Maria Lucia Loderer

La Carta
Dal Recycling all'Upcycling

Politecnico di Torino
Anno accademico 2019/2020
Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile
Relatore: Jean Marc Tulliani
Correlatore: Corrado Carbonaro

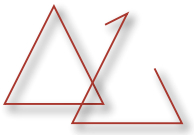
ABSTRACT

Dal Recycling all'Upcycling
Questi due termini definiscono approcci diversi al materiale di scarto: il *recyicling* è l'operazione con la quale, terminato un ciclo di lavorazione, parte delle materie prime di partenza vengono reinserite nel ciclo di lavorazione; l'*upcycling* invece converte il rifiuto in un nuovo materiale dal valore superiore al suo originale.

"La carta è una soluzione sostenibile e se volessimo ridurne il consumo, la domanda che sorge spontanea è "con che cosa potremmo sostituire la carta; plastica, alluminio, vetro?". Se dovessimo considerare la soluzione più sostenibile, da un punto di vista di efficienza energetica e della sostenibilità del materiale grezzo, allora la risposta più intuitiva sarebbe la carta stessa." - Confederation of European Paper Industries

L'obiettivo della tesi è quello di indagare le potenzialità della carta, non più intesa solo come materiale per scrivere, ma come risorsa da un ampio spettro di applicazioni, focalizzandosi sul campo dell'architettura.
L'impiego di materiali riciclati, infatti, in campo edilizio è divenuto punto cardine nelle politiche e nelle pratiche virtuose di uno sviluppo sostenibile e durevole.
Alla base di una progettazione che possa definirsi sostenibile deve esserci il raggiungimento di requisiti tecnici per garantire comfort, salute, igiene tramite un utilizzo razionale delle risorse.
Il lavoro si apre con uno studio approfondito del materiale, partendo da un inquadramento storico, che ha permesso di mettere in luce come l'utilizzo della carta sia cambiato nel corso del tempo, rimanendo però sempre uno strumento dominante dell'uomo.
Importante, in fase di ricerca, è stato studiare il ciclo produttivo della carta e nello specifico identificare le varie tipologie oggi presenti sul mercato, per redigere un abaco stilando così tutti i tipi di materiale cartaceo e le relative caratteristiche.
Particolare attenzione è stata data al riciclaggio della carta, e di come essa si coniughi in un'ottica di economia circolare, un tema che segna il grande cambiamento che sta avvenendo in architettura.
Ampio spazio è stato infatti dedicato all'analisi di casi studio dove viene delineata la versatilità dell'elemento cartaceo in architettura, che da elemento secondario diventa elemento strutturale, con particolare attenzione all'aspetto tecnologico.
Le ricerche effettuate hanno fornito gli strumenti per proporre una metodologia di progettazione che segue il filone della *Paper Architecture,* applicata ad un'aula studio temporanea situata nelle vicinanze di "Italia '61", all'interno del parco Millefonti.
L'elaborato di tesi vuole quindi dimostrare come il riciclaggio della carta possa convertire il rifiuto in un nuovo materiale dal valore superiore al suo originale, creando così un processo di *upcycling*.

ABSTRACT



From Recycling to Upcycling
These two terms define different approaches to waste material: recyicling is the operation by which, at the end of a processing cycle, a part of the raw material is put back into the processing cycle; upcycling instead converts the waste into a new material with a higher value than its original one.

"*Paper is a sustainable choice and if we only want to reduce paper consumption per se, the question that arises is "what will we replace it with; plastic, aluminium, glass?". If we need to consider the most sustainable solution, from an energy efficiency point of view as well as from the sustainability of the raw material, then normally the answer is paper*".
- Confederation of European Paper Industries

The aim of the thesis is to investigate the potential of paper, no longer intended only as a writing sheet, but as a resource with a wide range of applications, with particular focus on architecture.
The use of recycled materials in building, has become a pivotal point in the policies and virtuous practices of sustainable and durable development.
At the basis of a design that can be defined sustainable must be the achievement of technical requirements to ensure comfort, health, hygiene through a rational use of resources.
The work opens with an in-depth study of the material, starting from a historical framework, which has made it possible to highlight how the use of paper has changed over time, but still remains a dominant instrument for humankind.
During the research phase, it was important to study the production cycle of paper and in particular to identify the various types of paper present on the market today, in order to draw up an abacus, thus drawing up all types of paper material and its characteristics.
Particular attention was given to the recycling of paper, and how it is combined in a circular economy, a theme that marks the great change that is taking place in architecture.
Ample space has in fact been dedicated to the analysis of case studies where the versatility of the paper element in architecture is outlined, which from a secondary element becomes a structural element, with particular attention to the technological aspect.
The carried out research has provided the tools to propose a design methodology that follows the Paper Architecture strand, applied to a temporary study room located near "Italia '61", inside the Millefonti park.
The thesis paper aims to demonstrate how paper recycling can convert waste into a new material with a higher value than its original, thus creating an upcycling process.

INDICE

00 INTRODUZIONE pag. 8

01 LA CARTA pag. 12

1.1 Dal 1100 ad oggi
1.2 Ciclo produttivo
1.3 Composizione chimica
1.4 Tipi di carta
1.5 L'impatto ambientale
1.6 Il riciclaggio della carta
1.7 La raccolta: dall'Europa a Torino

02 CASI STUDIO pag. 74

2.1 Shigeru Ban
2.2 Esempi di edifici realizzati con il riuso della carta
2.3 Esempi di materiali realizzati con il riuso della carta

03 ANALISI TECNOLOGICA pag. 136

3.1 Il tubo
3.2 Il mattone
3.3 Il pannello

04 PROGETTO pag. 162

4.1 L'area di progetto
4.2 Soluzione proposta e giustificazione delle scelte architettoniche e progettuali
4.3 Elementi tecnologici
4.4 Soluzioni sostenibili
4.5 Elaborati grafici

05 CONCLUSIONI pag. 192

06 BIBLIOGRAFIA & SITOGRAFIA pag. 196

INTRODUZIONE

00

L’argomento trattato nell’elaborato finale del corso di laurea è la carta, intesa sia come il materiale da tutti conosciuto che domina l’*oggi* a supporto della nostra quotidianità, ma anche come un materiale da un ampio spettro di applicazioni.
Verranno indagate le potenzialità della carta, superando i preconcetti radicati nel nostro immaginario, come la leggerezza o l’apparente scarsa resistenza del materiale.
Saranno infatti illustrati i molteplici impieghi, delineando grazie a vari scenari di tecnologia e innovazione di prodotto, la versatilità della carta, lasciando così intravedere grandi possibilità di utilizzo.

Materiali naturali come legno o carta vengono utilizzati nelle costruzioni da migliaia di anni e svolgono anche un ruolo importante nella costruzione di edifici moderni e nell’*interior design*. La carta in particolare offre un potenziale eccellente per applicazioni a base biologica nel settore delle costruzioni. È economica da produrre, è costituita prevalentemente da materie prime rinnovabili e offre ottime proprietà di resistenza basate sul proprio peso.
Sono queste le motivazioni che mi hanno spinto ad indagare un materiale, che indubbiamente ha da offrire molto di più di quello che è comunemente noto.

Infatti, per quanto già da decenni, la carta trova applicazione in architettura, soprattutto grazie al pioniere della *paper architecture* Shigeru Ban, il considerare la carta un materiale da costruzione alternativo all’acciaio o al cemento è ancora un concetto molto lontano.

"*Credo che il materiale non debba essere forte per essere utilizzato per costruire una struttura forte. La forza della struttura non ha nulla a che fare con la forza del materiale.*" - Shigeru Ban

Un tema che domina gli ultimi decenni è l'utilizzo di materiali riciclati in edilizia, che si inquadra nelle pratiche virtuose dello sviluppo sostenibile nel campo edile.
Infatti già vari progetti come "garbage house", "drop city" segnano il grande cambiamento che sta avvenendo in architettura, partendo proprio dalle fasi di produzione ai diversi attori coinvolti.
Basti pensare all'economia circolare che pone le basi per creare un sistema economico in grado di rigenerarsi da solo garantendo dunque ecosostenibilità.
Questo sistema può essere applicato anche in architettura, ovvero costruire case con materiali di recupero totalmente autosufficienti, progettando quindi in un'ottica di edilizia circolare.

