

SCHELETRI EDILIZI

recuperare o demolire?

Giulia Galimberti – Enrico Sergio Mazzucchelli – Alberto Stefanazzi
Dip. ABC - Politecnico di Milano

La necessità di costruire edifici energeticamente efficienti è una tematica che si è affermata con forza già negli ultimi decenni del secolo scorso, in seguito alla crisi energetica degli anni '70. È proprio in quel periodo, infatti, che si è definito il concetto di sviluppo sostenibile e diffusa sempre più la sensibilità al tema del risparmio energetico.

Dagli anni Settanta ad oggi questa tematica ha visto un rapido sviluppo e con le recenti direttive europee (tra cui le prime e più conosciute 2010/31/UE, 2012/27/UE e la più recente 2018/844/UE) si è arrivati ad un punto di svolta,

ossia l'obbligo di costruire, dal 2021, solo edifici a energia quasi zero, i cosiddetti nZEB (nearly Zero Energy Building).

Negli ultimi anni si è pertanto assistito alla diffusione in tutto il mondo di edifici sempre più performanti, attenti alle tematiche di sostenibilità e impatto ambientale. Tuttavia, accanto a queste nuove costruzioni, è ancora oggi possibile ritrovare numerosi esempi di edifici incompiuti, degradati e/o abbandonati.

Si tratta di veri e propri "scheletri" edilizi, per i quali non è stato portato a ter-

mine il processo di costruzione. Nella maggior parte dei casi, questi edifici si trovano all'interno di ambiti territoriali che nel complesso si presentano degradati e, spesso, sono proprio questi fabbricati ad essere una delle principali cause di degrado, favorendo il crearsi di aree abbandonate caratterizzate da verde incolto o maltenuto e di occupazione da parte di senzatetto.

In particolare, questi ultimi aspetti possono riflettersi su una percezione di disagio ed insicurezza da parte della comunità e degli utenti delle aree limitrofe a queste costruzioni.



Scheletro della vecchia stazione di San Cristoforo, progettata nella metà degli anni Ottanta e che sarebbe dovuta diventare la stazione ferroviaria di San Cristoforo sulla linea Milano-Mortara. (Fonte: blog.urbanfile.org)

Tuttavia, all'interno dei nuovi strumenti urbanistici, soprattutto quelli emanati dalle grandi città, si evidenzia una sempre crescente volontà di eliminare, o comunque risolvere, gli effetti di queste problematiche, con l'obiettivo primario di riqualificare aree abbandonate e degradate, creare nuovi parchi verdi e, allo stesso tempo, ridurre il consumo di suolo in ambito urbano.

Si prenda come riferimento, ad esempio, la città di Milano: dal 2010 in poi, la città ha visto sorgere numerosi grattacieli ed edifici a torre, a partire dal nuovo Palazzo Lombardia, passando per il nuovo quartiere di Porta Nuova-Isola, fino ad arrivare al complesso CityLife dove, dopo le torri Isozaki e Hadid, è stata recentemente completata la torre Libeskind. Lo sviluppo di questi nuovi quartieri ha senza dubbio contribuito a promuovere la riqualificazione anche delle aree ad essi adiacenti, che presentano tuttavia ancora oggi edifici e costruzioni in stato di abbandono e inutilizzo.

A partire dal 2014, l'amministrazione comunale ha attivato un processo di mappatura e censimento degli edifici e delle aree che si trovano in questa situazione. Si è trattato di una prima fase di un lungo processo finalizzato a contrastare il degrado del tessuto urbano della città esistente, che è culminata con l'approvazione del nuovo PGT nell'ottobre 2019. All'interno del Documento di Piano, infatti, dal titolo "Milano 2030 – Visione, Costruzione, Strategie, Spazi", si evince la volontà di far evolvere Milano verso una nuova idea di città, andando a sviluppare in modo organico tutti i quartieri, non solo quelli già in fase di espansione, e a migliorare le condizioni ambientali, di qualità della vita e degli spazi verdi del tessuto urbano. Gli spazi pubblici sono messi al centro dell'attenzione, con interventi nell'ambito dell'edilizia sociale e della sostenibilità, creando nuovi parchi e soprattutto riducendo il consumo del suolo. In "Milano 2030 – Visione, Co-

