0
Fiocchi di legno[20]: in intercapedini	40 ÷ 65	0,038 ÷ 0,042	2100	2,0 ÷ 3,0	−0,8 ÷ −0,4
Fiocchi di cellulosa[21]: in intercapedini					
posa orizzontale posa verticale	30 ÷ 45 55 ÷ 70	0,037 ÷ 0,040	2100	1,0 ÷ 2,0	−0,8

Tabella 1. Comparazione tra le caratteristiche termiche e ambientali di prodotti per l'isolamento nelle costruzioni

[14] Sono cioè valutate le fasi A1 – Estrazione della materia prima, A2 – Trasporto della materia prima, e A3 – Processi di produzione, che secondo le UNI EN ISO 14040 e UNI EN ISO 14044 stimano il prodotto fino al cancello dell'industria che lo realizza, ed è uno dei principali indicatori per ponderare il *Global Warming Potential* (GWP).
[15] Per i valori, *cfr.* UNI EN 13163 (densità), UNI EN 12666 (conducibilità termica), UNI EN ISO 10456 (calore specifico), UNI EN ISO 12572 (coefficiente di resistenza al vapore acqueo), stima su EPD (CO_2 equivalente).
[16] Per i valori, *cfr.* UNI EN 13164 (densità), UNI EN 12667 (conducibilità termica), UNI EN ISO 10456 (calore specifico), UNI EN ISO 12572 (coefficiente di resistenza al vapore acqueo), stima su EPD (CO_2 equivalente).
[17] Per i valori, *cfr.* UNI EN 13165 (densità), UNI EN 12667 (conducibilità termica), UNI EN ISO 10456 (calore specifico), UNI EN ISO 12572 (coefficiente di resistenza al vapore acqueo), stima su EPD (CO_2 equivalente).
[18] Per i valori, *cfr.* UNI EN 13171 (densità), UNI EN 12667 (conducibilità termica), UNI EN ISO 10456 (calore specifico), UNI EN ISO 12572 (coefficiente di resistenza al vapore acqueo), stima su EPD (CO_2 equivalente).
[19] Per i valori, *cfr.* UNI EN 14315-1 (densità e conducibilità), UNI EN ISO 10456 (calore specifico), UNI EN ISO 12572 (coefficiente di resistenza al vapore acqueo), stima su EPD (CO_2 equivalente).
[20] Per i valori, *cfr.* UNI EN 13171 (densità), UNI EN 12667 (conducibilità termica), UNI EN ISO 10456 (calore specifico), UNI EN ISO 12572 (coefficiente di resistenza al vapore acqueo), stima su EPD (CO_2 equivalente).
[21] Per i valori, *cfr.* UNI EN 15101-1 (densità), UNI EN 12667 (conducibilità termica), UNI EN ISO 10456 (calore specifico), UNI EN ISO 12572 (coefficiente di resistenza al vapore acqueo), stima su EPD (CO_2 equivalente).

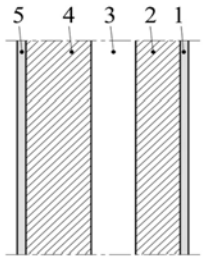
Basterebbe sostituire i pannelli in materiale sintetico con quelli composti da *fibre di legno* per migliorare in modo drastico le caratteristiche del rivestimento: per un valore di conducibilità meno efficiente del 38% (0,043 W/mK contro la media di 0,031 W/mK), il calore specifico risulta superiore del 48% (2100 J/kgK contro i 1415 di media), una resistenza al vapore inferiore del 96% (4,0 contro 105 delle resine di sintesi), ed infine una quantità di CO_2 equivalente *sottratta all'ambiente* di 0,6 kg per ogni chilo di prodotto, contro i 3,25 chili *immessi in atmosfera* per i materiali usuali. Questo perché le fibre di legno vengono realizzate da scarti di altre lavorazioni, e quindi risultano essere una *materia prima seconda*, moderando il volume dei rifiuti e quindi dei processi di trasporto, stoccaggio e smaltimento ad essi connessi. Nella produzione *a umido*, durante la quale il materiale tritato e sfibrato viene immerso in acqua [21], si riattiva la lignina e, alla successiva pressatura, tale sostanza funge da *collante naturale* senza che occorra aggiungerne – senza dover ricorrere ad altri materiali che contribuirebbero negativamente nella stima di anidride carbonica rilasciata dal processo produttivo.

Un ulteriore elemento, che può avere un risvolto negativo nella valutazione dell'intervento "rivestimento a cappotto", *risiede nella sostanziale modifica nell'aspetto* della costruzione che vi è soggetta. Tale cambiamento, che ne rende impossibile l'uso negli edifici su cui grava un vincolo storico-culturale, risiede: i) nell'avanzamento del filo esterno della costruzione, e nella conseguente ricerca di soluzioni formali da adottarsi in corrispondenza delle aperture esterne, e ii) nell'introduzione di partiture verticali e orizzontali dovute dall'uso dei pannelli, che alcune volte vengono lasciate volutamente in evidenza per evitare superfici senza soluzione di continuità sulle quali la comparsa di eventuali fratture dovute a dilatazioni termiche e vibrazioni potrebbe essere particolarmente visibile. Tutto ciò, se moltiplicato su un grande numero di interventi, comporterà la progressiva trasformazione dei prospetti, e si perderanno le caratteristiche formali tipiche dell'edilizia di massa, che oggi ancora permettono di distinguere gli interventi degli anni '60 da quelli degli anni '70 e '80 dello scorso secolo.

Riconoscendo come strategico il ruolo della coibentazione delle strutture opache per gli interventi di retrofitting energetico, occorre probabilmente ragionare sulle alternative percorribili rispetto al rivestimento a cappotto, che siano analogamente efficaci nell'incrementare la resistenza termica, ma che allo stesso tempo permettano di contenere le diverse criticità precedentemente riscontrate. Naturalmente non esiste nessuna *soluzione universale* che si adatti a tutto il patrimonio edilizio italiano realizzato nel secondo dopoguer-

STRUTTURA N° 9: DESCRIZIONE: Muratura a cassa vuota

Sezione struttura



Rif.	Materiali	Massa volumica (kg/m^3)	Spessore cm	Conduttività [W/(m × K)]
1	Intonaco interno (calce e gesso)	1 400	2	0,70
2	Mattoni forati	800	8	0,30
3	Intercapedine d'aria	-	6 - 12	
4	Mattoni forati	800	25	0,30
5	Intonaco esterno	1 800	2	0,90
6				
7				
8				
9				
10				

Spessori variabili da 43 cm a 49 cm (in funzione dell'intercapedine).

Figura 1. Sezione di parete comunemente utilizzata come chiusura in Campania, a partire dal 1950 [22].

ra, perché ogni intervento deve scaturire da un'analisi attenta delle condizioni al contorno.

In Campania, per fissare un limite territoriale di riferimento, è possibile riscontrare che a partire dal 1950 la *muratura a cassa vuota* è stata utilizzata su larga scala come tipo di chiusura opaca; la sua composizione stratigrafica, nota e disponibile in letteratura[22] (Figura 1), è costituita da due paramenti in mattoni forati leggeri tra i quali viene lasciata un'intercapedine d'aria di spessore che oscilla tra i 6 e i 12 centimetri, in funzione della larghezza totale che si vuole ottenere. Con ulteriori variazioni dimensionali, questa soluzione è comune anche ad altre località geografiche, quali la Lombardia (per edifici condominiali), a Pescara e provincia (dal 1960 al 1976), e a La Spezia (per l'edilizia economica e popolare)[23]. L'uso di strati d'aria in quiete è un espediente frequentemente impiegato per creare un isolante *a costo zero*, diffuso soprattutto nelle regioni geografiche caratterizzati da climi temperati ed umidi, dove oltre ad avere una ridotta conducibilità termica (valutabile in circa 0,18 W/m K[24]), la coibentazione deve essere estremamente permeabile al vapore.

[22] *Cfr.* UNI/TS 11300-1:2008, *Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*. Norma ritirata senza sostituzione.
[23] *Ivi*, p.42.
[24] In letteratura, per aria assolutamente in quiete si registra un valore di 0,026 W/m K (*cfr.* UNI 10351:2015, *Materiali e prodotti per edilizia – Proprietà termoigrometriche – Procedura per la scelta dei valori di progetto*). Per intercapedini con spessori che superano i 5 centimetri si ingenerano movimenti convettivi che aumentano la conducibilità fino a 0,18 W/m K per pareti verticali (e flusso termico orizzontale) [23].

La presenza di intercapedini vuote permette di prevederne il riempimento con materiale isolante, allo scopo di migliorare le caratteristiche termiche dell'intera parete, ma senza modificare l'aspetto della costruzione, e senza sovrapporre elementi esterni, che possono facilmente costituire fattore di rischio per l'incolumità di cose e persone.

Il materiale più comunemente utilizzato per questo tipo di operazione è la schiuma poliuretanica, prodotto che all'insufflaggio si espande e tende ad occupare tutti gli interstizi, anche in caso di spazi irregolari. Se inserito a pressione, richiede fori di diametro contenuto (in media da 18 mm) disposti a griglia sfalsata con interasse verticale di 60÷100 cm, ed orizzontale di 80÷120 cm. Ma, come già precedentemente verificato, la schiuma di poliuretano possiede numerose caratteristiche negative, quali la ridotta capacità termica e l'elevata resistenza al vapore, che la rendono inadatta nei luoghi caratterizzati da climi estivi caldo umidi; a ciò si aggiunge un'alta quantità di anidride carbonica equivalente incorporata, che può arrivare fino a 6 kg di CO_2 per ogni chilo di prodotto.

Anche in questo caso può essere valutata la possibilità di utilizzare dei *fiocchi di legno*, anch'essi ricavati da prodotti di scarto della lavorazione del legname. La conducibilità termica non è bassa quanto quella delle schiume poliuretaniche, e il materiale stesso per la sua conformazione a fiocco richiede di eseguire forature di diametro maggiore (20 mm) e passo ridotto (70 x 80 cm), comportando così un onere in fase di applicazione più elevato. D'altro canto le caratteristiche che li rendono preferibili ai materiali sintetici sono numerose: il calore specifico è molto più elevato (+50%) e la resistenza al vapore è notevolmente inferiore (–97,5%), vantaggio notevole nei territori in cui prevale il clima mediterraneo; trattandosi poi di prodotti ottenuti riciclando rifiuti, la quantità di anidride carbonica incorporata è notevolmente più bassa (–112,6%). Infine, la lavorazione è *reversibile* perché, al contrario delle schiume, i fiocchi anche se compattati dall'insufflaggio, restano sciolti e quindi successivamente rimuovibili.

Eseguendo poi una verifica termica tra lo stato di fatto (muratura a cassa vuota) e le due alternative tecniche (poliuretano e fiocchi di legno), si può verificare che in entrambi i casi il valore di trasmittanza ottenuto rientra nei limiti di legge[25] (Tabella 2), con una migliore *performance* della schiuma (riduzione di *U* dell'88,3% contro l'83,7% del legno). Dal punto di vista dinamico, è però

[25] La valutazione è stata effettuata prendendo ad esempio la città di Napoli, per la quale il valore per ristruttura-

il legno ad avere un maggiore tempo di *sfasamento* (5,84 ore rispetto a 5,38), ma soprattutto permette di contenere notevolmente lo *spessore equivalente d'aria* (cioè lo spessore di aria che opporrebbe la medesima resistenza al vapore offerto dalla parete), pari a soli quattro metri (soltanto +2,6% rispetto allo stato di fatto) rispetto ai 13,8 metri del poliuretano (+258,8%).

Isolante	Trasmittanza	Sfasamento	Mese critico	Condensa		Spess. equival. d'aria
	U (W/m2K)	(h)		superficiale	interna	Sd (m)
Aria	2,051	2,48	Gennaio	No	No	3,90
PUR	0,239	5,38	Gennaio	No	No	13,80
Fiocchi di legno	0,335	5,84	Gennaio	No	No	4,00
Fiocchi di cellulosa	0,324	4,49	Gennaio	No	No	3,95

Tabella 2. Comparazione tra lo stato di fatto e i possibili interventi sull'intercapedine presente nella parete.

Ma la ricerca della *migliore soluzione tecnica*, o quanto meno di quella che permetta di mitigare le criticità che ogni decisione progettuale porta immancabilmente con sé, non può non prendere in considerazione la *provenienza* della materia prima impiegata, in quanto è ragionevole ritenere che siano da preferirsi i prodotti realizzati attraverso una *filiera corta* [24]. Nel territorio qui assunto a scenario dell'intervento (la regione Campania), è facile verificare come le attività commerciali inserite nella filiera del legno sono in generale classificabili come piccole e medie imprese che si dedicano quasi esclusivamente alla commercializzazione ed alla fornitura all'ingrosso di semilavorati[26]: per trovare dei veri *cluster* industriali, capaci di lavorare volumi tali da fornire un quantitativo significativo di scarti, occorre spostarsi nel nord Italia, ed in particolare nel Triveneto ed in Lombardia [25][26].

zioni e riqualificazioni energetiche di cui al DM 26.06.2015 richiede una trasmittanza non superiore a 0,36 W/m^{2}K. Per il foglio di calcolo impiegato, *cfr.* https://trasmittanza.stiferite.com/resistenza_termica.html

[26] In tale ricerca sono stati analizzati i dati relativi ai codici ATECO 46.73.00 e 46.73.10, che hanno restituito 69 aziende sul territorio campano. *Cfr.* https://www.aziende.it/campania/46/46.73.00 e https://www.aziende.it/campania/46/46.73.10

Una possibile alternativa *a chilometro zero* potrebbe quindi essere quella che impiega i *fiocchi di cellulosa*, facilmente ricavabili dai processi di riciclo della carta e del cartone; tale filiera attualmente vede coinvolti 462 comuni campani impegnati nella raccolta [27], e 21 impianti di lavorazione [28]. Il settore però può potenzialmente incrementare il volume trattato: estendendo la 'differenziata' a tutti i 550 comuni della regione (con un aumento del 19%), si potrebbe allineare il rendimento pro capite al valore nazionale (41,8 contro 65,4 kg/ab) [27]: ciò permetterebbe di superare abbondantemente le trecentomila tonnellate annue[27]. Un altro elemento interessante su cui ragionare è dato dalla frazione di materiale avviata al riciclo, oggi pari al 79% del raccolto con ben 45.000 tonnellate scartate, in quanto il prodotto conferito non rispetta gli standard di qualità [30]; un capillare programma di educazione alla differenziazione dei rifiuti potrebbe cogliere entrambi gli obiettivi: incrementare la quantità conferita e nel contempo ridurre la parte inutilizzabile.

Il processo di lavorazione prevede l'uso esclusivo di trattamenti meccanici, e quindi non richiede la realizzazione di impianti particolarmente complessi; esso infatti si articola in: i) raccolta e selezione della *materia prima seconda*; ii) macinazione e sminuzzamento per separare le fibre di cellulosa; iii) depolverizzazione per eliminare eventuali impurità; iv) imballaggio e stoccaggio in sacchi. Alcuni produttori prevedono anche la miscelazione con particolari sali minerali, allo scopo di rendere il prodotto finale ignifugo e resistente alle muffe.

Per quanto attiene la posa in opera, questa è del tutto analoga a quella già menzionata per le fibre in legno, anche se i fiocchi di cellulosa, meno rigidi, sono più adatti a riempire anche intercapedini irregolari.

I valori di trasmittanza sono, anche se di poco, inferiori a quelli dei fiocchi di legno, mentre lo sfasamento – che comunque supera le quattro ore – non riesce a raggiungere le performance della 'concorrenza'. In termini assoluti però è di tutta evidenza che:

- il comportamento termico stazionario (U) rientra nei limiti di legge;
- il comportamento dinamico (φ) consente uno sfasamento tale (Tabella 2) da ritardare l'ingresso del flusso termico massimo[28] alle ore 19:29, quando la temperatura dell'aria esterna è quasi pari alla media giornaliera[29];

[27] Dato calcolato sulla popolazione residente al 2023, pari a 5.571.587 abitanti.

[28] *Cfr.* UNI 10375:1995, *Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti*, par. 7.1.1.1. Calcolo termico di trasmissione attraverso le strutture dell'involucro.

[29] *Cfr.* UNI 10349:1994, *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici*, Prospetto V.

– lo spessore equivalente d'aria (S_d) è di soli 5 centimetri superiore alla parete non trattata, con un incremento di appena +1,3%;
– la quantità di CO_2 equivalente, trattandosi di materiale riciclato, è negativa, con un miglioramento rispetto al poliuretano del 116,8%, superiore anche a quanto registrato per il legno (Tabella 1).

In conclusione, le dinamiche imposte dalle logiche di mercato tendono spesso a orientare i tecnici verso l'adozione di soluzioni standardizzate, portandoli a selezionare il medesimo prodotto indipendentemente dalla specifica zona di applicazione. Tale approccio, tuttavia, rischia di trascurare aspetti fondamentali, come le risorse effettivamente disponibili nel contesto locale e le caratteristiche intrinseche dei materiali impiegati, che in determinate condizioni possono risultare poco idonee o meno efficaci rispetto ad alternative più appropriate. Alla luce di queste considerazioni, emerge con chiarezza come solo un approccio realmente olistico, capace di integrare fattori tecnici, ambientali, economici e contestuali, consenta di individuare in modo consapevole e corretto le soluzioni tecniche più adeguate per una specifica costruzione, garantendo risultati migliori in termini di funzionalità, sostenibilità e qualità complessiva dell'intervento.

Bibliografia

[1] ISPRA (2025). *Ambiente in Italia: uno sguardo d'insieme. Annuario dei dati ambientali 2024.* Roma: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Documento disponibile all'indirizzo https://www.isprambiente.gov.it/files2025/pubblicazioni/stato-ambiente/ambiente-in-italia-annuario-2024_finalea4.pdf
[2] The Global Economy (2025). *Italy net import*. Disponibile all'indirizzo https://www.theglobaleconomy.com/italy/Energy_imports/
[3] ISTAT (2014). *15° Censimento generale. Edifici e abitazioni*. Disponibile all'indirizzo https://www.istat.it/it/files/2014/08/Nota-edifici-e-abitazioni_rev.pdf
[4] ISTAT (2024). *Censimento permanente 2021. Caratteristiche delle abitazioni*. Disponibile all'indirizzo https://www.istat.it/wp-content/uploads/2024/08/Today-Abitazioni_01_08-2024.pdf
[5] https://m.dellevittorie.it/istat-censimento-epoca-costruzione-abitazioni-2021/
[6] Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee (2003). Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia. Disponibile all'indirizzo https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0091
[7] UNI/TS 11300-1:2008 "Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale". Norma ritirata senza sostituzione
[8] ISTAT (2014). *Energy consumptions of households*. Disponibile all'indirizzo https://

www.istat.it/wp-content/uploads/2014/12/ENERGY_CONSUMPTIONS_OF_HOUSEHOLDS-.pdf
[9] ANSA (2021). *Gas primary source for heating and hot water in Italy*. Disponibile all'indirizzo https://www.ansa.it/amp/english/news/business/2022/06/21/gas-primary-source-for-heating-and-hot-water-in-italy_c735efeb-58d0-4b66-9c4b-09010c8121fd.html
[10] ANSA (2023). *Average family's annual gas bill down*. Disponibile all'indirizzo https://www.ansa.it/english/news/business/2023/12/04/average-familys-annual-gas-bill-down-17.7-to-1431-4_25af62af-635b-4594-9add-2845a16b428b.html
[11] European Environment Agency (2025). *Final energy consumption*. Disponibile all'indirizzo https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025/countries/italy/final-energy-consumption
[12] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2024). *La situazione energetica nazionale nel 2023*. Disponibile all'indirizzo https://www.mase.gov.it/portale/documents/d/guest/relazione-situazione-energetica-nazionale_-2023-pdf
[13] Eurostat (2024). Energy use in EU households in 2022 lowest since 2016. Disponibile all'indirizzo https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240605-2
[14] Worldometer (2022). *Emissioni di CO2 dell'Italia*. Disponibile all'indirizzo https://www.worldometers.info/it/emissioni-co2/italia-emissioni-co2/?utm_source=chatgpt.com
[15] Bandini, S. (2024). "Italy", in AA VV *Climate Change and Historic Preservation*. Disponibile all'indirizzo https://tile.loc.gov/storage-services/service/ll/llglrd/2024555212/2024555212.pdf
[16] ENEA (2022). *Energy: Italy, 24-billion-euro investments in efficiency measures with tax deductions in 2021*. Disponibile all'indirizzo https://www.media.enea.it/en/press-releases-and-news/years-archive/year-2022/energy-italy-24-billion-euro-investments-in-efficiency-with-tax-deductions-in-2021.html
[17] ENEA (2023). *Energy: ENEA estimates 3 billion euros savings from energy efficiency measures in 2022*. Disponibile all'indirizzo https://www.media.enea.it/en/press-releases-and-news/years-archive/year-2023/energy-enea-estimates-3-billion-euros-savings-from-energy-efficiency-measures-in-2022.html
[18] ENEA (2025). Rapporto annuale sull'efficienza energetica. Disponibile all'indirizzo https://anie.it/wp-content/uploads/2025/10/RAEE_2025_A4.pdf
[19] Michalak, J. (2012). "External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) from Industry and Academia Perspective". In B. Michałowski (ed.), *External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS): Sustainable Technology for the Growth of a Resource-Efficient and Competitive Economy*, Sustainability, 13. Disponibile all'indirizzo https://www.mdpi.com/2071-1050/13/24/13705
[20] Politecnico di Torino (2025). "Scheda 1.2 – Realizzazione dell'isolamento termico delle strutture opache verticali con sistema a cappotto esterno". In Città Metropolitana di Torino, *Compensazioni ambientali energetiche. Catalogo di interventi in campo energetico da utilizzarsi come misure di compensazione ambientale*, disponibile all'indirizzo https://www.cittametropolitana.torino.it/ambiente/aree-protette-e-riqualificazioni/riqualificazioni-e-compensazioni-ambientali/compensazioni#
[21] Amarasinghe, I.T., Quian, Y., Gunawardena, T., Mendis, P. & Belleville, B. (2024). "Composite Panels from Wood Waste: A Detailed Review of Processes, Standards, and

Applications". In J. Haider & S.K. Singh (eds.), *Composites: A Sustainable Material Solution*, Special Issue of Journal of Composites Science, vol.9

[22] UNI/TS 11300-1:2008, *Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*. Norma ritirata senza sostituzione.

[23] Minichiello, F. (2019). *Resistenza termica di intercapedini d'aria inserite in pareti di edifici*. Disponibile all'indirizzo https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/34123848

[24] Buoninconti, L. (2020). "I sistemi di prodotto bioregionali nella filiera corta: una occasione per la Sostenibiltà Sociale". In L. Buoninconti, P. De Joanna & A. Falotico (a cura di), *Bioregionalismo ed edilizia sostenibile*, Napoli: LucianoEditore, pp.61-86

[25] Pettenella, D., Klöhn, S., Carbone, F., Venzi, L., Cesaro, L. et al (2004). *Economic integration of urban consumers' demand and rural forestry production. Italy's country report*. Roma: ISPRA. Disponibile all'indirizzo https://www.isprambiente.gov.it/files/atmosfera/italy-report.pdf

[26] AA. VV. (2024). *The numbers of the supply chain in the wood-furniture regions in Italy*. Disponibile all'indirizzo https://www.staffedit.it/en/the-numbers-of-the-supply-chain-in-the-wood-furniture-regions-in-italy/

[27] COMIECO (2025). *30° Rapporto Annuale sulla raccolta e riciclo di carta e cartone di Comieco*. Comunicato stampa disponibile all'indirizzo https://www.news-express.it/2025/07/20/30-rapporto-annuale-sulla-raccolta-e-riciclo-di-carta-e-cartone-di-comieco-differenziata-di-carta-e-cartone-la-campania-cresce-ancora-3/

[28] SNPA (2023). *Rapporto ambiente – SNPA Edizione 2023*. Roma: Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. Disponibile all'indirizzo https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2024/02/Report_ambiente_SNPA_2023.pdf

[29] ISTAT (2023). *Il Censimento permanente della popolazione in Campania*. Documento disponibile all'indirizzo https://www.istat.it/wp-content/uploads/2025/04/Censimento-permanente-popolazione_Anno-2023_Campania.pdf

[30] COMIECO (2023). 29° Rapporto Annuale sulla raccolta e riciclo di carta e cartone di Comieco. Disponibile all'indirizzo https://www.comieco.org/downloads/17130/9908/Cs%20-%20Comieco%20-%2029esimo%20Rapporto%20Annuale_Campania.pdf

4
Canapa industriale: risorsa, opportunità e limiti

M. Alessandrini

Introduzione: una risorsa antica per una sfida moderna

La *Cannabis sativa L.*, più comunemente conosciuta come canapa industriale, è una delle piante più versatili che l'umanità abbia mai conosciuto. Per secoli ha accompagnato l'evoluzione delle società mediterranee ed europee, rappresentando una materia prima fondamentale in settori come la cantieristica navale, la manifattura tessile, l'agricoltura, le corde, le vele e persino la cartiera. È una pianta che ha radici profonde nella storia economica italiana: fino agli anni '40 del Novecento, l'Italia era infatti il secondo produttore mondiale di canapa dopo la Russia e la fibra italiana era considerata la migliore al mondo per finezza, resistenza e qualità, fortemente apprezzata dall'industria tessile.