Risulta quindi chiaro come la carta possa immergersi in questa realtà, adattandosi perfettamente alle politiche di sostenibilità.
Richiamo brevemente alcuni punti:
- l'uso razionale delle risorse, ovvero risparmio energetico e i flussi di materia all'interno dei settori produttivi;
- la salvaguardia dell'ambiente, intesa non solo come salvaguardia di risorse come acqua, suolo, ma anche come rispetto verso il clima. Bisogna quindi considerare tutti i processi produttivi, compreso il settore edilizio (in Europa consuma circa il 40% delle risorse energetiche e assorbe il 50% del flusso dei materiali) che deve responsabilizzarsi su quanto prelevano da e su quanto immettono nell'ambiente, avendo come obiettivo il ridurre i flussi;
- utilizzare materiali di qualità certificata ed ecocompatibili;
- cercare tecnologie edilizie sostenibili sotto un profilo ambientale, economico e sociale.

Queste politiche, intese come esigenze strategiche, si traducono in requisiti tecnici per sistemi edilizi, tenendo sempre conto di soddisfare le esigenze di base di comfort, salute, igiene.

Nei seguenti capitoli verranno approfonditi vari aspetti che inquadreranno la carta, tracciando un profilo storico, per delineare come il materiale si è trasformato nel corso dei secoli, sia come è cambiata la metodologia di produzione, ma soprattutto il campo di applicazione.
Appunto perché la carta domina così tanto la nostra quotidianità, e di conseguenza è uno dei materiali più prodotti, si indagherà l'impatto ambientale che ne consegue.

Un aspetto che rende così interessante la carta è la possibilità di riciclaggio. Infatti molti prodotti che si trovano oggi sul mercato vedono l'impiego di carta riciclata.
Non fa eccezione il campo architettonico, dove l'elemento maggiormente utilizzato è il tubo di cartone che è costituito per il 95% da carta riciclata.

Mediante vari casi studi verrà delineata la versatilità dell'elemento cartaceo in architettura, che da elemento secondario (es. materiale isolante, o cassero per pilastri di cemento armato) diventa elemento strutturale.

Un approfondimento tecnologico mostrerà come il tubo o il pannello di carta diventano elementi portanti, mettendo così in secondo piano strutture tradizionali in acciaio o cemento armato.

L'elaborato di tesi vuole quindi dimostrare come il riciclaggio della carta possa convertire il rifiuto in un nuovo materiale dal valore superiore al suo originale, creando così un processo di *upcycling.*

01

1.1 Dal 1100 ad oggi pag. 15
L'evoluzione dei materiali utilizzati nella produzione dei supporti cartacei

1.2 Ciclo produttivo pag. 18
La macchina continua

1.3 Composizione chimica pag. 22
La collatura
Fillers
Resistenza all'acqua
Resistenza al fuoco

1.4 Tipi di carta pag. 26
Le proprietà della carta

1.5 L'impatto ambientale pag. 34
Life Cycle Assessment (LCA)
Risorse a confronto: plastica vs. carta
Rapporto ambientale dell'industria cartaria italiana 2016
Impatto di CO_2 (Carbon Footprint)

1.6 Il riciclaggio della carta pag. 46
Standard EN 643
La raccolta differenziata
Dalla carta alla carta
Costi e benefici del riciclaggio della carta

1.7 La raccolta: dall'Europa a Torino pag. 54
In Europa
In Italia
Comieco
L'economia circolare della filiera cartaria
In Piemonte
In Torino
Analisi dei flussi

1.1 DAL 1100 AD OGGI

Le cronache degli Han (gruppo etnico cinese che ad oggi costituisce il 92% della popolazione cinese e il 19% della popolazione mondiale) mettono in luce la storia della carta, in particolare il suo primo utilizzo, quando venne presentata in via ufficiale, nel 105 d.C., all'imperatore. Nei secoli a seguire trovò varie applicazioni come:
- elemento decorativo in case e templi;
- foglio per scrivere bibliografie e cronache;
- per avvolgere materiali;
- tovaglioli e carta igienica.

Dal V secolo la carta si diffuse per tutta la vastità dell'impero cinese, ma solo dopo trecento anni riuscì a diffondersi anche in altre parti del mondo.
Una ramificazione della *via della carta* (fig. 1.1.1) traccia il percorso da Tunisi a Palermo, anche se è la Spagna il primo paese ad adottare tecniche di produzione della carta.

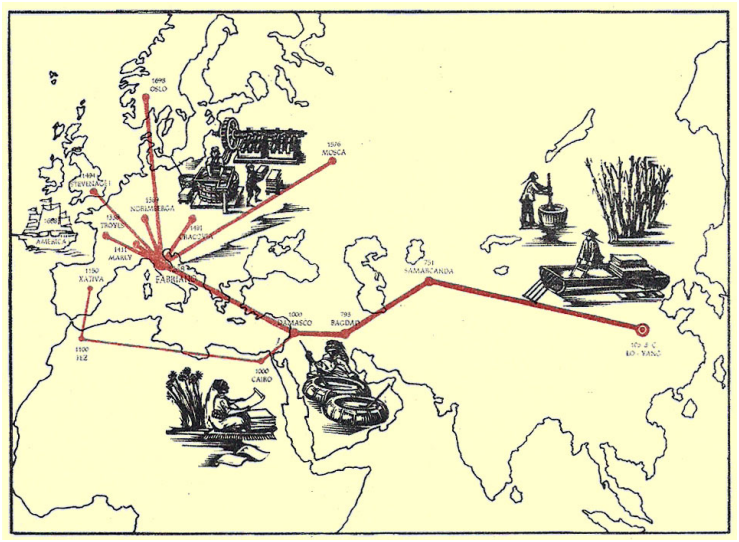


Fig. 1.1.1 La via della carta

Inizialmente la produzione della carta veniva effettuata con fibre di lino, ottenute da stracci, sfibrate tramite pestello manuale e lasciate a macerare in acqua e depositate su un setaccio a maglie ortogonali. I fogli ottenuti da questo processo venivano fatti asciugare e poi collati con amido o gelatina per renderli adatti alla scrittura.

In Italia le prime cartiere sorsero ad Amalfi nel 1220 e a Fabriano nel 1276. Per 200 anni l'Italia dominò così il mercato della carta provvedendo a forniture per tutta l'Europa.

L'epidemia della peste del 1630-1631 portò un forte rallentamento della produzione della carta, ma grazie alla ripresa demografica della metà del secolo, si ebbe una ripresa incentivata da sviluppi e innovazioni tecnologiche rendendo così la carta un materiale insostituibile, che ancora oggi domina la quotidianità dell'uomo.

L'evoluzione dei materiali utilizzati nella produzione dei supporti cartacei[1]:

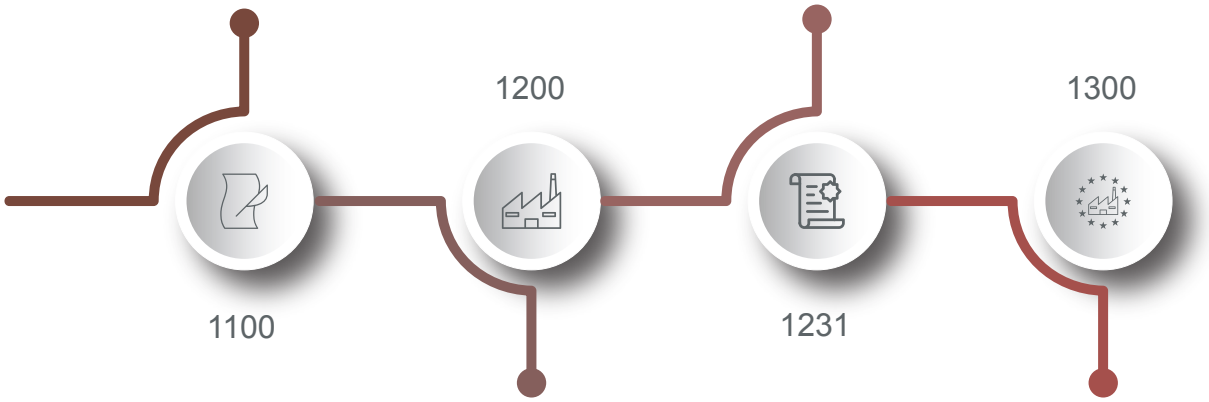
Anno	Collatura	Additivi
prima del 1000	Amido	Gesso - Talco
1250-1650	Gelatina	Allume (solfato di Al e K)
dal 1670	Gelatina	Allume del cartaio (solfato di Al)
dal 1807	Colofonia	Allume del cartaio
1850	Colofonia	Allume del cartaio, Caolino - $BaSO_4$
1930	Colofonia	Allume del cartaio, $CaCO_3$, Caolino, Talco
anni '60	Colofonia, dimero dell'alchilchetene, anidride alchenilsuccinica, Amido o altri adesivi (in carte patinate)	Allume del cartaio, Talco, Gesso, $CaCO_3$ (macinato), Caolino

