

SISTEMI PER LA CONOSCENZA COME SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE SOSTENIBILE

N. Maiellaro, A. Lerario ^(*)

C.N.R., Istituto per la Residenza e le Infrastrutture Sociali, Bari, strada Crocifisso 2/B

SOMMARIO

Assenza di informazioni, conoscenze inadeguate e insensibilità alle problematiche ambientali, se non vere e proprie negligenze, contribuiscono a incrementare il degrado del territorio. Una sempre maggiore consapevolezza della limitatezza delle risorse, ampiamente sottolineata a livello internazionale, richiede l'adozione di nuove iniziative sia per promuovere il concetto di sostenibilità anche nei contesti locali, sia per orientare gli operatori del settore edilizio verso la *progettazione sostenibile*, intesa come 'processo collettivo attraverso il quale l'ambiente costruito raggiunge nuovi livelli di equilibrio ecologico' (Loftness, 1994). La ricerca in corso, finanziata dallo Sportello CNR per la Cooperazione Scientifica e Tecnologica con i Paesi del Mediterraneo, intende fornire un contributo in tal senso, promuovendo la costruzione di una base di conoscenza contenente direttive, orientamenti e accorgimenti progettuali in materia di sviluppo sostenibile nel processo edilizio.

Tale base, inizialmente concepita come integrazione di quella più specificatamente prescrittiva rappresentata dalla normativa edilizia e attualmente utilizzata in SITU (Sistema Integrato Trasformazioni Urbane), sarà successivamente resa disponibile su Internet.

INTRODUZIONE

Il crescente interesse nel concetto di sostenibilità nel processo edilizio viene ampiamente evidenziato dalle varie definizioni presenti in letteratura. Comprendere cosa sia effettivamente lo sviluppo sostenibile e come progettare per esso richiede necessariamente la traduzione dei principi generali in obiettivi e criteri per il processo progettuale, tenendo presente i differenti punti di vista dei diversi operatori. Per stabilire quali siano le decisioni progettuali che possano maggiormente contribuire alla sostenibilità, si auspica la creazione di una banca dati (C.E.R.F., 1996) in cui registrare le soluzioni tecniche, economiche e culturali adottate dai progettisti nei vari contesti; la gestione di tali dati e la possibilità di diffondere gli stessi nelle forme più adeguate non può peraltro prescindere dall'uso delle tecnologie informatiche innovative, tra cui

^(*) Questo contributo è il risultato di un lavoro collegiale; in particolare, "Introduzione", "Sviluppo urbano sostenibile", "Conclusioni" sono da attribuire a N. Maiellaro; "Progettazione e costruzione sostenibile" e "Materiali sostenibili" sono da attribuire ad A. Lerario.

enciclopedie progettuali multimediali, cataloghi elettronici di dettagli costruttivi, sistemi integrati semplificati di CAD, sistemi esperti e sistemi di realtà virtuale. Occorre inoltre prestare attenzione all'intero ciclo vitale, preoccupandosi non solo dei materiali utilizzati e degli scarti⁽¹⁾, ma anche della gestione e manutenzione, e infine del destino che attende il manufatto stesso alla fine della sua 'vita'. In questo lavoro si espongono linee guida, suggerimenti e casi di studio inerenti pianificazione, progettazione, costruzione e materiali, in vista della costruzione di una base di conoscenza contenente direttive e orientamenti in materia di sviluppo sostenibile.

SVILUPPO URBANO SOSTENIBILE

Dismissioni, demolizioni, nuove costruzioni e ricostruzioni alterano continuamente il tessuto urbano secondo logiche di mercato assolutamente incuranti dell'impoverimento delle risorse e della produzione di rifiuti. Definire lo sviluppo urbano sostenibile come *un processo di cambiamento nell'ambiente costruito che promuove lo sviluppo economico pur salvaguardando la salute dei singoli, della società e dell'ecosistema e senza sperperare le risorse* (Canadian Environmental Advisory Council, 1989), comporta la promozione di adeguate politiche in grado di riconsiderare l'edilizia come una risorsa da gestire, massimizzando le operazioni di riuso e riciclo per quanto tecnologicamente ed economicamente possibile.

Molteplici sono gli aspetti da considerare; le relazioni tra sostenibilità e forma del tessuto urbano, ad esempio, sono state oggetto di numerosi studi, alcuni dei quali propugnano l'idea di una *città compatta*.

Concentrare lo sviluppo e le attività nelle aree urbane esistenti, intervenendo sul parco edilizio per aumentare la densità della popolazione, comporta una serie di benefici tra cui: riduzione degli spostamenti (con conseguenti riflessi positivi sui consumi di carburante e sulle emissioni) e dei consumi energetici, nonché conservazione delle risorse agricole. Altri aspetti sono una maggiore economicità nella gestione dei servizi pubblici, e uno stimolo allo sviluppo culturale e sociale (Jenks, 1996).

Il processo di *intensificazione* sotto l'aspetto sia propriamente edilizio, sia socio-economico, non può prescindere da una pianificazione orientata verso un'edilizia plurifunzionale ad alta densità, purchè si prevedano misure di salvaguardia e protezione dell'ambiente e della qualità urbana, concetti peraltro conformi a linee guida per la pianificazione già enunciate in passato (Breheny, 1992) tra cui:

- evitare città estremamente compatte, in quanto irrealistiche e indesiderate;
- rivitalizzare i centri antichi per evitare il depauperamento del tessuto socio-economico e promuovere lo sviluppo delle aree verdi;
- incoraggiare zonizzazioni plurifunzionali;
- potenziare i trasporti pubblici e concentrare presso i punti nodali dei trasporti le attività che coinvolgono rilevanti spostamenti.