struzione, Strategie, Spazi", l'idea di città viene costruita attraverso una nuova forma di piano urbanistico che mira ad annullare l'attuale distinzione tra ambiti urbani poco consolidati, posti ai margini della città, e ambiti più centrali, istituendo nuove relazioni tra questi, promuovendo interventi di rigenerazione urbana attraverso processi di riuso, riciclo e rinnovamento urbano ed in grado di coinvolgere una molteplicità di aree, dal patrimonio edilizio generato nei periodi delle grandi espansioni urbane, agli spazi aperti e costruiti degradati. Di fronte a queste tematiche, risulta quindi ovvia la correlazione che esiste tra un edificio e il contesto ambientale in cui è inserito. E' perciò inevitabile

che il recupero dell'esistente, sia che si tratti di uno scheletro edilizio, sia di un edificio quasi ultimato e abbandonato, non può prescindere da un intervento che proponga la rigenerazione urbana dell'intera area. Il fatto stesso che la permanenza di una struttura abbandonata sia spesso la causa del lento degrado di intere zone di quartieri, fa sorgere spontanea la volontà non solo di dare una nuova funzione a quella struttura, che ha occupato il suolo "inoperosamente" per anni, ma che venga rifunzionalizzata in modo da dare un nuovo contributo alla città, soprattutto in termini di sostenibilità, impatto ambientale e creazione di spazi verdi e luoghi di incontro per i cittadini. A



Esempio di scheletro edilizio di edificio a torre prima e dopo l'intervento di recupero, completato nel 2020 (Cracovia, Polonia). La costruzione dell'edificio iniziò nel 1975, ma fu interrotta definitivamente nel 1981 a causa di vincoli economici e disordini politici. (Fonte: <https://krakow.naszemiasto.pl>)



Costruzione lungo via Martin Luther King, Milano. (Fonte: corriere.it)

questo punto, è inevitabile chiedersi come recuperare queste costruzioni e di conseguenza, come stabilire se un edificio abbandonato da tempo può essere convenientemente recuperato oppure no. Ad esempio, in caso di strutture in calcestruzzo armato, occorre considerare che le prestazioni residue dipendono da molte variabili, tra cui l'esposizione alle intemperie, la durata dell'esposizione stessa e la qualità dei materiali di cui la struttura è composta, nonché dalle modalità con cui sono stati realizzati i getti in fase di costruzione. Per rispondere alla domanda di cui sopra nel modo più accurato possibile, il presente contributo propone una metodologia di valutazione, riassumibile in un diagramma logico, che ripercorre le fasi necessarie per stabilire se un edificio non completato (o abbandonato) è recuperabile oppure no. Per semplicità, si considera un edificio con struttura in calcestruzzo armato, anche se la stessa procedura, con le opportune differenze in termine di prove ed interventi, è utilizzabile anche per edifici con struttura in acciaio o mista acciaio/calcestruzzo.

L'analisi completa dello stato di uno scheletro edilizio è una condizione necessaria per ottenere una valutazione affidabile del livello di sicurezza in cui la costruzione si trova e, quindi, per la definizione di un eventuale intervento di recupero. Un primo passaggio consiste nella caratterizzazione della struttura tramite analisi della documentazione disponibile del progetto originario, così come delle normative vigenti negli anni di realizzazione dell'opera. Ciò consente di individuare l'obiettivo di progetto originario, la classe d'uso e la vita nominale prevista della struttura. E' quindi

fondamentale ricostruire il processo realizzativo dell'opera e gli eventi che la hanno interessata nella sua vita, così come la sua esposizione ad eventi atmosferici, sismici, incendi, che possono aver causato danni, degradi o dissesti agli elementi strutturali.

Dopo questa prima analisi, occorre procedere con il rilievo geometrico e materico della costruzione, ossia l'individuazione delle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, al fine di definire la resistenza globale della struttura, anche in relazione alla qualità e allo stato di conservazione dei materiali, classificando gli eventuali difetti della struttura. Nel caso di strutture in calcestruzzo armato, tali difetti possono essere dovuti a cause di tipo meccanico, di tipo chimico, di tipo fisico in riferimento alla matrice cementizia, oppure dovuti alla corrosione dell'armatura in acciaio. Durante la fase di rilievo possono presentarsi delle difficoltà a causa della limitata accessibilità di alcune aree, dovute ad esempio alla mancanza di collegamenti tra i diversi impalcati della struttura, etc. In questi casi, possono venire in aiuto tecniche di indagine quali termografia e georadar, così come l'utilizzo di droni per il rilievo di elementi non raggiungibili.