fonte: Ideas start with paper: Shigeru Ban e il tubo di cartone
1: Chimica dei Supporti Cartacei, prof. Paolo F. Calvini - Università Cà Foscari di Venezia

Conoscere la storia della fabbricazione della carta nei secoli permette di conoscere come i processi di lavorazione hanno influenzato le caratteristiche del materiale.

La pergamena sostituisce il papiro. In Europa arriva la carta (fibre di lino, tratte da stracci bianchi sfibrati con un pestello a mano). I fogli ottenuti vengono fatti asciugare all'aria e incollati con amido o con gelatina per migliorare la scrivibilità.

Federico II ordina che i documenti ufficiali delle Due Sicilie vengano scritti su pergamena, per non rischiarne la perdita.

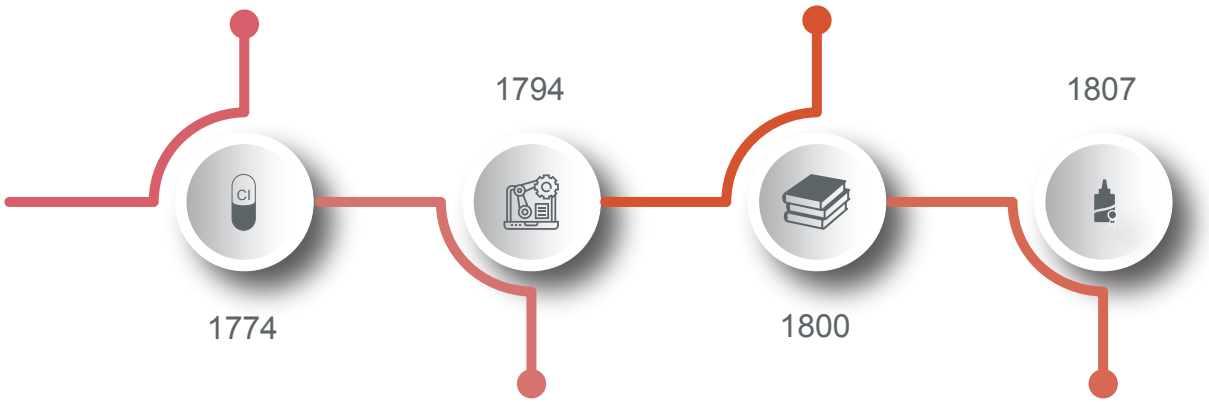


Nasce la prima cartiera a Fabriano (mulino a pestelli + stracci + gelatina).

Le cartiere si iniziano a diffondere in Europa.

Il chimico svedese Karl Scheele scopre il cloro, ed al girare del secolo la sbianca al cloro viene utilizzata per sbiancare gli stracci.

Mattias Koops pubblica un libro stampato su carta in pasta di legno. Mette su una piccola fabbrica dove produce carta, ma fallisce in pochi anni. I suoi libri si disintegrano in breve tempo poichè la lignina contenuta nella pasta di legno è un agente degradante intrinseco, ma lo si scoprirà decenni dopo.



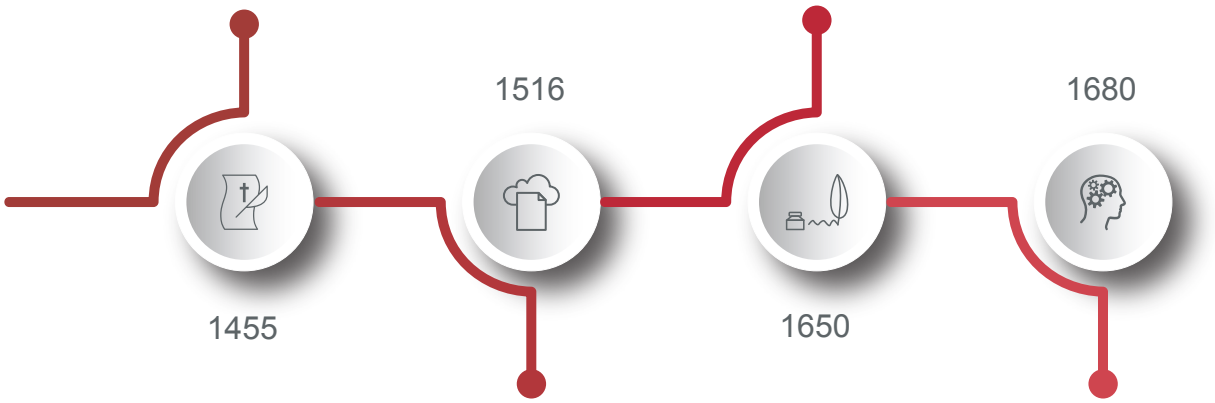
Eli Whitney (imprenditore, inventore e ingegnere statunitense) inventa una macchina per separare le fibre dai semi nel cotone. Gli stracci di lino non sono più l'unica fonte.

Moritz Illig pubblica un libro stampato su carta con un nuovo tipo di collatura: colofonia e allume, mescolati alle fibre durante l'impasto. Vantaggio: la colofonia non marcisce, e la collatura è più uniforme.

fonte: articolo di V.W. Clapp, "The Story of Permanent/Durable Paper, 1115-1970", Restaurateur (1972), Suppl. n.3

Gutemberg lancia la stampa con il torchio, la sua Bibbia viene stampata su pergamena oltre che su carta.

La gelatina viene aggiunta con allume (solfato di Al e K) per impedire la fermentazione e inoltre migliora la scrivibilità. Effetto negativo: perde del 60% di resistenza, in quanto più acida (scoperta che viene fatta solo nel 1930 con Barrow).

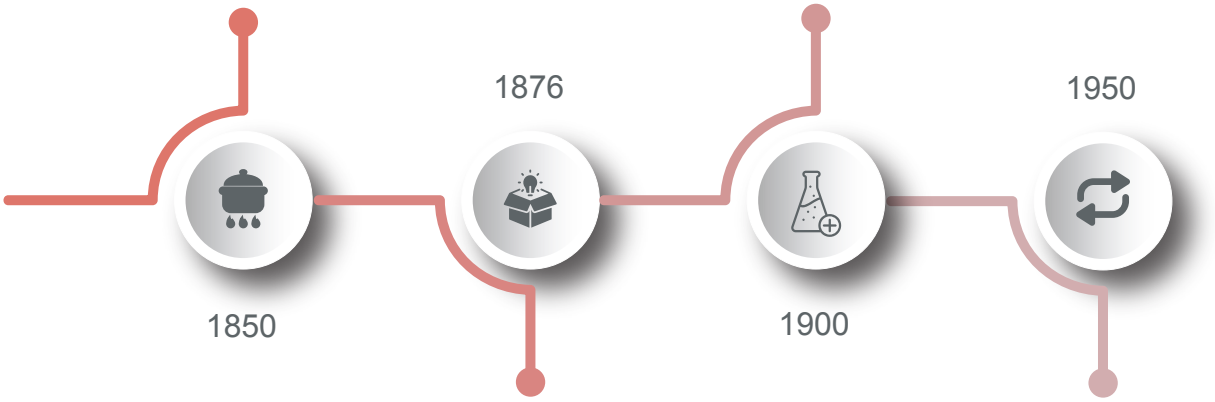


Johann Tritheim (crittografo e Direttore del Monastero Benedettino a Sponheim) scrive: "la pergamena dura millenni, quanto dura la carta? si e no un paio di secoli". Eppure i suoi libri (su carta) sono ancora oggi in ottime condizioni. Il problema della carta che, oltre che ad essere costosa, ha un processo di produzione lento. Allora i produttori di carta pensano a delle migliorie.

