

La sostenibilità in edilizia ed i metodi di valutazione: l'esperienza della ricostruzione post-sisma a L'Aquila

D. Asprone¹, C. Pascale², A. Prota³, E. Rubino⁴, G. Manfredi⁵ ■

Sommario

La sostenibilità rappresenta la sfida principale per la società contemporanea. Il concetto di sostenibilità deve diventare il fulcro dello sviluppo delle aree urbane e la progettazione in campo edilizio deve essere condotta seguendo un approccio che garantisca la sostenibilità ambientale, sociale ed economica degli interventi. Ma sostenibilità non deve limitarsi ad essere interpretata come risparmio energetico; essa deve includere al suo interno il concetto di sicurezza e benessere sociale. L'articolo, pre-

sentando ed analizzando i principali sistemi di valutazione della sostenibilità disponibili, analizza e discute questi aspetti. È anche descritta l'esperienza del Progetto C.A.S.E. (Complessi Antisismici Sostenibili Ecocompatibili), realizzato nella fase di ricostruzione a seguito del sisma de L'Aquila del 2009, in cui sono state condotte valutazioni di sostenibilità degli edifici realizzati. In conclusione è sottolineato il ruolo che deve avere la ricerca scientifica per favorire uno sviluppo sostenibile degli interventi edilizi e dell'ambiente costruito.

1. Introduzione

La sostenibilità è oggi riconosciuta come uno dei requisiti fondamentali per lo sviluppo della società contemporanea. Il concetto di sostenibilità è evocato per caratterizzare e definire il rapporto ottimale tra uomo e natura, in qualsiasi forma esso si realizzi. Dall'utilizzo delle risorse naturali, allo sviluppo di tecnologie e prodotti, fino allo sviluppo delle città ed all'utilizzo del territorio la sostenibilità costituisce un requisito essenziale per il governo delle trasformazioni e dei processi coinvolti. Eppure il concetto di sostenibilità è estremamente complesso e la corretta implementazione di processi o trasformazioni "sostenibili" può essere estremamente ardua. La sostenibilità dello sviluppo mira, infatti, nella sua accezione più vasta, a governare un sistema complesso di soggetti ed entità, rappresentate dall'uomo e dalla società da un lato e dall'ambiente e dalle risorse naturali dall'altro, distinte nello spazio e nel tempo, connesse da relazioni complesse e conflittuali tra loro. Quindi un processo o una trasformazione che giova ad un gruppo di individui interagendo con l'ambiente e con le risorse naturali a disposizione può nuocere all'ambiente o ad un altro gruppo di individui, vicini o lontani, nello spazio e nel tempo. Lo sviluppo sostenibile viene

perseguito ed implementato, quindi riconoscendo quali sono le forze in gioco nelle relazioni tra individuo, società e natura e trovando tra queste un equilibrio. Pertanto, il concetto di sostenibilità può essere scomposto in un gruppo di concetti, che costituiscono le regole per lo sviluppo sostenibile, così come oggi concepito:

- Lo sviluppo sostenibile persegue contemporaneamente lo sviluppo economico della società, il benessere sociale degli individui e la salvaguardia dell'ambiente, sia attuali che futuri.
- Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni delle generazioni presenti senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni.
- Il tasso di utilizzazione di qualsiasi risorsa non deve superare il tasso di rigenerazione della risorsa stessa.

Il concetto di sostenibilità viene delineato e definito nella sua forma attuale negli anni ottanta, come risultato di un processo avviato da un gruppo di economisti tra i cui esponenti maggiori si ricordano Herman Daly e Robert Costanza. Essi tennero a Stoccolma nel 1984 un simposio dal titolo "Integrating Ecology and Economics" (Jansson, 1984) che avviò un

¹ Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Università di Napoli "Federico II" - ✉ d.asprone@unina.it

² Consorzio TRE, Napoli - ✉ carmine.pascale@consorziotre.it

³ Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Università di Napoli "Federico II" - ✉ andrea.prota@unina.it

⁴ Consorzio TRE, Napoli - ✉ ennio.rubino@consorziotre.it

⁵ Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Università di Napoli "Federico II" - ✉ gaetano.manfredi@unina.it

dibattito tra economisti ed ecologisti che ha poi condotto al Rapporto Bruntland dell'ONU del 1987 (WCED, 1987); con quest'ultimo è stata posta una prima definizione compiuta di sviluppo sostenibile e sono stati portati alla ribalta del mondo politico i problemi connessi alla sostenibilità dello sviluppo, che hanno poi portato alle conferenze di Rio nel 1992 e di Kyoto nel 1997. Tra coloro che diedero un importante impulso all'evoluzione del concetto di sostenibilità va ricordato il Prof. Enzo Tiezzi, ordinario di Chimica fisica presso l'Università di Siena, scomparso recentemente, scienziato di fama mondiale, unico italiano a partecipare con Daly e Costanza negli anni ottanta al dibattito sullo sviluppo sostenibile e primo ad introdurre in Italia il concetto di sviluppo sostenibile. Tiezzi, nella sua principale opera "Tempi storici, tempi biologici" (1984) ha teorizzato uno degli aspetti essenziali della società contemporanea che genera la necessità di uno sviluppo sostenibile, ovvero il conflitto tra i rapidi tempi storici dello sviluppo delle società e delle trasformazioni umane ed i lenti tempi biologici dei cicli e delle trasformazioni della natura, dell'ambiente e delle risorse di cui l'uomo ha bisogno. Secondo Tiezzi, alla base della crisi ambientale vi è questo conflitto, cui l'uomo prima d'ora nella sua storia non aveva mai dovuto far fronte. Da ciò, secondo Tiezzi, nasce quindi la necessità di ripensare le regole dello sviluppo, perseguendo la sostenibilità di ogni trasformazione che venga operata dall'uomo nella società e nell'ambiente.