Eppure, dopo il secondo dopoguerra, complice l'introduzione delle fibre sintetiche, i cambiamenti normativi e un progressivo abbandono delle campagne, questa coltivazione è quasi scomparsa dal paesaggio agricolo. Oggi, dopo decenni di oblio, la canapa sta tornando ad essere riconosciuta come una delle colture chiave della transizione ecologica. Il suo potenziale coinvolge agricoltura, industria, edilizia, economia circolare, sostenibilità ambientale e salute dell'uomo.

La percezione è di grande interesse ed attenzione nei confronti dei semilavorati provenienti dalla trasformazione della pianta, ma, nonostante ciò, questa risorsa fatica ancora a ritrovare il proprio spazio.

In effetti, la domanda di prodotti in canapa cresce, mentre le superfici coltivate diminuiscono o restano stabili, ma sono comunque insufficienti. Comprendere le ragioni di questo scollamento diventa essenziale per cercare di creare i giusti presupposti per sviluppare una filiera competitiva e sostenibile.

A fare grande leva sull'attenzione dei diversi attori coinvolti tra cui spiccano imprenditori, agricoltori e legislatori, una delle caratteristiche più sorpren-

denti della canapa è la sua straordinaria capacità di catturare CO_2. Le stime degli organismi europei e delle associazioni di settore indicano che un ettaro coltivato assorbe 11,4 tonnellate di anidride carbonica in soli quattro mesi di crescita. Nessun'altra coltura industriale mostra un comportamento comparabile in un periodo di tempo così breve.

Per avere un termine di paragone, in base a quanto rilevato dallo studio condotto per conto dell'EHIA (European Hemp Industrial Association) da parte della NOVA Institute, una foresta media tedesca raggiunge indicativamente la stessa prestazione ma con almeno sessanta anni di vita!

Materiale / Coltura	Tempo di crescita	CO_2 stoccato nei prodotti finiti (t CO_2/ha)	Note
Canapa industriale (tutta la biomassa destinata a edilizia)	**4–5 mesi**	**11,4 t CO_2/ha** per ogni raccolto	**Valore medio nova-Institute 2023**
Foresta media tedesca (scenario stazionario)	**60–120 anni**	**9,3 – 11,4 t CO_2/ha** all'anno	**Valore annuo, spalmato su decenni**
Foresta media tedesca (scenario realistico con riserva)	**60–120 anni**	**7,7 – 9,5 t CO_2/ha** all'anno	

Confronto diretto CANAPA vs LEGNO (stoccaggio nei materiali da costruzione). Fonte: Rapporto EIHA – Carbon Storage in Hemp and Wood raw materials for Construction Materials Final report, 06-2023.

Oltre al sequestro di carbonio, questa pianta ha la capacità di rigenerare i terreni, migliorandone la struttura aumentando il contenuto di sostanza organica, ed ha un apparato radicale profondo che contrasta l'erosione. Inoltre, richiede pochi o nessun diserbante, grazie alla crescita rapida che "soffoca" le infestanti e contribuisce alla biodiversità agricola grazie alla fioritura che attira insetti pollinatori. Trattandosi poi di una pianta da rotazione non sottrae spazio alle coltivazioni ad uso alimentare.

Fonte: *IND HEMP – RODALE INSTITUTE*

È dunque una coltura strategica all'interno dei modelli agricoli rigenerativi e delle politiche europee per la decarbonizzazione.

Alla luce di ciò, la creazione e lo sviluppo di modelli economici basati sulla coltivazione della canapa potrebbe sembrare scontato e semplice. In realtà affrontare la questione canapa significa parlare di una filiera complessa, da creare e gestire.

Ogni parte della pianta ha un valore economico, diversi usi e molteplici settori di applicazione:

– la **fibra lunga** – tessile e materiali tecnici;

- la **fibra corta** – biocompositi, pannelli e isolanti;
- il **canapulo** – edilizia, pannelli, lettiere e agronomia;
- il **seme** – alimentazione, cosmetica e nutraceutica;
- l'**olio** – usi alimentari e tecnici;
- le **infiorescenze** – estratti, aromi e usi officinali;
- le **radici** – usi agricoli e cosmetici.

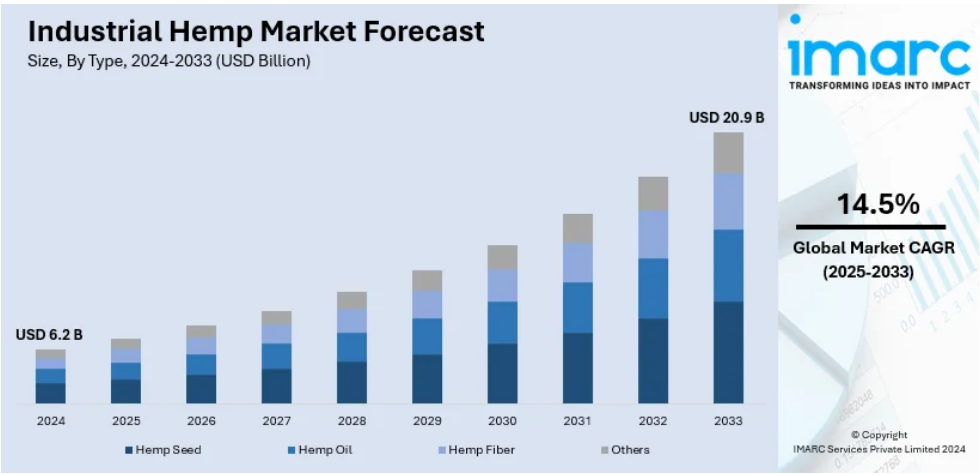
Ogni fase deve generare sottoprodotti valorizzabili, creando un possibile modello di economia circolare.

Con questa visione, in diversi paesi europei sono presenti e continuano a nascere consorzi, cooperative ed attività imprenditoriali che uniscono aziende agricole, trasformatori e imprese innovative cercando di creare filiere complete e soprattutto stabili.

In particolare, un elevato utilizzo della pianta è riconducibile al mondo delle costruzioni, dove il fusto opportunamente lavorato e trasformato, crea semilavorati da utilizzare per lo sviluppo di materiali naturali, riciclabili, a basso impatto ambientale, dalle elevate prestazioni tecniche.

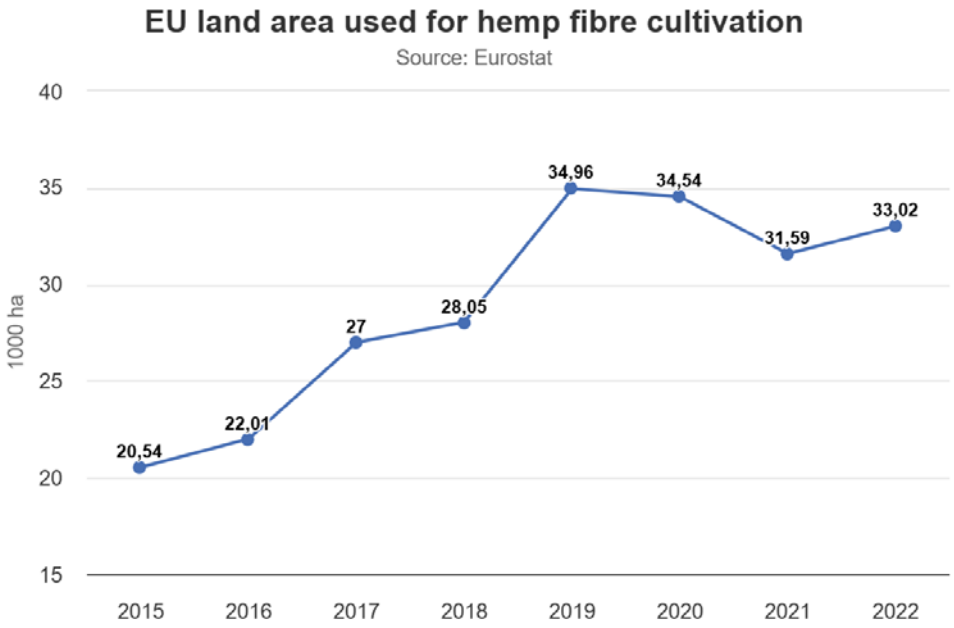
I dati disponibili evidenziano un mercato globale della canapa industriale in rapida espansione. Secondo Fortune Business Insights, il mercato valeva 9,47 miliardi di dollari nel 2024 e dovrebbe raggiungere 47,82 miliardi entro il 2032, con un CAGR del 22,4%.

L'istituto di ricerca IMARC, più cauto, riporta che il mercato della canapa crescerà con un tasso annuo composto (CAGR) superiore al **14,5% fino al 2033**.



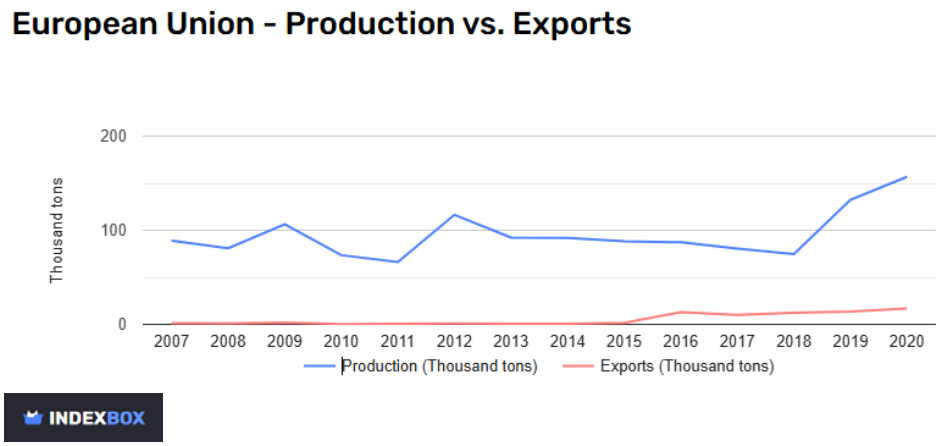
Per la fibra di canapa, Astute Analytica prevede una crescita da 5,78 miliardi nel 2024 a 30,13 miliardi nel 2033, con un CAGR del 20,12%. Altre fonti, come Spherical Insights, stimano un CAGR del 22,09%, raggiungendo 41,36 miliardi entro il 2033.

Eppure, in antitesi rispetto a questi dati, in Europa, dove il mercato è dominato da Francia (23.600 ettari nel 2024 -60%), seguita dalla Germania (17%) e dai Paesi Bassi (5%), la Commissione Europea riporta un aumento degli ettari da 20.540 nel 2015 a 33.020 nel 2022, ma con una stabilizzazione recente, con un andamento quasi piatto, segnando una diminuzione.



Fonte: *Commissione Europea*

La produzione europea è destinata ai singoli paesi produttori, non evidenziando alcuna proiezione verso le esportazioni. Ciò equivale ad affermare che i paesi produttori, utilizzano quasi completamente le loro produzioni.

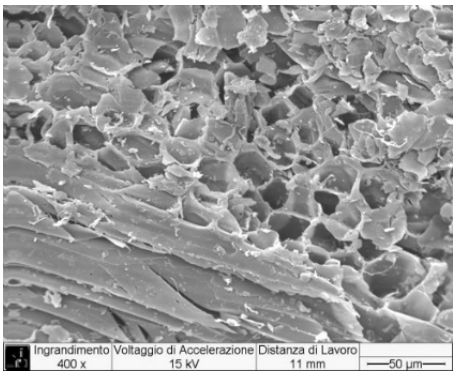


Fibra e legno di canapa: l'opportunità per costruire ambienti sani con un'edilizia sostenibile

Nel settore dell'edilizia, oltre alla fibra anche il legno di canapa (canapulo – parte interna del fusto) ha trovato, nel corso dell'ultimo decennio, un'interessantissima applicazione. Infatti, appositamente formulato e miscelato con leganti, preferibilmente minerali naturali idraulici, permette la realizzazione di materiali dalle proprietà straordinarie.

Il canapulo è un legno, che una volta essiccato, perde i liquidi e le sue innumerevoli cavità si riempiono di aria, rendendolo estremamente leggero (densità circa 110 kg/m^3) e soprattutto isolante.

La conducibilità termica del canapulo è 0,048 W/mK.



Canapulo Ingrandimento 400x

Canapulo

Esempio costruzione casa singola, struttura in legno.

Miscelato con leganti naturali (principalmente di tipo idraulico) e con l'aggiunta di altri componenti che ne migliorano la lavorabilità, è possibile ottenere prodotti per la costruzione dalle elevate prestazioni di isolamento termico, acustico e di sfasamento termico (ostacola l'ingresso dell'onda di calore durante il periodo estivo). Inoltre, queste miscele sono ignifughe, altamente traspiranti, fibro-rinforzate, completamente naturali (zero cementi – zero derivati petrolchimici), riutilizzabili o riciclabili a fine ciclo vita.

I prodotti più diffusi sono i blocchi per tamponature e divisori, premiscelati quali intonaci, stucchi, massetti, malte e pitture.

Questo stesso legno può essere utilizzato per realizzare pannelli rigidi (per sostituire il cartongesso) traspiranti ed isolanti, oppure se pressato e legato con resine naturali per ottenere listelli per pavimenti (simili al parquet).

Utilizzando, dunque, legno e fibra di canapa è possibile ottenere una gamma estremamente ampia per applicazioni in nuove costruzioni, riqualificazioni energetiche, sistemi a secco e risanamenti.

Per le nuove costruzioni, il sistema costruttivo è molto semplice e veloce: la struttura portante può essere realizzata in legno, acciaio, cemento armato, XLAM o tufo.

Le tamponature si realizzano con blocchi isolanti, disponibili in diversi spessori e densità, in base ai risultati di trasmittanza e sfasamento termico che si intende raggiungere. I blocchi si posano con una malta appositamente

formulata per evitare ponti termici e le pareti si possono finire con un solo cm di intonaco a base calce idraulica e canapa. In cantiere non esistono scarti di lavorazione ed eventuali ritagli dei blocchi e materiali provenienti dalle scanalature delle tracce, si bagnano e miscelano con analoghi materiali per la chiusura delle stesse tracce o per la realizzazione di massetti isolanti alleggeriti. Non si creano dunque rifiuti da portare in discarica, evitando costi e gestione.

La conducibilità dei blocchi parte da un lambda ʎ=0,067 W/mK per arrivare a ʎ=0,095 W/mK, dipendendo dalle formulazioni dei diversi produttori.

Per esempio, le prestazioni di isolamento e sfasamento termico per un blocco con conducibilità termica di ʎ=0,067 W/mK, in base ai diversi spessori, risultano essere notevoli, soprattutto considerati gli ingombri. Una tamponatura realizzata con un blocco da 40 cm, con un cm di intonaco all'intero ed uno all'esterno, ha una trasmittanza U=0,16 W/m^{2}K.

	Dimensioni cm	Trasmittanza W/m^{2}K	Trasmittanza W/m^{2}K cm 1 intonaco interno + esterno	Sfasamento ore cm 1 intonaco interno + esterno
	20x30x40	U = 0,317	U = 0,307	φ=11,37
	30x40x20	U = 0,215	U = 0,211	φ=17,74
	40x20x30	U = 0,163	U = 0,160	φ=24,10
	50x20x40	U = 0,131	U = 0,129	φ=30,45

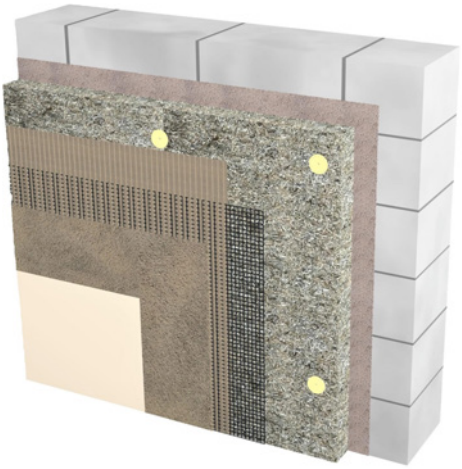
Fonte: *Edilcanapa.*

Per la riqualificazione energetica, è possibile utilizzare due diversi sistemi costruttivi:

- sistema di isolamento a cappotto (uso esterno)
- sistema di isolamento a secco (uso interno)

Il sistema di isolamento a cappotto è costituito da una stratigrafia analoga a quella tradizionale:

- Collante a base di calce idraulica a canapa
- Pannello isolante in fibra di canapa (da 4 a 20 cm di spessore)
- Tassellatura
- Intonaco di finitura armato con rete antifessurazione
- Rasante di finitura



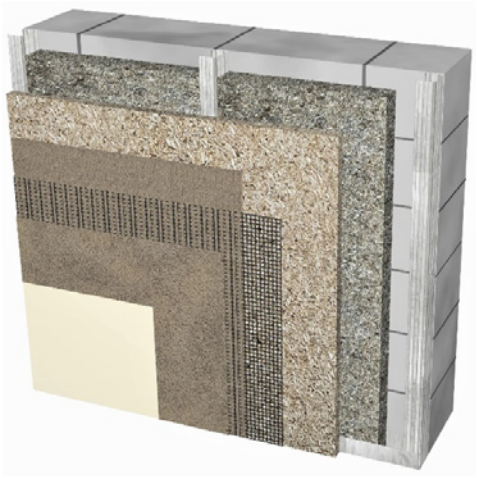
Render sistema a cappotto

Questo sistema, oltre ad utilizzare pannelli in fibra di canapa con densità da 100 Kg/m^3, con un lambda di ʎ=0,038-0,041 W/mK, grazie alla densità dei suoi componenti, migliora notevolmente l'isolamento acustico e lo sfasamento termico dalle 2 alle 5 ore, in base allo spessore del pannello utilizzato.

Questo sistema di isolamento, laddove opportunamente certificato per la classe di reazione al fuoco, rispetta i requisiti previsti dalle disposizioni Decreti 2022 RTV13 e RTV14 e può essere utilizzato in interventi di edifici con altezze superiori ai 12 m (**GM1**: Materiali con scarsa contribuenza all'incendio – B-s1,d0 UE o equivalenti (**GM2**: Materiali con contribuenza limitata (C-s2,d1 UE o equivalenti).

Sequenza posa.

Altrettanto interessante è lo sviluppo del sistema a secco per uso indoor. La logica utilizzata è di seguire la stessa tecnica di posa dei sistemi tradizionali, ma cambiando i materiali.

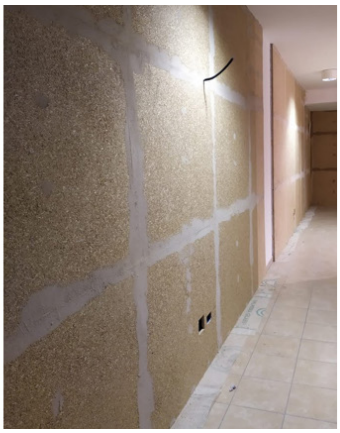


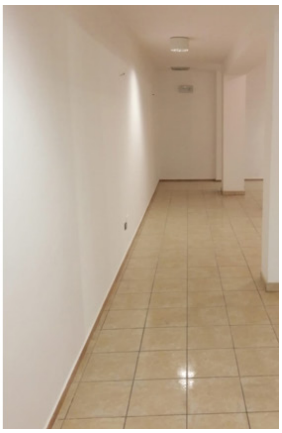
Render sistema a secco

Sulla parete interna viene ancorata un'orditura metallica o in legno dello spessore del pannello in fibra di canapa, che in base ai calcoli termici consente di ottenere le prestazioni minime rispetto alla zona climatica (DM 26/06/2015 – DM Requisiti Minimi 2025). Fatti passare gli impianti, si fissano meccanicamente i pannelli rigidi in legno di canapa dello spessore di 2 cm e si esegue la finitura con un rasante premiscelato in canapa e calce idraulica dello spessore di 3-5 mm, armato con rete antifessurazione.

Oltre alle eccellenti prestazioni tecniche documentate nelle schede prodotto, questi materiali si distinguono per la provenienza da fonti rinnovabili e per la riciclabilità o riutilizzo a fine vita.

Presentano, inoltre, un'importante capacità igroscopica: assorbono e rilasciano naturalmente l'umidità presente nell'aria, mantenendolo costante negli ambienti. Questo meccanismo naturale previene efficacemente la formazione di condense e muffe.





Sequenza posa.

Inoltre, trattandosi di materiali a base calce, esente da cementi, essi non rilasciano alcuna sostanza nociva, contribuiscono a migliorare la qualità interna dell'aria ed il comfort abitativo.

In merito, è interessante sottolineare come la Regione Lombardia abbia pubblicato una miniguida dal titolo "MUFFE INDOOR Prevenzione, riconoscimento, gestione salubre dell'abitazione e risanamento" scaricabile on line da tutti i cittadini, in cui spiega cosa sono le muffe, quali sono gli impatti sulla salute rispetto all'esposizione e come prevenirle.

Le muffe, che proliferano in presenza di umidità, possono insediarsi su superfici interne di abitazioni e edifici, compromettendone la salubrità. La loro presenza è spesso legata a condensazione, ponti termici, risalita capillare e infiltrazioni.

Le muffe possono causare irritazioni delle vie respiratorie, allergie, asma e sintomi come mal di testa e affaticamento, con rischi maggiori per persone fragili.

Già all'inizio degli anni Ottanta, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) aveva dato un nome e un riconoscimento ufficiale a un fenomeno diffuso: la Sindrome dell'Edificio Malato (**Sick Building Syndrome, SBS**), definendo l'insieme di disturbi di salute aspecifici che colpiscono gli occupanti di ambienti chiusi, legati al tempo trascorso all'interno di un determinato edificio. La causa principale è identificata in una qualità dell'aria interna compromessa, spesso dovuta all'emissione di sostanze volatili nocive (VOC) da parte di materiali da costruzione, arredi, prodotti per la pulizia, unita a sistemi di ventilazione meccanica inadeguati o carenti.

Per contrastare questa problematica, la scelta dei materiali in fase di costruzione o ristrutturazione riveste un'importanza fondamentale. L'utilizzo di prodotti naturali e traspiranti, come quelli a base di calce e canapa, esenti da cemento, rappresenta una soluzione efficace poiché contribuisce attivamente a regolare l'umidità interna, favorendo un microclima più sano e stabile ed eliminando la creazione di condense, ambiente ideale per la proliferazione batterica. In questo modo, si migliora la salubrità dell'aria e si trasforma l'edificio da potenziale fonte di malessere in un ambiente promotore di benessere abitativo e produttività.

I limiti: ostacoli da superare

In sintesi, i prodotti realizzati in fibra e legno di canapa si potrebbero definire in modo semplice con due aggettivi: ecosostenibili e biocompatibili.

Gli studi di mercato, come già accennato, ne prevedono l'incremento negli utilizzi nei prossimi anni.

Le politiche europee hanno da tempo puntato sulla decarbonizzazione e riduzioni dei consumi energetici attraverso il Green Deal, con le sue strategie e piani d'azione settoriali tra cui il Piano d'Azione per l'Economia Circolare (Circular Economy Action Plan – CEAP) e la Strategia per un'ondata di ristrutturazioni (Renovation Wave) finalizzata a incrementare il tasso di ristrutturazione annuale degli edifici con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici del 16% entro il 2030 e del 20-22% entro il 2035.

Tutto ciò evidenzia una necessità che al contempo si trasforma in una grande opportunità.

E da qui il paradosso: a fronte di uno scenario che apre alla possibilità di proporre al mercato prodotti che racchiudono tutto quanto sino ad ora descritto, si contrappone la totale assenza di filiere, perfetto esempio di economia circolare, che possano soddisfare il fabbisogno di semilavorati in canapa e far crescere tutti i comparti.

Le ragioni di tutto ciò sono molteplici.

La canapa, per suddividere la fibra dal legno, necessita di impianti di decorticazione, prima trasformazione, di investimenti, conoscenze e formazione. Senza questi strumenti, gli agricoltori non avranno la capacità di aggregarsi e valorizzare la coltivazione della canapa utilizzando tutte le parti della pianta. Saranno costretti, come già accade, a concentrarsi solo sul seme, non trattando le paglie.

A rendere ulteriormente complessa la gestione della coltivazione subentrano le frequenti modifiche legislative, i diversi orientamenti giurisprudenziali e l'assenza di linee guida operative chiare che di fatto creano un clima di incertezza che disincentiva la coltivazione.

Attualmente la Commissione Europea sta lavorando ad una revisione normativa sulla coltivazione della canapa per cercare di rafforzare e far meglio sviluppare il settore in Europa.

L'obiettivo principale è riconoscere l'intera pianta di canapa (semi, fibra, fiori e foglie) come prodotto agricolo a tutti gli effetti, renderla pienamente eleggibile agli aiuti PAC e aumentando così la competitività del settore.

La consultazione pubblica sul portale "Have Your Say" si è chiusa a marzo 2025. I prossimi passi prevedono che la Commissione presenti la proposta legislativa formale a cui seguirà tra il 2026/2027 la discussione e approvazione da parte di Parlamento Europeo e Consiglio, ipotizzando la possibile entrata in vigore tra il 2027-2028.

Tutto ciò equivale ad affermare che occorreranno ancora anni prima che si possa disporre di un quadro normativo stabile per lo sviluppo e la crescita del settore agricolo.

Come evidente conseguenza, rispetto alla disponibilità dei semilavorati fibra e legno di canapa, i quantitativi disponibili saranno limitati ed i costi potrebbero persino aumentare come conseguenza dell'incremento della domanda. La competitività rispetto ai materiali tradizionali resterà dunque scarsa, non favorendo la crescita delle aziende operanti in questo settore.

Nonostante le criticità esposte, la canapa resta una delle risorse più promettenti dell'economia verde. Con i giusti tempi ed investimenti, il settore può diventare un pilastro ed un modello di eccellenza di bioeconomia.