Tramite la fase di rilievo, inoltre, è possibile individuare eventuali dissesti strutturali, le cui cause possono dipendere da molti fattori, quali conseguenze di errori in fase di progettazione, difetti dei materiali (ad esempio correlati alla loro bassa qualità), errori in fase di esecuzione (dovuti ad una esecuzione non corrispondente ai dettagli costruttivi), eventi eccezionali (ad esempio di tipo sismico), scavi in adiacenza mal

eseguiti, etc.

Queste prime fasi già definiscono un primo criterio per stabilire se recuperare o meno un fabbricato esistente: infatti, se una struttura è interessata da un degrado molto esteso, e quindi dal rilievo deriva una valutazione complessivamente negativa, il futuro di questa struttura sarà inevitabilmente indirizzato verso la sua demolizione. Al contrario, se il degrado risulta limitato, è utile proseguire con la determinazione delle prestazioni residue della struttura, che sono indispensabili per il suo eventuale recupero. Pertanto, nel caso in cui il degrado non sia giunto ad una estensione tale da dichiarare la struttura irrecuperabile, si potrà procedere con indagini più approfondite, al fine di determinarne le prestazioni residue.

Le indagini diagnostiche si sono sviluppate nel corso degli anni soprattutto nell'ambito dell'edilizia storica, al fine di valutare la qualità muraria e le criticità che interessano gli edifici storici in muratura. Queste tecniche di indagine possono essere utilizzate anche al fine della verifica di elementi strutturali in calcestruzzo armato, in modo da individuare fenomeni di deterioramento o vulnerabilità che possono compromettere la stabilità e la sicurezza delle strutture. Queste indagini, chiamate comunemente "prove" si suddividono in "non distruttive" e "distruttive", a seconda della maggiore o minore invasività. Le prove non distruttive più comuni sono le prove pacometriche, che permettono di stimare la misura dell'interfero e del copriferro delle armature e il passo delle staffe presenti nell'elemento analizzato e le prove sclerometriche, che misurano la durezza super-

Meccanici	Chimici	Fisici	Corrosione dell'armatura
<ul style="list-style-type: none"> • Impatto • Sovraccarico • Movimento • Esplosione 	<ul style="list-style-type: none"> • Reazione alcali-aggregati <ul style="list-style-type: none"> • Agenti aggressivi • Attività biologiche 	<ul style="list-style-type: none"> • Gelo/disgelo • Temperatura • Cristallizzazione di sali • Ritiro 	<ul style="list-style-type: none"> • Carbonatazione • Contaminanti corrosivi • Contaminanti corrosivi in fase di miscelazione

Possibili cause e classificazione dei difetti correlabili a strutture in calcestruzzo armato.

ficiale del calcestruzzo attraverso la valutazione del rimbalzo di una sferetta metallica. Tra le prove distruttive invece, la più diffusa è quella del carotaggio, che prevede prove di compressione su provini chiamati "carote" prelevati direttamente dalla struttura in esame, in modo da valutarne la resistenza a compressione.

E' di fondamentale importanza sottolineare che la scelta della/e tipologia/e di prova deve essere effettuata in modo consapevole poiché, come richiesto dalle NTC 2018, tale scelta dovrà essere motivata in relazione in base alla tipologia, alla quantità di prove da eseguirsi e al loro effettivo utilizzo nelle verifiche di sicurezza, senza trascurare l'aspetto economico.

Anche in questo caso, l'esito delle prove definisce un criterio per la scelta progettuale: se le prestazioni residue non sono accettabili, la struttura dovrà

essere demolita, mentre se la struttura è ancora in buone condizioni, si potrà procedere con l'approfondimento delle verifiche di resistenza. In particolare, in relazione alla ipotetica destinazione d'uso futura, tramite appositi software è possibile creare un modello della struttura che consenta di definire quali siano gli elementi che necessitano di interventi di consolidamento e, grazie al rilievo materico, definire quali elementi necessitano invece di interventi di ripristino delle proprietà dei materiali.

