



IL PROCESSO DEL PROGETTO PER LA RESOURCE PRODUCTIVITY UN CASO STUDIO

THE DESIGN PROCESS TOWARDS RESOURCE PRODUCTIVITY A CASE STUDY

Serena Baiani^a, Paola Altamura^b

ABSTRACT

La transizione verso un'economia circolare, applicata in via prioritaria all'ambiente costruito, è riconosciuta nei più recenti indirizzi UE come approccio promettente per aumentare la produttività delle risorse. In Italia, una potente leva è rappresentata dall'obbligatorietà di applicazione dei Criteri Ambientali Minimi del Green Public Procurement che, in edilizia (DM 11/10/2017), riguarda la totalità degli appalti. Il contributo ne descrive uno dei primi casi applicativi compiuti, posto in riferimento all'innovazione nel processo del progetto in ottica life cycle, che si riflette in particolare nelle modalità di selezione e approvvigionamento dei materiali, bio ed eco-compatibili, con contenuto di riciclato, certificati, nonché nel progetto della disassemblabilità dei componenti edilizi.

The transition to a circular economy, applied as a priority to the built environment, is recognized in the most recent EU guidelines as a promising approach to increase resource productivity. In Italy, a powerful lever is represented by the mandatory application of the Minimum Environmental Criteria within Green Public Procurement which, in construction (Ministerial Decree 11/10/2017), concern the totality of the contracts. The paper describes one of the first complete implementations of these Criteria, considering the innovation in the design process from a life cycle perspective, which is reflected in particular in the methods of selection and procurement of natural and eco-friendly materials, with recycled content and certified products, as well as in the design for disassembly of building components.

KEYWORDS

produttività delle risorse, dalla culla alla culla, disassemblabilità, materiali riciclati, acquisti verdi della pubblica amministrazione

resource productivity, cradle to cradle, design for disassembly, recycled materials, green public procurement

La transizione verso un'economia circolare è stata progressivamente riconosciuta come approccio promettente per massimizzare il valore, aumentando la produttività delle risorse, riducendone al minimo il consumo e i relativi sprechi. Nell'ultimo decennio, infatti, a livello Comunitario è cresciuta sensibilmente l'attenzione sull'uso efficiente delle risorse materiche, con l'emanazione di una Roadmap (Commissione Europea, 2011) e di un Piano d'Azione (Commissione Europea, 2015), seguiti dal pacchetto di nuove direttive in materia di rifiuti ed economia circolare del 2018, volti a favorire la trasposizione dell'approccio circolare all'ambiente costruito. Rispetto allo stato di implementazione del Piano d'Azione, l'UE ha pubblicato¹ a marzo 2019 un Report relativo alle 54 azioni avviate nell'ultimo triennio, delle quali 3 specificamente dedicate ai rifiuti da costruzione e demolizione. Dal Report (Commissione Europea, 2019) si evince chiaramente la netta direzione assunta dall'UE verso la transizione a un'economia circolare: nel 2016, infatti, le attività circolari (riparazione, riutilizzo, riciclaggio) hanno generato quasi 147 miliardi di euro di valore aggiunto e il contributo dei materiali riciclati alla domanda globale di materiali registra un continuo incremento (Commissione Europea, 2019). Tuttavia, si individua un forte margine di potenziale crescita, laddove nel 2016 i materiali riciclati sono riusciti a soddisfare in media meno del 12% della domanda di materiali dell'UE². Nel trend di crescita di questo importante indicatore (Circular Material Use Rate) l'Italia si distingue per un incremento pari a quasi il 6%, tra il 2010 e il 2016, e un tasso del 17,1% che nel 2016 la colloca significativamente al di sopra della media UE, a un livello comparabile con Francia, Regno Unito e Belgio, inferiore soltanto ai Paesi Bassi (3XN, 2015; Icibaci, 2019).

In Italia, d'altra parte, le norme in materia di Green Public Procurement (GPP) avevano precocemente introdotto (DM 203/2003) disposizioni mirate alla circolarità dei processi produttivi, prevedendo già allora, in via pionieristica, un contenuto minimo del 30% di riciclato in tutti i prodotti acquistati dalle Pubbliche Amministrazioni (Gargari, Hamans and Torricelli, 2013; Cianciullo, 2016). Obiettivo all'epoca disatteso, rilanciato con il più recente aggiornamento del Piano d'Azione Nazionale per il GPP (DM 10/04/13), ma soprattutto tramite l'obbligatorietà di applicazione dei relativi Criteri Ambientali Minimi (CAM) per le singole

categorie merceologiche, sancita dal DLgs 50 del 2016 che in edilizia (DM 24/12/15 e DM 11/10/17) riguarda la totalità degli appalti. In totale aderenza agli indirizzi europei, i CAM Edilizia introducono, per quanto attiene il tema della Resource Efficiency dei materiali, diversi criteri legati al progetto e alle fasi di cantiere. Si introduce l'obbligo dell'adozione dell'audit pre-demolizione, dei processi di demolizione selettiva e di un tasso di recupero degli scarti da costruzione e demolizione pari al 70% (DM 11/10/17, par. 2.4.2), conforme agli obiettivi della Dir. 98/2008 in materia di rifiuti. Al contempo, si prescrive un contenuto minimo di materia riciclata o recuperata pari al 15% in peso del totale dei materiali impiegati nell'intervento edilizio (par. 2.4.1.2) di qualsiasi natura esso sia, specificando soglie pertinenti ad alcuni dei principali materiali da costruzione. Il criterio che appare più innovativo, rispetto alla prassi costruttiva nazionale, è tuttavia quello relativo alla disassemblabilità (par. 2.4.1.1) dei componenti edilizi, che deve essere garantita per il 50% dei componenti in peso.

Emerge, quindi, la necessità di orientare la progettazione in un'ottica di reversibilità sistemica che permetta di evidenziare le connessioni tra le componenti come elemento prioritario dell'architettura, in un'ottica di dematerializzazione e con un approccio Zero Waste Design (come sviluppato presso la Eindhoven University nel 2000).

Esperienze di ricerca e sperimentazione progettuale – Il contributo restituisce, pertanto, alcune riflessioni metodologiche elaborate dal Gruppo di Lavoro (GdL) sulla base di attività di ricerca e sperimentazione progettuale orientate a comporre le interrelazioni tra l'obiettivo di un'elevata Resource Productivity dei materiali da costruzione e l'innovazione nel processo del progetto in ottica Life Cycle, con l'obiettivo di trasferire nella cultura tecnologica mediterranea il Reversible Building Design (Mulhall and Braungart, 2010). Il progetto della de-costruzione che passa per la disassemblabilità delle componenti (Fig. 1), permette di realizzare il principio della flessibilità d'uso e la variazione nel tempo dell'edificio, consente la riparazione, il riutilizzo e il recupero di materiali, prodotti e componenti, l'aggiornamento o la sostituzione, con una accessibilità semplificata ai diversi strati, per la reversibilità delle connessioni (Carvalho Machado et alii, 2018; Co.Project, 2016).