Distretti integrati di filiera, standard di qualità, incentivi per colture e macchinari, programmi di ricerca e politiche nazionali stabili: queste sono le leve per creare una filiera canapa italiana forte, che unisca agricoltori, industrie, università e centri di ricerca

La canapa può diventare un motore di sviluppo sostenibile, creando valore economico, riducendo l'impatto ambientale e generando occupazione nelle aree rurali. È una coltura che unisce tradizione e innovazione, capace di rispondere alle esigenze del presente e del futuro.

Questa è la visione, questo è il futuro che in alcuni paesi, tra i quali la vicina Francia, è già realtà.

5
La lettura ecologica e paesaggistica dei sistemi rurali nella definizione e implementazione delle politiche agricole in Campania

F. Della Valle, A. di Gennaro

Premessa

Le attività di programmazione delle politiche rurali in Campania devono confrontarsi con la particolare complessità del contesto territoriale regionale: più che di "agricoltura" è necessario parlare delle molteplici "agricolture" della Campania. Non esiste probabilmente in Europa un'altra Regione che presenti un territorio tanto articolato, con una comparabile sequenza di paesaggi ed ambienti produttivi differenziati.

L'esigenza è allora quella di disporre di una lettura di queste diverse agricolture regionali, che non sia esclusivamente basata su aspetti amministrativi, socio-economici, statistici, ma che tenga anche conto della natura ed evoluzione degli agroecosistemi e dei paesaggi rurali, che tale diversità contribuiscono a generare, strutturare e mantenere più o meno nel tempo.

Per ovviare a questi aspetti, la Direzione generale politiche agricole e forestali della Regione Campania ha da tempo deciso di dotarsi di una metodologia di lettura di queste diverse agricolture regionali in qualche modo innovativa, che non si basa, come tradizionalmente avviene, su ambiti sub-regionali meramente identificati su base amministrativa o statistica, che la geografia degli ecosistemi e dei paesaggi agricoli della Campania trascende.

La metodologia di lettura del territorio agroforestale della regione messa a punto ha condotto all'identificazione di 28 sistemi del territorio rurale (STR), ciascuno dei quali è costituito da un'aggregazione di territori comunali, che risulta essere la più rispondente per rappresentare le effettive caratteristiche ambientali e paesaggistiche dei diversi territori, così come definite nelle cartografie agro-ambientali contenute nel Piano territoriale regionale approvato con Legge Regionale n. 13/2008.

Si tratta di un approccio non nuovo, impiegato ad esempio sin dagli anni '50 dall'INSEE, l'istituto centrale statistico francese, per l'identificazione delle 411 "région agricole" nelle quali lo spazio rurale francese viene ripartito.

Messa a punto e applicazione della metodologia

La lettura del territorio agroforestale della regione messa a punto dalla Direzione generale agricoltura è articolata in 28 sistemi del territorio rurale (STR), ciascuno dei quali è costituito da un'aggregazione di comuni, che risulta essere la più rispondente per rappresentare le effettive caratteristiche ambientali e paesaggistiche dei diversi territori, così come definite nelle cartografie agro-ambientali contenute nel Piano territoriale regionale (PTR, 2008).

In particolare, i 28 Sistemi territoriali rurali della Campania sono stati identificati a partire dalle cartografie tematiche ambientali e agroforestali contenute nel Piano territoriale regionale approvato con L.R. n. 13 del 2008, come raggruppamenti di territori comunali ragionevolmente omogenei per quanto concerne (Fig. 1):

- gli aspetti fisiografici e pedologici che condizionano le potenzialità produttive;
- gli usi agricoli e forestali dominanti
- le forme e le strutture del paesaggio agrario, e la loro evoluzione nel corso dell'ultimo cinquantennio
- i rapporti con il sistema urbano e infrastrutturale.

I sistemi rurali, così identificati, tendono quindi a corrispondere alle principali unità eco-geografiche e paesaggistiche emergenti a scala regionale, quali ad esempio il Matese, la Piana Campana, il sistema vulcanico del Somma-Vesuvio, il Cilento costiero ecc.

Questo schema di lettura è stato già impiegato, in collaborazione con ISTAT e CREA, per interpretare a scala territoriale i dati censuari e delle rilevazioni periodiche dell'agricoltura, con l'obiettivo di delineare un'economia dei paesaggi rurali della regione. Il tentativo è quello di considerare i paesaggi rurali della Campania non come semplice sfondo delle attività umane, ma piuttosto come sistemi ecologici ed economici complessi, all'interno dei quali opera un mosaico definito di aziende e attività agricole multifunzionali, filiere e produzioni di qualità, che proprio al paesaggio devono la propria, non riproducibile, specificità e identità,

Tale lettura è stata dunque utilizzata, a partire dal ciclo 2007-2013, per una valutazione degli impatti dei Programmi di sviluppo rurale (oggi: Complemento di programmazione rurale) nei differenti paesaggi regionali. L'analisi ha evidenziato una specifica capacità di ciascun sistema rurale regionale di "assorbire" le risorse messe a disposizione dal programma. Oltre agli aspetti quantitativi di spesa, emerge anche come ciascuno dei paesaggi rurali regio-

nali abbia in qualche modo messo in campo una propria strategia di utilizzo del programma, con il ricorso ad un particolare mix delle diverse Misure e Sottomisure.

La comprensione di questi aspetti è di fondamentale importanza, in sede di implementazione della politica agricola regionale, con l'obiettivo di rafforzare e sostenere ulteriormente gli aspetti positivi delle diverse strategie territoriali, e di superare invece le difficoltà di accesso al programma e gli eventuali gap di implementazione che alcuni paesaggi hanno di volta in volta evidenziato.

I criteri di identificazione dei Sistemi territoriali rurali ne spiegano la loro natura in qualche misura "ibrida". Gli STR costituiscono, infatti, il frutto di un "compromesso interpretativo": il tentativo cioè di raccontare la struttura agro-ecologica e paesaggistica del territorio rurale regionale – che per definizione prescinde dai limiti amministrativi – utilizzando una geografia che sia frutto dell'aggregazione di tessere elementari, corrispondenti ai territori comunali.

Tale scelta consente di poter utilizzare i sistemi del territorio rurale (STR) come strumenti di analisi ragionata sia di dati censuari e socio-economici, quali quelli dei Censimenti generali dell'agricoltura ISTAT, ordinariamente riferiti alla maglia comunale, sia di dati di derivazione ecologica, geografica e cartografica (si pensi ad esempio alla ricchezza informativa della Carta regionale di uso agroforestale del suolo, CUAS), consentendo così il dialogo tra basi di dati di solito impiegate in maniera esclusiva o alternativa

In definitiva, la lettura del territorio regionale proposta mediante gli STR si pone dunque su un livello di analisi in qualche misura intermedio rispetto ad altre partizioni "ufficiali", risultando più sintetica rispetto a quella dei 45 Sistemi di sviluppo locale, identificati dal Piano territoriale regionale come base della programmazione locale, ma maggiormente articolata rispetto alle 4 macroaree attualmente utilizzate in sede di programmazione per la territorializzazione delle politiche rurali.

Una simile scelta, pur con tutti i limiti metodologici del caso, consente di disporre di un quadro di riferimento per l'analisi ragionata sia di dati censuari e socio-economici, quali quelli dei Censimenti Generali dell'Agricoltura, ordinariamente riferiti alla maglia comunale, sia di dati di derivazione ecologica, geografica e cartografica (si pensi ad esempio alla ricchezza informativa della Carta regionale di uso agroforestale del suolo, CUAS), consentendo così il dialogo tra basi di dati di solito impiegate in maniera esclusiva o alternativa.

Risulta altresì evidente come i sistemi rurali in tal modo identificati, pur caratterizzati da una precisa identità ecologica e paesaggistica, siano al loro interno caratterizzati da una più o meno ampia variabilità dei caratteri sia

fisiografici che socio-economici, e non possano dunque essere semplicisticamente considerati alla stregua di "aree omogenee".

Senza voler entrare nel merito di una riflessione necessariamente più ampia e articolata, bisogna considerare come nell'ambito di un medesimo sistema rurale siano presenti ed operino una pluralità di entità amministrative, comunità e reti di attori, la cui attività possono condurre a esiti differenziati. Resta il fatto, che ciascun paesaggio – il Somma-Vesuvio piuttosto che la Penisola Sorrentina-Amalfitana – continua nella lunga durata a proporre alle comunità e agli individui che lo abitano opportunità e sfide assolutamente specifiche, delle quali è utile e necessario ad ogni modo tener conto.

Questa metodologia intende proporsi come strumento di analisi dei fenomeni (fabbisogni, criticità ecc.): l'ipotesi di lavoro è che la comprensione dei sistemi rurali nella loro unitarietà geografica, ecologica e paesaggistica; l'analisi delle loro specificità e differenze, ma anche del modo con il quale ciascuno di essi fa ricorso o meno alle opportunità messe a disposizione dalle diverse politiche, sia comunque propedeutica alla definizione delle scelte, che potranno essere poi opportunamente riferite agli ambiti di implementazione che la programmazione riterrà più conveniente adottare.

La geografia delle diverse agricolture presenti nel territorio regionale, così come descritta dai 28 STR, è in grado di orientare le attività di implementazione e valutazione del programma di Sviluppo Rurale nel conseguimento dell'obiettivo avanti descritto di massima applicabilità delle misure.

Come detto in precedenza, gli STR, con le loro specificità socio-economiche, strutturali, ambientali ed evolutive, si prestano infatti ad essere impiegati come "griglia di valutazione territoriale" per la simulazione in progress dell'applicabilità dei diversi progetti di misura, contribuendo alla idonea definizione di requisiti, parametri e criteri idonei a prevenire i possibili gap di implementazione locali.

Conclusioni

La lettura ecogeografica e paesaggistica del territorio rurale regionale basata sui Sistemi del territorio Rurale (STR) è stata impiegata con successo dalla Direzione generale per le politiche agricole e forestali della Campania, come metodo innovativo di analisi a scala geografica dell'attuazione delle politiche agricole, a partire dal 2007.

Tale analisi si è rivelata di estremo interesse ed utilità, contribuendo ad evi-

denziare la differente intensità di applicazione del programma all'interno dei diversi STR, e quindi dei diversi paesaggi e contesti agroforestali della regione, in termini sia di superficie aziendale beneficiata che di spesa complessiva, anche in assenza, all'interno dei bandi, di criteri territoriali preferenziali di applicazione delle misure.

L'approccio messo a punto è stato in grado di supportare le attività di programmazione, anche consentendo l'individuazione di eventuali gap di implementazione locali che possono aver frenato in taluni contesti l'applicazione di misure pure potenzialmente applicabili, contribuendo alla messa a punto di soluzioni e accorgimenti idonei al loro superamento.

Riferimenti bibliografici

Di Gennaro A., Innamorato F.P. (2005). La grande trasformazione. Il territorio rurale della Campania 1960-2000. Clean edizioni, Napoli

Di Lorenzo A., di Gennaro A. (2008). Una campagna per il futuro. La strategia per lo spazio rurale nel piano territoriale della Campania. Clean edizioni, Napoli.

Klatzmann J. (1957). La division de la France en grandes régions agricoles. In: Etudes et conjoncture. Institut national de la statistique et des études économiques, n. 5, pp. 566-569

Regione Campania (2002). I sistemi di terre della Campania. Assessorato Regionale alla Ricerca Scientifica. Selca, Firenze.

Regione Campania (2005). Verso l'identificazione dei paesaggi della Campania. Assessorato al Governo del Territorio. Selca, Firenze.

Regione Campania, ISTAT (2013). Il territorio rurale della Campania. Un viaggio nei sistemi agroforestali della regione attraverso i dati del sesto Censimento Generale dell'Agricoltura, Imago Editrice srl – Dragoni (CE)

Figura 1. La metodologia impiegata per la definizione dei 28 sistemi del territorio rurale della Campania (STR).

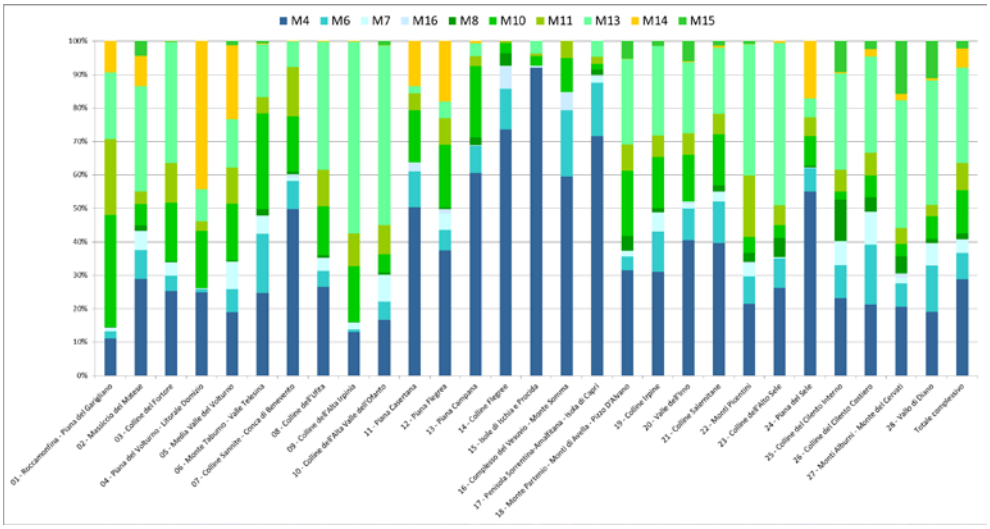


Figura 2. L'analisi della composizione percentuale della spesa del PSR Campania 2014-2022 nel diversi sistemi del territorio rurale evidenzia una specifica capacità di ciascun sistema rurale regionale di "assorbire" le risorse messe a disposizione dal programma. Oltre agli aspetti quantitativi di spesa, emerge anche come ciascuno dei paesaggi rurali regionali abbia in qualche modo messo in campo una propria strategia di utilizzo del programma, con il ricorso ad un particolare mix delle diverse Misure e Sottomisure.

6
Filiere circolari per il bioregionalismo

E. M. Oliva

Introduzione

Filiera[1], in senso stretto, indicava l'attrezzo usato nelle attività di bachicoltura. Era il setaccio di metallo forato attraverso cui passavano i fili di seta per essere regolarizzati. Da qui, per estensione, nel XIX secolo, con l'industrializzazione e la gestione organizzata dei processi economici è passato a rappresentare il gruppo di operazioni concatenate necessarie affinché un bene venisse prodotto, prima la seta, poi qualsiasi altro. Negli anni '60 e '70 le filiere produttive tradizionali, quindi, intese come "l'insieme degli attori che concorrono alla produzione e alla distribuzione di un bene, dalla progettazione al relativo utilizzo finale"[2], definiscono un concetto in ambito industriale, che apporta a uno specifico prodotto un valore aggiunto ad ogni passaggio, legando tra loro fornitori di materie prime, produttori, distributori e utenti. Tradizionalmente, le filiere si sono conformate al carattere lineare dell'economia moderna, esplicando l'iter dell'estrai, produci, consuma e getta. Tuttavia, hanno assunto negli ultimi decenni un significato nuovo. La recente attenzione alla sostenibilità ha spinto verso processi più brevi, trasparenti e locali. Al contempo, il bioregionalismo teorizzato dalla scuola territorialista italiana della quale fanno parte Magnaghi, Colavitti e altri, propone la bioregione come unità di pianificazione ecosistemica, offrendo una prospettiva alternativa basata sull'idea che lo sviluppo economico debba essere radicato nelle peculiarità ambientali e culturali di un'area relativamente limitata. In questa visione, si punta al recupero della relazione co-evolutiva tra insedia-

[1] Vocabolario della lingua italiana TRECCANI.

[2] Anche se non è una definizione pura, la norma ISO 22005 e altre norme UNI parlano della "filiera produttiva" come l'insieme delle fasi di produzione, trasformazione, distribuzione che devono essere tracciate per garantire trasparenza, qualità, sicurezza del prodotto.

menti umani e dotazioni naturali, per la quale, il territorio è inteso come bene comune, ove valorizzare le risorse locali in modo sostenibile. La bioregione, secondo Magnaghi, può essere vista come "*strategia ricostruttiva di un territorio che integra la dimensione policentrica e reticolare dei nodi urbani […] con gli spazi aperti agro-forestali verso equilibri ecosistemici, auto-riproduttivi delle reti ecologiche […] in un rovesciamento del modello di modernizzazione e valorizzazione delle peculiarità del luogo*" [1]. In pratica, lo sviluppo bioregionale mira a "*creare valore locale aggiunto riducendo al minimo il consumo di nuove risorse e chiudendo i cicli dell'acqua, dei rifiuti, del cibo e dell'energia a livello circoscritto*" [2]. Questi due paradigmi, filiera e bioregione, convergendo in principi analoghi e riscontrabili in quelli che sono le basi dell'economia circolare, esplicano l'uso efficiente delle risorse, la circolarità dei flussi materiali e la centralità delle comunità locali. Oltretutto, la sinergia tra differenti filiere produttive e bioregionalismo, risiedendo proprio nella possibilità di ricostituire processi secondo standard circolari, offre l'opportunità di trasformare scarti e sottoprodotti di una filiera in preziose risorse per altre, preferibilmente nell'ambito della stessa bioregione. Tutto ciò non solo costituisce una notevole e necessaria diminuzione dell'impatto ambientale, ma sviluppa nuove relazioni socioeconomiche all'interno delle comunità locali.

Filiera ed economia circolari in architettura

Le catene di approvvigionamento circolari, denominate Circular Supply Chains (CSC), si caratterizzano in "*sistemi auto-rigenerativi che adottano principi dell'economia circolare per estrarre nuovo valore dalle risorse in fine vita, estendere la durata dei prodotti, aumentare l'efficienza delle risorse verso condizioni quasi zero waste*" [3]. In tale ottica, si ampliano i confini delle filiere a ciclo chiuso coinvolgendo più parti interessate, sia aziende appartenenti alle fasi della catena di approvvigionamento lineare, che organizzazioni provenienti da reti industriali esterne, le quali svolgono attività circolari. Entrambe sono tenute a collaborare alla gestione di molteplici flussi di risorse, quali sottoprodotti e scarti, diversi dalle materie prime vergini. In tal modo, le risorse ritornano alle aziende appartenenti al settore della catena di approvvigionamento originale, attraverso cicli chiusi, o a settori diversi o direttamente all'ecosistema naturale, attraverso cicli aperti, innescando un livello più elevato di complessità che caratterizza quindi la transizione verso le (CSC). Tuttavia, nonostante l'interesse per l'argomento, non è ancora stato

sviluppato un quadro solido che esplori le principali dimensioni relative alla complessità delle (CSC). Questa lacuna nella ricerca potrebbe essere affrontata sviluppando un modello concettuale che utilizza la teoria dei "*Sistemi Adattativi Complessi*"[3] (CAS), probabilmente adeguata allo studio dei comportamenti emergenti delle catene di approvvigionamento e all'analisi della transizione dei sistemi di produzione verso un'economia circolare. Un (CAS) è "*un sistema aperto, formato da numerosi elementi che interagiscono fra di loro in modo non lineare e che costituiscono un'entità unica, organizzata e dinamica, capace di evolvere e adattarsi all'ambiente*" [4]. Analogamente, tale modello potrebbe applicarsi allo studio delle dinamiche delle (CSC) in virtù del fatto che vengono concepite come un insieme di agenti interconnessi che si auto-organizzano e co-evolvono con l'ambiente esterno, caratterizzate da diversi livelli di interdipendenza interna ed esterna e da meccanismi di relazione tra le imprese. Al contempo, l'economia circolare definita dall'UE come "*il modello di produzione-consumo che prevede condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibili*" [5], in antitesi alla prassi dell'economia lineare dell'estrarre, produrre, utilizzare e conferire in discarica, detta i principi di circolarità con i quali modulare i virtuosi caratteri delle filiere produttive. In fine, in ambito bioregionale, secondo la Regione Campania è "*possibile e necessario dare vita a nuovi modelli economici, ispirati a concetti di economia circolare o meglio, economia e tecnologia circolari, basati sul massimo sfruttamento e riutilizzo di ogni genere di risorse, per minimizzare gli impatti ambientali e per dare vita a nuove forme di aggregazione produttiva sul territorio*"[4]. I concetti citati, filiere,

[3] Un (CAS) può essere descritto come un instabile aggregato di agenti e connessioni, auto-organizzati per garantirsi l'adattamento. Secondo John Holland (1995), un CAS è un sistema che emerge nel tempo in forma coerente, e si adatta ed organizza senza una qualche entità singolare atta a gestirlo o controllarlo deliberatamente. L'adattamento è raggiunto mediante la costante ridefinizione del rapporto tra il sistema e il suo ambiente (co-evoluzione). Un sistema complesso adattativo è un sistema aperto, formato da numerosi elementi che interagiscono fra di loro in modo non lineare e che costituiscono un'entità unica, organizzata e dinamica, capace di evolvere e adattarsi all'ambiente.
I sistemi complessi sono sistemi il cui comportamento non può essere compreso a partire dal comportamento dei singoli elementi che li compongono in quanto interagenti tra loro: l›interazione tra i singoli elementi determina il comportamento globale dei sistemi e fornisce loro delle proprietà che possono essere completamente estranee agli elementi singoli. Questa proprietà è chiamata *comportamento emergente*, nel senso che a partire dalle interazioni tra i singoli componenti del sistema *emerge* un «comportamento globale» non previsto dallo studio delle singole parti.
I CAS prosperano ai "margini del caos", dove bilanciano stabilità e adattabilità. Troppo ordine soffoca l'innovazione, mentre un'eccessiva casualità porta al caos.

[4] In: Campania Smart Specialization Strategy, Paper: *Energia, Ambiente, Costruzioni sostenibili.* https://europa.regione.campania.it/wp-content/uploads/2022/10/Energia-Ambiente-Costruzioni-Sostenibili_Position-Paper-

economia circolare e bioregionalismo potrebbero fondersi per rendere possibile un modello produttivo che sia efficacemente e localmente sostenibile. La sinergia tra filiere produttive circolari e bioregionalismo risiede proprio nella possibilità di reinventare una catena secondo il paradigma circolare, in cui scarti e sottoprodotti dell'una possono diventare risorse per altre, preferibilmente all'interno della stessa bioregione. Nel contesto dell'industria delle costruzioni, caratterizzata da elevati consumi energetici e notevoli impatti ambientali, quantificabili in circa il 40% delle emissioni di gas serra mondiali[5], la transizione verso filiere circolari e locali è un'opportunità strategica per coniugare crescita economica, coesione sociale e tutela ambientale. La filiera circolare nell'ambito dell'industria delle costruzioni potrebbe alimentarsi dei concetti sopra accennati e indossare una veste bioregionale, ove, i materiali adoperati siano selezionati e utilizzati in modo da nutrire il territorio anziché depauperarlo. Il settore delle costruzioni è cruciale per l'economia circolare, in quanto, da un lato consuma notevoli risorse vergini, dall'altro genera gran parte dei rifiuti. In Italia produce ogni anno volumi enormi di scarti, oltre 57 milioni di tonnellate nel 2017, corrispondenti al 41,3% dei rifiuti speciali nazionali. Questo massiccio contributo di inerti impone un ripensamento delle filiere produttive. Le politiche europee, come la Direttiva Quadro sui rifiuti (98/2008/CE), prevedevano un recupero del 70% degli inerti entro il 2020, tuttavia, secondo il Green Building Council Italia, solamente in cantieri che adottano protocolli di sostenibilità certificati si raggiunge un recupero vicino al 90%, dimostrando il potenziale delle filiere circolari ben progettate. Da qui l'urgenza di trasformare le filiere produttive tradizionali, spesso lineari, in filiere circolari. Ciò richiede in primo luogo l'ecodesign degli edifici, prevedendo la reversibilità di strutture, facciate e impianti in fase di progettazione. Le tecniche raccomandate includono l'impiego di strutture a secco in acciaio o legno lamellare, sistemi modulari plug & play per impianti e materiali isolanti naturali facilmente separabili. In parallelo, occorre sviluppare filiere locali di materiali a basso impatto. Ad esempio, in virtù di un vasto patrimonio boschivo la Toscana ha sviluppato la "filiera del legno" regionale. L'utilizzo di legno toscano nell'ambito dell'architettura sportiva è promosso tramite linee guida regionali, con l'obiettivo di creare posti di lavoro e sostenere un ciclo

S3-2021-2027.pdf#:~:text=possibile%20e%20necessario%20dare%20vita,i%20cui%20prodotti%20siano%20progettati

[5] Dati ISTAT, 2024.

costruttivo a filiera corta. Questa iniziativa evidenzia che materiali locali naturali (legno, pietra, sughero, lana) possono inserirsi in filiere edilizie sostenibili, in linea con il bioregionalismo. Le strategie di filiera circolare si compongono dunque di più elementi integrati, quali il riuso e riciclo dei materiali da costruzione, l'utilizzo di materiali locali o rinnovabili (legno, paglia, fibre naturali, aggregati riciclati), la progettazione modulare e disassemblabile, la co-pianificazione territoriale per far convivere nuove iniziative costruttive con la protezione degli ecosistemi locali. In sintesi, l'economia circolare in architettura impone di chiudere i cicli dei materiali entro il territorio di origine, elemento comune alla visione bioregionale di sviluppo locale sostenibile. Riprendendo l'aspetto della progettazione, un congruo approccio, si individua in progetti architettonici sostenibili che promuovono il "*Design for Disassembly*", concependo gli edifici per poterli smontare e ricostruire facilmente. Ciò implica l'uso di strutture modulari ed elementi rimovibili, quali il legno lamellare, isolanti naturali come la lana, il sughero, la fibra di legno o i fiocchi di cellulosa, escludendo la scelta pannelli "sandwich" termo fusi, oppure optare per giunti meccanici anziché chimici. In questo modo gli elementi costruttivi mantengono la loro integrità e possono essere riutilizzati altrove, riducendo a zero i rifiuti del fine vita. Tale approccio di architettura reversibile consente di trattare la costruzione non come un materiale, ma come un "servizio", integrando l'edificio nel ciclo rigenerativo locale.

