

SOSTENIBILITA' ED ENERGIA NELLA FILIERA DELLE COSTRUZIONI

RAPPORTO 2026



FEDERCOSTRUZIONI

ADERENTE A CONFINDUSTRIA

Con il sostegno di:



In collaborazione con:



PRESENTAZIONE DI FEDERCOSTRUZIONI

Federcostruzioni è la Federazione di Confindustria che riunisce le categorie produttive più significative della filiera delle costruzioni per evidenziare a tutti i livelli e con tutti gli interlocutori le istanze e gli interessi comuni del settore.

Si articola in cinque comparti produttivi:






- Costruzioni edili e infrastrutturali
- Tecnologie, impianti e macchinari afferenti alle costruzioni edili
- Materiali per le costruzioni
- Progettazione
- Servizi innovativi e tecnologici

Alcuni dati della filiera e associativi fondamentali

(fonte: Rapporto Federcostruzioni 2024):

- **643 miliardi di valore della produzione complessiva**
- **3,3 milioni di addetti**
- **17 tra Federazioni e Associazioni con oltre 40.000 imprese associate**

FANNO PARTE DI FEDERCOSTRUZIONI:

 ASSOCIAZIONE NAZIONALE COSTRUTTORI EDILI	ANCE Associazione Nazionale Costruttori Edili
 	ANIE Federazione Nazionale Imprese Elettrotecniche ed Elettroniche
 ANIMA CONFINDUSTRIA MECCANICA VARIA	ANIMA Confindustria Meccanica Varia
	ASSOVETRO Associazione Nazionale degli Industriali del Vetro
	CONFINDUSTRIA MARMOMACCHINE Associazione Italiana Marmomacchine
	CONFINDUSTRIA METALLI Federazione delle Associazioni nazionali industrie sider-metallurgiche
	CONFINDUSTRIA CERAMICA
	FEDERBETON Federazione della filiera del cemento, del calcestruzzo, dei materiali di base, dei manufatti, componenti e strutture per le costruzioni, delle applicazioni e delle tecnologie ad essa connesse nell'ambito della filiera sopra indicata
	FEDERCHIMICA Federazione Nazionale dell'Industria Chimica
	FEDERLEGNOARREDO Federazione italiana delle industrie del legno, del sughero, del mobile, dell'illuminazione e dell'arredamento
	OICE Associazione delle organizzazioni di ingegneria, di architettura e di consulenza tecnico economica
<i>In qualità di Soci Aggregati aderiscono:</i>	
	ANGAISA Associazione Nazionale Commercianti Articoli Idrosanitari, Climatizzazione Pavimenti, Rivestimenti ed Arredobagno
	ASSOBIM Associazione BIM
	AssorestaurO Associazione Italiana per il Restauro architettonico, artistico, urbano
	CORTEXA Consorzio Cortexa: eccellenza nel sistema a cappotto
	FEDERCOMATED Federazione Commercianti Cementi Laterizi e Materiali da Costruzione Edili
	FME Federazione Nazionale Grossisti Distributori Materiale elettrico

ORGANI DI FEDERCOSTRUZIONI

PRESIDENTE

Emanuele Ferraloro ANCE

VICE PRESIDENTI

Federica Brancaccio ANCE

Ruggero Brunori CONFINDUSTRIA METALLI

Stefano Deri FEDERCHIMICA

Elia Filiberti ANIMA

Stefano Gallini FEDERBETON

Claudio Giust FEDERLEGNOARREDO - ASSOLEGNO

Giorgio Lupoi OICE

CONSIGLIERI

Luigi Di Carlantonio CONFINDUSTRIA CERAMICA

Flavio Marabelli CONFINDUSTRIA MARMOMACCHINE

Graziano Marchiovecchio ASSOVETRO

Vincenzo De Martino ANIE

RAPPRESENTANTI DEI SOCI AGGREGATI

Maurizio Lo Re ANGAISA

Adriano Castagnone ASSOBIM

Lorenzo Tedeschi ASSORESTAURO

Filippo Colonna CORTEXA

Giuseppe Freri FEDERCOMATED

Ezio Galli FME

INVITATI PERMANENTI alle riunioni del Consiglio Generale

Romain Bocognani Direttore Generale ANCE

Flavio Bregant Direttore Generale CONFINDUSTRIA METALLI

Armando Cafiero Direttore Generale CONFINDUSTRIA CERAMICA

Consuelo D'Alò Responsabile FME

Walter Da Riz Direttore Generale ASSOVETRO

Roberto Fantino Direttore Generale ASSOBIM

Andrea Griletto Direttore Generale ASSORESTAURO

Andrea Lavagnini Direttore Generale FEDERCHIMICA

Michele Lignola Direttore Generale ANIE

Raimondo Lovati CONFINDUSTRIA MARMOMACCHINE

Andrea Mascolini Direttore Generale OICE

Andrea Orlando Direttore Generale ANIMA

Corrado Oppizzi Segretario Generale ANGAISA

Carlo Piemonte Direttore Generale FLA

Valentina Piuma Segretario Generale FEDERCOMATED

Nicola Zampella Direttore Generale FEDERBETON

SEGRETARIO GENERALE FEDERCOSTRUZIONI

Giuseppe Tripaldi

SEDE: Via G.A. Guattani 16, 00161 Roma • federcostruzioni.it • sg@federcostruzioni.it

KEY ENERGY 2026

La transizione energetica non è più un'opzione, ma una necessità. Il futuro si costruisce oggi, con scelte coraggiose, innovazione e collaborazione. In questo scenario, **KEY – The Energy Transition Expo, l'evento di IEG di riferimento in Europa, Africa e bacino del Mediterraneo, in programma dal 4 al 6 marzo alla Fiera di Rimini**, si conferma piattaforma europea per tecnologie, servizi e soluzioni che accelerano la decarbonizzazione.

“Con questa nuova edizione, consolidiamo il ruolo di KEY di hub globale della transizione energetica, aperto al confronto internazionale con player, operatori, Istituzioni e Associazioni da tutto il mondo, distinguendoci per una diversificazione e completezza espositiva che ci rende unici nel panorama degli altri eventi fieristici dedicati all'energia. Porteremo al centro l'Europa, restituendole il ruolo di primo piano che merita nella grande trasformazione in corso e valorizzando competenze industriali e tecnologiche e il patrimonio di soluzioni che già abbiamo in casa per costruire un futuro energetico sostenibile e competitivo”, spiega **Alessandra Astolfi, Global Exhibition Director della Divisione Green & Technology di Italian Exhibition Group.**

Gruppo di lavoro

Coordinamento generale:

per Federcostruzioni: Giuseppe Tripaldi

Per Università Politecnica delle Marche: Gian Marco Revel

Elaborazione (Università Politecnica delle Marche):

Costanzo Di Perna, Giovanni Di Nicola, Elisa Di Giuseppe, Marco D’Orazio, Gabriele Comodi, Emma Di Bartolomeo, Ludovica Marcelli, Nicole Morresi, Maria Francesca Muccioli, Mattia Paoletti, Mosè Rossi, Serena Serroni, Sebastiano Tomassetti

Supporto organizzativo (Federcostruzioni):

Marco Massoni, Adriana Arreghini

Impaginazione e stampa:

Tipografare s.r.l

Il Rapporto è stato realizzato con il contributo dei Centri Studi di:

ANCE www.ance.it

ANGAISA www.angaisa.it

ANIE www.anie.it

ANIMA www.anima.it

ASSOMARMOMACCHINE www.assomarmomacchine.com

ASSOBIM www.assobim.it

ASSORESTAURO www.assorestauro.org

ASSOVETRO www.assovetro.it

CONFINDUSTRIA CERAMICA www.confindustriaceramica.it

CORTEXA www.cortexa.it

FEDERACCIAI www.federacciai.it

FEDERBETON www.federbeton.it

FEDERCHIMICA www.federchimica.it

FEDERCOMATED www.federcomated.it

FEDERLEGNOARREDO www.federlegnoarredo.it

FME www.fmeonline.it

OICE www.oice.it

La pubblicazione è stata chiusa con i dati disponibili al 31 dicembre 2025.

Si evidenzia che le analisi e le considerazioni contenute nel Rapporto possono essere non aggiornate rispetto alla continua evoluzione della situazione geopolitica, economica e commerciale.

Nei grafici e nelle tabelle, quando non diversamente indicato, la dizione “Fonte Federcostruzioni” significa che l’elaborazione della tabella è stata fatta utilizzando i dati forniti dalle Associazioni aderenti.

INDICE

Sostenibilità ed energia nella filiera delle costruzioni	8
Rapporto 2026	8
Sommario	8
Metodologia Applicata	9
Introduzione.....	15
1. Il Sistema delle Costruzioni e la Transizione Energetica	21
1.1 Impatto degli aumenti energetici sulla competitività internazionale	22
1.2 Incidenza del costo dell'energia sui costi di produzione	25
1.3 Tipologie di consumo energetico più rilevanti	27
1.4 Tecnologie e soluzioni di filiera	29
2) Il Contributo della Filiera agli Obiettivi Energetici Nazionali ed Europei.....	31
2.1 Ruolo della filiera nella ristrutturazione energetica degli edifici	31
2.2 Ruolo della filiera nella riduzione dell'energia e delle emissioni incorporate (embodied) e operative (operational).....	35
2.2.1 Soluzioni delle filiere per la riduzione dell'embodied energy.....	37
2.2.2 Soluzioni delle filiere per la riduzione dell'operational energy.....	39
2.2.3 Progettazione integrata come leva di decarbonizzazione	40
2.3 Coinvolgimento della filiera e contributo agli obiettivi 2030 e 2050	42
3) I Benefici delle Tecnologie delle Associazioni della Filiera	44
3.1 Benefici energetici diretti (Operational Energy)	45
3.2 Benefici ambientali ed energetici dei materiali (Embodied Energy/Carbon).....	48
3.3 Benefici legati alla digitalizzazione (DIHCUBE).....	54
3.4 Benefici sociali e di competitività	56
4) Ostacoli, Barriere e Criticità all'Innovazione Energetica.....	59
4.1 Contesto e quadro generale.....	60
4.2 Barriere economico-finanziarie	63
4.3 Barriere regolatorie e autorizzative.....	65
4.3.1 Quadro normativo di riferimento e stabilità regolatoria	65
4.3.2 Complessità e durata dei procedimenti autorizzativi.....	67
4.4 Barriere tecnico-industriali e "supply chain"	68
4.4.1 Limiti tecnologici, integrazione nei processi e maturità industriale.....	68
4.4.2 Criticità della supply chain, disponibilità dei componenti e dipendenze esterne	70

4.5 Competenze e digitalizzazione.....	71
4.5.1 Carenze di competenze tecniche, gestionali e finanziarie lungo la filiera.....	71
4.5.2 Ruolo della digitalizzazione come fattore abilitante per integrazione, efficienza e scalabilità.....	73
4.6 Sintesi.....	76
5) Diffusione delle Tecnologie Chiave nella Filiera	78
5.1 Diffusione delle tecnologie mature	79
5.1.1 Autoconsumo da fonti rinnovabili	79
5.1.2 Sistemi di accumulo e recupero energetico	81
5.2 Diffusione delle tecnologie emergenti e maturità tecnologica	82
5.2.1 Propensione verso le tecnologie emergenti.....	82
5.2.2 Maturità tecnologica e sintesi trasversale.....	85
6) Fonti e Riferimenti	87

Sostenibilità ed energia nella filiera delle costruzioni

Rapporto 2026

Sommario

Il Rapporto Federcostruzioni 2026 analizza il ruolo del settore delle costruzioni nella transizione energetica nazionale ed europea, evidenziandone il contributo strategico al raggiungimento degli obiettivi al 2030 e al 2050 e le criticità strutturali che ne limitano oggi l'efficacia. Il focus del Rapporto è la **sostenibilità energetica** intesa come combinazione di riduzione dei consumi, contenimento dei costi energetici e rafforzamento della competitività industriale. Il settore delle costruzioni rappresenta uno dei principali snodi del sistema energetico in quanto gli edifici incidono per circa il 40% dei consumi finali di energia e per oltre il 35% delle emissioni di anidride carbonica (CO₂) a livello europeo, considerando sia la fase d'uso sia l'energia incorporata nei materiali e nei processi. In Italia, l'intera filiera delle costruzioni contribuisce fino al 40% delle emissioni complessive, con un peso particolarmente rilevante attribuibile ai materiali da costruzione e ai processi industriali energivori.

Il Rapporto evidenzia come la sostenibilità energetica del settore non possa essere affrontata esclusivamente nella fase di utilizzo degli edifici, ma richieda un approccio integrato lungo l'intero ciclo di vita, distinguendo tra **consumi energetici operativi** (Operational Energy) ed **energia incorporata** (Embodied Energy). Questa distinzione consente di individuare con maggiore precisione le leve di intervento più efficaci in termini di riduzione strutturale dei fabbisogni energetici e dei costi associati. Un elemento centrale dell'analisi è l'impatto del costo dell'energia sulla competitività del sistema produttivo. L'elevata volatilità dei prezzi energetici e il persistente differenziale rispetto ai principali partner europei penalizzano in modo significativo le imprese italiane, in particolare nei comparti energivori della filiera (cemento, acciaio, ceramica, vetro, lapideo), dove il costo dell'energia può incidere fino al 40% o più dei costi di produzione. Tale condizione, amplificata dal funzionamento del Sistema Europeo di Scambio delle Quote di Emissione (Emission Trading System – ETS) e dall'introduzione del Meccanismo di Adeguamento del Carbonio alle Frontiere (Carbon Border Adjustment Mechanism – CBAM), rende la sostenibilità energetica una variabile chiave di politica industriale, non solo ambientale.

Il Rapporto mette in evidenza il contributo concreto delle tecnologie e delle soluzioni sviluppate dalle filiere di Federcostruzioni alla riduzione dei consumi energetici. I maggiori benefici si concentrano nella fase d'uso degli edifici, con potenziali riduzioni dell'energia operativa comprese indicativamente tra il 20% e oltre il 40%, grazie all'integrazione di involucri ad alte prestazioni, materiali durevoli, sistemi impiantistici efficienti, fonti energetiche rinnovabili e soluzioni digitali per il monitoraggio e la gestione intelligente dei consumi. Parallelamente, interventi sui processi produttivi e sui materiali consentono di ridurre l'energia incorporata, agendo su efficienza industriale, recupero di calore, riduzione delle quantità di materia impiegata e maggiore utilizzo di materiali riciclati. In questo quadro, l'economia circolare è affrontata come **leva funzionale alla sostenibilità energetica**, in quanto consente di ridurre i fabbisogni

energetici complessivi della filiera attraverso minore utilizzo di materie prime vergini, riduzione dei trasporti, valorizzazione degli scarti e maggiore durabilità delle soluzioni costruttive. La progettazione orientata al ciclo di vita, la demolizione selettiva e la gestione efficiente dei rifiuti da costruzione e demolizione (Construction and Demolition Waste – CDW) contribuiscono a contenere l'energia incorporata e a migliorare l'efficienza complessiva del sistema. La digitalizzazione emerge come fattore abilitante essenziale della sostenibilità energetica. Strumenti quali il Building Information Modelling (BIM), i Digital Twin e i sistemi di monitoraggio avanzato consentono di ottimizzare la progettazione, ridurre inefficienze operative e migliorare il controllo dei consumi reali. Tuttavia, il Rapporto evidenzia una diffusione ancora disomogenea di tali strumenti, dovuta alla frammentazione del tessuto imprenditoriale e alla carenza di competenze tecniche e digitali. Il Rapporto conclude che la piena valorizzazione del contributo energetico del sistema delle costruzioni è oggi limitata da barriere economico-finanziarie, regolatorie e autorizzative, nonché da criticità di filiera e carenze di competenze. Superare tali ostacoli richiede un approccio strategico di lungo periodo basato su stabilità normativa, semplificazione dei procedimenti, accesso a energia a costi competitivi e sostegno agli investimenti industriali. In questo contesto, la sostenibilità energetica del settore delle costruzioni si configura come una condizione essenziale per la competitività del sistema produttivo nazionale e per la resilienza del Paese nel medio-lungo periodo.

Metodologia Applicata

Il presente Rapporto utilizza un approccio metodologico di tipo qualitativo-quantitativo integrato, finalizzato a restituire una rappresentazione coerente, strutturata e comparabile del contributo del sistema delle costruzioni alla transizione energetica nazionale ed europea. L'analisi si fonda su una lettura sistemica della filiera delle costruzioni intesa come insieme eterogeneo di settori industriali, professionali e di servizio caratterizzati da livelli differenti di intensità energetica, maturità tecnologica, esposizione alla concorrenza internazionale e ruolo lungo il ciclo di vita del costruito. In tale contesto l'obiettivo dell'analisi non è la misurazione puntuale delle prestazioni di singole realtà aziendali, bensì l'individuazione di tendenze strutturali, ordini di grandezza e fattori critici comuni alle diverse componenti della filiera. Il Rapporto privilegia pertanto un'impostazione di filiera e di sistema, idonea a supportare analisi di policy, valutazioni strategiche e raccomandazioni operative piuttosto che un'analisi microeconomica di tipo aziendale. Coerentemente con tale impostazione, la metodologia adottata segue un approccio bottom-up nel quale le informazioni quantitative e qualitative riportate derivano da un processo strutturato di raccolta, sintesi e validazione di contributi settoriali espressi a livello di filiera. Tale approccio risulta particolarmente adeguato in un contesto come quello delle costruzioni, caratterizzato da un'elevata frammentazione produttiva e da una marcata eterogeneità

settoriale dove le informazioni di sintesi rappresentano uno strumento essenziale per l'analisi delle dinamiche sistemiche.

L'analisi effettuata si è svolta tramite somministrazione di un questionario durante le interviste alle singole associazioni, ed ha riguardato le seguenti dimensioni chiave: i) grado di coinvolgimento nei processi di costruzione e ristrutturazione energetica; ii) tipologie di tecnologie e soluzioni adottate; iii) incidenza dei costi energetici sui costi di produzione; iv) impatto degli aumenti dei prezzi dell'energia sulla competitività; v) livello di diffusione della digitalizzazione e dei sistemi di monitoraggio; vi) principali barriere agli investimenti energetici; vii) contributo alle fasi embodied e operational del ciclo di vita dell'edificio e viii) propensione verso tecnologie emergenti e nuovi modelli energetici. Tali dimensioni costituiscono il riferimento metodologico trasversale dell'intero Rapporto e sono riprese, con diverso livello di approfondimento, nei capitoli dedicati al ruolo della filiera nella transizione energetica, alla diffusione delle tecnologie chiave, all'analisi delle barriere e alle prospettive di sviluppo al 2030 e al 2050. In coerenza con le finalità del Rapporto le informazioni di natura quantitativa sono espresse prevalentemente attraverso classi di valore, intervalli percentuali e livelli ordinali (ad esempio: basso, medio, alto, molto alto) piuttosto che mediante valori puntuali. Tale scelta metodologica risponde a tre esigenze principali:

1. Eterogeneità dei settori: la filiera delle costruzioni comprende comparti estremamente diversi per dimensione aziendale, intensità energetica e struttura dei costi. L'utilizzo di classi consente di mantenere la confrontabilità tra settori senza introdurre una forzata omogeneità numerica;
2. Focus sulle tendenze strutturali: l'obiettivo dell'analisi è individuare ordini di grandezza, criticità ricorrenti e leve di intervento comuni piuttosto che misurare con precisione singoli indicatori, la cui variabilità dipenderebbe fortemente da fattori locali e aziendali.
3. Coerenza con studi di policy e report istituzionali: l'impiego di stime di filiera e scale qualitative rappresenta una prassi consolidata nei rapporti di settore, nei documenti di indirizzo strategico e negli studi a supporto delle decisioni pubbliche, in particolare quando si analizzano fenomeni complessi e trasversali come la transizione energetica.

Pertanto, i valori numerici riportati non intendono sostituirsi a misure puntuali di tipo tecnico-contabile, ma forniscono un quadro informativo coerente e funzionale all'analisi delle dinamiche di sistema e alla definizione di indirizzi strategici e di policy. Le informazioni di origine settoriale sono state integrate e contestualizzate attraverso un ampio lavoro di allineamento con fonti esterne qualificate al fine di garantire coerenza, solidità e verificabilità dell'impianto complessivo del Rapporto. In particolare, l'analisi

si è basata su: i) documenti normativi e strategici europei; ii) documenti di pianificazione nazionale; iii) dati statistici ufficiali; iv) studi e report di riferimento a livello europeo e internazionale e v) linee guida e documenti tecnici delle principali associazioni di settore che consentono di collocare le evidenze emerse dalle filiere all'interno di un quadro di riferimento coerente e di evitare letture isolate, rafforzando il valore interpretativo dei risultati. Un elemento qualificante della metodologia adottata è l'utilizzo di un approccio orientato al ciclo di vita, che distingue in modo sistematico tra i) fase embodied (produzione dei materiali, trasporto e attività di cantiere); ii) fase operational (uso dell'edificio lungo la sua vita utile) e iii) fasi di manutenzione, fine vita, riciclo e recupero. Questa impostazione consente di evitare una visione parziale della sostenibilità energetica, evidenziare il contributo differenziato delle diverse filiere e mettere in relazione soluzioni tecnologiche, materiali e processi con i reali benefici energetici e ambientali generati nel tempo. Alla fine, il risultato è un quadro analitico che, pur riconoscendo l'eterogeneità del settore, restituisce una descrizione coerente, comparabile ed efficace della transizione energetica del sistema delle costruzioni, fornendo una base conoscitiva solida per il confronto tra filiere e per l'elaborazione di politiche industriali ed energetiche di medio-lungo periodo.

Schema metodologico del Rapporto Federcostruzioni 2026



GLOSSARIO

- **Carbon border adjustment mechanism:** Strumento dell'Unione europea che incide sulla filiera delle costruzioni introducendo un costo sulle emissioni di CO₂ incorporate nei materiali e nei prodotti da costruzione importati da Paesi extra-UE, al fine di prevenire il carbon leakage e garantire condizioni di concorrenza eque per i produttori europei.
- **Carbon capture usage and storage (CCUS):** Insieme di tecnologie applicabili ai processi industriali energivori, in particolare nella produzione di materiali finalizzate alla cattura, al riutilizzo o allo stoccaggio della CO₂ per la riduzione delle emissioni climalteranti.
- **Comunità energetiche rinnovabili (CER):** Soggetti giuridici costituiti da cittadini, imprese, enti locali o altri attori che collaborano per la produzione, il consumo e la condivisione di energia da fonti rinnovabili, con benefici ambientali, economici e sociali a livello locale.
- **Configurazioni di autoconsumo per la condivisione dell'energia rinnovabile (CACER):** Modelli organizzativi che consentono a più soggetti di condividere l'energia elettrica prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, favorendo l'autoconsumo collettivo e l'efficienza del sistema energetico.
- **Digital Twin:** Rappresentazione digitale di edifici, infrastrutture o processi costruttivi, utilizzata nella filiera delle costruzioni per monitorare le prestazioni energetiche e ambientali, simulare scenari di gestione e ottimizzare le decisioni lungo l'intero ciclo di vita dell'opera.
- **Emission trading system (ETS):** Sistema di scambio delle quote di emissione dell'Unione europea che stabilisce un tetto massimo alle emissioni di gas a effetto serra per specifici settori industriali ed energetici, consentendo lo scambio delle quote tra operatori per incentivare la riduzione delle emissioni a costi efficienti.
- **Embodied energy:** Quantità totale di energia consumata per l'estrazione delle materie prime, la produzione, il trasporto, la costruzione, la manutenzione e la dismissione di un prodotto o di un edificio, esclusi i consumi energetici della fase operativa.
- **Filiera delle costruzioni:** Insieme degli attori, dei processi e delle attività coinvolti nella progettazione, produzione, realizzazione, gestione e dismissione delle opere edili e infrastrutturali, comprendendo materiali, tecnologie, servizi e competenze.
- **Fonti energetiche rinnovabili (FER):** Fonti di energia che si rigenerano naturalmente su scala temporale compatibile con l'uso umano, quali solare, eolica, idroelettrica, geotermica e biomasse, caratterizzate da un ridotto impatto ambientale e da basse emissioni di gas a effetto serra.
- **Global warming potential:** Indicatore che misura il contributo di un gas a effetto serra al riscaldamento globale rispetto alla CO₂, su un determinato orizzonte temporale, ed è

utilizzato per confrontare l'impatto climatico di differenti emissioni.

- **Indoor environmental quality:** Insieme delle condizioni ambientali interne agli edifici, quali qualità dell'aria, comfort termico, illuminazione e acustica, che influenzano la salute, il benessere e la produttività degli occupanti.

- **Life cycle assessment (LCA):** Metodologia standardizzata per la valutazione degli impatti ambientali associati a un prodotto, processo o servizio lungo l'intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime alla fine vita.

- **Operational energy:** energia richiesta nella fase d'uso per il funzionamento degli impianti e dei servizi di un edificio o di un'infrastruttura (es. riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, illuminazione).

- **Settori energy intensive:** I settori "energy intensive" (o energivori) della filiera delle costruzioni sono caratterizzati da elevati consumi di energia, sia termica sia elettrica, ma non necessariamente da emissioni difficilmente eliminabili. Comprendono principalmente le industrie dedicate alla produzione di materiali da costruzione caratterizzate da un elevato fabbisogno di energia. In questi comparti la decarbonizzazione è in larga parte legata alla sostituzione delle fonti energetiche senza una modifica radicale del processo industriale di base.

- **Settori hard to abate:** I settori "hard to abate" (ovvero difficili da decarbonizzare) comprendono comparti industriali caratterizzati da elevata intensità energetica ed emissiva in cui le emissioni di CO₂ sono intrinseche al processo produttivo, quindi non eliminabili con la sola decarbonizzazione dell'energia. Anche in presenza di energia rinnovabile tali settori richiedono l'adozione di tecnologie produttive alternative per ottenere riduzioni significative delle emissioni.

Introduzione

Emanuele Ferraloro, Presidente di Federcostruzioni



La transizione energetica rappresenta oggi una delle principali sfide strutturali per il sistema economico europeo e nazionale. In tale contesto, il **settore delle costruzioni**, inteso come **ecosistema integrato di filiere industriali, professionali e di servizio**, assume un ruolo centrale e non sostituibile nel raggiungimento degli obiettivi climatici ed energetici dell'Unione europea al 2030 e al 2050. A livello Globale, il settore delle costruzioni è responsabile del 37% delle emissioni operative, ripartire in percentuale nei diversi settori, come mostra **Figura 1**.

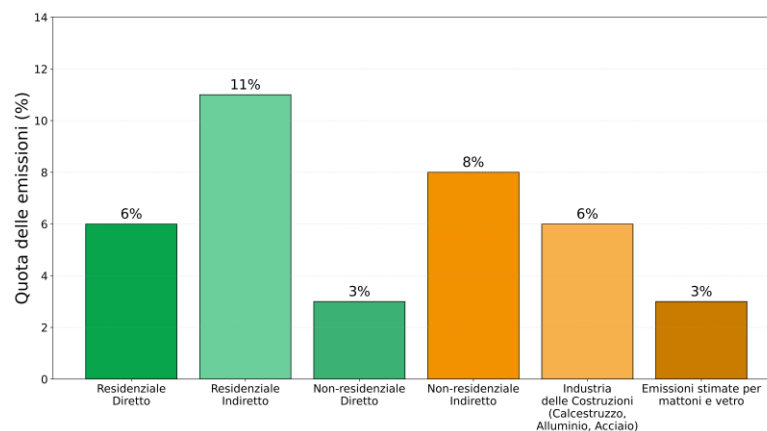


Figura 1. Quota globale delle emissioni di CO₂ operative e di processo degli edifici e del settore delle costruzioni. Le emissioni 'dirette' (residenziali e non) derivano da fonti controllate e presenti in sito. Le emissioni 'indirette' (residenziali e non) sono invece generate off-site e sono associate soprattutto alla produzione dell'elettricità e del calore acquistati e consumati nell'edificio. [Fonte: Building Materials and the Climate: Constructing a New Future]

A livello europeo, gli edifici sono responsabili di circa **il 40% dei consumi finali di energia** e di **oltre il 35% delle emissioni di CO₂**, se si considerano sia le emissioni operative sia quelle incorporate nei materiali e nei processi lungo l'intero ciclo di vita. La crescente rilevanza delle emissioni e dei consumi energetici associati alle fasi di produzione, costruzione, manutenzione e fine vita degli edifici rende sempre più necessario un approccio basato sull'intero ciclo di vita del costruito. La **Figura 2** mostra le emissioni di gas serra dell'UE relative al 2022, suddivise secondo i principali settori produttivi italiani, evidenziano che la fornitura di **energia** ha rappresentato il 27,4% delle emissioni europee di gas effetto serra.