Si tratta dunque di favorire interventi quali la ricostruzione delle aree dismesse, il completamento delle aree costruite, la rivitalizzazione delle aree abbandonate, la

⁽¹⁾ Secondo stime del Ministero dell'Ambiente, nel 1991 in Italia sono stati prodotti 77,1 milioni di tonnellate di rifiuti speciali: il 45% di essi era costituito da inerti provenienti da demolizioni e scavi.

ristrutturazione e/o il cambio di destinazione in modo da ottenere maggiori densità con operazioni di risuddivisione, integrazione o ampliamento del parco edilizio esistente.

Tale processo non può certamente essere generalizzato, per evitare di replicare gli impatti negativi delle città congestionate dal traffico e prive di spazi di relazione: si richiede una particolare attenzione affinché gli interventi siano non solo opportunamente localizzati (ad es.: conurbazioni e zone industriali 'ricche' di aree libere), ma prevedano anche idonee misure per incrementare la qualità urbana, favorendo ad esempio la possibilità di spostamenti pedonali e ciclabili sicuri, realizzando spazi di relazione, potenziando i servizi pubblici.

Nonostante le contraddizioni implicite nel modello della *città compatta*, dovute al pericolo di pervenire a situazioni di sovraffollamento, congestione del traffico, inquinamento, perdita di spazi 'vitali', alcuni concetti risultano ormai acquisiti a livello di politiche urbane comunitarie, le quali suggeriscono l'adozione di modelli che abbiano come riferimento "the old, traditional life of the European City, stressing density, multiple use, social and cultural diversity" (Commission of European Communities, 1990). Si tratta, in definitiva, di stabilire i parametri che possano definire la qualità urbana, al fine di ricondurre lo sviluppo delle aree costruite entro determinati limiti, oltre i quali diventa necessario ricorrere a un modello più ampio di *concentrazione decentralizzata* (Owens, 1992), ottenuta spostando e raggruppando determinate attività e servizi in modo da relazionarli strettamente alle attività residenziali. Questo modello è in sintonia con la transizione in corso verso la società dell'informazione, in cui il flusso di dati e informazioni risulta preminente rispetto a quello di beni e capitali, e la città, diventando nodo di una rete globale, perde le connotazioni tradizionali di centro a servizio di una specifica area agricola o industriale; la *conoscenza* diventa la risorsa principale delle città, e il suo sviluppo viene regolato dalle sinergie tra innovazione tecnologica, sostenibilità ambientale e società urbana (Blakely, 1991).

PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE SOSTENIBILE

In occasione del Simposio sull'Ingegneria e l'Edilizia per lo Sviluppo Sostenibile svoltosi recentemente a Washington (C.E.R.F., 1996), sono stati chiaramente sottolineati i rischi derivanti da un atteggiamento di eccessivo affidamento nella effettiva possibilità degli apparati governativi di risolvere o porre un freno ai problemi dell'ambiente, e la duplice responsabilità dei progettisti, chiamati ora ad assumere un ruolo fondamentale, sia nell'affrontare direttamente tali problemi, sia nella collaborazione con i governi stessi, per lo sviluppo di azioni concrete volte a promuovere lo sviluppo sostenibile.

In linea generale, il potenziale contributo della progettazione si esplica soprattutto riducendo i costi relativi al ciclo vitale dei componenti impiegati e minimizzando l'energia richiesta. Sebbene sia cospicuo il risparmio energetico ottenibile adottando soluzioni innovative (architettura bioclimatica, costruzioni in terra, materiali da costruzione avanzati), è opportuno focalizzare le attenzioni sulle strategie da adottare senza interferire con il modo tradizionale di costruire quali ad esempio (Friedman, 1994):

la massimizzazione del rapporto area/perimetro, la progettazione modulare, la minimizzazione del rapporto area/volume, il raggruppamento di unità abitative, l'aumento del rapporto

superficie netta/lorda. Ad un minor sviluppo di muri corrispondono, d'altra parte, costi di costruzione, consumi di materiali e di energia più ridotti.

Processo progettuale, tessuto urbano, risorse, involucro e nucleo, materiali e arredamento, ciclo vitale sono le sei linee guida scaturite da alcune ricerche condotte da un consorzio misto industria-università-governo, sul tema del miglioramento della qualità degli edifici. Tra i principi guida è certamente rilevante quello mirante alla diffusione di un approccio progettuale di tipo collettivo, multi-disciplinare, iterativo, in quanto Loftness (1994) attribuisce l'attuale situazione di degrado ecologico a una sostanziale incapacità di riconoscere le conseguenze negative del convenzionale approccio lineare e mono-disciplinare su un sistema complesso. Esperienze recentemente condotte testimoniano l'effettiva possibilità di applicare principi di sostenibilità alla progettazione edilizia attraverso una pianificazione attenta dell'intervento costruttivo.

Piuttosto che realizzare prototipi di "edificio sostenibile" o "ecologico", spesso somma di accorgimenti, nel loro complesso, eccessivamente costosi e difficilmente applicabili, appare auspicabile ottenere un miglioramento, anche modesto, della qualità della vita nell'ambiente urbano, inserendo in fase progettuale solo quei particolari accorgimenti che producono i maggiori benefici con il minore impegno economico. L'applicazione della sostenibilità può infatti essere pianificata anche in un progetto non necessariamente mirato, individuando all'interno di un concetto così ampio, i numerosi obiettivi specifici, direttamente realizzabili nell'ambito della progettazione dell'organismo edilizio tradizionale.