Bioregionalismo e filiere produttive

Il bioregionalismo parte dal presupposto che ogni territorio possiede un patrimonio naturale, culturale ed economico unico, e che le attività umane debbano armonizzarsi con questo patrimonio. In tale visione, le filiere produttive diventano bioregionali quando integrano conoscenze ecologiche, biodiversità e tradizioni locali, quando promuovono uno sviluppo locale fondato sulla riconquista dei rapporti tra territorio e comunità, rovesciando l'atteggiamento della modernizzazione che in passato imponeva modelli industriali esterni ai sistemi bio-geo-economici locali. Il core del bioregionalismo si traduce dunque nella valorizzazione dei "giacimenti patrimoniali" quali risorse naturali, culturali, architettoniche e sociali per creare un ciclo virtuoso di rigenerazione. Ciò implica minimizzare i consumi di nuovi territori e chiudere localmente i cicli di materia ed energia. Nelle filiere produttive tradizionali, i processi sono spesso lineari: si estrae, si produce, si consuma e si smaltisce. Il

bioregionalismo ribalta questo paradigma invitando a trattare ogni fase come parte di un ciclo locale, nel quale, anche l'agricoltura locale può diventare fonte di materie prime o sottoprodotti per l'edilizia. Questa visione si lega intrinsecamente all'economia circolare, in cui gli edifici stessi sono visti come "miniere urbane" in grado di restituire valore a fine ciclo vita. Di fatto, le filiere bioregionali circolari cercano di sostituire la triade "*Take-Make-Dispose*" con "*Reduce-Reuse-Recycle*", agendo sui circuiti presenti o attivabili sul territorio. In architettura, questo implica che la progettazione colga e potenzi filiere locali per selezionare materie prime seconde, ridurre le distanze di trasporto, recuperare i rifiuti e considerarli come nuove risorse. Il risultato è un'ecologia della produzione che mette al centro l'autonomia locale e il legame con il sito geografico e culturale, in linea con l'idea magnaghiana di valorizzare le peculiarità dei luoghi. In pratica, per avvicinare l'edilizia circolare al bioregionalismo si richiede una progettazione multiscalare, dalla pianificazione urbana e territoriale fino alla scelta dei materiali. A livello urbano, si promuovono rigenerazione e riqualificazione di edifici esistenti piuttosto di costruire ex novo su suolo vergine, riducendo così il consumo di territorio. Ogni edificio viene considerato come un insieme di risorse, ad esempio, le fondazioni in calcestruzzo possono fornire inerti per nuove opere, le travi in legno possono essere riutilizzate o ri-trattate, le coperture in laterizio reimpiegate altrove, scarti lignei possono diventare isolanti naturali o componenti prefabbricati, residui ceramici possono entrare come aggregati nei materiali compositi, stravolgendo la gerarchia tra rifiuti e risorse, chiudendo i flussi di materia nella filiera edilizia sul territorio. In conseguenza di ciò, progettare "circolarmente" significa ridurre i materiali vergini e i consumi energetici in cantiere, allungare la vita utile delle costruzioni, facilitare il disassemblaggio e la manutenzione, usare preferenzialmente materiali locali, riciclati o biologici, prevedere sistemi costruttivi modulari e adattabili. In tal modo, il legame con le comunità locali e i benefici sociali diventano elementi centrali, ove l'architettura circolare bioregionale non si limita a tecnologie, ma crea economia locale e nuove competenze. Si favorisce l'attivazione di consorzi di imprese territoriali come i "*biodistretti*"[6], la formazione di nuove professioni, quali periti di riciclo edilizio, manager del design sostenibile e il coinvolgimento delle comunità nella gestione dei rifiuti. Come osserva il Green Building Forum

[6] Cfr. *Il paesaggio nel governo del territorio Riflessioni sul Piano Paesaggistico della Toscana*, a cura di Morisi, M., Poli, D., Rossi, M., Firenze University Press, 2018.

Italia 2025, una filiera edilizia circolare robusta richiede la collaborazione di attori pubblici e privati, università, PMI e associazioni, trasformando il ciclo vita dell'architettura in un'occasione per l'innovazione e l'occupazione a livello locale. In sintesi, le filiere circolari in architettura dovrebbero essere progettate in chiave bioregionale, cogliendo le specificità ambientali del territorio, riducendo gli input esterni e massimizzando i benefici eco-sistemici e sociali.

Focus Campania: iniziative e progetti locali

Nel contesto campano, l'ambito delle costruzioni riveste un ruolo economico rilevante con l'8,7% del PIL regionale rispetto all' 8,1% nazionale e genera quasi la metà dei rifiuti speciali con il 48,7% dei totali regionali. Ciò rende la transizione circolare particolarmente urgente. Il contesto locale ha un ruolo determinante nella progettazione delle filiere circolari e la Regione Campania, alle prese con le eredità di crisi ambientali passate, sta riconoscendo l'economia circolare come leva per innovazione e rilancio industriale. Secondo dati del Circular Economy Network, la Campania è mediamente posizionata tra le regioni italiane per pratiche circolari, tuttavia, la trasformazione industriale e la simbiosi tra imprese sono ancora deboli, in parte a causa di barriere normative e strutturali. A ciò si aggiunge la frammentazione amministrativa nella gestione dei rifiuti, che in passato ha rallentato gli investimenti in impianti di riciclo. Sul piano delle filiere produttive regionali, la Campania presenta caratteristiche interessanti, quali un ricco tessuto agroalimentare, distretti industriali (tessile, conciario, agroindustria), un patrimonio storico e risorse lapidee. Ciò suggerisce opportunità per filiere circolari miste, ad esempio, gli scarti di lavorazione dell'olivicoltura o dell'agrumicoltura potrebbero integrarsi in bioedilizia; le pietre di scarto dai materiali lapidei locali possono tornare nei rivestimenti e pavimentazioni interne. In quest'ottica, un recente progetto di ricerca ha sviluppato in Campania un protocollo di certificazione basato sui principi bioregionali. Esso valuta non solo l'impatto ambientale di un materiale, ma anche aspetti culturali e produttivi autoctoni, creando indicatori ecosistemici di filiera. L'analisi di campioni di filiere agroalimentari, zootecniche e lapidee ha permesso di mappare quali tra esse siano più virtuose e potenziali fonti di materie da edilizia. Tale protocollo, validato e orientato all'integrazione BIM e a utilizzi interregionali, dimostra come il bioregionalismo possa tradursi in strumenti operativi di pianificazione edilizia. All'interno della filiera, l'azienda IPS in Irpinia è un esempio virtuoso

di impianto all'avanguardia per il recupero di aggregati. Qui, gli scarti edili, quali frantumati, mattoni, conglomerati e altri vengono separati e riutilizzati come aggregati riciclati per nuovi sottofondi stradali, ferroviari e per opere di ingegneria civile. Grazie a processi di frantumazione e vagliatura avanzati, si ottengono granuli riutilizzabili in massetti o fondazioni. L'uso di questi aggregati riciclati comporta evidenti vantaggi ambientali in termini di risparmio di risorse naturali (ghiaia, sabbia) e di riduzione drastica del volume di rifiuti inviati in discarica. In concreto, su migliaia di tonnellate annue gestite, la IPS ha stimato che l'impiego di materiali da C&D porti a un risparmio significativo di tonnellate di CO_2 rispetto all'uso di materiali vergini. Tali benefici socio-ambientali e l'esperienza diretta delle imprese sono elementi fondamentali per persuadere le comunità locali della validità delle filiere circolari. Analogamente, progetti come EdilCanapa o altre startup mirano a produrre isolanti naturali da canapa locale, valorizzando coltivazioni alternative e sottoprodotti agricoli. Per consolidare la diffusione di queste pratiche, ad esempio, una ricerca promossa dall'Università di Napoli con il contributo regionale ha sviluppato un modello teorico di filiera circolare per l'edilizia. Il modello nasce dall'analisi normativa e tecnologica di esempi virtuosi, valutando con matrici multicriteri gli impatti ambientali, economici e sociali del riuso dei materiali da C&D. Lo studio ha individuato criticità normative e logistiche e proposto soluzioni e linee guida rivolte a enti pubblici e operatori, al fine di standardizzare e promuovere il riciclo nell'ambito delle costruzioni. Tra gli esiti più innovativi figurano anche strumenti futuri come piattaforme digitali per lo scambio di materiali da C&D (marketplace per residui edili) e l'integrazione delle valutazioni di sostenibilità nei processi decisionali degli appalti pubblici. Tali strumenti permetterebbero alle imprese di settori diversi di accordarsi sul riutilizzo di scarti, creando veri e propri network industriali locali che superano i confini delle singole filiere. In sintesi, una buona gestione dei rifiuti da C&D richiede piani integrati di raccolta differenziata in cantiere e di riciclo in impianti idonei, nonché un rafforzamento delle normative e degli incentivi. Il potenziamento degli impianti di trattamento (frantumatori, separatori magnetici per ferri, vagli mobili) e la formazione di una filiera di raccolta specializzata sono passi necessari. Come indicato in report recenti, la riduzione dello smaltimento in discarica (-11% nel 2023) e il record di recupero (73% dei rifiuti speciali totali) mostrano che l'Italia sta compiendo progressi tangibili. Tuttavia, restano grandi margini di miglioramento, specialmente nelle regioni meridionali, dove occorrono infrastrutture dedicate e una governance più snella. Il recente Decreto End-of-Waste (2024) affronta in parte questi proble-

mi, mentre a livello europeo si lavora per definire regole comuni di qualità del riciclato. Tutto ciò converge verso un obiettivo centrale, trasformare il campo degli scarti edilizi in una riserva di risorse per la rigenerazione urbana e territoriale. Anche in Campania, su iniziativa di enti pubblici e centri di ricerca, si sta promuovendo la formazione di "*distretti circolari*" per esempio l'aggregazione di imprese edili, associazioni agricole e istituti tecnici su progetti di simbiosi industriale. In tal modo si intende superare la cultura dell'ecologia come costo e orientarla verso un'opportunità di competitività territoriale. Tuttavia, come osservato in letteratura regionale, rimangono ostacoli normativi, quali l'ambiguità dell'end-of-waste o lunghe procedure per materiali riciclati. La Regione Campania ha quindi inserito nell'ultima programmazione l'obbligo di un Piano Regionale per l'Economia Circolare, che identifica priorità settoriali e favorisce la nascita di aggregazioni territoriali, semplificando iter autorizzativi e incentivando le imprese virtuose con strumenti fiscali e finanziari. In particolare, nel settore edilizio si ipotizza di potenziare centri di stoccaggio dei materiali recuperati, di promuovere gare d'appalto verdi per riutilizzo nei lavori pubblici e di istituire un sistema di "porta a porta" industriale per i materiali da costruzione. Inoltre, un più stretto coordinamento tra soggetti pubblici (Comuni, ARPA, Regione) e sportelli tecnici semplificati aiuterebbe le PMI edilizie a orientarsi nel nuovo panorama normativo.

Casi virtuosi e buone pratiche in altre regioni

Oltre alla Campania, diverse regioni italiane offrono esempi di filiere edilizie circolari affini al bioregionalismo. In Toscana, come visto, l'abbondanza di boschi ha portato alla promozione di un modello costruttivo basato sul legno autoctono. Linee guida regionali per edifici sportivi incentivano l'uso di legname locale, creando una filiera corta che coniuga sviluppo economico, sostenibilità e identità sociale. In Lombardia, ANCE e associazioni di categoria hanno lanciato protocolli per la gestione dei rifiuti da costruzione e piattaforme digitali come il "Borsino Inerti" per stimolare il riciclo degli aggregati. In Emilia-Romagna e Piemonte si sono consolidate esperienze di edilizia in paglia e terra cruda, recuperando tecniche tradizionali a filiera locale, anche grazie al ruolo dei piccoli laboratori artigiani. Nel Sud, il bio-distretto delle verdi Colline del Sannio (Campania) sta esplorando l'uso di argille e paglia nella bioedilizia rurale. A livello nazionale, vari progetti pilota come il padiglione Italia a Expo illustrano edifici disassemblabili in legno lamellare o mat-

toni prefabbricati modulari. A livello tecnico, reti di imprese (poli tecnologici, distretti produttivi, ecomusei dell'architettura rurale) collegano produttori di materiali locali, imprese edilizie e progettisti, creando agglomerati di circolarità bioregionale. In sintesi, benché mancanti in molte aree politiche dedicate, tali iniziative indicano una crescita di consapevolezza nazionale verso filiere edilizie circolari basate su risorse autoctone.

Interconnessioni tra filiere produttive

Un filone strategico di ricerca riguarda le simbiosi industriali tra differenti filiere. L'idea è creare un circuito virtuoso in cui lo scarto di una filiera diventa materia prima (o combustibile, nutriente, ecc.) per un'altra filiera nel territorio. Nel caso dell'edilizia, si parla spesso di "*Industrial Symbiosis*" applicata alle costruzioni. Ad esempio, oltre ai rifiuti inerti, si possono mettere in relazione scarti agro-industriali con edilizia (paglia o canapa per isolanti, vinacce per additivi cementizi), sottoprodotti zootecnici con bioedilizia (es. letame trasformato in biomassa), fanghi di depurazione con produzione di calcestruzzo leggero, scarti di carni e farine animali con biogas per materiali sintetici, ecc. Questo tipo di strategie "*place-based*" avvicina notevolmente il bioregionalismo all'economia circolare, perché attiva reti locali di interscambio. Analogamente, la simbiosi può attivarsi anche tra il settore edilizio e altri settori, ad esempio, impianti di digestione anaerobica cedono biogas per materiali plastici, imprese tessili cedono scarti per pannelli isolanti, l'industria del vetro ricicla sabbia dagli scarti edilizi, e altri. La seguente tabella riassume alcuni esempi concreti di interconnessioni circolari fra filiere, con possibili destinazioni per materiali di scarto.

Filiera donatrice	Scarto/sottoprodotto	Filiera ricevente	Uso potenziale
Edilizia (C&D)	Aggregati riciclati (calcestruzzo, laterizi, ecc.)	Infrastrutture e opere stradali	Nuovi sottofondi stradali/ferroviari, fondazioni
Agricoltura (canapa)	Canapulo, fibre di canapa	Bioedilizia	Isolanti naturali, calcestruzzo di canapa

Filiera donatrice	Scarto/sottoprodotto	Filiera ricevente	Uso potenziale
Industria del legno	Trucioli e segatura di legno	Produzione di pannelli, MDF	Pannelli truciolari per edilizia e mobili

Tabella 1. Uso di prodotti per una filiera circolare.

La Tabella 1 sintetizza come scarti provenienti dall'edilizia, dall'agricoltura e dalla lavorazione del legno possano fluire in nuove filiere, seguendo la logica circolare. Ad esempio, gli aggregati riciclati derivanti da demolizioni edili, come dimostrano i dati dell'azienda IPS in Campania, si prestano a sottofondi stradali o riempimenti per infrastrutture. Allo stesso modo, le fibre di canapa, un sottoprodotto dell'industria agricola, sono impiegate da aziende di bioedilizia in blocchi isolanti leggeri. I trucioli di legno recuperati dalle segherie o falegnamerie possono invece alimentare la produzione locale di pannelli in legno riciclato per l'edilizia. Questi esempi confermano che il superamento dei confini settoriali, favorendo simbiosi industriale e piattaforme di scambio, è fondamentale per valorizzare gli scarti come risorse secondo una visione bioregionale.

Strategie di implementazione delle filiere circolari bioregionali

Per diffondere filiere edilizie circolari nel quadro bioregionale, occorrono azioni sinergiche a vari livelli. Innanzitutto, occorrono politica e incentivi fiscali o appalti verdi (Green Public Procurement) specifici per l'uso di materiali locali riciclati e l'introduzione di requisiti bioregionali nei CAM edilizi. Inoltre, piani territoriali integrati (es. patti di filiera, contratti di sviluppo) possono coinvolgere agricoltori, artigiani e imprese edili per organizzare filiere brevi. A livello normativo possono emergere certificazioni bioregionali (come il protocollo sperimentale campano) che valutano globalmente materiali da costruzione sotto profili ambientali, sociali e culturali. Nei settori tecnico e industriale, occorre sviluppare infrastrutture e tecnologie abilitatrici, impianti di selezione e riciclo degli inerti da costruzione, reti di scambio materiali (come la piattaforma digitale ipotizzata) e cataloghi regionali delle risorse locali. Inoltre, la formazione professionale dovrebbe includere competenze di economia circolare e gestione locale (es. tecnici specializzati in architettura

sostenibile). Anche la committenza pubblica ha un ruolo chiave mediante bandi che richiedono progetti di rigenerazione urbana con riuso degli edifici esistenti o bioedilizia che possono stimolare il mercato. Infine, andrebbe supportata la consapevolezza e partecipazione delle comunità, attraverso iniziative di educazione civica, ecomusei dell'architettura, open days nei cantieri circolari, i quali aiuterebbero a costruire la "coscienza di luogo" auspicata dai bioregionalisti. In pratica, ogni filiera circolare richiede la collaborazione di produttori, trasformatori e utilizzatori all'interno della stessa area geografica, i quali potrebbero agire in simbiosi e operare in modo da attuare uno scambio reciproco di risorse materiali e immateriali. Scarti quali i residui di potatura dei vigneti potrebbero diventare biomasse isolanti, i rifiuti di pietra da cava potrebbero alimentare un cantiere di edifici in pietra locale, le pareti verdi di un parco urbano potrebbero utilizzare materiali estrusi da sottoprodotti lignei e così via.

Casi virtuosi in Europa

Al di fuori della Campania e dell'Italia, numerosi casi internazionali mostrano concretamente come architettura, filiere locali e circolarità possano convivere con successo. Tra gli esempi più noti si citano De Ceuvel ad Amsterdam Nord (NL), ove, un ex cantiere navale inquinato è stato trasformato in un polo di innovazione circolare. Grazie alla società Space&Matter e all'amministrazione locale, il sito è stato rigenerato con tecnologie *closed-loop* e materiali di scarto a chilometro zero. Come afferma uno dei fondatori, si è trasformato un terreno di scarso valore in un luogo di eccellenze cleantech e riciclo di risorse locali. De Ceuvel ospita uffici aziendali, serre acquaponiche, spazi per start-up e un caffè ricavato da container riciclati, oltre a un laboratorio didattico divenuto un ecodistretto visitato ogni anno da migliaia di persone. Un altro caso emblematico è il progetto Blue City di Rotterdam (NL), portato avanti dallo studio Superuse Studios. Qui un vecchio parco acquatico è stato riallestito usando il 90% dei materiali provenienti da edifici abbandonati e dallo stesso sito (spugne filtranti, vetro, acciaio, plastiche). Questo riuso massivo ha permesso un risparmio di circa 60 tonnellate di CO_2 rispetto a una costruzione convenzionale. Blue City oggi ospita imprese del bio-design e dell'IT green incarnando l'idea dell'edificio-giacimento, infatti, a fine ciclo vita, la struttura potrà essere completamente smontata e ricostruita altrove. Altri esempi includono progetti di architettura in legno, come gli edifici della

banca Triodos ad Amsterdam, concepiti per fungere da "deposito di materiali" gestiti tramite un catasto digitale dei componenti (Madaster). Questi casi, come altri, mettono in luce alcuni elementi ricorrenti quali l'utilizzo prevalente di materiali riutilizzabili, design per il disassemblaggio, coinvolgimento della comunità e dell'economia locale, flessibilità degli spazi urbani. In sintesi, a livello internazionale la filiera circolare in edilizia si realizza attraverso quattro pilastri chiave che sono i materiali rinnovabili o riciclati al 100%, la progettazione modulare e ricombinabile, le infrastrutture digitali per tracciare e scambiare componenti (catasto materiali), una governance partecipata che lega istituzioni, imprese, cittadini. Questi principi, pur declinati diversamente secondo il contesto nazionale, rispecchiano le istanze del bioregionalismo nel valorizzare ciò che già esiste, ottimizzare i flussi locali e mantenere i cicli chiusi sul territorio.

Conclusioni

Il passaggio a filiere edilizie circolari bioregionali richiede un vero salto di paradigma che si esplica nell'edificio inteso come corpo rigido e isolato alla città-territorio concepita come ecosistema integrato. Il compimento dei principi dell'economia circolare e del bioregionalismo può orientare un'edilizia davvero sostenibile che riguarda edifici progettati per essere smontati, materiali locali e naturali, strutture produttive che chiudono i cicli nei territori di origine. Restano però sfide organizzative e culturali. Occorre un coordinamento tra enti, imprese e comunità, strumenti concreti di valutazione territoriale, normative cogenti orientate alla rigenerazione locale. Le esperienze citate, dalla filiera del legno toscano ai protocolli bioregionali campani, mostrano la fattiva possibilità di dare corpo a questi concetti. In prospettiva, l'ampia adozione delle filiere circolari nell'edilizia non solo ridurrà gli impatti ambientali, ma ridarà valore alle identità locali, generando economie resilienti auto-sostenibili secondo i principi bioregionali. Inoltre, la sinergia tra filiere circolari ed economia bioregionale offre una visione strategica e concreta per la progettazione sostenibile dell'architettura e delle costruzioni. Il bioregionalismo implica una rivalutazione delle peculiarità locali, ambientali, culturali ed economiche per costruire filiere produttive integrate e rigenerative nel settore delle costruzioni. Ciò si traduce nel favorire il riciclo e il riuso dei materiali, nell'utilizzare risorse naturali e tradizionali del territorio (pietra locale, canapa, legno certificato, ecc.), e nel pianificare l'uso del suolo in modo da

ridurre l'impronta ecologica complessiva. Appare evidente che differenti figure, come architetti e tecnici di settore debbano assumere un ruolo proattivo, ove, oltre a progettare forme e funzioni, devono cogliere e azionare le filiere presenti o attivabili sul territorio. Progettare in chiave circolare significa dunque disegnare edifici smontabili, utilizzare materiali con lungo ciclo vita e considerare l'intero tessuto produttivo circostante. A livello urbano, si intende favorire riqualificazioni anziché espansioni, in un approccio di rigenerazione urbana dove gli scarti edilizi alimentano nuove costruzioni. I benefici di tali strategie sono molteplici. Sul fronte ambientale, la chiusura dei cicli di materia riduce i prelievi di risorse vergini e limita le emissioni climalteranti; infatti, ogni chilogrammo di calcestruzzo riciclato in meno in discarica o di legno riutilizzato in più si traduce in minori emissioni di CO_2 e in minor consumo di energia per estrazione e lavorazione. Sul piano economico, nasce un valore aggiunto territoriale, ove, la creazione di distretti circolari e di nuovi posti di lavoro specializzati genera occupazione locale e competitività. Sul piano sociale, una filiera edilizia radicata in loco rafforza il senso di comunità, in quanto, i cittadini vedono che riqualificano il proprio patrimonio urbano, trasformando rifiuti in risorse e migliorando il paesaggio. In Campania, ad esempio, cooperative che operano nell'ambito del recupero o di scarti urbani hanno dimostrato come il "circolare" possa generare coesione sociale e inclusione lavorativa. Per avviare pienamente questo modello, tuttavia, sono necessarie politiche e strumenti adeguati. Occorrerebbe un quadro normativo semplificato e incentivi mirati per l'applicazione del framework delle "10R" oltre a reti collaborative tra diversi attori (piani di filiera pubblico-privati, piattaforme digitali di scambio, laboratori di ricerca applicata). Appare evidente che il processo circolare e il bioregionalismo non siano idee utopiche, ma prospettive praticabili e necessarie per un opportuno cambio di rotta. Da Triodos Bank a Blue City, fino alle iniziative locali in Campania, esistono testimonianze concrete di edifici e quartieri che prosperano secondo questi principi. Tali realizzazioni insegnano che è possibile conciliare progettazione architettonica avanzata, conservazione dell'ambiente e benessere delle comunità. In conclusione, le filiere circolari per il bioregionalismo rappresentano un paradigma di sviluppo capace di unire sostenibilità ambientale, resilienza economica e coesione sociale, soprattutto a livello locale. Principi per i quali l'architettura ricopre un ruolo cruciale in un periodo di transizione, mostrandosi quale volano di rigenerazione per le comunità. Occorre quindi continuare a diffondere conoscenze e buone pratiche, sostenere la ricerca e promuovere un approccio integrato alle politiche pubbliche. In tal modo si potrebbe completare la tra-

sformazione delle filiere edilizie verso modelli circolari e bioregionali, coerenti con le sfide ecologiche, sociali e di sostenibilità duratura del XXI secolo.

Bibliografia

[1] Magnaghi, A., "La regola e il progetto : un approccio bioregionalista alla pianificazione territorial", Firenze University Press. 2014. Pag. 286.