Utilizzando l'approccio di Tiezzi, quindi, è facile riconoscere come uno delle maggiori espressioni del conflitto tra tempi storici e tempi biologici risieda nelle città. Le città costituiscono il luogo in cui si condensano le trasformazioni urbane, in cui l'ambiente naturale viene completamente azzerato per dar luogo all'ambiente "costruito" ed in cui la sfida della sostenibilità diventa più ardua ma essenziale. La città "sostenibile" rappresenta la sfida dei nostri giorni. Si tratta di un concetto particolarmente sentito in Europa in cui l'ambiente costruito si connota di un fortissimo valore storico che impone la necessità della conservazione del tessuto urbano. E non a caso la Comunità Europea promosse nel 1994 la Prima Conferenza Europea sulle Città Sostenibili, tenutasi ad Aalborg, in Danimarca, che diede luogo alla Carta di Aalborg (1994), sottoscritta da numerosissime amministrazioni locali europee; con tale atto i governi locali si impegnarono ad adottare l'Agenda 21 locale (1992), un piano promosso dalle Nazioni Unite

durante la conferenza di Rio del 1992, per perseguire una pianificazione dello sviluppo delle città e dei territori durevole e sostenibile.

All'interno di questa sfida, per lo sviluppo sostenibile delle città, un ruolo fondamentale è assunto dal mondo delle costruzioni e dell'edilizia. Il peso delle costruzioni nel generare la "insostenibilità" delle città e dei territori o in generale dello sviluppo della società è elevatissimo, perché elevatissime è il valore delle costruzioni nella società contemporanea. Ciò è particolarmente vero per le società europee, ed in particolare per la società italiana, laddove la città ed il territorio sono quasi sempre caratterizzati da un significato storico dal quale non si può prescindere; inoltre in Italia la risorsa spazio è una risorsa più che altrove limitata, con ritmi di rigenerazione molto lunghi ed il governo delle trasformazioni nelle città e nei territori diventa quindi estremamente complesso.

Per comprendere ed apprezzare il valore delle costruzioni, nella società italiana in particolare, coerentemente con l'approccio alla sostenibilità, questo va visto nei suoi aspetti economici, sociali ed ambientali. L'elevato valore economico è comprovato dall'aliquota di PIL italiano generato dal settore delle costruzioni, pari a circa il 10%, con una crescita annua costantemente superiore al PIL dal 1970, come rilevato da dati della Banca d'Italia. I lavoratori nel settore delle costruzioni sono circa 2 milioni. Diversamente però da quanto accade in altri Paesi il 60% del fatturato del settore delle costruzioni è legato ad attività di manutenzione e riqualificazione del vastissimo patrimonio edilizio esistente. Il valore sociale assunto dal settore delle costruzioni è invece dimostrato dal fatto che ogni anno si realizzano in media 230000 nuove abitazioni, a fronte di una domanda di 130000 nuove famiglie all'anno. Dei circa 4 miliardi di metri cubi del patrimonio edilizio italiano, poi, l'edilizia residenziale copre il 58% del totale, mentre il 28% delle superfici utilizzate è destinato al terziario, il 10% al settore produttivo e il 4% ad altri usi. Attualmente poi in Italia sono presenti 27 milioni di abitazioni per 21 milioni di famiglie. Il valore ambientale, invece, può essere compreso considerando che il 22% dei consumi di energia in Italia sono direttamente o indirettamente legati al mondo edilizio, mentre con riferimento alla risorsa territorio si consideri che ogni anno 250000 ha di suolo sono occupati per realizzare nuove costruzioni ed infrastrutture, come rilevato da dati dell'Agenzia del territorio.

2. Un nuovo approccio al concetto di sostenibilità in edilizia

Alla luce di quanto evidenziato, la sostenibilità nel settore delle costruzioni va perseguita analizzando e governando le ricadute degli interventi e delle trasformazioni sui piani economico, sociale ed ambientale, sia al momento della realizzazione degli interventi che durante la vita utile degli interventi stessi e durante la loro dismissione. Troppo spesso, soprattutto in edilizia il requisito della sostenibilità viene ridotto e confuso con soli requisiti ambientali o energetici. Infatti, a causa anche di un quadro normativo non ancora definito ed a causa di procedure e metodi di valutazione della sostenibilità non ancora affermati, spesso un intervento edilizio viene definito sostenibile solo se in qualche modo determina un risparmio energetico in una fase della vita utile dell'intervento stesso. La sostenibilità invece deve risiedere nel raggiungimento di un equilibrio ottimale tra il soddisfacimento, in diversi momenti nel tempo, di requisiti economici, ambientali e sociali, spesso in conflitto tra loro.

La realizzazione di un nuovo edificio, ad esempio, può ritenersi sostenibile se in qualche misura soddisfa requisiti che afferiscono, intersecandosi tra loro, alle sfere economica, sociale ed ambientale. La Figura 1 riporta in un grafo alcuni tra i principali requisiti per la sostenibilità di interventi edilizi, mostrando come questi si riferiscano contemporaneamente ad aspetti economici, ambientali e sociali. Tale figura riporta anche definizioni che compongono il concetto di sostenibilità e che provengono dall'intersezione di tali requisiti. Ecco quindi che un intervento edilizio è sostenibile se è:

- *equo*, ovvero soddisfa requisiti sociali ed economici;
- *realizzabile*, ovvero soddisfa requisiti economici ed ambientali;
- *vivibile*, ovvero soddisfa requisiti ambientali e sociali.