Da tale approccio progettuale deriva un'impor-

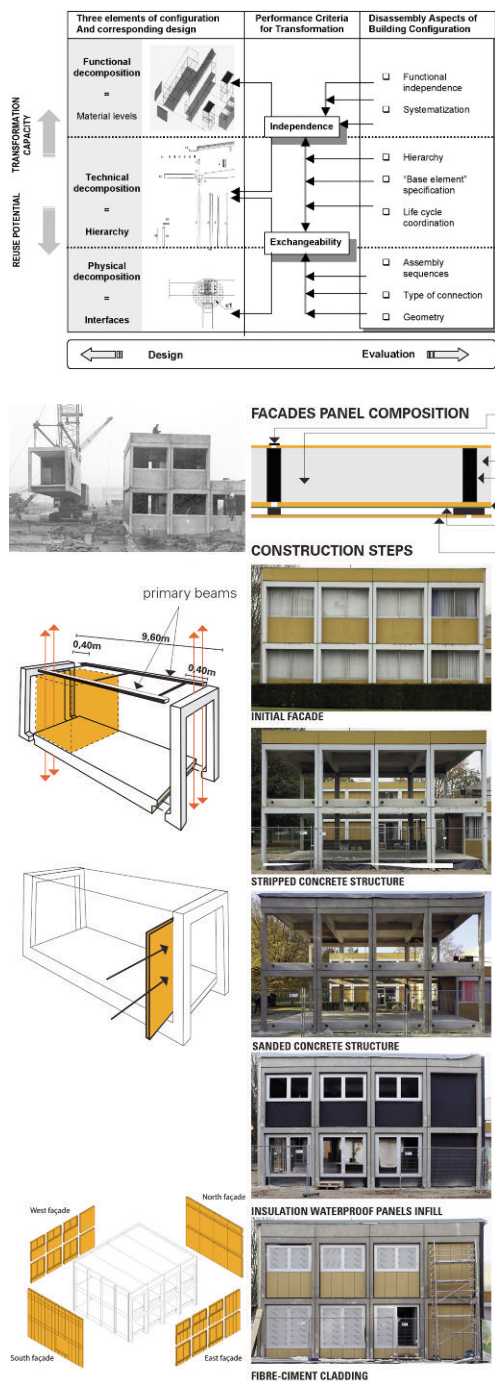


Fig. 1 - Design for disassembly in the sense of reversibility as intended in the Reversible Building Design Guidelines of the BAMB Project: critical factors to be considered to increase the potential for reuse and/or the potential for transformability of the technological system through decomposition (credit: E. Durmisevic, 2018).

Fig. 2 - System of interventions on the building envelope in the Circular Retrofit Lab (BAMB Project, Testing BAMB results through prototyping and pilot projects, 2019).

tante potenzialità di innovazione a livello di prodotto, ottenibile anche con il trasferimento tecnologico di soluzioni costruttive reversibili tra più settori e tra diversi componenti edilizi (Densley Tingley and Allwood, 2015). Dal punto di vista metodologico, il caso pilota del Circular Retrofit Lab, realizzato presso il VUB di Bruxelles nell'ambito del progetto europeo H2020 Buildings as Materials Banks (BAMB), costituisce un importante riferimento per un approccio 'research by design' e una visione 'process approach'³. Il progetto

Circular Retrofit Lab evidenzia, infatti, la necessità di sinergie tra le attività dell'industria delle costruzioni, combinando il processo di progettazione, il processo di collaborazione e cooperazione, e il processo di apprendimento.

I moduli prefabbricati in calcestruzzo (Variel System, arch. Fritz Stucky), inizialmente utilizzati come soluzione temporanea, sono stati installati nel Campus VUB negli anni '70 per far fronte alla crescente domanda di alloggi per studenti. La flessibilità del sistema modulare, sviluppato in Svizzera, ha permesso di realizzare un layout variabile che ha generato una sequenza articolata di spazi verdi e costruiti. L'analisi della capacità di reversibilità di un edificio esistente, presupposto della sperimentazione sviluppata nell'ambito del progetto BAMB, ha dimostrato la necessità di riutilizzo di strutture in cls armato ad alto impatto ambientale (valutato in base a LCA), attraverso la verifica di compatibilità e integrabilità con l'esistente di sistemi tecnici e materiali attualmente in produzione – utilizzati in modi innovativi per consentire l'adeguamento ai requisiti di sicurezza e performance termica dell'involucro (Fig. 2) – con l'eliminazione dei pannelli originali di facciata contenenti amianto, di qualità dell'ambiente interno, efficienza energetica in uso, flessibilità dell'assetto e adattabilità a diversi usi. Tale approccio è in grado di generare soluzioni circolari, facendo leva sulle attuali proposte del mercato e su prodotti e componenti di ampio uso.

Il progetto pilota ha testato e realizzato diversi scenari per il riuso e il recupero degli alloggi prefabbricati degli studenti nel VUB Campus, senza generare elevate quantità di rifiuti. Sono state esplorate strategie di trasformazione (indoor e outdoor) per la definizione di molteplici ri-configurazioni funzionali del modulo, attraverso l'adozione di prodotti disponibili sul mercato, testando soluzioni smontabili, adattabili e riutilizzabili. In base al livello di flessibilità funzionale previsto, sono stati selezionati, analizzati, montati e trasformati tre diversi sistemi di separazione interna (Dynamic Walls), caratterizzati da elevata variabilità, elevato grado di flessibilità per l'integrazione degli impianti e ridotta complessità tecnologica.

Il prototipo ha testato componenti modulari, prefabbricati e sistemi a kit, smontabili e riutilizzabili, adattandoli a diverse configurazioni possibili utilizzando connessioni reversibili, in base a un layout funzionale definito, in conformità con l'approccio del 'reversible design' (Durmisevic, 2018), integrando materiali naturali, riciclati e riciclabili, secondo modalità differenziate. Il progetto pilota ha sviluppato un processo co-creativo lungo tutte le fasi di (ri)progettazione, (ri)costruzione, (ri)uso o smontaggio, attraverso la consultazione con gli stakeholder, per verificare le possibili soluzioni compatibili ed efficienti.

In particolare sono stati posti a confronto (Fig. 3): sistemi a telaio metallico, a sezione complessa (adattati dai Kit del Sistema Geberit) con partizioni interne in pannelli lignei e elemento battiscopa per il passaggio degli impianti (Fig. 4); sistemi a telaio in legno, a sezione rettangolare, completato da pannelli in cartongesso a elementi modulari avvitati, con intercapedine a livello battiscopa per il passaggio degli impianti (Sistema Gyproc, certificato Cradle to Cradle; Fig. 5). In legno, il Sistema Systember utilizza montanti in massello maschiati, con possibile integrazione dei montanti degli im-

pianti, con connettori metallici di giunzione (Fig. 6). Inoltre, sono state montate partizioni in cartongesso con giunti a secco e intercapedine a livello battiscopa per il passaggio degli impianti (Sistema Saint Gobain; Fig. 7). La capacità di connessione tra sistemi diversi è elemento cruciale per il progetto che attraverso la facilità e la velocità di utilizzo rende user-friendly soluzioni diverse, complesse e variabili.

In Italia, sul requisito di disassemblabilità, dal 2015 è intervenuto uno specifico obbligo legato al relativo criterio contenuto nei CAM Edilizia, per la cui implementazione si pongono, nell'immediato, alcuni limiti legati alle modalità e prassi consolidate dagli operatori delle costruzioni, orientate tradizionalmente verso soluzioni costruttive a umido. Ulteriore ostacolo, in termini di potenzialità di attuazione dei CAM Edilizia, si pone per l'obbligo di adottare una quota di prodotti da costruzione bio ed eco-compatibili, con contenuto di riciclato e certificati che, per il loro carattere non convenzionale, risultano frequentemente non presenti nei prezziari regionali. Ciò comporta, nella specifica dei prodotti all'interno di computo metrico estimativo e capitolato, il maggior onere dell'elaborazione di nuovi prezzi da parte del professionista: problema del tutto superabile, mediante un regolare aggiornamento dei prezziari regionali peraltro cogente, che andrebbe certamente sollecitato. Consapevole di tali criticità, attraverso la partecipazione ai tavoli tecnici del MATTM per lo sviluppo e progressivo aggiornamento dei CAM Edilizia, il GdL contribuisce alla definizione delle modalità di implementazione dell'approccio circolare nella filiera edilizia nazionale, in dialogo con i diversi stakeholder (Ficco, 2018).

Il GdL ha, inoltre, testato l'applicazione dei CAM Edilizia attraverso una delle prime sperimentazioni progettuali a livello nazionale condotta fino alla fase di costruzione⁴. L'edificio scolastico, un asilo nido di 400 mq progettato e realizzato nel 2017 nell'area civile dell'Aeroporto Militare di Grosseto, per il Ministero della Difesa⁵ (Fig. 8), è attualmente in fase di ri-progettazione per una seconda edificazione, in un'area analoga, a Viterbo. La nuova esperienza, a due anni dalla precedente, rappresenta un'utile occasione per affinare le soluzioni progettuali, soprattutto quelle finalizzate a un'elevata produttività delle risorse, e sondare il progressivo adeguamento del mercato rispetto all'offerta di materiali conformi ai CAM.