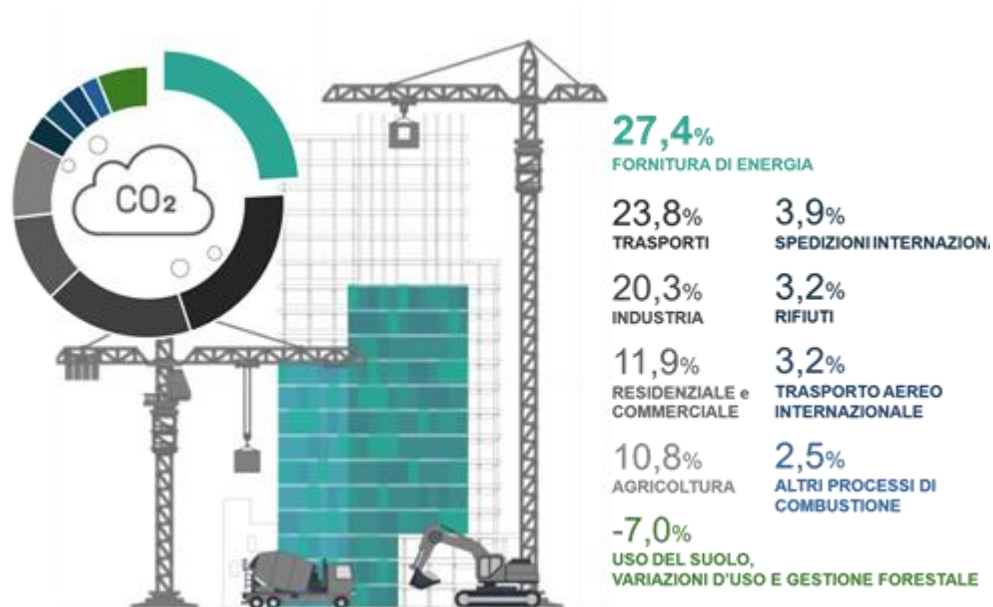


Figura 2. Emissioni di gas serra nell'UE suddivise per settore. Quota complessiva delle emissioni stimata in CO₂ equivalente (2022). (Fonte dati: Agenzia europea dell'ambiente, AEA).

In particolare, alcuni materiali essenziali, senza i quali non sarebbe possibile costruire, cemento, acciaio, alluminio e plastica hanno un impatto significativo. Tali materiali, però, rappresentano al contempo uno dei principali ambiti di intervento per la riduzione dell'intensità energetica ed emissiva attraverso innovazione di processo, di prodotto e di modello industriale.

In Italia, il settore delle costruzioni è responsabile di circa **l'11% delle emissioni nazionali**. Di queste, circa l'80% delle emissioni deriva dalla produzione e dal trasporto dei materiali, mentre il 20% è legato alle attività di cantiere e ai consumi energetici diretti. Considerando anche le emissioni in fase d'uso delle opere, la catena del valore delle costruzioni arriva a rappresentare circa il **40% delle emissioni complessive a livello nazionale**. Questa distribuzione evidenzia come le politiche di sostenibilità energetica non possano limitarsi alla sola fase di utilizzo degli edifici, ma debbano

incidere in modo strutturale sull'organizzazione delle filiere produttive e dei processi costruttivi.

Nonostante i progressi registrati negli ultimi anni in termini di efficienza energetica e integrazione delle fonti rinnovabili, il **parco edilizio esistente**, caratterizzato da un'elevata vetustà e da prestazioni energetiche mediamente insufficienti, continua a rappresentare uno dei principali fattori di pressione sul sistema energetico e sul bilancio emissivo. Da stime di Confindustria, entro il **2050** la disponibilità complessiva di energia dovrà essere **almeno raddoppiata** rispetto ai livelli attuali, al fine di sostenere la trasformazione dei processi produttivi, l'elettrificazione dei consumi finali e il percorso di decarbonizzazione dell'economia.

In questo scenario, la transizione energetica del settore delle costruzioni non può essere letta esclusivamente come un tema di **riduzione dei consumi nella fase d'uso degli edifici**, ma deve essere affrontata come una trasformazione sistemica che coinvolge **tutte le filiere**:

- le **imprese di costruzione e restauro**, chiamate a riorientare processi, cantieri e modelli operativi;
- i produttori di **materiali da costruzione**, impegnati nella riduzione dell'intensità energetica e carbonica dei prodotti;
- le filiere delle **tecnologie, degli impianti e dei macchinari**, che abilitano l'elettrificazione, l'efficienza energetica e la gestione intelligente dei consumi;
- i professionisti della **progettazione**, sempre più centrali nell'integrazione delle prestazioni energetiche e ambientali lungo il ciclo di vita;
- i **servizi innovativi e tecnologici**, che rendono possibile il monitoraggio, l'ottimizzazione e la gestione evoluta dell'energia nel tempo, favorendo soluzioni tecnicamente efficaci, economicamente sostenibili e replicabili su larga scala.

Il **Rapporto Federcostruzioni 2026** si colloca in un momento particolarmente critico per il settore. Da un lato, il quadro normativo europeo, con il Green Deal, il pacchetto **Fit for 55**, la revisione della **Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)** e l'evoluzione delle direttive su efficienza energetica e fonti rinnovabili, impone una **accelerazione profonda e irreversibile** dei processi di decarbonizzazione. Dall'altro, il sistema delle costruzioni opera in un contesto caratterizzato da **forte volatilità dei prezzi dell'energia**, tensioni sulle catene di approvvigionamento, incremento dei costi delle materie prime e crescente competizione internazionale, che incidono in modo diretto sulla sostenibilità economica delle imprese e sulla loro capacità di investimento. In particolare, il **costo dell'energia** si conferma come uno dei principali fattori di vulnerabilità per l'intera filiera, con incidenze sui costi di produzione che variano

sensibilmente tra i diversi comparti, ma che risultano **strutturalmente rilevanti** soprattutto per i settori energivori dei materiali, dell'industria manifatturiera e dei processi industriali. Le recenti crisi energetiche, connesse agli scenari di crisi politica internazionale, hanno reso evidente come la sostenibilità energetica non sia più soltanto una questione ambientale, ma una **leva determinante di competitività industriale**, capace di influenzare le scelte localizzative, gli investimenti e il posizionamento delle imprese italiane sui mercati internazionali.

Tuttavia, allo stesso tempo, il settore delle costruzioni dispone di un **potenziale unico** per contribuire alla riduzione dei consumi energetici e delle emissioni lungo l'intero ciclo di vita del costruito. Le tecnologie e le soluzioni sviluppate dalle filiere rappresentate in Federcostruzioni consentono infatti di agire simultaneamente su più livelli:

- **riduzione della domanda energetica** degli edifici attraverso materiali ad alte prestazioni, sistemi passivi, massa e inerzia termica, involucro evoluto;
- **efficientamento e decarbonizzazione dei sistemi impiantistici**, mediante elettrificazione, integrazione delle fonti rinnovabili, accumuli e gestione intelligente dei carichi;
- **contenimento dell'energia e delle emissioni incorporate** nei materiali e nei processi produttivi, attraverso innovazione di prodotto, recupero di calore, uso di materie seconde e tecnologie low-carbon;
- **ottimizzazione dei processi di progettazione, costruzione e gestione**, resa possibile dalla digitalizzazione, dal BIM (Building Information Modelling), dai digital twin e dai sistemi di monitoraggio avanzato.

In questo quadro, la sostenibilità energetica emerge **come fattore trasversale e abilitante**, capace di connettere obiettivi climatici, competitività industriale, qualità del costruito e resilienza del sistema Paese. Tuttavia, affinché tale potenziale possa tradursi in risultati concreti, è necessario superare una serie di criticità strutturali: incertezza regolatoria, complessità autorizzative, frammentazione normativa, carenza di competenze tecniche e difficoltà di accesso a energia a costi competitivi e stabili nel lungo periodo.

Pur riconoscendo i progressi ottenuti con il D.L. Energia n. 19/2025, successivamente convertito in legge e oggetto di integrazioni nel corso del 2025, che segnano una rinnovata attenzione al contenimento dei costi energetici e allo sviluppo delle fonti rinnovabili, l'impianto complessivo del provvedimento non appare ancora pienamente adeguato ad affrontare le criticità strutturali che penalizzano il sistema produttivo italiano. Il decreto include misure volte a migliorare la trasparenza del mercato energetico, a sostenere imprese e famiglie e a introdurre prime semplificazioni in

materia di autorizzazioni, autoconsumo e Comunità Energetiche Rinnovabili (CER)/ Configurazioni di Autoconsumo per la condivisione dell'energia Rinnovabile (CACER). Tuttavia, tali interventi, pur positivi, hanno prevalentemente un carattere congiunturale e compensativo e non incidono in modo strutturale sulle cause dell'elevato costo dell'energia e della sua volatilità. Il presente Rapporto si propone quindi di fornire una lettura del contributo del sistema delle costruzioni alla sostenibilità energetica, analizzando:

- il ruolo delle diverse filiere nel raggiungimento degli obiettivi energetici e climatici;
- i benefici energetici e ambientali generati dalle tecnologie e dai materiali lungo il ciclo di vita degli edifici;
- il livello di diffusione delle soluzioni chiave e il grado di maturità del settore;
- le principali barriere che ostacolano gli investimenti;
- le priorità strategiche e le raccomandazioni di policy necessarie per rafforzare la competitività energetica del comparto.

Attraverso il contributo delle associazioni aderenti a Federcostruzioni, il Rapporto 2026 intende offrire non solo una fotografia dello stato attuale, ma anche una base conoscitiva solida per orientare le scelte industriali, regolatorie e di investimento, nella consapevolezza che la transizione energetica del settore delle costruzioni rappresenta una condizione imprescindibile per il conseguimento degli obiettivi climatici europei e per la crescita sostenibile dell'economia nazionale. Alla luce di tali considerazioni, la questione energetica richiede un approccio strategico di lungo periodo, fondato su un solido coordinamento tra le istituzioni nazionali. In questo quadro, appaiono prioritari i seguenti ambiti di intervento:

- la promozione strutturale e sistematica dell'efficienza energetica negli edifici e nelle infrastrutture;
- la progressiva e ordinata sostituzione dei combustibili fossili con fonti rinnovabili, valorizzando in particolare l'elettricità da fonti rinnovabili e il ruolo dell'idrogeno;
- il sostegno allo sviluppo e alla diffusione delle tecnologie di cattura, stoccaggio e riutilizzo della CO₂ (Carbon Capture Usage and Storage, CCUS).

In questo contesto, gli associati a Federcostruzioni stanno già svolgendo un ruolo attivo e responsabile, contribuendo concretamente alla sostenibilità energetica attraverso azioni diffuse lungo l'intero ciclo di vita delle opere, dalla fase produttiva alla fase di utilizzo.

Le aziende della filiera stanno investendo nell'efficiamento dei processi produttivi, attraverso audit energetici, sistemi di monitoraggio dei consumi e sostituzione di macchinari obsoleti con tecnologie a maggiore efficienza. Le imprese associate mirano alla riduzione dei consumi in cantiere, mediante l'ottimizzazione dell'uso delle attrezzature, l'elettificazione dei mezzi, la gestione intelligente dei carichi e, ove possibile, l'impiego di soluzioni ibride e rinnovabili per l'alimentazione temporanea. Inoltre, viene perseguita la razionalizzazione dei processi costruttivi, anche grazie a tecniche industrializzate, prefabbricazione e logiche di cantiere "lean", che riducono tempi, sprechi e consumi energetici indiretti.

Infine, occorre sottolineare l'impegno delle Associazioni della filiera che hanno realizzato e forniscono alle imprese servizi orientati a mantenere e sviluppare la loro capacità di innovazione.



1. Il Sistema delle Costruzioni e la Transizione Energetica

Il percorso di transizione energetica e di decarbonizzazione del settore delle costruzioni si inserisce in un contesto europeo caratterizzato da una crescente pressione normativa, definita dagli obiettivi del **Green Deal europeo** e dal pacchetto **Fit for 55**, che prevede una riduzione delle emissioni di gas climalteranti di almeno il 55% entro il 2030 e il raggiungimento della **neutralità climatica entro il 2050** (Figura 3).

Le sfide poste dal **PNIEC**, che definisce le principali traiettorie di intervento dell'Italia in materia di incremento delle fonti rinnovabili, miglioramento dell'efficienza energetica ed elettrificazione dei consumi, richiedono un contributo coordinato di tutti i soggetti della filiera delle costruzioni, dai produttori di materiali alle imprese di costruzione, fino ai progettisti e ai gestori delle opere, rendendo il settore delle costruzioni uno degli snodi centrali per il conseguimento degli obiettivi energetici e climatici nazionali.

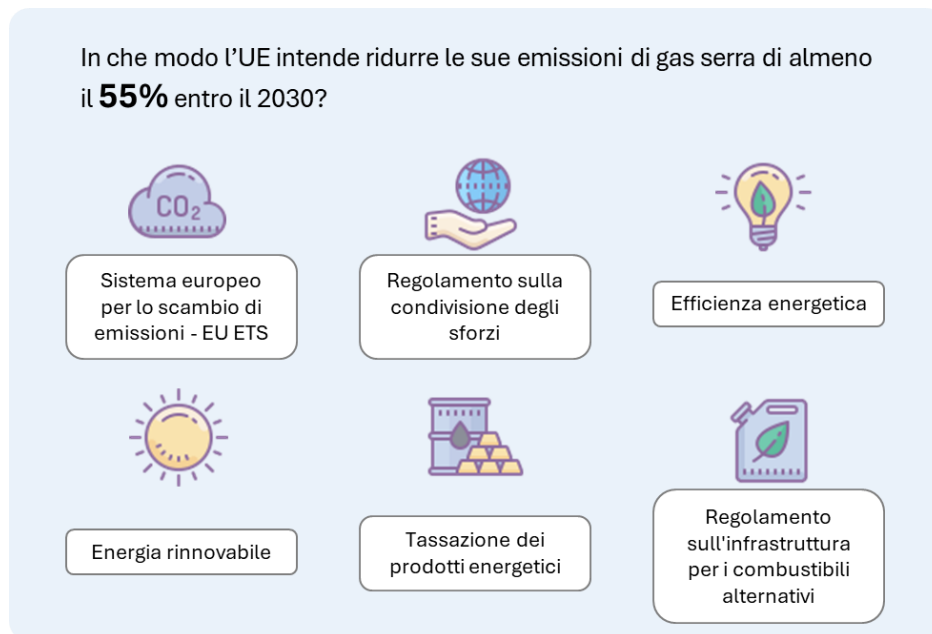


Figura 3. Insieme di proposte legislative dell'UE all'interno del pacchetto "Fit for 55", parte del Green Deal, volto a ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, puntando alla neutralità climatica entro il 2050

In tale quadro, il settore delle costruzioni è direttamente interessato dal rafforzamento del **Sistema Europeo di Scambio delle Quote di Emissione, Emission Trading System (ETS)**, dalla progressiva riduzione delle assegnazioni gratuite e dall'estensione dei meccanismi di pricing del carbonio, nonché dall'introduzione del **Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)**, che incide in modo significativo sui materiali da costruzione ad alta intensità emissiva. La **Figura 4** illustra come il regolamento CBAM imponga a chi importa da Paesi extra-UE determinate categorie di merci (es. **cemento, acciaio, e energia elettrica**) il pagamento di un **costo del carbonio uguale** a quello che

avrebbe pagato se tali merci fossero state prodotte in UE, dove vige l'ETS. Questi strumenti, pur rispondendo all'esigenza di accelerare la decarbonizzazione, determinano un aumento dei costi per le imprese e pongono sfide rilevanti in termini di competitività, soprattutto per i settori e per le filiere fortemente energivore. Ne emerge la necessità di accompagnare l'evoluzione normativa con politiche di supporto adeguate, capaci di coniugare gli obiettivi climatici con la sostenibilità economica e industriale del comparto delle costruzioni.

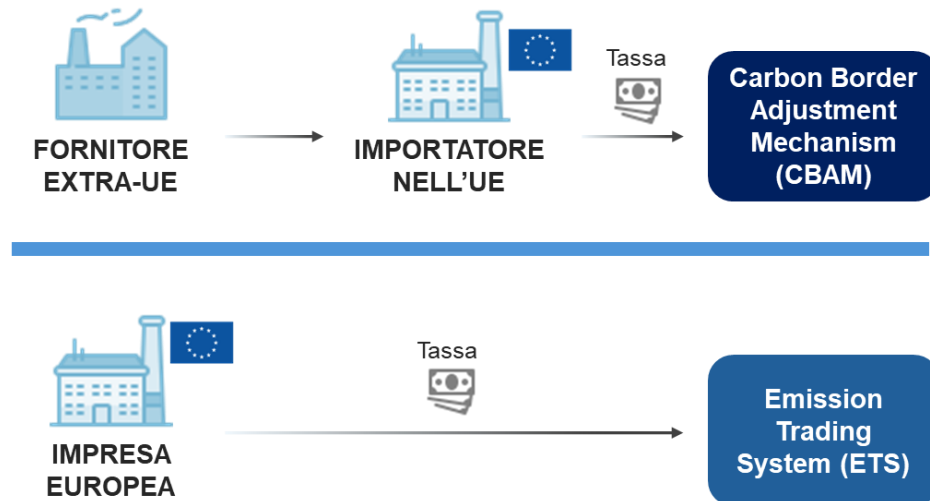


Figura 4. Differenze tra il sistema di scambio delle emissioni EU ETS, e il meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere CBAM.

1.1 Impatto degli aumenti energetici sulla competitività internazionale

La questione energetica rappresenta una priorità strategica nazionale e una delle principali criticità strutturali per la competitività del sistema produttivo italiano. La vulnerabilità energetica, accentuata dalle tensioni geopolitiche e dalla volatilità dei mercati, rappresenta uno dei principali fattori di rischio per la **competitività internazionale** del sistema delle costruzioni. Gli aumenti energetici incidono in modo diretto sulla capacità di crescita del Paese, sulla tenuta del tessuto industriale e sulla possibilità di conseguire gli obiettivi di transizione ecologica e digitale definiti a livello europeo. Tale prospettiva si confronta con una situazione di **persistente svantaggio competitivo** per le imprese italiane. Nel **dicembre 2025**, il prezzo medio dell'energia elettrica (PUN Index GME) in Italia ha raggiunto **115,5 €/MWh**, confermandosi su livelli significativamente superiori rispetto a quelli dei principali partner europei. Come evidenziato in **Figura 5** dai dati Eurostat relativi al primo semestre 2025, l'Italia presenta livelli di prezzo tra i più elevati in Europa per le entità legali che acquistano energia per usi non personali, e considerando l'intero anno 2025, la **media dei prezzi sul mercato**

elettrico si attesta su valori ancora elevati, confermando il divario competitivo dell'Italia nel confronto europeo.

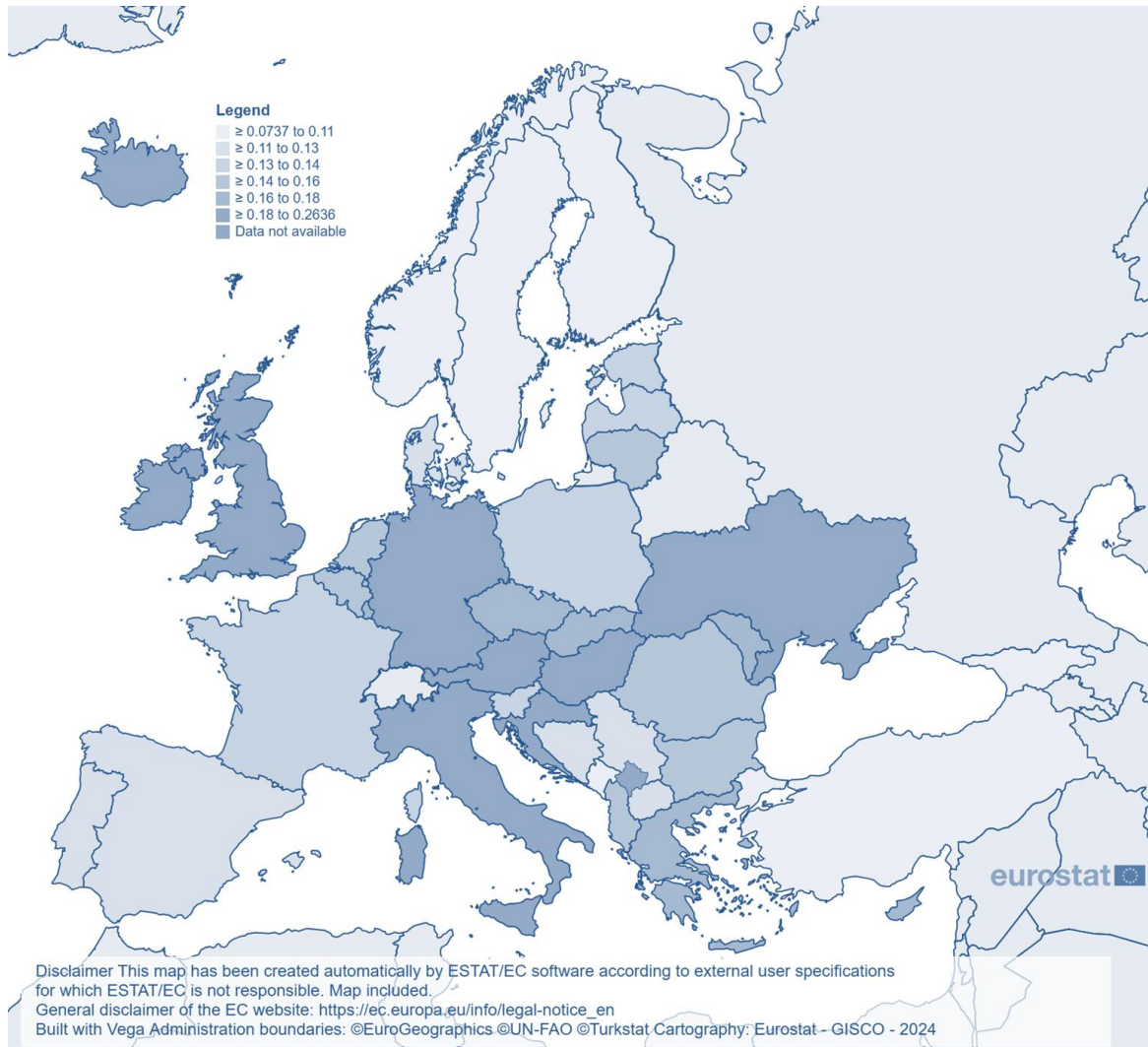


Figura 5. Prezzi dell'energia 1S-2025 (escluse tasse e prelievi) per entità legali che acquistano energia per usi non personali "non-household consumers" (Fonte: Eurostat)

L'elevato livello dei prezzi dell'energia incide negativamente sulla competitività delle imprese, comprimendo i margini operativi, riducendo la propensione agli investimenti e rallentando i processi di innovazione, con il rischio di compromettere il raggiungimento degli obiettivi di rigenerazione del patrimonio edilizio e infrastrutturale del Paese.

Un profilo di criticità particolarmente rilevante riguarda il meccanismo di **formazione del prezzo dell'energia elettrica**. Come mostrato in **Figura 6**, l'attuale sistema del *marginal price*, adottato a livello europeo, determina il prezzo dell'elettricità in base al costo dell'ultima unità di produzione necessaria per soddisfare la domanda. Tuttavia, questa corrisponde all'impianto di generazione più oneroso, generalmente una centrale

a gas. Questo meccanismo finisce per trasferire sul sistema produttivo gli effetti della forte volatilità del prezzo del gas.

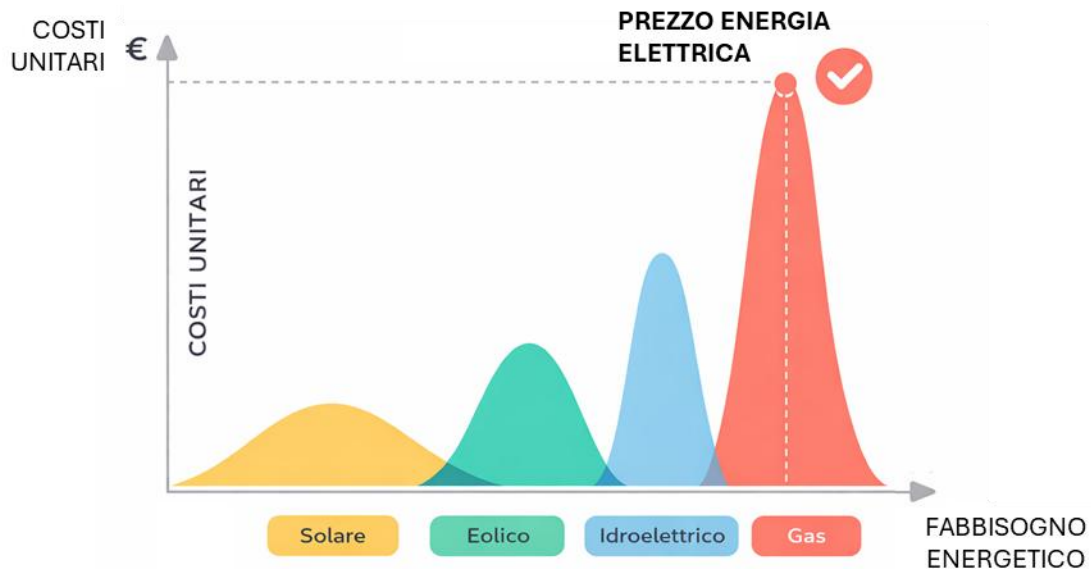


Figura 6. Grafico rappresentativo del sistema marginal price per la formazione del prezzo dell'energia elettrica.

A tale dinamica si aggiunge l'impatto del **sistema ETS** che, pur rispondendo a obiettivi ambientali condivisibili e coerenti con le politiche di efficientamento energetico, contribuisce a un ulteriore incremento del costo finale dell'energia per imprese e cittadini. Nell'attuale assetto, è previsto che entro il 2034 si concluda progressivamente il regime di assegnazione gratuita delle quote di emissione. Tuttavia, permangono significative incertezze regolatorie in merito alle modalità con cui il sistema evolverà e a come verranno allocate le nuove quote nel periodo successivo. Il sistema ETS si configura come un meccanismo di scambio delle emissioni di CO₂, concepito per i settori industriali maggiormente emissivi, con l'obiettivo di incentivare la riduzione delle emissioni attraverso un prezzo del carbonio. A tale strumento si affiancano le BREF (Best Available Techniques Reference Documents), ossia i documenti di riferimento elaborati a livello europeo per descrivere i processi industriali, i livelli di consumo ed emissione associati alle tecniche applicate e le migliori tecniche disponibili per la prevenzione e il controllo integrato dell'inquinamento derivante dalle attività industriali. La competitività futura dipenderà in misura rilevante da decisioni strategiche assunte in sede europea, in particolare dall'aggiornamento dei documenti BREF.

Nei **settori maggiormente energivori**, quali siderurgia, ceramica, vetro, chimica upstream e produzione di cemento, l'aumento dei costi dell'energia ha inciso in modo particolarmente rilevante, **ampliando il divario competitivo** rispetto ai principali competitor esteri. In tali comparti, il costo dell'energia si combina con l'impatto del

sistema ETS e del prezzo della CO₂, determinando un aggravio complessivo che penalizza soprattutto il confronto con produttori extraeuropei, meno esposti a vincoli ambientali e caratterizzati da costi energetici più contenuti.

Il settore ceramico rappresenta un esempio emblematico di questa dinamica: a fronte di una forte vocazione all'export, con una quota rilevante di fatturato realizzata sui mercati internazionali, le imprese italiane si confrontano con **competitor europei e globali che beneficiano di prezzi dell'energia elettrica e del gas significativamente inferiori**. Analogamente, nella siderurgia, l'elevata intensità energetica dei processi produttivi rende gli aumenti dei prezzi dell'energia un fattore critico, con potenziali effetti di delocalizzazione e carbon leakage.

Anche nei settori meno energivori, gli aumenti energetici hanno inciso in modo significativo sulla competitività, riducendo i margini e rendendo più complessa la competizione sui mercati internazionali. In diversi casi, viene sottolineata la **difficoltà di individuare una media rappresentativa**, poiché l'impatto varia in funzione della dimensione aziendale e della collocazione lungo la filiera.

Accanto ai comparti maggiormente esposti alla concorrenza internazionale, alcune filiere presentano una struttura di mercato prevalentemente domestica. In questi casi, l'aumento dei costi energetici si riflette principalmente sulla competitività interna, incidendo sui prezzi finali e sulla sostenibilità economica delle commesse nazionali, spesso correlate all'andamento del mercato immobiliare e agli strumenti di incentivazione.

1.2 Incidenza del costo dell'energia sui costi di produzione

Dall'analisi svolta tra la compagine associativa di Federcostruzioni emerge che il costo dell'energia rappresenta una componente significativa dei costi di produzione lungo l'intera filiera delle costruzioni, con un'incidenza che varia sensibilmente in funzione del settore e dell'intensità energetica dei processi produttivi.