Un olandese, la cui identità non è nota, inventa una macchina (chiamata l'Olandese) che porta un aumento della produzione di carta del 300% la produzione: il materiale fibroso, lasciato macerare in acqua, viene versato in un una tinozza e trasformato in polpa grazie a lame metalliche. Il materiale viene tagliato, non più sfibrato, la resistenza della carta diminuisce così del 98%.

Infatti nel 1850 si scopre come eliminare la lignina dalla pasta legno (bollendo il tutto con soda).

La pasta di legno, sbiancata con bisolfito di calcio + SO_2 prima e con solfito di sodio poi (Kraft process) ormai impera: vengono aggiunti additivi (China Clay: argilla) e sbiancanti (biossido di titanio).



Viene scoperto che l'allume si può ricavare dalla bauxite. Contiene acido solforico come impurezza, ma economicamente è più conveniente. Un prodotto acido viene sostituito da un altro ancora più acido.

La collatura subisce un profondo mutamento. Non più colofonia, ma composti di sintesi (AKD e ASA).

fonte: articolo di V.W. Clapp, "The Story of Permanent/Durable Paper, 1115-1970", Restaurateur (1972), Suppl. n.3

1.2 CICLO PRODUTTIVO

La produzione della carta richiede prodotti di origine vegetale: piante conifere e latifoglie; vengono utilizzati anche resti di piante annuali (in particolare graminacee) e residui di fibre tessili detti *linters*, o residui di fibre lunghe. Si possono inoltre utilizzare prodotti di recupero come: carta, cartoni e stracci che però devono essere trattati in modo diverso (disinchiostrazione, sgrassagio, decolorazione) in funzione del loro stato.

Nella fabbricazione della carta vengono impiegate le seguenti materie prime, divisibili in quattro categorie:
- materie prime fibrose, sostanze principali della carta;
- materie collanti, hanno la funzione di rendere la carta impermeabile, e quindi adatta alla scrittura;
- materie di carica, danno determinate proprietà della carta,utilizzate soprattutto nelle carte destinate alla stampa;
- materie coloranti, usate principalmente per le carte colorate.

Le materie fibrose formano la struttura di fibre intrecciate, che danno origine alla carta, e sono costituite in primo luogo dalle cosiddette paste di legno, ottenute per lavorazione industriale di fibre vegetali allo scopo di separare la cellulosa (il componente principale delle fibre) dalla lignina (il collante naturale che le tiene insieme).

La materia principale per la fabbricazione della carta è la cellulosa che viene ricavata principalmente dagli alberi ad alto fusto. Il legname impiegato nella produzione cartaria deriva da foreste, che mirano ad una gestione qualitativa e quantitativa, così da salvaguardare al tempo stesso anche la fertilità del suolo. Gli ultimi dati recepiti dalla FAO[2] dichiarano che il 56% del legname raccolto è utilizzato per combustione, soprattutto a fini domestici; nei paesi in via di sviluppo, sempre secondo i dati forniti dalla FAO, la percentuale di legname per combustione è dell'80% rispetto al legname raccolto.
I dati recepiti dalla FAO, inoltre, stimano che il legname destinato all'industria cartaria, a livello mondiale, si aggiri attorno al 12 – 13% del legname raccolto.

Il ciclo della produzione della carta vede come prima fase la preparazione della pasta per carta, generalmente costituita da materiale fibroso ricavato dalla lavorazione del legno (tab. 1.2.1).

Il diverso modo di eliminare industrialmente la lignina permette di distinguere tra:

PASTE CHIMICHE

Il legname e le altre fibre vegetali vengono trattati con sostanze chimiche molto aggressive e inquinanti per separare la lignina dalla cellulosa; la pasta di cellulosa (fig. 1.2.1) ottenuta, è composta da cellulosa quasi pura e le carte così prodotte spiccano per qualità alta, particolarmente prestanti per quanto riguarda la resistenza meccanica e il grado di purezza e di bianco. Le carte di pura cellulosa hanno la peculiarità di essere quasi illimitatamente durevoli nel tempo e, dal momento che non contengono lignina, ingialliscono in modo trascurabile. La resa in fibra delle cellulose è del 40-45% (da 100 kg di legno secco otteniamo 40-45 kg di pasta di cellulosa). Questa pasta viene impiegata anche per la produzione di fazzoletti di carta, tovaglioli e ogni tipo di carta assorbente.

Fig. 1.2.1 Pasta di cellulosa

2: Food and Agriculture Oraganization of the United Nations
fonte: http://www.dicorrado.eu/MAPPEGM/PDF%20ALUNNI/A1U2L2.pdf
fonte: https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00000700/731-gruppo1.pdf

PASTE MECCANICHE

Il legname e le altre fibre vegetali vengono sfibrati per via meccanica. Il ciclo produttivo non si scosta troppo da quello descritto per la produzione di pasta di cellulosa, la differenza che più spicca riguarda la lignina e le sostanze incrostanti, che non vengono completamente sciolte; la resa è circa del 60% (da 100 kg di legno secco si ottengono 60 kg di pasta di legno).
La pasta ottenuta (fig. 1.2.2), rispetto alla pasta di cellulosa, risulta essere più grossolana, quindi meno pura, in quanto la cellulosa non si separa completamente dalla lignina. Le paste meccaniche vengono utilizzate per carte da giornale, da stampa, per cartone ondulato, ecc.

Fig. 1.2.2 Pasta meccanica

PASTE SEMI MECCANICHE

Le proprietà qualitative sono una via di mezzo fra quelle delle paste di cellulosa (paste chimiche) e quelle delle paste di legno (paste meccaniche). Questo metodo di produzione va via via scomparendo a causa degli alti costi di produzione e di depurazione. Dopo il trattamento, meccanico o chimico, si passa al processo di sbiancamento delle paste, solitamente tramite il cloro, che è un elemento inquinante. Oggi in Europa molti produttori di paste e di carta cercano sostanze alternative al cloro, per ovviare all'inquinamento causato dal processo di sbiancamento. Le paste certificate ECF (Elemental Chlorine Free, prive di cloro elementare) hanno ormai sostituito quelle prodotte con il cloro, soprattutto nelle carte da scrivere e da stampa.

(Tabella 1.2.1) Caratteristiche delle paste per carta

Pasta	Processo	Resa% (*)	Specie fibrose prevalentemente impiegate
Chimica	Chimico	40-50	Conifere e latifoglie
Meccanica	Meccanico	90-95	Conifere e latifoglie
Semichimica	Chimico-meccanico	55-65	Latifoglie

(*) Quantitativo ottenibile da 100 kg di legno secco espresso in %

Le materie prime fibrose diverse dalle paste di legno sono costituite da:
- stracci di cotone, lino, canapa, iuta ecc.; prima di poter essere utilizzati, gli stracci devono essere selezionati, poi tagliati in piccole parti per essere cotti in autoclave in soluzioni di calce e soda che permettono di decolorare e sgrassare. Il prodotto ottenuto dalla cottura viene quindi sfilacciato in modo da dare una sospensione di fibre;
- carta di recupero (carta riciclata), costituita da ritagli, carta da macero ecc.; anche in questo caso si sottopone la carta riciclata ad un trattamento in autoclave, per eliminare la sporcizia, la colla, l'inchiostro ecc., e il prodotto viene poi sfibrato ed eventualmente ulteriormente decolorato.
Il riciclaggio non può avvenire molte volte, di media 5-7 volte perché ad ogni riciclo le fibre si degradano.