L'iter progettuale che, da un progetto di fattibilità tecnico-economica sviluppato dalla Stazione Appaltante ha condotto al progetto definitivo e poi esecutivo e alla realizzazione dell'opera, ha richiesto il confronto tra più soluzioni costruttive e materiali alternativi per la struttura in elevazione, la copertura, i rivestimenti di facciata e le finiture dell'edificio scolastico, in rispondenza ai criteri 2.4.1 e 2.4.2 del DM 11/10/17 – Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici (in particolare, 2.4.1.1 – Disassemblabilità; 2.4.1.2 – Contenuto di materia recuperata o riciclata). La sperimentazione progettuale ha posto nello studio e nella verifica esecutiva di soluzioni di copertura e facciata a secco, combinate con varie tipologie di struttura verticale (continua e discontinua) un approccio originale; la definizione di specifiche tecniche e modalità di selezione e approvvigiona-

mento dei materiali, per l'individuazione di prodotti certificati con contenuto di riciclato, con particolare riferimento alla filiera produttiva locale del CLS conforme ai CAM, ha, inoltre, costituito elemento di innovazione.

Il progetto posto a base di gara prevedeva un edificio monopiano con struttura a telaio in cemento armato e tamponatura in laterizio, copertura laterocementizia a falde, facciate rivestite in lastre di gres incollato, con bucatore di dimensione minima: un fabbricato convenzionale, di limitata qualità architettonica e ambientale. L'edificio riprogettato in conformità ai CAM è, invece, un sistema edificato mono piano, in muratura portante realizzata in blocchi multistrato per muratura armata, con copertura piana in legno lamellare (Figg. 9-11) su cui è posato un manto a tetto verde estensivo, con facciate ventilate in lastre di fibrocemento colorato, montate a secco su sottostruttura lignea (Figg. 12, 13). L'adeguamento ai CAM ha consentito un miglioramento sia della qualità architettonica spaziale e tecnologica, tangibile e funzionale a un potenziamento dell'efficacia ecologica dell'organismo edilizio, sia della qualità del comfort ambientale al suo interno, aspetto strategico data la destinazione ad asilo nido.

Ad esempio, ai fini del soddisfacimento del valore medio di luce diurna (2% in base al par. 2.3.5.1 del DM 11/10/17), in rispondenza agli esiti delle analisi illuminotecniche (Fig. 14), sono state ampliate le superfici finestrate e inserita una chiostrina interna, con funzione di patio scoperto per il gioco dei bambini e di presa d'aria e luce naturale per gli ambienti adiacenti, e in particolare per lo spazio-jolly in comune tra le due sezioni (Figg. 15-17). Al contempo si è verificata la necessità di coerenti sistemi di schermatura solare, in particolare

sulle facciate sud-est e sud-ovest, come prescritto dal par. 2.3.5.3 del Decreto, introducendo: una velletta in lamiera di acciaio stirata, con funzione di parapetto del tetto e di fascia di coronamento delle facciate; sistemi di protezione integrati negli infissi (veneziane a lamelle orientabili); due porticati, realizzati con due ampi sporti dalla copertura in legno lamellare.

Il cambiamento della struttura portante, rispetto al progetto di base, con l'impiego di muratura armata in blocchi in calcestruzzo di argilla espansa da 36 cm di spessore (Fig. 18), altamente isolanti e con ottimo comportamento termo-igrometrico, in stagione invernale ed estiva, con interposto isolante in polistirene espanso con grafite, ha permesso di realizzare un involucro massivo ad alte prestazioni energetiche e costi contenuti. Il prodotto impiegato, inoltre, risponde ai CAM per il contenuto di riciclato superiore al 5%, come prescritto per i prodotti in calcestruzzo (par. 2.4.2.1 del DM 11/10/17). Se nel 2017 l'azienda produttrice, tuttavia, non aveva potuto fornire idonea certificazione (come prevista dalle modalità di verifica del Decreto), nel 2019 il medesimo prodotto risulta certificato da ICMQ ai sensi della norma ISO 14021, che risponde pienamente ai requisiti previsti dai CAM. Il prodotto impiegato risulta, inoltre, con capacità termica areica interna periodica (Cip) superiore a 40 kJ/m²K, che garantisce di evitare il surriscaldamento interno in regime estivo, come prescritto dal par. 2.3.2 - Prestazione energetica). Il carattere massivo dell'involucro è combinato con il ricorso a un impianto fotovoltaico da 9,50 kW (incrementato del 10% rispetto al progetto a base di gara ai sensi del par. 2.3.3) e 25 mq di pannelli solari termici; entrambi i sistemi ospitati in copertura e mascherati dal parapetto/frangisole in lamie-

ra stirata, associati all'utilizzo di pannelli radianti a pavimento a bassa temperatura e pompe di calore ad alta efficienza, hanno garantito il conseguimento della classe energetica A4 - costruzione a energia quasi zero (NZEB). I calcoli energetici hanno infatti dimostrato che la percentuale di copertura con fonti rinnovabili del fabbisogno annuo di energia elettrica per riscaldamento è pari al 62,03%, mentre quella relativa al fabbisogno annuo di ACS è pari addirittura al 91,59%.

La copertura, con struttura portante in travi in legno lamellare in sostituzione del tetto a falde in latero-cemento, completata da un doppio strato di isolante naturale in sughero e da un pacchetto di tetto verde estensivo al di sopra di un massetto alleggerito gettato in opera per realizzare le pendenze, ha risposto da un lato al criterio della disassemblabilità e del contenuto di riciclato, dall'altro a quanto richiesto dal par. 2.4.2.3 del DM 11/10/17 sulla sostenibilità e legalità del legno. Il sistema costruttivo è realizzato infatti in legname certificato (PEFC), trattato con olii e resine naturali, privi di emissione di sostanze tossiche. Nella ri-progettazione dell'edificio, attualmente in corso, si sta lavorando per aumentare il livello di disassemblabilità del sistema di copertura: nel nuovo fabbricato, il manto sarà realizzato totalmente a secco, per la massima reversibilità del sistema, con una riduzione dei materiali impiegati in termini di numero e di peso. La soluzione prevede, infatti, in luogo del massetto delle pendenze gettato in opera, una doppia orditura di listelli di legno, capace di garantire la creazione della corretta pendenza, e uno strato di finitura in elementi metallici continui a giunti occulti, installati a incastro, senza forature negli strati sottostanti, incombustibili e idonei all'installazione di impianti solari termici e fotovoltaici, nel ri-

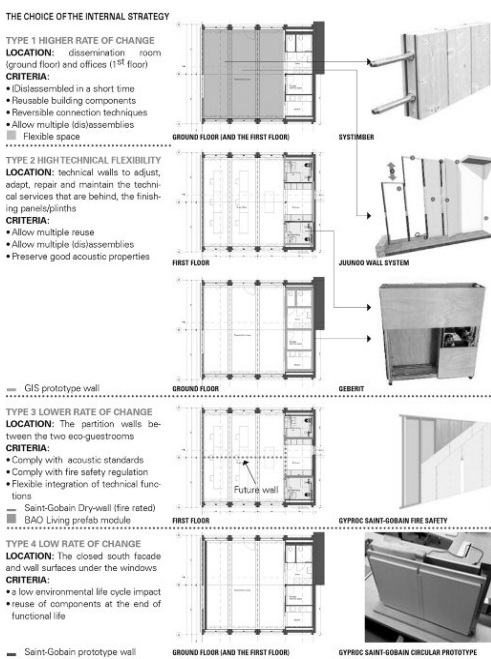


Fig. 3 - Strategies and Systems tested inside the Circular Retrofit Lab (BAMB Project, Testing BAMB results through prototyping and pilot projects, 2019).



Fig. 4-7 - Geberit System for the assembly of removable toilet cisterns, adapted to create disassemblable internal partitions with metal frame and wooden panels; Gyproc System for disassemblable internal partitions in wood and plasterboard with modular interlocking elements; Systimber System for disassemblable walls in solid tongue and groove wood elements joined with metal connectors; Saint Gobain System for disassemblable internal partitions in plasterboard with dry joints with a cavity behind the baseboard for the passage of the systems. All the Systems have been tested in the Circular Retrofit Lab at the VUB Campus in Brussels (credits: P. Altamura, 2019).



Fig. 8 - Overall view of the kindergarten building built in compliance with the GPP CAM for Buildings at the Grosseto Military Airport (credit: P. Altamura, 2019).