Per numerosi comparti della filiera delle costruzioni, tra cui **legno, calcestruzzo, industria chimica**, e distribuzione impiantistica, l'incidenza del costo dell'energia si colloca prevalentemente in un intervallo compreso tra il 5% e il 20% dei costi complessivi di produzione. In tali settori, pur non rappresentando la voce dominante, l'energia incide in modo importante sulla struttura dei costi e sulla capacità delle imprese.

Nella filiera dei materiali ceramici e dei laterizi, a parità di materia prima, l'incidenza del costo dell'energia può raggiungere il 30% nel comparto dei laterizi, mentre si colloca mediamente tra il 15% e il 20% per le produzioni ceramiche, a conferma della forte dipendenza di tali comparti dai consumi energetici, in particolare di natura termica,

legati ai processi di cottura. Per la filiera del vetro l'incidenza del costo dell'energia è compreso tra il 20 ed il 40%.

Nei comparti a più elevata intensità energetica, come la **siderurgia** e il **settore lapideo**, l'incidenza del costo dell'energia risulta decisamente superiore. Nel caso dei materiali lapidei, il peso dell'energia può superare il 40% dei costi di produzione, arrivando a rappresentare fino al 60–80% dell'impatto complessivo quando analizzato nell'ambito di studi di LCA (Life Cycle Assessment), in relazione alle attività di cava e di trasformazione. Analogamente, nella siderurgia, la diffusione dei forni elettrici ad arco rende il costo dell'energia elettrica un fattore determinante per la sostenibilità economica degli impianti. Tali valori sono fortemente legati alla necessità di disporre di calore ad alta temperatura per processi continui, come nel caso dei forni industriali di grandi dimensioni, per i quali le possibilità di sostituzione del vettore energetico risultano ad oggi tecnicamente limitate. In questi contesti, l'elettificazione dei processi è resa complessa dalle dimensioni degli impianti, dai volumi d'aria trattati e dai profili termici richiesti, riducendo nel breve periodo le possibilità di decarbonizzazione del processo produttivo. Il grafico in **Figura 7** riporta una rappresentazione comparativa dell'incidenza del costo dell'energia sui costi di produzione nei diversi comparti della filiera, sulla base delle classi di valore dichiarate dalle associazioni intervistate. Il grafico intende evidenziare le differenti strutture di costo e intensità energetica dei processi produttivi nei diversi segmenti della filiera delle costruzioni. Tale eterogeneità costituisce un elemento caratterizzante dell'analisi, poiché implica che le politiche e le azioni in ambito energetico producano effetti differenziati lungo la filiera. Si specifica che i valori riportati hanno carattere indicativo e sono utilizzati al solo fine di evidenziare le differenze relative tra i settori.

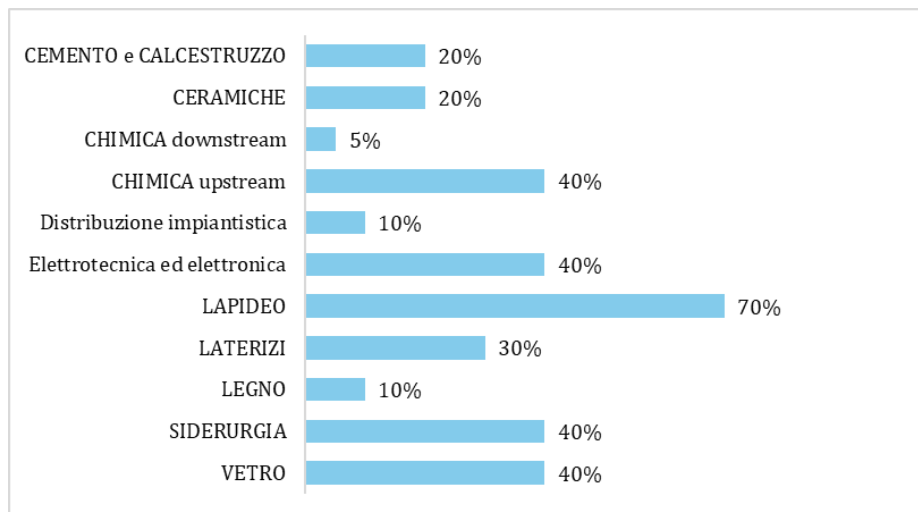


Figura 7. Incidenza del costo dell'energia sui costi di produzione. I valori sono forniti sulla base delle stime dichiarate dalle associazioni di settore, e riflettono la diversa struttura dei costi e dei processi produttivi dei comparti considerati.

1.3 Tipologie di consumo energetico più rilevanti

L'analisi precedente mette in evidenza come il peso dell'energia varia in modo significativo tra i diversi comparti della filiera delle costruzioni, riflettendo differenze strutturali nei processi produttivi e nei modelli organizzativi. Per comprendere più a fondo le ragioni di tale eterogeneità, risulta quindi necessario esaminare la **tipologia di consumo energetico**, che è strettamente legata alla natura dei processi produttivi, alle modalità organizzative e al ruolo della logistica nei diversi comparti. Come mostrato in **Figura 8**, in alcuni settori prevalgono i consumi elettrici e termici di processo, mentre in altri assumono un peso significativo i consumi associati alla movimentazione delle merci e ai trasporti.

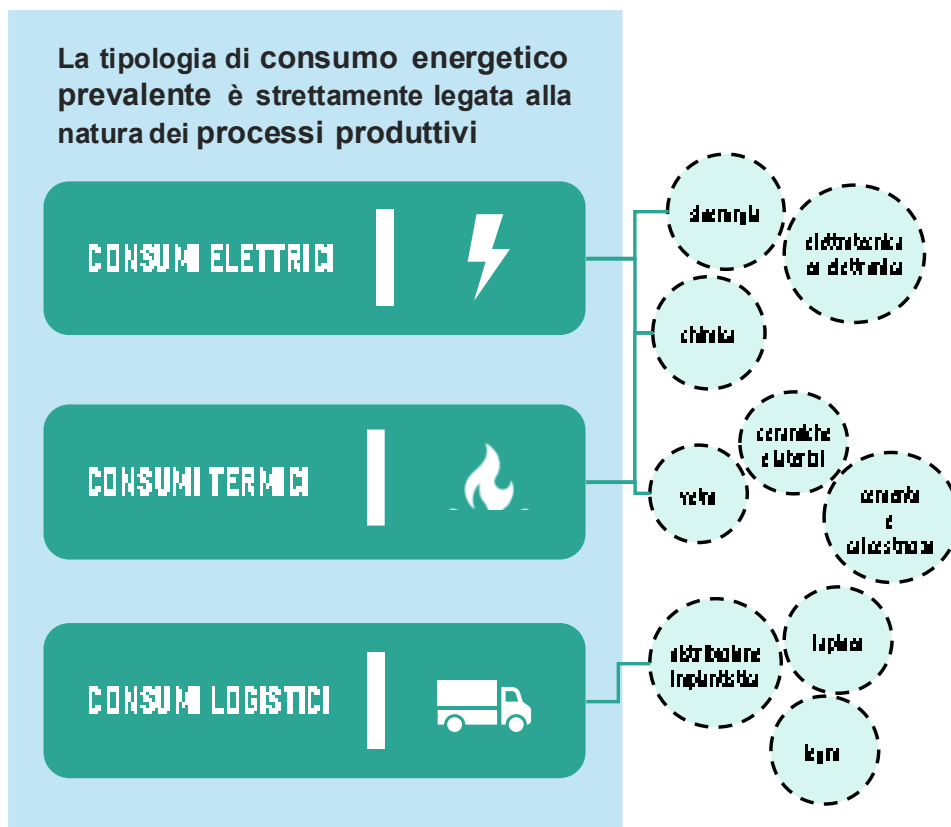


Figura 8. Tipologia di consumo energetico prevalente per settore

Nei settori industriali ad alta intensità di processo i consumi energetici più rilevanti risultano quelli legati direttamente ai processi produttivi. In particolare, nella **siderurgia** prevalgono i consumi elettrici associati ai forni elettrici ad arco (Electric Arc Furnace, EAF), che costituiscono l'elemento centrale del ciclo produttivo.

Un profilo analogo si riscontra nella filiera **elettrotecnica ed elettronica**, caratterizzata da una prevalenza di consumi elettrici, sia nei processi produttivi sia nell'utilizzo delle tecnologie stesse, con una forte variabilità tra aziende energivore e non energivore.

Nel **comparto ceramico**, il consumo energetico risulta prevalentemente di natura termica di processo, legata al funzionamento dei forni di cottura, che costituiscono il cuore del ciclo produttivo. La configurazione stessa degli impianti, caratterizzati da forni di grandi dimensioni, lunghi fino a diverse centinaia di metri, con elevati volumi d'aria e temperature molto elevate, rende tecnicamente complessa e, allo stato attuale, sostanzialmente non praticabile una completa elettrificazione dei processi. Sono in corso alcune sperimentazioni di ibridazione limitata, in particolare nella fase centrale di mantenimento del profilo termico, ma si tratta di applicazioni di nicchia che non modificano in modo significativo la struttura complessiva dei consumi energetici del settore. Di conseguenza, il consumo di energia termica continua a rappresentare la componente dominante, confermando la specificità del comparto ceramico all'interno della filiera delle costruzioni.

Similmente, nella produzione di **cemento** il fabbisogno è principalmente di natura termica, necessario per la produzione del clinker, affiancato da consumi elettrici per le fasi di macinazione e produzione del calcestruzzo.

Anche per la filiera del vetro, la tipologia di consumo che pesa maggiormente è quella termica, in quanto il processo industriale di produzione del vetro si basa su forni di fusione che operano a temperature estremamente elevate e in regime di funzionamento continuo. Anche nel settore **chimico**, i consumi energetici risultano concentrati nei processi produttivi, con una rilevanza variabile delle componenti termica ed elettrica tra i segmenti upstream e downstream.

Tuttavia, emergono comparti nei quali il peso dei consumi logistici risulta invece predominante. In tali ambiti, l'energia impiegata per il trasporto delle materie prime e dei prodotti finiti rappresenta la principale componente dei consumi complessivi. Questo profilo risulta particolarmente evidente nelle filiere caratterizzate da un'elevata movimentazione dei materiali e da una distribuzione articolata sul territorio, quali **legno, lapideo e distribuzione impiantistica**. In tali settori, i consumi energetici dovuti alla logistica risultano spesso superiori a quelli direttamente imputabili ai processi produttivi. Nella **filiera marmifera**, gli studi di LCA condotti negli ultimi anni evidenziano come gli impatti energetici maggiori siano associati ai trasporti tra cava e impianto, alimentati prevalentemente da diesel, e ai consumi elettrici degli impianti di trasformazione, confermando il ruolo centrale della logistica e dell'energia elettrica nella struttura dei consumi del settore.

Nel complesso, i dati indicano che, sebbene i consumi di processo rappresentino la principale voce energetica per le filiere industriali più pesanti, **la logistica costituisce una componente energetica rilevante** e in alcuni casi predominante per numerosi settori della filiera delle costruzioni. Nel complesso, la forte eterogeneità delle tipologie di consumo energetico lungo la filiera delle costruzioni evidenzia come le possibilità e

le tempistiche di riduzione dei consumi e di decarbonizzazione dei processi produttivi risultino profondamente differenziate tra i settori, rendendo necessario un approccio graduale e calibrato sulle specificità tecnologiche e industriali dei diversi comparti.

1.4 Tecnologie e soluzioni di filiera

Nel sistema delle costruzioni, le tecnologie e le soluzioni adottate dalle associazioni di filiera assumono un ruolo strategico in quanto incidono direttamente sui principali motori delle emissioni di CO₂ lungo l'intero ciclo di vita delle opere. Una quota rilevante delle emissioni è associata ai **materiali impiegati** che rendono centrali le scelte relative a materiali a minore contenuto di carbonio. Tuttavia, come evidenziato dalle linee guida ANCE per la decarbonizzazione del settore, le analisi condotte per le imprese di costruzione mostrano come la natura non stanziale dell'attività di cantiere e la variabilità delle catene di fornitura limitano la possibilità di interventi standardizzati, richiedendo valutazioni integrate che tengano conto anche degli impatti legati alla **logistica**, all'approvvigionamento energetico del cantiere e all'organizzazione delle lavorazioni. In tale contesto, il contributo della **progettazione e dell'ingegneria** risulta determinante. Ad oggi le società di ingegneria adottano infatti protocolli di rating ambientale (**Figura 9**) e approcci basati sul **ciclo di vita**, orientati alla razionalizzazione dell'uso dei materiali, alla riduzione delle quantità impiegate e all'integrazione di principi di **economia circolare**. Parallelamente, l'adozione di tecnologie per l'efficientamento delle **utilities di edificio**, l'ottimizzazione dei tempi di realizzazione e il crescente ricorso a soluzioni di **costruzione off-site** consentono di ridurre l'impatto complessivo dei cantieri, limitando l'impiego di risorse, i trasporti e le interferenze operative.



Figura 9. Principali sistemi di rating, standard, e protocolli in materia di sostenibilità energetico-ambientale

Attraverso strumenti avanzati di progettazione e pianificazione, viene inoltre ottimizzata l'intera sequenza delle fasi progettuali e realizzative, evitando sovrapposizioni

inefficienti e migliorando il controllo dei processi. Come mostrato nella **Figura 10**, nel loro insieme, queste soluzioni (es. materiali low-carbon, sistemi passivi, efficienza impiantistica, digitalizzazione dei processi progettuali e costruttivi) costituiscono leve strategiche per la riduzione delle emissioni e per il miglioramento dell'efficienza energetica e ambientale dell'intero comparto, la cui effettiva applicazione richiede tuttavia una valutazione integrata dei contesti operativi, delle condizioni economiche e della maturità tecnologica delle singole soluzioni, in coerenza con gli obiettivi di decarbonizzazione al 2030 e al 2050.















	Azioni di riduzione delle emissioni nel settore delle costruzioni
	<input type="checkbox"/> Utilizzo di materiali low carbon
	<input type="checkbox"/> Circolarità / Riciclaggio
	<input type="checkbox"/> Acquisto di energia rinnovabile
	<input type="checkbox"/> Auto-produzione di energia rinnovabile
	<input type="checkbox"/> Elettificazione o riduzione dell'utilizzo di generatori a gas
	<input type="checkbox"/> Utilizzo di combustibili alternativi (biogas, biomasse, idrogeno)
	<input type="checkbox"/> Digitalizzazione dei processi progettuali e costruttivi
	<input type="checkbox"/> Efficientamento processi e tecniche di costruzione
	<input type="checkbox"/> Ottimizzazione logistica e layout di cantiere
	<input type="checkbox"/> Riduzione del numero di macchine e dei loro spostamenti tra cantieri
	<input type="checkbox"/> Efficientamento energetico di veicoli e macchine operatrici
	<input type="checkbox"/> Promozione di iniziative di risparmio energetico
	<input type="checkbox"/> Efficientamento sedi operative e produttive

Figura 10. Leve strategiche per la riduzione delle emissioni e per il miglioramento dell'efficienza energetica e ambientale dell'intero del settore delle costruzioni

2) Il Contributo della Filiera agli Obiettivi Energetici Nazionali ed Europei

La presente sezione del report si pone l'obiettivo di inquadrare, in modo sistematico, il **contributo delle diverse filiere alle traiettorie nazionali ed europee di decarbonizzazione**, con attenzione sia alla fase d'uso degli edifici sia alle emissioni associate a materiali e processi dell'intera filiera delle costruzioni.

La filiera delle costruzioni riveste un ruolo centrale nel conseguimento degli obiettivi europei e globali di decarbonizzazione, nel quadro delineato dalla Direttiva europea 2024/1275 "Case Green", che orienta il settore verso la neutralità climatica entro il 2050 attraverso una progressiva riduzione dei consumi energetici del patrimonio edilizio e delle emissioni di CO₂ associate ai materiali e ai processi produttivi. In tale contesto, emerge la necessità di pianificare interventi in grado di conseguire una riduzione dei consumi energetici pari al 16% entro il 2030 e al 22% entro il 2035. A tale obiettivo contribuisce in modo rilevante la ristrutturazione degli edifici con le peggiori prestazioni energetiche, cui è attribuito circa il 55% della riduzione complessiva dei consumi. In particolare, i target prevedono l'intervento entro il 2030 su circa il 15% degli edifici non residenziali e, entro il 2033, sul 26% degli edifici a bassa efficienza energetica, con specifica attenzione ai settori più energivori della filiera. Riprendendo e sviluppando tali premesse, il capitolo intende dare sistematicità alle **strategie** e alle **iniziative** che le associazioni della filiera delle costruzioni stanno mettendo in campo per contribuire al **raggiungimento della neutralità climatica**. Vengono quindi richiamate le principali azioni finalizzate alla riduzione del fabbisogno energetico degli edifici, alla riqualificazione del patrimonio meno efficiente e alla diminuzione delle emissioni di CO₂ lungo l'intero ciclo di vita del costruito, includendo misure di innovazione tecnologica, ricerca e sviluppo per la decarbonizzazione dei materiali e dei processi produttivi.

L'analisi si concentra sul ruolo sistemico della filiera e sulle principali leve di intervento, rinviando alla sezione successiva la valutazione puntuale dei benefici quantitativi associati alle tecnologie e alle soluzioni adottate.

2.1 Ruolo della filiera nella ristrutturazione energetica degli edifici

Il contributo delle diverse filiere del sistema delle costruzioni agli interventi di ristrutturazione energetica degli edifici risulta eterogeneo ed è strettamente legato al ruolo strutturale che ciascun comparto ricopre all'interno del processo edilizio e alle fasi dell'intervento in cui esso interviene, nonché influenzato dalla tipologia di intervento, dal quadro normativo di riferimento e dagli strumenti di incentivazione disponibili. Nel complesso, **il sistema delle costruzioni fornisce un apporto determinante alla transizione energetica del patrimonio edilizio, non solo attraverso la riduzione dei consumi nella fase d'uso degli edifici, ma anche mediante scelte progettuali, tecnologiche e produttive che incidono sull'energia e sulle emissioni lungo**

l'intero ciclo di vita del costruito. In tale contesto, **la ristrutturazione profonda del patrimonio edilizio** esistente rappresenta una delle leve più efficaci per la riduzione dei consumi e delle emissioni, con potenziali di riduzione stimati tra il **50% e il 70%** rispetto alle condizioni pre-intervento, confermando il ruolo strategico degli interventi integrati rispetto alle azioni puntuali.

Il settore delle costruzioni edili e infrastrutturali è direttamente coinvolto negli interventi di ristrutturazione energetica, in quanto responsabile dell'attuazione delle opere e dell'organizzazione delle attività di cantiere. Negli ultimi anni, una quota crescente delle imprese ha progressivamente orientato il proprio modello operativo verso interventi di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, anche in risposta agli strumenti di incentivazione introdotti nel periodo recente. In particolare, le misure straordinarie di incentivo hanno contribuito ad accelerare la diffusione di competenze tecniche e operative specifiche, favorendo una maggiore familiarità con interventi complessi di efficientamento energetico e con soluzioni integrate su involucro, impianti e sistemi costruttivi. Pur avendo avuto un carattere in larga parte contingente, tale esperienza ha contribuito a innalzare il livello di maturità del settore rispetto alle sfide della transizione energetica. *In questo quadro, assume crescente rilevanza un approccio orientato all'ottimizzazione degli interventi sull'esistente, alla riduzione degli sprechi e alla razionalizzazione delle fasi costruttive, in linea con strategie di tipo “build less and build smarter”, volte a valorizzare il patrimonio edilizio esistente e a ridurre la domanda complessiva di nuove risorse.* Le **filiera delle tecnologie, degli impianti e dei macchinari** svolgono un ruolo abilitante nella ristrutturazione energetica degli edifici, incidendo sia sulla riduzione dei consumi energetici sia sulla gestione e sull'ottimizzazione delle prestazioni nel tempo. Le **tecnologie elettriche ed elettroniche**, in particolare, consentono l'integrazione delle fonti rinnovabili, dei sistemi di accumulo e delle soluzioni di automazione e regolazione degli impianti, contribuendo a una gestione più efficiente e flessibile dell'energia. Il contributo di tali soluzioni si estende oltre la fase di intervento, influenzando in modo significativo le prestazioni energetiche lungo l'intero ciclo di utilizzo dell'edificio. Tuttavia, l'effettiva efficacia di queste tecnologie dipende in misura rilevante dalla qualità della progettazione, dalle modalità di installazione e dal comportamento degli utilizzatori finali, nonché dalla capacità delle filiere produttive di garantire livelli omogenei di conformità ai requisiti normativi e prestazionali. Il **settore dei materiali** per le costruzioni riveste un ruolo centrale nella ristrutturazione energetica degli edifici, in quanto le caratteristiche dei materiali incidono in modo diretto sia sull'energia incorporata nei prodotti sia sulle prestazioni energetiche dell'edificio lungo l'intero ciclo di vita. Il contributo dei materiali risulta tuttavia differenziato in funzione delle tipologie impiegate, delle fasi di intervento e dei mercati di riferimento. Alcuni comparti

forniscono un apporto particolarmente rilevante agli interventi di efficientamento energetico, mentre altri risultano maggiormente coinvolti nelle ristrutturazioni profonde o nelle nuove costruzioni, con un impatto più selettivo sulla riqualificazione energetica puntuale. In assenza di interventi strutturali di decarbonizzazione lungo la filiera dei materiali, le emissioni associate ai principali materiali da costruzione sono destinate a mantenersi su livelli elevati o ad aumentare nel medio-lungo periodo. Le proiezioni in uno scenario business-as-usual evidenziano come il contributo emissivo dei materiali continui a rappresentare una componente rilevante del bilancio climatico del settore (Figura 11).

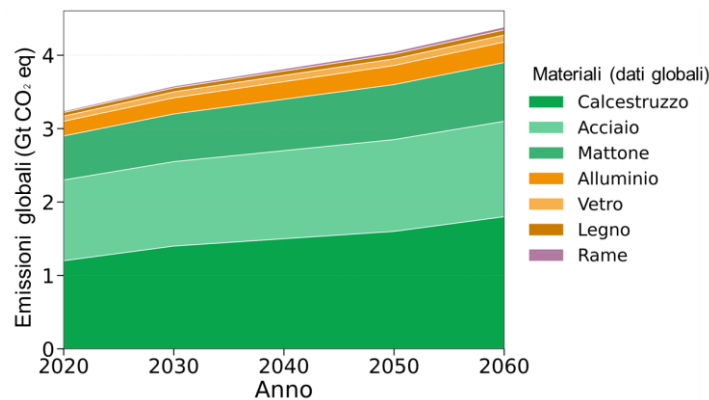


Figura 11. Emissioni di gas serra previste dai materiali da costruzione in uno scenario business-as-usual fino al 2060. [FONTE: Building Materials and the Climate: Constructing a New Future].

Le **filiera del chimico, del siderurgico, del legno e del vetro** contribuiscono in modo significativo alla sostenibilità energetica del costruito attraverso la fornitura di materiali e soluzioni in grado di migliorare le prestazioni energetiche, aumentare la durabilità dei sistemi costruttivi e ridurre l'energia e le emissioni complessive lungo il ciclo di vita delle opere. In particolare, il **comparto siderurgico** fornisce materiali strutturali ad alte prestazioni, caratterizzati da un'elevata riciclabilità e da una crescente integrazione di materie prime secondarie, mentre il **settore chimico** svolge un ruolo abilitante essenziale attraverso lo sviluppo di prodotti e componenti che migliorano le prestazioni, la durabilità e l'efficienza energetica dei materiali e dei sistemi costruttivi, con effetti diretti sulla riduzione dei consumi energetici nella fase d'uso degli edifici. Le **filiera del legno** e dei **materiali biobased**, inoltre, possono contribuire alla sostenibilità energetico-climatica anche attraverso la riduzione delle emissioni incorporate e, in alcuni casi, mediante lo stoccaggio temporaneo di carbonio nei prodotti, con riduzioni delle emissioni stimate, a seconda delle soluzioni adottate, nell'ordine del **15-30%** rispetto ai materiali convenzionali, a condizione che tali benefici siano valutati lungo l'intero ciclo di vita e accompagnati da un'elevata durabilità delle opere.

In questo quadro, la durabilità dei materiali emerge come una leva strategica per la sostenibilità energetica, in quanto consente di limitare nel tempo il fabbisogno di risorse, di energia e di nuovi materiali, riducendo la necessità di sostituzioni e interventi manutentivi frequenti. Parallelamente, **l'adozione di approcci di economia circolare applicata**, quali la riduzione delle quantità di materiale impiegate, l'utilizzo di materie prime secondarie e la valorizzazione dei materiali a fine vita, contribuisce a contenere l'energia e le emissioni associate all'intera filiera produttiva.

Altri comparti, quali **il calcestruzzo, i materiali lapidei e la ceramica**, risultano maggiormente coinvolti in specifiche tipologie di intervento, in particolare nelle ristrutturazioni strutturali e nelle nuove costruzioni. In tali ambiti, il contributo alla sostenibilità energetica si manifesta soprattutto attraverso il miglioramento delle prestazioni dei materiali, l'ottimizzazione dei processi produttivi, l'integrazione di pratiche di riuso e riciclo e l'integrazione nelle strategie di riqualificazione profonda del patrimonio edilizio.

Anche **il settore della progettazione è ampiamente coinvolto** nella ristrutturazione energetica degli edifici, rappresentando un elemento qualificante dell'attività professionale. Le società di ingegneria e architettura sono sempre più impegnate in progetti di rigenerazione urbana e di riqualificazione del patrimonio edilizio, sia pubblico sia privato, nei quali la componente energetica assume un ruolo centrale. In tali contesti, le scelte assunte nelle fasi di progettazione incidono in modo determinante sulle prestazioni energetiche dell'edificio lungo l'intero ciclo di vita, influenzando l'integrazione tra involucro, impianti, materiali e sistemi di gestione dell'energia. In particolare, le fasi di pianificazione e progettazione rappresentano il momento in cui si concentra il maggiore potenziale di riduzione delle emissioni, poiché decisioni orientate al riuso del costruito, all'ottimizzazione delle quantità e alla scelta di soluzioni a minore intensità emissiva consentono di evitare impatti significativi già prima della fase realizzativa. Le gare pubbliche e gli appalti orientati all'efficientamento degli edifici, in particolare nel settore pubblico, confermano una domanda di mercato fortemente allineata agli obiettivi di sostenibilità, rendendo la progettazione uno snodo fondamentale per l'integrazione coerente delle soluzioni energetiche e tecnologiche lungo l'intero processo di intervento. In continuità con quanto sopra, la sezione seguente approfondisce le leve tecniche e organizzative per ridurre, in ottica life-cycle, sia le emissioni incorporate (embodied) sia quelle operative (operational)

2.2 Ruolo della filiera nella riduzione dell'energia e delle emissioni incorporate (embodied) e operative (operational).

Nel percorso di decarbonizzazione del settore delle costruzioni assume un ruolo centrale la valutazione delle soluzioni adottate dalle diverse filiere per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ lungo l'intero ciclo di vita degli edifici. In tale prospettiva, è **necessario distinguere tra l'energia e le emissioni incorporate nelle fasi di produzione e costruzione dell'opera e l'energia e le emissioni operative associate alla fase di utilizzo dell'edificio (Figura 12)**. Queste due dimensioni, pur riferendosi a momenti differenti del ciclo di vita, sono **strettamente interconnesse** e richiedono un **approccio integrato**, in grado di evitare trasferimenti di impatto da una fase all'altra.

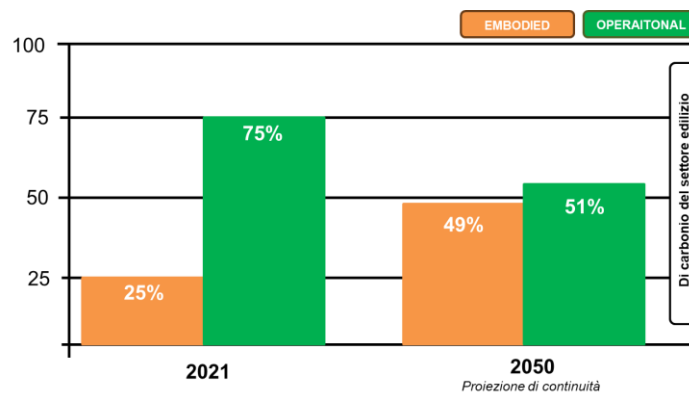


Figura 12. Contributo percentuale di ogni componente (embodied e operational) alle emissioni di carbonio del settore edilizio. [FONTE: Building Materials and the Climate: Constructing a New Future].