[2] Colavitti, A.M., Serra, S., Usai, A., "L'esperienza bioregionalista e lo sviluppo delle aree interne" Firenze University Press. 2018. https://oajournals.fupress.net/index.php/contesti/article/download/10635/10630/10472#:~:text=trattazione%20integrata%20degli%20elementi%20che,Tabella%201

[3] Massari, G., F., Nacchiero, R., Giannoccaro, I., F., *Circular Supply Chains as Complex Adaptive Systems: a conceptual framework*. (2022). In 22nd Working Seminar on Production Economics Innsbruck, Austria 21-25 Febbraio 2022.

[4] Holland, J., *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Reading, MA: Helix Books / Addison-Wesley. 1995.

[5] Parlamento europeo, tematiche, articolo: "*Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi*". Data di pubblicazione: 25-05-2023, ultimo aggiornamento: 25-05-2023. https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi#:~:text=L%E2%80%99economia%20circolare%20%C3%A8%20un%20,il%20pi%C3%B9%20a%20lungo%20possibile

In: Campania Smart Specialization Strategy, Paper: *Energia, Ambiente, Costruzioni sostenibili*.

https://europa.regione.campania.it/wp-content/uploads/2022/10/Energia-Ambiente-Costruzioni-Sostenibili_Position-Paper-S3-2021-2027.pdf#:~:text=possibile%20e%20necessario%20dare%20vita,i%20cui%20prodotti%20siano%20progettati

[6] Cfr: Ostapska, K., Ruther, P., Loli A., et al., *Design for Disassembly: A systematic scoping review and analysis of built structures* Designed for Disassembly. Sustainable Production and Consumption 2024.

7
La prospettiva manageriale per rispondere alla sfida del riuso degli scarti in architettura: dalla dimensione economica alla prospettiva della tripla elica della sostenibilità

F. Caputo

Introduzione

Negli ultimi decenni le sfide della sostenibilità e i connessi imperativi in termini di scelte manageriali, comportamenti di consumo e stili di vita sono progressivamente diventati temi di interesse e fulcro di discussione per molteplici filoni di studi e aree disciplinari (Markevich, 2009). In siffatto scenario, caratterizzato da una crescente complessità e incertezza rispetto all'adozione di pratiche e protocolli condivisi, il tema del riuso degli scarti nell'architettura e nell'edilizia si colloca oggi al crocevia tra sostenibilità ambientale, competitività economica e responsabilità sociale (Munaro & Tavares, 2023).

Secondo recenti stime, a livello europeo il settore delle costruzioni è responsabile per oltre un terzo della produzione complessiva di rifiuti (Geissdoerfer *et al*., 2017), quindi rappresenta un ambito fortemente attenzionato sia con riferimento agli innegabili impatti ambientali sia con riferimento alle possibili misure da adottare per migliorarne l'efficienza gestionale (Fořt & Černý, 2020). Partendo da tale assunzione, la prospettiva dell'economia circolare, che mira a trasformare i rifiuti in risorse, assume una valenza strategica nell'ambito in discussione, non solo ai fini della riduzione degli impatti ecologici, ma anche per l'individuazione di innovativi percorsi strategici su cui fondare (o ripensare) le future evoluzioni del mercato di riferimento (Osobajo *et al*., 2022).

Affrontare il tema ampio della 'sostenibilità' e parlare in di economia circolare in un ambito articolato quale quello dell'architettura e dell'edilizia, richiede però di superare la consolidata visione di natura riduzionistica incentrata sull'analisi, misurazione e controllo delle singole parti quale percorso per la comprensione e gestione complessiva di fenomeni non ben decodificati per indirizzare l'attenzione dei vari attori coinvolti verso una prospettiva olistica in grado di recuperare la dimensione contestuale e di collegare le parti,

comprenderne le interrelazioni e interpretarne le evoluzioni (Sparrevik *et al.*, 2021). In tale quadro il management, inteso quale 'scienza delle decisioni', non può più limitarsi a svolgere un ruolo 'operativo' esclusivamente interessato ad assicurare l'efficienza dei processi e l'efficace raggiungimento delle finalità organizzative, ma deve evolvere verso un assetto di 'regia sistemica' fondato sui principi della sostenibilità quali valori guida e non più semplici standard da rispettare (Barile & Saviano, 2017).

L'implementazione di pratiche di riuso richiede infatti la capacità di governare processi complessi, connessi a dinamiche tecnologiche, organizzative e culturali, nonché di costruire alleanze stabili tra università, imprese e istituzioni, come ben sintetizzato dal modello della tripla elica (Etzkowitz & Leydesdorff, 1995). Tale necessità si innesta in una più ampia visione scientifica sulla sostenibilità come *processo co-creato*, nell'ambito del quale la generazione di valore economico, sociale e ambientale richiede il riconoscimento e la stimolazione di processi di adattamento continuo e di allineamento cognitivo tra gli attori (Saviano *et al.*, 2025). Partendo da tali riflessioni, la Tripla Elica è intesa come il modello co-evolutivo del cambiamento, in cui le traiettorie di sviluppo emergono dall'interazione complessa tra dinamiche economiche, strutture cognitive e vincoli territoriali (Barile et al., 2015).

In tale direzione, il presente capitolo si propone di approfondire il ruolo del management nel promuovere il riuso degli scarti in architettura, evidenziando la centralità della dimensione economica e l'importanza della tripla elica quale chiave interpretativa per la co-creazione di percorsi di sviluppo sostenibile. L'analisi si articola in tre sezioni: una disamina sintetica del passaggio "dal rifiuto alla risorsa" nella prospettiva della dimensione economica alla luce del contributo interpretativo fornito da alcuni recenti avanzamenti sul modello della tripla elica, un approfondimento sullo specifico ambito di riflessione dell'architettura e dell'edilizia con particolare riferimento all'applicazione (o meglio applicabilità) degli standard di sostenibilità e una sintesi conclusiva.

Dal rifiuto alla risorsa attraverso l'evoluzione dalla dimensione economica alla prospettiva sistemica del management

La possibilità di poter 'trasformare' i rifiuti edili in materiali per nuovi processi ed attività non è sicuramente qualcosa le cui origini sono da imputare agli ultimi anni in quanto il recupero di pietre, laterizi e legname era una pra-

tica molto diffusa nelle culture pre-industriali (Barker & Marano, 2017). Ciò nonostante, nel corso del tempo, tale pratica ha assunto un significato nuovo grazie al contributo offerto dalle nuove tecnologie e dalla connessa individuazione di processi innovativi tramite cui trattare e ricondizionare scarti di calcestruzzo, vetro, metalli e plastiche, per generare nuovi prodotti (Porter & van der Linde, 1995).

L'impegno profuso dalle istituzioni nazionali e sovrannazionali nella costruzione di protocolli di certificazione nell'ambito dell'architettura e dell'edilizia (Franco *et al.*, 2021; Meena *et al.*, 2022) ha permesso di rendere noto il ruolo dell'analisi multicriterio (ambientale, sociale ed economica) nella determinazione degli 'standard' di sostenibilità di tali percorsi di recupero e riutilizzo offrendo interessanti stimoli di riflessioni sull'ambito passaggio da "rifiuto" a "risorsa".

Tale dinamica evolutiva, in quanto potenziale risultato dell'interazione tra attori, processi, esigenze e aspettative talvolta divergenti, non può essere perseguita attraverso interventi estemporanei ma richiede una visione strategica di lungo periodo, capace di integrare innovazione tecnologica, strumenti normativi e modelli di business (Caputo *et al.*, 2025). Integrazione che spetta al management attraverso la realizzazione di un duplice compito: da un lato garantire efficienza operativa nella raccolta, selezione e trasformazione degli scarti; dall'altro generare coerenza strategica tra gli attori coinvolti.

Con riferimento a questo secondo compito, il management può (e deve) manifestare il proprio contributo riconoscendo che ogni processo di creazione di valore non è un atto unidirezionale, bensì il risultato di interazioni e di scambio di risorse (Vargo & Lusch, 2004), rese possibili da strategie basate sulla condivisione di informazioni e sul coinvolgimento di tutti gli attori (direttamente e indirettamente) interessati (Caputo & Evangelista, 2018).

In tale prospettiva spetta al management favorire flussi informativi e piattaforme di coordinamento che mettano in rete demolitori, riciclatori, produttori di materiali e progettisti (tra gli altri) assicurando a ciascun attore la disponibilità di dati affidabili sui volumi e sulle caratteristiche dei materiali di scarto al fine di progettare catene logistiche efficienti e modelli di business innovativi in grado di combinare know-how tecnico e sensibilità ambientale (Caputo *et al.*, 2023).

Sul piano dei modelli di business, il management è chiamato a individuare configurazioni economicamente sostenibili che rendano conveniente l'utilizzo di materiali riciclati (Güsser-Fachbach *et al.*, 2023). L'adozione di certificazioni di qualità, la tracciabilità dei prodotti e la valorizzazione estetica del

riuso possono aumentare l'accettabilità di mercato, contribuendo a creare un "marchio" per l'architettura e l'edilizia circolare quale driver per stimolare il cambiamento culturale ormai da più fronti invocato.

In tale percorso 'evolutivo', la convenienza economica rappresenta una delle condizioni necessarie affinché pratiche e processi di riuso possano trovare applicazione su larga scala laddove è facilmente riconoscibile che, in un mercato basato sulla competizione e sulla libertà di scelta, se i costi di recupero superano il prezzo delle materie prime vergini, gli attori tenderanno a privilegiare queste ultime. Da qui la necessità di sviluppare analisi costi-benefici di tipo 'ampie', ovvero in grado di tenere conto non solo dei costi diretti associati alle forniture e ai processi di costruzione ma anche dei vantaggi di medio-lungo termine per la collettività tutta (quali ad esempio il risparmio sul conferimento in discarica e la progressiva maggiore resilienza dell'approvvigionamento).

In un'accezione ampia, diversi contributi sull'economia circolare (Geissdoerfer *et al.*, 2017) evidenziano come la creazione di valore può avvenire sia per riduzione dei costi sia per generazione di nuovi ricavi. Tale duplice possibilità di risultato rappresenta, per i policy makers e per gli attori della filiera, un elemento di fondamentale importanza per intraprendere percorsi tramite cui 'riequilibrare' il rapporto costi/benefici nei processi di recupero e riutilizzo degli scarti di produzione.

Nonostante la rilevanza di tale aspetto, occorre, però, rilevare che, con riferimento al tema in discussione, la dimensione economica non è da concepirsi esclusivamente in 'termini monetari' in quanto il valore di un progetto di architettura sostenibile dipende anche (e forse soprattutto) dalla sua accettabilità sociale e dalla capacità di generare impatti positivi sul territorio e per la società. In tale prospettiva, la valorizzazione di materiali di recupero legati alla tradizione costruttiva, oltre a contribuire all'identità culturale dei luoghi, può costituire un fattore di differenziazione competitiva contribuendo all'avvio di 'circuiti' virtuosi in cui ciascun attore coinvolto contribuisce al risultato comune attraverso la soddisfazione di bisogni e aspettative individuali (Saviano *et al.*, 2025). Si tratta, in altri termini, di stimolare l'emersione di un sistema complesso adattivo in cui la sostenibilità emerge come risultato di cicli di feedback rinforzanti e bilancianti (Dentoni *et al.*, 2021). I primi amplificano le pratiche virtuose (ad esempio quando la ricerca universitaria genera nuove tecnologie di riciclo e le imprese le adottano). I secondi assicurano l'equilibrio tra gli attori, correggendo deviazioni che potrebbero compromettere la stabilità del sistema (ad esempio normative che limitano l'uso eccessivo di risorse) (Meadows, 1994). Attraverso siffatto percorso, la sostenibilità, nell'ambito del

riuso architettonico, si configura come proprietà emergente di un ecosistema in cui *l'allineamento cognitivo* diventa condizione 'abilitante' per l'azione collettiva (Caputo, 2021) e il management, agendo sulla dimensione economica (quale accezione di comune interpretazione) ha il compito di promuovere piattaforme di dialogo, garantendo la trasparenza dei dati e monitorando l'efficacia delle politiche per assicurare che l'approccio all'economia circolare non resti un modello astratto, ma si traduce in progetti concreti di capaci di generare benefici ambientali, economici e sociali in modo sinergico (Caputo *et al.*, 2018).

Il contributo di un 'management della sostenibilità' per la filiera dell'architettura e dell'edilizia

Adottando una prospettiva basata sui principi della sostenibilità e sulle possibili implementazioni di standard, protocolli e processi in grado di favorire una 'reale' economia circolare, le specificità del settore dell'edilizia e dell'architettura risiedono nella necessità di intervenire su tutte le fasi e su tutti gli attori della filiera (dalla progettazione alla costruzione e fino alla gestione dei materiali) considerandone gli impatti lungo l'intero ciclo di vita.

In tale prospettiva un possibile 'management della sostenibilità' per la filiera dell'architettura e dell'edilizia non può non tener conto di quattro direttrici fondamentali:

- In fase di progettazione, l'adozione di strategie modulari (progettazione per moduli) e il riuso adattivo degli edifici consentono di facilitare il recupero di materiali a fine vita e di ridurre la generazione di scarti (Garusinghe *et al.*, 2023).
- A livello costruttivo, il passaggio dalla demolizione tradizionale a pratiche di decostruzione selettiva permette di massimizzare il reimpiego delle materie prime e di minimizzare il conferimento in discarica (Allam & Nik-Bakht, 2023).
- Sul piano della filiera produttiva, l'allineamento strategico dei molteplici e diversi attori coinvolti (demolitori, riciclatori, produttori di materiali, …) è cruciale per assicurare la qualità dei materiali recuperati e ridurre i costi di transazione nei mercati dei materiali rigenerati.
- In termini di valutazione delle pratiche di sostenibilità, è necessario adottare un set di indicatori multidimensionale che abbracci non solo le consuete metriche ambientali (ad esempio, riduzione delle emissioni di CO_2,

risparmio energetico, tasso di riciclo dei materiali), ma anche indicatori economici (come il costo evitato di smaltimento e il Return on Investment della filiera circolare), sociali (quali il numero di posti di lavoro creati, il miglioramento della salute e sicurezza per lavoratori e comunità) e di governo (quali il livello di trasparenza nelle pratiche aziendali, la partecipazione degli stakeholder e l'adozione di protocolli di certificazione o standard ESG).

In ambito accademico e tecnico molteplici sono stati e sono tuttora in fieri i tentativi di definire quadri di riferimento per misurare la sostenibilità del riuso edilizio lungo queste quattro direttrici attraverso la definizione di matrice di indicatori di filiera ispirata ai criteri ESG (ambientali, sociali e di governance), con soglie di performance ancorate a linee guida internazionali (ESRS, GRI, SASB, EU Taxonomy, ecc.), al fine di monitorare l'efficacia degli interventi di riuso in architettura. Sul versante metodologico, emergono approcci innovativi che combinano l'analisi del ciclo di vita (LCA) con specifici indicatori di circolarità attraverso metodi di analisi multicriterio, fornendo strumenti di valutazione più completi per i progetti di riuso. Tale integrazione consente di cogliere sia le prestazioni ambientali sia il grado di circolarità dei materiali impiegati, evidenziando eventuali trade-off tra obiettivi ecologici, economici e sociali.

In definitiva, dotare l'architettura di metriche e metodi di valutazione adeguati alla sua complessità settoriale significa poter rendicontare con rigore scientifico i benefici del riuso offrendo basi empiriche solide a supporto di politiche e pratiche progettuali sempre più orientate alla circolarità (Barrak *et al*., 2024).

Riflessioni conclusive

Il riuso degli scarti nella filiera edile e dell'architettura non è semplicemente un problema tecnico, ma una sfida di *governance* che richiede visione strategica, capacità di mediazione e competenze interdisciplinari. La sostenibilità, lungi dall'essere un traguardo statico, si manifesta come processo dinamico di apprendimento e adattamento, alimentato dall'interazione ricorsiva di molteplici transizioni paradigmatiche nelle quali il management funge da catalizzatore di innovazione e garante di equilibrio dinamico fra le dimensioni economia, ambiente e società (Caputo et al., 2023).

In tal senso, il riuso degli scarti diventa la possibile leva di rappresentazio-

ne di una nuova "cultura del costruire" nell'ambito della quale il management ha il compito di assicurare condizioni di efficacia e di efficienza (non solo economica) per la piena e sostenibile fruizione di materia e idee per un futuro più equo e resiliente coerente con le sfide dell'attuale epoca "Antropocene"(Caputo et., 2018).

Bibliografia

Allam, A. S., & Nik-Bakht, M. (2023). From demolition to deconstruction of the built environment: A synthesis of the literature. Journal of Building Engineering, 64, 105679.

Barile, S., & Saviano, M. (2017). Complexity and sustainability in management: insights from a systems perspective. In *Social dynamics in a systems perspective* (pp. 39-63). Cham: Springer International Publishing.

Barile, S., Saviano, M., Iandolo, F., & Caputo, F. (2015). La dinamica della sostenibilità tra vortici e correnti. In *XXXVII Convegno Nazionale AIDEA Sviluppo, sostenibilità e competitività delle aziende: il contributo degli economisti aziendali, Università Cattolica del Sacro Cuore-Piacenza, 10-11-12 settembre 2015.* (pp. 1-21).

Barker, S. J., & Marano, Y. A. (2017). Demolition laws in an archaeological context. Legislation and architectural re-use in the Roman building industry. *Decor. Decorazione e architettura nel mondo romano, Roma*, *2017*, 833-850.

Barrak, E., Rodrigues, C., Antunes, C. H., Freire, F., & Dias, L. C. (2024). Applying multi-criteria decision analysis to combine life cycle assessment with circularity indicators. Journal of Cleaner Production, 451, 141872.

Caputo, F. (2021). Towards a holistic view of corporate social responsibility. The antecedent role of information asymmetry and cognitive distance. *Kybernetes*, *50*(3), 639-655.

Caputo, F., & Evangelista, F. (2018). Information sharing and cognitive involvement for sustainable workplaces. In R. D. Leon (Ed.), *Managerial strategies for business sustainability during turbulent times* (pp. 122–139). IGI Global.

Caputo, F., Buhnova, B., & Walletzký, L. (2018). Investigating the role of smartness for sustainability: Insights from the smart grid domain. *Sustainability Science, 13*, 1299–1309.

Caputo, F., Cervino, C., D'Amore, R., & Bosco, G. (2025). Back to the future… the hourglass of sustainability between personal and social orientations. In *Innovative sustainable and socially responsible society: Personal responsibility as a part of social responsibility and sustainability.* IRDO.

Caputo, F., Magliocca, P., Canestrino, R., & Rescigno, E. (2023). Rethinking the role of technology for citizens' engagement and sustainable development in smart cities. *Sustainability, 15*(13), 10400.

Dentoni, D., Pinkse, J., & Lubberink, R. (2021). Linking sustainable business models to socio-ecological resilience through cross-sector partnerships: A complex adaptive systems view. *Business & Society*, *60*(5), 1216-1252.

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (1995). The Triple Helix: University–industry–government relations: A laboratory for knowledge-based economic development. *EASST Review, 14*(1), 14–19.

Fořt, J., & Černý, R. (2020). Transition to circular economy in the construction industry: Environmental aspects of waste brick recycling scenarios. *Waste Management*, *118*, 510-520.

Franco, M. A. J. Q., Pawar, P., & Wu, X. (2021). Green building policies in cities: A comparative assessment and analysis. *Energy and buildings*, *231*, 110561.

Garusinghe, G. D. A. U., Perera, B. A. K. S., & Weerapperuma, U. S. (2023). Integrating circular economy principles in modular construction to enhance sustainability. *Sustainability*, *15*(15), 11730.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production, 143*, 757–768.

Güsser-Fachbach, I., Lechner, G., Ramos, T. B., & Reimann, M. (2023). *Repair service convenience in a circular economy: a multi-stakeholder perspective*. University of Graz, School of Business, Economics and Social Sciences.

Markevich, A. (2009). The evolution of sustainability. *MIT Sloan Management Review*, *51*(1), 13.

Meadows, D. H. (1994). *Thinking in systems: A primer.* Chelsea Green.

Meena, C. S., Kumar, A., Jain, S., Rehman, A. U., Mishra, S., Sharma, N. K., & Eldin, E. T. (2022). Innovation in green building sector for sustainable future. *Energies*, *15*(18), 6631.

Munaro, M. R., & Tavares, S. F. (2023). A review on barriers, drivers, and stakeholders towards the circular economy: The construction sector perspective. *Cleaner and Responsible Consumption*, *8*, 100107.

Osobajo, O. A., Oke, A., Omotayo, T., & Obi, L. I. (2022). A systematic review of circular economy research in the construction industry. *Smart and Sustainable Built Environment*, *11*(1), 39-64.

Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives, 9*(4), 97–118.

Saviano, M., Barile, S., Caputo, F., & La Sala, A. (2025). Sustainability as a co-created service: Integrating complex adaptive systems and service-dominant logic within the triple helix framework. *AMS Review*.

Sparrevik, M., De Boer, L., Michelsen, O., Skaar, C., Knudson, H., & Fet, A. M. (2021). Circular economy in the construction sector: advancing environmental performance through systemic and holistic thinking. *Environment Systems and Decisions*, *41*(3), 392-400.

Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). The four service marketing myths: remnants of a goods-based, manufacturing model. *Journal of service research*, *6*(4), 324-335.

8
Riuso degli Scarti in Architettura: il ruolo del mercato

A. Iannaccone

"Esiste un solo pianeta Terra, eppure da qui al 2050 il mondo consumerà risorse pari a tre pianeti e parallelamente la produzione annuale di rifiuti aumenterà del 70%".

Queste parole aprono il documento redatto dall'Unione Europea nel 2020 dal titolo "Un nuovo piano di azione per l'economia circolare, per un'Europa più pulita e più competitiva". Tale documento affronta le inevitabili conseguenze di una società altamente consumista, nella quale regna un'economia "produci – usa – getta", la quale comporta un costante incremento dei rifiuti con tutti i problemi annessi al relativo smaltimento sia in termini economici e soprattutto di impatto ambientale.

Oggi siamo in una fase in cui le discariche sono vicine alla saturazione, mancanza di spazi per costruirne di nuove e soprattutto il tradizionale smaltimento non è più compatibile con l'emergenza climatica in atto, dato il suo elevato consumo energetico e le ingenti emissioni di anidride carbonica.

In questo contesto, emerge la necessità di adottare tempestivamente nuovi di sistemi di gestione dei rifiuti orientati verso la sostenibilità, in modo da intensificare ed agevolare il passaggio verso un'economia circolare, atta a ridurre in consumo di materie prime e a contenere l'impatto ambientale dovuto a produzione, stoccaggio e smaltimento dei rifiuti.

In uno studio condotto dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA), è stata analizzata la relazione tra economia circolare e mitigazione dei cambiamenti climatici sviluppando un metodo per quantificare i benefici di de-carbonizzazione delle azioni di economia circolare. L'approccio, testato per il settore edile, ha rilevato che, dalla combinazione di 8 azioni selezionate di economia circolare è possibile evitare fino al 60% delle emissioni di CO2 relative ai materiali da costruzioni rispetto ad uno scenario di base, ovvero una riduzione di 130 milioni di tonnellate di CO2 entro il 2050.

Nel contesto architettonico, il riutilizzo degli elementi costruttivi e dei

componenti edili diventa cruciale per contrastare la massiccia produzione di rifiuti derivanti dalle attività edili. In Europa infatti oltre il 38% dei rifiuti totali prodotti nel 2022 (ultimo dato consolidato disponibile), proviene da attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione. In termini di volume, i rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) sono tra le fonti maggiori di rifiuti in Europa, sebbene molti materiali siano riciclabili o riutilizzabili.

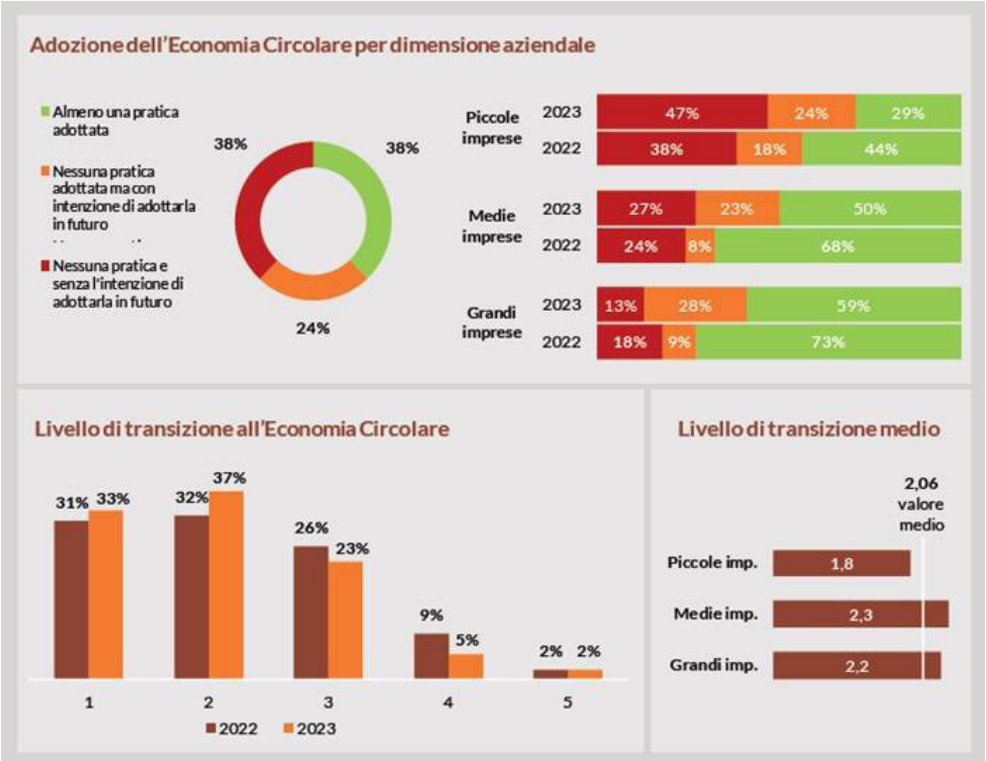
Da tali dati risulta evidente che siamo ad un punto di non ritorno e abbiamo l'obbligo di migliorare senza ulteriori indugi, la gestione dei rifiuti ed il suo recupero diventa la chiave sostenibile per un'edilizia circolare.