Next page. Figg. 9-11 - The building site with reinforced load-bearing masonry in multi-layer expanded clay concrete blocks and a glulam roof; Plan of the kindergarten building as in the executive project; Transversal architectural section of the kindergarten building, through the main hall and the two porticos (credits: P. Altamura, 2017).

spetto delle nuove norme in materia di comportamento al fuoco (Euroclasse A1 EN 13501-1). Si rinuncerà dunque al tetto verde estensivo, a favore di un pacchetto estremamente leggero e completamente smontabile, privo persino di guaine impermeabilizzanti grazie alla continuità del manto.

Al fine di elevare il livello di reversibilità dei componenti edilizi, inoltre, la riprogettazione dell'edificio scolastico, attualmente in corso, è orientata alla scelta di pareti e fodere tecniche poste lungo i muri portanti e negli arredi fissi (Fig. 19), per garantire la rimovibilità di parti degli impianti installate in modo tradizionale. La rispondenza al criterio del comfort termo-igrometrico (par. 2.3.5.7, DM 11/10/17) è stata garantita dall'uso di pareti massive e di coerenti soluzioni per l'involucro in grado di evitare la formazione di ponti termici. In particolare, il rivestimento delle facciate (nel rispetto del par. 2.4.1.1 - Disassemblabilità del Decreto) è realizzato con l'impiego di lastre di grandi dimensioni in fibrocemento ecologico con sottostruttura di supporto in listelli di legno (facciata ventilata altamente traspirante e collaborante alla qualità termo-igrometrica dell'involucro dell'edificio), in sostituzione del sistema di finitura in gres incollato. Il fibrocemento - materiale leggero, sottile, resistente, durevole e ad alta efficienza energetica, con basse emissioni di anidride carbonica in fase di produzione e prodotto da materie prime estratte localmente - si posa a secco con lastre già tagliate in fabbrica su disegno, riducendo i tempi di realizzazione, abbattendo il volume degli scarti prodotti, ottimizzando le operazioni di manutenzione ed eventuale sostituzione di compo-

nenti. La composizione chimico-fisica delle lastre, caratterizzata da materiale atossico e altamente riciclabile, garantisce l'ecologicità del sistema nella fase di vita utile e nell'eventuale dismissione.

La scelta dei materiali da costruzione (par. 2.4.1 - Criteri comuni a tutti i componenti edilizi, DM 11/10/17) si è orientata, coerentemente, verso calcestruzzi che contenessero la percentuale minima di riciclato. Tale condizione non è stata, però, garantita per la indisponibilità, presso i produttori locali, di calcestruzzo conforme ai CAM: l'ipotesi avanzata, quindi, ha verificato la possibilità di ricorrere alla fornitura di aggregati riciclati nella Regione Lazio. La valutazione dei costi in riferimento alle quantità necessarie, ha reso tale ipotesi non praticabile per la Stazione Appaltante. Per realizzare la platea di fondazione (200 mc di calcestruzzo) sarebbero serviti circa 0,5 ton/mc di aggregati riciclati, ovvero 100 tonnellate di inerti, con costi di circa 400 euro/ton, a cui aggiungere le spese di trasporto (oltre 3.000 euro). A due anni di distanza, nell'ambito del processo di 'procurement' legato alla nuova struttura scolastica da realizzare a Viterbo, si è riscontrata invece la presenza sul territorio, a una distanza ammissibile dall'area di intervento, di due impianti di produzione di CLS che si sono organizzati per poter garantire forniture conformi ai CAM.

Per le finiture delle superfici orizzontali, le scelte sono, invece, state orientate verso prodotti ecologici, certificati e di seconda vita. Le pavimentazioni interne sono state realizzate in linoleum (Fig. 20) di alta qualità ed ecologico, prodotto con un 40% minimo di riciclato e privo di emissioni

nocive (par. 2.4.2.9 - Pavimenti e rivestimenti, DM 11/10/17). Il prodotto adottato è un materiale naturale, certificato Cradle to Cradle, il cui limite è stato riscontrato soltanto nell'assenza di certificazioni di idoneità all'uso nelle vie di fuga, ai sensi delle normative antincendio, che ha comportato la necessità di effettuare test in opera per la certificazione ex post del materiale. A due anni di distanza, nella riprogettazione in corso, il fornitore si è dotato, anche in questo caso, di idonea certificazione. Le pavimentazioni delle aree gioco esterne sono composte da granulo di gomma riciclata, derivante da pneumatici dismessi, prodotta con materiale riciclato post-consumo (PFU) per il 90% (par. 2.4.1.2 - Materia riciclata, DM 11/10/17). Sono stati inoltre installati igloo in materiale plastico riciclato in funzione di vespaio di aereazione e di allontanamento del gas radon (par. 2.3.5.8). Relativamente ai materiali utilizzati, annoverando anche il legno FSC alla stregua del materiale riciclato, come previsto dalle ultime indicazioni del MATTM sulle modalità di applicazione dei CAM (che chiariscono come il legno certificato sia da considerarsi al pari del materiale riciclato), si è riusciti a raggiungere la soglia minima del 15% in peso di contenuto di riciclato complessivo.

Conclusioni - La valutazione a confronto delle due fasi della sperimentazione progettuale, realizzate in un intervallo temporale ridotto, permette di evidenziare che l'obbligatorietà dei CAM rappresenta un driver per il miglioramento dell'efficacia ecologica complessiva del progetto, nonché una potente leva nell'integrazione dell'approccio circolare nel-

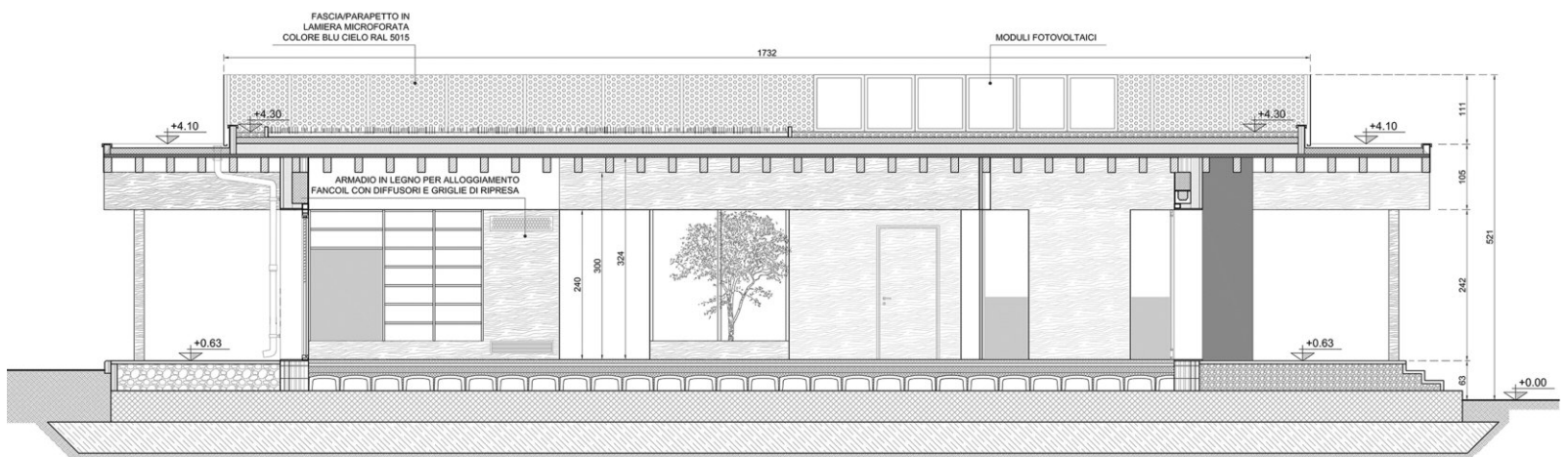
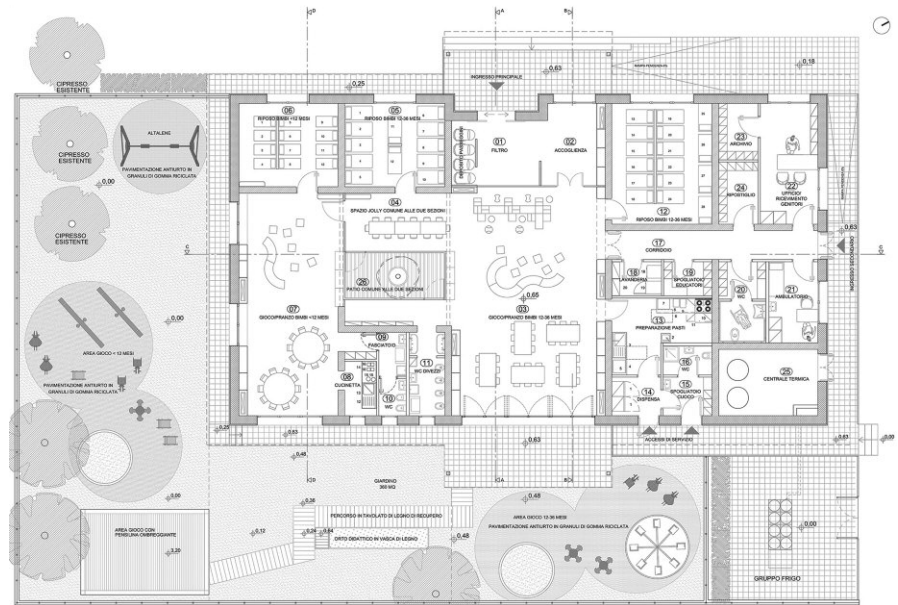
la filiera delle costruzioni. In tal senso, si è inteso evidenziare le innovazioni di processo e prodotto necessarie per una compiuta implementazione dell'approccio circolare nella progettazione e nell'esecuzione dell'architettura. Sono evidenti, infatti, i limiti delle esperienze nazionali, se poste a confronto con le best practices europee, nella circoscritta adozione di soluzioni costruttive reversibili e nelle complessità determinate dall'obiettivo di garantire il rispetto della soglia del 50% di componenti disassemblabili, in peso, compatibili con le tecniche costruttive appropriate al clima locale.