In coerenza con l'impostazione whole life carbon e con le evidenze sul peso del comparto edilizio sulle emissioni globali (nell'ordine del 37%), confermando l'urgenza di intervenire simultaneamente sulle prestazioni d'uso degli edifici e sugli impatti iniziali legati a materiali e processi. In tale quadro, le strategie di decarbonizzazione possono essere lette anche attraverso una **logica** complementare di tipo **“Avoid-Shift-Improve”**: evitare sprechi e domanda di nuove risorse, spostare progressivamente la filiera verso soluzioni a minore intensità emissiva (inclusi materiali rinnovabili e biobased), e migliorare efficienza, circolarità e controllo dei processi lungo tutte le fasi del ciclo di vita. L'energia e le **emissioni incorporate** comprendono i consumi energetici e le emissioni associate alle attività a monte dell'edificio, incluse l'estrazione delle materie prime, la produzione dei materiali (**fasi A1-A3: UNI EN 15978**), il trasporto e le attività di costruzione (**fasi A4-A5**). Esse rappresentano l'impronta energetica e carbonica iniziale dell'opera e dipendono in larga misura dalle *caratteristiche dei materiali impiegati*, dai *processi produttivi adottati* e dall'organizzazione delle *attività di cantiere*. La riduzione di tali impatti richiede interventi mirati lungo l'intera filiera dei

materiali e delle costruzioni, nonché una crescente attenzione alla *durabilità*, all'uso efficiente delle risorse e all'integrazione di *pratiche di riuso e riciclo*. In tale prospettiva, azioni come la *demolizione selettiva* e il riuso dei materiali assumono un rilievo quantitativo significativo, in quanto possono contribuire in modo sostanziale alla riduzione delle emissioni lungo la catena del valore.

L'energia e **le emissioni operative** si riferiscono invece ai fabbisogni energetici e alle emissioni associate alla fase di utilizzo dell'edificio lungo la sua vita utile (**fasi B1–B7**) e dipendono principalmente dalle *prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto*, dalla *qualità dell'involucro*, dall'*integrazione delle fonti rinnovabili* e dalla *capacità di mantenere nel tempo le prestazioni progettate*. In questo ambito, assumono un ruolo determinante le *soluzioni tecnologiche e impiantistiche*, la *digitalizzazione*, nonché le *scelte progettuali* che influenzano la *gestione dei consumi energetici* e l'efficienza complessiva dell'edificio. Le **ristrutturazioni energetiche profonde** (Deep renovation – EPBD) rappresentano in particolare una **leva prioritaria**, con potenziali di riduzione dei consumi e delle emissioni operative che possono collocarsi, a seconda delle condizioni di partenza e dell'intensità dell'intervento, nell'ordine del **50–70%**. Nel complesso, la distinzione tra energia ed emissioni incorporate e operative consente di qualificare con maggiore precisione il contributo delle diverse filiere, orientando le scelte verso soluzioni che ottimizzano le prestazioni energetiche e ambientali dell'edificio lungo l'intero arco di vita ed evitando approcci parziali o compensativi, come si evince da [Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.](#)

Tabella 1 - Principali soluzioni delle filiere delle costruzioni per la riduzione dell'embodied energy ed dell'operational energy

Settore	Embodied energy/carbon	Operational energy/carbon
Costruzioni edili ed infrastrutturali	Gestione integrata di cantiere e logistica; ottimizzazione delle fasi costruttive; riduzione sprechi e rilavorazioni; demolizione selettiva e gestione avanzata dei flussi di materiali	Migliore qualità esecutiva; riduzione difetti prestazionali; attenzione a durabilità e manutenibilità per preservare le prestazioni nel tempo
Tecnologie, impianti e macchinari afferenti alle costruzioni edili	Efficientamento delle fasi di installazione e cantiere; riduzione rilavorazioni; soluzioni e attrezzature a minori consumi	Fotovoltaico; sistemi di accumulo; elettrificazione dei consumi finali; soluzioni idro-termosanitarie ad alta efficienza (CAM); automazione e controllo per ottimizzare i carichi
Materiali per le costruzioni	Cementi a minor contenuto di clinker; aggregati riciclati; acciai riciclati; prodotti lignei/biobased a bassa intensità emissiva; dematerializzazione (es. ceramica); durabilità come driver	Massa termica (calcestruzzo); sistemi di isolamento; vetrazioni ad alta efficienza; sistemi costruttivi lignei ad alte prestazioni; materiali durevoli; isolanti e soluzioni chimiche avanzate
Digitalizzazione e servizi avanzati di filiera	BIM per ottimizzazione quantità e riduzione sprechi; Intelligenza	Digital Twin e monitoraggio prestazioni; BACS/BMS e sistemi di

Artificiale; LCA e strumenti digitali per valutare impatti; tracciabilità dei materiali (DPP); supporto digitale a riuso/riciclo/fine vita

energy management; AI e data analytics per ottimizzazione consumi e manutenzione predittiva; Building/Renovation Logbook per gestione ciclo di vita

2.2.1 Soluzioni delle filiere per la riduzione dell'embodied energy

La riduzione dell'energia e delle emissioni incorporate nelle fasi di produzione e costruzione delle opere (A1–A5) rappresenta una componente essenziale delle strategie di decarbonizzazione del settore delle costruzioni, in coerenza con l'evoluzione del quadro normativo europeo, in particolare con il nuovo Regolamento sui Prodotti da Costruzione (CPR), il framework Level(s) e più in generale con la revisione dell'EPBD , che introducono una crescente attenzione agli impatti lungo l'intero ciclo di vita degli edifici. Le soluzioni adottate dalle diverse filiere risultano eterogenee e fortemente differenziate in funzione delle specificità tecnologiche, produttive e dimensionali dei singoli comparti.

Nel **comparto del calcestruzzo**, una delle principali leve di intervento è rappresentata dallo sviluppo di *cementi a minore contenuto di clinker*, principale responsabile delle emissioni di CO₂ nella produzione del cemento, attraverso la *parziale sostituzione con materiali alternativi quali loppe d'altoforno e pozzolane*. Ulteriori riduzioni dei consumi energetici e delle emissioni incorporate derivano dall'impiego di *aggregati riciclati* in sostituzione degli aggregati naturali, in coerenza con i requisiti dei Criteri Ambientali Minimi - Edilizia (CAM), che prevedono per i calcestruzzi una quota minima di materiale riciclato, recuperato o derivante da sottoprodotti pari almeno al 5% in peso. In una prospettiva di medio-lungo periodo, il comparto sta inoltre valutando l'introduzione di *tecnologie di cattura, utilizzo e stoccaggio della CO₂* nei processi produttivi come opzione complementare alle strategie di riduzione alla fonte, considerando che l'adozione di tali tecnologie è indicata tra le leve potenzialmente più rilevanti per ridurre emissioni residue su scala settoriale nel lungo periodo.

Il **comparto siderurgico** si configura come un attore chiave della transizione verso modelli produttivi a minore intensità carbonica, grazie all'elevato impiego di rottame, alla *completa riciclabilità dell'acciaio* e alla diffusione dei *forni elettrici ad arco*. L'adozione di tali tecnologie consente una significativa riduzione delle emissioni incorporate rispetto ai cicli produttivi tradizionali, fermo restando il ruolo determinante della progressiva decarbonizzazione del mix elettrico e della stabilità dei costi dell'energia per garantire la competitività del settore.

La **filiera del legno e dei materiali biobased contribuisce** alla riduzione delle emissioni incorporate attraverso la minore intensità emissiva di alcuni prodotti e, in specifici casi, attraverso lo *stoccaggio temporaneo di carbonio biogenico nei materiali*. In tale ambito, la sostituzione di soluzioni convenzionali con sistemi strutturali *in legno massivo può contribuire a riduzioni dell'impronta emissiva nell'ordine del 14–31%*, a seconda del contesto e delle soluzioni adottate. Tale contributo è tuttavia strettamente legato alla disponibilità, tracciabilità e gestione sostenibile della materia prima, nonché alla capacità di garantire elevati livelli di durabilità, sicurezza e prestazioni nel tempo.

Il **settore lapideo** contribuisce alla riduzione dell'energia incorporata principalmente attraverso l'impiego di un materiale caratterizzato da *processi produttivi relativamente semplici e da una limitata trasformazione industriale*. Le analisi disponibili evidenziano, in diversi casi, un impatto energetico ed emissivo contenuto del processo produttivo complessivo, dalla fase estrattiva fino al prodotto finito, fermo restando il ruolo rilevante della logistica e dei trasporti nel bilancio finale, che rende centrali le scelte organizzative e localizzative.

Nel **comparto ceramico**, la progressiva *dematerializzazione dei prodotti*, ottenuta attraverso la riduzione degli spessori e l'ottimizzazione dei formati, consente una diminuzione del consumo di materie prime e dell'energia associata lungo il ciclo di vita dei prodotti, pur in presenza di processi produttivi caratterizzati da elevati fabbisogni termici difficilmente elettrificabili nel breve periodo.

Nel **comparto chimico**, l'applicazione sistematica di metodologie di Life Cycle Assessment (LCA), anche in coerenza con il framework Level(s), consente di *ottimizzare formulazioni e processi produttivi*, riducendo energia ed emissioni incorporate e supportando scelte progettuali più consapevoli, orientate alla durabilità e al ciclo di vita dei materiali e dei sistemi costruttivi.

Per quanto riguarda le **fasi di trasporto e costruzione in cantiere (A4–A5)**, il contributo alla riduzione dell'energia e delle emissioni incorporate coinvolge in modo diretto il settore delle costruzioni edili e infrastrutturali. In questo ambito, le principali leve di decarbonizzazione derivano dalla *gestione integrata del cantiere* e della *logistica, dall'ottimizzazione delle forniture e dalla riduzione dei trasporti*, supportate da strumenti quali *BIM, pianificazione 4D/5D, piattaforme di tracciabilità dei materiali e strumenti digitali di analisi delle emissioni*. In tale prospettiva, l'integrazione della digitalizzazione e dei *Digital Twin* nei processi può contribuire anche alla riduzione degli sprechi e delle inefficienze, rafforzando l'efficacia delle strategie di economia circolare e del controllo dei flussi materiali lungo l'intera supply chain. In prospettiva, l'integrazione tra metodologie LCA e dataset EPD digitalizzati, strumenti di tracciabilità e identificazione

dei materiali lungo la supply chain e applicazioni AI per analisi predittive e supporto decisionale, può rafforzare in modo significativo la capacità delle filiere di misurare, confrontare e ottimizzare le soluzioni tecniche, riducendo errori progettuali e operativi, sprechi e inefficienze logistiche. Tale approccio contribuisce inoltre in modo sistematico alla riduzione dell'embodied energy e delle emissioni incorporate lungo l'intero ciclo A1–A5.

2.2.2 Soluzioni delle filiere per la riduzione dell'operational energy

La **riduzione dell'energia e delle emissioni operative** nella fase di utilizzo degli edifici (**B1–B7**) rappresenta un ambito nel quale il contributo congiunto dei materiali, delle tecnologie, degli impianti e dei servizi digitali risulta determinante per il conseguimento degli obiettivi di efficienza energetica e decarbonizzazione fissati a livello europeo dalla revisione della EPBD. In tale contesto, la qualità delle scelte progettuali e realizzative assume un ruolo centrale nel garantire il mantenimento delle prestazioni energetiche nel tempo e nel contenere i costi complessivi per utenti e proprietari, con ricadute dirette sui temi dell'affordability e dell'accesso a edifici energeticamente efficienti.

Il **comparto del calcestruzzo** contribuisce alla riduzione dei consumi energetici operativi attraverso lo sfruttamento dell'elevata *massa termica delle strutture*, che consente di attenuare e sfasare l'onda termica, riducendo i fabbisogni per il riscaldamento e il raffrescamento. Soluzioni specifiche, quali *superfici drenanti e ad alta riflettanza*, contribuiscono inoltre alla mitigazione del fenomeno dell'isola di calore urbana, con effetti positivi sulla domanda energetica estiva.

La **filiera dell'involucro edilizio** fornisce *sistemi di isolamento* progettati come soluzioni integrate e certificate, installate secondo le norme tecniche di riferimento e corredate di marcatura CE ed ETA. Tali sistemi, se correttamente progettati e posati, consentono una riduzione strutturale dei fabbisogni energetici e una maggiore stabilità delle prestazioni nel tempo, riducendo i costi di gestione e manutenzione lungo il ciclo di vita dell'edificio.

Il **comparto del vetro** contribuisce attraverso lo sviluppo di **vetrazioni ad alta efficienza energetica**, quali vetri basso emissivi, selettivi e a controllo solare, che consentono di ottimizzare l'apporto di luce naturale e ridurre il ricorso all'illuminazione artificiale, soprattutto se integrate con sistemi di regolazione e controllo dell'illuminazione. In prospettiva, l'evoluzione verso soluzioni vetrarie dinamiche potrà rafforzare ulteriormente il contributo del settore alla riduzione dei consumi energetici operativi.

La **filiera del legno** contribuisce attraverso sistemi costruttivi e soluzioni di *involucro ad alte prestazioni*, spesso integrate con *processi di prefabbricazione e costruzione off-site*, che migliorano la qualità esecutiva e il controllo delle prestazioni energetiche nel tempo.

Nel **comparto ceramico**, il contributo alla riduzione delle emissioni operative si concentra sulla valorizzazione delle prestazioni passive e sulla *durabilità dei prodotti*, che consente di limitare la necessità di interventi manutentivi e sostituzioni nel tempo.

Nel **comparto chimico**, *l'impiego di additivi, isolanti e soluzioni avanzate consente di migliorare le prestazioni energetiche e la durabilità dei materiali e dei sistemi costruttivi*, con effetti diretti sulla riduzione dei consumi energetici lungo la vita utile degli edifici.

Un contributo strategico crescente è fornito dal **settore delle tecnologie**, degli impianti e dei servizi digitali per le costruzioni. L'integrazione delle *fonti rinnovabili*, in particolare del fotovoltaico, con sistemi di elettrificazione dei consumi finali, sistemi di automazione e controllo degli edifici (*BACS*) e piattaforme di gestione centralizzata (*BMS*), *inclusi i sistemi di energy management, dispositivi IoT, strumenti di intelligenza artificiale e Digital Twin* consente di ottimizzare i consumi energetici in tempo reale, abilitare strategie di demand-response e adattare in modo dinamico le prestazioni degli edifici alle condizioni climatiche e ai profili di utilizzo. Strumenti quali il *Digital Product Passport*, il *Building o Renovation Passport* e i sistemi di monitoraggio continuo delle prestazioni energetiche rafforzano la governance del ciclo di vita degli edifici, migliorando trasparenza, tracciabilità e capacità di intervento, in coerenza con gli obiettivi della EPBD e con le esigenze di sostenibilità economica e sociale della transizione energetica.

2.2.3 Progettazione integrata come leva di decarbonizzazione

La progettazione integrata rappresenta una leva strategica per la decarbonizzazione del settore delle costruzioni, in quanto costituisce la fase in cui vengono definite e bilanciate le scelte che determinano, in modo congiunto, l'energia e le emissioni incorporate nelle fasi di produzione e costruzione (A1–A5) e i consumi energetici operativi lungo la vita utile dell'edificio (B1–B7). In tale prospettiva, l'obiettivo non è la semplice ottimizzazione di singoli elementi, ma la gestione sistemica dei trade-off tra prestazioni energetiche, impatti ambientali, costi lungo il ciclo di vita, durabilità, manutenibilità e circolarità, evitando approcci settoriali che rischiano di trasferire impatti da una fase all'altra del ciclo di vita.

In coerenza con l'evoluzione del quadro normativo europeo, in particolare con la revisione della EPBD e con il framework Level(s), la progettazione è sempre più chiamata

ad adottare approcci basati sul ciclo di vita e su valutazioni multi-criterio, integrando in modo strutturato analisi energetiche, valutazioni ambientali (LCA), requisiti prestazionali e vincoli economici. In questo contesto, la selezione dei materiali e dei sistemi costruttivi non può più essere guidata esclusivamente da criteri di costo o di prestazione immediata, ma deve essere orientata alla riduzione dell'impatto complessivo, alla stabilità delle prestazioni nel tempo e alla minimizzazione del rischio di interventi manutentivi e sostituzioni premature, che rappresentano una quota rilevante degli impatti cumulati lungo il ciclo di vita.

Un elemento centrale della progettazione integrata riguarda la riduzione del cosiddetto performance gap, ovvero la differenza tra prestazioni energetiche attese in fase di progetto e prestazioni effettivamente ottenute in esercizio. In tale ambito, l'integrazione tra progettazione architettonica, involucro e impianti, la definizione accurata dei dettagli costruttivi, la verifica della qualità esecutiva e l'adozione di processi di commissioning e monitoraggio delle prestazioni assumono un ruolo determinante per garantire che le strategie di efficienza energetica si traducano in risultati misurabili e mantenuti nel tempo. La progettazione integrata contribuisce inoltre a contenere i costi operativi e a migliorare l'affordability degli interventi, riducendo l'esposizione degli utenti finali a volatilità dei prezzi energetici e aumentando l'accesso a edifici efficienti e confortevoli, in coerenza con i principi di Just Transition.

In parallelo, l'integrazione dei principi di economia circolare nella progettazione consente di rafforzare la capacità del settore di ridurre consumi di risorse e impatti lungo il ciclo di vita, attraverso strategie quali progettazione per durabilità, progettazione per disassemblaggio, modularità, riuso e riciclo dei componenti e gestione controllata dei flussi materiali. In questa prospettiva, la progettazione non riguarda esclusivamente l'ottimizzazione del singolo edificio, ma assume un ruolo di coordinamento lungo la catena del valore, favorendo l'allineamento tra requisiti prestazionali, disponibilità di materiali secondari, capacità industriali e strategie di fine vita.

Un ruolo crescente è svolto dalla digitalizzazione dei processi progettuali e gestionali, che consente di rendere operativa la progettazione integrata attraverso modelli informativi, simulazioni avanzate e strumenti di supporto decisionale. L'impiego di BIM, Digital Twin e piattaforme di analisi consente di valutare ex ante scenari alternativi, ottimizzare l'integrazione tra involucro, impianti e materiali e supportare la gestione della complessità progettuale, riducendo errori, incoerenze e rilavorazioni. Inoltre, l'integrazione tra dati di progetto, dati di prodotto e dati operativi abilita una gestione più efficace del ciclo di vita, rafforzando la tracciabilità delle soluzioni adottate e la capacità di pianificare interventi di manutenzione e retrofit in modo mirato.

In questo quadro si inserisce anche lo sviluppo di soluzioni costruttive off-site e di processi industrializzati, che consentono un maggiore controllo della qualità, una riduzione degli scarti di lavorazione, una maggiore precisione nell'assemblaggio e una diminuzione dei tempi e delle inefficienze di cantiere. Tali approcci, se integrati fin dalle fasi iniziali del progetto, contribuiscono in modo significativo alla riduzione degli impatti incorporati e al miglioramento della stabilità prestazionale nel tempo.

Nel loro insieme, questi elementi confermano la progettazione integrata come uno snodo centrale della transizione energetica del settore delle costruzioni: una leva capace di connettere in modo coerente decarbonizzazione, qualità del costruito, competitività industriale e sostenibilità economica e sociale degli interventi lungo l'intero ciclo di vita.

2.3 Coinvolgimento della filiera e contributo agli obiettivi 2030 e 2050

Sulla base dell'analisi condotta, emerge come le imprese dell'intero sistema delle costruzioni siano coinvolte in modo crescente nello **sviluppo, nella sperimentazione e nella diffusione di soluzioni orientate alla sostenibilità energetica**, attraverso attività strutturate di innovazione di processo e di prodotto, investimenti in ricerca e sviluppo e percorsi di modernizzazione tecnologica. Tale dinamica rappresenta un contributo essenziale alla transizione energetica del settore e si inserisce nel quadro delle politiche europee per la decarbonizzazione, che richiedono un'accelerazione sia della riqualificazione del patrimonio edilizio sia dell'evoluzione dei processi produttivi lungo la catena del valore.

In termini trasversali, le iniziative avviate dalle filiere si concentrano in particolare **sull'efficientamento energetico dei processi industriali e delle attività operative, attraverso interventi su impianti e macchinari, ottimizzazione dei consumi, rinnovo del parco mezzi e progressiva introduzione di soluzioni di elettrificazione e di combustibili alternativi**. Tuttavia, la scalabilità di tali interventi risulta ancora condizionata da criticità tecniche e infrastrutturali, nonché dalla necessità di garantire continuità produttiva e sostenibilità economica degli investimenti, soprattutto nei comparti a maggiore intensità energetica e capital intensive.

Alla luce delle analisi precedenti, il settore delle costruzioni si configura come uno degli ambiti con il maggiore potenziale di contributo al raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni fissati al 2030 e di neutralità climatica al 2050, in ragione del peso strutturale che esso riveste nei consumi energetici, nelle emissioni di CO₂ e nell'utilizzo di risorse materiali a livello nazionale ed europeo. Tale contributo si esprime lungo l'intero ciclo di vita del costruito e coinvolge in modo integrato materiali, tecnologie, processi produttivi e modelli di utilizzo degli edifici.

Nel breve e medio periodo, il contributo del settore agli obiettivi al 2030 risulta prevalentemente legato alla riduzione dei consumi energetici e delle emissioni associate al patrimonio edilizio esistente, attraverso la diffusione su larga scala di interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche e l'adozione di soluzioni tecnologiche mature. In questo orizzonte temporale, il ruolo delle filiere si concentra principalmente sull'efficientamento del sistema edificio-impianto, sulla qualità esecutiva e sull'ottimizzazione delle modalità di gestione del costruito, con l'obiettivo di massimizzare l'efficacia degli interventi e garantire prestazioni reali nel tempo.

Nel medio-lungo periodo, in prospettiva 2050, il contributo del settore risulta invece sempre più connesso alla capacità di ridurre l'impatto ambientale dei materiali e dei processi produttivi, di rafforzare l'integrazione dei principi di economia circolare e di affrontare in modo sistemico il tema delle emissioni incorporate lungo la filiera delle costruzioni. In questo quadro, l'innovazione industriale, la trasformazione dei processi produttivi e l'evoluzione delle modalità realizzative assumono un ruolo centrale nel sostenere la transizione verso la neutralità climatica.

Nel complesso, il settore delle costruzioni dispone di un potenziale significativo per contribuire agli obiettivi energetici e climatici al 2030 e al 2050. Tuttavia, la piena valorizzazione di tale potenziale è strettamente legata alla capacità di superare barriere di natura regolatoria, economica e di sistema, nonché di coordinare in modo efficace le diverse componenti della filiera, rafforzando le competenze e facilitando l'adozione delle soluzioni disponibili. Su queste basi, il capitolo successivo analizza i benefici concreti generati dalle tecnologie sviluppate dalle associazioni della filiera, mentre il capitolo seguente approfondisce le principali criticità e barriere che ne condizionano la diffusione e l'impatto.

3) I Benefici delle Tecnologie delle Associazioni della Filiera

Nel quadro della transizione energetica e climatica delineata a livello europeo e nazionale, il sistema delle costruzioni assume un ruolo determinante **non solo nel ridurre consumi ed emissioni, ma nel generare benefici strutturali lungo l'intero ciclo di vita del costruito** attraverso tecnologie, materiali, sistemi impiantistici, processi produttivi e strumenti di gestione. **La sostenibilità energetica del settore va quindi letta come risultato di un insieme coordinato di leve (prodotto-processo-gestione), e non come sola prestazione dell'edificio finito.** In particolare, **la fase d'uso concentra una quota rilevante dei consumi energetici degli edifici**, mentre una parte significativa degli impatti climatici è incorporata **nelle fasi a monte (materiali e costruzione)**: da qui la necessità di valutare congiuntamente benefici su **operational energy** ed **embodied energy/carbon**. In particolare, il settore edilizio incide *in modo rilevante* sui consumi energetici complessivi, con circa il 69% attribuibile a riscaldamento e raffrescamento. *A livello globale, inoltre, l'edilizia è responsabile di circa il 35% delle emissioni complessive e, in assenza di interventi sistemici, tali emissioni potrebbero arrivare fino al 49% entro il 2050.* In tale contesto, i benefici generati dalle tecnologie della filiera assumono una rilevanza sistemica, poiché agiscono sulle componenti più energivore del ciclo di vita degli edifici.

In tale prospettiva, i benefici energetici e climatici associati alle tecnologie sviluppate dalle associazioni della filiera assumono un rilievo particolarmente significativo **anche in chiave economico-sociale**. La riduzione dei fabbisogni energetici operativi, insieme al contenimento dell'energia e delle emissioni incorporate nei materiali e nei processi, **contribuisce a stabilizzare i costi lungo il ciclo di vita**, migliorando l'accessibilità economica degli interventi e la resilienza di famiglie e imprese, **in coerenza con gli obiettivi di transizione giusta e con la riduzione della vulnerabilità energetica** e considerando che oltre il 10% delle famiglie europee risulta esposto a forme di povertà energetica.

Le tecnologie promosse e sviluppate dalle associazioni della filiera generano benefici misurabili in termini di: **(i)** riduzione dei fabbisogni energetici nella fase d'uso degli edifici (operational energy), **(ii)** riduzione dell'energia e delle emissioni incorporate nei materiali e nei processi produttivi (embodied energy/carbon), **(iii)** miglioramento dell'efficienza complessiva delle fasi di progettazione, realizzazione, gestione e manutenzione del costruito, con effetti su **qualità esecutiva, durabilità, riduzione di errori e rilavorazioni** e contenimento dei costi lungo il ciclo di vita.

Un ruolo trasversale e abilitante è svolto dalla digitalizzazione, che **aumenta la "tenuta nel tempo" dei benefici**, riducendo sprechi e inefficienze e supportando la verifica delle prestazioni reali. **L'integrazione di BIM, strumenti di simulazione, sistemi di**

monitoraggio e piattaforme di gestione consente di rafforzare il controllo del performance gap, migliorare il commissioning e abilitare strategie di manutenzione più mirate. In questa logica, la digitalizzazione **non è un fine**, ma un moltiplicatore dell'efficacia delle soluzioni materiali e impiantistiche. Ad esempio, BIM e Digital Twin supportano decisioni più robuste lungo il ciclo di vita e possono contribuire a riduzioni dell'impronta emissiva anche dell'ordine del 30% quando impiegati per ottimizzare scelte progettuali, processi e gestione.

Il presente capitolo mette quindi in evidenza il contributo concreto delle tecnologie sviluppate dalle associazioni della filiera alla sostenibilità energetica del settore delle costruzioni, articolando i benefici generati in termini di impatti energetici diretti, impatti indiretti lungo il ciclo di vita e benefici economici e sociali. In tale prospettiva, la sezione valorizza il ruolo della filiera come attore chiave nel perseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione, efficienza energetica e competitività industriale, in coerenza con le traiettorie di sviluppo indicate dal Green Deal europeo e con gli obiettivi fissati al 2030 e al 2050. A supporto di questa lettura, risulta utile richiamare il concetto riportato nella sezione 2 basata su "Avoid-Shift-Improve", ovvero logica di decarbonizzazione: (1) Avoid, ossia evitare sprechi e costruire meno attraverso deep retrofitting (fino a 50-75%) e decostruzione/demolizione selettiva (fino a 59%); (2) Shift, ossia spostare materiali e consumi verso soluzioni più sostenibili e fonti rinnovabili, con potenziali riduzioni della carbon footprint fino al 40%; (3) Improve, ossia migliorare processi e circolarità passando da "end-of-life" a "end-of-use", con riduzioni legate a riuso/riciclo che possono arrivare fino al 70% e con il contributo di processi produttivi più efficienti ed elettrificati.

3.1 Benefici energetici diretti (Operational Energy)

I benefici energetici diretti associati alle tecnologie sviluppate lungo la filiera si manifestano principalmente nella fase di esercizio dell'edificio, attraverso il **miglioramento delle prestazioni energetiche operative**. In particolare, l'evoluzione delle **soluzioni per l'involucro edilizio**, quali sistemi di coibentazione avanzata, ceramiche ad alte prestazioni, vetri tecnici, materiali lignei, calcestruzzi evoluti e sistemi costruttivi modulari, consente di incrementare l'efficienza complessiva dell'edificio, riducendo le dispersioni e **migliorando il comportamento termo-igrometrico**. Secondo le evidenze disponibili, tali soluzioni permettono **riduzioni dei fabbisogni energetici stimate tra il 30-33%** negli edifici unifamiliari e tra il **40-45%** negli edifici condominiali, confermando il ruolo centrale dell'involucro nel contenimento dell'operational energy. Ne deriva una diminuzione significativa del fabbisogno energetico sia termico sia elettrico, con effetti positivi sui consumi per riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e illuminazione. Soluzioni basate su massa e inerzia

termica (es. strutture in calcestruzzo) possono contribuire a ridurre i fabbisogni per il raffrescamento estivo e, in alcuni contesti climatici, anche per il riscaldamento. In questo quadro, le ristrutturazioni energetiche profonde rappresentano una leva prioritaria per la riduzione dei consumi e delle emissioni operative, con potenziali riduzioni complessive nell'ordine del 50–70%, in funzione delle condizioni di partenza e dell'intensità dell'intervento.