In questa ottica si presenta una lista⁽²⁾ di obiettivi basata sull'esame di alcune esperienze di interventi edilizi effettuate in diversi Stati, ad ognuno dei quali è stato associato un possibile accorgimento tecnico, in modo da evidenziare semplici e concrete possibilità di azione, con l'obiettivo di aiutare il progettista a tenere presente le conseguenze sul territorio derivanti dall'attività edilizia, e di stimolare, nel contempo, la ricerca di ulteriori accorgimenti. D'altra parte, l'integrazione delle trasformazioni del territorio con i principi della sostenibilità non si esaurisce certamente nella fase progettuale; per questo motivo, si è ritenuto opportuno operare una distinzione tra questa fase e quella, successiva, dello svolgimento delle operazioni connesse alla edificazione vera e propria.

Nella prima fase (tab.1.1) appaiono predominanti gli obiettivi di ordine economico, connessi alla riduzione del consumo di materiali ed energie non rinnovabili, obiettivo fondamentale espresso da numerose leggi e iniziative comunitarie e nazionali⁽³⁾.

Tab. 1.1 - Obiettivi perseguibili nella fase di progettazione

OBIETTIVO	ACCORGIMENTO	NAZIONE	RIF.(4)
riduzione consumo materiali non rinnovabili	riduzione dell'uso di legname vergine	J, USA	9, 10, 25, 27, 30
	analisi del ciclo di vita di materiali e sistemi costruttivi ^(a)	DK	15
riduzione consumo fonti energetiche non rinnovabili	ricorso a materiali a bassa energia incorporata	J, USA	18,25, 27,30
	ricorso a sistemi di assemblaggio semplici	J, USA	10,25, 27

⁽²⁾ La lista non ha la pretesa dell'eshaustività, nè dell'applicabilità generale; gli stessi obiettivi sono spesso inconciliabili (è il caso, ad esempio, dell'inserimento di elementi tecnologici come i pannelli solari a fronte dell'auspicabile contenimento dei costi).

⁽³⁾ Si cita, ad esempio, il programma *Altener* concernente la promozione delle energie rinnovabili nella Comunità - 93/500/CEE

⁽⁴⁾ Numerazione riferita all'ordine progressivo dei riferimenti bibliografici

	uso di tecniche di progettazione solare passiva ^(b)	USA	9
	raccolta e filtraggio dell'acqua piovana per usi domestici ^(c)	USA	9
	raccolta delle acque grigie e riutilizzo per l'irrigazione ^(c)	USA	9
	raccolta e trattamento delle acque nere per la produzione di gas metano e fertilizzanti organici ^(c)	USA	9
riduzione costi	ricorso a materiali localmente disponibili (riduzione costi di trasporto)	USA, N.Zelanda	18, 24, 27, 30
	ricorso a tecniche costruttive "povere" (riduzione dei costi della manodopera specializzata)	USA	27
minimizzazione impatto su aria	uso di materiali non inquinanti	J, USA	18, 25, 27, 30
miglioramento qualità ambiente costruito	uso di sistemi di produzione di energia elettrica a basso voltaggio (celle fotovoltaiche)	USA	9
	uso della vegetazione in senso "attivo" ^(d)	USA	9
<p>(a) lo sviluppo di modelli per la valutazione del ciclo di vita degli edifici è uno degli obiettivi alla base del Piano "Waste and Recycling - Cleaner Technology 1993-97", elaborato dal Ministero dell'Ambiente Danese nel giugno 1992</p> <p>(b) pannelli solari, celle fotovoltaiche, ventilazione naturale, materiali ad elevata inerzia termica</p> <p>(c) nel prototipo Ekose'a Home tali obiettivi sono attuati tramite l'impiego di un sistema di fondazione costituito da un gruppo di celle-serbatoio in cls alleggerito interdipendenti contenenti l'equipaggiamento necessario all'immagazzinamento e trattamento fluidi</p> <p>(d) sfruttamento delle proprietà elettrochimiche delle piante per il miglioramento della qualità dell'aria.</p>			

Tab. 1.2 - Obiettivi perseguibili nella fase di costruzione

OBIETTIVO	ACCORGIMENTO	NAZION E	RIF.(4)
riduzione della produzione dei rifiuti costruzione	ordinazione di prodotti privi di imballaggio	SF	21
	rivendita alle ditte produttrici del materiale in avanzo	SF	21
	ordinazione dei prodotti in dimensioni prestabilite (ricorso a prefabbricazione)	SF	21
	riutilizzo delle casseforme (e successiva vendita del materiale inutilizzabile)	SF	21
	riuso del suolo asportato con le operazioni di scavo	AUS	29
riduzione della produzione dei rifiuti demolizioni	preselezione e registrazione dei rifiuti (valutazione preventiva di qualità e quantità dei materiali di risulta)	SF, BR	20, 21
	separazione in situ	SF, BR	20, 21
minimizzazione impatto sul suolo	individuazione preliminare dei luoghi destinati al deposito e allo smaltimento dei materiali	AUS	29
	minimizzazione del disboscamento	AUS	29
	minimizzazione del disturbo arrecato al suolo dalle operazioni di scavo	AUS	29
	minimizzazione delle strade d'accesso	AUS	29
salvaguardia degli acquiferi	divieto di raccolta dell'acqua piovana	AUS	29
minimizzazione impatto sui corsi d'acqua	deviazione delle acque di scarico	AUS	29
	uso dell'acqua piovana	AUS	29
minimizzazione impatto sull'aria	uso di materiali non inquinanti	J, USA	18, 25, 27, 30

Nella seconda fase (tab.1.2), è invece possibile attuare l'applicazione di principi di sostenibilità, ponendo un'attenzione particolare al mantenimento e alla salvaguardia dell'ambiente naturale in tutte le sue componenti (aria, acqua, suolo, sottosuolo).