La valutazione, quindi, del livello di soddisfacimento di tutti questi requisiti può fornire quindi una valutazione del benessere sociale, ambientale ed economico indotti dall'intervento edilizio in esame, ovvero una valutazione del grado di sostenibilità dello stesso. Tali valutazioni vanno però condotte facendo riferimento a differenti punti di vista, cercando di considerare il benessere, le richieste e gli interessi posti dai diversi attori coinvolti nel processo di trasformazione determinato dall'intervento edilizio. I decisori ed i progettisti che governano i processi di trasformazione devono quindi far fronte a richieste conflittuali tra loro provenienti da attori diversi, tra le quali va trovato un equilibrio sostenibile per tutti. Ad esempio, la realizzazione di una nuova struttura non è totalmente sostenibile se si verificano le seguenti situazioni:

- se non è economicamente conveniente, perché non soddisfa gli interessi degli investitori;
- se la realizzazione presenta dei rischi per gli operatori coinvolti, perché non ne soddisfa le richieste di sicurezza;
- se la struttura non è in grado di offrire un sufficiente livello di sicurezza e di benessere per gli utilizzatori, ovvero per gli occupanti;
- se la realizzazione della struttura può nuocere al benessere di alcuni gruppi, attraverso l'approvvigionamento di risorse naturali o a causa dell'immissione nell'ambiente di sostanze o elementi nocivi;
- se le funzioni che si condurranno nella struttura possono nuocere al benessere di gruppi vicini, in qualche modo coinvolti dalla struttura stessa;
- se la dismissione della struttura può inquinare l'ambiente, perché comprometterà l'utilizzo di risorse naturali da parte di generazioni future.

L'individuazione di punti di vista sociali diversi costituisce una delle chiavi per interpretare ed implementare scelte sostenibili nella progetta-

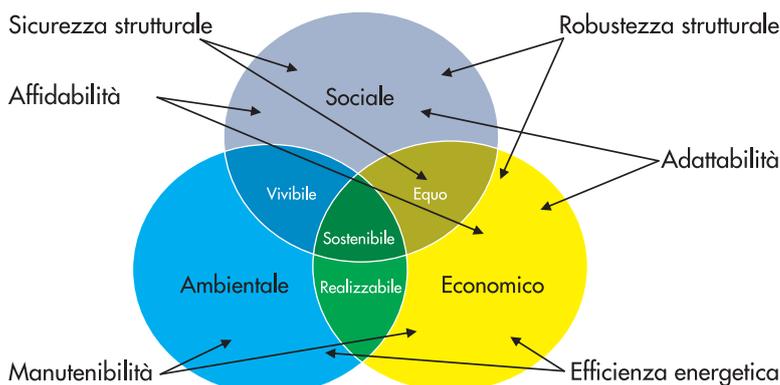


Figura 1
Requisiti per la sostenibilità di un intervento edilizio.

zione di interventi edilizi.

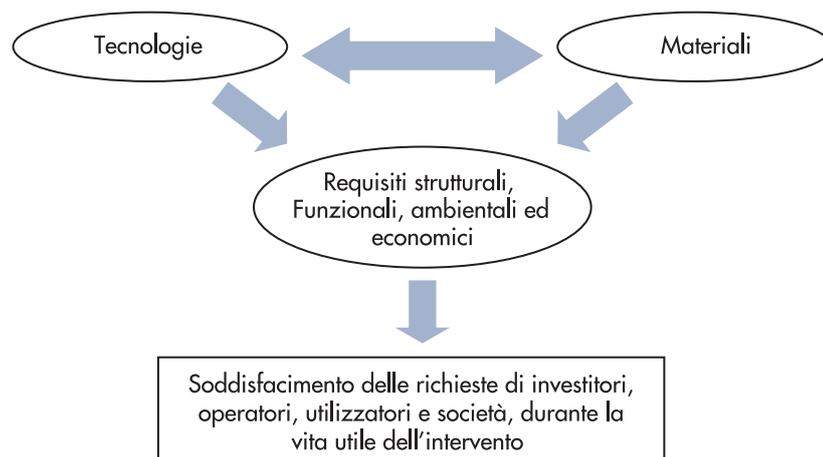
Ripercorrendo poi il "triangolo della sostenibilità", ovvero economia, ambiente e società, è facile riconoscere che spesso sono proprio i requisiti sociali a non essere percepiti come fondamentali. Da un lato infatti i requisiti economici sono naturalmente soddisfatti dalle regole del mercato che governano la nostra società. Gli interventi edilizi non possono realizzarsi se non economicamente sostenibili. D'altra parte requisiti ambientali ed energetici vengono giustamente riproposti ed imposti con forza, nelle scelte operate da decisori e progettisti che intendono realizzare interventi sostenibili. Tecniche e tecnologie in grado di ridurre i consumi energetici o di integrare fonti energetiche rinnovabili vengono richieste ed introdotte in interventi edilizi definiti sostenibili, al punto che spesso la sostenibilità in senso generale viene fatta coincidere con la sostenibilità ambientale. Allo stesso modo purtroppo nel mondo delle costruzioni non viene dato il giusto spazio ai requisiti sociali, che pure compongono e completano il requisito della sostenibilità degli interventi edilizi. Oltre al benessere ed alla soddisfazione degli utilizzatori di un intervento, che naturalmente possono essere considerati come misura della qualità di un intervento, anche altri requisiti dovrebbero comporre la sostenibilità sociale, relativi a diversi attori coinvolti nel processo di trasformazione. Vanno quindi considerati, per gli interventi edilizi, diversi requisiti quali:

- *l'affidabilità*, ovvero la capacità di fornire le prestazioni richieste nel periodo di vita e nelle condizioni di esercizio;
- *la manutenibilità*, ovvero la capacità di subire modifiche e riparazioni con impatti minimi sugli utilizzatori;
- *l'adattabilità*, ovvero la prontezza nel fornire prestazioni diverse adeguate alla richiesta esterna;

- *la durabilità*, ovvero la capacità di mantenere invariate durante la vita utile le prestazioni offerte;
- *la sicurezza strutturale*, ovvero la capacità di garantire le prestazioni di progetto durante l'intera vita utile senza conseguenze catastrofiche o danni;
- *la robustezza strutturale*, ovvero la capacità di limitare i danni e le conseguenze in presenza di situazioni eccezionali, quali azioni naturali od antropiche estreme;
- *la fidatezza*, ovvero la capacità di essere percepiti come affidabili e sicuri da parte degli utilizzatori (Arangio et al., 2010).