Una volta definite le cause che hanno provocato il degrado della struttura e valutati gli effetti, si può procedere alla classificazione di aree omogenee per entità di degrado e che necessitano di differenti modalità di intervento.

In base al tipo di problematica riscontrata, è in genere possibile definire le seguenti categorie:

- aree senza apparenti danneggiamenti superficiali, che necessitano solamente di un intervento di protezione superficiale;
- aree con superficie lievemente danneggiata, che necessitano di interventi di rasatura e di un intervento di protezione superficiale;
- aree con superficie mediamente danneggiata, che necessitano di interventi di ricostruzione localizzata (ad esempio rinzaffo manuale, a spruzzo o tramite colaggio);
- aree con struttura profondamente danneggiata, che richiedono importanti interventi di ricostruzione (ad esempio incamiciatura o colaggio).

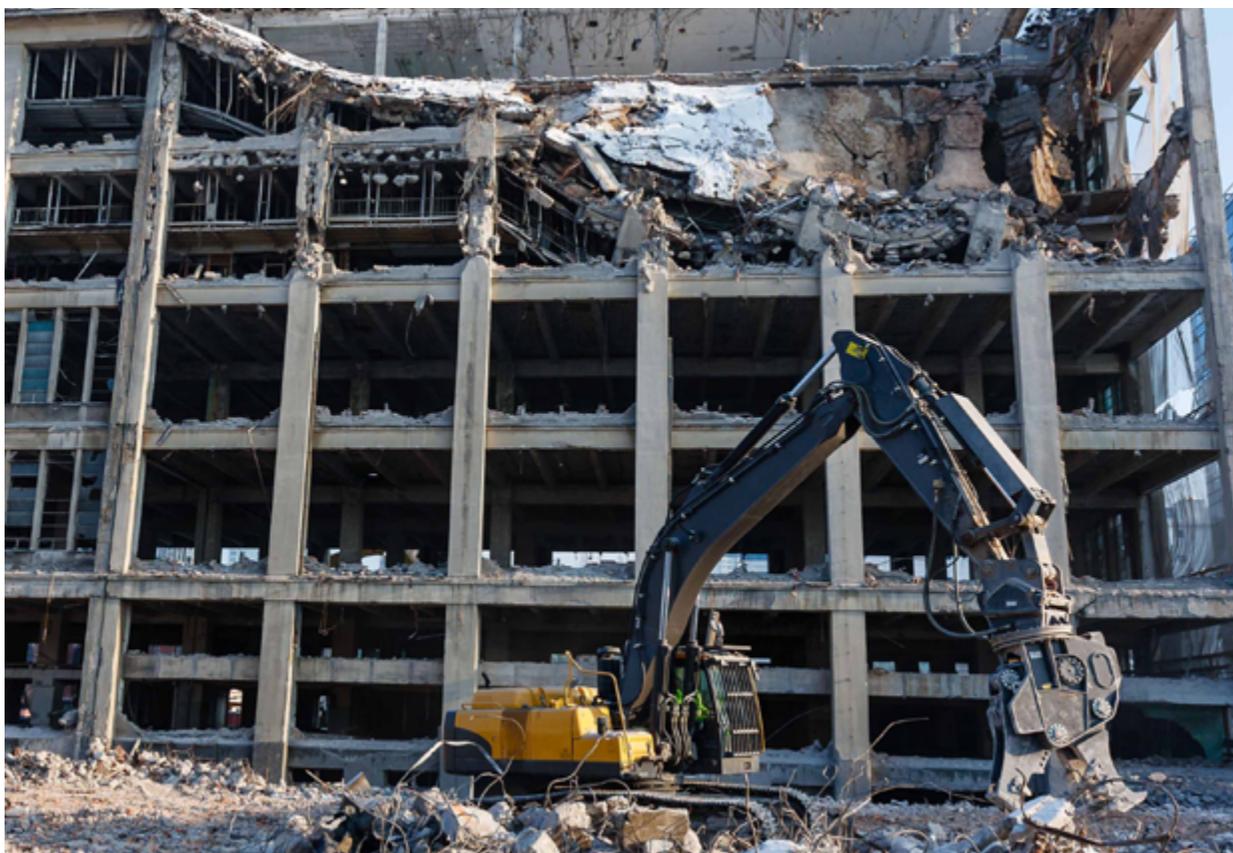
In questa fase possono rendersi necessari interventi volti al rinforzo della struttura esistente, che possono essere di tipo globale, se interessano il comportamento di tutta la struttura nel suo complesso, oppure di tipo locale, se

