

Neutralità carbonica: un obiettivo a scala di edificio o a scala di città?

Di Francesco Causone – francesco.causone@polimi.it

Il mondo dell'edilizia, similmente ad altri settori produttivi, è soggetto a delle tendenze, influenzate dall'evoluzione della sensibilità collettiva, da rilevanti eventi naturali o di origine antropogenica, dalla ricerca scientifica e da precise politiche, leggi e norme tecniche. Nei primi decenni del XXI secolo si è, per esempio, parlato molto di *architettura sostenibile* e di *edifici ad energia quasi zero (nZEB)*, mentre più recentemente si sta diffondendo il tema della *neutralità carbonica*, comunemente citato attraverso il termine anglosassone "carbon neutral".

Il passaggio da "zero energia" a "zero emissioni/carbon neutral" è giustificato da un allargamento di prospettiva. Se il problema da affrontare è quello del surriscaldamento globale e se questo è determinato dalle emissioni climalteranti, allora l'obiettivo deve essere la diminuzione delle emissioni e non solo la diminuzione dei consumi di energia in fase d'esercizio, pur rimanendo questi una delle principali fonti di emissione.

Diversi enti ed istituzioni hanno quindi iniziato a parlare di decarbonizzazione del parco edilizio, impegnandosi a realizzare edifici "carbon neutral". Tuttavia, oggi non esiste una definizione chiara ed univoca di edificio "carbon neutral", né una procedura di calcolo condivisa per la verifica del conseguimento di requisiti minimi che diano valore ad un termine di per sé vago.

Per capire di cosa parliamo, quando parliamo di neutralità carbonica in ambito edilizio, dobbiamo quindi, anzitutto, comprendere dove e come sono prodotte le emissioni climalteranti all'interno della filiera che porta alla costruzione o alla riqualificazione di un edificio e come il bilancio delle emissioni può essere impostato.

COS'È UN EDIFICIO CARBON NEUTRAL

Per la costruzione o riqualificazione di un edificio, è anzitutto necessario estrarre delle materie prime, che singolarmente o miscelate con materie prime riciclate, possano essere lavorate e trasformate in prodotti e componenti edilizi. Nel linguaggio dell'*analisi del ciclo di vita o LCA (Life Cycle Assessment)*, la metodologia che permette di quantificare l'impatto ambientale di un prodotto, processo o attività, le attività di estrazione, trasporto verso siti manifatturieri e lavorazione delle materie prime sono definite fasi A1-A3 e sono particolarmente energivore. È cioè necessario utilizzare molta energia per estrarre e lavorare le materie prime ed essendo questa energia prodotta in larga parte attraverso fonti fossili, le tre fasi sono all'origine di elevate emissioni climalteranti e inquinanti che impattano negativamente sull'ambiente. Nel mondo dell'edilizia tra i materiali che determinano il maggior numero di emissioni climalteranti ci sono il cemento e l'acciaio, fondamentali per la realizzazione delle strutture in calcestruzzo che sorreggono la maggior parte degli edifici in cui viviamo e che permettono la realizzazione delle maggiori infrastrutture attraverso cui ci muoviamo. La ricerca tecnico-scientifica è quindi fortemente concentrata sulla produzione di cementi e acciai a basso impatto, ottenuti sia modificando il processo produttivo, sia massimizzando la quota del materiale riciclato.

Prodotti e componenti edilizi devono poi essere spostati dal luogo di produzione ai cantieri, ove il processo costruttivo degli edifici si sviluppa per diversi mesi o anni. Le emissioni dovute al trasporto dei materiali (fase A4) possono essere significative se le distanze da percorrere sono notevoli, richiedendo l'utilizzo di mezzi di trasporto molto inquinanti come aerei e navi. In questo ambito, l'unico modo di abbattere le emissioni è l'utilizzo di materiali locali, per i quali la distanza tra luogo di produzione e cantiere è minimizzata. Anche il riuso di manufatti locali può essere uno strumento utile, poiché tutto ciò che può essere riutilizzato senza richiedere trasporti eccezionali, diminuisce le emissioni sia per mancata estrazione e lavorazione di nuove materie prime, sia per riduzione dei trasporti.