Esistono poi accorgimenti la cui applicazione contribuisce al raggiungimento di più obiettivi: è il caso del ricorso a materiali a contenuto riciclato, che consente di ridurre il consumo di materiali non rinnovabili e di forme di energia non rinnovabili necessarie alla produzione di materiali nuovi, ma allo stesso tempo offre la possibilità di un sensibile contenimento sia dei costi, sia della produzione di rifiuti.

MATERIALI SOSTENIBILI

Il concetto di materiale edilizio “sostenibile” non è ancora del tutto delineato; indagini⁽⁵⁾ condotte presso gli operatori del settore delle costruzioni testimoniano il persistere di incertezze e divergenze di vedute. Tuttavia, sono ormai universalmente individuati i requisiti di tali materiali: economicità, durevolezza, rigenerabilità, limitata necessità di energia di produzione, disponibilità locale, assenza di sostanze tossiche o inquinanti.

In particolare, la ricerca sperimentale ha indirizzato i propri sforzi verso il campo della produzione di materiali a contenuto riciclato. La ragione di tale interesse risiede, probabilmente, nella già diffusa pratica del riciclaggio, motivata da comprensibili fattori economici e dall'urgenza e dalle dimensioni assunte dal problema dell'accumulo dei rifiuti. In Italia, in particolare, l'istituzione dei piani regionali di smaltimento e l'obbligo dei controlli sulle attività connesse hanno contribuito a rendere la situazione quanto mai grave, in riferimento alla reperibilità di spazi da destinare a tale scopo. Conseguentemente, il riciclaggio si configura come ovvia soluzione al problema dello smaltimento. Come sottolineato in lavori relativi ad esperienze italiane di riciclaggio (Bressi, 1994), tale pratica comporta innegabili vantaggi economici per molti degli “attori” coinvolti:

- rappresenta per il produttore⁽⁶⁾ uno strumento per lo smaltimento, con costi limitati, dei rifiuti in modi consentiti dalla legge;
- fornisce al proprietario dell'impianto di smaltimento un materiale che, adeguatamente trattato, acquista valore commerciale;
- offre all'acquirente del prodotto un materiale da costruzione alternativo caratterizzato da prestazioni paragonabili, in molti casi, a quelle dei materiali tradizionali e da un prezzo sensibilmente inferiore.

Parallelamente a questa tendenza, si assiste ad una diffusa rivalutazione di materiali “poveri”, utilizzati per secoli e con successo in accoppiamento con tecniche costruttive di tipo tradizionale. I positivi risultati delle nuove ricerche sui materiali del passato si scontrano però con una certa resistenza sul piano delle realizzazioni pratiche a causa sia di una certa diffidenza nei confronti di materiali sostanzialmente differenti da quelli ormai comunemente diffusi sul mercato, sia della necessità di operare una profonda modifica delle tecniche costruttive correnti e dei processi produttivi, oltre naturalmente a ovvii interessi commerciali.

Materie prime secondarie

⁽⁵⁾ Indagini condotte dalla Napier University, Edimburgo, Scozia, nel triennio 1990-1993 e dal Chartered Institute of Building (CIOB) nel 1992 presso progettisti, imprese e committenti, mirate all'accertamento del livello di coscienza ambientale nel settore dell'industria delle costruzioni.

⁽⁶⁾ Il D.P.R. 10 Settembre 1982 n. 915 definisce i materiali provenienti da demolizioni, costruzioni e scavi “rifiuti speciali”, categoria per la quale l'obbligo di smaltimento compete al produttore dei rifiuti stessi, in definitiva l'impresa costruttrice o demolitrice.

Considerare i residui derivanti dai processi produttivi come materie prime secondarie⁽⁷⁾ piuttosto che rifiuti, dipende largamente sia dalle scelte operate nella fase progettuale, sia dai trattamenti adoperati; entrambi scaturiscono dai risultati di ricerche su materiali e componenti edilizi che si traducono in:

- linee guida e soluzioni conformi per i progettisti;
- istruzioni operative per la conduzione del cantiere da parte delle imprese, sia in quanto produttrici, sia in quanto possibili destinatarie delle materie seconde da riutilizzare;
- sistemi di controllo della qualità per gli utenti;
- strategie per il controllo dei flussi dei rifiuti, indirizzate alle Amministrazioni.

I maggiori ostacoli ad una più ampia diffusione delle materie seconde in edilizia sono la ridotta richiesta e la frequente assenza di specifiche normative, con la conseguente difficoltà di soddisfare gli standard qualitativi esistenti; in tale quadro di riferimento sembra imprescindibile l'emanazione di norme prestazionali piuttosto che prescrittive (Ward, 1994). In particolare, per quanto concerne gli aggregati, i nuovi standard europei in corso di definizione non prevedono restrizioni circa l'impiego di materie seconde, purchè soddisfino i requisiti stabiliti (Collins, 1994).

La riutilizzazione locale delle materie seconde diventa peraltro economicamente apprezzabile nel caso in cui si realizzino notevoli riduzioni dell'incidenza dei trasporti sia per l'approvvigionamento delle materie prime sia per l'allontanamento dei rifiuti: si pensi ad esempio ad operazioni di ricostruzione delle strade o di parti del tessuto edilizio (Eifer, 1994).

Studi e sperimentazioni

Le possibilità di reimpiego sia dei materiali edilizi di scarto, sia dei rifiuti dei processi produttivi, sono attualmente oggetto di attente ricerche in tutti gli Stati, ma in alcuni casi l'impiego di materiali a contenuto riciclato costituisce ormai pratica corrente.