Metodo di prova	Costo	Velocità di esecuzione	Danno apportato alla struttura	Rappresentatività dei dati ottenuti	Correlazione fra grandezza misurata e resistenza del calcestruzzo
Carotaggio	Elevato	Lento	Moderato	Buona	Ottima
Indice di rimbalzo	Molto basso	Veloce	Nessuno	Interessa solo la superficie	Debole
Velocità di propagazione di ultrasuoni	Basso	Veloce	Nessuno	Buona, se la prova è ben calibrata. Riguarda tutto lo spessore	Debole, da calibrare caso per caso
Estrazione di inerti	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Buona
Resistenza alla penetrazione	Moderato	Veloce	Limitato	Interessa solo la superficie	Debole

Metodologie di prova più comuni in funzione dei parametri da considerare nella scelta del tipo di prova da effettuare.
(Fonte: Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera)

Intervento	Flessione	Taglio	Confinamento	Nodo
Incamiciatura in c.a.	X	X	X (2)	X
Incamiciatura in acciaio		X	X (2)	
Metodo CAM	X (1)	X	X (2)	X
Rinforzi FRP	X (1)	X	X (2)	X
Rinforzo a taglio con barre in acciaio		X		
(1): Solo se ancorati efficacemente				
(2): Effetto sempre abbinato al rinforzo a taglio				

Confronto tra i vari interventi locali. (Fonte: Strategie di intervento per il rinforzo di strutture in c.a., Ing. Biagio Pisano)



Demolizione tramite escavatore munito di cesoie. (Fonte: thebalancesmb.com)

vanno a migliorare le prestazioni dei singoli elementi. Tra questi, i più noti sono l'incamiciatura del calcestruzzo, il metodo CAM (che prevede l'utilizzo di elementi sottili in acciaio inox ad alta resistenza) e i rinforzi realizzati con materiali FRP (fibro-rinforzati). Nonostante si tratti di interventi locali, essi influenzano in modo più o meno significativo il comportamento globale della struttura: ad esempio, le incamiciature in calcestruzzo, che prevedono l'incremento della sezione dell'elemento rinforzato, influenzano la posizione del baricentro delle rigidità, così come i modi di vibrare della struttura. Per questo motivo gli interventi di consolidamento locale devono essere progettati e valutati con estrema attenzione.

Dall'analisi dello scheletro edilizio e della valutazione delle opere necessarie per il ripristino e il rinforzo degli elementi strutturali, può emergere come unica strada percorribile quella della demolizione. Tale scelta può essere

dettata sia ragioni di tipo economico (spesso il costo degli interventi di recupero supera quello di demolizione e ricostruzione dell'edificio), sia dall'eccessivo stato di degrado di materiali, dall'entità dei difetti strutturali o dalla gravità dei danni subiti in seguito ad eventi eccezionali. Nel caso in cui la struttura abbandonata o incompiuta non abbia alcun valore storico-culturale e si trovi in un'area urbana ampia ed isolata, tale da non provocare interferenze con strutture adiacenti, la demolizione risulta spesso inevitabile. Tuttavia, anche questa soluzione, che potrebbe sembrare molto più semplice, implica in realtà una serie di valutazioni che non possono essere trascurate, ad esempio in relazione allo smaltimento delle macerie e delle possibilità di riutilizzo dei materiali. A questo riguardo, la demolizione di fabbricati iniziò ad assumere un aspetto assai rilevante nell'industria delle costruzioni nella seconda metà del XX

secolo, quando gli edifici risalenti alla rivoluzione industriale raggiunsero la fine del loro ciclo di vita. Tuttavia, fino agli anni '70, le macerie derivanti da un processo di demolizione venivano trasportate interamente in discarica, senza essere riutilizzate o riciclate, così come le contaminazioni tra diversi materiali non erano mai state approfondite in modo rigoroso.