La necessità di dare centralità alla componente sociale viene giustificata da eventi quali il sisma de L'Aquila dell'aprile 2009 o altri eventi spesso luttuosi legati a dissesti idrogeologici che spesso si verificano in Italia. Infatti, una costruzione che per effetto di eventi naturali comunque prevedibili in senso probabilistico, quali sisma, frane o alluvioni, subisca danni tali da determinare morti tra gli occupanti non può considerarsi sostenibile. Il perseguimento della sostenibilità nel mondo delle costruzioni deve quindi prevedere come requisito fondamentale quello della sicurezza degli utilizzatori anche in situazioni eccezionali. La riduzione dei rischi e la sicurezza strutturale devono essere quindi visti come aspetti cruciali di una progettazione per la sostenibilità. La centralità della sostenibilità sociale deve però accompagnarsi ad un'esplicita introduzione della variabile tempo nella valutazione del livello di sostenibilità degli interventi. La progettazione sostenibile di un intervento edilizio deve essere una progettazione integrata nel tempo, in cui la sostenibilità va valutata oltre che nella fase di esercizio anche in altri momenti della vita utile dell'intervento, ovvero l'approvvigionamento dei materiali e dei componenti, la manutenzione, le

Figura 2
Raggiungimento della
sostenibilità sociale di
interventi edilizi.



diverse situazioni eccezionali che potranno verificarsi sulla struttura durante la vita utile e la fase della dismissione e dello smaltimento dei materiali e dei componenti. La progettazione deve quindi avvalersi di tecniche di *integrated life-time engineering* ovvero strumenti attraverso i quali trasformare la domanda dei vari attori del pro-

cesso edilizio (investitori, operatori, utilizzatori, società) in requisiti prestazionali che il sistema edilizio deve garantire almeno durante l'intera vita utile prevista (Figura 2). Ciò si trasforma in ricerca e sviluppo di tecnologie e materiali in grado offrire specifiche prestazioni, con bassi costi economici, ambientali e sociali.

3. Tecniche e metodi di valutazione della sostenibilità in edilizia

Negli ultimi anni sono stati profusi notevoli sforzi per lo sviluppo di sistemi di valutazione delle sostenibilità edilizia allo scopo di fornire, agli utenti ed agli investitori, un'indicazione precisa della performance dell'edificio in termini di sostenibilità. Dall'analisi dei criteri e delle tecniche di valutazione adottate si può avere una definizione oggettiva di cosa si intende comunemente per sostenibilità di una costruzione.

Esistono diversi sistemi, nati per le singole realtà nazionali, che vengono adoperati oggi a livello internazionale per la valutazione della sostenibilità degli edifici.

Tra i primi è da segnalare il britannico BREEAM (Building Research Establishment - Environmental Assessment Method, 2009), sviluppato a partire dai primi anni novanta, ampiamente usato nei paesi anglosassoni; esso è basato sulla valutazione di una serie di parametri riferiti a 9 categorie (Ding, 2008; Larsson, 1998):

1. i consumi energetici e le emissioni di CO₂;
2. i consumi di acqua potabile;
3. le tipologie di materiali utilizzati;
4. la gestione delle acque meteoriche;
5. i sistemi di smaltimento dei rifiuti solidi;
6. gli inquinanti;
7. la salubrità ed il benessere interno;
8. la gestione e manutenzione dell'edificio;
9. gli aspetti ecologici connessi al sito ed all'edificio.

A valle della verifica di alcuni criteri obbligatori propedeutici, la valutazione consiste nell'analisi, per ogni categoria, di una serie di parametri a cui sono associati dei punteggi, in funzione del livello soddisfacimento di specifici requisiti. Ogni categoria ha un peso all'interno del sistema di valutazione e contribuisce alla definizione del un punteggio pesato globale. Il giudizio finale viene espresso attraverso l'assegnazione ad un livello di prestazione che può variare da una a sei stelle, in funzione di intervalli predefiniti di valori di punteggio finale.

In Francia, un notevole utilizzo ha avuto il sistema di certificazione HQE (Haute Qualité Environmental - Certivéa, 2008); esso si basa

sulla valutazione dell'effettivo raggiungimento di 14 obiettivi e sotto-obiettivi divisi in 4 famiglie:

1. il sito e le modalità di costruzione;
2. la gestione e manutenzione energetica, delle acque e dei rifiuti;
3. il comfort;
4. gli aspetti sanitari.

La valutazione prevede tre profili di prestazione, il profilo *Base*, che corrisponde alla performance ambientale minima, valutata in funzione del rispetto delle normative e della pratica costruttiva corrente, il profilo *Performant*, che corrisponde alla migliore pratica corrente, ed il profilo *Tres Performant*, che è calibrato in funzione delle prestazioni massime ottenibili valutando i diversi obiettivi considerati. Condizione obbligatoria per l'acquisizione della certificazione è il raggiungimento del livello *Tres Performant* per un gruppo specifico di obiettivi.

In Germania il sistema di certificazione GESBC - German Sustainable Building Certificate (DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, 2009), fornisce degli strumenti di valutazione degli edifici terziari e si basa su sei gruppi di criteri che descrivono:

1. la qualità ecologica;
2. la qualità economica;
3. gli aspetti socio-culturali e funzionali;
4. la qualità tecnica;
5. la qualità del processo di costruzione;
6. la qualità del sito.

La valutazione dei singoli criteri è svolta con il supporto di appositi database, basati sui risultati delle LCA (Life Cycle Analysis, analisi di impatto ambientale relative al ciclo di vita) e delle valutazioni di LCC (Life Cycle Cost, analisi economiche relative al ciclo di vita), relativi a materiali e componenti da costruzione. Tra i criteri di valutazione della qualità del sito sono presi in considerazione anche gli aspetti connessi alla pericolosità di sito che gli altri sistemi trascurano. Il punteggio complessivo viene assegnato attribuendo ad ogni criterio uno specifico punteggio. Il giudizio finale, espresso in percentuale, si traduce nell'assegnazione ad una delle tre categorie previste, *bronzo*, *argento* ed *oro*, trascurando la valutazione della qualità del sito che

viene sintetizzata da un giudizio integrativo.