Essa mira a promuovere un'economia che conservi il valore dei materiali il più a lungo possibile. Ciò significa che la quantità di riciclaggio o riutilizzo non è più l'unico obiettivo: il tipo di riciclaggio e la prevenzione del down-

cycling sono fondamentali. Per passare ad un'edilizia circolare è necessaria un'azione che vada oltre la gestione dei rifiuti ed un migliore riciclaggio, poiché devono essere coinvolte tutte le fasi del ciclo di vita dei prodotti.

Altro aspetto da non sottovalutare sul riutilizzo dei rifiuti, è quello che oltre ai benefici dal punto di vista ambientale, porterebbe anche vantaggi dal lato economico, con la creazione di nuove opportunità lavorative. Inoltre, il riutilizzo permette di preservare la storia, i valori il know-how intrinsechi negli edifici destinati alla demolizione, portando anche dei benefit sociali. In Svizzera ad esempio già da tempo molte organizzazioni stanno agendo in tal senso, cercando di sensibilizzare e aumentare la consapevolezza della popolazione, cercando di contrastare le pratiche demolitive.

In questo scenario, il concetto di "riuso" assume una rilevanza strategica. A differenza del riciclo, che implica processi energivori di trasformazione dei materiali, il riuso consiste nel prolungare la vita utile di componenti edilizi senza alterarne la forma o le proprietà. Recuperare finestre, porte, pavimentazioni, elementi strutturali o finiture significa ridurre la domanda di nuove materie prime, tagliare le emissioni e preservare il valore intrinseco di ciò che è stato prodotto.



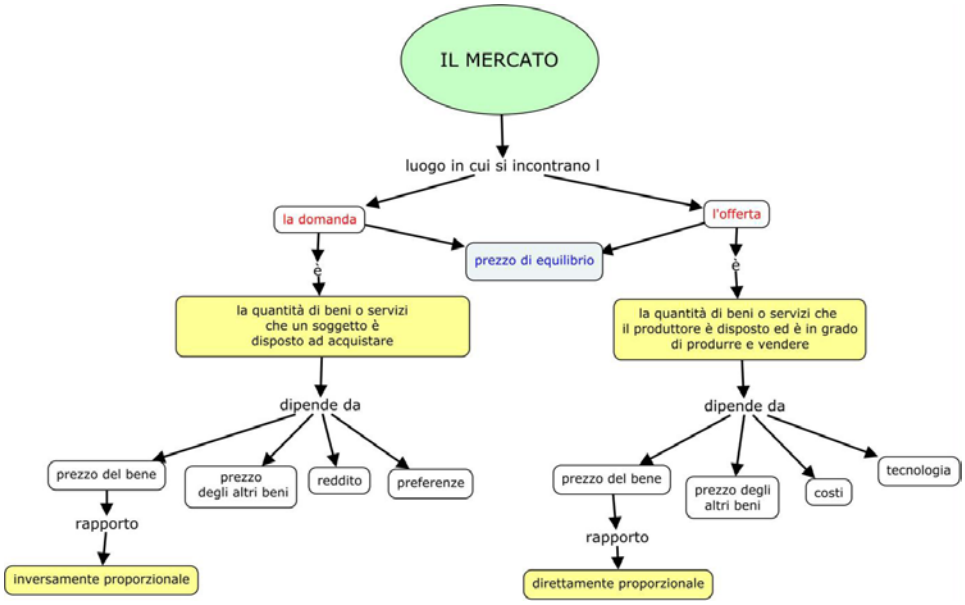
Per decenni il settore edilizio ha funzionato secondo una logica lineare: estrazione delle risorse, produzione dei materiali, costruzione, uso dell'edificio, demolizione e smaltimento. Questa sequenza ha generato accumuli di scarti che, fino a poco tempo fa, erano percepiti come inevitabili sottoprodotti del processo.

Il paradigma dell'economia circolare promosso dall'Unione Europea con la direttiva 2008/98/CE, ha iniziato a ribaltare questa prospettiva. Secondo la cosiddetta "gerarchia dei rifiuti" (waste hierarchy), il riuso si colloca subito dopo la prevenzione come strategia più sostenibile. In altre parole, ciò che è già stato prodotto non deve necessariamente finire in discarica: può diventare materia prima per nuove costruzioni.

Affinché ciò possa accadere, occorre riconoscere al materiale recuperato non solo un valore ambientale, ma anche un valore economico. Senza un mercato in grado di attribuirgli prezzo e domanda, il riuso rischia di rimanere un'idea virtuosa prima di applicazioni concrete. Senza un sistema di domanda e offerta strutturato, i materiali recuperati rimangono confinati nei depositi temporanei dei cantieri, privi di reale prospettiva. Invece il mercato permetterebbe di:

- **Attribuire un valore economico** agli scarti edilizi, sottraendoli alla logica del "costo di smaltimento";
- **Creare fiducia** nei confronti di chi progetto e costruisce, garantendo che gli elementi recuperati rispondano a standard minimi di qualità;
- **Facilitare la logistica** attraverso reti di distribuzione, magazzini e piattaforme online;
- **Generare occupazione e innovazione**, aprendo spazi per nuove figure professionali: dal selezionatore dei materiali al broker digitale dei componenti.

In assenza di mercato, il riuso rimane un gesto individuale o un atto simbolico. Con un mercato diventa invece una prassi sistematica capace di incidere sull'intera offerta.



Negli ultimi anni sono nate diverse piattaforme che fungono da mercati digitali per i materiali da costruzioni recuperati. Questi strumenti rappresentano l'anello mancante tra la demolizione e la nuova costruzione, offrendo visibilità e accessibilità a ciò che altrimenti resterebbe invisibile. Esempio significativo è quello di Oogstkaart (Paesi Bassi): una mappa interattiva che segnala la disponibilità di materiali recuperati, consultabile da architetti, costruttori e privati. Altro esempio è Restado (Germania): un marketplace europeo che permette la compravendita di materiali recuperati anche a piccola scala, includendo privati cittadini.

Accanto alle piattaforme online, esistono anche rivenditori fisici di materiali di seconda mano, veri e propri magazzini che consentono a professionisti e privati di acquistare porte, finestre, sanitari ed altri elementi a prezzi competitivi. La loro funzione è duplice: da un lato abbattere le barriere culturali, dall'altro rendere tangibile ed immediato il lavore del riuso.

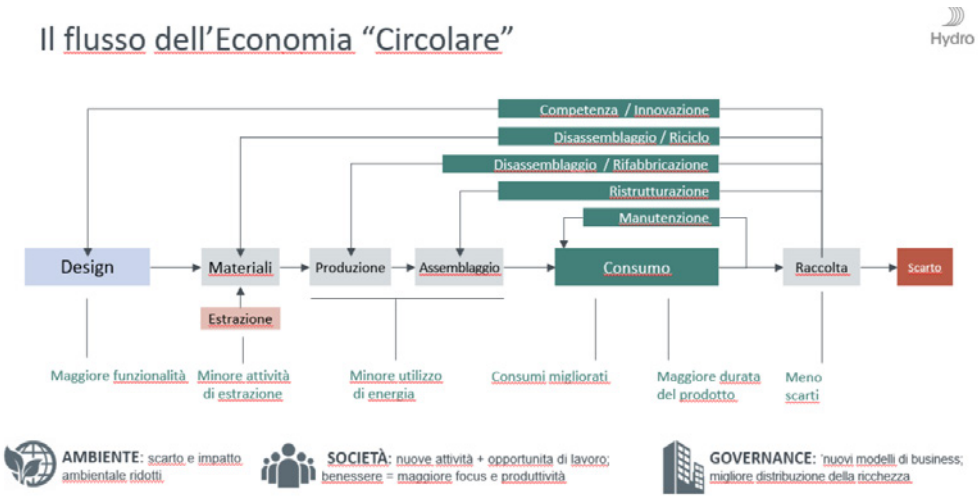
Il mercato del riuso in architettura non si limita a replicare i meccanismi tradizionali della compravendita, ma introduce nuovi modelli economici. Tra i più rilevanti:

- **Urban mining**: concepire gli edifici esistenti come miniere urbane da cui estrarre materiali con valore economico, riducendo la dipendenza da cave e miniere naturali.
- **Piattaforme di condivisione**: spazi digitali come Werflink in Belgio per-

mettono non solo la vendita, ma anche lo scambio o la donazione di materiali tra cantieri.

- **Servizi integrati:** alcune società non si limitano a vendere materiali recuperati, ma offrono anche pro, consulenza e certificazioni di qualità, creando un pacchetto completo per architetti e imprese.
- **Economia locale:** i mercati del riuso tendono a essere radicati nel territorio, con benefici per la riduzione dei trasporti e per lo sviluppo di reti produttive locali.

Questi modelli dimostrano che il riuso non è solo un gesto ecologico, ma anche un'opportunità economica capace di ridefinire la filiera edilizia.



Nonostante le potenzialità il mercato del riuso deve affrontare numerosi ostacoli:

- **Qualità e sicurezza**: i progettisti e i costruttori devono poter contare su materiali che rispettino standard tecnici e normativi. La mancanza di certificazioni limita la fiducia.
- **Logistica:** la gestione di materiali usati è più complessa rispetto a quella dei prodotti nuovi, infatti occorrono spazi di stoccaggio, sistemi di tracciabilità e reti di trasporto a breve raggio.
- **Quantità e continuità:** non sempre i materiali recuperati sono disponibili nelle quantità necessarie per grandi cantieri. La discontinuità dell'offerta ostacola l'integrazione nel mercato tradizionale.
- **Barriere culturali:** persiste l'idea che "nuovo sia meglio"; architetti, impre-

se e committenti spesso percepiscono i materiali di recupero come secondari o poco affidabili.

– **Normative frammentate:** mentre alcune direttive europee spingono al riciclo, il riuso resta marginale nei protocolli di certificazione ambientale, creando un vuoto normativo che penalizza il mercato.

Ma nonostante le difficoltà, il mercato del riuso nel tempo è destinato a crescere. La scarsità di risorse naturali e la crisi climatica lo rendono una necessità, più che un'opzione. Gli strumenti di digitalizzazione, di catalogazione e di tracciamento permetteranno di conoscere in anticipo cosa potrà essere recuperato in un edificio. I magazzini territoriali di materiali recuperati potranno diventare veri hub di economia circolare, generando inoltre occupazione e riducendo sensibilmente i trasporti. Infine le imposte più alte sullo smaltimento ed eventuali incentivi fiscali per chi utilizza materiali recuperati, potrebbero accelerare il consolidamento del mercato.

Il riuso degli scarti in architettura non è solo una questione tecnica, ma soprattutto economica e culturale. Senza un mercato, i materiali recuperati resteranno invisibili, destinati a scarto senza alcun valore. Con un mercato diventeranno risorse, opportunità di innovazione e strumenti concreti per ridurre l'impatto ambientale del settore edilizio.

Il ruolo del mercato, pertanto, è duplice: da un lato abilita la transizione verso la circolarità, creando reti di scambio, piattaforme digitali e standard di qualità; dall'altro legittima il riuso agli di professionisti e committenti, trasformandolo da gesto sperimentale a prassi consolidata.

Se l'architettura contemporanea e soprattutto del futuro intende davvero orientarsi verso la sostenibilità, non potrà limitarsi a ridurre consumi ed emissioni in fase di progetto: dovrà entrare in relazione con un sistema economico in cui i materiali non abbiano più un "fine vita", ma una vita ciclica. In questo processo, il mercato non è un elemento accessorio, bensì il motore che consente al riuso di passare da gesto sperimentale a prassi consolidata.

9
Riuso degli Scarti in Architettura: Materiali Inerti

C. Della Volpe

Il crescente interesse verso la sostenibilità ambientale nel settore delle costruzioni ha riportato al centro dell'attenzione il tema del riutilizzo degli inerti derivanti dalle operazioni di demolizione e costruzione. Questa categoria di rifiuti rappresenta una quota estremamente rilevante dei materiali prodotti annualmente dal comparto edilizio e, se adeguatamente selezionata, separata e trattata, può trasformarsi da scarto a risorsa utile nella produzione di nuovi componenti architettonici e nella realizzazione di opere di vario tipo. La consapevolezza del fatto che l'industria delle costruzioni sia una delle maggiori produttrici di rifiuti a livello globale rende evidente la necessità di adottare pratiche più responsabili. Una parte significativa di tali rifiuti è costituita da inerti, materiali non degradabili chimicamente – come pietrisco, sabbia, cemento frantumato e laterizi – che, se abbandonati o smaltiti impropriamente, generano impatti ambientali elevati e difficilmente reversibili.

Come stabilito dal Testo Unico dell'Ambiente, all'articolo 184, comma 3, lettera b), si definiscono rifiuti inerti: *"I rifiuti prodotti dalle attività di costruzione e demolizione, nonché i rifiuti che derivano dalle attività di scavo"*.

Questa definizione chiarisce in modo inequivocabile l'origine di tali materiali e permette di comprenderne la specificità all'interno del più ampio sistema di gestione dei rifiuti. Secondo i principi dell'economia circolare, questi materiali non devono essere considerati scarti privi di valore, poiché possono essere reintrodotti nel settore delle costruzioni, riciclati e riutilizzati in molteplici applicazioni. Tale possibilità rende necessario un sistema di gestione distinto rispetto a quello previsto per i rifiuti urbani, con canali dedicati alla raccolta, al trasporto e allo smaltimento.

Un'altra definizione citata anche dall' ANPAR – Associazione Nazionale Produttori Aggregati Riciclati – riprende la definizione espressa nel Decreto Legislativo 36/2003 che chiarisce e precisa:

"Sono rifiuti inerti quelli che non subiscono alcuna trasformazione fisica,

chimica o biologica significativa. I rifiuti inerti, quindi, non si dissolvono, non bruciano né sono soggetti ad altre reazioni fisiche o chimiche, non sono biodegradabili e, in caso di contatto con altre materie, non comportano effetti nocivi tali da provocare inquinamento ambientale o danno alla salute umana".

Dunque rientrano nella categoria dei rifiuti inerti numerosi materiali tipici dell'attività edilizia, come sabbia, ghiaia, argilla espansa, vermiculite, perlite, conglomerati cementizi, calcinacci, macerie, conglomerati bituminosi, cemento, mattoni, mattonelle, ceramiche, intonaci e residui non pericolosi derivanti da demolizioni o lavorazioni di cantiere. L'elenco evidenzia la varietà e l'abbondanza dei materiali che ricadono in questa classificazione. Il fatto che tali materiali siano definiti "inerti", quindi non reattivi e non nocivi, non implica affatto che possano essere smaltiti senza attenzione o senza seguire procedure rigorose. La normativa vigente li colloca infatti nella categoria dei rifiuti speciali, imponendo regole precise per la loro raccolta, gestione, trasporto e possibile riutilizzo. Lo smaltimento può avvenire esclusivamente tramite conferimento presso discariche idonee o in siti specializzati nel loro recupero, dove i materiali vengono selezionati, lavorati e trasformati in materia prima seconda. Questo percorso consente di reinserirli nel ciclo produttivo, evitando sprechi e garantendo che ogni fase avvenga nel pieno rispetto delle norme. La responsabilità dello smaltimento dei rifiuti edili ricade sul produttore delle macerie generate dalle operazioni di demolizione e/o manutenzione, e uno smaltimento dei rifiuti inerti eseguito in modo scorretto è perseguibile penalmente. La normativa vigente stabilisce chiaramente che chi produce il rifiuto è tenuto a gestirlo in modo conforme, garantendo tracciabilità, corretto conferimento e rispetto delle procedure previste. Per questo motivo esistono aziende specializzate nella raccolta, nel trasporto, nello smaltimento e nel trattamento dei rifiuti inerti, alle quali è possibile affidare il lavoro per assicurare un procedimento sicuro e regolare. Tuttavia, ciò non significa che il privato sia esonerato da ogni responsabilità: anche affidando il servizio a operatori qualificati, il produttore del rifiuto mantiene obblighi precisi legati alla verifica della correttezza delle procedure e alla scelta di soggetti autorizzati.

La crescente attenzione verso l'ambiente e le politiche legate all'economia circolare promuovono quindi con forza il recupero, il riciclo e il riuso degli inerti come modalità prioritarie per ridurre l'estrazione di nuove risorse naturali, mitigare l'impatto ambientale complessivo e abbattere i costi legati sia all'energia necessaria per la produzione di nuovi materiali sia alla gestione dei rifiuti stessi. La valorizzazione degli inerti non rappresenta solo una soluzione tecnica, ma un approccio culturale che spinge l'intero comparto edilizio a ri-

considerare il proprio rapporto con il ciclo di vita dei materiali, promuovendo scelte più consapevoli e sostenibili in ogni fase del processo costruttivo.

A tale proposito di seguito sono riportate una serie di articoli e ricerche virtuose e innovative in materia di riutilizzo e impiego di inerti in campo architettonico che possono rappresentare uno spunto interessante e un nuovo punto di partenza per futuri approfondimenti.

Già nel 2004, uno studio indagava come la caratterizzazione chimico-mineralogica degli inerti consenta di individuare frazioni con potenzialità d'impiego differenziata: le granulometrie intermedie, ad esempio, possono sostituire parte degli aggregati naturali nei calcestruzzi e nelle malte, mentre le frazioni più fini trovano applicazioni nella produzione di laterizi e materiali ceramici [Toffano et al. 2004]. In questo studio, diverse frazioni granulometriche, ottenute mediante selezione granulometrica, da un impianto di lavorazione di C&D a Rovigo sono state analizzate mediante analisi di fluorescenza a raggi X (XRF) e diffrattometria a raggi X (XRD), al fine di valutarne la composizione chimica e mineralogica, contribuendo allo sviluppo di metodologie di riciclo migliorate. Questo studio indica che, attraverso un'opportuna operazione di frantumazione e selezione del materiale da C&D, è possibile ottenere frazioni granulometriche con composizione chimica e mineralogica pressoché omogenea per ciascuna frazione. L'omogeneità dei materiali può essere notevolmente migliorata se si effettua un'attenta differenziazione durante le fasi iniziali della produzione di C&D [Poon et el. 1997; Poon et al. 2001]. Le frazioni più fini potrebbero essere utilizzate per la preparazione di malte idrauliche [Baronio et al. 1997; Corinaldesi et al. 2002; Zendri et al. 2004]. Queste frazioni fini riciclate potrebbero anche essere utilizzate in applicazioni di alta qualità che richiedono un trattamento industriale. Analogamente, potrebbe essere possibile riutilizzarle nella preparazione del cemento, dopo opportuna miscelazione con calce e successivo processo di calcinazione. Questa possibilità di diversificazione amplia il campo applicativo e dimostra come un approccio scientifico alla selezione degli inerti sia imprescindibile per garantirne la qualità prestazionale.

Parallelamente, ricerche sperimentali recenti hanno testato la sostituzione parziale degli aggregati naturali con aggregati riciclati in calcestruzzi eco-compatibili. I risultati mostrano che la perdita di prestazioni meccaniche può rimanere contenuta entro limiti accettabili: le resistenze a compressione si riducono mediamente di meno del 15%, mentre altre proprietà, come la permeabilità, richiedono un controllo accurato in fase progettuale e un'adeguata definizione dei campi d'impiego [Plaza et al. 2024]. In questo studio è stato

analizzato l'effetto della sostituzione di diverse percentuali di aggregati naturali con aggregati riciclati provenienti dalla frantumazione del calcestruzzo, utilizzando sia una frazione grossolana che una frazione fine. I materiali naturali e riciclati sono stati classificati al fine di analizzare le prestazioni meccaniche e l'impermeabilità di questi eco-calcestruzzo sia allo stato fresco che indurito. Un'analisi statistica ha anche determinato se la perdita di prestazioni fosse significativa da un punto di vista statistico, riscontrando diminuzioni di resistenza a compressione inferiori al 13% e perdite di resistenza a flessione inferiori al 20%. È stata riscontrata una diretta proporzionalità tra l'aumento della permeabilità e l'aumento della percentuale di aggregati riciclati nella miscela. Ciò dimostra che, sebbene non ancora equivalenti agli aggregati tradizionali in tutte le condizioni, i materiali riciclati sono in grado di soddisfare le esigenze di numerosi contesti architettonici e strutturali.

Oltre agli aspetti tecnologici e prestazionali, un ruolo determinante è svolto dal contesto normativo. In Europa, la pratica professionale legata al riuso di componenti edilizi incontra ancora ostacoli legati alla certificazione, al marchio CE e alla valutazione della conformità tecnica. Le incongruenze tra politiche di economia circolare e regolamentazioni edilizie rallentano l'adozione diffusa di materiali riciclati, creando incertezza tra i professionisti. Per rendere effettivo il riutilizzo degli inerti, occorre quindi un quadro normativo più coerente e incentivante, capace di premiare le pratiche virtuose e di facilitare la tracciabilità dei materiali riciclati come suggerito anche dallo studio condotto dai ricercatori Massimiliano Condotta e Elisa Zatta in uno studio del 2021.

Martins, Correia e De Brito in uno studio risalente al 2016 hanno indagato il comportamento meccanico e fisico del calcestruzzo che incorpora aggregati riciclati da materiali ceramici, vetro e inerti misti, ponendo particolare attenzione all'esposizione a temperature elevate. In particolare modo hanno condotto studi sperimentali su calcestruzzi con sostituzioni del 20 %, 50 % e 100 % di aggregato naturale con aggregato ceramico grossolano riciclato (Recycled Ceramic Coarse Aggregate, RCCA), esponendo i provini a 200, 400 e 600 °C per un'ora; dopo raffreddamento, hanno misurato resistenza a compressione, resistenza a trazione per spaccatura, modulo elastico, velocità ultrasonica e assorbimento d'acqua, riscontrando come le miscele con RCCA mostrino una maggiore capacità di conservare prestazioni residue soprattutto a 400-600 °C rispetto a calcestruzzi tradizionali, benché la sostituzione totale peggiori la resistenza iniziale.

Nel 2023 è stato condotto uno studio che analizza gli effetti di temperature

elevate (fino a oltre 600-800 °C) su calcestruzzi che incorporano aggregati di gres ceramico [Roig – Flores et al. 2023]: le miscele con sostituzione parziale di sabbia e ghiaia naturali con scarti di gres porcellanato, hanno mantenuto valori di resistenza a compressione simili a quelli delle miscele di controllo a temperatura ambiente; inoltre, dopo esposizione a 400 e 600 °C, hanno osservato una buona resistenza residua rispetto al calcestruzzo ordinario, mentre la conducibilità termica diminuisce al crescere della frazione di aggregato ceramico riciclato. Questo indica che gli inerti ceramici non solo possono servire come alternative sostenibili, ma possono addirittura migliorare certe proprietà termiche utili in condizioni di incendio o di rischio termico ambientale. Uno studio simile indagava su miscele di calcestruzzo modificate con vetro resistente al calore (heat-resistant cullet) come aggregato riciclato ha evidenziato che un'aggiunta contenuta (5-10 %) consente prestazioni accettabili, con perdita di resistenza compressiva contenuta e, soprattutto dopo cure lunghe (es. 180 giorni), una forza compressiva che si avvicina a quella del controllo. Dopo esposizione a temperature oltre i 400-600 °C, tuttavia, l'interfaccia vetro-matrice cemento mostra evidenti segnali di deterioramento, microfessurazioni e perdita di coesione.

Altri lavori hanno esaminato l'efficacia del riciclo di inerti misti o di rifiuti edilizi compositi, includendo frazioni di mattoni, demolizione variabile e aggregati compositi, con oculari confronti tra perdita di resistenza a temperature moderate (350-500 °C) e alte (oltre 600 °C). Uno studio iraniano risalente al 2020 ha mostrato che miscele con circa il 20-30 % di rifiuti edilizi (mattoni, CDW vari) come sostituzione parziale dell'aggregato naturale presentano riduzioni di resistenza a compressione che variano, in funzione della composizione, dal 0 al 30 % dopo esposizione a 350-500 °C, con perdite maggiori nei casi con alta percentuale di mattoni non trattati.

Un'ulteriore dimensione critica è quella normativa e progettuale. Due ricercatori dello IUAV di Venezia, M. Condotta e E. Zatta, hanno analizzato il contesto europeo per quanto riguarda il riuso di elementi edilizi [Condotta Zatta et al. 2021]. Essi mettono in luce come, malgrado le politiche che promuovono l'economia circolare e la gestione efficiente dei rifiuti da costruzione e demolizione, esistano "vuoti legislativi", incertezze sull'applicabilità del marchio CE per elementi da riuso, requisiti prestazionali non uniformi su scala nazionale/regionale, e percezioni finali degli utilizzatori che spesso associano il riuso a una qualità inferiore, con conseguente limitata adozione. L'esperienza progettuale dimostra inoltre che la qualità architettonica non viene penalizzata dall'impiego di inerti riciclati. Al contrario, in alcuni casi, come

nell'uso di vetro riciclato come aggregato in malte decorative, il risultato può persino arricchire le possibilità estetiche dei materiali, conferendo texture e cromatismi innovativi [Tittarelli et al. 2018]. Ciò apre scenari interessanti per un approccio che coniuga sostenibilità ambientale e ricerca formale, superando la visione riduttiva che associa il riciclato a un prodotto di qualità inferiore.