La demolizione era infatti correlata ad aspetti strettamente di tipo logistico. Oggi la demolizione di un edificio è un processo molto più articolato, costituito da quattro fasi principali: decontaminazione dell'edificio, rimozione o disassemblaggio di elementi non portanti, demolizione meccanica, smaltimento e/o riciclaggio. Durante la fase di decontaminazione occorre rimuovere tutti quegli elementi realizzati con materiali tossici, quali prodotti contenenti amianto, teli bituminosi, etc. La demolizione vera e propria è la fase durante la quale la struttura dell'edificio viene

demolita tramite appositi mezzi meccanici e secondo diverse metodologie. In questa fase, a seconda della tipologia costruttiva, si generano detriti di tipo minerale, metallico, etc. Esistono molte tecniche per demolire completamente un edificio. E' possibile impiegare macchinari, utilizzare esplosivi oppure una combinazione di diversi sistemi.

Alcuni metodi sono più veloci di altri, alcuni producono meno emissioni o hanno un livello di controllo più elevato. La maggior parte dei lavori di demolizione oggi viene eseguita tramite escavatori, che possono essere muniti di vari accessori e sono gli strumenti più flessibili per la demolizione. Per motivi di sicurezza, l'uso della palla demolitrice è limitato, sebbene in alcuni casi sia ancora un metodo utilizzato: ad esempio, se lo spessore delle pareti è elevato e l'edificio molto alto, gli escavatori da cantiere con cesoie potrebbero non essere in grado di eseguire una demolizione efficiente.

Dall'altra parte, soprattutto in Europa, l'uso di esplosivi non è frequente e si preferisce solo in pochi casi particolari, ad esempio nel caso di edifici di grandi dimensioni e solo se non vi sono altri edifici nelle vicinanze.

In ogni caso, anche dopo l'utilizzo di

una tecnica di demolizione tramite esplosivo, gli escavatori sono necessari per la frantumazione controllata delle parti rimanenti dell'edificio. Pertanto, a volte, si ricorre ad una demolizione tramite esplosivi anche solo per ridurre l'altezza di una struttura. In ogni caso, la tendenza odierna è verso una demolizione di tipo selettivo, cioè volta alla separazione dei rifiuti per frazioni omogenee ed orientata verso il riciclo dei materiali. A tal riguardo, i rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) costituiscono la maggior quantità di rifiuti nell'Unione Europea, pari a circa un terzo di tutti i rifiuti prodotti.

La corretta gestione dei rifiuti C&D e dei materiali riciclati (tra cui elementi pericolosi per la salute e l'ambiente) può comportare importanti benefici in termini di sostenibilità e qualità della vita, ma può anche offrire considerevoli vantaggi per l'industria delle costruzioni e del riciclaggio grazie all'aumento della domanda di materiali riciclati C&D che ne deriva.

Tuttavia, uno degli ostacoli più comuni per il riciclaggio e il riutilizzo di questi rifiuti nell'UE è la mancanza di fiducia nella loro qualità, che ne limita la domanda, frenando di conseguenza lo sviluppo della gestione dei rifiuti da co-

struzione e demolizione e delle strutture di riciclaggio.

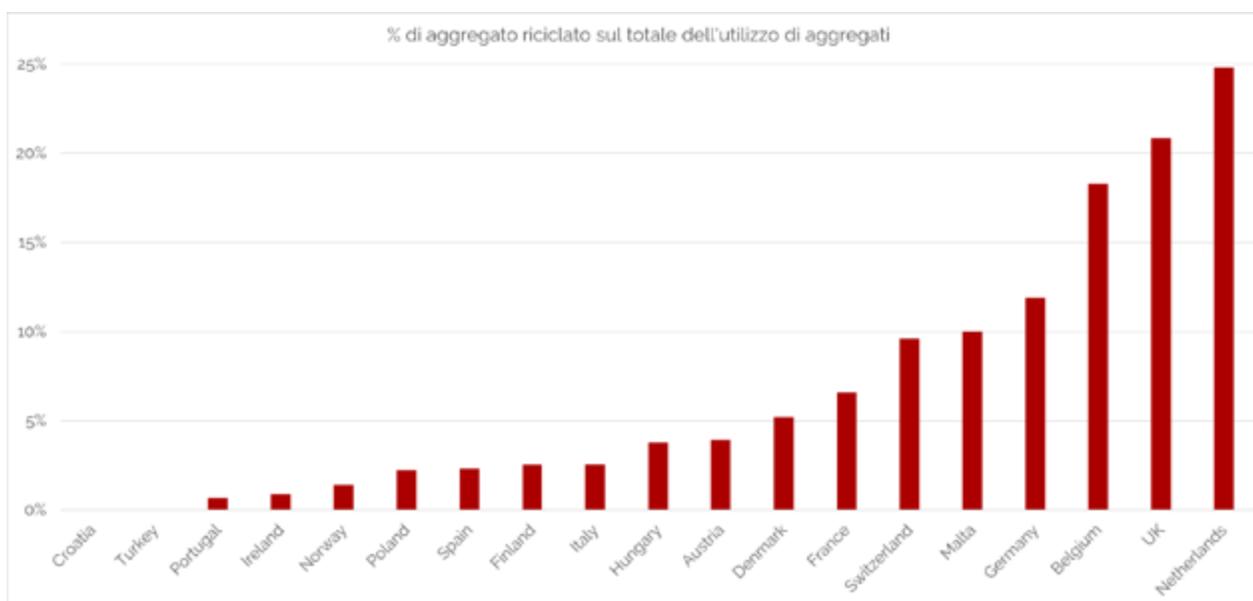
I rifiuti derivanti dalla demolizione di manufatti in calcestruzzo, che costituiscono la frazione principale di rifiuti C&D, possono essere riciclati e riutilizzati in varie applicazioni.