E' il caso, ad esempio, di alcuni conglomerati quali il cls rigenerato⁽⁸⁾, il cls asfaltico⁽⁹⁾ e l'asfalto modificato. Negli Stati Uniti, il ricorso a tali materiali nel campo delle costruzioni autostradali è diffuso a tal punto che appare quasi legittimo parlare di un vero e proprio "successo della ricerca scientifica". Bisogna però sottolineare le particolari caratteristiche del contesto all'interno del quale le ricerche sono state condotte: l'importanza dell'industria autostradale nell'economia statunitense giustifica notevoli investimenti nel campo delle ricerche, e gli apparati legislativi hanno quindi potuto far affidamento, per l'emanazione di norme e regolamenti, su un notevole grado di avanzamento degli studi.

Più in generale, l'ostacolo maggiore all'adozione effettiva di materiali a contenuto riciclato è costituito dalla mancanza di sufficienti specifiche tecniche sulle caratteristiche e sulle prestazioni, spesso imputabile alla disuniformità delle proprietà dei materiali ottenibili con l'impiego di materie "prime" di per sé eterogenee, e, in alcuni casi, nella difficoltà di adattamento di tests e prove di laboratorio a tali materiali. Va infatti sottolineato, a tal

⁽⁷⁾ La legge 9 Novembre 1988 n.475 definisce "materie prime secondarie" i residui derivanti da processi produttivi che sono suscettibili, eventualmente previa idonei trattamenti, di essere utilizzati come materie prime in altri processi produttivi della stessa o di altra natura.

⁽⁸⁾ prodotto utilizzando frammenti di cls come inerti

⁽⁹⁾ prodotto con l'aggiunta di scorie d'alto forno o frammenti di minerali originati nei processi di lavorazione, o anch'esso semplicemente rigenerato

proposito, che un prodotto non può realisticamente considerarsi utile ai progettisti e ai tecnici finché non esistono standards e modalità di confronto con altri materiali esistenti sul mercato e destinati agli stessi usi (Smith et alii, 1994).

Seppure all'interno di questi inevitabili limiti, i risultati finora ottenuti appaiono incoraggianti, concordando nella definizione delle proprietà di alcuni prodotti. Sono infatti uniformemente riconosciute le caratteristiche di resistenza, leggerezza e durevolezza dei calcestruzzi ottenuti sostituendo parte degli inerti con frammenti di laterizio o con ceneri volanti, che all'ovvio risparmio dell'uso di inerte naturale proveniente dalle cave associano un efficace impiego dell'attività pozzolanica dell'inerte utilizzato, consentendo anche un sensibile risparmio di cemento nell'impasto.

Alla luce di quanto uniformemente dichiarato dai ricercatori circa la necessità di approfondire ulteriormente gli studi sul comportamento a lungo termine di alcuni prodotti, e dell'attuale mancanza, almeno a livello nazionale, di sufficienti specifiche e normative, è possibile fare alcune considerazioni sulla effettiva applicabilità delle soluzioni elencate in tabella. In questo senso appare sicuramente di più immediata applicabilità il ricorso a materiali non strutturali, quali le malte, che, alle già citate possibilità di sfruttamento dell'attività pozzolanica di alcuni inerti, associano il vantaggio di minimizzare i rischi connessi alla mancanza di dati affidabili relativi alle caratteristiche di resistenza. E' inoltre da segnalare l'impiego di materiali riciclati di semplice e immediata reperibilità, quali il vetro (come materiale drenante) e la cellulosa della carta (per la realizzazione di pannelli isolanti), oltre alla plastica (per una serie di elementi di completamento, quali recinzioni, moquette e relativo sottofondo). L'elenco proposto (Tab.2) non è da ritenersi esaustivo dei materiali finora oggetto di studi e sperimentazioni; alcuni materiali, inoltre, sono stati inseriti a scopo esemplificativo, non essendo generalmente adottabili in quanto reperibili solo in determinate zone geografiche⁽¹⁰⁾.

Tab. 2 Materiali ed elementi costruttivi

CONGLOMERATI	MATERIE PRIME	NAZIONE	RIF.(4)
Cls	frammenti di laterizio (a)	Bangladesh, B,D,IND,U	10,17,3137
	ceneri volanti (b)	K	
	scorie di ferro e acciaio d'altoforno	USA	19,31
	polvere di gesso - sottoprodotto di processi industriali (c)	USA, IND	19,31
	calce di carburo di calcio - sottoprodotto produzione acetilene da carburo di calcio (d)	IND	16
	cenere di pula di riso come legante	Bahrain	1
	segatura (e)	----	31
	granuli di sughero (f)	----	31
	sabbia di vetro - come inerte fine (g)	----	31
	detriti prodotti nell'estrazione del carbone (h)	F, B, GB, PL	31
	"agglomerite" (i)	SU	31
	inerti misti (l)	----	31
	fango rosso (m)	USA, J	31
Cls rigenerato (n)	frammenti di cls (a)	USA, B	17,19,31
Cls asfaltico (n)	scorie di ferro e acciaio d'altoforno	USA	19
	frammenti prodotti nella lavorazione di minerali (o)	USA	19

⁽¹⁰⁾ il loro impiego in altri contesti comporterebbe un notevole incremento del costo dei trasporti con conseguenze negative sul prezzo del prodotto finito.