Il caso del Politecnico di Milano [Monticelli, Aliprandi, Giurdanella, Viscuso, Zanelli, et al. 2013] ha realizzato un progetto sperimentale di struttura temporanea, una sorta di padiglione, costruito con materiali di primo uso e una seconda versione con componenti da riuso. L'analisi del ciclo di vita ha evidenziato che il padiglione costruito con elementi riutilizzati comportava una riduzione di impatti ambientali fino al 40 % in alcune categorie rispetto alla versione con materiali nuovi, pur mantenendo standard funzionali e prestazionali accettabili. Questo esperimento evidenzia come la progettazione creativa possa sposarsi con la sostenibilità ambientale, se i materiali da riuso sono selezionati e integrati correttamente.

A fronte di queste evidenze tecniche e progettuali, permangono tuttavia ostacoli che non dipendono solo dalla performance materiale. Il controllo qualità dell'aggregato riciclato, la variabilità dei rifiuti da demolizione, la consistenza delle frazioni granulometriche, la presenza di contaminanti (cementizi, organici, metalli pesanti) sono variabili che richiedono procedure standardizzate di caratterizzazione e gestione. Anche la durabilità in scenari climatici reali – cicli gelo-disgelo, umidità variabile, azioni chimiche – è ancora poco studiata rispetto a quelle termiche.

Nel panorama architettonico, l'estetica gioca un ruolo non secondario: l'uso di vetro riciclato, ceramica rotta o materiali compositi può offrire texture, lucentezza, variazioni cromatiche, che se ben integrate progettualmente, aumentano il valore percepito ma solo se i progettisti e i committenti accettano tali qualità come opportunità e non come difetto. Ciò richiede una cultura progettuale e formativa che valorizzi esempi virtuosi, casi studio documentati, prototipi, workshop di design e mostre di architettura che espongono progetti con elementi riciclati/inerti. Il riutilizzo degli inerti derivanti da demolizione in architettura si configura oggi come una strategia matura sul piano tecnico, con limiti che non sono insormontabili, ma richiedono un approccio integrato che combini ricerca sperimentale, regolamentazione chiara, controllo qualità rigoroso e accettazione culturale. I passi successivi dovrebbero riguardare la standardizzazione delle procedure di prova per prestazioni residue dopo fuoco o alte temperature, maggiore uniformità normativa su scala europea, incentivi economici per l'impiego di aggregati riciclati, e la creazione

di reti locali di raccolta, trattamento e distribuzione degli inerti. Solo così si potrà passare da casi isolati a una pratica diffusa e affidabile, trasformando gli inerti da problema ambientale in risorsa effettiva per un'architettura circolare, resiliente e responsabile.

Conclusioni

In conclusione, il riutilizzo degli inerti in architettura si colloca oggi all'incrocio tra innovazione tecnica, progettazione responsabile e ridefinizione normativa. Le evidenze scientifiche confermano la fattibilità tecnica, mentre i vincoli legislativi e culturali restano la principale barriera da superare. Questa condizione, già evidente nel dibattito contemporaneo, mette in luce come il tema non riguardi soltanto la disponibilità di tecnologie adeguate o di processi produttivi consolidati, ma soprattutto la capacità dell'intero settore edilizio di recepire e reinterpretare strumenti già esistenti entro un quadro più coerente. La prospettiva futura sarà infatti quella di un'integrazione sistematica dei materiali riciclati all'interno della filiera edilizia, in un'ottica di circolarità capace di trasformare gli scarti in risorse per l'architettura del domani. Tale integrazione non rappresenta una semplice ipotesi teorica, ma un percorso che richiede continuità, coordinamento e un progressivo adattamento dei metodi progettuali attualmente adottati.

Il riuso degli inerti in architettura rappresenta una frontiera concreta della sostenibilità: è tecnicamente fattibile, presenta benefici ambientali e può coesistere con requisiti estetici e di prestazione, purché si rispettino processi di caratterizzazione, trattamento e certificazione adeguati. Il fatto che queste condizioni siano già note e riconosciute permette di comprendere come la questione non sia legata all'assenza di mezzi, ma piuttosto alla necessità di mettere a sistema quanto già disponibile. Come già accennato, le barriere principali restano di natura normativa, tecnica, logistica e culturale, e derivano dalla difficoltà di rendere completamente operativi strumenti e procedure che, pur essendo presenti, richiedono un maggiore coordinamento tra gli attori coinvolti. Per superarle è necessario che le politiche pubbliche definiscano norme specifiche per le applicazioni architettoniche, che le università e la ricerca continuino a produrre dati affidabili e che il settore privato investa in impianti e processi specialistici.

In futuro, la diffusione sistematica degli inerti riciclati potrebbe contribuire significativamente alla riduzione dell'impatto ambientale dell'edilizia,

promuovendo un modello costruttivo più circolare, efficiente e culturalmente consapevole. Questo scenario non implica l'introduzione di concetti nuovi rispetto a quelli già esposti, ma semplicemente la loro piena attuazione all'interno della catena produttiva, nella consapevolezza che l'adozione di tali materiali richiede continuità, attenzione e una progressiva maturazione del settore. Il percorso verso un utilizzo più ampio e strutturato degli inerti riciclati non si basa quindi su ulteriori innovazioni, ma sull'estensione coerente di quanto già noto, affinché ciò che oggi rappresenta una pratica ancora limitata possa diventare un componente stabile e riconosciuto del progetto architettonico contemporaneo.

Bibliografia

Toffano, A.; Marrocchino, E.; Vaccaro, C.; Biscontin, G.; Morabito, M., (2004) "Construction and demolition inert materials: chemical-mineralogical characterization and hypothesis for their reuse"

Baronio, G., Binda, L., Bombardini, N., (1997) "Construction and Building Materials" 11, 33-40

Poon, C.S., (1997) "Gestione e ricerca dei rifiuti" 15, 561-572

Poon, C.S., Yu, A.T.W., Ng, L.H., (2001) "Conservazione e riciclaggio" 32, 157-172

Zendri, E., Lucchini, V., Biscontin, G., Morabito, M., (2004) "Applied Clay Science" 25, 1

Pablo Plaza et al., (2024) *"Recycled Eco-Concretes Containing Fine and/or Coarse Concrete Aggregates. Mechanical Performance"*

Martins, D. J., Correia, J. R., & De Brito, J. (2016) "The effect of high temperature on the residual mechanical performance of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates". Fire and Materials, 40(2), 289-304.

Roig-Flores, M., Albero, V., Reig, L., Hernández-Figueirido, D., Melchor, A. M., Pitarch, A. F., & Piquer, A. (2023) "Effects of High Temperatures on Concrete with Recycled Aggregates from Ceramic Stoneware Waste".

Zahra Keshavarz, Davood Mostofinejad, (2020) "Effects of high-temperature exposure on concrete containing waste porcelain coarse aggregates and steel chips", Journal of Building Engineering, p. 101211

Condotta Massimiliano, Zatta Elisa, (2021) "Reuse of building elements in the architectural practice and the European regulatory context: Inconsistencies and possible improvements"

Monticelli, C., Aliprandi, S., Giurdanella, V., Viscuso, S., & Zanelli, A. (*2013)* "*Reuse of materials and components to build a temporary eco-structure"*

10
Riuso degli Scarti in Architettura: Normative e Protezione ambientale

M. Borrelli

Dai dati rilevati nell'ultimo Rapporto Rifiuti Speciali (ISPRA 2024) si rileva che in Italia, ancora una volta, è il settore delle costruzioni e demolizioni – con quasi 80,8 milioni di tonnellate – quello con la maggiore produzione totale di rifiuti speciali, concorrendo per il 50% alla produzione complessiva.

Questi dati mettono in evidenza quanto sia impattante la produzione dei rifiuti da C&D e di conseguenza quanto sia necessaria e prioritaria la loro corretta gestione.

Dal Rapporto dell'ISPRA si evince che il 79,8% dei rifiuti da costruzione e demolizione è stato riciclato, superando ampiamente l'obiettivo del 70% fissato dalla normativa al 2020 (1). Il recupero riguarda prevalentemente la produzione di rilevati e sottofondi stradali.

Ancora molto dev'essere fatto per ridurre il più possibile la produzione dei rifiuti da C&D e per nobilitarne gli utilizzi attraverso processi di riconversione in nuovi prodotti.

I rifiuti da C&D che non vengono avviati ad un processo adeguato e virtuoso generano impatti significativi in diversi ambiti primo fra tutti quello ambientale ma anche economico e sociale. Essi contengono spesso materiali come cemento, legno trattato, vernici, metalli e altre sostanze potenzialmente tossiche che possono contaminare il suolo e le falde acquifere se non gestiti correttamente. La gestione e lo smaltimento dei rifiuti da C&D contribuiscono alle emissioni di CO2 e altri gas serra, soprattutto se i materiali vengono inviati in discarica o sottoposti a combustione. I siti di discarica o di stoccaggio possono provocare degrado paesaggistico e perdita di habitat quindi una minaccia per la biodiversità, inoltre l'esposizione a polveri, sostanze tossiche o contaminanti presenti nei rifiuti può rappresentare un rischio per la salute di lavoratori e comunità vicine. Inoltre le inefficienze nella gestione dei rifiuti da C&D comportano sprechi e maggiori costi per le imprese del settore e quindi per la committenza finale.

Una gestione efficace dei rifiuti da C&D appare dunque fondamentale per minimizzare il loro impatto. Da qui nasce l'esigenza di sostenere e regolamentare il loro utilizzo in maniera da ridurre le quantità da smaltire in discarica e ridurre il consumo di risorse non rinnovabili, come i materiali da cava.

La normativa sui rifiuti si articola su più livelli: a livello europeo la principale norma è rappresentata dalla Direttiva Quadro sui Rifiuti (2008/98/CE), aggiornata dalla Direttiva UE 2018/851 che detta obiettivi vincolanti per la raccolta, il riciclaggio e la riduzione dei rifiuti, promuovendo il passaggio a un'economia circolare; aggiornamenti significativi sono arrivati con il Protocollo UE del 2024 (che fornisce linee guida per la gestione); a livello nazionale, in Italia, le suddette direttive europee sono recepite principalmente dal D.Lgs.152/2006 (Codice Ambientale), che detta le regole su classificazione, gestione e smaltimento e poi dal Programma Nazionale di Gestione dei Rifiuti (D.M. 257/2022). Quest'ultimo prevede l'adozione di un ampio programma nazionale per la gestione dei rifiuti, volto a raggiungere livelli molto elevati di preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e il recupero degli stessi. Infine il D.M. 127/2024 ovvero "Decreto Inerti", è il vigente regolamento che disciplina l'End of Waste in Itala.

A livello regionale, le regioni elaborano principalmente i Piani di Gestione dei Rifiuti basati sugli indirizzi nazionali ed europei, definendo strategie operative.

Direttiva Quadro sui Rifiuti (2008/98/CE)

La Direttiva stabilisce un quadro giuridico per il trattamento dei rifiuti nell'Unione europea, esso è concepito in modo da proteggere l'ambiente e la salute umana, sottolineando l'importanza di adeguate tecniche di gestione, riutilizzo e riciclaggio dei rifiuti, volte a ridurre le pressioni sulle risorse e a ridurre la produzione di rifiuti.

La direttiva 2008/98/CE stabilisce una gerarchia dei rifiuti che si applica come ordine di priorità nella legislazione e nelle politiche in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti. È il fondamento delle politiche e della legislazione dell'Unione Europea (UE) in materia di rifiuti. Il suo obiettivo è quello di ridurre al minimo gli impatti negativi della produzione dei rifiuti e migliorare l'efficienza delle risorse. La gerarchia dei rifiuti si basa sulla prevenzione, preparazione per il riutilizzo, riciclaggio, altro recupero (per esempio recupero di energia) e smaltimento.

La Direttiva conferma il principio "chi inquina paga", in base al quale i costi della gestione dei rifiuti sono sostenuti dal produttore iniziale. Essa introduce il concetto di «responsabilità estesa del produttore» e distingue i rifiuti dai sottoprodotti. La Direttiva inoltre stabilisce che la gestione dei rifiuti deve essere effettuata senza creare alcun pericolo per l'acqua, l'aria, il suolo, la flora o la fauna, senza comportare inconvenienti da rumori o odori, e senza danneggiare il paesaggio o i siti di particolare interesse. Inoltre stabilisce che i produttori o detentori di rifiuti devono trattarli in proprio o consegnarli a un operatore ufficialmente riconosciuto. In entrambi i casi devono essere autorizzati e sono sottoposti a ispezioni periodiche. La direttiva dispone che le autorità nazionali competenti devono istituire piani di gestione dei rifiuti e programmi di prevenzione dei rifiuti. Inoltre determina le condizioni particolari che si applicano a rifiuti pericolosi, oli usati e rifiuti organici. La Direttiva introduceva obiettivi di riciclaggio e di recupero da raggiungere entro il 2020 per i rifiuti domestici (50 %) e i rifiuti da costruzione e demolizione (70 %).

Direttiva di modifica (UE) 2018/851

Nell'ambito di un pacchetto di misure sull'economia circolare, la direttiva (UE) 2018/851 modifica la direttiva 2008/98/CE. Essa stabilisce i requisiti operativi minimi per i regimi di responsabilità estesa del produttore, i quali possono includere anche la responsabilità organizzativa e la responsabilità di contribuire alla prevenzione dei rifiuti e alla possibilità di riutilizzare e riciclare i prodotti. Rafforza le norme relative alla prevenzione dei rifiuti.

Gli Stati membri dell'Unione devono adottare misure al fine di sostenere modelli di produzione e consumo sostenibili; incoraggiare la progettazione, la produzione e l'uso di prodotti che siano efficienti nell'utilizzo delle risorse, durevoli, riparabili, riutilizzabili e che possano essere aggiornati; concentrarsi sui prodotti contenenti materie prime essenziali per evitare che tali materiali diventino rifiuti; incoraggiare la disponibilità di parti di ricambio, manuali di istruzioni, informazioni tecniche o altri mezzi che consentano la riparazione e il riutilizzo dei prodotti senza comprometterne la qualità e la sicurezza; promuovere la riduzione del contenuto di sostanze pericolose nei materiali e nei prodotti; fermare la produzione di rifiuti marini.

La direttiva evidenzia anche esempi di incentivi per applicare la gerarchia dei rifiuti, quali ad esempio l'introduzione di oneri per il conferimento in discarica e l'incenerimento e di sistemi di pagamento in base al consumo (2).

Green Deal

Il Green Deal europeo è la strategia di crescita dell'UE. Lanciato nel 2019, consiste in un pacchetto di iniziative strategiche che hanno avviato l'UE sulla strada di una transizione verde, con l'obiettivo ultimo di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.

Si tratta del contributo dell'UE all'accordo di Parigi, che l'UE e tutti i suoi Stati membri hanno ratificato e che ha stabilito l'obiettivo di mantenere il riscaldamento globale entro +1,5°C rispetto ai livelli preindustriali (3).

Il Green Deal europeo promuove l'economia circolare, che include la gestione sostenibile dei rifiuti da costruzione e demolizione, concentrandosi su prevenzione, riutilizzo e riciclaggio. Promuove la trasformazione dei rifiuti da C&D in risorse preziose, indica azioni concrete come l'audit pre-demolizione, la demolizione selettiva, l'aumento della qualità dei materiali riciclati e lo sviluppo di nuove tecnologie per ridurre l'impatto ambientale del settore. Obiettivo: ridurre l'inquinamento e ripristinare gli ecosistemi, il che si traduce anche in una minore produzione di rifiuti; spostare il paradigma da un'economia lineare a un'economia che trasforma gli scarti in risorse, rendendo sostenibili i prodotti e i servizi. In particolare nel settore C&D è necessario incoraggiare il riutilizzo di materiali di scarto, come il cemento, i metalli e il legno, per ridurre la dipendenza dalle materie prime e l'impoverimento del suolo; identificare i materiali riutilizzabili prima dell'inizio dei lavori per prevenire lo spreco e migliorare il riciclaggio; separare i materiali direttamente in cantiere per facilitare il recupero e il riutilizzo, garantendo materiali di migliore qualità; aumentare la fiducia nella qualità dei materiali recuperati per incoraggiarne l'utilizzo in applicazioni di valore; sviluppare tecnologie avanzate per la separazione e il trattamento dei rifiuti da C&D; incentivare politiche che limitino lo smaltimento in discarica e promuovano gli acquisti verdi nella pubblica amministrazione.

Nel marzo 2020 la Commissione europea ha adottato il Piano d'azione per l'economia circolare (CEAP – Circular Economy Action Plan).

La transizione dell'UE verso un'economia circolare ha lo scopo di ridurre la pressione sulle risorse naturali e stimolare la crescita sostenibile e posti di lavoro. Il piano d'azione comprende iniziative che riguardano l'intero ciclo di vita dei prodotti, comprese le modalità di progettazione che garantiscono la prevenzione dei rifiuti e le strategie produttive per allungare la vita dei prodotti. Nell'agosto 2025, la Commissione ha avviato una consultazione pubblica sul futuro Circular Economy Act . La sua adozione è prevista per il 2026 e

mira a creare un mercato unico per le materie prime secondarie, aumentare l'offerta di materiali riciclati di alta qualità e stimolare la domanda di tali materiali nell'UE.

Protocollo UE per la Gestione dei Rifiuti da C&D (2024)

I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) rappresentano in termine di volume il flusso di rifiuti più grande nell'UE e un Rapporto del Centro di Ricerca Comune (JRC) ha stimato che al 2050 il loro flusso in termini assoluti raddoppierà. La Direttiva quadro sui rifiuti 2008/98/CE mirava a riciclare il 70% dei rifiuti da costruzione e demolizione entro il 2020. Tuttavia, fatta eccezione per alcuni paesi dell'UE (tra questi l'Italia), solo circa il 50% dei rifiuti C&D viene attualmente riciclato.

Inoltre, uno degli ostacoli comuni al riciclaggio e al riutilizzo dei rifiuti C&D nell'UE è la mancanza di fiducia nella qualità dei materiali riciclati, che riduce e limita la loro domanda, inibendo lo sviluppo di infrastrutture di gestione e riciclaggio dei rifiuti da C&D nell'UE.

Negli ultimi mesi, alla luce delle riforme del panorama normativo che interessa l'edilizia, derivanti dal Green Deal dell'UE, dalla Renovation Wave (la strategia europea per favorire la riqualificazione energetica degli edifici esistenti, con lo scopo di migliorare le prestazioni ambientali del settore edile) e dal Circular Economy Action Plan, la Commissione ha intrapreso il lavoro di aggiornamento e consolidamento del Protocollo e delle Linee guida per rifiuti da C&D, alla luce dell'evoluzione delle tecnologie, delle pratiche e della legislazione. La Commissione si è posta l'obiettivo di supportare il passaggio del settore a un'economia più circolare, coinvolgendo gli operatori del settore, le autorità pubbliche a livello locale, regionale, nazionale e dell'UE, gli organismi di certificazione della qualità degli edifici e delle infrastrutture, e non ultimi, i consumatori finali di materiali riciclati da costruzione e demolizione.

Il documento prodotto "EU Construction & Demolition Waste Management Protocol including guidelines for pre-demolition and pre-renovation audits of construction works" (aggiornato al 2024) si pone l'obiettivo di aumentare la fiducia nel processo di gestione dei rifiuti C&D, aumentare la qualità dei materiali riciclati proponendo una serie di regole e buone pratiche a cui professionisti e politici possano ispirarsi. (4).

Il Testo Unico Ambiente (D.lgs. 3 aprile 2006 n. 152)

In materia di gestione dei rifiuti, la norma nazionale di riferimento è rappresentata dalla Parte IV "Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati" del D.lgs. 3 aprile 2006 n. 152 (Testo Unico Ambientale – TUA). Il D.lgs. n. 152/2006 rappresenta una "disciplina quadro" ed è il riferimento per tutte le ulteriori fonti normative in materia di gestione dei rifiuti. La norma disciplina l'intero ciclo della gestione dei rifiuti in conformità ai principi di precauzione, prevenzione, sostenibilità, proporzionalità, di responsabilizzazione e di cooperazione di tutti i soggetti coinvolti nella produzione, distribuzione, utilizzo e consumo di beni da cui originano i rifiuti, nel rispetto del principio di concorrenza nonché del principio "chi inquina paga". A tal fine la gestione dei rifiuti è effettuata secondo criteri di efficacia, efficienza, economicità, trasparenza, fattibilità tecnica ed economica, nonché nel rispetto delle norme vigenti in materia di partecipazione e di accesso alle informazioni ambientali.

In linea con la gerarchia comunitaria, il recupero deve continuare ad essere privilegiato rispetto allo smaltimento, che deve pertanto costituire solo la fase residuale della gestione previa verifica da parte dell'autorità competente dell'impossibilità tecnica ed economica a esperire il recupero. I rifiuti da avviare allo smaltimento finale devono essere il più possibile ridotti sia in massa che in volume, potenziando la prevenzione e le attività di riutilizzo, di riciclaggio e di recupero e prevedendo, ove possibile, la priorità per quei rifiuti non recuperabili generati nell'ambito di attività di riciclaggio o di recupero.

La gerarchia indicata è in linea con quella definita a livello comunitario e stabilisce, in generale, un ordine di priorità di ciò che costituisce la migliore opzione ambientale. Nel rispetto di essa devono essere adottate le misure volte a incoraggiare le opzioni che garantiscono il miglior risultato complessivo, tenendo conto degli impatti sanitari, sociali ed economici, ivi compresa la fattibilità tecnica e la praticabilità economica.

I rifiuti sono classificati, secondo l'origine, in rifiuti urbani e rifiuti speciali e, secondo le caratteristiche di pericolosità, in rifiuti pericolosi e rifiuti non pericolosi. Nello specifico, vengono classificati come rifiuti speciali anche i rifiuti prodotti dalle attività di costruzione e demolizione, nonché i rifiuti che derivano dalle attività di scavo.

La norma individua le condizioni in base alle quali possono essere adottate misure per stabilire criteri qualitativi o quantitativi da soddisfare affinché specifiche tipologie di sostanze o oggetti siano considerati sottoprodotti e non

rifiuti garantendo un elevato livello di protezione dell'ambiente e della salute umana favorendo, altresì, l'utilizzazione attenta e razionale delle risorse naturali dando priorità alle pratiche replicabili di simbiosi industriale.

Analogamente la norma definisce le condizioni in base alle quali un rifiuto cessa di essere tale (cessazione della qualifica) dopo che è stato sottoposto a un'operazione di recupero, incluso il riciclaggio, e soddisfi criteri specifici, da adottare, caso per caso, nel rispetto di certe condizioni.

La norma disciplina il contenuto dei decreti attuativi specificando che gli stessi disciplinano anche l'organizzazione ed il funzionamento del sistema di tracciabilità, consentendo l'interoperabilità dei dati con i sistemi gestionali delle imprese, favorendone la semplificazione amministrativa, garantendo un periodo preliminare di sperimentazione e la sostenibilità dei costi a carico degli aderenti al sistema.

Il Codice degli Appalti (D.Lgs. 36/2023) e i CAM (Criteri Ambientali Minimi)

Il Codice degli Appalti si applica anche agli appalti riguardanti i servizi di gestione dei rifiuti. Questo include la raccolta, il trasporto e lo smaltimento dei rifiuti, con particolare attenzione ai "Criteri Ambientali Minimi" (CAM).

I CAM sono specifici requisiti ambientali che le stazioni appaltanti devono includere nei bandi di gara per garantire la sostenibilità ambientale dei progetti.

Il Codice degli Appalti ha, tra gli altri, l'obiettivo di favorire l'affidamento del servizio a imprese che hanno impianti vicini al luogo di produzione dei rifiuti, promuovendo la gestione locale. Il criterio di aggiudicazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa deve considerare anche i criteri ambientali e di sostenibilità. Le stazioni appaltanti possono richiedere agli operatori economici le misure di gestione ambientale adottate e certificati che attestino il rispetto di norme di gestione ambientale.

La gestione dei rifiuti comprende la raccolta, la cernita preliminare, il deposito preliminare, la gestione dei centri di raccolta, il trasporto e lo smaltimento.

I CAM rappresentano i requisiti ambientali stabiliti per le diverse fasi del processo di acquisto, con l'obiettivo di identificare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio più sostenibile lungo il ciclo di vita, considerando la disponibilità sul mercato.

L'applicazione coerente e sistematica dei CAM favorisce la diffusione di

tecnologie ecologiche e di prodotti preferibili dal punto di vista ambientale, generando un effetto leva sul mercato che spinge gli operatori economici meno virtuosi a investire in innovazione e buone pratiche per soddisfare le esigenze della pubblica amministrazione in materia di acquisti sostenibili.

In Italia, l'efficacia dei CAM è garantita dalle disposizioni del Codice dei contratti. In particolare, l'articolo 57, comma 2, del decreto legislativo n. 36 del 31 marzo 2023 stabilisce l'obbligo di applicare, per l'intero valore della gara, le "specifiche tecniche" e le "clausole contrattuali" contenute nei CAM. Inoltre, si richiede di considerare i CAM anche nella definizione dei "criteri di aggiudicazione dell'appalto" ai sensi dell'art. 108, commi 4 e 5, del Codice.

L'obiettivo è quello di ridurre gli impatti ambientali, ma anche quello di promuovere modelli di produzione e consumo più sostenibili e circolari, stimolando l'aumento dell'occupazione nei settori delle filiere più sostenibili.