A questi benefici si affianca il contributo delle **tecnologie impiantistiche e digitali**, che consentono una **gestione più intelligente e flessibile dell'energia**, ottimizzando i carichi e supportando l'integrazione delle **fonti rinnovabili**. Nel loro insieme, queste innovazioni contribuiscono al miglioramento dello **Smart Readiness Indicator (SRI)** degli edifici, rafforzandone *la capacità di adattarsi alle esigenze degli occupanti e alle dinamiche del sistema energetico*.

Nella redazione di questo report, le associazioni di settore sono state intervistate per capire come i **benefici** in termini di sostenibilità energetica generati dalle tecnologie della filiera delle costruzioni si distribuiscano **lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio**. In particolare, **Figura 13** mostra i risultati delle interviste, evidenziando come ci sia una netta prevalenza di benefici associati alla fase d'uso (B1–B7), che risulta la più frequentemente selezionata dalle associazioni, a conferma del ruolo centrale percepito dell'operational energy nella riduzione dei consumi e delle emissioni complessive del costruito. Il contributo risulta particolarmente marcato per la filiera dei materiali per le costruzioni, che registra il numero più elevato di segnalazioni nella fase d'uso, evidenziando come le **prestazioni dei materiali e dei sistemi costruttivi incidano in modo significativo sui fabbisogni energetici durante l'esercizio dell'edificio**.

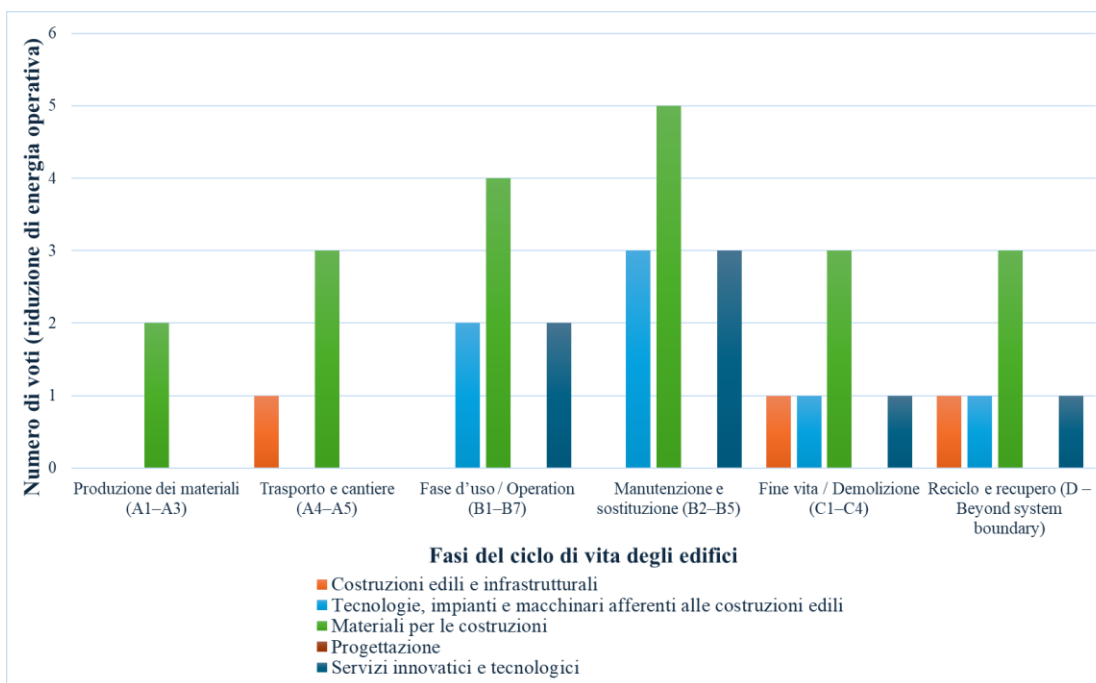


Figura 13. Fasi del ciclo di vita degli edifici in cui le tecnologie della filiera generano maggiori benefici in termini di sostenibilità energetica. Il valore nel grafico rappresenta la frequenza con il quale è stata selezionata ciascuna fase dalle associazioni di settore.

Accanto alla fase operativa, emergono con forza anche le fasi di manutenzione e sostituzione (B2–B5), soprattutto per le filiere dei materiali e delle tecnologie, impianti e macchinari. Ciò sottolinea l'importanza di **soluzioni durevoli, e aggiornabili nel tempo, capaci di preservare le prestazioni energetiche e di evitare decadimenti funzionali** che inciderebbero negativamente sui consumi. Anche le fasi di fine vita (C1–C4) e di riciclo e recupero (D) risultano rilevanti, in particolare per i materiali da costruzione, evidenziando una crescente **attenzione agli aspetti di circolarità e al contributo indiretto che il recupero dei materiali** può fornire alla sostenibilità energetica complessiva del sistema. Più contenuto, ma comunque significativo, risulta invece il contributo riconosciuto alle fasi a monte (A1–A5), che vengono approfondite nella sezione successiva dedicata ai benefici associati all'energia e alle emissioni incorporate (embodied).

I dati raccolti riflettono una consapevolezza diffusa rispetto all'impatto energetico dei processi produttivi e logistici, pur confermando che, nel bilancio complessivo, i maggiori benefici energetici vengono percepiti nella fase di utilizzo dell'edificio. È proprio su questa fase che si concentrano le stime fornite dalle associazioni in merito alla capacità delle tecnologie della filiera di ridurre l'operational energy e le emissioni associate, mettendo in evidenza differenze tra i diversi ambiti tecnologici.

Le filiere legate ai sistemi impiantistici, elettrotecnici e digitali indicano i contributi più elevati, con stime di riduzione superiori al 40%, a conferma del ruolo centrale della

gestione intelligente dei consumi, dell'automazione e dell'ottimizzazione dei sistemi energetici nella fase d'uso degli edifici. Accanto a questi contributi, le filiere dei materiali da costruzione evidenziano riduzioni generalmente comprese tra il 20% e il 40%, riconducibili alle prestazioni dell'involucro e alla capacità dei materiali di influenzare nel tempo il comportamento energetico dell'edificio, migliorando il comfort interno e riducendo i fabbisogni per il riscaldamento e il raffrescamento. Anche la filiera delle costruzioni edili e infrastrutturali stima il loro contributo alla riduzione dell'operational carbon ed energy nella fase d'uso dell'edificio compreso tra il 20% e il 40%, attribuibili alle modalità realizzative e alla corretta implementazione delle soluzioni progettuali e impiantistiche. Alcuni comparti segnalano benefici più contenuti in termini percentuali complessivi, ma comunque rilevanti se analizzati per singola funzione energetica (**Figura 14**): è il caso delle soluzioni basate sulla massa e inerzia termica, che risultano particolarmente efficaci nel contenimento dei consumi per il raffrescamento estivo.

Nel loro insieme, i risultati confermano che la riduzione dell'operational energy e del carbon operativo non è attribuibile a una singola tecnologia, ma deriva **dall'integrazione sinergica di materiali, sistemi costruttivi e tecnologie impiantistiche**, rafforzando l'importanza di un approccio sistemico alla sostenibilità energetica del settore delle costruzioni.

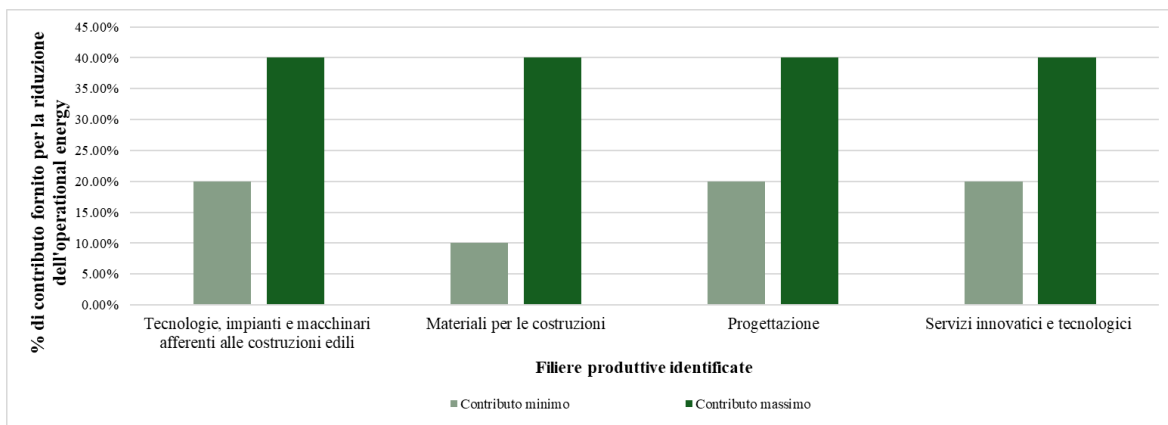


Figura 14. Percentuale minima e massima di contributo alla riduzione dell'operational energy per le filiere produttive del settore delle costruzioni.

3.2 Benefici ambientali ed energetici dei materiali (Embodied Energy/Carbon)

Accanto ai benefici energetici conseguiti nella fase d'uso degli edifici (*operational energy*), le filiere rappresentate in Federcostruzioni evidenziano un contributo crescente anche alla riduzione dell'energia incorporata (*embodied energy*) e delle emissioni incorporate (*embodied carbon*), ovvero l'impatto ambientale associato alle fasi di estrazione, produzione e trasformazione dei materiali, nonché ai processi costruttivi

lungo la supply chain. In tale prospettiva, la riduzione dell'*embodied carbon/energy* si configura come un driver strategico per la decarbonizzazione del settore, poiché una parte significativa delle emissioni complessive si concentra già nelle fasi iniziali del ciclo di vita delle opere e dei materiali. In particolare, l'economia circolare nel settore delle costruzioni è radicata nella progettazione e nel decision-making: scelte "a monte", selezione di materiali riciclati/riusati/low-carbon e strategie di fine uso (**end-of-use**) per evitare rifiuti rappresentano strumenti chiave per ridurre l'*embodied carbon*.

In termini industriali, le strategie includono lo sviluppo di materiali e soluzioni low-carbon, l'introduzione di leganti innovativi, l'aumento dell'impiego di materie prime seconde (ad esempio acciaio e vetro riciclati), l'efficientamento dei processi produttivi (incluso il recupero di calore) e, per alcuni comparti hard-to-abate, anche l'adozione di tecnologie di cattura della CO₂ come leva potenziale per la riduzione delle emissioni residue. *In questo quadro, l'impiego di energie rinnovabili nella produzione e nel trattamento dei materiali, insieme a processi più elettrificati, diventa una condizione abilitante; inoltre, l'adozione di tecnologie di cattura e stoccaggio del carbonio potrebbe contribuire in modo sostanziale alla riduzione delle emissioni residue, con stime che arrivano fino a 1,4 Gt di CO₂ entro il 2050.* All'interno di questo scenario, le stime raccolte nel questionario somministrato durante le interviste, evidenziano riduzioni significative dell'energia e della CO₂ incorporata, con valori che, per alcune filiere, raggiungono o superano il 30%, mentre in altri comparti la quantificazione in forma percentuale risulta più complessa e dipendente da confini di confronto, requisiti prestazionali e scelte metodologiche di valutazione.

La **filiera dei materiali** rappresenta uno degli ambiti più direttamente coinvolti nella riduzione dell'*embodied carbon*, poiché la produzione dei materiali da costruzione concentra una quota rilevante dei consumi energetici e delle emissioni complessive del settore. Nel caso delle **soluzioni in legno**, emerge una capacità di riduzione dell'energia e delle emissioni incorporate **superiore al 30%** confermando il potenziale dei materiali biobased e dei sistemi costruttivi a base legno nel contribuire alla decarbonizzazione dei prodotti e delle soluzioni edilizie. Più in generale, la sostituzione di materiali convenzionali con soluzioni in *mass timber* può ridurre le emissioni in un intervallo indicativo compreso tra il 14% e il 31%. Un contributo altrettanto significativo viene evidenziato dalla **filiera siderurgica**, che stima una riduzione pari a circa **30%**. In Italia, tale contributo risulta già oggi particolarmente significativo, considerando che circa il 90% della produzione nazionale di acciaio avviene tramite forni elettrici ad arco alimentati a rottame, configurando una delle filiere siderurgiche più elettrificate in Europa. In questo contesto, i principali driver richiamati sono l'elevato contenuto di rottame e l'efficienza dei forni elettrici, che consentono una riduzione rilevante delle emissioni incorporate nelle fasi di produzione e rafforzano il ruolo dell'acciaio riciclato

quale leva strutturale per contenere l'intensità carbonica dei prodotti metallici nel comparto edilizio e infrastrutturale. Per la **filiera chimica**, la riduzione dell'*embodied carbon/energy* viene stimata nel range **15–30%**, evidenziando come il risultato sia fortemente dipendente dalla tipologia di prodotto e dalla specifica applicazione. In tale ambito, le associazioni richiamano in particolare la rilevanza della durabilità dei materiali e dell'ottimizzazione dei processi produttivi, che contribuiscono nel complesso alla riduzione degli impatti lungo il ciclo di vita, riducendo necessità di sostituzione e migliorando stabilità prestazionale nel tempo. Tale approccio ha già prodotto risultati rilevanti: dal 1990 il settore chimico ha ridotto le emissioni dirette (Scope 1) di circa il 70% e quelle indirette da energia elettrica (Scope 2) di circa il 71%, fornendo un contributo strutturale alla riduzione dell'*embodied energy* e carbon della filiera edilizia.

Accanto a stime quantitative già disponibili, alcune filiere segnalano come la riduzione dell'*embodied carbon* non possa essere sempre sintetizzata in una percentuale univoca, poiché tale valore dipende dal perimetro di calcolo, dalla baseline di confronto e dall'analisi su base funzionale. Nel comparto della pietra naturale, viene evidenziata la competitività ambientale del materiale sulla base di studi LCA, pur sottolineando come l'espressione della prestazione in termini di "riduzione percentuale" richieda serie storiche e comparazioni robuste, definite su basi funzionali omogenee e con confini di sistema coerenti. A supporto della quantificazione degli impatti legati all'energia e alle emissioni incorporate, lo studio LCA di settore sulle lastre in pietra naturale italiana (unità funzionale: 1 m²; spessore 2 cm) riporta un intervallo di impatto sul cambiamento climatico pari a **6,0–15,0 kg CO₂ eq/m²**, con un valore medio pesato di **7,9 kg CO₂ eq/m²**. L'analisi evidenzia inoltre che gli impatti sono prevalentemente associati alle fasi energivore di estrazione e lavorazione, confermando il ruolo centrale dell'efficientamento energetico di cava e impianti di trasformazione nel miglioramento progressivo delle performance emissive e nell'ottimizzazione dell'*embodied energy* lungo la supply chain. Tali risultati risultano coerenti con l'Environmental Product Declaration (EPD) di settore verificata da parte terza, che per il modulo **A1–A3** riporta un valore medio pesato **Global Warming Potential (GWP)-Greenhouse Gas (GHG) pari a 13,6 kg CO₂ eq/m²**, evidenziando anche una variabilità legata alle caratteristiche della materia prima e alle condizioni operative dei processi estrattivi e di lavorazione. Anche **la filiera ceramica** evidenzia come la quantificazione percentuale dell'*embodied carbon* debba essere affrontata con cautela, sottolineando che la produzione è energivora (in particolare per la cottura), ma che il peso relativo di tale fase cambia se valutato su orizzonti temporali coerenti con la vita utile dell'edificio. In termini di misure industriali già in corso, vengono richiamati recupero di calore ed efficienza energetica, con ulteriori margini di miglioramento legati a rendimenti ed efficienze nell'ordine del **5–**

10%. Vengono inoltre citate leve aggiuntive come dematerializzazione e switch verso combustibili meno emissivi, con stime indicative che, riferite al processo produttivo, potrebbero collocarsi tra **10–20%**. Tuttavia, la filiera evidenzia un punto critico che assume rilevanza sistemica: l'aumento del contenuto di riciclato o sottoprodotti può comportare, in alcuni casi, un maggiore fabbisogno di calore in cottura, evidenziando quindi potenziali trade-off tra obiettivi di circolarità e obiettivi emissivi, oltre a possibili vincoli legati ai requisiti tecnici e prestazionali dei prodotti. Rimane tuttavia chiaro che le traiettorie industriali del settore sono orientate a misure di riduzione dell'impatto emissivo tramite innovazione di processo e, laddove applicabile, recupero energetico e miglioramento dell'efficienza dei cicli produttivi.

Per la filiera del cemento e del calcestruzzo, le evidenze raccolte nelle interviste confermano che la fase di produzione dei materiali (A1–A3) rappresenta quella in cui si concentra il maggiore impatto energetico ed emissivo, principalmente a causa delle emissioni associate alla produzione del clinker. Tale incidenza risulta invece più contenuta nelle fasi di trasporto e cantiere (A4–A5), grazie alla prossimità degli impianti produttivi ai cantieri, configurazione resa necessaria dai tempi di lavorabilità e presa del calcestruzzo e funzionale alla riduzione delle distanze di trasporto e dei consumi energetici associati. Analogamente, nella fase di manutenzione e sostituzione (B2–B5), l'elevata durabilità del materiale, se correttamente progettato e prescritto in conformità alle Norme Tecniche per le Costruzioni e alla UNI EN 206, consente di limitare gli interventi nel tempo e di garantire il raggiungimento della vita utile di riferimento dell'opera.

Anche le fasi di fine vita, demolizione e riciclo (C1–C4 e D) presentano un impatto relativamente contenuto, grazie alla riciclabilità del calcestruzzo mediante pratiche di demolizione selettiva e al reimpiego dei materiali recuperati nel ciclo produttivo. **Nel complesso, l'analisi evidenzia come l'impatto energetico del calcestruzzo sia prevalentemente concentrato nella fase di produzione dei materiali, mentre risulti più contenuto nelle fasi di trasporto, uso, manutenzione e fine vita**, grazie alla prossimità degli impianti ai cantieri, all'inerzia termica, alla durabilità del materiale e alla sua riciclabilità.

Per le costruzioni edili e infrastrutturali la riduzione dell'embodied carbon non dipende esclusivamente dalle scelte industriali dei produttori di materiali, ma anche dalle modalità con cui la filiera delle costruzioni integra tali materiali nei processi realizzativi e gestisce l'intero ciclo operativo del cantiere. In particolare, viene evidenziato come le fasi di trasporto, cantierizzazione, manutenzione, sostituzione e fine vita siano fortemente condizionate da scelte operative, quali l'organizzazione

logistica del cantiere, la programmazione delle lavorazioni e l'adozione di pratiche orientate alla prevenzione degli sprechi e alla riduzione delle inefficienze.

Le stime fornite dalla filiera delle costruzioni edili e infrastrutturali indicano che il contributo diretto delle modalità realizzative e organizzative alla riduzione dell'embodied carbon ed energy, allo stato attuale, risulta compreso tra il **5% e il 10%**. Tale valore è influenzato da un'oggettiva difficoltà di stima. Infatti, seppur ad oggi una quota crescente di materiali già sul mercato presenti buone caratteristiche ambientali, le imprese non sempre dispongono di informazioni complete sull'impronta carbonica dei materiali che utilizzano, inclusi talvolta i contesti regolati dai CAM. In questo senso, l'assenza di standard omogenei nei metodi di misurazione ostacola la transizione verso edifici a basse emissioni; l'adozione sistematica di Life Cycle Assessment (LCA) e l'uso di dichiarazioni ambientali (es. EPD) costituiscono una risposta operativa per quantificare e confrontare gli impatti. In tale prospettiva, le imprese assumono comunque un ruolo determinante nel rendere effettiva la sostenibilità della filiera, poiché rappresentano l'anello di integrazione tra materiali, tecnologie e pratiche costruttive, assicurando coerenza tra prestazioni progettuali attese, qualità esecutiva e risultati ambientali lungo il ciclo di vita dell'opera.

Sebbene l'embodied carbon venga spesso associato principalmente ai materiali, le **tecnologie impiantistiche e i macchinari afferenti ai processi delle costruzioni** possono contribuire in modo significativo alla riduzione indiretta dell'energia e delle emissioni incorporate. Tale contributo si realizza attraverso la riduzione degli sprechi e delle rilavorazioni, la maggiore efficienza dei processi di installazione, la razionalizzazione delle operazioni di cantiere e, in generale, l'incremento della durabilità e della controllabilità delle soluzioni tecniche adottate. L'analisi effettuata stima una riduzione dell'embodied carbon/energy superiore al **30%** evidenziando il ruolo dell'innovazione tecnologica come abilitatore trasversale nella transizione verso sistemi edilizi e infrastrutturali più efficienti dal punto di vista energetico e climatico. In parallelo, viene richiamata l'importanza di soluzioni compatibili con requisiti ambientali (CAM), processi produttivi più efficienti e attenzione alla durabilità e al ciclo di vita dei prodotti, che rappresentano driver rilevanti nella riduzione delle emissioni incorporate legate alle scelte tecnologiche e impiantistiche.

La **progettazione** rappresenta una leva strategica per la riduzione dell'embodied carbon, poiché orienta in modo determinante le scelte sui materiali, sulle tecnologie e sulle strategie di ciclo di vita già nelle fasi iniziali. In questo ambito, le associazioni evidenziano che il contributo della progettazione non si esprime soltanto nella selezione di materiali low-carbon, ma soprattutto nella capacità di **ottimizzare le quantità impiegate e di garantire prestazioni equivalenti con un minore impiego di risorse,**

oltre che nella definizione di requisiti di durabilità e manutenibilità coerenti con l'intero ciclo di vita dell'opera. In termini di opportunità, durante il planning è possibile “build nothing” con un potenziale di riduzione teorico pari al 100%; nella fase di design, “build less” massimizzando l'uso di asset esistenti può portare a riduzioni dell'80–90%, mentre “build clever” ottimizzando scelte di materiale e progetto può arrivare al 50–60%; in fase di costruzione, un approccio low-carbon orientato all'eliminazione degli sprechi presenta un potenziale indicativo di riduzione intorno al 30% . Tali elementi risultano ulteriormente rafforzati dalla diffusione di metodi e strumenti digitali, in particolare BIM e approcci orientati alla gestione del ciclo di vita, che consentono una maggiore coerenza tra prestazioni attese, scelte tecniche, controllabilità delle soluzioni e tracciabilità dei dati utili anche per valutazioni ambientali e carbon footprint. Inoltre, la decostruzione/demolizione selettiva assume un ruolo chiave nel ridurre l'impatto emissivo complessivo, con potenziali riduzioni stimate fino al 59% quando integrata in strategie circolari coerenti e in filiere di recupero strutturate. Vale inoltre la pena sottolineare che dalle interviste è emerso come i benefici associati alle fasi di riciclo e recupero, così come quelle di trasporto, cantiere, manutenzione, sostituzione e fine vita, dipendano in larga misura dalle scelte operative delle imprese. In particolare, l'organizzazione del cantiere, la decisione di avviare i materiali a impianti di recupero e l'adozione di pratiche di demolizione selettiva rappresentano leve fondamentali per ridurre l'impatto energetico e ambientale complessivo del processo edilizio.

I **servizi innovativi e tecnologici** contribuiscono alla riduzione dell'embodied carbon soprattutto nel rendere più misurabile, tracciabile e gestibile l'impatto emissivo lungo la supply chain e nel supportare scelte tecniche basate sul ciclo di vita. In tale quadro, il contributo dei servizi si manifesta nella capacità di accompagnare l'adozione di soluzioni conformi ai requisiti ambientali, migliorare l'efficienza dei processi e rafforzare l'attenzione alla durabilità e alla gestione del ciclo di vita, contribuendo alla riduzione delle emissioni incorporate in modo sistemico. Più in generale, la diffusione di standard di etichettatura delle emissioni e l'adozione di materiali a basse emissioni (inclusi biobased) anche attraverso impegni di filiera e policy internazionali rappresentano un acceleratore di mercato per la transizione ([Figura 15](#)).

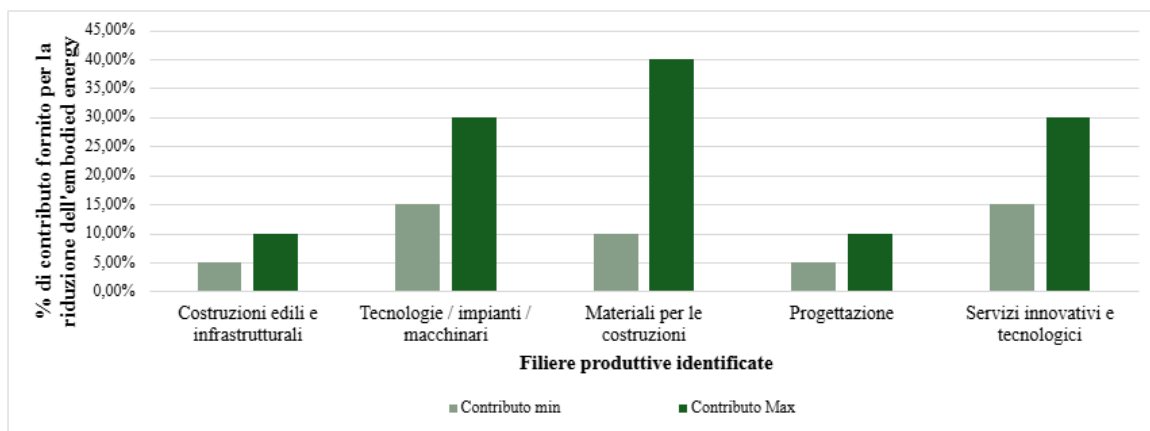


Figura 15. Percentuale minima e massima di contributo alla riduzione dell'embodied energy per le filiere produttive del settore delle costruzioni.

3.3 Benefici legati alla digitalizzazione (DIHCUBE)

La **digitalizzazione rappresenta uno dei principali fattori abilitanti** per il miglioramento delle prestazioni energetiche, ambientali ed economiche del settore delle costruzioni. L'integrazione di strumenti digitali lungo l'intero ciclo di vita dell'opera consente infatti di superare approcci frammentati, favorendo una gestione più efficiente, predittiva e orientata ai dati degli edifici e delle infrastrutture. La **disponibilità e qualità dei dati** diventano quindi una condizione abilitante per misurare le prestazioni reali, verificare i risultati ottenuti e orientare in modo più efficace gli investimenti in efficienza energetica e decarbonizzazione. Questo approccio risulta coerente con l'evoluzione del quadro europeo, che sta rafforzando l'adozione di valutazioni basate sul ciclo di vita e sulla tracciabilità dei dati: dalla revisione dell'EPBD, che introduce progressivamente la quantificazione degli impatti climatici lungo il ciclo di vita (GWP), fino agli strumenti di dichiarazione ambientale come le EPD e alle nuove disposizioni del Construction Products Regulation (CPR), che orientano il mercato verso la digitalizzazione delle informazioni di prodotto attraverso i Digital Product Passport, funzionali anche all'alimentazione e all'aggiornamento dei Digital Building Logbooks. In questo quadro, DIHCUBE (Digital Italian Hub for Construction and Built Environment) si configura come una delle principali iniziative nazionali dedicate ad accelerare la transizione digitale del settore delle costruzioni, in coerenza con le priorità europee del programma Digital Europe e con la rete degli European Digital Innovation Hub (EDIH). Il progetto opera come piattaforma di supporto per imprese, professionisti e pubbliche amministrazioni, offrendo servizi integrati di assessment della maturità digitale, sperimentazione "test before invest", formazione avanzata e accompagnamento all'adozione di tecnologie come BIM, IoT, AI, Digital Twin e strumenti per la tracciabilità dei dati. In tal senso, DIHCUBE contribuisce a ridurre il divario digitale che caratterizza la filiera italiana, favorendo una diffusione più omogenea di approcci data-driven e di

sistemi di monitoraggio e gestione avanzata, con impatti diretti sulla qualità progettuale, sull'efficienza energetica e sulla decarbonizzazione del costruito

Le tecnologie digitali non costituiscono un beneficio autonomo, ma un moltiplicatore di efficacia delle soluzioni materiali e impiantistiche, contribuendo in modo diretto alla riduzione dei consumi energetici, dei costi operativi e delle emissioni nella fase d'uso. In tal senso, ad esempio l'adozione di sistemi di automazione e controllo degli edifici (Building Automation and Control Systems, BACS), rappresenta un intervento importante per il miglioramento delle prestazioni energetiche. Secondo analisi di settore, l'implementazione di soluzioni BACS avanzate consente di avere **risparmi energetici superiori al 26% e fino a oltre il 30%**, a fronte di investimenti complessivi relativamente contenuti. Inoltre nella fase operativa, l'intelligenza artificiale rafforza ulteriormente i benefici della digitalizzazione attraverso l'analisi dei dati di esercizio, il monitoraggio continuo delle prestazioni e l'implementazione di strategie di controllo adattive. Applicazioni quali la manutenzione predittiva, l'ottimizzazione dinamica dei consumi e l'anticipazione di anomalie consentono di preservare nel tempo le prestazioni energetiche degli edifici, riducendo inefficienze, consumi non necessari e costi operativi. In questo senso, l'AI si configura come un fattore chiave per trasformare i dati in benefici energetici concreti lungo l'intero ciclo di vita del costruito.