Cls asphaltico rigenerato (n)	frammenti di cls asphaltico (p)	USA	19
Asfalto modificato(n)	frammenti di pneumatici (q)	USA	19
Mastice bituminoso	polvere di gesso (sottoprodotto di processi industriali)	IND	16
<p>1. Le soluzioni suggerite (largamente adottate negli Stati Uniti) impiegano materiali riciclati in quantità pari al 15÷20 % in peso.</p> <p>a) l'uso è contemplato e specificato nelle "Raccomandazioni RILEM", attualmente riconosciute a livello internazionale. In relazione all'uso di frammenti di laterizio, le numerose prove sperimentali effettuate in vari Stati hanno confermato l'efficace attività pozzolanica del materiale; le esperienze condotte hanno concordemente dimostrato l'effettiva possibilità di ottenere, con sostituzione del cemento in quantità compresa tra il 10 e il 20 %, un cls con caratteristiche di resistenza all'incirca paragonabili a quelle del cls tradizionale e peso specifico inferiore (-15÷20 %), con lieve diminuzione delle caratteristiche di lavorabilità. Si consiglia particolare cautela nella determinazione del corretto rapporto acqua/cemento.</p> <p>b) il cls prodotto presenta caratteristiche di lavorabilità, durezza, resistenza ai solfati, resistenza a compressione e trazione superiori rispetto al cls tradizionale, oltre a minore permeabilità e tendenza al ritiro; in particolare, tests effettuati dal Tennessee Valley Authority consigliano una sostituzione del cemento con una quantità di ceneri pari almeno al doppio del peso sostituito</p> <p>c) per la produzione di piastrelle per pavimenti</p> <p>d) l'uso di calce di carburo comporta un incremento del rapporto acqua/cemento, determinando un abbassamento delle caratteristiche di resistenza del cls (conformi tuttavia ai requisiti dei British Standards) ed un aumento della lavorabilità</p> <p>e) il materiale ottenuto è economico e leggero, ma richiede l'uso di acceleranti della presa e manifesta un'elevata tendenza al ritiro</p> <p>f) date le notevoli caratteristiche di leggerezza e impermeabilità, il cls ottenibile è particolarmente indicato per la realizzazione di riempimenti per condotte in trincea e alle spalle di muri di sostegno</p> <p>g) il cls ottenuto presenta resistenza a compressione più elevata (a parità di modulo di elasticità) rispetto al cls con sabbia di fiume, ma l'elevata reattività dell'aggregato in ambiente alcalino (quale quello del portland) determina eccessiva espansione e tendenza alla fratturazione (l'uso di ceneri volanti può conferire maggiore stabilità dimensionale). Il livello di conoscenza attuale del comportamento a lungo termine del materiale è tuttavia ritenuto insufficiente per la commercializzazione.</p> <p>h) per usi strutturali e non (in funzione delle proprietà conferite al materiale dai differenti processi di produzione).</p> <p>i) inerte artificiale ottenuto per agglomerazione di allumosilicati e ceneri prodotte negli impianti di produzione del calore, per cls strutturali o termoisolanti.</p> <p>l) a base di segatura, plastica usata, polvere di carbone, frammenti di pneumatici, per la fabbricazione di cls leggeri (-20÷30 % rispetto al cls tradizionale)</p> <p>m) scarto della bauxite, per la produzione di cls con maggiore resistenza a trazione e compressione rispetto al cls con ghiaia di fiume.</p> <p>n) per pavimentazioni stradali</p> <p>o) l'uso richiede uno studio attento delle percolazioni</p> <p>p) consente un riutilizzo pressoché completo delle vecchie pavimentazioni</p> <p>q) in percentuale pari al 20 %</p>			

MALTE	MATERIE PRIME	NAZIONE	RIF.(4)
Massetti	inerti costituiti da cls riciclato	BR	23
	inerti costituiti da frammenti di tegole d'argilla	BR	23
	inerti costituiti da frammenti di mattoni ceramici	BR	23
	polvere di gesso (sottoprodotto di processi industriali)	IND	16
	cenere di pula di riso (impiegata come legante)	----	31
	ceneri volanti (per pavimentazioni in cls)	USA	19
	inerti costituiti da scorie di ferro e acciaio d'altoforno	USA	19
Sottofondi	frammenti di pneumatici (per sottofondi moquette)	USA, CDN	12
	PET riciclato (per sottofondi moquette)	CDN	3
<p>a) percentuale ottimale di sostituzione del cemento: 20% in peso; tuttavia, anche per valori superiori è possibile ottenere un materiale con caratteristiche di resistenza superiori rispetto alla malta tradizionale</p> <p>b) impiego limitato a sottofondi per moquette</p>			

MURATURE	MATERIE PRIME	NAZIONE	RIF.(4)
Blocchi	cls con inerti riciclati	GB, NL	17
	laterizi contenenti ceneri volanti e vetro riciclato	CDN	25
	balle di paglia rivestite	USA	33

Pannelli	malta e materiali grezzi	J	28
	fiocchi di legno e colla	USA, CDN	12
	giornali e gesso	USA, CDN	3,12
	cls con inerti a base di midollo di noce di cocco	-----	31

I pannelli realizzati in fiocchi di legno e colla e i pannelli ottenuti da gesso e carta presentano le maggiori caratteristiche di resistenza, economicità e facilità di assemblaggio; il ricorso a balle di paglia rivestite, pur offrendo caratteristiche di resistenza agli sbalzi termici tipiche di un super-isolante, non garantisce sufficienti requisiti di durezza, soprattutto in relazione alla irreversibilità di danni causati dall'umidità.