Vantaggi del riciclaggio della carta
L'avvio a riciclo di carta e cartone consente di risparmiare risorse ed energia. I dati dicono si necessitano, per produrre una tonnellata di carta da cellulosa vergine, 15 alberi; 440000 litri d'acqua; 7600 kWh di energia elettrica.
Per produrre una tonnellata di carta riciclata invece bastano: nessun albero; 1800 litri d'acqua ; 2700 kWh di energia elettrica.

fonte: La carta, Caratteristiche, tipologie, tecnologie di produzione, migliori tecniche disponibili per il controllo degli impatti, a cura di Maurizio Tava

La produzione industriale

Il ciclo produttivo della carta può essere suddiviso nelle seguenti fasi:
- preparazione dell'impasto;
- formazione del supporto di base;
- trattamento della superficie con patinatura;
- finitura e allestimento.

La produzione industriale subisce un punto di svolta nel 1797, quando il francese Nicolas Louis Robert inventa la macchina continua (o macchina piana), rendendo così possibile unire tutte le fasi della produzione, che in antecedenza erano separate. La macchina continua rende possibile produrre un foglio continuo, lungo 60 cm. La macchina venne poi migliorata da Fourdrinier e Donkin; grazie a questi sviluppi iniziò la fase industriale nella produzione della carta.

La macchina continua[3]

La fase di fabbricazione della carta avviene nelle macchine continue, poiché funzionano senza interruzione 24h, ed avviene nelle seguenti fasi:

1) *Preparazione dell'impasto*: in base al tipo di carta che si vuole produrre, cambiano le formulazioni e le materie prime. I vari tipi di paste arrivano allo stabilimento, sotto forma di balle essiccate, dove vengono convogliate verso lo spappolatore, detto pulper.
Il pulper è costituito da un cilindro dove la parte inferiore è tronco-conica. Il fondo è dotato di un girante, che ha la funzione di imprimere un moto vorticoso all'acqua nel cilindro, in modo da trascinare il materiale sminuzzato e imbevuto d'acqua verso il fondo. Terminata la fase dello spappolamento, la sospensione viene filtrata in modo da eliminare eventuali inquinanti ancora presenti e, infine, scaricata e stoccata in appositi contenitori. L'impasto spappolato subisce un ulteriore trattamento per la separazione delle fibre nei depastigliatori, così da ottenere una massa fibrosa omogenea.
Per la produzione di carta le fibre di cellulosa devono essere sottoposte a raffinazione, ovvero un trattamento meccanico, in presenza d'acqua, generato dalla rotazione di due piastre, dette rotore e statore, munite di lame e poste l'una di fronte all'altra. Le lame del rotore sono poste vicine a quelle dello statore, senza però toccarle, e sottoponendo le fibre a ripetute sollecitazioni per modificarne la struttura fisica; grazie a questo processo la fibra perde rigidità, diventando così più flessibile e meglio conformabile; ciò permette di creare i legami necessari per la formazione di un foglio omogeneo e consistente.
La sospensione fibrosa, una volta diluita, passa all'epurazione dove, grazie all'azione centrifuga, viene separata dalle impurità più pesanti.
La sospensione viene po in inviata al tino miscelatore, fase in cui vengono aggiunte sostanze che conferiscono al prodotto finito le caratteristiche desiderate: sostanze collanti, per rendere il foglio impermeabile e per regolare l'assorbimento in modo da rendere il foglio scrivibile, evitando così che l'inchiostro trapassi o sbavi; sostanze di carica per conferire alla carta opacità, levigatura, e migliore stampabilità ed eventualmente sostanze coloranti.

2) *La cassa di afflusso*: permette di rilasciare la sospensione lungo il profilo della tela, ha quindi la funzione di alimentare la macchina. La tela è formata da una rete di fili di nylon intrecciati che gira a nastro continuo. L'impasto viene fatto uscire da una apertura posta nella parte inferiore regolabile per compensare le variazioni di grammatura lungo il profilo stesso. Prerogativa, per una corretta produzione, è l'alimentazione della macchina continua; deve infatti essere il più uniforme possibile, con un flusso costante e omogeneo.

3) *La formazione del supporto*: per dare origine alla formazione del foglio, la sospensione viene rilasciata sulla tela dove le fibre danno luogo alla feltratura, ovvero le fibre si intrecciano saldandosi tra loro formando così un primo sottile strato di feltro che aumenta via via di spessore dando origine al foglio. L'eliminazione dell'acqua avviene inizialmente per gocciolatura, attraverso le maglie della tela, successivamente invece è necessario pressare il foglio per ottenere un'ulteriore eliminazione dell'acqua dallo strato fibroso.

3: https://www.metaprintart.info/cultura-grafica/formazione/tecniche-di-stampa-formazione/464-la_carta_vii_la_macchina_continua/

4) *Asciugatura della carta*: anche dopo aver pressato il foglio, è comunque presente una percentuale di acqua. L'umidità residua, che varia tra il 50-60%, viene eliminata per evaporazione, in quanto lo stretto legame tra l'acqua e le fibre non può più essere rimosso con mezzi meccanici. L'asciugatura avviene grazie a cilindri rotanti riscaldati internamente con il vapore, messi a contatto con il foglio.

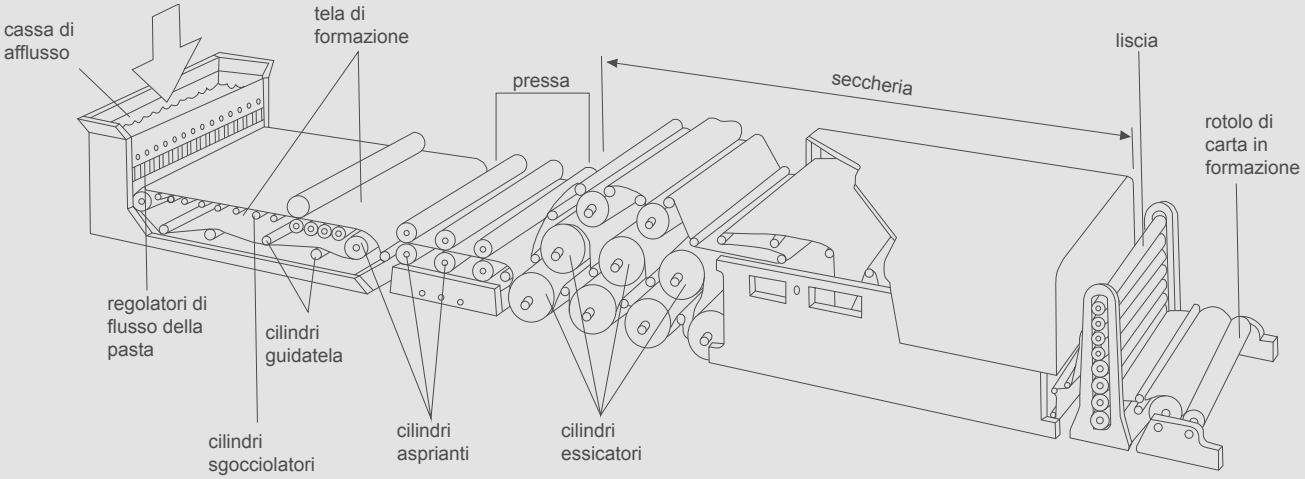
5) *La seccheria*: è un insieme di cilindri essiccatori suddivisi in gruppi detti batterie.
Durante l'asciugamento, il nastro di carta subisce un certo restringimento, fattore che deve essere monitorato in quanto può portare rotture o grinzature del foglio. Le batterie vengono infatti suddivise per controllare l'entità del restringimento.

6) *Finitura*: l'ultimo trattamento superficiale a cui la carta viene sottoposta è la calandratura, che dà alla superficie cartacea l'effetto lucido.
La calandra è formata da cilindri a superficie rigida, che vengono posti a diretto contatto con altri cilindri con superficie comprimibile, disposti in modo alternato. Tramite questo processo si ottiene una superficie maggiormente lucida e una migliore stampabilità.

7) *Allestimento*: il rotolo di carta, viene trasformato in bobina o foglio steso, al reparto di allestimento. Le operazioni relative all'allestimento sono: riavvolgimento, taglio con lame circolari (trimmer) e bobinatura, taglio in fogli, imballaggio ed etichettatura.