Durante il cantiere (fase A5) viene utilizzato un significativo quantitativo di energia, sia sotto forma di elettricità che di carburante per le macchine di scavo e trasporto. Il cantiere è inoltre un ambiente in cui vengono utilizzate molte risorse fondamentali come l'acqua, il cui consumo andrebbe limitato per contenere l'impatto ambientale. In questo ambito, la prefabbricazione, l'installazione a secco ed il ricorso a nuove tecnologie come la stampa 3D e la robotica, possono contribuire significativamente alla riduzione dell'impatto ambientale.

Le emissioni che dipendono dalle fasi A1-A5 vengono spesso definite come "inglobate" nell'edificio, poiché esse non sono contemporanee alle emissioni operative, dovute all'uso degli edifici, ma le precedono. Un edificio è quindi causa di emissioni prima ancora che il cantiere abbia inizio e queste emissioni devono essere accuratamente considerate qualora si intenda progettare edifici "carbon neutral".

Nel ciclo di vita di un edificio, la fase d'uso (B6) rimane tipicamente la più energivora, per cui fonte di elevate emissioni. Nei tipici 50 anni di vita utile di un edificio, noi consumiamo molta energia per riscaldare, raffrescare e ventilare gli ambienti in cui viviamo, studiamo, facciamo sport, mangiamo, dormiamo, ecc. Tuttavia, moltissima energia viene quotidianamente utilizzata anche per cucinare, illuminare, fare le pulizie o più semplicemente per intrattenerci con televisioni, cinema, cellulari, videogiochi, ecc. Moltissimo è stato fatto negli scorsi anni per realizzare nuovi elettrodomestici e macchinari a basso consumo e questo ha significativamente contribuito a ridurre le emissioni dovute all'uso di energia elettrica, tuttavia, ha anche determinato una sostanziale costruzione di nuovi apparecchi e quindi l'estrazione di materie prime, determinando un incremento delle emissioni nel settore manifatturiero.

Se ridurre i consumi nella fase d'uso deve essere un obiettivo centrale delle politiche di decarbonizzazione, non devono per contro essere persi di vista gli effetti collaterali dell'incremento dell'efficienza energetica degli edifici. In tal senso è fondamentale promuovere riuso e riciclo di componenti e materie, perché l'obiettivo finale non è solo la riduzione degli usi energetici, ma la riduzione complessiva delle emissioni a cui essi contribuiscono.

Nei nuovi *edifici ad energia quasi zero*, dotati di buon isolamento termico e impianti ad alta efficienza, il divario tra *emissioni inglobate* ed emissioni operative si è ormai livellato, dimostrando l'efficacia delle politiche promosse negli ultimi decenni. In ottica "carbon neutral" occorre tuttavia ricordarsi che non sono solo le emissioni in fase d'uso a dover essere ridotte, ma anche le *emissioni inglobate*. Questo implica un sostanziale ripensamento del processo produttivo per ciò che concerne il riciclo dei materiali, la loro lavorazione e l'assemblaggio degli stessi nella fase di cantiere.

Oltre alle emissioni operative, nella fase di vita di un edificio devono anche essere considerate le emissioni dovute alla manutenzione, riparazione, sostituzione e recupero dei diversi componenti edili (B1-B5), che possono avere una vita utile più breve di quella complessiva dell'edificio. Tipicamente queste emissioni sono però molto inferiori a quelle imputabili alle fasi A1-A5 e B6.

Anche nella fase di fine vita di un edificio sono prodotte emissioni da conteggiare nel bilancio complessivo, che dipendono dalla demolizione o disassemblaggio dell'immobile, dal trasporto dei materiali e dalla gestione e smaltimento dei rifiuti (C1-C4). Promuovere soluzioni montate a secco, quindi facilmente disassemblabili ed il riciclo e riuso dei materiali può contribuire a limitare fortemente le emissioni legate alla fase di fine vita, questo, tuttavia, implica progettare l'edificio non solo per il suo uso ma anche per il suo disassemblaggio, pratica purtroppo ancora poco comune.

COMPENSAZIONI DELLE EMISSIONI

Un edificio "carbon neutral" è quindi un edificio che punta ad avere un bilancio nullo di emissioni. Talune definizioni limitano l'attenzione alle sole emissioni in fase d'esercizio (B6), promuovendo quindi l'efficienza energetica ed il ricorso a tecnologie per lo sfruttamento di fonti di energia rinnovabile. Un approccio più

coerente e sensato implica però che il bilancio includa anche le *emissioni inglobate* e quelle dovute al fine vita dell'edificio. In questo senso, un edificio "carbon neutral" deve porre molta attenzione ai materiali da costruzione, prediligendo materiali naturali, locali e ad alto contenuto di riciclato, oltre che ricorrere il più possibile al riuso in sito, alla prefabbricazione e a soluzioni facilmente disassemblabili, riutilizzabili e costruite con materiali facilmente riciclabili.