COMPLETAMENTI	MATERIE PRIME	NAZIONE	RIF.(4)
Recinzioni	PET riciclato	CDN	3
Piastrelle	vetro riciclato	CDN	3
Tegole	vetro riciclato	CDN	3
Tramezzature	cls con inerti a base di midollo di noce di cocco (pannelli)	-----	31
	cls con inerti a base di granuli di sughero	-----	31
Soffittature	cls a base di midollo di noce di cocco (pannelli)	-----	31
Pavimenti	fiocchi di legno e colla	USA, CDN	12
	legno (riutilizzo dei pavimenti)	USA, CDN	12
	PET riciclato	USA, CDN	12
	inerti riciclati (a)	I	9

Prodotti diffusi e largamente apprezzati soprattutto sul mercato canadese.
(a) non sono disponibili dati sufficientemente precisi ed affidabili

ALTRO	MATERIE PRIME	NAZIONE	RIF.(4)
Armature metalliche (riuso)	acciaio (a)	USA, CDN, SF	12, 24
Casseforme (riuso)	legno (riutilizzo sperimentato sino a 1,5 volte)	SF	24
	plastica (riutilizzo sperimentato sino a 10 volte)	SF	24
Coibenti	cellulosa da carta riciclata (b)	USA, CDN	12
	fibra di vetro riciclato (c)	CDN	3
Drenanti (d)	vetro frantumato	USA, CDN	12
Riempimenti dighe	inerti riciclati (e)	I	9
Rilevati stradali	ceneri volanti	USA	19
	scorie di ferro e acciaio d'altoforno	USA	19
	frammenti prodotti nella lavorazione di minerali	USA	19
	frammenti di cls asfaltico	USA	19

(a) risultati di ricerche effettuate in CDN indicano qualità non inferiori all'acciaio di nuova produzione e costi dimezzati; il materiale necessita però di un trattamento di riverniciatura antiruggine.
(b) La produzione di isolanti a base di cellulosa è caratterizzata, a parità di prezzo, da energia di produzione e tempo di restituzione dell'energia spesa nettamente inferiori rispetto ad altri materiali isolanti (studi effettuati in CDN e Stati Uniti)
(c) materiale largamente diffuso sul mercato canadese con prezzi competitivi rispetto a materiali di pari prestazioni (contenuto in vetro riciclato $\geq 50\%$)
(d) Sulla base di sperimentazioni condotte in Colorado (USA) e Ontario (CDN), non risultano necessarie operazioni preventive di selezione e trattamento del materiale, che può essere utilizzato in dimensioni miste, necessita di solo lavaggio e presenta qualità drenanti paragonabili a quelle della ghiaia con costi notevolmente inferiori
(e) non sono disponibili dati sufficientemente precisi ed affidabili

CONCLUSIONI

La sempre maggiore consapevolezza della limitatezza delle risorse, ampiamente sottolineata a livello internazionale, richiede adeguati investimenti in educazione e informazione (Bhatti, 1993). La ricerca intende fornire un contributo in tal senso, promuovendo la costruzione di una base di conoscenza in cui registrare le soluzioni tecniche, economiche e culturali adottate dai progettisti nei vari contesti, con particolare attenzione al quadro normativo. La rapida evoluzione tecnologica degli ultimi anni, la proliferazione delle informazioni e la crescita

esponenziale del sapere richiedono peraltro l'adozione di strumenti di elaborazione e comunicazione delle conoscenze che possano integrare gli strumenti tradizionali; quest'ultimi, infatti, non permettono, per loro struttura, il necessario continuo aggiornamento e la rapida archiviazione delle informazioni stesse. La ricerca in corso prevede pertanto di avvalersi di tecnologie informatiche innovative, tra cui ipertesti⁽¹¹⁾, enciclopedie progettuali multimediali e cataloghi elettronici di dettagli costruttivi.

La base di conoscenza, inizialmente concepita come integrazione di quella più specificatamente prescrittiva rappresentata dalla normativa edilizia e attualmente utilizzata in SITU (Sistema Integrato Trasformazioni Urbane), sarà successivamente resa disponibile mediante server su Internet, curando, in particolare, la tecnica per il 'recupero dell'informazione'. Molti utenti, infatti, non sono interessati ad una esplorazione fine a se stessa, ma desiderano solo ottenere nel minor tempo possibile le informazioni che risolvono i propri problemi, indipendentemente dallo strumento utilizzato. In tale ottica si prevede di esplorare le possibilità offerte dagli "agenti intelligenti", componenti software sofisticate⁽¹²⁾ in grado di emulare un assistente previo addestramento per riconoscere gli schemi ricorrenti nel modo di lavorare dell'utente⁽¹³⁾.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare il prof. Dino Borri, docente del Dipartimento di Architettura e Urbanistica del Politecnico di Bari, al quale si deve l'ispirazione del presente lavoro, e la dott.ssa Angela Barbanente, ricercatrice IRIS, per il suo contributo di idee.

⁽¹¹⁾ In un ambiente ipertestuale le informazioni sono collocate in nodi interconnessi con una struttura gerarchica o reticolare; strutture particolarmente complesse richiedono sistemi di 'navigazione' per evitare di smarrirsi, tra cui finestre, mappe, indici, tracce del percorso, segnalibri, filtri, etc.

⁽¹²⁾ La Corporation for National Research Institute ha registrato nel 1991 il marchio "Knowbot", ovvero *knowledge robot* (robot della conoscenza): in futuro gran parte delle comunicazioni via calcolatore potrebbe avvenire mediante interazione di Knowbot inviati a eseguire ordini in un ambiente globale di elaborazione in rete.

⁽¹³⁾ Negroponte asserisce che "L'informatica del prossimo quinquennio si baserà sugli agenti: sistemi che vi conoscono e svolgeranno attività per voi".