Ogni stato europeo ha regolamenti differenti riguardo i valori limite ed i requisiti tecnici e ambientali per l'utilizzo di aggregati riciclati.

Facendo riferimento alle norme europee, gli aggregati provenienti da calcestruzzo riciclato (RCA) possono essere utilizzati nel nuovo calcestruzzo con una percentuale massima di sostituzione di aggregati grossolani.

Gli aggregati riciclati rappresentano mediamente il 5% dell'utilizzo in Europa, con differenze significative tra i vari Paesi. I maggiori utilizzatori sono Paesi Bassi, Regno Unito, Belgio, Germania, Malta e Svizzera.

È importante però sottolineare che l'aggregato è caratterizzato da proprietà sempre differenti e che dipendono dalla qualità del materiale di origine e dalle lavorazioni a cui è sottoposto: ad esempio, un aggregato più raffinato avrà delle migliori prestazioni se utilizzato all'interno di un nuovo calcestruzzo, però avrà probabilmente un maggiore



Percentuale di aggregato riciclato sul totale dell'utilizzo di calcestruzzo nei principali Paesi europei. Dati da: UEPG Annual Review 2017-2018

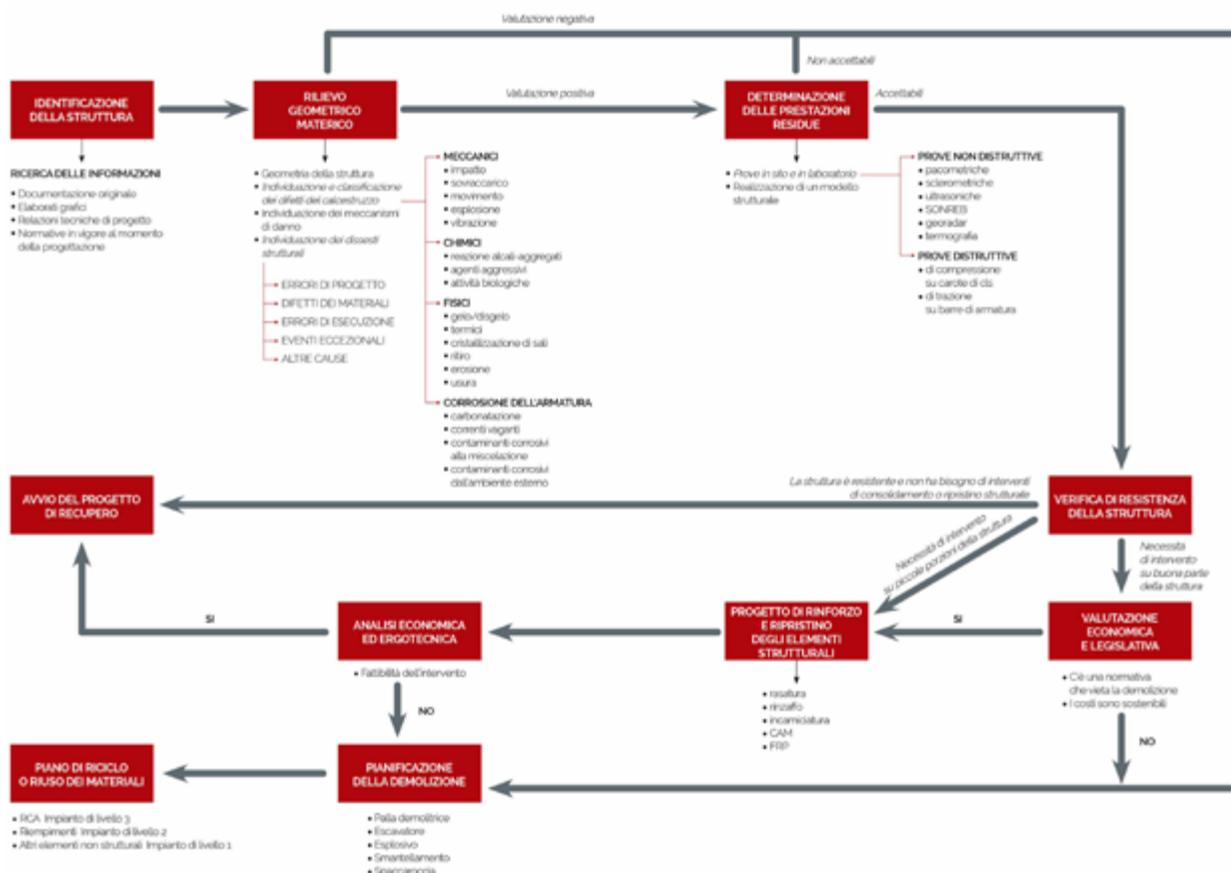


Diagramma di flusso delle fasi valutative delle strutture in calcestruzzo armato incomplete.

impatto ambientale durante la fase di produzione. Valide alternative per il riutilizzo degli aggregati provenienti da calcestruzzo riciclato possono essere gli impieghi come materiali di base per elementi a cui non si richiede una elevata prestazione di resistenza, quali ad esempio camminamenti e muretti per recinzioni, oppure, se frantumati, possono essere impiegati come sottofondi di livellamento (solo se l'aggregato non contiene contaminanti che possono compromettere la qualità del suolo o delle acque sotterranee).