I materiali di origine naturale, specialmente quelli rapidamente rigenerabili e derivanti da foreste gestite in maniera sostenibile, sono considerati molto utili per ridurre le *emissioni inglobate*, perché riducono considerevolmente i contributi dovuti all'estrazione, alla lavorazione e all'assemblaggio. Inoltre, i materiali di origine naturale, prima di divenire elementi costruttivi, hanno contribuito allo stoccaggio di biossido di carbonio, trasformandolo in materiale biologico. È quindi fondamentale, per questo tipo di materiali, considerare accuratamente i processi di riuso a fine vita, poiché se venissero inceneriti, rilascerebbero in atmosfera le emissioni "stoccate" sotto forma di materiale biologico, elidendo, anche se con un certo ritardo temporale, i benefici apportati all'ambiente.

Per quanto accurata possa essere la progettazione e accorto il processo di costruzione, se il bilancio delle emissioni viene correttamente impostato su tutto il ciclo di vita, un edificio avrà sempre un contributo maggiore di zero, poiché un quantitativo minimo di nuovi materiali andranno estratti e lavorati e poiché l'edificio deve essere vissuto secondo quella che è la sua funzione, utilizzando un certo quantitativo di energia.

Per raggiungere un bilancio zero o la neutralità carbonica, sono quindi necessarie azioni di compensazione delle emissioni residue, tanto maggiori quanto più basse saranno le prestazioni dell'edificio. Le azioni che possono essere fatte in sito partono anzitutto dallo sfruttamento delle energie rinnovabili, che includono l'energia solare, l'energia eolica, quelle geotermica, idrotermica e areotermica e l'energia idroelettrica, solo per interventi *micro-idroelettrici*, a ridotto impatto sull'ambiente. Se il lotto di costruzione è sufficientemente ampio possono anche essere previste opere di compensazione naturale, tramite la piantumazione di alberi in grado di "stoccare" nel corso degli anni un certo quantitativo di emissioni, oltre a garantire molteplici altri servizi ecosistemici, promuovendo la biodiversità, la riduzione delle temperature al suolo e il filtraggio di alcuni inquinanti atmosferici.

È tuttavia evidente che, specialmente in ambito urbano, a causa della elevata densità edilizia, degli allineamenti, dei vincoli architettonici ed urbanistici, non è facile attuare opere di compensazione in sito, sia in termini di tecnologie per lo sfruttamento dell'energia rinnovabile, sia in termini di nuova vegetazione, tali da compensare tutte le emissioni dovute ad edifici densamente popolati e fortemente utilizzati.

Per raggiungere l'obiettivo della neutralità carbonica sono allora necessarie azioni di compensazione al di fuori del sito di costruzione, attuate attraverso impegni di acquisto di energia rinnovabile garantita, ovvero prodotta da fonti di energia rinnovabile, o attraverso il finanziamento di progetti di forestazione in aree diverse da quelle della costruzione ma disponibili ad accogliere foreste gestite e controllate. Questo tipo di azioni può essere anche "finanziarizzato" accedendo al mercato dei crediti di carbonio, attualmente attivi solo per l'ambito industriale, l'aviazione e la generazione di calore ed energia, ma presto attivi anche nel settore delle costruzioni.

UN ESEMPIO DI CALCOLO

Per comprendere quanto sia difficile realizzare un edificio "carbon neutral" in ambito urbano, può essere utile impostare un semplice calcolo basato su valori di emissione medi da letteratura. Questi dati non sono facilmente reperibili, specialmente per le fasi secondarie dell'analisi del ciclo di vita. I valori riportati nel seguente grafico mappano tuttavia, per circa 186 edifici residenziali, le emissioni inglobate, relative alla fase di produzione dei materiali da costruzione dell'edificio (A1-A3) e quelle operative (B6), le più importanti nel bilancio. Si tratta di dati che permettono quindi di stimare, per difetto, le emissioni per metro quadro di edifici

residenziali costruiti con standard esistenti ormai superati e poco attenti ad aspetti energetici, con standard più recenti, tipicamente concentrati sulla riduzione degli usi energetici in fase di esercizio (per esempio standard nZEB) o con standard innovativi volti a minimizzare le emissioni globali dell'edificio.