Raffinazione
Allo scopo di ricavare una poltiglia fine ed uniforme, la materia fibrosa viene sottoposta a raffinazione, dove le fibre vengono sminuzzate sempre più fini, tramite lame.

Miscelazione
L'impasto passa nel tino miscelatore, dove vengono aggiunte:
- sostanze chimiche, per appesantire e rendere l'impasto bianco ed opaco;
- sostanze collanti, per rendere il foglio non assorbente, quindi atto alla scrittura;
- sostanze coloranti (se si vuole ottenere carta colorata)



Formazione del foglio
La trasformazione dell'impasto in carta avviene nella *macchina continua*.
L'impasto diluito (in una percentuale che oscilla tra il 1,5% al 5% di fibre rispetto all'acqua), esce dalla cassa di afflusso e passa sul telo di formazione, formato da una rete metallica o di fibra sintetica, sempre in movimento. La poltiglia viene distribuita uniformemente sul telo, l'acqua scola attraverso le maglie della rete, le fibre si avvicinano e si intrecciano e cominciano a formare un nastro compatto. Al di sotto del telo, appositi cassoni aspirano altra acqua.

Formazione dei rotoli
Dopo la fase meccanica (3), il telo metallico torna indietro, il foglio di carta si stacca e passa attraverso dei cilindri rotanti, dove viene formato il foglio. I cilindri permettono di sgocciolare il foglio, pressarlo, tenderlo, seccarlo, lisciarlo, e infine arrotolarlo in bobine.

fonte: https://www.metaprintart.info/cultura-grafica/formazione/tecniche-di-stampa-formazione/464-la_carta_vii_la_macchina_continua/

1.3 COMPOSIZIONE CHIMICA

La cellulosa è un polimero lineare formato dalla ripetizione di unità (ogni molecola possiede da 300 a 3000 unità) monomeriche di glucosio ($C_6H_{12}O_6$) (fig. 1.3.1).

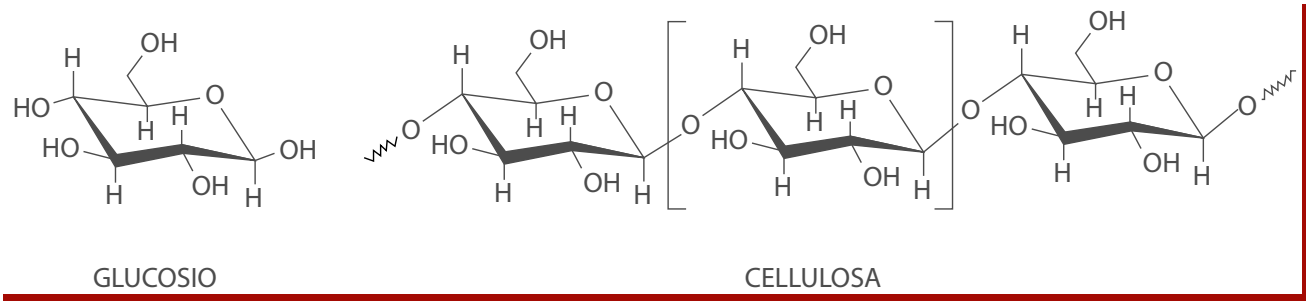


Fig. 1.3.1 Struttura della molecola di glucosio

Le catene di glucosio sono disposte parallelamente le une alle altre e si legano fra loro per mezzo di legami idrogeno, formando fibrille, catene molto lunghe e difficili da dissolvere (come mostrato in fig. 1.3.2).

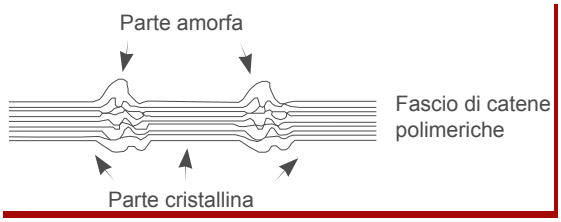


Fig. 1.3.2 Struttura di una fibrilla

Nel 1910, grazie all'analisi tramite diffrazione dei raggi X, fu possibile evidenziare la presenza all'interno delle fibrille, di catene organizzate in zone regolari (cristalline) intervallate da zone amorfe.

La parte amorfa è idrofoba, non assorbe acqua, e quindi per poter ottenere un prodotto idrofilo (come il cotone) occorre sottoporre la cellulosa ad un insieme di trattamenti detti mercerizzazione (dal nome del chimico e industriale tessile inglese John Mercer che ideò il processo nel 1844 e lo brevettò nel 1851).

Il numero di unità glucosidiche, o grado di polimerizzazione, determina le caratteristiche meccaniche della carta mentre, le sue altre proprietà sono date dalla presenza dei gruppi ossidrilici laterali. Questi interagiscono facilmente con l'acqua, dando al foglio (non collato) considerevoli proprietà assorbenti e inoltre possono reagire facilmente (disidratazione, ossidazione, esterificazione) permettendo di usare il polimero per sintetizzare un gran numero di derivati (es. gli adesivi).

Il prodotto originato dal processo di preparazione della carta a partire dalle fibre di cellulosa, è molto poroso e inadatto alla scrittura.

La collatura

Per riempire i pori si utilizza , come già accennato, una collatura che può essere di origine vegetale (a base di amido) o animale (ricavata dal carniccio):
- la colla vegetale è a base d'amido, un polimero non lineare che si differenzia dalla cellulosa soltanto per il tipo di legame tra le molecole di glucosio;
- la colla di gelatina animale, invece, ricavata dal carniccio, è un polipeptide formato da una sequenza di amminoacidi legati tra loro dal cosiddetto legame peptidico, ottenuto per reazione tra il gruppo amminico di un amminoacido ed il gruppo carbossilico di un altro amminoacido.

Dal 1800 però questi due metodi vengono sostituiti dalla colofonia (conosciuta anche come violin rosin, utilizzata come resina per violini), una resina di conifere costituita principalmente da acido abietico (fig. 1.3.3) che contiene un gruppo acido carbossilico (–COOH) e due doppi legami coniugati, i più reattivi della molecola, che ha il difetto di ossidarsi facilmente e quindi tende a far ingiallire la collatura.

fonte: Chimica dei Supporti Cartacei, prof. Paolo F. Calvini - Università Cà Foscari di Venezia

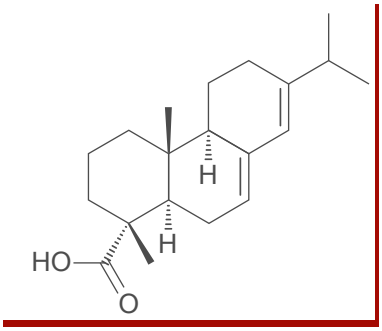


Fig. 1.3.3 Acido abietico, il principale componente della colofonia

La colofonia è quasi insolubile in acqua: il trattamento avveniva infatti sciogliendo la resina in una soluzione alcalina (una soluzione che possiede un valore di pH superiore a 7, che è il punto di pH che ha l'acqua distillata, o una soluzione neutra*)*. Al tutto, quando venivano aggiunte le fibre di cellulosa e l'allume si aveva la precipitazione della colofonia all'interno della struttura porosa del feltro, che man mano si formava.
Il problema della degradazione della cellulosa venne accentuato dall'uso dell'allume specialmente dopo che lo si cominciò ad estrarre dalla bauxite tramite processo industriale, che dava come sotto prodotto l'acido solforico.

Un ulteriore fattore di degrado è dato dalla presenza della lignina dovuta all'estrazione della cellulosa dal legno.

Da metà del secolo scorso questa tecnica viene sostituita dalla collatura con dimero di alchil chetene (AKD) o anidride alchenilsuccinica (ASA) (fig. 1.3.4), principale caratteristica è la possibilità di usare grandi quantità di carbonato di calcio ($CaCO_3$) nella preparazione che dovrebbe contrastare la degradazione acida della carta.