Tra i sistemi di certificazione a diffusione internazionale un ruolo prioritario è ricoperto dall'americano LEED, sviluppato dall'USGBC (U.S. Green Building Council) (Ding, 2008; USGBC, 2009). Questo sistema, come gli altri analizzati in precedenza, si basa sulla valutazione del raggiungimento di una serie di requisiti aggregati per tipologia, in questo caso:

1. la sostenibilità del sito;
2. la gestione delle acque;
3. l'utilizzo di energia e l'impatto sull'atmosfera;
4. la qualità ambientale interna;
5. l'innovazione nella progettazione;
6. le caratteristiche tecniche regionali.

Alcuni di tali requisiti sono considerati obbligatori; ad altri invece vengono associati dei crediti in funzione del peso che questi ricoprono nella valutazione complessiva. Il punteggio finale viene espresso dalla somma dei crediti acquisiti fino ad un massimo di 110 punti; in base al punteggio complessivo viene attribuita la certificazione *base*, *silver*, *gold* o *platinum*.

Un altro dei sistemi di valutazione più diffusi a livello internazionale è quello proposto dalla iSBE (international initiative for a Sustainable Built Environment - Larsson, 2001); questo sistema si basa sulla prestazione dell'edificio rispetto ad una serie di criteri raggruppati in categorie a loro volta aggregate in diverse aree di valutazione principali, ovvero:

1. la qualità del sito;
2. il consumo di risorse;
3. i carichi ambientali;
4. la qualità ambientale indoor;
5. la qualità del servizio.

La combinazione dei punteggi assegnati ad ogni criterio, consente la definizione di un punteggio sintetico complessivo per l'intero edificio. L'analisi si basa sulla valutazione comparativa rispetto a dei valori di soglia predefiniti. Il giudizio può variare tra i valori 0 e 5: il valore 0 rappresenta la prestazione minima accettabile definita da leggi o regolamenti vigenti, e, in generale, rappresenta la pratica costruttiva corrente; il valore 3 indica un significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica comune, ed è da considerarsi come la migliore pratica edificatoria normalmente ottenibile; il valore 5 rappresenta una prestazione considerevolmente avanzata rispetto alla migliore pratica corrente, di carattere essenzialmente sperimentale.

A valle della descrizione dei diversi sistemi di valutazione e certificazione della sostenibilità degli interventi in edilizia, si può osservare come per tutti rivestano particolare importanza gli impatti sull'ambiente, espressi in termini di consumi energetici o di emissioni in atmosfera, di consumi di materiali da costruzione e di produzione di rifiuti; un contributo importante alla valutazione è poi costituito dagli impatti degli interventi edilizi sugli utenti, espressi in termini di salubrità, comfort e benessere interno degli ambienti. La stessa importanza non è invece data alla sicurezza degli utenti, che viene indirettamente computata in alcuni dei metodi analizzati attraverso la valutazione delle caratteristiche del sito ed in particolare delle pericolosità ad esso associate. Rivestono invece grande peso, in tutti i sistemi di certificazione, i materiali ed i componenti utilizzati: viene, infatti, premiato l'uso di materiali di provenienza locale, di recupero o riciclati, così come l'uso di legno certificato; ovvero l'uso di soluzioni che consentano sia di minimizzare l'energia inglobata che le emissioni di CO₂ ed allo stesso tempo assicurino la salubrità ed il benessere interno degli ambienti. Con l'intento di omogeneizzare le procedure di valutazione, appare evidente come un approccio comune da proporre possa essere rappresentato da procedure di valutazione LCA, sia per i materiali che per i componenti utilizzati. Il limite di un tale approccio è dovuto però alla difficoltà di effettuare, per tutti i materiali ed i componenti edilizi, una valutazione LCA completa, che di fatto risulterebbe estremamente onerosa. In tale direzione vanno le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD) che, basandosi sui risultati di una LCA relativa allo specifico prodotto (regolata dalla norma ISO 14040:2006 (ISO 14040, 2006)), fornisce dei dati certificati da includere nelle valutazioni complessive.

Per i prodotti da costruzione è stata redatta, nello specifico, la norma ISO 21930:2007 che definisce i criteri specifici per la redazione della EPD e si inquadra in un gruppo di norme che, attraverso la reazione della ISO 15392:2008, relativa alla definizione dei principi generali per la valutazione di sostenibilità delle costruzioni edili, ha consentito la redazione della ISO 21931-1:2010 relativa alla prestazione ambientale degli edifici e che potrebbe costituire il futuro strumento internazionale di riferimento per la valutazione della sostenibilità degli interventi edilizi.

4. Il caso studio de L'Aquila: il Progetto C.A.S.E.

A L'Aquila in occasione degli interventi di ricostruzione a seguito del sisma del 6 aprile 2009, attraverso il Progetto C.A.S.E. (Complessi Antisismici Sostenibili Ecocompatibili) (Calvi e Spaziant, 2009) si è adoperata una strategia di intervento post-sisma che, saltando la fase di sistemazione temporanea in moduli prefabbricati, consentisse da subito alla cittadinanza di usufruire di alloggi dalle caratteristiche qualitative confrontabili con l'edilizia definitiva. Lo sforzo, in particolare, è stato quello di considerare, oltre alle esigenze di sicurezza, anche quelle di sostenibilità ed eco compatibilità degli interventi, per consegnare alla popolazione edifici di elevato livello qualitativo. La sostenibilità degli interventi è stata valutata con i diversi sistemi di certificazione o valutazione, che in Italia convivono come accade a livello internazionale: il Protocollo ITACA (2010) ed il sistema di valutazione LEED.

Il Protocollo ITACA è uno strumento di valutazione che si basa sul protocollo iSBE descritto nel paragrafo precedente. In Italia rappresenta uno strumento a valenza istituzionale; è stato sviluppato dal Gruppo di lavoro sulla Bioedilizia dell'Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale (ITACA) ed è stato approvato nel 2004 dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e Province Autonome Italiane. È stato costantemente aggiornato fino ad oggi e specializzato per diverse realtà regionali; non essendo però disponibile una versione per l'Abruzzo, la valutazione di sostenibilità degli interventi del Progetto C.A.S.E. è stata svolta utilizzando il Protocollo ITACA della Regione Marche.