Tutti gli aspetti sopra richiamati possono essere riassunti all'interno di un diagramma di flusso, che comprende tutte le fasi che si rendono necessarie nell'affrontare il tema del riutilizzo di una struttura edilizia esistente, anche dal punto di vista economico. Sulla base di questo diagramma logico, è stata elaborata una matrice decisionale, che

costituisce uno strumento utile sia ai tecnici del settore, ma anche a coloro che non direttamente coinvolti in ambito edilizio, per poter stabilire se una struttura incompiuta è o non è recuperabile.

Tale matrice è stata organizzata prendendo in considerazione cinque parametri:

- l'entità del degrado, indicato come lieve (meno del 15% della struttura), modesto (meno del 50% della struttura), o esteso (più del 50% della struttura);
- l'estensione in pianta della struttura in esame (inferiore a 1.000 m2, compresa tra 1.000 e 1.500 m2, oppure maggiore di 1.500 m2);
- la reperibilità delle informazioni di progetto, quali normative di riferimento utilizzate nell'anno di realizzazione della struttura, disegni tecnici, etc.;
- il periodo di esposizione della struttura (se più o meno di dieci anni);

• la necessità di adeguamenti strutturali e/o sismici. I due parametri relativi alla fattibilità economica e ai vincoli urbanistici/legislativi, non vengono riportati, in quanto sarebbero delle situazioni limite: da una parte la struttura non sarebbe mai recuperabile, mentre dall'altra l'esistenza di vincoli porta in ogni caso al recupero della struttura. Alcune situazioni intermedie sono di complessa determinazione: questi casi limite possono dipendere anche da altri fattori, come ad esempio l'effettiva necessità del recupero di una specifica struttura in base alle richieste avanzate in merito, oppure situazioni di degrado che interessano solo piccole porzioni del fabbricato ma che sono di significativa entità.

Tutti questi casi saranno da approfondire più nel dettaglio al fine di poter definire la più appropriata tipologia di intervento.