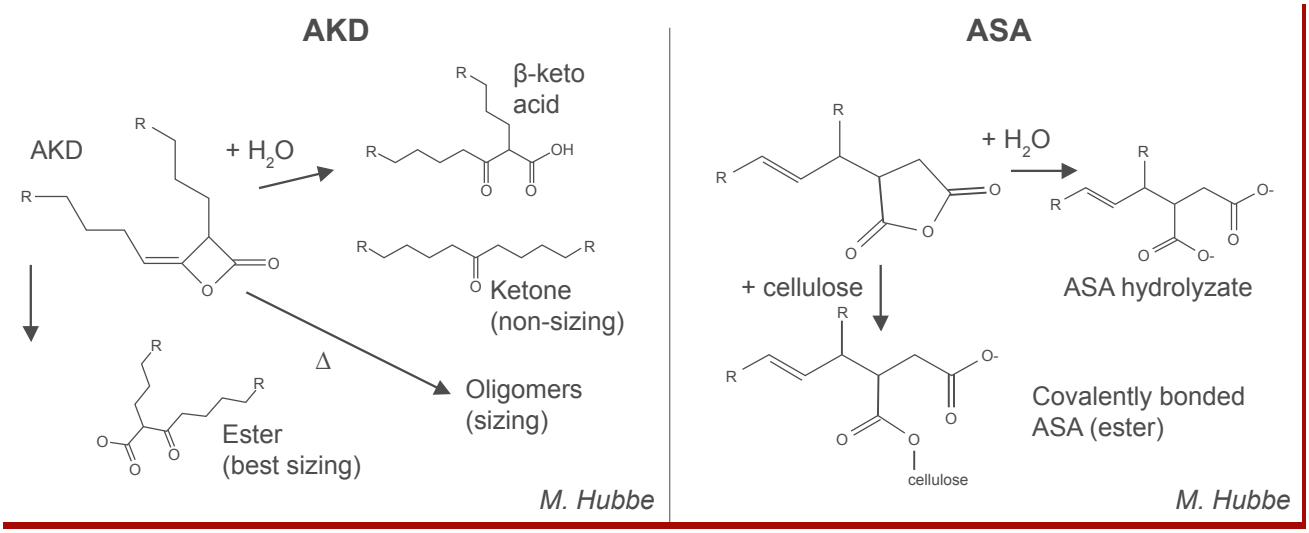


Fig. 1.3.4 Struttura e reazioni dei due collanti sintetici moderni

L'AKD è una sostanza cerosa sintetizzata dagli acidi grassi, mentre l'ASA è formata da una anidride a 5 atomi con una lunga catena laterale di atomi di carbonio. I gruppi R in ambedue i composti sono catene di 15-18 atomi di carbonio.

La principale caratteristica dell'AKD e dell'ASA è la possibilità di utilizzare notevoli dosi di $CaCO_3$ nella preparazione, carbonato che teoricamente dovrebbe contrastare la degradazione acida della carta. Non è ancora nota tuttavia la resistenza all'invecchiamento naturale di carte così collate.

fonte: Chimica dei Supporti Cartacei, prof. Paolo F. Calvini - Università Cà Foscari di Venezia

Fillers

Nelle carte moderne vengono poi aggiunte anche sostanze inorganiche, fillers, per migliorare le proprietà ottiche (grado di bianco) e tattili.
Esistono vari tipi di carte patinate, che si diversificano per l'aggiunta superficiale di sostanze inorganiche e adesivi, dopo la formazione del foglio:

PATINA

- caolino
- carbonato di calcio
- biossido di titanio
- bianco satin
- solfato di bario (o bianco fisso)
- talco
- gesso
- pigmenti plastico-sintetici

LEGANTI

- lattici
- amido
- caseina
- alcool polivinilico
- carbossimetilcellulosa
- resine sintetiche
- resine acriliche

Resistenza all'acqua

Un grande limite della carta è posto dalla scarsa resistenza all'acqua del materiale.
Esistono però diverse soluzioni per ovviare a ciò rendendo la carta impermeabile:
- cera impermeabile: non altera il materiale né dal punto di vista cromatico ed estetico né dal punto di vista fisico e chimico;
- resina poliuretanica a basso contenuto di componenti organici volatili; una vernice che viene distribuita sulla superficie.

Resistenza al fuoco

Un altro grande limite è posto dalla combustibilità della carta, intesa come la capacità del materiale di ardere e di bruciare fino alla sua totale combustione.
La carta è principalmente costituita da cellulosa, sostanza caratterizzata da un alto contenuto di carbonio, che assieme all'idrogeno, è uno dei componenti essenziali nel processo di combustione.
La combustione inizia dalla parte più esterna del materiale, quando lo strato più esposto entra in contatto con la fonte di calore; successivamente la combustione interessa via via gli strati più interni continuando in profondità fino ad avere la totale combustione del materiale.

Esistono dei ritardanti di fiamma, applicabili al materiale, che aumentano il tempo di resistenza al fuoco:
- vernici (trasparenti o meno);
- sali di boro:
- solfato di ammonio.

Vernici: hanno un'efficacia di circa 5 anni. La protezione della carta consiste nella posa in opera di vernici intumescente a solvente o a base acqua. Sono composte da: solvente, legante, datore acido (catalizzatore ad azione disidratante), composti carbonizzabili (basi generanti carbonio), agenti schiumogeni e gassificanti). L'applicazione in opera delle vernici può essere a spruzzo, a pennello, a rullo o con pompa *airless*, ad inclinazione casuale.
La quantità di vernice da applicare viene definita in base a:
- la classe di resistenza al fuoco prevista (R1-R5)
- la sezione degli elementi che compongono la membratura strutturale da proteggere
- le reali condizioni di carico
- il tipo di esposizione al fuoco dei singoli elementi strutturali (pilastro, trave, ecc.)

Sali di boro: hanno una bassa tossicità acuta, hanno la capacità di rendere un ambiente alcalino, da non permettere la proliferazione di muffe sulla cellulosa, e hanno spiccate proprietà ignifughe (vetrificano a temperature relativamente basse 300-400 °C, impedendo così all'ossigeno di reagire nel processo di combustione con la cellulosa.

Solfato di ammonio: come ritardante di fiamma aumenta la temperatura di combustione del materiale, diminuisce la velocità di perdita di peso, e provoca un aumento di produzione di residui.

fonte: Chimica dei Supporti Cartacei, prof. Paolo F. Calvini - Università Cà Foscari di Venezia

Riassumendo:
La carta è un materiale formato da milioni di fibre vegetali (cellulosa, lignina) tenute insieme tra loro da collanti e da altri materiali come coloranti e sostanze minerali ai vengono aggiunti additivi per migliorarne le caratteristiche.
La carta è pertanto un materiale composito, formato essenzialmente da:
- macromolecole organiche (cellulosa, amido, gelatina, adesivi) che danno la consistenza e la resistenza alla degradazione;
- composti organici (colofonia) ed inorganici (caolino, allume, carbonati, solfati, azzurranti ottici), alcuni dei quali esercitano un'azione degradante, altri conservante.

La cellulosa si può ottenere da diverse materie prime:
- stracci (cotone, lino, canapa)
- carta straccia da macero
- pasta di legno

Da questi materiali, a seguito di un processo meccanico e/o chimico, si ottengono fibre di cellulosa.

Per ottenere il prodotto cartaceo è necessario aggiungere alle fibre di cellulosa sostanze ausiliarie come:
- coloranti: conferiscono alla carta colore; tra queste vi sono le sostanze sbiancanti (es. cloro);
- cariche: carbonati, ossidi, silicati, solfati e solfuri. Le cariche rendono la carta più liscia e compatta. Questo avviene perché le cariche riempono gli spazi compresi tra le fibre;
- colle: la resina, l'amido, la caseina, le cere, le resine sintetiche. Il collaggio che si ottiene con l'impiego di questi prodotti conferisce alla carta un'impermeabilità ai liquidi ed agli inchiostri, rendendola così scrivibile.

fonte: Chimica dei Supporti Cartacei, prof. Paolo F. Calvini - Università Cà Foscari di Venezia

1.4 TIPI DI CARTA

La carta è caratterizzata da una struttura porosa, formata principalmente da particelle fibrose di natura vegetale. Le fibre sono intrecciate fra loro e tenute insieme da legami chimici fino a costituire uno strato compatto.
Dal momento che gli impieghi della carta sono molteplici, sono richiesti requisiti di tipo fisico-chimico, meccanico, tecnologico, funzionale ed estetico.