In tale prospettiva, le associazioni di settore hanno fornito un'analisi qualitativa del livello di adozione dei sistemi digitali e di monitoraggio avanzato all'interno delle aziende della filiera, considerando in modo integrato strumenti quali BIM, digital twin, sistemi Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA), tecnologie Internet of Things (IoT) e applicazioni di intelligenza artificiale, in particolare per la manutenzione predittiva e l'ottimizzazione degli impianti. Un ruolo crescente è inoltre svolto dall'intelligenza artificiale, il cui contributo si manifesta in modo particolarmente rilevante nelle fasi di progettazione e di gestione operativa degli edifici. In fase di design, l'impiego di algoritmi di ottimizzazione e sistemi di supporto decisionale consente di valutare in modo comparativo un ampio numero di alternative progettuali, riducendo errori, sovradimensionamenti e scelte inefficaci dal punto di vista energetico e ambientale. L'integrazione dell'AI con strumenti BIM e modelli di simulazione consente di ottimizzare fin dalle fasi iniziali l'impiego dei materiali, le soluzioni impiantistiche e le prestazioni energetiche attese, con effetti diretti anche sulla riduzione dell'energia e delle emissioni incorporate, grazie alla diminuzione delle rilavorazioni e degli scarti. In particolare, la digitalizzazione applicata a prefabbricazione e industrializzazione può ridurre lo spreco di materiale in un intervallo molto ampio (dal 23% fino a casi prossimi al 100%), quando combinata con processi controllati e gestione dati lungo la supply chain.

I risultati ottenuti dalle interviste mostrano un **quadro articolato e fortemente eterogeneo** del livello di adozione delle tecnologie digitali e di monitoraggio avanzato all'interno delle diverse filiere del sistema delle costruzioni. Nel complesso, emerge una chiara **correlazione tra dimensione aziendale, ambito di attività e grado di maturità digitale**, con livelli di adozione che risultano generalmente più elevati nelle fasi di produzione industriale e nei segmenti caratterizzati da maggiore strutturazione organizzativa. Le costruzioni edili e infrastrutturali evidenziano un livello di adozione complessivamente basso, dato riconducibile alla forte frammentazione del tessuto imprenditoriale e alla prevalenza di micro e piccole imprese, che incontrano maggiori difficoltà nell'investire in sistemi digitali avanzati e nel coglierne i benefici operativi. Un livello di adozione più articolato emerge invece nelle filiere delle tecnologie, impianti e macchinari e dei servizi innovativi e tecnologici, dove la digitalizzazione risulta elevata nella fase di produzione delle aziende, ma ancora contenuta nella fase operativa degli edifici. Questo divario riflette, da un lato, la forte digitalizzazione dei processi industriali e, dall'altro, una più lenta diffusione delle tecnologie digitali nella gestione e conduzione degli edifici, spesso legata a barriere culturali, organizzative e di costo. La filiera dei materiali per le costruzioni presenta uno scenario differenziato: nelle grandi imprese il livello di adozione risulta alto, con un utilizzo più sistematico e integrato delle tecnologie digitali, mentre nelle piccole e medie imprese si attesta su livelli medi. Tale differenziazione conferma come i costi di investimento, la formazione del personale e la complessità delle soluzioni digitali rappresentino ancora elementi critici per una diffusione omogenea lungo l'intera filiera.

Un ruolo trainante è svolto dalla progettazione e dall'ingegneria, dove l'adozione di strumenti digitali, in particolare il BIM, risulta ormai imprescindibile, soprattutto nei lavori pubblici, in risposta alle richieste delle stazioni appaltanti e agli obblighi normativi. Anche in questo ambito, tuttavia, la maturità digitale varia in funzione della dimensione degli operatori, con livelli più elevati nelle strutture di maggiore dimensione e una maggiore frammentazione nelle realtà più piccole.

3.4 Benefici sociali e di competitività

Oltre ai benefici energetici descritti nelle sezioni precedenti, le soluzioni e le tecnologie promosse dalle filiere del sistema delle costruzioni generano ricadute rilevanti anche in termini di **benefici sociali, qualità del costruito e competitività economica**. L'evoluzione verso materiali più performanti, processi produttivi più efficienti, maggiore durabilità delle soluzioni e una gestione più consapevole del ciclo di vita contribuisce infatti a ridurre inefficienze strutturali e a migliorare la sostenibilità economica degli interventi nel medio-lungo periodo. Un primo beneficio riguarda la **maggiore qualità degli edifici**, intesa non solo come incremento prestazionale immediato, ma come

capacità di garantire nel tempo condizioni stabili di affidabilità, comfort e fruibilità. L'integrazione tra materiali ad alte prestazioni, sistemi costruttivi evoluti e tecnologie impiantistiche avanzate consente di migliorare il comportamento termo-igrometrico dell'involucro e degli ambienti interni, riducendo dispersioni e disomogeneità e migliorando la qualità degli ambienti indoor. In particolare, il **comfort indoor**, e soprattutto il comfort termico, emerge come fattore chiave di benessere sociale e produttività. Evidenze scientifiche mostrano che condizioni indoor non ottimali incidono in modo diretto su salute, soddisfazione e prestazioni cognitive degli occupanti. Studi recenti indicano che variazioni delle condizioni di comfort possono determinare **scostamenti di produttività fino all'8%** per specifiche attività lavorative, mentre il comfort termico è riconosciuto come il parametro più influente tra quelli che compongono la qualità ambientale interna (Indoor Environmental Quality – IEQ), risultando prioritario per oltre il **50% degli esperti del settore** coinvolti in analisi decisionali multi-stakeholder. Soluzioni tecnologiche avanzate basate su monitoraggio continuo e modelli predittivi consentono inoltre una gestione più efficiente e proattiva degli ambienti indoor. In particolare, approcci data-driven basati su sensori e intelligenza artificiale permettono di mantenere condizioni di comfort stabili nel tempo, migliorando l'esperienza degli utenti e riducendo al contempo i consumi energetici associati ai sistemi di climatizzazione. Un secondo elemento di rilievo è la **riduzione dei costi di gestione**, ottenuta attraverso minori consumi energetici e un contenimento dei fabbisogni manutentivi, resi possibili da materiali più durevoli, componenti più performanti e processi progettuali ed esecutivi più avanzati. In questo quadro, la sostenibilità energetica assume un valore strategico non soltanto come priorità ambientale, ma anche come leva di stabilità economica per famiglie, amministrazioni e imprese, soprattutto in un contesto caratterizzato da elevata volatilità dei prezzi dell'energia e crescente attenzione alla riduzione delle spese operative lungo la vita utile degli edifici.

La combinazione tra **qualità prestazionale, comfort indoor ed efficienza energetica** accresce inoltre l'attrattività degli immobili sul mercato, favorendo una maggiore valorizzazione del patrimonio edilizio. La transizione energetica sta infatti ridefinendo gli standard minimi attesi per la qualità del costruito, orientando la domanda verso edifici più efficienti, confortevoli, resilienti e dotati di sistemi di gestione avanzati. Infine, i benefici si estendono alla **dimensione produttiva e industriale**. La diffusione di tecnologie efficienti e di pratiche orientate alla qualità energetica e al comfort contribuisce a ridurre l'esposizione delle imprese ai rischi legati ai costi energetici e alle inefficienze operative. La riduzione di sprechi e rilavorazioni, la razionalizzazione delle operazioni di cantiere e una maggiore controllabilità delle prestazioni tecniche si traducono in condizioni operative più stabili, maggiore produttività e una migliore

competitività complessiva della filiera. Un ambito in cui i benefici sociali, economici e ambientali risultano particolarmente evidenti è l'edilizia residenziale pubblica (ERP), dove la sostenibilità energetica si intreccia con criticità di manutenzione e vincoli di risorse. In tale contesto, approcci industrializzati e off-site consentono di gestire volumi elevati di riqualificazione riducendo tempi e costi e limitando l'impatto sugli occupanti. Tra i vantaggi dell'edilizia off-site rientrano: riduzione delle tempistiche fino al 50%, controlli qualità di tipo industriale (con riduzione di errori), minori costi manutentivi e aumento del valore immobiliare, impatto ambientale ridotto grazie a minori sprechi e rifiuti, maggiore circolarità e maggiore sicurezza per i lavoratori.

In questa direzione si colloca, a titolo d'esempio, l'approccio Energiesprong, che integra digitalizzazione, metodi lean e industrializzazione off-site, facendo leva sul concetto di total cost of ownership per abilitare nuovi modelli di sostenibilità economico-finanziaria. Il retrofit in ottica Energiesprong mira a trasformare un edificio energivoro in un edificio capace di (auto)generare l'energia necessaria, con benefici dichiarati in: riduzione dei costi energetici fino a circa il 30%, riduzione dei tempi di intervento fino al 50% e riduzione delle emissioni post-intervento fino al 75%. Su un orizzonte di 30 anni, la riqualificazione Energiesprong può ridurre fino al 75% le emissioni complessive (embodied + operational), rispetto a scenari che raggiungono circa -50% per retrofit a basso consumo, -30% per demolizione e ricostruzione e -10% per ristrutturazioni minime, anche grazie a materiali sostenibili e circolari e alla garanzia di prestazioni fino a 30 anni.

All'interno di questa cornice, il concetto di *Tactical Housing*, inteso come approccio alla riqualificazione edilizia fondato su interventi rapidi, modulari e industrializzati, progettati per garantire scalabilità, adattabilità e riduzione degli impatti ambientali, evidenzia un significativo potenziale di accelerazione dei programmi: tempi standard di 6-7 anni possono ridursi fino a circa 9 mesi, attraverso un percorso che integra analisi (best practice e scouting), modelli (concept e vademecum di processo) e scale-up (condizioni di procurement e trasferimento di know-how). Gli elementi ricorrenti dell'approccio olistico includono facciate prefabbricate (installazione veloce, isolamento, serramenti e nuovi impianti), balconi e terrazzi (anche con funzioni antisismiche e verdi), elettrificazione (no gas), fotovoltaico in copertura e facciata, solare termico, comunità energetiche (integrazione con mobilità elettrica e CER), prestazioni NZEB/positive energy, accessibilità e riconfigurazione del piano terra, integrazione con il contesto urbano e attivazione di spazi comuni, fino alla rigenerazione di quartiere con partecipazione degli attori sociali e degli inquilini.

4) Ostacoli, Barriere e Criticità all’Innovazione Energetica

Nonostante la crescente maturità tecnologica delle soluzioni per l’efficienza energetica, la decarbonizzazione e l’integrazione delle fonti rinnovabili nella filiera delle costruzioni si confronta oggi con un insieme articolato di ostacoli che ne rallentano l’adozione diffusa e sistemica. Come evidenziato nei precedenti capitoli del Rapporto tali criticità non sono riconducibili a una carenza di tecnologie o di capacità industriali, ma piuttosto a **fattori strutturali di natura economica, energetica, regolatoria e organizzativa** che incidono in modo differenziato sulle diverse filiere.

In questo contesto il settore delle costruzioni è chiamato a svolgere un ruolo che va oltre la tradizionale funzione di esecutore di opere e forniture, assumendo progressivamente il profilo di **abilitatore di infrastrutture energetiche locali**. Ciò potrebbe avvenire attraverso la realizzazione e l’integrazione di soluzioni per l’autoproduzione energetica, la condivisione dell’energia e la gestione flessibile ed ottimale dei consumi. In tal senso, le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) e i Gruppi di Autoconsumo Collettivo (CACER) rappresenterebbero uno degli ambiti più promettenti per valorizzare il contributo della filiera delle costruzioni alla transizione energetica dei territori con potenziali benefici ambientali, economici e sociali.

Tuttavia, dall’analisi svolta emerge come tale potenziale risulti ancora solo parzialmente espresso. Difatti, le imprese si trovano ad operare in un contesto caratterizzato da **elevata incertezza sui costi energetici, complessità normative, frammentazione regolatoria e difficoltà di accesso a modelli di business stabili**, elementi che limitano la scalabilità delle soluzioni innovative, incluse quelle legate alle CER/CACER e alla flessibilità energetica precedentemente menzionate.

L’innovazione energetica nel settore delle costruzioni non riguarda quindi esclusivamente la diffusione di singole tecnologie, ma implica un cambiamento sistemico che coinvolge modelli organizzativi, rapporti tra attori pubblici e privati, processi autorizzativi, strumenti finanziari e capacità di coordinamento a livello nazionale, regionale e locale. In assenza di condizioni abilitanti adeguate il rischio è che il sistema delle costruzioni rimanga confinato a un ruolo prevalentemente esecutivo, senza poter esprimere appieno la propria funzione di abilitatore di sistemi energetici distribuiti e resilienti in grado di contribuire sia agli obiettivi climatici nazionali ed europei, sia alla riduzione dei costi energetici per imprese e cittadini.

Alla luce delle considerazioni precedentemente esposte, la Sezione 4 analizza in modo sistematico le principali barriere e criticità che limitano la diffusione dell’innovazione energetica lungo l’intera filiera delle costruzioni. In particolare, l’analisi prende in esame gli ostacoli di natura economico-finanziaria, regolatoria e autorizzativa, tecnico-industriale, nonché le criticità legate alle competenze e alla digitalizzazione,

evidenziandone il ruolo nel rallentare i processi di transizione energetica del settore. Al fine di fornire una rappresentazione sintetica e di immediata lettura dei contenuti trattati nella presente sezione, la **Figura 16** riporta uno schema a blocchi che sintetizza le principali categorie di barriere analizzate e le loro interrelazioni, offrendo una visione d’insieme delle dinamiche che condizionano lo sviluppo dell’innovazione energetica nel sistema delle costruzioni.

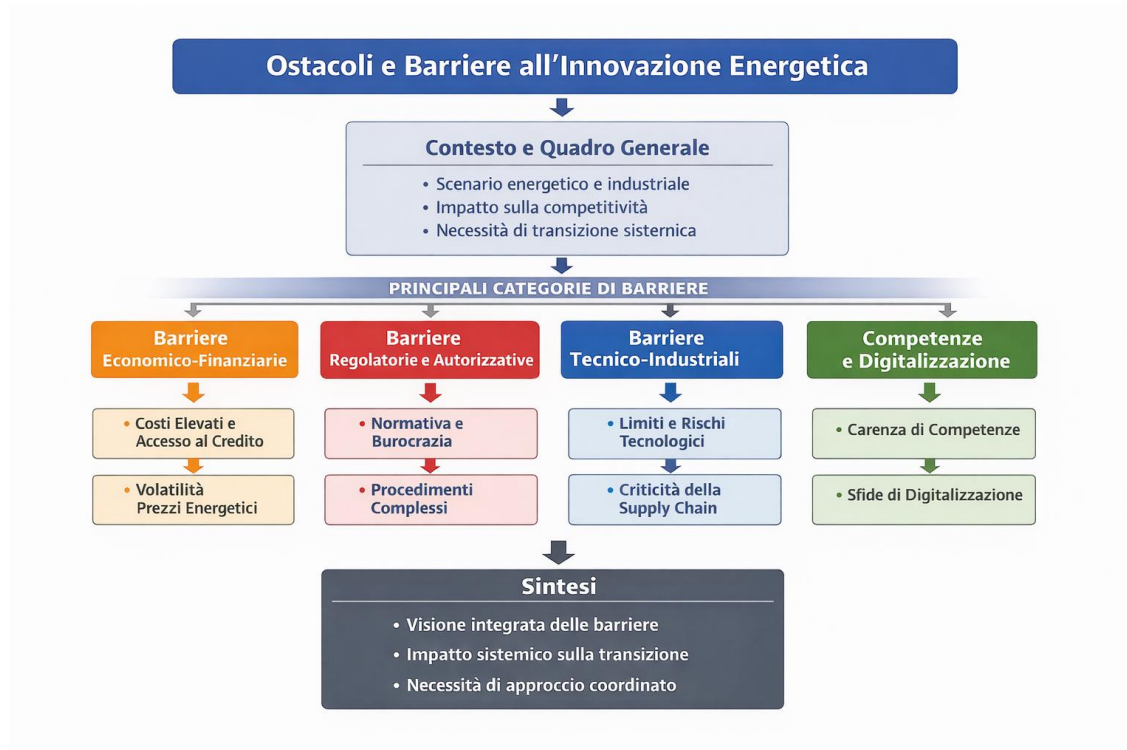


Figura 16. Schema di sintesi delle principali barriere e criticità che ostacolano l’innovazione energetica nella filiera delle costruzioni.

4.1 Contesto e quadro generale

Il processo di **transizione energetica del sistema delle costruzioni** si sviluppa in un contesto macroeconomico e geopolitico caratterizzato da una crescente **instabilità dei mercati energetici**. La **volatilità dei prezzi dell’energia**, accentuatasi negli ultimi anni, rappresenta uno dei principali fattori di incertezza per le imprese dell’intera filiera, incidendo direttamente sulla pianificazione economico-finanziaria, sulla sostenibilità delle attività produttive e sulla capacità di assumere decisioni di investimento di medio-lungo periodo.

In questo scenario la crisi energetica non può più essere interpretata come un fenomeno meramente congiunturale, legato a dinamiche temporanee o eccezionali, ma evidenzia criticità di natura strutturale del sistema energetico mettendo in luce vulnerabilità sistemiche del modello energetico europeo e nazionale, legate alla dipendenza dalle

fonti fossili, all'esposizione ai mercati internazionali e alla limitata resilienza delle catene di approvvigionamento. La presenza di tali elementi implica che le tensioni sui prezzi e sulla disponibilità dell'energia possano manifestarsi anche nel medio-lungo periodo influenzando di conseguenza le condizioni di competitività dei sistemi produttivi.

Il costo dell'energia rappresenta uno dei principali fattori di vulnerabilità per l'intera filiera delle costruzioni. I dati raccolti evidenziano un'incidenza estremamente eterogenea tra i diversi comparti ma complessivamente rilevante. In termini medi di filiera, l'incidenza del costo dell'energia sui costi di produzione si colloca mediamente tra il 10 e il 20%, valore rappresentativo della maggior parte dei comparti industriali delle costruzioni. Tuttavia, tale media nasconde differenze sostanziali:

- nei comparti a bassa intensità energetica l'incidenza si attesta su valori pari al 5-10% dei costi di produzione;
- nei comparti a media-alta intensità energetica il peso dell'energia sui costi di produzione cresce fino a 20-40%;
- nei comparti fortemente energivori l'incidenza può superare il 40%, configurandosi come fattore determinante dei costi industriali.

In alcuni comparti produttivi, come evidenziato dagli studi di LCA, l'energia associata alle attività estrattive e ai processi di lavorazione rappresenta tra il 60 e l'80% dell'impatto complessivo, rendendo il costo energetico una variabile critica sia per la sostenibilità economica che ambientale del settore. Nei settori caratterizzati da processi ad alta intensità elettrica tale dipendenza si traduce in effetti diretti sulla marginalità industriale.

Il legame tra **costo dell'energia, competitività e propensione agli investimenti** risulta pertanto particolarmente evidente nel sistema delle costruzioni, caratterizzato da filiere articolate e interconnesse. L'energia incide non solo come costo diretto nei processi produttivi nelle attività di cantiere e nella gestione degli edifici, ma anche come **variabile strategica** in grado di influenzare la redditività complessiva dei progetti, la localizzazione degli investimenti e la capacità di innovazione tecnologica e organizzativa. In presenza di elevata incertezza sui prezzi energetici le imprese tendono a rinviare e/o ridimensionare gli investimenti "capital intensive", in particolare quelli legati all'adozione di tecnologie energetiche avanzate che richiedono tempi di ritorno lunghi e condizioni di contesto stabili.

Un ulteriore elemento di complessità deriva dall'elevata **eterogeneità delle imprese** appartenenti al settore delle costruzioni differenziate per dimensione, struttura organizzativa, intensità energetica e ruolo lungo la filiera. In uno stesso settore possono

coesistere imprese a bassa intensità energetica, per le quali l'energia rappresenta una componente limitata del costo operativo (5-10%), e imprese fortemente energivore, spesso collocate a monte delle filiere e interconnesse con i settori industriali “hard-to-abate” e per le quali il costo dell'energia può incidere oltre il 40% del costo complessivo di produzione. Tale eterogeneità si riflette direttamente nella natura delle criticità affrontate e nella tipologia di strategie di sostenibilità adottabili.

Nei settori **energy-intensive**, in particolare nella produzione di materiali per le costruzioni e in alcune filiere industriali a monte, il costo dell'energia rappresenta una quota rilevante del costo totale di produzione, generalmente superiore al 20–30% e, in specifici comparti e fasi di processo, anche oltre il 40%. In questi contesti, la volatilità dei prezzi energetici incide direttamente sulla **competitività internazionale**, aumentando il rischio di perdita di quote di mercato e di delocalizzazione produttiva. I processi produttivi continui e ad alta intensità energetica presentano inoltre vincoli fisici e tecnologici che limitano le possibilità di riduzione incrementale dei consumi rendendo necessari interventi strutturali e investimenti significativi, fortemente dipendenti da un quadro regolatorio stabile.

Nei settori **hard-to-abate** la complessità della transizione energetica è legata principalmente alla presenza di emissioni di processo difficilmente eliminabili o alla limitata disponibilità di alternative tecnologiche ai vettori tradizionali. In tali contesti, la sostenibilità ambientale non può essere perseguita esclusivamente attraverso misure di efficienza energetica o di decarbonizzazione delle forniture ma richiede un insieme coordinato di interventi che includa energia a costi competitivi, supporto allo sviluppo di tecnologie trasformative e una pianificazione di lungo periodo delle infrastrutture energetiche e industriali.

Al contrario, nei settori a minore intensità energetica quali le costruzioni edili, la progettazione e i servizi innovativi e tecnologici, l'energia incide in misura più contenuta sui costi diretti con valori generalmente inferiori al 10-15%, ma assume un ruolo strategico in relazione alla qualità delle prestazioni, alla sostenibilità ambientale complessiva e alla conformità agli obiettivi normativi e di mercato. In questi comparti, gli approcci alla sostenibilità si fondano prevalentemente sull'efficienza energetica, sull'integrazione tra progettazione, impiantistica e gestione, sulla digitalizzazione dei processi e sulla capacità di valorizzare le prestazioni lungo l'intero ciclo di vita del costruito. Anche in tali settori l'incertezza sui costi energetici e la discontinuità delle politiche di supporto possono ridurre la propensione agli investimenti e limitare la diffusione delle soluzioni più avanzate.

Nel complesso, il quadro che emerge evidenzia come le **criticità sistemiche legate all'energia** attraversino l'intero sistema delle costruzioni, assumendo forme e intensità

differenti in funzione del settore di filiera. La volatilità dei prezzi e la presenza di elementi strutturali di instabilità rendono necessaria l'adozione di approcci alla sostenibilità differenziati, evitando soluzioni uniformi e sviluppando strumenti mirati, compatibili con il mantenimento della competitività del sistema delle costruzioni nel suo complesso.

Le criticità strutturali legate all'energia si traducono direttamente in **barriere di natura economico-finanziaria**, le quali incidono sulla capacità delle imprese di sostenere gli investimenti necessari alla transizione energetica. La combinazione tra volatilità dei prezzi, incremento dei costi operativi e incertezza sugli orizzonti di ritorno economico rappresenta uno dei principali fattori limitanti per la diffusione di **soluzioni tecnologiche e organizzative innovative** lungo l'intera filiera.

4.2 Barriere economico-finanziarie

Uno dei principali ostacoli alla diffusione dell'**innovazione energetica** nel sistema delle costruzioni risiede nelle **barriere economico-finanziarie**. Tali criticità risultano trasversali ai diversi settori della filiera pur manifestandosi con intensità e modalità differenti in funzione del grado di intensità energetica dei processi, della struttura dei costi e del posizionamento competitivo delle imprese. Un primo elemento ricorrente riguarda l'elevato costo degli investimenti necessari per l'adozione di tecnologie energetiche avanzate.

Nei settori dei **materiali per le costruzioni** e, più in generale, nei comparti industriali energy-intensive, gli interventi di efficientamento e decarbonizzazione richiedono investimenti significativi in impianti, infrastrutture e tecnologie di processo. Tali investimenti presentano spesso un profilo fortemente "capital intensive" e lunghi tempi di recupero, difficilmente compatibili con contesti caratterizzati da elevata incertezza sui prezzi dell'energia e sulle politiche di supporto.

La sostenibilità degli investimenti è fortemente condizionata da fattori esogeni, quali il costo dell'energia, il prezzo delle emissioni di CO₂, determinato dai meccanismi europei di "carbon pricing", e la disponibilità di infrastrutture energetiche adeguate. Il prezzo delle quote di emissione, definito nell'ambito del sistema "Emission Trading System" (ETS), si configura come una variabile economica caratterizzata da elevata volatilità e difficilmente prevedibile nel medio-lungo periodo. La combinazione di **costi iniziali elevati** e **payback prolungati** riduce la propensione delle imprese ad avviare interventi trasformativi, soprattutto quando coinvolgono **processi produttivi strategici e difficilmente reversibili**.

Nel settore delle **tecnologie, degli impianti e dei macchinari**, la barriera economica assume caratteristiche parzialmente differenti. Sebbene le soluzioni per l'efficienza

energetica, la gestione dei consumi e l'integrazione delle fonti rinnovabili siano in larga misura disponibili e mature, la loro diffusione dipende fortemente dalla domanda finale. La sostenibilità economica degli investimenti risulta differenziata per dimensione aziendale: mentre le grandi imprese mostrano una maggiore capacità di assorbire i costi iniziali, le PMI incontrano difficoltà più marcate. In questo contesto, la criticità non riguarda solo il costo della tecnologia, ma la mancanza di un mercato stabile e continuativo, aggravata dall'incertezza sui volumi di domanda e dalla discontinuità degli incentivi.

Nel comparto delle **costruzioni edili e infrastrutturali**, le barriere economico-finanziarie sono spesso legate ai meccanismi di mercato e di gara, che tendono a privilegiare il costo iniziale rispetto alla valorizzazione delle prestazioni energetiche e dei benefici ambientali lungo il ciclo di vita. Gli investimenti in soluzioni energeticamente più efficienti risultano meno attrattivi, anche nei settori in cui l'energia incide per meno del 10–15% sui costi diretti di produzione. La discontinuità degli strumenti di incentivazione accentua ulteriormente questa dinamica riducendo la capacità di pianificazione degli interventi. Il costo del capitale e l'accesso agli strumenti di finanziamento incidono direttamente sulla bancabilità dei progetti energetici. L'aumento dei tassi di interesse e la maggiore selettività dei mercati finanziari rendono più complesso sostenere investimenti caratterizzati da profili di rischio elevati e tempi di ritorno lunghi, in particolare per le PMI. Questa criticità risulta amplificata nei comparti in cui l'incidenza del costo energetico è pari o superiore al 20–30% dei costi complessivi di produzione, dove la volatilità dei prezzi dell'energia rende difficilmente prevedibili i flussi di cassa e aumenta il rischio percepito dagli operatori finanziari.

Nei **settori a minore intensità energetica** quali la progettazione e i servizi innovativi e tecnologici, la barriera economico-finanziaria assume una forma più indiretta. In questi comparti l'innovazione energetica è spesso legata all'**introduzione di strumenti digitali**, modelli di progettazione avanzata e servizi ad alto valore aggiunto. Tuttavia, la difficoltà di monetizzare tali servizi e di trasferire i benefici energetici lungo la catena del valore limita la capacità di investimento e rallenta la diffusione delle soluzioni più innovative, nonostante l'incidenza diretta del costo dell'energia sui costi operativi risulti inferiore al 10%.

Nel complesso, le barriere economico-finanziarie delineano un quadro in cui la diffusione dell'innovazione energetica è fortemente condizionata dalla **sostenibilità economica degli investimenti** e dalla **prevedibilità dei ritorni**. La combinazione di costi iniziali elevati, payback lunghi, costo del capitale crescente e volatilità dei prezzi energetici rappresenta un ostacolo rilevante per l'intera filiera delle costruzioni, in particolare nei comparti in cui l'energia incide oltre il 20–40% dei costi di produzione

(Figura 17). Superare tali criticità richiede strumenti capaci di ridurre il rischio percepito, stabilizzare il contesto di riferimento e valorizzare i benefici energetici e ambientali lungo l'intero ciclo di vita degli interventi.