La costruzione reversibile, leggera e disassemblabile, costituisce, in ambito mediterraneo, un sistema non del tutto adeguato in termini di efficienza energetica, in riferimento ai sistemi costruttivi locali, in cui la consistenza massiva genera un comportamento passivo, adeguato alle variazioni microclimatiche stagionali. L'obiettivo, che la ricerca attuale si pone, è orientato al trasferimento del Reversible Building Design sulle modalità costruttive 'tradizionali' in contesto mediterraneo, attraverso la valutazione tecnica delle strategie e dei sistemi de-costruibili appropriati. In tal senso, il caso studio riportato evidenzia un possibile bilanciamento tra le esigenze di massa e di reversibilità delle costruzioni, nella combinazione della muratura portante con la struttura a secco in legno lamellare di copertura.

Relativamente ai materiali, invece, la soglia di contenuto minimo di materia riciclata o recuperata pari al 15% in peso del totale dei materiali impiegati nell'intervento edilizio, la sperimentazione permette di garantire il superamento di tale percentuale, quasi in ogni scelta effettuata, dimostrandone il livello limitato della richiesta. È, inoltre, emersa chiaramente, la capacità di adeguamento del mercato nell'offerta di prodotti conformi alle normative, che si è dimostrata rapida e piuttosto mirata a specifici prodotti, quali i blocchi per le murature (certificazione del contenuto di riciclato), i materiali per le pavimentazioni e gli arredi scolastici.

ENGLISH

The transition to a circular economy has been progressively recognized as a promising approach to maximizing value, increasing resource productivity, minimizing consumption and related waste production. In fact, in the last decade, the EU has significantly increased the attention on the efficient use of material resources, with the issuing of



a Roadmap (European Commission, 2011) and of an Action Plan (European Commission, 2015). These have been followed in 2018 by the package of new directives on waste and the circular economy, aimed at favouring the transposition of the circular approach to the built environment. In relation to the state of implementation of the Action Plan, in March 2019 the EU published¹ a Report on the 54 actions launched in the last 3 years, of which 3 specifically dedicated to construction and demolition waste. The Report (European Commission, 2019) evidently shows the clear direction taken by the EU towards the transition to a circular economy: in 2016, in fact, circular activities (repair, reuse, recycling) generated almost 147 billion euros added value and the contribution of recycled materials to the global demand for materials recorded a continuous increase (European Commission, 2019). However, there is a large margin of potential growth, seeing as in 2016 recycled materials managed to meet on average less than 12% of the total demand for materials of the EU². In the growth trend of this important indicator (Circular Material Use Rate), Italy stands out for an increase of almost 6%, between 2010 and 2016, and a rate of 17.1% which in 2016 places it significantly above the EU average, at a comparable level with France, the United Kingdom and Belgium, only lower than the Netherlands (3XN, 2015; Icibaci, 2019).

In Italy, on the other hand, the rules on Green Public Procurement (GPP) had very early introduced regulations (Ministerial Decree no. 203/2003) aimed at the circularity of production processes, with a pioneering approach which already called for a minimum of 30% recycled content in all products purchased by Public Administrations (Gargari, Hamans and Torricelli, 2013; Cianciullo, 2016). This target, disregarded at the time, has been relaunched with the most recent update of the Italian National Action Plan for GPP (Italian Ministerial Decree 10/04/13). Moreover, the new Public Procurement Code (Legislative Decree 50/2016) has sanctioned the mandatory application of the GPP Minimum Environmental Criteria (CAM) for individual categories of products, which in the building sector (Ministerial Decree 24/12/15 and Ministerial Decree 11/10/17) applies to the totality of the contracts. In total compliance with the European guidelines, the CAM for Buildings introduce, with regard to the theme of resource efficiency of materials, different criteria related to the project and the construction phases. It introduces the obligation to adopt pre-demolition audits, selective demolition processes and a recovery rate of construction and demolition waste equal to 70% (Ministerial Decree 11/10/17, paragraph 2.4.2), in compliance with the objectives of Directive 98/2008 on waste. At the same time, it requires a minimum content of recycled or recovered material equal to 15% by weight of the total materials used in any type of building intervention (par. 2.4.1.2), establishing specific thresholds with reference to some of the main building materials. However, the most innovative requirement set by CAM, in relation to the national construction practices, is the one relating to the disassembling of the building components (par. 2.4.1.1), which must be guaranteed for 50% of the components by weight.

Therefore, the need to orient architectural design in terms of systemic reversibility emerges, al-



Figgs. 12, 13 - Details: The substructure of the ventilated façade in fiber-cement slabs, made with wood slats; The façade covered in dry-mounted fiber-cement slabs, with the effect of solar shading given by the metal mesh panels (credits: P. Altamura, 2017).

lowing to highlight the connections between the components as an overriding element of architecture, with a view to dematerialisation and with a Zero Waste Design approach (as developed at Eindhoven University, 2000).

Research experiences and design experimentation – This contribution reports some methodological reflections elaborated by the Working Group (WG), based on research experiences and design experimentation focusing on the interrelations between the objective of a high Resource Productivity of buildings materials and the innovation of the design process from a Life Cycle perspective, with the aim of transferring Reversible Building Design into the Mediterranean technological culture (Mulhall and Braungart, 2010). Design for deconstruction, which entails the disassembly of the components (Fig. 1), allows to fulfil the principle of flexibility in use and of the variation over time of the building, as well as the restoration, reuse and recovery of materials, products and components, their updating or replacement, with simpli-

fied accessibility to the various layers, thanks to the reversibility of connections (Carvalho Machado et alii, 2018; Co.Project, 2016).

From this design approach, an important potential for innovation at the product level derives, which can also be obtained with the technological transfer of reversible construction solutions between multiple sectors and different building components (Densley Tingley and Allwood, 2015). From a methodological point of view, the pilot case of the Circular Retrofit Lab, carried out at the Brussels VUB within the European H2020 project Buildings as Materials Banks (BAMB), represents an important reference for a 'research by design' approach and a 'process approach' vision³. In fact, the Circular Retrofit Lab project highlights the need for synergies between the activities of the construction industry, combining the design process, the collaboration and cooperation process, and the learning process.