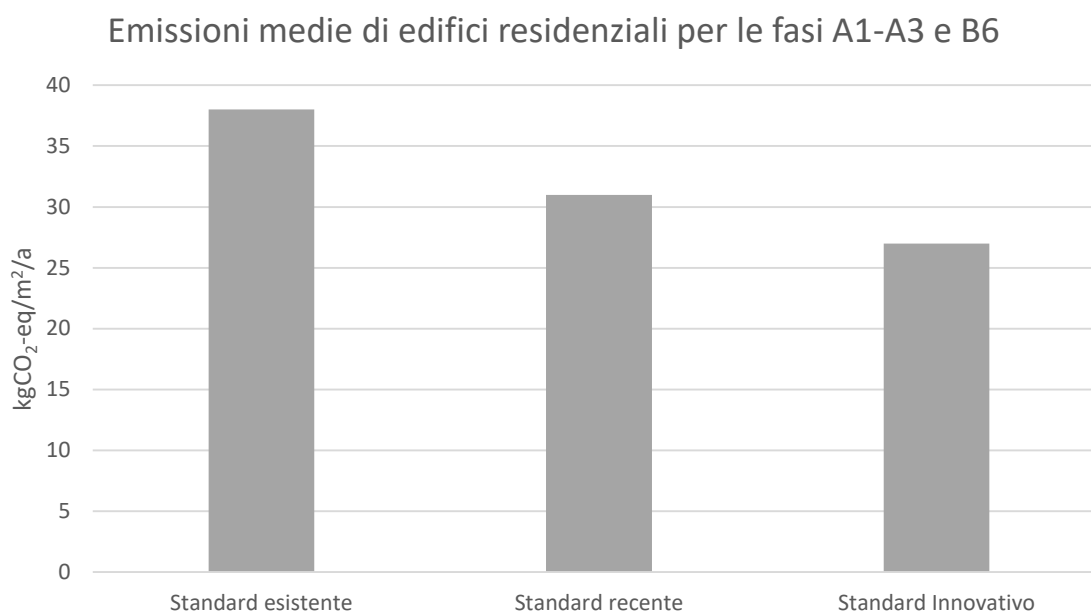


Grafico rielaborato da: Martn Rock et al., Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation, Applied Energy 258, 2020. (CC BY-NC-ND 4.0). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>

Una volta individuate le emissioni per metro quadro di superficie dei tre tipi di standard individuati, è possibile moltiplicarle per la superficie media di due tipologie edilizie di riferimento: una villetta monofamiliare extraurbana ed un condominio urbano di medie dimensioni, rispettivamente pari a 200 metri quadri e 3000 metri quadri. Si ottengono così le emissioni annuali dei due edifici tipologici costruiti secondo i tre standard di riferimento ed è possibile calcolare le azioni di compensazione in sito necessarie per azzerare le emissioni, ovvero per trasformarli in edifici “carbon neutral”, almeno per le fasi A1-A3 e B6 considerate nel database di letteratura, quelle più impattanti nel ciclo di vita.

	Standard esistente	Standard recente	Standard Innovativo
Emissioni totali (kgCO₂-eq/m²/a) (Fasi A1-A3 e B6)	38	31	27
Villa mono (kgCO₂-eq/a)	7.600	6.200	5.400
Condominio (kgCO₂-eq/a)	114.000	93.000	81.000

Per semplicità di calcolo sono riportate solo due azioni compensative, le più tipiche, ovvero la realizzazione di un impianto fotovoltaico (FV) e la piantumazione di nuovi alberi. Per i calcoli sono stati considerati valori medi tipici per il clima di Milano¹, un leggero miglioramento dei risultati può essere atteso per località con maggiore irraggiamento solare, mentre un leggero peggioramento può essere atteso per località caratterizzati da valori di irraggiamento inferiori. Le conclusioni ottenute sono tuttavia generalizzabili e sufficientemente indipendenti dalla località.

¹ Valori utilizzati per il calcolo di compensazione attraverso FV: 216 (kgCO₂-eq/MWh), 1100 (kWh/a/kWp), 8 (m²/kWp). Valori utilizzati per il calcolo di compensazione attraverso vegetazione: 50 (kgCO₂-eq/a/albero), 50 (m²/albero).