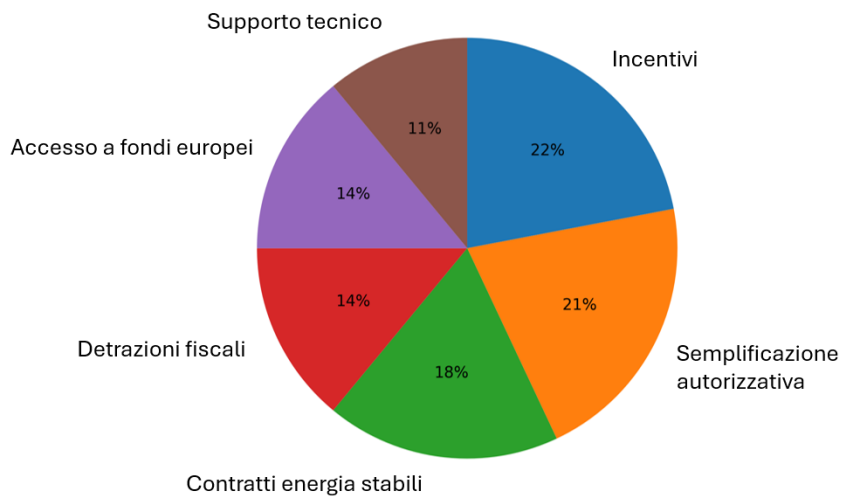


Figura 17. Grafico a torta delle misure prioritarie per accelerare gli investimenti energetici negli edifici all'interno della filiera delle costruzioni.

4.3 Barriere regolatorie e autorizzative

Le barriere regolatorie e autorizzative rappresentano uno degli ostacoli più rilevanti alla diffusione delle soluzioni per l'innovazione energetica lungo la filiera delle costruzioni. L'instabilità del quadro normativo, la disomogeneità applicativa a livello territoriale e la complessità dei procedimenti autorizzativi incidono in modo diretto su tempi, costi e bancabilità degli investimenti, limitando la scalabilità degli interventi e l'adozione di modelli innovativi, inclusi quelli legati alle CER/CACER e alla flessibilità energetica.

4.3.1 Quadro normativo di riferimento e stabilità regolatoria

Le **barriere normative e regolatorie** assumono un ruolo trasversale nella diffusione dell'innovazione energetica nel sistema delle costruzioni. La combinazione di complessità normativa, stratificazione delle regole e instabilità del quadro regolatorio incide negativamente sulla capacità delle imprese di pianificare investimenti strutturali e di lungo periodo, aumentando l'incertezza e il rischio percepito.

Un primo fattore critico è rappresentato dalla **sovrapposizione di norme** a livello europeo, nazionale e regionale, spesso accompagnata da ritardi nell'emanazione dei **provvedimenti attuativi**. Questa stratificazione genera **incertezza interpretativa**, incrementa i **costi di compliance** e risulta particolarmente penalizzante per gli interventi innovativi che richiedono **chiarezza procedurale** e **certezza dei tempi** per poter essere valutati e realizzati in modo efficace.

A ciò si affianca il **mancato aggiornamento delle norme tecniche** rispetto all'evoluzione delle tecnologie energetiche. In diversi settori della filiera, i riferimenti prestazionali non risultano pienamente allineati alle soluzioni oggi disponibili sul mercato, limitando l'introduzione di **tecnologie innovative** e scoraggiando **approcci progettuali avanzati**. Tale disallineamento incide in particolare nei comparti in cui l'innovazione energetica richiede l'**integrazione di sistemi complessi** e l'adozione di soluzioni non ancora pienamente codificate, soprattutto laddove l'energia incide per **oltre il 20–30%** sui costi di produzione.

Nei settori dei **materiali per le costruzioni** e nei comparti industrialmente energy-intensive il quadro normativo incide direttamente sulla competitività e sulla sostenibilità economica degli investimenti. In tali contesti, la coesistenza di obblighi ambientali stringenti, come quelli derivanti dal sistema ETS, e l'assenza di certezze sull'evoluzione futura delle regole amplificano il rischio regolatorio. Anche l'introduzione del CBAM, pur concepita come strumento di riequilibrio competitivo, è percepita come un ulteriore elemento di incertezza nella fase di transizione, soprattutto per le imprese esposte alla concorrenza internazionale e caratterizzate da un'incidenza del costo energetico superiore al 30–40%.

Nel comparto delle **costruzioni edili e infrastrutturali**, le barriere normative si traducono prevalentemente nella complessità delle procedure autorizzative e nella disomogeneità applicativa a livello territoriale. La realizzazione di impianti da fonti rinnovabili, sistemi di autoproduzione e soluzioni energetiche innovative è spesso rallentata da iter lunghi e poco prevedibili. Anche in presenza di un quadro normativo formalmente favorevole, la variabilità delle interpretazioni locali incide negativamente su tempi e costi di realizzazione.

Nei settori della **progettazione** e dei **servizi innovativi e tecnologici** il contesto normativo condiziona in modo significativo le scelte progettuali. L'assenza di riferimenti chiari e aggiornati per alcune soluzioni innovative induce spesso un approccio prudentiale, orientato a tecnologie consolidate, riducendo il potenziale di innovazione e rallentando la diffusione di modelli basati sulla valutazione delle prestazioni lungo il ciclo di vita, anche in comparti in cui l'incidenza diretta del costo dell'energia è inferiore al 10–15%.

Le barriere normative e il ritardo nell'aggiornamento delle norme tecniche delineano un contesto in cui l'innovazione energetica risulta più limitata da **fattori regolatori** che da vincoli tecnologici. L'assenza di un quadro stabile, coerente e orientato al lungo periodo riduce la prevedibilità degli investimenti e amplifica il rischio percepito lungo l'intera filiera, con effetti particolarmente marcati nei comparti in cui l'energia incide oltre il 20–

40% sui costi di produzione. Superare tali criticità richiede un'azione coordinata volta alla semplificazione delle procedure, all'armonizzazione territoriale e all'aggiornamento continuo delle norme tecniche, affinché il contesto regolatorio diventi un fattore abilitante, e non un ostacolo, della transizione energetica.

4.3.2 Complessità e durata dei procedimenti autorizzativi

La **complessità dei procedimenti autorizzativi** e dei processi di **permitting** rappresenta una delle principali barriere operative alla diffusione dell'innovazione energetica nel sistema delle costruzioni. Le evidenze raccolte mostrano come, anche in presenza di un quadro normativo formalmente favorevole allo sviluppo delle fonti rinnovabili e dei sistemi di autoproduzione, la fase autorizzativa continui a costituire un collo di bottiglia rilevante, incidendo su tempi, costi e certezza degli investimenti.

Uno dei fattori più critici è la **lunghezza e la frammentazione degli iter** che coinvolgono una pluralità di enti e livelli amministrativi. L'assenza di procedure standardizzate e la forte variabilità delle interpretazioni territoriali generano incertezza sugli esiti e sui tempi di conclusione, rendendo complessa la pianificazione degli interventi. Tale criticità risulta particolarmente penalizzante per i progetti energetici caratterizzati da un elevato grado di innovazione tecnologica e dalla necessità di coordinare più autorizzazioni.

Nel comparto delle **costruzioni edili e infrastrutturali** la complessità autorizzativa incide in modo diretto sull'implementazione di impianti da FER integrati negli edifici o nei siti produttivi. Anche interventi di scala medio-piccola possono essere soggetti a iter lunghi e poco prevedibili, soprattutto in presenza di vincoli urbanistici, paesaggistici o ambientali. Ciò riduce l'attrattività degli interventi di autoproduzione, rallentando la diffusione di soluzioni che potrebbero contribuire in modo immediato alla riduzione dei costi energetici e delle emissioni.

Nei **settori industriali** e nella produzione di **materiali per le costruzioni**, le criticità di permitting assumono una dimensione ancora più rilevante. Gli impianti energetici a servizio dei processi produttivi, così come le infrastrutture necessarie per l'elettrificazione, l'introduzione di nuovi vettori energetici o l'integrazione di sistemi avanzati, richiedono spesso valutazioni ambientali complesse e autorizzazioni articolate. In tali contesti la durata e l'incertezza dei procedimenti rappresentano un fattore di rischio significativo per investimenti in comparti in cui l'incidenza del costo energetico è pari o superiore al 20–30% e può superare il 40% nei settori più energivori.

Un ulteriore ambito di criticità riguarda lo sviluppo delle CER/CACER. Sebbene tali configurazioni siano riconosciute come strumenti potenzialmente efficaci per la riduzione dei costi energetici e il rafforzamento della resilienza locale, la loro

implementazione è spesso ostacolata da procedure complesse e da un quadro autorizzativo non sempre chiaro. La mancanza di indicazioni operative uniformi e la sovrapposizione di competenze tra enti diversi ne rallentano la costituzione riducono l'attrattività, in particolare per le PMI. La complessità autorizzativa incide inoltre sullo sviluppo di sistemi energetici innovativi e sulle infrastrutture di supporto alla transizione energetica. Per le tecnologie emergenti e le soluzioni di scala industriale, l'assenza di percorsi autorizzativi dedicati e di riferimenti procedurali consolidati aumenta l'incertezza e il rischio percepito dagli operatori. Tale aspetto risulta particolarmente critico nei contesti in cui l'innovazione energetica richiede interventi integrati su impianti, reti e infrastrutture, e dove la mancanza di coordinamento può compromettere la fattibilità complessiva dei progetti.

Nel settore della **progettazione** e dei **servizi innovativi e tecnologici**, la complessità nel permitting si riflette indirettamente sulla capacità di proporre soluzioni avanzate. Si limita il potenziale di sperimentazione e di diffusione delle tecnologie energetiche più innovative a favore di soluzioni consolidate, anche in comparti in cui l'innovazione potrebbe rappresentare un **fattore competitivo strategico**.

Nel complesso le criticità legate ai procedimenti autorizzativi confermano come la **semplificazione procedurale** rappresenti una condizione essenziale per accelerare la transizione energetica nel sistema delle costruzioni. **Ridurre i tempi, aumentare la prevedibilità degli iter** e garantire un'**applicazione omogenea** delle procedure a livello territoriale è fondamentale per trasformare le politiche energetiche in interventi concreti e rendere l'innovazione energetica un'opportunità reale e accessibile per l'intera filiera.

4.4 Barriere tecnico-industriali e "supply chain"

Le barriere **tecnico-industriali** e di **supply chain** riguardano la concreta realizzabilità delle soluzioni energetiche e la loro integrazione nei processi produttivi. Limiti legati alla maturità industriale, alla compatibilità con gli impianti esistenti e alla disponibilità dei componenti incidono su costi, tempi di implementazione e affidabilità operativa, condizionando la replicabilità e la scalabilità delle soluzioni lungo l'intera filiera.

4.4.1 Limiti tecnologici, integrazione nei processi e maturità industriale

Nella maggior parte dei comparti, le tecnologie per l'**efficienza energetica** e la **riduzione delle emissioni** sono oggi disponibili e, in molti casi, tecnologicamente mature. Le principali criticità non riguardano quindi l'assenza di soluzioni, ma la loro **integrazione**, la **scala applicativa** e l'**adattamento ai processi produttivi esistenti**.

Nei **settori dei materiali per le costruzioni** e, più in generale, nei comparti energy intensive, i limiti tecnici sono strettamente connessi ai vincoli fisici e processuali dei cicli produttivi. Processi ad alta temperatura, continuità operativa e requisiti qualitativi stringenti riducono le possibilità di intervento incrementale e rendono complessa l'introduzione di soluzioni alternative. Nei settori in cui l'incidenza del costo energetico sui costi di produzione è pari o superiore al 20–30% (con picchi oltre il 40% nei comparti più energivori) l'innovazione energetica richiede spesso modifiche strutturali agli impianti o l'adozione di tecnologie trasformative.

Nei settori **hard-to-abate**, il principale vincolo tecnico è rappresentato dalla presenza di emissioni di processo intrinseche. Anche a fronte di miglioramenti significativi in termini di efficienza energetica, una quota rilevante delle emissioni rimane difficilmente eliminabile. I percorsi di sostenibilità richiedono quindi soluzioni avanzate e interventi di sistema, la cui implementazione risulta particolarmente complessa in comparti caratterizzati da elevata intensità energetica.

Nel settore delle **tecnologie, degli impianti e dei macchinari**, le barriere tecniche sono legate soprattutto alla scalabilità e all'integrazione operativa delle soluzioni. Sebbene le tecnologie per l'automazione, la gestione intelligente dei consumi e l'efficienza energetica siano ampiamente disponibili, la loro efficacia dipende dalla capacità di integrarle nei sistemi esistenti e dall'adeguamento delle infrastrutture. In assenza di una progettazione integrata e di competenze specifiche, il rischio è che le soluzioni adottate non raggiungano le prestazioni attese o risultino parzialmente incompatibili con le esigenze operative, in particolare nei comparti in cui il costo dell'energia incide nel range 20–40%.

Nel comparto delle **costruzioni edili e infrastrutturali** le criticità tecniche emergono soprattutto nelle fasi di realizzazione e gestione degli interventi. La complessità dei cantieri, la frammentazione degli operatori e la necessità di coordinare molteplici sistemi e componenti rendono difficile l'adozione di soluzioni energetiche avanzate. Tale limite è particolarmente evidente nei settori meno energivori in cui l'efficacia degli interventi dipende dalla qualità dell'integrazione tecnica e gestionale.

Nei settori della **progettazione** e dei **servizi innovativi e tecnologici** le barriere tecniche assumono una forma più indiretta. L'adozione di modelli progettuali avanzati, basati sull'integrazione energetica e sulla valutazione delle prestazioni lungo il ciclo di vita, richiede strumenti, competenze e dati non sempre disponibili o pienamente interoperabili. Anche in comparti in cui l'incidenza diretta del costo energetico è inferiore al 10%, la limitata diffusione di piattaforme digitali avanzate e la scarsa interoperabilità tra sistemi rallentano la diffusione delle soluzioni più innovative.

Un ulteriore vincolo trasversale riguarda la **disponibilità dell'energia** in termini di capacità, continuità e qualità del servizio. Anche in presenza di tecnologie potenzialmente efficaci, l'accesso a un approvvigionamento energetico stabile può rappresentare un limite concreto all'implementazione delle soluzioni innovative, soprattutto nei contesti industriali ad elevata intensità energetica (costo dell'energia incide oltre il 20–40% dei costi di produzione).

Nel complesso le barriere tecniche e industriali delineano un quadro in cui l'innovazione energetica è meno frenata dalla mancanza di tecnologie che dalla difficoltà di integrarle in sistemi complessi e consolidati. Il superamento di tali criticità richiede un approccio di sistema, basato su progettazione integrata, rafforzamento delle competenze tecniche e coordinamento lungo la filiera, al fine di trasformare il potenziale tecnologico disponibile in benefici concreti e duraturi per il sistema delle costruzioni.

4.4.2 Criticità della supply chain, disponibilità dei componenti e dipendenze esterne

Le **dinamiche di mercato**, le **tensioni geopolitiche** e la crescente domanda di **materiali e componenti strategici** incidono sui **costi**, **tempi di consegna** e **prevedibilità degli investimenti**, aumentando l'incertezza operativa lungo l'intera filiera. Le **criticità della supply chain** e degli **approvvigionamenti** costituiscono quindi un elemento chiave per il sistema delle costruzioni nel percorso di transizione energetica.

Un primo fattore critico riguarda la disponibilità di componenti energeticamente rilevanti quali apparecchiature impiantistiche, componenti elettrici, sistemi di accumulo e materiali per l'efficienza energetica. In diversi settori le imprese segnalano difficoltà di approvvigionamento e forti oscillazioni dei prezzi che complicano la pianificazione degli interventi e accrescono il rischio economico.

Nel settore dei **materiali per le costruzioni** la supply chain assume un ruolo particolarmente strategico. La transizione energetica richiede infatti l'accesso a materie prime e tecnologie specifiche, spesso concentrate su mercati globali. La dipendenza da fornitori esteri e la scarsa diversificazione delle fonti di approvvigionamento possono generare colli di bottiglia e incrementi strutturali dei costi con effetti diretti sulla competitività delle imprese operanti in comparti in cui l'incidenza del costo energetico può superare il 30–40%.

Nel comparto delle **costruzioni edili e infrastrutturali** le criticità della supply chain si traducono prevalentemente in ritardi di cantiere e difficoltà di coordinamento tra le diverse fasi del progetto. L'indisponibilità o l'incertezza sui tempi di consegna dei

componenti impiantistici ed energetici compromette la programmazione degli interventi e riduce l'efficacia delle strategie di efficientamento. La dipendenza da componenti specifici resta determinante anche in settori in cui il costo dell'energia incide meno del 10–15% sui costi operativi.

Analoghe criticità emergono nei settori delle **tecnologie, degli impianti e dei macchinari**, dove la resilienza della supply chain rappresenta una condizione essenziale per la diffusione dell'innovazione. Le incertezze prima citate limitano la scalabilità delle soluzioni e la capacità di rispondere in modo tempestivo alla domanda con effetti particolarmente rilevanti nei comparti che servono settori caratterizzati da un'incidenza del costo energetico compresa tra il 20 e il 40%.

Le evidenze raccolte mostrano come le **vulnerabilità delle catene di fornitura** amplifichino i rischi per la transizione energetica, soprattutto nei settori a **maggiore intensità energetica**, riducendo la prevedibilità degli investimenti e aumentando l'esposizione a fattori esterni. Il rafforzamento della resilienza delle filiere, attraverso la diversificazione delle fonti di approvvigionamento e la riduzione delle dipendenze critiche, rappresenta una **condizione imprescindibile** per garantire la continuità degli investimenti e la sostenibilità del percorso di transizione dell'intero sistema delle costruzioni.

4.5 Competenze e digitalizzazione

Le **competenze** e la **digitalizzazione** rappresentano fattori trasversali determinanti per la capacità della filiera delle costruzioni di **pianificare, gestire e scalare** gli interventi di innovazione energetica. La combinazione tra **carenza di competenze tecniche e gestionali** e **adozione disomogenea degli strumenti digitali** limita l'integrazione dei sistemi energetici, l'ottimizzazione dei processi e la diffusione di **modelli operativi avanzati**.

4.5.1 Carenze di competenze tecniche, gestionali e finanziarie lungo la filiera

La **carenza di competenze tecniche e professionali** costituisce una criticità strutturale del sistema delle costruzioni, già evidenziata nel Rapporto 2024, che interessa l'intera filiera e tutte le fasi del ciclo di vita degli interventi, dalla progettazione alla realizzazione fino alla gestione e manutenzione dei sistemi energetici.

Una prima area critica riguarda la **limitata diffusione di competenze specialistiche in ambito energetico**, in particolare sulle tecnologie innovative, sui sistemi integrati e sugli approcci orientati alle prestazioni lungo il ciclo di vita. In diversi settori le imprese segnalano difficoltà nel reperire figure adeguatamente formate con effetti diretti sulla

qualità degli interventi e sull'efficacia delle soluzioni adottate. Tale carenza assume un peso maggiore nei comparti caratterizzati da processi industriali complessi e da un'incidenza del costo dell'energia pari o superiore al 20–30%.

Nel settore della **progettazione** la mancanza di competenze integrate continua a rappresentare un limite rilevante. La **qualità progettuale** emerge come fattore competitivo chiave ma l'organizzazione per discipline separate e la scarsa integrazione tra aspetti **architettonici, strutturali, impiantistici ed energetici** risultano ostacolare l'adozione di soluzioni ottimizzate e la valorizzazione delle prestazioni complessive di edifici e infrastrutture.

Nel comparto delle **costruzioni edili e infrastrutturali** le criticità emergono soprattutto nella fase esecutiva. La difficoltà nel reperire **installatori qualificati** e personale tecnico in grado di operare su **impianti energetici avanzati** e sistemi integrati può compromettere le prestazioni reali degli interventi riducendone l'efficacia e la **redditività**, indipendentemente dal peso relativo del costo energetico.

Nei settori delle **tecnologie, degli impianti e dei macchinari** la rapidità dell'evoluzione tecnologica richiede un **aggiornamento continuo delle competenze**. La carenza di personale adeguatamente formato rallenta l'introduzione di nuove soluzioni e limita la capacità di supporto agli utilizzatori finali con effetti particolarmente critici nei comparti caratterizzati da un'incidenza del costo energetico compresa tra il 20 e il 40%, dove errori di integrazione o gestione possono compromettere in modo significativo i benefici attesi.

Un ulteriore elemento di criticità riguarda lo **scollamento tra progettazione e fase esecutiva** che riduce la capacità di affrontare in modo coordinato le complessità tecniche e organizzative dell'innovazione energetica. Tale disallineamento risulta particolarmente penalizzante nei progetti capital intensive e nei settori a maggiore intensità energetica, dove il costo dell'energia può superare il 30–40% dei costi di produzione.

In questo contesto la **digitalizzazione** potrebbe svolgere un ruolo fortemente abilitante, ma il suo livello di diffusione resta disomogeneo. In particolare, nelle PMI l'adozione di strumenti digitali avanzati per la progettazione, il monitoraggio e la gestione energetica sono limitati da carenze di competenze e risorse, riducendo la capacità di utilizzo di dati energetici e di implementazione di modelli gestionali evoluti.

Nel complesso la **carenza di competenze** emerge come una barriera trasversale che amplifica le criticità descritte precedentemente, rallentando l'adozione di soluzioni energetiche innovative e riducendo l'efficacia degli interventi. Il superamento di tale

limite richiede un **rafforzamento delle competenze** lungo l'intera filiera attraverso **formazione, aggiornamento professionale** e una maggiore integrazione tra le diverse figure coinvolte quale condizione necessaria per rendere la transizione energetica del sistema delle costruzioni **concreta e sostenibile nel lungo periodo**.

4.5.2 Ruolo della digitalizzazione come fattore abilitante per integrazione, efficienza e scalabilità

La **digitalizzazione** rappresenta una leva fondamentale per la **transizione energetica** della filiera; tuttavia, il suo livello di diffusione rimane **disomogeneo** e spesso insufficiente. La criticità principale non riguarda la disponibilità delle tecnologie digitali, quanto la capacità delle imprese di integrarle in modo strutturato nei processi decisionali, progettuali e operativi. Le tecnologie digitali operano come un'infrastruttura immateriale che consente di integrare, monitorare e ottimizzare le soluzioni lungo la filiera, incidendo in modo sistemico sull'efficienza operativa, sulla gestione dei consumi, sulla flessibilità energetica e sulla valorizzazione degli investimenti in FER, accumulo e recupero energetico.

La diffusione delle tecnologie digitali nel settore delle costruzioni è caratterizzata da un livello di maturità eterogeneo, con una forte polarizzazione tra comparti industriali avanzati e una parte significativa della filiera che presenta ancora livelli di adozione limitati o frammentati.

Nei settori a **minore intensità energetica**, in particolare nelle costruzioni edili, nelle tecnologie impiantistiche e nei servizi collegati, le soluzioni digitali risultano prevalentemente orientate al monitoraggio e alla gestione dei consumi piuttosto che all'ottimizzazione avanzata dei processi. In tali contesti:

- i sistemi di supervisione e controllo “Supervisory Control And Data Acquisition” (SCADA) sono utilizzati principalmente negli edifici di maggiore dimensione o complessità.
- le soluzioni basate su sensori “Internet of Things” (IoT) sono impiegate per il monitoraggio dei consumi energetici, delle prestazioni impiantistiche e del comfort ambientale.
- l'uso di strumenti di analisi avanzata dei dati risulta ancora limitato, soprattutto nelle piccole e medie imprese.
- la digitalizzazione è spesso percepita come un costo aggiuntivo piuttosto che come un investimento strategico.

Nella **progettazione**, la digitalizzazione è un elemento chiave per l'adozione di approcci integrati e orientati alle prestazioni energetiche lungo il ciclo di vita. Tuttavia, l'utilizzo di

strumenti avanzati di modellazione, simulazione e gestione dei dati resta diseguale, limitando la possibilità di ottimizzare le soluzioni e di valutare in modo affidabile i benefici di lungo periodo. Tale limite incide sia nei settori a bassa intensità energetica, sia nei comparti più energivori dove una progettazione non integrata può compromettere interventi ad alto impatto economico.

Nel comparto delle **costruzioni edili e infrastrutturali**, la digitalizzazione dei processi di cantiere e di gestione costituisce un fattore determinante per il miglioramento dell'efficienza e la riduzione degli sprechi. Le difficoltà di adozione legate a carenze di competenze, costi di implementazione e resistenze organizzative fanno sì che la digitalizzazione rimanga spesso confinata a interventi puntuali, limitando i benefici complessivi anche in settori meno energivori, dove l'efficienza operativa rappresenta comunque un vantaggio competitivo.

Nei settori delle **tecnologie, degli impianti e dei macchinari**, la digitalizzazione è strettamente connessa alla gestione intelligente dei consumi, alla manutenzione predittiva e all'ottimizzazione delle prestazioni. La mancanza di interoperabilità tra sistemi e la frammentazione delle piattaforme riducono il pieno sfruttamento del potenziale digitale, con effetti particolarmente critici nei comparti che servono settori caratterizzati da un'incidenza del costo energetico nel range 20–40%, dove le inefficienze operative hanno un impatto diretto sulla competitività.

In questi comparti la digitalizzazione svolge un ruolo importante nella fase di esercizio e gestione del costruito, ma raramente viene integrata in modo sistematico nelle fasi di progettazione e pianificazione energetica. La **mancanza di standard condivisi** e di competenze specifiche limita la capacità di sfruttare appieno il potenziale delle tecnologie digitali come leva di efficienza e sostenibilità.

Nei comparti industriali a **media e alta intensità energetica** il quadro risulta più articolato. In tali settori la digitalizzazione è maggiormente integrata nei sistemi produttivi, soprattutto per esigenze di controllo dei processi, sicurezza e continuità operativa, indicando che:

- i sistemi SCADA e di automazione industriale sono ampiamente diffusi e costituiscono una componente essenziale degli impianti produttivi.
- la digitalizzazione consente un monitoraggio puntuale dei consumi energetici e dei flussi di processo.
- l'integrazione tra sistemi di controllo e gestione energetica è più avanzata rispetto ai comparti meno energivori.
- la raccolta dati è spesso estesa, ma non sempre accompagnata da strumenti di analisi evoluta e supporto decisionale.

- le soluzioni basate su intelligenza artificiale, modelli predittivi e “digital twin” sono ancora in fase sperimentale o poco diffuse, anche a causa della complessità dei processi industriali e delle difficoltà di integrazione nei sistemi esistenti senza interrompere la continuità produttiva.
- Le filiere tecnologiche ed elettrotecniche svolgono un ruolo di abilitatori trasversali della digitalizzazione, fornendo componenti, sistemi di controllo ed ecosistemi software per l’integrazione di FER, accumuli e flessibilità, contribuendo alla transizione energetica principalmente attraverso il supporto tecnologico agli altri settori.

Un elemento trasversale emerso riguarda la scarsa integrazione tra dati energetici, processi decisionali e modelli di business, che limita l’utilizzo delle informazioni raccolte per il supporto alle strategie di investimento e all’ottimizzazione dei consumi. In questo contesto, la **digitalizzazione** emerge come condizione necessaria per evolvere verso sistemi energetici più **flessibili e integrati**, capaci di coordinare produzione e consumo, gestire la variabilità delle fonti rinnovabili, valorizzare la flessibilità dei carichi e interfacciarsi con i mercati energetici. La gestione coordinata di fonti rinnovabili, sistemi di accumulo, carichi e infrastrutture energetiche richiede dati affidabili e strumenti digitali avanzati. In assenza di tali strumenti, le opportunità offerte dalla digitalizzazione rischiano di rimanere inutilizzate, soprattutto nei contesti industriali complessi e nelle CER/CACER, con l’innovazione energetica che resta frammentata, senza generare benefici su scala di sistema.

In questo contesto assume crescente rilevanza il contributo dell’intelligenza artificiale (IA) e degli strumenti di analisi avanzata dei dati. L’IA consente di trasformare i dati energetici e operativi in informazioni predittive e supporto alle decisioni migliorando la progettazione, la gestione e l’ottimizzazione dei sistemi lungo l’intero ciclo di vita. Le applicazioni includono l’ottimizzazione dell’integrazione tra rinnovabili e accumuli, la manutenzione predittiva, la riduzione delle inefficienze e l’aumento della resilienza dei sistemi energetici, aspetti particolarmente rilevanti nei settori energy intensive e hard-to-abate. Il pieno sfruttamento di tali strumenti richiede tuttavia qualità e interoperabilità dei dati, competenze specialistiche e un adeguato quadro di governance digitale.

Nel complesso il quadro che emerge evidenzia come la digitalizzazione rappresenti una leva fondamentale, ma ancora parzialmente inespressa per l’innovazione energetica nel sistema delle costruzioni. La presenza di soluzioni tecnologiche mature non si traduce automaticamente in una loro adozione efficace a causa di barriere legate alle competenze, ai costi, alla frammentazione degli strumenti e alla mancanza di una visione sistemica. Superare tali criticità richiede un rafforzamento delle competenze

digitali lungo l'intera filiera, una maggiore integrazione tra tecnologie energetiche e strumenti di gestione e una valorizzazione esplicita del ruolo della digitalizzazione come infrastruttura abilitante della transizione energetica e della competitività del settore

4.6 Sintesi

L'analisi complessiva restituisce un quadro **coerente e convergente** lungo l'intera filiera delle costruzioni nel quale le **barriere economico-finanziarie e regolatorie/autorizzative** emergono come i principali fattori limitanti alla diffusione delle soluzioni per la transizione energetica. Tali criticità risultano particolarmente rilevanti nei settori energy-intensive, dove l'elevata incidenza dei costi energetici amplifica il rischio degli investimenti e accentua l'impatto di incertezza normativa e ritardi autorizzativi.