Riferimenti bibliografici

- Al-Khaja, W.A., Madany, I.M., Darwish, A.H.A., and Al-Sayed, M.H., (1992), Effects of Carbide Lime Waste Incorporated in Concrete for Housing Construction, *Housing Science*, 16 (3), 155-166
- Allwinkle, S. J. and Christie, C. I., (1994), An Assessment of Environmental Awareness in Construction Professionals in the United Kingdom, in *Sustainable Construction. Supplemental Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA
- Bailey, D. V., (1994), The Build Green Program, in *Sustainable Construction. Supplemental Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA
- Barbanente, A., and Maiellaro, N. (1993), Sistemi Informativi Urbani e Ipertesti, *Quaderno IRIS n.11*, Bari
- Barbanente, A., Cuscito, P., and Maiellaro, N. (1995), Expert System and Hypertext for Development Control, Multimedia and Architectural Disciplines, *ECAADE 13th European Conference*, Palermo
- Bhatti, M. (1993), From Consumers to Prosumers: Housing for Sustainable Future, *Housing Studies* 8 (2), 98-108
- Blakely, E. (1991), The new Technology City: Infrastructure for the Future Community, *Cities for the 21st Century*, Longman, Melbourne, 229-236
- Breheny, M.J., (1992), Sustainable Development and Urban Form: An Introduction, *Sustainable Development and Urban Form*, Ed. Batey, London
- Bressi, G., (1994), Recycling of Construction & Demolition Waste: the Italian Technology, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 633-646
- Brooks, K.A., Adams, C., Demsetz, L.A., (1994), Germany's Construction & Demolition Debris Recycling Infrastructure: What Lessons Does it Have for the U.S.?, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 647-656
- Butler, L.P., (1994), Ekotecture[®] An Integrated Approach to Sustainable Construction, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 827-834
- Carpenter, S., Kokko, J., and Reilly, S., (1994), Implementing the 3 Rs in Sustainable Construction, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 535-541
- C.E.R.F., (1996), Assessing Global Research Needs, *Symposium on Engineering and Construction for Sustainable Development in the 21st Century*, Washington.
- Collins, R., J., (1994), Specifications and the Efficient Use of Mineral Resources in Construction, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 775-782
- Commission of European Communities, (1990), *Green Paper on the Urban Environment*, Eur 12902, EEC, Brussels.
- Dass, A., Srivastava R.S., Singh, J., (1993), Utilization of Waste Chalke from Fertilizer Industry as Filler in Building Materials, *Building and Environment*, 28 (3), 231-234
- De Pauw, C., Vyncke, J., and Desmyter, J., (1994), Reuse of Demolition Waste as Aggregates in Concrete. A New Challenge or the Re-introduction of Old Practise?, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 385-394
- Eifer, C., and Lauritzen, E.K., (1994), Municipal Concept of Recycling and Cleaner Technologies, Buildings and Constructions, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 613-619
- Ellis, R.D., Jr, (1994), Recent Successes in Achieving Sustainable Construction in the Highway Industry, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 591-598

Enshassi, A., (1996), Materials Control and Waste on Building Sites, *Building Research and Information* 24 (1), 31-34

Frank, R.E., (1994), Construction and Demolition Wood Waste Used in Wood Cement Composites, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 463-468

Friedman, A., Cammalleri, V., (1994), Reducing Energy, Resources and Construction Waste through Effective Residential Unit Design, *Building research and information* 22 (2), 103-108

Hamassaki, L.T. and Neto, C.S., (1994), Technical and Economical Aspects of Construction/Demolition Waste Utilization, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 395-403

Heino, E., (1994), Recycling of Construction Waste, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 565-572

Huizer, A., and Day, R.L., (1994), An Environmentally Friendly Masonry Unit Manufactured from Waste Products, *Housing Science* 18 (4), 251-262

Jenks, M., (1996), A sustainable future through the compact city? Urban intensification in the United Kingdom, *Environments by design* 1 (1), 5-20.

Kestle, L., (1994), Appropriate Building Design Practices in New Zealand's National Parks, in *Sustainable Construction. Supplemental Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA

Koga, K., Fukushima, T., and Nakamura, M., (1994), Reducing Environmental Impact through the Development of Fixed Form Construction Methods Utilizing Fiber-reinforced Cement Mortar Boards, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 453-461

Loftness, V., Hartkopf, V., Mahdavi, A., and Shankavaram, J., (1994), Guidelines for Masterplanning Sustainable Building Communities, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 817-826

Moquin, M., (1994), Ancient Solutions for Future Sustainability: Building with Adobe, Rammed Earth, and Mud, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 543-552

Murthy, C.K., (1985), Low Cost Concrete Made from Waste Materials, *Housing Science* 9 (4), 313-323

Najjar, G., and Drogemuller, R., (1994), Sustainable Construction in Environmentally Sensitive Areas, in *Sustainable Construction. Supplemental Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA

O'Neill, M.E., (1994), Plastered Straw Bale Construction: a Re-discovered Vernacular Building System, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 487-496

Owens, S., (1992), Energy, Environmental Sustainability and Land-use Planning, *Sustainable Development and Urban Form*, Ed. Batey, London

Smith, W.B., and Kyanka, G.H., (1994), Strength and Performance Characteristics of Sustainable Building Materials, in *Sustainable Construction. Supplemental Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA

Ward, C.L., (1994), Construction and Demolition Waste Reduction - Policy and Industry Perspective: the Ontario Experience, in *Sustainable Construction. Proceedings 1st Int'l Conference of CIB*, Tampa, Florida, USA, 621-629

Wild, S., (1996), Observations on the Use of Ground Waste Clay Brick as a Cement Replacement Material, *Building Research and Information* 24 (1), 35-40