Il Progetto C.A.S.E. ha previsto l'urbanizzazione di 19 aree su cui sono stati realizzati 185 edifici isolati sismicamente. Ai diversi livelli di progettazione, da quella urbanistica preliminare a quella esecutiva degli edifici, fino alla progettazione delle aree a verde, gli aspetti connessi alla sostenibilità ed eco-compatibilità degli interventi sono stati analizzati ed affrontati parallelamente alla definizione delle soluzioni tecniche per la riduzione del rischio sismico. L'approccio sostenibile degli interventi ha consentito la riduzione degli impatti degli edifici sull'ambiente e l'incremento dei benefici per gli abitanti sia da un punto di vista della sicurezza che della vivibilità delle abitazioni. Visti i tempi ridotti a disposizione per la realizzazione degli edifici, nella definizione di "sostenibilità" degli interventi è stato attribuito un peso rilevante anche agli aspetti connessi alla velocità di realizzazione:

una volta definita la soluzione dell'isolamento sismico, sono state privilegiate quindi quelle soluzioni che, nelle diverse fasi costruttive, avessero consentito di minimizzare i tempi di esecuzione. L'individuazione delle aree ha costituito il punto di partenza delle attività ed è stata svolta tenendo conto sia della loro compatibilità geologica e geotecnica che del loro livello di urbanizzazione.

In fase di progettazione urbanistica si è mirato alla minimizzazione delle aree impermeabilizzate ed alla definizione dell'esposizione ottimale per tutti gli edifici, in modo da consentire il massimo sfruttamento dell'illuminazione ed aerazione naturale, oltre che per massimizzare la resa degli impianti solari previsti su tutti gli edifici. È stata prevista la raccolta delle acque meteoriche che, dalle pluviali degli edifici, vengono convogliate in appositi serbatoi interrati per essere reimpiegate nell'irrigazione delle aree a verde. I percorsi sono stati progettati per evitare l'interazione tra pedoni, veicoli a motore e biciclette, e per garantire comunque l'accessibilità a tutti gli edifici da parte dei diversamente abili. Sia per le coperture che per le pavimentazioni sono state previste colorazioni tali da ridurre l'effetto isola di calore sulle aree circostanti.

I progetti selezionati per la realizzazione degli edifici sono in totale 16; di questi 8 progetti hanno previsto la realizzazione di edifici con struttura portante in legno, 6 progetti una soluzione con struttura portante in calcestruzzo, prefabbricato o in opera, e 2 progetti la realizzazione di edifici con struttura in acciaio. Gli involucri degli edifici sono costituiti da elementi di chiusura in legno, calcestruzzo, pannelli fibrorinforzati, pareti ventilate o intonacate; l'isolamento termico è stato assicurato sia con materiali naturali quali fibra di legno, sughero, lana di roccia, che con materiali sintetici come polistirene, polistirolo o poliuretano. Gli infissi sono stati realizzati in legno, alluminio o pvc. Ad una tale variabilità di sistemi costruttivi e materiali corrisponde l'adozione di una serie di soluzioni impiantistiche comuni che assicurano la minimizzazione dei consumi energetici e di acqua potabile. L'impianto di riscaldamento di tutti gli edifici prevede uno schema composto da un'unica centrale termica, da un impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria (che copre almeno il 50% del fabbisogno) e di una sottocentrale di accumulo e miscelazione; la contabilizzazione dei consumi è affidata a satelliti di utenza separati per ogni unità immobiliare. La distribuzione interna avviene preva-

lentamente attraverso impianti radianti a pavimento, o pannelli radianti a soffitto, fan-coil e radiatori tradizionali. In tutte le unità immobiliari è previsto l'installazione di lavatrici e lavastoviglie con doppia alimentazione d'acqua calda e fredda, per poter utilizzare gli elettrodomestici di ultima generazione a risparmio energetico; tutti i bagni sono dotati di sciacquoni a doppio tasto per il dosaggio dei flussi di scarico e tutti gli erogatori di acqua sono dotati di dispositivi di aerazione per la riduzione dei consumi di acqua potabile.

Con riferimento al sistema di valutazione ITACA, va sottolineato che esso è per sua natura un sistema estremamente versatile e prevede la possibilità, in funzione delle diverse condizioni, di escludere dal protocollo completo la valutazione di alcuni parametri. Nella valutazione degli interventi del Progetto C.A.S.E., quindi, sono stati esclusi dalla valutazione gli aspetti connessi alla Qualità del Sito, perché i vari progetti sono stati realizzati in più siti preassegnati, e la realizzazione della fondazione in c.a., comune a tutti gli interventi.

Come per il protocollo iSBE, nel protocollo ITACA, il giudizio può variare tra i valori 0 e 5: il valore 0 rappresenta la prestazione minima accettabile definita da leggi o regolamenti vigenti, e, in generale, rappresenta la pratica costruttiva corrente; il valore 3 rappresenta un significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica comune, ed è da considerarsi come la migliore

pratica edificatoria normalmente ottenibile; il valore 5 rappresenta una prestazione considerevolmente avanzata rispetto alla migliore pratica corrente, di carattere essenzialmente sperimentale. Sono state quindi svolte due diverse valutazioni: la prima ottenuta ponendo pari a 0 i punteggi relativi alla valutazione della Qualità del Sito, la seconda escludendo completamente tale valutazione e ridistribuendo sugli altri parametri i relativi punteggi. I risultati dell'analisi dei diversi progetti (Tabella 1) hanno confermato la validità complessiva delle proposte, che in entrambe le valutazioni hanno riportato punteggi che variano tra 1.9 e 3.4.