The prefabricated concrete modules (Variel System, arch. Fritz Stucky), initially used as a temporary solution, were installed in the VUB Campus in the 1970s to meet the growing demand for student housing. The flexibility of the modular system, developed in Switzerland, made it possible to create a variable layout that generated an articulated sequence of green and built spaces. The analysis of the reversibility capacity of an existing building – a prerequisite for the experimentation developed within the BAMB project – has demonstrated the need to reuse reinforced concrete structures with a high environmental impact (assessed on the basis of LCA), through the verification of compatibility and integration of technical systems and materials currently in production, used in innovative ways. This approach is able to generate circular solutions, by leveraging current market proposals and widely used products and components, able to allow the adaptation of the building envelope to the safety and thermal performance requirements (with the elimination of the original façade panels containing asbestos), as well as to ensure the quality of indoor environment, energy efficiency in use, flexibility of the structure and adaptability to different uses (Fig. 2).

The pilot project tested and implemented different scenarios for the reuse and recovery of students' prefabricated housing in the VUB Campus, without generating large quantities of waste. Transformation strategies (indoor and outdoor) were explored for the definition of multiple functional re-configurations of the module, through the adoption of products available on the market, testing removable, adaptable and reusable solutions. Based on the expected level of functional flexibility, three different systems of internal separation (Dynamic Walls), were selected, analysed, assembled and transformed, characterized by high variability, high degree of flexibility for plant integration and reduced technological complexity.

The prototype tested modular, prefabricated components and kit systems, which can be dismantled and reused, adapting them to different possible configurations using reversible connections, based on a defined functional layout, in accordance with the 'reversible design' approach (Durmisevic, 2018), integrating natural, recycled and recyclable materials, in different ways. The pilot project thus developed a co-creative process throughout all phases of (re) designing, (re) construction, (re) use

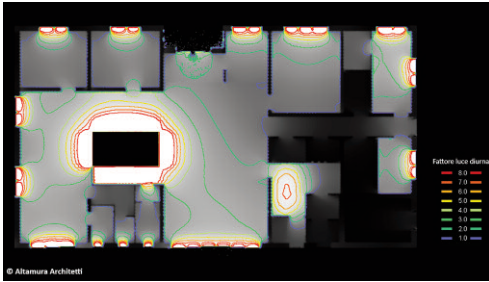


Fig. 14-17 - Diagram showing the assessment of the daylight factor in the kindergarten building; The main room of the kindergarten buildings, illuminated by the internal patio; The second kindergarten hall, used as a refectory and visually connected to the main hall by the internal patio; The internal patio created to reach the average daylight factor prescribed by the GPP CAM for Buildings (credits: P. Altamura, 2017, 2019).

or deconstruction, through the consultation with stakeholders, in order to identify and verify compatible and efficient solutions.

In particular, a comparison was made (Fig. 3) between: metal frame systems with complex sections (adapted by the Geberit System Kits) with internal partitions in wooden panels and a baseboard element for the passage of plumbing and electric systems (Fig. 4); wooden frame systems, with rectangular section, completed by modular elements with screwed plasterboard panels, with a baseboard cavity for the passage of systems (Gyproc System, with Cradle to Cradle certification; Fig. 5). The Systember System uses solid tongue and groove wood elements, joined with metal connectors, with potential integration of the systems in the vertical modules (Fig. 6). Furthermore, plasterboard partitions were installed with dry joints and a baseboard cavity for the passage of the systems (Saint Gobain System; Fig. 7). The

ability to connect different systems is a crucial element for the project which, through the ease and speed of use, makes different, complex and variable solutions user-friendly.

In Italy, since 2015 a specific obligation on the requirement of disassembling has been introduced through to the relative criterion contained in the GPP CAM for Buildings. However, for its implementation, at present there are some limits due to the methods and practices normally adopted by construction operators, traditionally oriented towards wet construction methods. A further obstacle, in relation to the potential implementation of GPP CAM for Buildings, can be found in the obligation to adopt natural and eco-compatible construction products, with recycled content, provided with environmental certifications. These products, due to their unconventional nature, are frequently not included in the Italian Regional price lists. This implies, in the specification of the

products within the bill of quantities, the heavier burden of the elaboration of new prices by the designer. A problem that could be completely overcome, through a regular update of the Regional price lists, which is also mandatory and should certainly be solicited. With the awareness of these critical issues, the WG contributes to the definition of the implementation of the circular approach in the national construction chain, in dialogue with the various stakeholders (Ficco, 2018).

The WG also tested the application of GPP CAM for Buildings through one of the first design experiments at national level conducted up to the construction phase⁴. The school building, a 400 square meters kindergarten designed and built in 2017 in the civil area of the Grosseto Military Airport, for the Ministry of Defense⁵ (Fig. 8), is currently being re-designed for a second building, in a similar area, in Viterbo. This new experience, two years later, represents a useful opportunity to refine

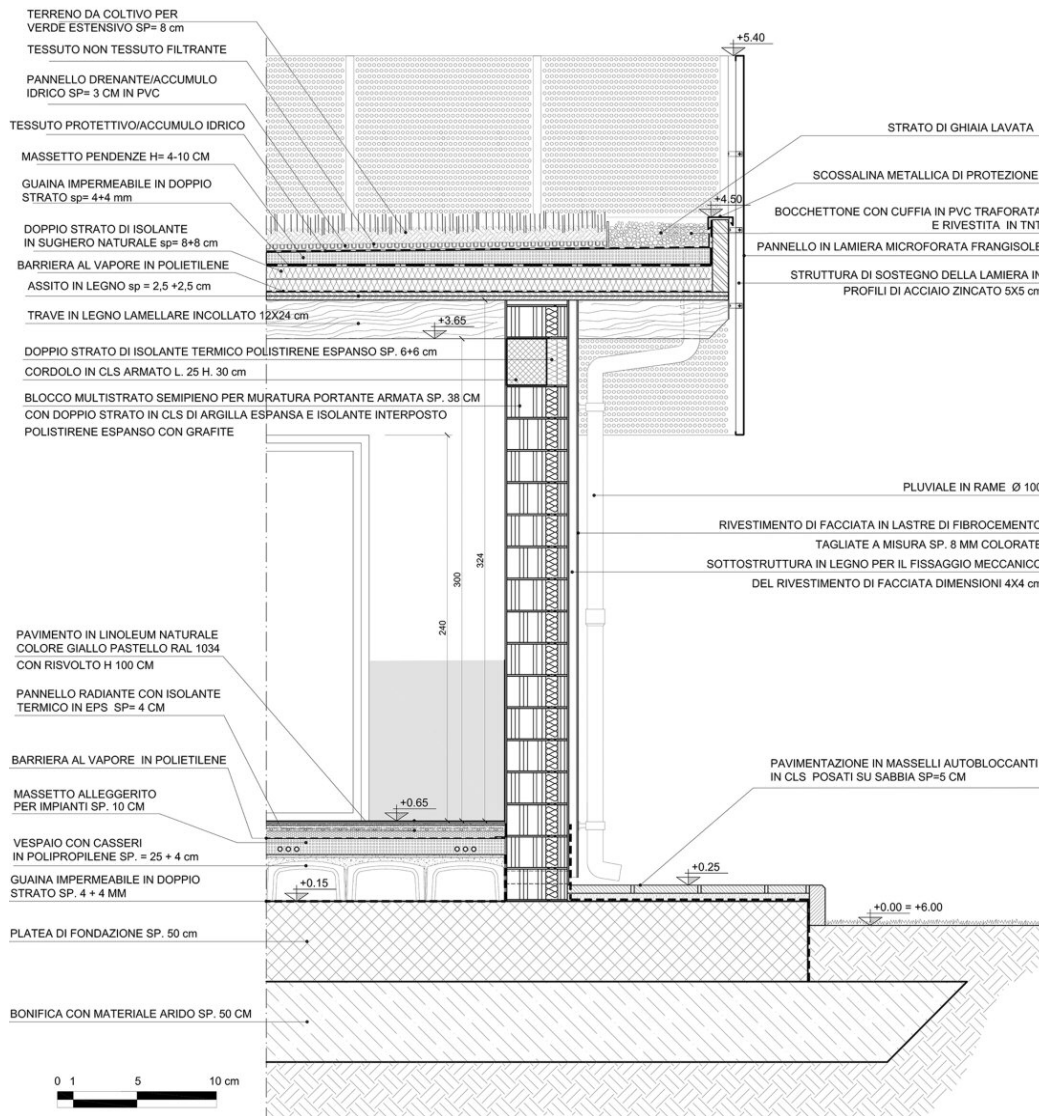


Fig. 18 - Technological section of the kindergarten building with load-bearing masonry and disassemblable glulam roof, showing the ventilated façade solution (credit: P. Altamura, 2017).

the design solutions, especially those aimed at a high productivity of resources, and to prove the progressive adaptation of the market with respect to the offer of GPP CAM compliant building materials.