Azioni di compensazione per villa monofamiliare (200 m²)			
	Standard esistente	Standard recente	Standard Innovativo
Nr. di alberi	152	124	108
Superficie alberata (m²)	7.600	6.200	5.400
FV (m²)	256	209	182

Azioni di compensazione per condominio (3000 m²)			
	Standard esistente	Standard recente	Standard Innovativo
Nr. di alberi	2.280	1.860	1.620
Superficie alberata (m²)	114.000	93.000	81.000
FV (m²)	3.838	3.131	2.727

I semplici calcoli svolti sulla base di valori medi di letteratura e due tipologie di riferimento, dimostrano che per compensare le emissioni medie di una villa extraurbana sono necessari da 108 a 152 alberi, equivalenti ad un'area alberata variabile tra i 5400 ed i 7600 metri quadri. Si tratta di un parco privato di notevoli dimensioni anche nel caso si faccia riferimento ad uno standard innovativo. Qualora si optasse per l'installazione di un impianto fotovoltaico, come azione di compensazione, sarebbero necessari dai 182 ai 256 metri quadri liberi e non ombreggiati, sicuramente maggiori dell'area disponibile in copertura.

Il caso del condominio urbano mostra valori ancora più sfidanti. Per compensare le emissioni di un edificio di 3000 metri quadri sono necessari dai 1620 ai 2280 alberi, pari ad una superficie alberata variabile tra 81000 e 114000 metri quadri, ovvero l'area di 11 e 16 campi da calcio o di un piccolo parco urbano. In termini di superficie fotovoltaica, sarebbero, invece, necessari dai 2727 ai 3838 metri quadri attivi non ombreggiati per poter compensare le emissioni dell'edificio, ben più della superficie di involucro utilizzabile del condominio in analisi, qualsiasi forma esso abbia.

Per comprendere meglio il significato di questi calcoli si deve pensare che Central Park a New York si estende per un'area di circa 341 ettari e conta circa 25000 alberi, ovvero 137 metri quadri ad albero (un valore 2,5 volte maggiore di quello adottato nei nostri calcoli, che sono quindi da ritenersi conservativi). Gli alberi presenti in questa imponente infrastruttura verde urbana, senza paralleli in Italia, sarebbero sufficienti a compensare solamente le emissioni di un numero variabile tra gli 11 e i 15 condomini, in funzione dello standard di costruzione adottato (esistente o innovativo).

UN OBIETTIVO A SCALA DI CITTÀ O DI REGIONE

I valori riportati mostrano come la sfida della neutralità carbonica, qualora impostata correttamente sull'intero ciclo di vita, secondo metodologia LCA, non possa essere affrontata a livello di edificio e di singolo lotto urbano, poiché tipicamente non esistono le superfici disponibili per compensare in sito le emissioni residue, anche nel caso di edifici ad altissime prestazioni.

L'unico modo per raggiungere l'obiettivo "carbon neutral", è quindi attraverso compensazioni fuori dal sito. Tali compensazioni possono prevedere il finanziamento di progetti molto distanti dalla realtà locale ove l'intervento edilizio avrà sede, spesso difficilmente controllabili e sicuramente poco visibili alla comunità locale. Un'alternativa possibile a questo schema è quella di impostare politiche urbane, regionali e nazionali di decarbonizzazione del patrimonio edilizio, individuando azioni locali a scala di quartiere o di città, come la realizzazione di nuovi parchi o di comunità di energia rinnovabile, che abbiano ricadute dirette sulla popolazione locale.

Il tema della decarbonizzazione non può per altro limitarsi al solo aspetto edilizio. È infatti del tutto inutile costruire quartieri “carbon neutral” lontani da servizi essenziali, che richiedano agli abitanti di spostarsi ogni giorno con mezzi privati alimentati da fonti energetiche fossili. È necessario invece ripensare le città in ottica “carbon neutral” facendo in modo che logiche di zonizzazione estrema non vengano ripetute, ma che ogni quartiere sia dotato di tutti i servizi essenziali per incentivare la mobilità pedonale e ciclabile, supportata da mezzi pubblici alimentati da fonti energetiche rinnovabili ed una ridotta flotta privata leggera e sostenibile.

In estrema sintesi la neutralità carbonica è un obiettivo che può essere raggiunto solo a livello di città o regione, attraverso politiche energetiche ed ambientali integrate e multisettoriali, in grado di attivare progetti ed azioni con ricadute dirette sulle comunità locali. Solo attraverso questo approccio sarà possibile distribuire i costi delle esternalità su un ampio gruppo di portatori di interesse, garantendo equità sociale nel processo di transizione ambientale.