L'utilizzo dello standard LEED è stata possibile, invece, solo per alcune delle proposte progettuali, per mancanza di alcuni dati e informazioni, ma ha confermato i risultati lusinghieri riportati da tutte le soluzioni valutate con l'applicazione del Protocollo ITACA, come evidenziato in Tabella 1.

La Tabella 2 riporta, rispetto ad una tecnica realizzativa di riferimento per la zona in esame, costituita da un edificio intelaiato in c.a. con tamponature in laterizio, le variazioni percentuali introdotte dalle diverse soluzioni adoperate in termini di:

- Energia inglobata nei materiali, ovvero l'energia necessaria per la produzione ed il trasporto sul sito dei materiali adoperati;
- Trasmittanza termica dell'involucro edilizio;
- Energia primaria per il riscaldamento.

La Tabella 3 aggrega tali dati per tipologia

Tabella 1 - Risultati delle valutazioni ITACA e LEED

Edificio	Struttura	Val. ITACA		Val. LEED
		Val. 1*	Val. 2**	
1	Legno	3.24	3.41	65/110 ORO
2	Legno	3.23	3.41	=
3	Calcestruzzo	3.23	3.40	70/110 ORO
4	Legno	3.17	3.34	70/110 ORO
5	Acciaio	3.11	3.28	67/110 ORO
6	Legno	3.08	3.25	=
7	Legno	3.03	3.20	=
8	Legno	2.99	3.16	=
9	Legno	2.91	3.06	63/110 ORO
10	Legno	2.81	2.96	=
11	Calcestruzzo	2.59	2.71	64/110 ORO
12	Acciaio	2.53	2.66	61/110 ORO
13	Calcestruzzo	2.46	2.60	=
14	Calcestruzzo	2.33	2.46	=
15	Calcestruzzo	2.26	2.38	=
16	Calcestruzzo	1.90	2.00	=

* Ponendo nulli i contributi relative alla qualità del sito

** Distribuendo sugli altri parametri i contributi relativi alla qualità del sito

strutturale. Analizzando tali dati sono evidenti due aspetti.

In primo luogo, con riferimento all'energia inglobata nei materiali, si sono riscontrati dei benefici rispetto alla pratica costruttiva corrente per gli edifici in legno mentre per gli edifici in calcestruzzo, ed in acciaio, i valori risultano in media superiori rispetto alla tecnica realizzativa di riferimento. Inoltre, per quanto riguarda le

prestazioni energetiche in termini di trasmittanza termica dell'involucro edilizio, risulta evidente che, indipendentemente dalla tipologia strutturale, tutte le soluzioni analizzate hanno consentito prestazioni energetiche sensibilmente superiori alla media ed ai vincoli normativi arrivando ad acquisire la classe massima (classe A) secondo la certificazione energetica, ai sensi del D.P.R. 58/2009 (D.P.R. 2/4/2009 n. 59).

Tabella 2 - Dettaglio delle prestazioni in termini energetici rispetto a tecniche costruttive di riferimento per ciascun intervento

Edificio	Energia inglobata nei materiali	Trasmittanza termica dell'involucro edilizio	Energia primaria per il riscaldamento
1	54.78%	69.56%	53.00%
2	26.40%	71.17%	59.49%
3	78.70%	59.14%	21.58%
4	51.28%	53.69%	43.39%
5	80.00%	53.84%	60.95%
6	67.10%	53.72%	15.79%
7	77.86%	54.82%	29.00%
8	79.01%	70.88%	26.40%
9	96.38%	67.67%	50.86%
10	100.30%	70.27%	63.73%
11	173.92%	73.64%	70.74%
12	157.63%	71.65%	62.52%
13	131.69%	75.24%	61.46%
14	204.06%	93.98%	76.81%
15	127.64%	70.83%	63.64%
16	100.66%	83.32%	42.23%

Tabella 3 - Dettaglio delle prestazioni in termini energetici rispetto a tecniche costruttive di riferimento - analisi aggregate per tipologia strutturale

	Energia inglobata nei materiali	Trasmittanza termica dell'involucro edilizio	Energia primaria per il riscaldamento
Legno	69.14%	63.97%	42.71%
Acciaio	118.82%	62.75%	61.74%
Calcestruzzo	136.11%	76.03%	56.08%

5. Conclusioni

Alla luce di quanto discusso nei paragrafi precedenti appare evidente come, utilizzando il concetto espresso da Tiezzi, la chiave dello sviluppo sostenibile risiede nella risoluzione dei conflitti tra i tempi storici dello sviluppo della società e i tempi biologici di rigenerazione delle risorse naturali. Perché ciò accada, un ruolo essenziale deve essere giocato dalla ricerca. Infatti, in accordo con il pensiero positivista, i conflitti possono essere risolti introducendo scienza e innovazione nei processi di trasformazione dell'uomo, ancor più velocemente di quanto tali processi, prelevando risorse naturali, rendano insostenibile lo sviluppo.

Con riferimento quindi allo sviluppo sostenibile delle città e dei territori, attraverso interventi edilizi sostenibili, il ruolo della ricerca diventa, più che in altri campi, essenziale. Infatti, malgrado costruire sia stata una delle prime attività tecnologiche compiute dall'uomo, la necessità di innovazione in questo campo è oggi altissima, proprio per soddisfare i requisiti di sostenibilità delle costruzioni. In particolare, la ricerca e l'innovazione per l'edilizia sostenibile si muove in diverse direzioni:

- *materiali per le costruzioni;*
- *tecniche di realizzazione degli interventi edilizi;*
- *integrazione di tecnologie;*
- *controllo e gestione;*

- *procedure di valutazione della sostenibilità.* Con riferimento ai materiali per le costruzioni gli sforzi che la ricerca deve compiere sono fondamentali. Basti pensare che il mondo delle costruzioni attraverso l'industria del cemento, la sostanza più consumata al mondo dopo l'acqua, in quantità pari ad una tonnellata per essere umano per anno, produce il 5% delle emissioni di CO₂ complessive. La ricerca di nuovi materiali sostenibili è quindi essenziale, per ridurre il consumo di risorse naturali e quindi l'insostenibilità legata all'approvvigionamento di materiali per le costruzioni. La ricerca anche di nuove applicazioni di materiali naturali, quali le fibre vegetali, può fornire nuove soluzioni sostenibili, cui corrispondono bassi costi ambientali ed economici legati alla produzione. La ricerca di materiali multi prestazionali in grado di offrire performance nei confronti di diverse azioni, meccaniche e fisiche, quali i geopolimeri, le fibre sintetiche, ecc., possono suggerire nuove forme e soluzioni tecnologiche per la realizzazione di elementi e componenti strutturali.