The design process that, from a technical-economic feasibility project developed by the contracting authority, led to the executive project and finally to the construction of the building, required the comparison between several construction solutions and alternative materials for the structure, the roofing, the façade cladding and the finishing of the kindergarten, in compliance with the criteria 2.4.1 and 2.4.2 of the Ministerial Decree 11/10/17 – Minimum environmental criteria for the assignment of design services and works for the new construction, renovation and maintenance of public buildings' (in particular, 2.4.1.1 – Disassembling; 2.4.1.2 – Content of recovered or recycled material). The design experimentation used an original approach in the study and in the executive verification of solutions for the roofing and the dry façade, combined with various types of vertical structure (continuous and discontinuous); the definition of technical specifications and methods of selection and procurement of materials, for the identification of certified products with recycled content, with particular reference to the local production

chain of concrete compliant with CAM, also constituted an element of innovation.

The project was based on a single-storey building with a reinforced concrete frame structure and brick outer walls, pitched cement roofing, facades covered with glued ceramic slabs, with minimum size openings: a conventional building of limited architectural and environmental quality. The building, redesigned in accordance with GPP CAM, is, instead, a single-storey building in load-bearing masonry made of multilayer blocks for reinforced masonry, with a flat glulam roof (Fig. 9-11) on which an extensive green roof is laid, with ventilated facades in coloured fibre cement slabs, screwed on a wooden substructure (Fig. 12, 13). The adaptation of the project to GPP CAM, allowed a tangible improvement of the architectural, spatial and technological quality of the building. This improvement was functional both to an enhancement of the ecological effectiveness of the building, and to the quality of the environmental comfort inside it, a strategic aspect given the destination to kindergarten.

For example, in order to satisfy the average daylight value (2% based on par. 2.3.5.1 of the Ministerial Decree 11/10/17), in accordance with the results of the natural lighting analysis (Fig. 14), the

window surfaces were enlarged and an internal small patio was inserted, with the function of outdoor space for children to play and of air and natural light intake for the adjacent rooms, and in particular for the common space between the two sections (Fig. 15-17). At the same time, the need for coherent solar shading systems, in particular on south-east and south-west facades, as required by par. 2.3.5.3 of the Decree, led to introducing: a strip of metal mesh panels, with the function of parapet of the roof and of crowning element of the facades; protection systems integrated in the windows (venetian blinds with adjustable slats); two porticos, made with two large projections of the glulam roof.

The change of the load-bearing structure, compared to the original project, with the use of reinforced masonry blocks of expanded clay, with a 36 cm thickness and interposed insulation in expanded polystyrene with graphite (Fig. 18), highly insulating and with excellent thermo-hygrometric behaviour in winter and summer, made it possible to create a massive envelope with high energy performance and low costs. The chosen product also responds to GPP CAM, with a recycled content of more than 5%, as prescribed for concrete products (par. 2.4.2.1 of Ministerial Decree 11/10/17). However, while in 2017 the manufacturing company was not able to provide suitable certification (as required by the verification methods of the Decree), in 2019 the same product is certified by ICMQ as pursuant to the ISO 14021 standard, which fully complies with the requirements of GPP CAM. The product used for the masonry also has a periodic internal heat capacity of more than 40 kJ/m²K, which guarantees to avoid internal overheating in summer, as prescribed by par. 2.3.2 – Energy performance. The massive nature of the envelope is combined with the use of a 9.50 kW photovoltaic system (increased by 10% compared to the tender-based project, in compliance with par. 2.3.3) and 25 square meters of solar thermal panels. Both systems were placed on the roof and masked through the parapet/sunshade in metal mesh panels. These systems, combined with the use of low temperature radiant floor panels and high efficiency heat pumps, ensured the achievement of the energy class A4 – almost zero energy construction (NZEB). Energy calculations clearly showed that the percentage of coverage with renewable sources of the annual electricity demand for heating is equal to 62.03%, while that related to the annual requirement of hot water is 91.59%.

The roof, with a load-bearing structure in glulam beams substituting the traditional concrete pitched roof, completed by a double layer of natural cork insulation, a lightened traditional screed to ensure the necessary slopes, and an extensive green roof package. This responded on the one hand to the criterion of disassembly and of recycled content, on the other to what is required by par. 2.4.2.3 of Ministerial Decree 11/10/17 on the sustainability and legality of wood. The construction system is in fact made of certified timber (PE-FC), treated with natural oils and resins, free of toxic substances. In the redesign of the building, currently underway, a detailed study is being conducted in order to increase the level of disassembly of the roofing. In the new building, the roof will be completely a dry system, in order to achieve the maximum reversibility with a reduction in materials employed in terms of number and weight. In

fact, the chosen solution, instead of the traditional wet screed, presents a double frame of wooden slats, able to guarantee the creation of the correct slope, and a finishing layer in continuous metal elements with hidden joints, installed by interlocking, without drillings in the underlying layers. These metal elements are incombustible and suitable for the installation of solar thermal and photovoltaic systems, in compliance with the new fire regulations (Euroclass A1 EN 13501-1). Therefore, the extensive green roof will probably be abandoned, in favour of an extremely light and completely removable package, without even waterproofing sheaths thanks to the continuity of the metal roofing elements.

Moreover, in order to raise the level of reversibility of the building components, the redesign of the school building, currently in progress, is oriented to the choice of walls and technical dry counter-walls placed along the bearing walls and in the fixed furnishings (Fig. 19), in order to guarantee the removability of parts of the systems, installed in a traditional way. The compliance with the thermo-hygrometric comfort criterion (par. 2.3.5.7, Ministerial Decree 11/10/17) was guaranteed through the use of massive walls and coherent solutions for the building envelope, able to avoid the formation of thermal bridges. In particular, the cladding of the facades (in compliance with par. 2.4.1.1 – Disassembly) was made with the use of large slabs of ecological fibre cement with a supporting structure in wood slats (highly breathable ventilated facade collaborating to the thermo-hygrometric quality of the building envelope), replacing the glued ceramic slabs solution of the original project. The fibre cement – a light, thin, resistant, durable and highly energy efficient material, with low carbon dioxide emissions in the production phase and produced from locally extracted raw materials – is screwed to the wooden structure, with slabs cut at the factory according to the design project of the facade, thus reducing installation times and the volume of waste produced, optimizing maintenance operations and allowing the eventual replacement of components. The chemical-physical composition of the slabs, characterized by non-toxic and highly recyclable material, guarantees the ecological nature of the system in the useful life phase and in the eventual disposal.

The choice of construction materials (par. 2.4.1 – Criteria common to all building components, Ministerial Decree 11/10/17) was oriented, coherently, towards concrete containing the necessary percentage of recycled material. Nevertheless, this requirement was not guaranteed due to the unavailability of CAM-compliant concrete by local producers. Therefore, a hypothesis was put forward, of resorting to the supply of recycled aggregates in the Lazio Region. The evaluation of the costs, with reference to the necessary quantities, made this hypothesis not feasible for the contracting authority. To make the foundation slab (200 cubic meters of concrete) about 0.5 ton/mc of recycled aggregates, or 100 tons of aggregates, would have been needed, with costs of around 400 euros/ton, to which transport costs had to be added (over 3,000 euros). Two years later, within the procurement process of the new school building to be set up in Viterbo, two concrete production plants have recently been found on the territory at an admissible distance from the intervention area, who

have organized themselves to be able to guarantee CAM-compliant concrete supplies.