Accanto a questi elementi, **competenze tecniche e gestionali** e **strumenti digitali** si confermano fattori sempre più determinanti nella capacità dei diversi settori di pianificare, realizzare e scalare interventi energetici complessi. In tale prospettiva la transizione risulta meno ostacolata dalla disponibilità tecnologica e più dalla difficoltà di integrare efficacemente le soluzioni nei processi produttivi e decisionali esistenti.

Tabella 1 e **Tabella 2** mettono in evidenza il diverso grado di esposizione alle principali categorie di barriere, distinguendo tra **settori energy-intensive**, **settori meno energivori** e **filiera delle costruzioni**, evidenziando in particolare che:

- nei settori “energy-intensive” le barriere incidono direttamente sulla fattibilità economica e sulla competitività.
- nei settori meno energivori le difficoltà risultano diffuse e prevalentemente di natura organizzativa e gestionale.
- nella filiera delle costruzioni il nodo centrale resta l'interazione tra quadro regolatorio, processi autorizzativi e capacità di coordinamento tra attori coinvolti.

Tabella 1. Sintesi comparativa del livello di esposizione alle principali barriere alla transizione energetica per tipologia di settore

Settore	Barriere economico-finanziarie	Barriere regolatorie/autorizzative	Barriere tecnico-industriali	Competenze e digitalizzazione
Settori “energy-intensive”	Alta	Alta	Medio-Alta	Media
Settori non “energy-intensive”	Media	Media	Media	Medio-Bassa

Tabella 2. Principali tipologie di barriere alla transizione energetica: settori maggiormente coinvolti e natura della criticità

Tipologia di barriera	Settori maggiormente coinvolti	Natura della criticità	Impatto	Urgenza
Economico-finanziaria	Materiali, industria	Strutturale	Molto alto	Molto alta
Normativa e autorizzativa	Tutti i settori	Sistemica	Molto alto	Molto alta
Tecnica e industriale	Tutti settori	Fisica e processuale	Alto	Alta
Competenze	Costruzioni, servizi	Formativa	Medio-alto	Alta
Supply chain	Materiali, impianti	Strutturale	Medio-alto	Media
Digitalizzazione	Tutti, in particolare nelle PMI	Abilitante	Medio	Media-alta

Le differenze settoriali osservate si traducono in impatti distinti sulla capacità di investimento e sulla velocità di adozione delle soluzioni energetiche. Nei **comparti “energy-intensive”** la combinazione tra elevati fabbisogni energetici, volatilità dei prezzi e incertezza normativa tende a **ritardare o ridimensionare gli investimenti**, privilegiando interventi a breve ritorno e limitando l’adozione di soluzioni più strutturali.

Nei **settori non “energy-intensive”**, pur in presenza di una minore pressione economica, emergono limiti legati alla mancanza di competenze dedicate, alla difficoltà di valutare correttamente benefici e rischi e alla ridotta capacità di gestire sistemi energetici integrati. La filiera delle costruzioni accentua ulteriormente tali criticità a causa della natura frammentata dei processi e della necessità di coordinare una pluralità di soggetti, competenze e livelli decisionali.

Nel complesso si riportano di seguito alcune priorità trasversali rilevanti per l’intera filiera, emerse dall’analisi:

- la riduzione dell’incertezza regolatoria e dei tempi autorizzativi rappresenta una condizione abilitante per la diffusione degli investimenti energetici.
- Nei settori “energy-intensive” risulta centrale l’adozione di strumenti che migliorino bancabilità e stabilità dei ritorni economici.
- Il rafforzamento delle competenze e l’uso della digitalizzazione emergono come leve chiave per aumentare efficienza, replicabilità e scalabilità degli interventi.
- Approcci e strumenti devono essere differenziati per settore, evitando soluzioni uniformi che non tengano conto delle specificità produttive e organizzative.

5) Diffusione delle Tecnologie Chiave nella Filiera

Dopo aver analizzato le principali barriere economiche, normative e tecniche che ostacolano la transizione energetica del sistema delle costruzioni (Sezione 4), la presente sezione esamina il **livello effettivo di diffusione delle tecnologie energetiche chiave lungo la filiera**, con l'obiettivo di valutare lo stato di avanzamento reale del settore e la distanza residua rispetto agli obiettivi di decarbonizzazione al 2030.

Tale analisi consente di distinguere tra:

- **tecnologie mature** già disponibili e in parte diffuse, ma non sempre adottate in modo sistematico.
- **tecnologie emergenti** caratterizzate da un elevato interesse strategico, ma da un livello di applicazione ancora limitato.

Nel complesso, emerge un quadro articolato: la filiera mostra una buona capacità di adozione delle soluzioni consolidate, soprattutto laddove esistono ritorni economici chiari e tempi di rientro compatibili con i cicli di investimento industriale; al contrario, la diffusione delle tecnologie più innovative risulta fortemente condizionata da costi elevati, incertezza regolatoria, carenza di infrastrutture e limitata maturità tecnologica.

Al fine di sintetizzare in modo strutturato i principali risultati emersi dall'analisi, la tabella seguente riassume i principali "Key Performance Indicators" (KPIs) relativi al livello di diffusione, maturità e adozione delle tecnologie energetiche lungo la filiera delle costruzioni. I KPIs forniscono una lettura trasversale dello stato dell'arte del settore, evidenziando le differenze tra tecnologie mature ed emergenti, nonché i principali divari tra interesse strategico e applicazione concreta, con riferimento agli obiettivi di transizione energetica al 2030.

Tabella 3. Sintesi dei principali KPIs sulla diffusione, maturità e livello di adozione delle tecnologie energetiche lungo la filiera delle costruzioni.

Ambito tecnologico	Livello di diffusione/maturità	Evidenze principali emerse
Autoconsumo da fonti rinnovabili	Medio-alto (settoriale)	Diffusione medio-alta nei settori impiantistici e dei servizi; limitata nei comparti energivori caratterizzati da processi continui e fabbisogni termici elevati
Recupero di calore di processo	Alto (tecnologia consolidata)	Pratica ampiamente consolidata, con livelli di adozione stimati superiori all'80-90% nei settori relativi all'estrazione e lavorazione delle materie prime; margini di miglioramento prevalentemente incrementali

Sistemi di accumulo elettrico	Basso	Adozione ancora marginale (inferiore al 20-30% dei casi), prevalentemente associata a impianti fotovoltaici e contesti non energivori
Digitalizzazione energetica (monitoraggio, "energy management system", "Building Information Modelling" BIM)	Medio-alto/disomogeneo	Diffusione medio-alta nelle grandi imprese; livello di adozione ancora basso nelle piccole e medie imprese, con forte divario dimensionale legato a competenze e risorse
Tecnologie emergenti (idrogeno, "Carbon Capture Utilization and Storage" (CCUS), accumuli avanzati)	Basso	Interesse strategico elevato lungo la filiera, ma adozione reale ancora molto limitata (<10%) condizionata da costi, incertezza normativa e infrastrutturale
Maturità tecnologica complessiva (TRL)	Differenziata	TRL 7-9 per efficienza energetica, fonti di energia rinnovabile e digitalizzazione; TRL 4-6 per tecnologie emergenti, con necessità di politiche di accompagnamento

5.1 Diffusione delle tecnologie mature

5.1.1 Autoconsumo da fonti rinnovabili

L'**autoproduzione da FER per autoconsumo rappresenta una leva rilevante** per ridurre l'esposizione ai prezzi energetici, rafforzare la resilienza delle imprese e contribuire agli obiettivi di decarbonizzazione. L'analisi evidenzia una diffusione complessivamente significativa delle FER per autoconsumo lungo la filiera delle costruzioni, ma con livelli di penetrazione e modalità di utilizzo fortemente differenziati tra i settori. Tale eterogeneità è riconducibile a differenze strutturali in termini di intensità energetica, dimensione aziendale, continuità produttiva e disponibilità di superfici.

Nei comparti a **minore intensità energetica**, in particolare nelle costruzioni edili, nelle tecnologie impiantistiche e in parte dei servizi collegati l'adozione di FER per autoconsumo risulta relativamente più diffusa. In tali settori il fabbisogno energetico è prevalentemente elettrico e presenta profili di carico maggiormente compatibili con la produzione fotovoltaica, consentendo livelli di autoconsumo più elevati, soprattutto nelle imprese di maggiori dimensioni. In termini quantitativi emerge che:

- l'autoconsumo da FER copre tra **il 30% e il 50%** del fabbisogno elettrico nelle imprese di **dimensione medio/grande**.
- nelle imprese di dimensione **medio/piccola** la quota di autoconsumo risulta più frequentemente compresa tra **il 10% e il 30%**.

- il fotovoltaico rappresenta la tecnologia prevalente ed è utilizzato principalmente per coprire i consumi elettrici di base e i servizi ausiliari, attraverso installazioni su coperture e superfici disponibili all'interno dei siti produttivi.

Anche in questi comparti, la diffusione resta tuttavia concentrata nelle imprese di maggiori dimensioni, mentre nelle piccole e medie imprese persistono vincoli finanziari, organizzativi e regolatori.

Nei comparti industriali a **maggiore intensità energetica**, in particolare nella produzione di materiali per le costruzioni e nei settori "hard-to-abate", l'autoproduzione da FER risulta presente ma con un'incidenza generalmente più contenuta rispetto al fabbisogno complessivo. In tali settori, caratterizzati da processi produttivi continui e da una domanda energetica elevata, si ha che:

- la quota di **autoconsumo** da FER si colloca tipicamente tra il **10% e il 30% nei comparti industriali meno energivori**.
- nei settori a **più elevata intensità energetica** l'**autoconsumo** risulta spesso **inferiore al 10%** del fabbisogno complessivo.
- l'energia rinnovabile autoprodotta è **utilizzata prevalentemente per i consumi ausiliari**. La continuità dei cicli produttivi e l'elevata potenza richiesta limitano strutturalmente le possibilità di aumentare l'autosufficienza energetica tramite le sole FER.

Un ulteriore elemento rilevante riguarda la disponibilità di superfici installabili, in particolare in presenza di aree produttive estese o di siti dismessi, oggi fortemente limitata dal quadro normativo sulle aree idonee e sulle fasce di rispetto.

Nei settori industriali a **maggiore intensità energetica** l'autoproduzione assume inoltre configurazioni differenti rispetto ai comparti meno energivori, risultando spesso integrata in assetti impiantistici complessi piuttosto che basata esclusivamente su impianti FER. In tali contesti **l'autoproduzione è frequentemente realizzata attraverso sistemi di cogenerazione ad alto rendimento** che consentono di associare la produzione di energia elettrica al recupero del calore di processo. In questi settori:

- l'**autoproduzione** può coprire quote rilevanti dei fabbisogni elettrici, **in alcuni casi prossime o superiori al 50%**, grazie all'integrazione tra produzione elettrica e termica.
- il **fotovoltaico è in crescita** come soluzione complementare, contribuendo alla riduzione dell'esposizione ai prezzi dell'energia elettrica.
- l'autoconsumo da FER si inserisce in un sistema energetico più ampio, senza modificare radicalmente la struttura dei fabbisogni dei processi industriali.

Nel complesso, *l'autoconsumo da FER è efficace soprattutto nei settori meno energivori e nelle imprese di maggiori dimensioni, mentre nei comparti energy intensive assume un ruolo complementare e richiede strategie differenziate.*

5.1.2 Sistemi di accumulo e recupero energetico

I **sistemi di accumulo e recupero energetico** contribuiscono in modo significativo a migliorare l'efficienza dei processi produttivi e a valorizzare l'energia rinnovabile autoprodotta, **agendo sull'ottimizzazione dei flussi energetici interni ai processi produttivi e favorendo la riduzione degli sprechi**, l'aumento dell'autoconsumo e la resilienza operativa.

Ne consegue quindi un quadro fortemente differenziato lungo la filiera delle costruzioni nel quale il recupero di energia risulta in molti casi più maturo e diffuso rispetto ai sistemi di accumulo, soprattutto nei settori industriali a maggiore intensità energetica. Tale differenziazione riflette la diversa natura dei fabbisogni energetici, la continuità dei processi produttivi e la presenza di flussi termici recuperabili a diverse temperature.

Nei comparti a **minore intensità energetica**, in particolare nelle costruzioni edili, nelle tecnologie impiantistiche e nei servizi collegati **l'adozione di sistemi di accumulo risulta prevalentemente concentrata sugli accumuli elettrici**, integrati con il fotovoltaico, con una funzione di supporto all'autoconsumo e alla gestione dei carichi più che di riduzione strutturale dei consumi. La diffusione resta inoltre condizionata dalla sostenibilità economica degli investimenti, dalla **disponibilità di incentivi** e dai **costi delle tecnologie**. In tali settori:

- gli accumuli elettrici sono utilizzati principalmente per aumentare la quota di autoconsumo dell'energia rinnovabile.
- la diffusione è maggiore nelle imprese di dimensione medio/grande, mentre risulta più limitata nelle piccole e medie imprese.
- gli accumuli sono impiegati soprattutto in ambito edilizio e negli edifici produttivi con un ruolo marginale nei processi industriali veri e propri.
- il recupero di calore risulta generalmente meno rilevante in quanto i cicli produttivi richiedono quantità limitate di energia termica.

Nei comparti industriali **a media e alta intensità energetica** il **recupero di energia**, in particolare sotto forma di calore di processo, **rappresenta una pratica consolidata e spesso imprescindibile per la sostenibilità economica degli impianti**. Tale diffusione è riconducibile a una serie di fattori strutturali, che caratterizzano i cicli produttivi delle filiere energivore:

- il recupero del calore di processo è ampiamente diffuso e integrato nei cicli produttivi, spesso associato a sistemi di cogenerazione, e consente di alimentare fasi di processo a bassa o media temperatura, quali essiccazione, preriscaldamento e servizi ausiliari.
- Tali sistemi consentono di migliorare significativamente l'efficienza energetica complessiva e ridurre i consumi di energia primaria.
- In alcuni comparti il recupero si estende alla produzione di energia elettrica tramite sistemi "Organic Rankine Cycle" (ORC) alimentati dai fumi di processo, utilizzata per alimentare macchinari produttivi, ma sostenibile solo in presenza di elevati flussi termici continui e di impianti di grande scala.
- Nei settori con limitata domanda termica o profili energetici poco compatibili, il recupero energetico risulta marginale, e l'attenzione si concentra principalmente su interventi di efficienza energetica di base.

Per quanto riguarda i **sistemi di accumulo**, nei settori industriali a **elevata intensità energetica** la loro diffusione **risulta ancora limitata** e prevalentemente sperimentale, indicando che:

- gli accumuli elettrici sono presenti in alcuni casi come complemento agli impianti fotovoltaici ma con un ruolo marginale rispetto ai fabbisogni complessivi.
- Gli accumuli termici, pur oggetto di interesse e valutazione, sono raramente adottati su larga scala a causa di criticità operative legate alla logistica, all'integrazione nei cicli produttivi e alla continuità della fornitura di calore.
- Nella maggior parte dei casi il recupero diretto del calore di processo risulta più efficace ed economicamente sostenibile rispetto allo stoccaggio dell'energia termica.

5.2 Diffusione delle tecnologie emergenti e maturità tecnologica

5.2.1 Propensione verso le tecnologie emergenti

La propensione verso le tecnologie energetiche emergenti costituisce un indicatore rilevante della capacità della filiera delle costruzioni di affrontare la transizione energetica nel medio lungo periodo. Le risposte al questionario evidenziano un quadro eterogeneo, in cui l'interesse verso le tecnologie emergenti varia in funzione dei settori, dell'intensità energetica e delle possibilità di integrazione nei processi produttivi. La filiera adotta un approccio pragmatico, orientato alla valutazione di applicabilità, costi e coerenza operativa, distinguendo tra soluzioni attuabili nel breve-medio periodo e opzioni di lungo termine. Tale orientamento riflette la necessità di un quadro regolatorio

stabile, condizioni economiche prevedibili e infrastrutture adeguate per favorire un'adozione effettiva e competitiva delle nuove tecnologie.

Tale propensione è stata rilevata attraverso una scala di valutazione da 1 a 5, come illustrato nella **Figura 18**, dove 1 indica nessun interesse, 3 un interesse intermedio o esplorativo, e 5 un interesse molto alto ed associato a una rilevanza strategica percepita per il settore. Tale scala consente di interpretare il livello di attenzione delle imprese non come una misura di adozione immediata, ma come un indicatore della coerenza tecnologica, della fattibilità percepita e della priorità attribuita nel medio-lungo periodo.

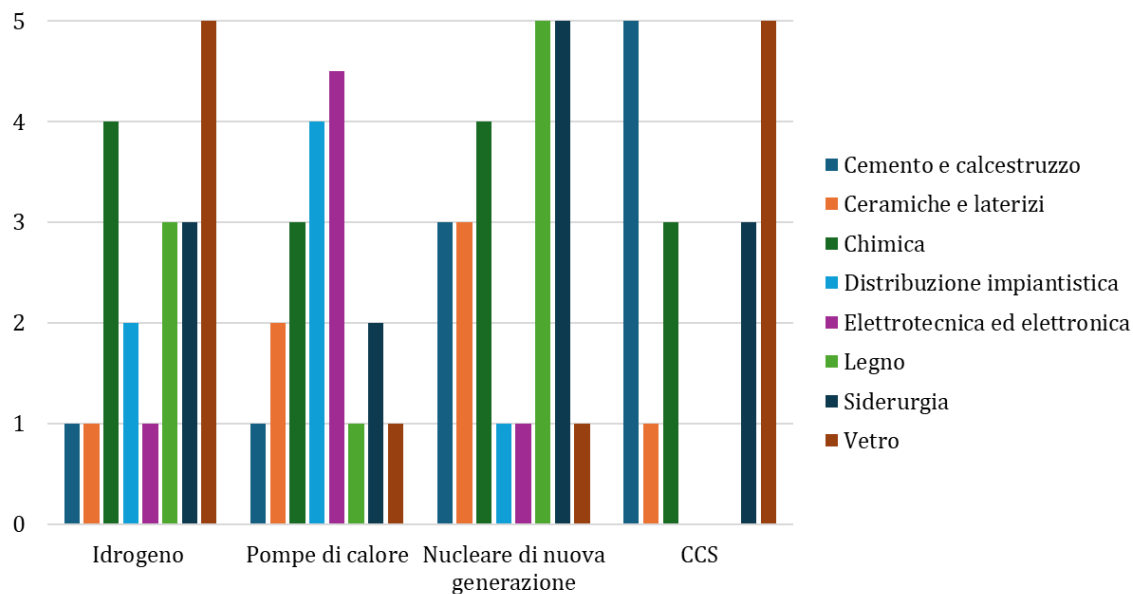


Figura 18. Livello di propensione delle filiere delle costruzioni verso tecnologie emergenti, espresso su una scala da 1 a 5, in cui i valori più bassi indicano scarso interesse e quelli più alti un forte orientamento all'innovazione

Per quanto riguarda **l'idrogeno**, la propensione risulta mediamente contenuta lungo l'intera filiera, con valutazioni che si collocano prevalentemente su livelli intermedi della scala (valori compresi tra 2 e 3). Tale orientamento riflette una diffusa consapevolezza delle potenzialità teoriche dell'idrogeno come vettore energetico per la decarbonizzazione, ma anche una forte percezione delle criticità associate ai costi, all'efficienza complessiva del ciclo e alla disponibilità delle infrastrutture. In particolare:

- nei settori a minore intensità energetica l'idrogeno è percepito come poco rilevante o non applicabile ai processi core (valori pari a 1-2) in quanto non rappresenta una soluzione coerente con i fabbisogni energetici tipici di tali comparti.
- nei settori industriali a maggiore intensità energetica l'interesse cresce leggermente (valori medi pari a 3) ma è fortemente condizionato dalla

sostenibilità economica e dalla disponibilità di idrogeno a basso costo e a basse emissioni.

- nei settori “hard-to-abate” l’idrogeno è considerato una possibile opzione di lungo periodo, ma con un’elevata incertezza legata ai costi attuali, che risultano significativamente superiori ai vettori energetici convenzionali, e alla necessità di interventi strutturali sugli impianti.

Le **pompe di calore** mostrano, nel complesso, **una propensione più elevata ma fortemente differenziata tra i comparti**. Nei settori a minore intensità energetica e nei servizi collegati le pompe di calore rappresentano una tecnologia già disponibile e ampiamente applicabile, con livelli di propensione elevati (valori pari a 4-5), soprattutto per applicazioni legate alla climatizzazione, agli usi ausiliari e agli edifici. Al contrario, nei comparti industriali ad alta temperatura l’interesse risulta significativamente più basso (valori pari a 1-2) in quanto la tecnologia non è ritenuta adeguata ai processi produttivi chiave e può incidere solo marginalmente sui consumi complessivi.

Secondo le Associazioni coinvolte nel report, il **nucleare di nuova generazione** emerge come una delle tecnologie verso cui si registra una polarizzazione particolarmente marcata. Nei settori a bassa intensità energetica la propensione risulta generalmente bassa o nulla (valori pari a 1) in quanto tale tecnologia non è percepita come direttamente rilevante per i fabbisogni del comparto. Al contrario, nei settori industriali “energy intensive” e “hard-to-abate”, il nucleare di nuova generazione è considerato una possibile soluzione strategica per soddisfare il carico di base a costi competitivi nel lungo periodo, con livelli di interesse elevati (valori pari a 4-5) e medio elevati (valore pari a 3). Tuttavia, tale interesse è accompagnato da forti incertezze legate al quadro normativo nazionale, ai tempi di realizzazione e all’accettabilità territoriale degli impianti che ne rendono l’applicazione altamente condizionata.

Particolarmente rilevante risulta la propensione verso le tecnologie di CCS che si configura come una soluzione chiave nei settori “hard-to-abate”. In tali comparti la CCS è considerata una delle poche opzioni tecnologiche in grado di affrontare le emissioni di processo non eliminabili attraverso misure di efficienza energetica o sostituzione dei combustibili. I livelli di interesse risultano elevati (valori pari a 4-5), soprattutto nei settori della produzione di materiali per le costruzioni caratterizzati da elevate emissioni di processo e nel settore del vetro. Al contrario, nei settori a minore intensità energetica o in quelli in cui le emissioni di processo sono limitate, la CCS non è percepita come una tecnologia rilevante.

Il **biometano** mostra attualmente una **propensione più contenuta e selettiva**. L’interesse risulta maggiore nei settori industriali che già utilizzano il gas naturale come vettore energetico e che potrebbero beneficiare di una sostituzione parziale senza

modifiche radicali degli impianti. Tuttavia, nonostante i vincoli legati alla disponibilità della risorsa, alla competizione con altri usi e all'incertezza del quadro incentivante, il biometano rappresenta una leva strategica di primaria importanza per la decarbonizzazione dei consumi gas-intensivi in quanto consente di ridurre le emissioni mantenendo la continuità operativa degli impianti esistenti.

5.2.2 Maturità tecnologica e sintesi trasversale

L'analisi della diffusione delle tecnologie energetiche lungo la filiera delle costruzioni evidenzia come il grado di maturità tecnologica rappresenti un elemento chiave per comprendere le dinamiche di adozione, le differenze settoriali e le prospettive di sviluppo nel medio/lungo periodo. Le evidenze emerse dal questionario indicano che molte delle tecnologie considerate sono tecnicamente mature e già in grado di ridurre consumi ed emissioni attraverso interventi di efficienza, recupero energetico e autoproduzione, ma non ancora pienamente integrate in modelli di business e assetti organizzativi stabili. Le tecnologie emergenti presentano un potenziale rilevante, ma richiedono tempi più lunghi e un forte supporto di policy, mentre la digitalizzazione rappresenta un fattore trasversale essenziale per favorire l'integrazione tra soluzioni tecnologiche, modelli di gestione e mercati dell'energia.

Nei **settori a minore intensità energetica**, quali le costruzioni edili, le tecnologie impiantistiche e parte dei servizi innovativi e tecnologici, la **maturità tecnologica delle soluzioni per l'efficienza energetica e l'autoproduzione risulta elevata**. Le imprese dispongono di competenze tecniche consolidate e di soluzioni ampiamente disponibili sul mercato, in particolare per quanto riguarda il fotovoltaico, le pompe di calore, i sistemi di monitoraggio e controllo e le applicazioni digitali di base. Tuttavia, la diffusione effettiva di tali tecnologie è spesso limitata da fattori esterni alla tecnologia stessa quali la frammentazione del tessuto produttivo, la discontinuità degli incentivi e la difficoltà di valorizzare economicamente le prestazioni energetiche nel mercato finale.

Nei **comparti industriali a maggiore intensità energetica e nei settori "hard-to-abate"**, il quadro della **maturità tecnologica risulta più complesso**. Da un lato le tecnologie di recupero energetico, cogenerazione e controllo dei processi sono ampiamente consolidate e rappresentano una componente strutturale dei sistemi produttivi, dall'altro lato le soluzioni necessarie per una decarbonizzazione profonda dei processi presentano livelli di maturità tecnologica differenti e, in alcuni casi, ancora limitati. In particolare, le tecnologie emergenti come l'idrogeno, il nucleare di nuova generazione e il CCS sono considerate strategiche nel lungo periodo, ma risultano attualmente condizionate da elevati costi, incertezze normative e dalla mancanza di infrastrutture adeguate. In tale contesto, il loro possibile contributo ai percorsi di

decarbonizzazione dei settori hard-to-abate deve essere valutato in un'ottica di medio-lungo periodo e subordinato alla definizione di quadri regolatori stabili, assetti di governance chiari, infrastrutture dedicate e strumenti di mitigazione del rischio, evitando approcci ideologici e privilegiando valutazioni basate su evidenze tecnico-economiche.

In questo contesto, la **maturità tecnologica** non dipende solo dalla disponibilità tecnica, ma **dall'interazione tra fattori economici, regolatori e organizzativi**. Anche soluzioni mature possono avere una diffusione limitata in assenza di condizioni abilitanti adeguate, soprattutto nei casi che richiedono investimenti elevati, tempi di ritorno lunghi e coordinamento tra più attori, come per CER/CACER, accumuli industriali e flessibilità energetica.

Un elemento trasversale che emerge con chiarezza riguarda il ruolo della filiera delle costruzioni come abilitatore tecnologico piuttosto che come semplice utilizzatore finale di soluzioni energetiche. In numerosi comparti, in particolare quelli legati alle tecnologie impiantistiche, all'elettrotecnica e ai servizi di progettazione, la maturità tecnologica si manifesta nella capacità di sviluppare, integrare e implementare soluzioni per altri settori industriali e per il territorio. In tali contesti il contributo alla transizione energetica non si misura tanto nella quota di energia autoprodotta, quanto nella capacità di rendere scalabili e replicabili le soluzioni lungo l'intera filiera.

6) Fonti e Riferimenti

Il presente Rapporto si basa su un'analisi integrata di fonti istituzionali europee e internazionali, report tecnico-scientifici, studi di settore e documentazione delle principali piattaforme e associazioni di Federcostruzioni.

Per il quadro climatico ed energetico globale e settoriale sono stati utilizzati: *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*; documentazione ufficiale del Consiglio dell'Unione europea (www.consilium.europa.eu); dati e analisi dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (AEA); report CDP, World Economic Forum (WEF) e Boston Consulting Group (BCG); contributi GlobalABC; ISPRA – *National Inventory Report*; stime Confindustria; dati del GME – Gestore dei Mercati Energetici.

Per gli aspetti relativi a materiali, innovazione, decarbonizzazione e sostenibilità del costruito sono stati inoltre considerati:

- *ECTP Built Environment Decarbonisation Committee & ECTP Materials & Sustainability Committee – Joint Position Paper on Biobased Materials*;
- *ECTP Materials and Sustainability Committee – Horizon Europe 2022-2027 Position Paper*;
- *ENCORD White Paper: Framework for Circularity in Construction Ecosystem*;
- *Biobased Materials: Overview and Projected Progress towards 2040*;
- *JRC – Guidance on establishing European rules for the design of reclaimed steel components for reuse*;
- *European Commission – Market Potential of Off-site Construction for Housing Supply*;
- *European Commission – Supporting the Development of a Roadmap for the Reduction of Whole Life Carbon of Buildings* (Ramboll, BPIE, KU Leuven, 11/04/2023);
- *White Paper on Affordable, Sustainable Energy Transition and Building Renovation* (IWG5 – Just Transition TF5, March 2025);
- *WhitePaper_JustTransition IWG5 TF5_Final_4March*.

Il Rapporto integra inoltre contributi, position paper e materiali tecnici forniti dalle associazioni di filiera aderenti, utilizzati per l'elaborazione dei dati qualitativi e quantitativi e per il confronto con scenari e benchmark europei.