La ricerca deve poi muoversi anche nella direzione delle tecniche realizzative, puntando verso un'industrializzazione sempre maggiore della costruzione, cui corrisponde maggiore sicurezza sul lavoro per gli operatori e quindi maggiore sostenibilità sociale degli interventi. La ricerca in questa direzione deve puntare anche a garantire un maggiore controllo di qualità delle costruzioni, quindi minore aleatorietà delle performance finali degli interventi e maggiore sicurezza per gli utilizzatori. Una maggiore industrializzazione delle tecniche realizzative potrà garantire anche un'ottimizzazione delle fasi di dismissione delle strutture, con minori costi ambientali ed economici per le generazioni future.

La ricerca deve poi operare anche per integrare nelle costruzioni e negli interventi edilizi tecnologie evolute per il risparmio energetico (sistemi di isolamento termico, impianti per l'ottimizzazione dell'utilizzo delle acque, sistemi di illuminazione intelligente, ecc.) e per la produzione di

energia da fonti rinnovabili (impianti fotovoltaici, eolici, geotermici, ecc.). Le costruzioni devono cioè smettere di essere oggetti a basso contenuto di tecnologia, a carattere quasi artigianale, per diventare oggetti in cui integrare tecnologie e componenti altamente sofisticati.

Una direzione fondamentale da percorrere è poi quella legata al controllo ed alla gestione delle costruzioni. Sistemi intelligenti di monitoraggio delle diverse funzioni e prestazioni offerte consentono di ottimizzare la manutenzione e di elevare il grado di sicurezza e benessere per gli utilizzatori. Rientrano in questo campo i sistemi di monitoraggio e controllo strutturale, i sistemi di early warning dei rischi esterni, i sistemi di controllo automatico degli impianti e le tecnologie per la domotica.

Un'ultima direzione importantissima che la ricerca deve percorrere è quella legata alle procedure ed alle metodologie per la valutazione della sostenibilità degli interventi edilizi. Come già evidenziato in precedenza, uno dei principali limiti alla diffusione della cultura della sostenibilità nel mondo delle costruzioni è legato all'assenza di un sistema di regole e procedure chiare ed universalmente accettate per condurre una corretta valutazione di sostenibilità. Un quadro normativo ancora confuso, ma soprattutto l'assenza di una metodologia in grado di cogliere correttamente tutti gli aspetti ed i requisiti che concorrono alla sostenibilità di un intervento edilizio, rappresentano un ostacolo da superare per diffondere la cultura della sostenibilità nel mondo delle costruzioni, cui la ricerca deve trovare una soluzione.

Lo sviluppo sinergico di attività di ricerca e sviluppo in tutte queste direzioni rappresenta il modo concreto con cui è possibile costruire un'edilizia sostenibile risolvendo i conflitti tra tempi storici di sviluppo delle città e dei territori ed i tempi biologici di rigenerazione delle risorse naturali, rispettando così, secondo Hans Jonas (1979), il principio di responsabilità che bisogna avere nei confronti delle generazioni future.

Bibliografia

- Jansson A.M. (ed.) (1984) - Integration of Economy and Ecology. An outlook for the eighties. Proc. Wallenberg Symposia. Askö Laboratory, Univ. Stockholm, 240 pp.
- WCED (World Commission on Environment and Development) (1987) - *Our Common Future*. The Brundtland Report. London: Oxford University Press.
- Rio Declaration on Environment and Development (1992) - United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil.

- Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change (1987) - UN, Kyoto, Japan.
- Tiezzi E. (1984) - *Tempi storici, tempi biologici*, ed. Garzanti.
- Charter of European Cities and Towns toward Sustainability (1994) - First European Conference on Sustainable Cities and Towns, Aalborg, Denmark.
- Agenda 21 (1992) - United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil.
- Arangio S., Bontempi F., Ciampoli M. (2010) - Structural integrity monitoring for dependability. Struc-

- ture and Infrastructure Engineering.
- Building Research Establishment (BRE) (2009) - Code for sustainable homes techguide.
- Ding G.K.C. (2008) - Sustainable construction - The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management* Volume 86, Issue 3, February, pp. 451-464.
- Larsson N. (1998) - Green Building Challenge '98: international strategic considerations *Building Research and Information* Vol. 26 Issue 2, pp. 118-121.
- Certivéa (2008) - Guide Pratique du Référentiel pour la Qualité Environnementale des Bâtiments.
- DGNB (2009) - German sustainable building certificate - Structure - Application - Criteria.
- USGBC (2009) - LEED 2009 for New Construction and Major Renovations.
- Larsson N. (2001) - iiSBE: the International Initiative for Sustainable Built Environment. *Building Research & Information*, Volume 29, Issue 2, pp. 175-177.
- ISO 14040:2006 (2006) - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- ISO 21930:2007 (2007) - Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products.
- ISO 15392:2008 (2008) - Sustainability in building construction - General principles.
- ISO 21931-1:2010 (2010) - Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works, Part 1: Buildings.
- Calvi G.M., Spaziant V. (2009) - La ricostruzione tra provvisorio e definitivo: il Progetto C.A.S.E., *Progettazione Sismica* n.3/2009.
- GBC Italia (2010) - Green Building - Nuove costruzioni e ristrutturazioni.
- Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 (2009) - Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.
- Jonas H. (1979) - Il principio di responsabilità. Un'etica per la civiltà tecnologica. Frankfurt.