For the finishes of horizontal surfaces, the choices were oriented towards ecological, certified and second-life products. The interior floors were made of high quality and ecological linoleum (Fig. 20), produced with a minimum of 40% recycled content and free of harmful emissions (par. 2.4.2.9 – Floors and walls, Ministerial Decree 11/10/17). The product adopted is a natural material, with a Cradle to Cradle certification, whose only limit was found in the absence of certifications of suitability for use in escape routes, pursuant to fire regulations. This entailed the need to carry out tests for the ex post certification of the material. Also in this case, two years later, in the redesigning process of the building, it has been found that the supplier has equipped himself with suitable certifications. The flooring of the outdoor play areas is composed of recycled rubber granules, derived from discarded tires, produced with post-consumer recycled material for 90% by weight (par. 2.4.1.2 – Recycled material, Ministerial Decree 11/10/17). Furthermore, recycled plastic igloos were installed with a function of aeration and removal of radon gas (par. 2.3.5.8). In relation to the materials used, by considering FSC certified wood in the same way as recycled material, as required by the latest indications of the Italian Ministry of Environment on the implementation of GPP CAM for Buildings, clarifying how certified wood is to be considered equivalent to recycled material, it was possible to reach the minimum threshold of 15% by weight of overall recycled content.

Conclusions – The evaluation in comparison of the two phases of the design experimentation, carried out in a short time interval, allows to highlight how the mandatory nature of GPP CAM for Buildings represents a driver for the improvement of the overall ecological effectiveness of the project, as well as a powerful lever in the integration of the circular approach in the construction supply chain. In this sense, the present contribution intended to highlight the process and product innovations necessary for a complete implementation of the circular approach in the design and construction of architecture. In fact, the limits of national experiences are evident, if compared with European best practices, in the circumscribed adoption of reversible constructive solutions and in the complexities determined by the objective of guaranteeing compliance with the 50% threshold of disassemblable components by weight, compatible with building techniques appropriate to the local climate.

The reversible, light and disassemblable construction constitutes, in the Mediterranean area, a system which is not totally adequate in terms of energy efficiency, with reference to local construction systems, in which the massive consistency generates a passive behaviour, adequate to the seasonal microclimatic variations. The objective, which the current research sets itself, is oriented to the transfer of the Reversible Building Design on the 'traditional' constructive modalities in the Mediterranean context, through the technical evaluation of the appropriate strategies and de-constructible systems. In this sense, the case study reported highlights a possible balance between the mass and reversibility requirements of the buildings, in the com-

bination of the load-bearing masonry with the dry structure made of glulam beams and wooden roof.

On the other hand, with regard to materials, and specifically to the threshold of minimum content of recycled or recovered material equal to 15% by weight of the total materials used in the building intervention, this experimentation allowed to guarantee the overcoming of this percentage, for almost every material, proving the limited ambition of the requirement. Moreover, the ability of the market to adapt to the offer of products compliant with regulations emerged clearly, proving to be rapid and rather focused on specific products, such as masonry blocks (certification of recycled content), materials for flooring and school furniture.

NOTES

- 1) For more details see the Report available at: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/> [Accessed 23 March 2019].
- 2) The data, by Eurostat, can be consulted on the website: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=cei_srm030&plugin=1 [Accessed 12 February 2019].
- 3) Pilot case documentation is available on the website: <https://www.bamb2020.eu/topics/pilot-cases-in-bamb/retrofit-lab/> [Accessed 2nd April 2019].
- 4) The experience was presented during some conferences, also in the presence of MATTM and described in the article: Altamura, P. (2018), "Criteri Ambientali Minimi per l'edilizia", in *Recycling*, n. 4/2018, pp. 13-17.
- 5) The Client is the II Military Aeronautical Engineering Department; amount of works 1,200,000 euros; the holders of the assignment are Architects C. I. and P. Altamura.

REFERENCES

- 3XN Architects and Danish Environmental Protection Agency (2015), *Building a circular future*, KLS Grafisk Hus, Denmark. [Online] Available at: <http://www.byggerietsamfundsansvar.dk/bibliotek/generel/19-cirkulaert-byggeri-3xn-og-mt-hojgaard/file> [Accessed 3rd January 2019].
- Carvalho Machado, R., Artur de Souza, H. and de Souza Veríssimo, G. (2018), "Analysis of Guidelines and Identification of Characteristics Influencing the Deconstruction Potential of Buildings", in *Sustainability*, vol. 10, issue 8, 2604, pp. 1-20. [Online] Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2604> [Accessed 22 January 2019].
- Cianciullo, A. (2016), "Materia rinnovata. Quant'è circolare l'economia: l'Italia alla sfida dei dati", in *Materia rinnovabile, Short Report*, giugno 2016. [Online] Available at: http://www.conoe.it/wp-content/uploads/2016/06/MateriaRinnovata_2016.pdf [Accessed 18 March 2019].
- Co.Project (2016), *Circularity in the built environment: Case studies. A compilation of case studies from the CE100*. [Online] Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Built-Env-Co.Project.pdf> [Accessed 6 February 2019].
- Commissione Europea (2019), *Relazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni sull'attuazione del Piano d'azione per l'economia circolare*, 190 definitivo. [Online] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0190&from=EN> [Accessed 1st April 2019].
- Commissione Europea (2015), *L'anello mancante – Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare*, 614 definitivo. [Online] Available at: https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/varia/nello_mancante_piano_azione_economia_circolare.pdf [Accessed 1st April 2019].



Commissione Europea (2011), *Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse*, 571 definitivo. [Online] Available at: https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/certificazione_ambientale/com571_tabella_di_marcia.pdf [Accessed 1st April 2019].

Densley Tingley, D. and Allwood, J. M. (2015), "The rise of design for deconstruction. A cradle to cradle approach for the built environment", in Narayanan, Y., Bräu, L. and Deutz, P. (eds), *Proceedings of the 21st International Sustainable Development Research Society, 10-12 July 2015 in Geelong*, Deakin University and Alfred Deakin Research Institute, Geelong, pp. 244-252. [Online] Available at: http://media.isdrs.org/2015/12/ISDRS15-Proceedings_2015.pdf [Accessed 8 March 2019].

Durmisevic, E. (2018), *Reversible Building Design Guidelines*, BAMB WP3 Reversible Building Design final output, University of Twente, NL. [Online] Available at: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/12/Reversible-Building-Design-guidelines-and-protocol.pdf> [Accessed 12 March 2019].

Ficco, P. (ed.) (2018), *Manuale operativo per gli Appalti Verdi – GPP nell'Edilizia*, Quaderni GPP della Rivista Rifiuti, n. 3, Edizioni Ambiente, Milano.

Gargari, C., Hamans, C. and Torricelli, M. C. (2013), "L'impegno dell'industria delle costruzioni per promuovere la sostenibilità dei prodotti: un approccio comune europeo per le prestazioni ambientali di prodotto | The building sector commitment to promote the sustainability of construction products: a common European approach for the Environmental Product Performances", in *Techne*, vol. 5, pp. 101-109.

Icibaci, L. (2019), *Re-use of Building Products in the Netherlands. The development of a metabolism based assessment approach, A+BE | Architecture and Built Environment*, S. 1, vol. 2. [Online] Available at: <https://journals.open.tudelft.nl/index.php/abe/article/view/3248> [Accessed 31 March 2019].

Mulhall, D. and Braungart, M. (2010), *Cradle to Cradle Criteria for the built environment*, Duurzaam Gebouwd/CEO Media BV, Nunspeet (NL).



Fig. 19, 20 - The fixed kindergarten furniture, in wood and removable, containing different dismantlable systems; View of one of the three sleeping rooms of the kindergarten, with Cradle to Cradle certified linoleum floor and wall covering (credits: P. Altamura, 2019).

^a SERENA BAIANI, Architect and PhD, is Associate Professor of Architectural Technology at the PDTA Department, Sapienza University of Rome (Italy). Specialized in Industrial Design, she carries out research activities on the relationship between technological innovation and project of existing buildings, based on the themes of ecological and energy efficiency in the recovery of the built environment. Mob. +39 339/30.44.575. E-mail: serena.baiani@uniroma1.it

^b PAOLA ALTAMURA, Architect and PhD, is Honorary Fellow in Architectural Technology at the PDTA Department and Lecturer in the Master Degree in Design of the Faculty of Architecture, Sapienza University of Rome (Italy). She carries out research and experimentation on the upcycling of waste materials in architecture. Co-founder of Atlante Inerti Project, she is responsible for the Working Group on GPP CAM within ANPAR. Mob. +39 340/51.34.638. E-mail: paola.altamura@uniroma1.it