Il Decreto Inerti 2024

Il D.M. 127/2024 ovvero "Decreto Inerti" è il vigente regolamento che disciplina l'End of Waste. E' il "Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione, altri rifiuti inerti di origine minerale". Esso prevede la revisione dei criteri per la cessazione della qualifica dei rifiuti e l'ampliamento delle possibilità di utilizzo dei materiali riciclati.

Come tutti i regolamenti End of Waste, anche il Decreto Inerti 2024 rappresenta una normativa di fondamentale importanza per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, poiché disciplina e favorisce il riciclo e l'utilizzo sostenibile degli aggregati recuperati. Il provvedimento stabilisce le condizioni per la cessazione della qualifica di rifiuto del materiale che rientra nel suo campo di applicazione, consentendo così al materiale di essere riciclato, riutilizzato e reimmesso sul mercato come prodotto competitivo rispetto alle materie prime vergini. Il concetto di "seconda vita" del materiale è subordinato al fatto che il prodotto riciclato non comporti rischi per la salute umana né danni all'ambiente. I regolamenti di End of Waste fissano criteri specifici, come limiti alla presenza di sostanze pericolose, affinché il materiale possa essere riutilizzato in modo sicuro e responsabile.

Secondo la definizione contenuta nell'articolo 2 del decreto, i "rifiuti inerti" sono quei rifiuti solidi derivanti da attività di costruzione e demolizione, oltre ad altri rifiuti di origine minerale, che: non subiscono trasformazioni fisiche,

chimiche o biologiche significative; non si dissolvono, non bruciano, né sono soggetti ad altre reazioni fisiche o chimiche, e non sono biodegradabili; in caso di contatto con altre materie, non provocano effetti nocivi tali da causare inquinamento ambientale o danni alla salute umana.

Quindi sono riutilizzabili i rifiuti inerti derivanti da attività di costruzione e demolizione non pericolosi, come indicato al capitolo 17 dell'Elenco Europeo dei Rifiuti (decisione della Commissione 2000/532/CE) e i rifiuti non pericolosi di origine minerale. Inoltre il decreto definisce: i criteri di conformità necessari per la cessazione della qualifica di rifiuto; gli scopi specifici di destinazione, quali sottofondi stradali, ferroviari, aeroportuali, recuperi ambientali, riempimenti, colmate e la produzione di calcestruzzi e miscele legate con leganti idraulici; le responsabilità attribuite ai produttori di aggregati recuperati; gli obblighi documentali e le procedure specifiche riguardanti il prelievo e la conservazione dei campioni di aggregato.

Il criterio adottato dal Decreto Inerti 2024 si basa sull'abbassamento dei limiti di concentrazione per alcune sostanze nocive, fissando requisiti più restrittivi nei casi in cui l'utilizzo del materiale riciclato può avere un impatto maggiore sulle matrici ambientali e sulla salute umana. In particolare, il regolamento stabilisce valori massimi di concentrazione per sostanze come amianto, idrocarburi aromatici e policiclici, e cromo esavalente. Tali limiti non sono universali, ma variano in funzione degli impieghi specifici del materiale.

Le soglie di tolleranza sono più rigorose per gli aggregati destinati a recuperi ambientali e alla realizzazione di riempimenti e colmate. Al contrario, sono più permissive per altri usi autorizzati, quali l'impiego nei sottofondi stradali e ferroviari, nei rilevati di opere in terra dell'ingegneria civile, negli strati di fondazione di infrastrutture di trasporto e di piazzali civili e industriali.

Bibliografia

(1) ISPRA – Rapporto Rifiuti Speciali – Edizione 2024
(2) https://eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/eu-waste-management-law.htm
(3) https://www.consilium.europa.eu/it/policies/european-green-deal
(4) https://www.regionieambiente.it/rifiuti-cd-protocollo

Indice degli autori

Mariaelena Alessandrini. Ha conseguito la laurea in Scienze Internazionali e Diplomatiche presso l'Università degli Studi di Trieste. La sua carriera professionale è proseguita in aziende ad alto contenuto tecnologico, dove ha ricoperto ruoli quali Direttore Commerciale e Direttore Marketing, sviluppando una solida esperienza nella guida strategica. Attualmente è CEO e Co-fondatrice di Metalinea Srl, che comprende la divisione EDILCANAPA, realtà specializzata nella progettazione e produzione di materiali per bioedilizia in legno e fibra di canapa. Creata nel 2014, EDILCANAPA è diventata un punto di riferimento per tecnici e imprese alla ricerca di materiali naturali, traspiranti, a bassa energia incorporata, ecosostenibili e biocompatibili, riciclabili e riutilizzabili a fine ciclo di vita, in linea con i principi dell'economia circolare. Oltre alla gestione ordinaria e straordinaria dell'azienda, segue il settore commerciale e supervisiona lo sviluppo e la certificazione dei prodotti, garantendone la conformità alle normative vigenti. È inoltre attivamente impegnata nella formazione tecnica, collaborando con ordini professionali, associazioni, università e scuole di formazione.

Paola Altamura – Architetto, PhD in Progettazione Ambientale, Ricercatrice in Tenure Track in Progettazione Tecnologica e Ambientale dell'Architettura presso Sapienza Università di Roma, Dipartimento PDTA, già assegnista di ricerca presso l'ENEA, Dipartimento di Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali (2020-2021). Dal 2009 conduce ricerche e sperimentazioni sulla trasformazione sostenibile dell'ambiente costruito con un approccio basato su ciclo di vita e circolarità, concentrandosi sull'efficienza delle risorse materiali e le strategie di progettazione circolare, anche in relazione al Green Public Procurement. Dal 2020 Co-coordina il gruppo di lavoro "Costruzione & Demolizione" nella piattaforma ICESP.

Serena Baiani – Professore Associato di Progettazione Tecnologica e Ambientale dell'Architettura presso Sapienza Università di Roma, PhD in Progettazione Ambientale, External Expert del COST; Membro di GBC – Historic Building Committee, Membro della Piattaforma ICESP; Esperto del Green City Network, Osservatorio per la transizione ecologica nelle città. Socio di IAED-International Association for Environmental Design; SIEP-IALE Società Italiana di Ecologia del Paesaggio. Membro del Direttivo Sitda. Svolge attività di ricerca scientifica sulle tematiche connesse al rapporto tra progetto dell'esistente/innovazione tecnologica/efficienza ecologica ed energetica in ricerche nazionali ed europee,

con riferimento alle tematiche del recupero e dell'adaptive reuse del costruito in contesti fragili e resilienti.

Maria Borrelli – Architetto, nel 2021 consegue con lode la Laurea Magistrale in Architettura presso l'Università degli studi di Napoli Federico II – Dipartimento di Architettura con tesi "Rigenerazione urbana e riqualificazione sostenibile del complesso di edilizia residenziale pubblica dei '101 alloggi' nel comune di Bacoli". Nel 2023 consegue con lode il Master di II livello RISCAPE – "Paesaggi a rischio. Il progetto di paesaggio nei territori vulnerabili" afferente al Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II in collaborazione con l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale e il MiBACT – Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Napoli. Svolge dal 2022 attività di ricerca presso il Centro Ricerca Interdipartimentale CITTAM dell'Università degli studi di Napoli Federico II sui temi della qualità ecosistemica di materiali e prodotti innovativi per l'architettura.

Mariangela Bellomo – Architetto e PhD, è Professore Associato di Progettazione Tecnologica e Ambientale dell'Architettura (CEAR-08/C) presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II. Svolge studi e ricerche sui processi tecnologici finalizzati alla riqualificazione degli spazi urbani pubblici, delle aree verdi urbane e delle aree di costa, nonché alla riqualificazione tecnologica ed energetico dell'edilizia residenziale pubblica indagando criteri e metodi di intervento a ridotto impatto ambientale. Altro campo di interesse è l'utilizzo e riutilizzo di componenti tridimensionali complessi in architettura con particolare riferimento al campo di applicazione dell'emergenza insediativa.

Luca Buoninconti – Docente e Architetto, si laurea con lode in Scienza delle Costruzioni, consegue il Dottorato in Tecnologia dell'Architettura e l'abilitazione al settore concorsuale 08/C1 – II Fascia. È abilitato presso il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco per la redazione dei Piani di Sicurezza Antincendio e presso il Genio Civile della Regione Campania come Collaudatore strutturale. Ha svolto una fellowship presso il CSAU – Universitatea de Architectura si Urbanism 'ion Mincu' di Bucarest. È Responsabile scientifico per due progetti di ricerca finanziati dalla Regione Campania. Dal 2011 gestisce l'Enciclopedia Online TecnoLogica, che ha superato i dieci milioni di accessi.

Francesco Caputo – Ph.D., è Professore Associato di Economia e gestione delle imprese presso il Dipartimento di Economia, Management e Istituzioni (DEMI) dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". È Presidente dell'ASVSA (Associazione per la Ricerca sui Sistemi Vitali) e Co-Director General del WOSC (World Organization of Systems and Cybernetics). Fa parte dei comitati editoriali di numerose riviste scientifiche internazionali e collabora come reviewer per diverse riviste italiane e internazionali. È stato finalista all'Emerald/EMRBI Business Research Award 2012/2013 e ha ricevuto numerosi riconoscimenti scientifici, tra cui il Tenth Most Cited Article in 2019 JOB Impact Factor Award, il Best Paper Award al "10th Naples Forum on Service", la Best Paper Nomination al "9th International Conference IESS 2018", il Best Paper Award alla conferenza "Evoluzionismo sistemico: Il fascino della precarietà", il Best Paper Award e l'Highly Commended Paper Award al "10th Annual Euromed Academy of Business Conference", il Commended Pa-

per Award al 2017 WOSC Congress, il Best Paper Award al "19th Toulon-Verona International Conference on Excellence in Services" e il Best Presentation Award al "4th Business Systems Laboratory International Symposium". È autore di oltre 180 pubblicazioni tra libri, articoli scientifici, atti di convegni e abstract. I suoi principali interessi di ricerca includono, tra gli altri, la complessità, il knowledge management e il systems thinking.

Valeria D'Ambrosio – Professore Ordinario in Progettazione Tecnologica e Ambientale dell'Architettura (CEAR-08/C) presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Svolge studi sulla progettazione tecnologica e ambientale dell'architettura con specifici approfondimenti sui processi di riqualificazione del costruito e degli spazi aperti, sulle tecnologie innovative applicate alla scala edilizia e urbana, su strategie, strumenti e soluzioni progettuali per l'adattamento e la mitigazione climatica negli insediamenti urbani. Ha partecipato e diretto numerose ricerche focalizzate sul rapporto tra tecnologia, progetto e ambiente.

Paola De Joanna, è Professore Associato di Tecnologia presso DiArc – DIPARTIMENTO di Architettura dell'Università Federico II di Napoli. PhD in Recupero Edilizio e Ambientale. Conduce dal 1994 presso il DiARC attività di ricerca e didattica con riferimento alle tematiche della riqualificazione ambientale e della progettazione sostenibile. Responsabile Scientifico di convenzioni con Enti Locali e accordi internazionali con finalità di riqualificazione e valorizzazione ambientale; membro del Collegio Docenti del Corso di Dottorato HABIT (HABITAT IN TRANSITION). È autrice di numerosi articoli e saggi riguardanti il recupero e la riqualificazione ambientale; è first editor dal 2014 della rivista scientifica SMC – Sustainable Mediterranean Construction.

Antonio di Gennaro, agronomo, lavora nel campo dell'analisi e pianificazione delle risorse agroforestali e del paesaggio, con esperienza nella programmazione rurale e nella redazione di piani urbanistici, territoriali e di settore. È membro del comitato di redazione della rivista di storia dell'ambiente «Meridiana», ed editorialista dell'edizione di Napoli del quotidiano «la Repubblica». È autore di libri e articoli sul territorio rurale e le sue trasformazioni tra i quali: *Le dimensioni della terra. Letture sul territorio rurale, il paesaggio, la città* (Clean, 2025); *Valutazione di impatto ambientale: la storia, i principi, le idee di base* (Clean, 2022); *Sette pezzi facili. Viaggio breve nella Napoli interrotta* (con G. Guida, Clean 2022); *Ultime notizie dalla terra* (Ediesse, 2018); *La terra ferita. Cronistorie dalla Terra dei fuochi* (Clean, 2015); *La misura della terra. Crisi civile e spreco del territorio in Campania* (Clean, 2012); *La grande trasformazione. Il territorio rurale della Campania 1960-2000* (con F. Innamorato, Clean, Napoli, 2005).

Flora Della Valle: ha conseguito la laurea magistrale in Scienze Agrarie presso l'Università di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Dopo la laurea ha, altresì, ottenuto l'abilitazione all'esercizio della professione di Dottore agronomo e l'abilitazione all'insegnamento per l'attuale classe A-50 ("Scienze naturali, chimiche e biologiche"). Dopo alcune esperienze lavorative nel campo didattico e come esperta junior presso l'Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare - ISMEA - Ente pubblico di rilievo nazionale per l'implementazione delle politiche a favore del comparto agroalimentare - ha

vinto il concorso pubblico per funzionario divulgatore agricolo presso la Regione Campania. A seguito di detto concorso, presso la regione Campania e l'Assessorato all'Agricoltura, in particolare, ha quindi svolto una lunga carriera ultratrentennale, tutt'ora in corso, prima come funzionario agronomo e poi come dirigente, esperta in programmazione ed economia delle materie agronomiche. Nel corso dell'attività propria attività lavorativa si è occupata di molteplici tematiche tutte riconducibili al complesso e sfaccettato comparto agroalimentare. I principali ambiti professionali trattati hanno riguardato la difesa fitosanitaria integrata e biologica, la gestione forestale e la lotta agli incendi boschivi, le attività venatorie e la prevenzione dei danni da fauna selvatica, la valorizzazione e promozione dei prodotti agroalimentari e i marchi di origine, la biodiversità agraria e zootecnica, i fondi europei e nazionali destinati al settore agricolo, le problematiche tecnico-economiche delle principali filiere agricole campane, l'agricoltura di precisione e la modernizzazione delle aziende agricole, la comunicazione pubblica ed istituzionale nelle materie di competenza. Attualmente ricopre in seno all'Assessorato all'Agricoltura della regione Campania l'incarico di Dirigente del Settore "Politiche per la Competitività dell'agroalimentare campano".

Christhian Della Volpe – Laureato in Architettura nel 2015 presso l'Università di Firenze con votazione 108/110, con una tesi di laurea in progettazione architettonica dal titolo "Nuovo Centro Scientifico per la Città della Scienza". Lavora nell'ambito della progettazione di interni ampliando la conoscenza nel settore del Ho.Re.Bo. Lavora in team su progetti di riqualificazione urbana e concorsi di progettazione internazionali. Nel 2025 assieme al gruppo composto da LAB.I.R.INT. architecture+Landscape (con D. Raguzzino, A. Spiezie, M. Giuliano, I. Castaldo, S. Rusciano, risulta vincitore del primo premio per il concorso di idee per la riqualificazione dell'area di interazione porto-città di Salerno. Dal 2022 è cultore della materia in tecnologia architettonica SSD ICAR12, svolge incarichi di ricerca nel settore della progettazione sostenibile e dei materiali bioregionali con la prof. Dora Francese.

Natascia Esposito – architetta, laureata con lode in Scienze dell'Architettura e in Architettura – Progettazione Architettonica presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II, abilitata all'esercizio della professione dal 2024. Conduce attività di ricerca presso il CITTAM – Centro Interdipartimentale di Ricerca per lo Studio delle Tecniche Tradizionali nell'Area Mediterranea su tematiche legate alla sostenibilità ambientale, ai materiali bioregionali, alla valorizzazione delle risorse territoriali e alla qualità ecosistemica dell'architettura, nell'ambito di progetti finanziati dalla Regione Campania e dal programma PNRR GRINS. Svolge attività di progettazione architettonica e partecipa a concorsi nazionali e internazionali, con particolare attenzione ai temi dell'architettura inclusiva, della rigenerazione urbana e dei modelli progettuali sostenibili.

Antonio Formisano è Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni presso il Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università di Napoli Federico II. Abilitato al ruolo di Professore Ordinario dal 2021, svolge attività di ricerca principalmente nel campo dell'analisi e delle tecniche di protezione sismica degli edifici esistenti, delle strutture metalliche e dei prodotti edilizi eco-sostenibili. Inserito, a partire dal 2021,

nell'elenco dei ricercatori più autorevoli al mondo stilato dall'Università di Stanford, è autore di oltre 500 pubblicazioni su riviste e atti di convegno nazionali e internazionali. Ha coordinato e coordina numerosi progetti di ricerca e ha ricevuto diversi premi e riconoscimenti scientifici nei settori della sostenibilità edilizia e delle tecnologie per l'innovazione.

Dora Francese – Professore Ordinario di Tecnologia dell'Architettura presso il DiARC (Università degli studi di Napoli "Federico II); Direttore della rivista internazionale "SMC. Sustainable Mediterranean Construction. Land culture, research and technology" (Scopus e Anvur Classe A). Dottore di Ricerca (Politenico di Milano); Diploma in "Energy" (AA London).

Elena Guida – architetta laureata in Scienze dell'Architettura e con lode in Architettura – Progettazione Architettonica presso Università degli Studi di Napoli Federico II, abilitata all'esercizio della professione dal 2024. Conduce attività di ricerca presso il CITTAM – Centro Interdipartimentale di Ricerca per lo Studio delle Tecniche Tradizionali nell'Area Mediterranea su temi legati alla sostenibilità ambientale, ai materiali bioregionali e alla qualità ecosistemica dell'architettura, nell'ambito di progetti finanziati dalla Regione Campania. Ha partecipato a gruppi di ricerca e attività scientifiche dedicate alla valorizzazione e certificazione di materiali innovativi per l'architettura sostenibile. Partecipa a concorsi nazionali e internazionali di progettazione, con particolare attenzione ai temi dell'architettura inclusiva, della rigenerazione urbana e dei modelli progettuali sostenibili.

Antonio Iannaccone – L'esperienza nel settore delle superfici inizia lavorando nell'attività del padre, artigiano piastrellista, da lí un percorso di crescita sempre nello stesso settore, maturando negli anni esperienze di cantiere, gestione del personale e lavorazione dei materiali. Le competenze acquisite sono lo spunto per orientarsi verso la ricerca e sviluppo di nuove tecnologie. Dal 2017 fino al 2020 è Area Manager Sud per la Multinazionale Sika Italia S.p.a leader mondiale nella chimica applicata all'edilizia. L'esperienza, la ricerca e la conoscenza verso nuovi materiali, tecnologie e la passione per la sperimentazione, hanno permesso alla Procrea Superfici, azienda che rappresenta, di essere oggi un riferimento a livello Internazionale per chi vuole realizzare superfici architettoniche con materiali destinati a riciclo.

Emilia Meglio, laureata con lode in Ingegneria Edile-Architettura, ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Strutturale, Geotecnica e Rischio Sismico presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II. La sua attività di ricerca si focalizza sul retrofit sismico del patrimonio edilizio esistente, con un particolare interesse per il consolidamento tramite materiali bio-based e tecniche innovative a basso impatto ambientale, coniugando analisi numerica e indagine sperimentale. È autrice di pubblicazioni scientifiche su riviste e atti di convegno internazionali.

Enrico Maria Oliva – Cresciuto a Roccapiemonte (Sa) si reca a Napoli per frequentare la Facoltà di Architettura presso l'Università degli studi Federico II. Durante il corso di laurea collabora con architetti e ingegneri in qualità di disegnatore. Nel frattempo, intraprende un'attività di grafica e stampa, avvicinandosi al "*digital manufacturing*". Si laurea con lode

al vecchio ordinamento e pubblica il tema della relativa tesi, riguardo la stampa 3D per l'architettura, in rivista scientifica. S'iscrive all'albo professionale degli Architetti P.P.C. della provincia di Napoli e fa parte per un periodo della Commissione Protezione Civile, Cooperazione e Sicurezza Abitativa dell'Ordine. Apporta il proprio contributo nell'ambito del CITTAM-UNINA durante alcune ricerche in tecnologia. Gli viene affidato dal Dipartimento di Architettura (DiARC) della Federico II un incarico nel ruolo di assegnista di ricerca, durante il quale, partecipa al progetto RETURN. Successivamente, vince una borsa di Dottorato di Ricerca in "*Ingegneria per la Sostenibilità e la Sicurezza delle Costruzioni Civili e Industriali*" presso il Politecnico di Bari. È cultore della materia nel SSD ICAR/12 del DiARC della Federico II.

Angelo Picariello – Architetto, PhD student del 39° ciclo del dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura presso l'Università degli studi di Napoli. Ha frequentato il Master di II Livello in "BIM per la gestione di processi progettuali collaborativi in edifici nuovi ed esistenti" presso l'Università degli Studi di Firenze. Collabora alle ricerche su tecniche e materiali della tradizione mediterranea presso il CITTAM (Centro Interdipartimentale di ricerca per lo studio delle Tecniche Tradizionali dell'Area Mediterranea) in Napoli. Progettista energetico presso la società Alfredo Guerri s.r.l.; collaborazione con lo studio professionale dell'Ing. Gabriele Acocella; collaborazione presso la società di ingegneria A.I.C.I Engineering s.r.l.

Gabriele Rossini – Architetto, nel 2021 consegue con lode la Laurea Magistrale in Architettura – Rigenerazione Urbana presso Sapienza Università di Roma con una tesi incentrata sull'upcycling delle risorse presenti nel sito d'intervento. Nel 2022 è vincitore di borsa di Dottorato in Progettazione Tecnologica Ambientale presso lo stesso ateneo, dove prosegue la sua attività di ricerca sui temi del riuso e dell'integrazione delle risorse naturali come strategie per la decarbonizzazione dell'ambiente costruito. Nel 2024 è vincitore di assegno di ricerca sul progetto finanziato PNRR "From waste to manufacturing. Digital tools to establish virtous cycles" (MICS Project 1.7) finalizzato a incrementare il design circolare nel settore dell'arredo Made in Italy. Dal 2022 è socio SITdA.

Enza Tersigni – Ricercatore (RTDb) in Progettazione Tecnologica e Ambientale dell'Architettura presso il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, svolge attività di ricerca sull'innovazione tecnologica e sulla digitalizzazione dei processi progettuali. Partecipa a numerose ricerche e progetti nazionali e internazionali approfondendo il tema della resilienza dell'ambiente costruito rispetto ai rischi ambientali, naturali e antropici, con particolare riferimento alle strategie e alle azioni di adattamento e mitigazione climatica del sistema edifici-spazi aperti.

“Cultura materiale, architettura tradizionale e prodotti innovativi bioregionali” affronta il tema della sostenibilità in architettura attraverso una riflessione critica sul rapporto tra territorio, materiali e processi costruttivi. Il volume, curato da Paola De Joanna e Dora Francese, propone un superamento del modello edilizio fondato sul consumo indiscriminato delle risorse, valorizzando invece le filiere locali, i materiali bioregionali e il recupero dei saperi tradizionali.
La prima parte del libro analizza le materie prime disponibili nel territorio campano – come canapa, lana, canna comune e materiali lapidei – evidenziandone le potenzialità ambientali, tecnologiche e culturali. L’architettura viene interpretata non solo come pratica tecnica, ma come strumento capace di ristabilire un equilibrio tra uomo, ecosistema e paesaggio. Centrale è il concetto di “bioregione”, intesa come sistema territoriale in cui risorse, cultura e comunità locali sono profondamente interconnesse. Il testo approfondisce inoltre i criteri di valutazione ecosistemica dei materiali e propone un protocollo di certificazione per prodotti edilizi innovativi e sostenibili, basato su indicatori ambientali, sociali e culturali.
La seconda parte si concentra sul riuso degli scarti agricoli e sui materiali low carbon applicati all’edilizia antisismica e al retrofit energetico. Gli scarti diventano così risorse capaci di generare nuove economie circolari e filiere produttive territoriali. Attraverso casi studio e sperimentazioni, il volume mostra come innovazione tecnologica e tradizione possano integrarsi per ridurre l’impatto ambientale dell’edilizia, migliorare le prestazioni energetiche degli edifici e rafforzare l’identità dei luoghi. Il libro si configura quindi come un contributo teorico e operativo verso una cultura del costruire più responsabile, resiliente e radicata nei territori.

Paola De Joanna, è Professore Associato di Tecnologia presso DiArc – DIPARTIMENTO di Architettura dell’Università Federico II di Napoli. PhD in Recupero Edilizio e Ambientale. Conduce dal 1994 presso il DiARC attività di ricerca e didattica con riferimento alle tematiche della riqualificazione ambientale e della progettazione sostenibile. Responsabile Scientifico di convenzioni con Enti Locali e accordi internazionali con finalità di riqualificazione e valorizzazione ambientale; membro del Collegio Docenti del Corso di Dottorato HABIT (HABITAT IN TRANSITION). È autrice di numerosi articoli e saggi riguardanti il recupero e la riqualificazione ambientale; è first editor dal 2014 della rivista scientifica SMC – Sustainable Mediterranean Construction.

Dora Francese, è Professore Ordinario di Tecnologia dell’Architettura presso il DiARC (Università degli studi di Napoli “Federico II); Direttore della rivista internazionale “SMC. Sustainable Mediterranean Construction. Land culture, research and technology” (Scopus e Anvur Classe A). Dottore di Ricerca (Politenico di Milano); Diploma in “Energy” (AA London).

ISBN 978-88-6887-417-9
DOI 10.6093/978-88-6887-417-9

ISBN 978-88-6887-417-9
9 788868 874179