Le proprietà della carta

Proprietà chimico-fisiche

- Grammatura: Peso della carta misurata in g/m^2 (fig. 1.4.1)

- 35-55 g/m^2: è la grammatura più bassa, utilizzata per la carta dei giornali; sottile e di bassa qualità, utilizzata nei prodotti che non richiedono durevolezza nel tempo e che hanno un costo basso;
- 90 g/m^2: utilizzata per le pagine interne delle riviste e la comune carta da lettera;
- 130 -170 g/m^2: idonea per la stampa di poster di buona qualità, destinati a durare nel tempo;
- 150 - 170 g/m^2: per volantini, depliant e pieghevoli;
- 170-200 g/m^2: per brochure aziendali;
- 200-400 g/m^2: le grammature superiori ai 200 g/m^2 sono consigliate per tutti quei prodotti che devono durare a lungo e allo stesso tempo veicolare la massima professionalità (es. biglietti da visita, cartelline portadocumenti, cartoline e opuscoli).

Fig. 1.4.1 Grammatura

- Spessore: misura dello spessore del foglio, espresso in mm
- Densità apparente: Peso specifico misurato in g/cm^3
- Caratteristiche ottiche (lucido)
- Grado di bianco, colore
- Rigidità
- Opacità: proprietà di non lasciarsi attraversare dalla luce
- Igroscopicità: assorbe l'umidità dell'aria
- Combustibile: reagisce con l'ossigeno e brucia
- Permeabilità all'aria e all'acqua
- Porosità: attraversata da liquidi e gas
- Capillarità: i liquidi salgono lungo le sue fibre che si comportano come tubi capillari
- Isolante: scarsa conducibilità termica ed elettrica

Caratteristiche meccaniche

- Resistenza alla trazione: ottima finché la superficie sollecitata non viene torta o deformata
- Resistenza al taglio: molto bassa
- Flessibilità: molto alta
- Piegabilità: mantiene la piega
- Resistenza alla compressione: scarsa

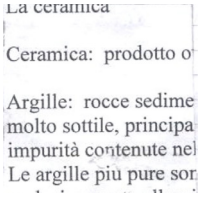
Caratteristiche tecnologiche

- Malleabilità: alta, si riduce facilmente in fogli
- Stampabilità: assorbe l'inchiostro senza aloni, varia con il tipo e l'impiego
- Macchinabilità: facilmente lavorabile dalla macchina da stampa

Caratteristiche estetiche

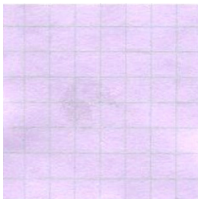
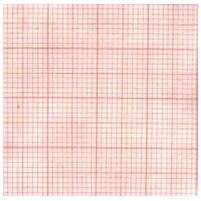
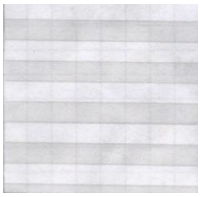
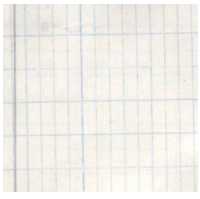
- Bianchezza: definita dal diverso grado di bianco, incide sulla diffusione della luce e sulla percezione delle sfumature
- Opacità: impedisce che i testi e le immagini stampate traspaiano sul retro della carta
- Levigatezza: rende la superficie più o meno ruvida a seconda degli impieghi

La carta è un materiale versatile e riciclabile, con un ampio spettro di applicazioni, come illustrato nelle schede seguenti:

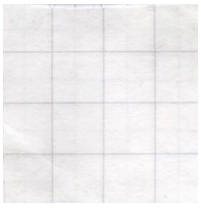
	TIPO DI CARTA	U T I L I Z Z O	PROCEDIMENTO	PROPRIETÀ
CARTA PER STAMPA	**Carta per quotidiani**	Quotidiani	Si produce con pasta meccanica all'80%. Non contiene collanti.	Scarsa resistenza allo strappo e alla trazione. Permeabile e assorbente. La qualità è scadente.
	Carta per rotocalchi	Riviste	Si ottiene con pasta di cellulosa e una percentuale di pasta meccanica. Si ottiene spalmando il foglio di carta con uno strato di caolino.	Buona resistenza allo strappo e alla trazione. Molto levigata. Trattiene bene l'inchiostro.
	Carta per roto-offset	Libri e uso tipografico	E' prodotta con pasta cellulosa molto collata con aggiunta di cariche minerali.	È levigata ed è abbastanza idrorepellente.
CARTA DA SCRIVERE E PER UFFICI	 **Carta da scrivere**	Per scrivere	Molto collata e con cariche minerali per diminuire la trasparenza. Si ottiene con pasta di cellulosa .	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.
	Carta da lettera	Per scrivere	Subisce l'azione di levigatura.	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.

fonte: http://montanari.racine.ra.it/iper_agenda21/carta/tipologie.htm

CARTA DA SCRIVERE E PER UFFICI

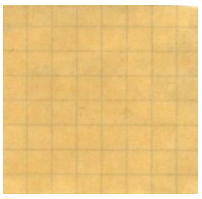
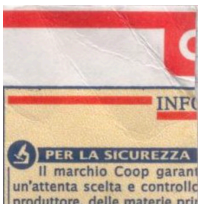
TIPO DI CARTA	U T I L I Z Z O	PROCEDIMENTO	PROPRIETÀ
Carta a righe	Per scrivere	Molto collata e con cariche minerali per diminuire la trasparenza. Si ottiene con pasta cellulosa. Subisce l'operazione di rigatura.	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.
 **Carta a quadretti**	Per scrivere	Molto collata e con cariche minerali per diminuire la trasparenza. Si ottiene con pasta di cellulosa. Subisce l'operazione di quadrettatura.	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.
 **Carta millimetrata**	Per disegnare in scala	Molto collata e con cariche minerali per diminuire la trasparenza Si ottiene con pasta di cellulosa Subisce le operazioni di quadrettatura fino al millimetro.	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.
 **Carta per modulo continuo**	Per computer	Si ottiene con pasta di cellulosa molto collata e con cariche minerali per diminuire la trasparenze.	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.
 **Carta per computisteria**	Per ufficio e scuole	Si ottiene con pasta di cellulosa molto collata Subisce l'operazione di quadrettatura.	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.

fonte: http://montanari.racine.ra.it/iper_agenda21/carta/tipologie.htm

	TIPO DI CARTA	UTILIZZO	PROCEDIMENTO	PROPRIETÀ
CARTA DA SCRIVERE E PER UFFICI	**Carta per pentagramma**	Per testi musicali	Si ottiene con pasta di cellulosa molto collata Subisce l'operazione di rigatura da pentagramma.	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.
	 **Carta quadrettata**	Per grafici	Si ottiene con pasta di cellulosa molto collata Subisce l'azione di quadrettatura di un cm.	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.
	Carta a moduli	Per particolari usi grafici di prospettiva	Si ottiene con pasta di cellulosa. Subisce una rigatura a moduli specifici.	Poco assorbente e poco trasparente. Abbastanza resistente allo strappo. Levigata. Riceve bene l'inchiostro.
CARTA PER IMBALLAGGI	**Carta velina**	Per avvolgere alimenti, oggetti fragili, regali	Si ottiene con pasta di cellulosa molto collata Subisce l'azione di quadrettatura di un cm.	Basso peso specifico, resistente allo strappo, alla trazione e alla torsione .
	Carta Kraft	Per avvolgere alimenti, oggetti fragili, regali. Usata come barriera al vento	Si ottiene con pasta di cellulosa non sbiancata.	Molto resistente allo strappo, allo scoppio, alla trazione. E' opaca, poco levigata, colore marrone e a volte bianca.
	Carta da regalo	Per confezioni regalo	Si ottiene con pasta di cellulosa seguita da tecniche di stampa e coloratura.	Resistente allo strappo, trazione e piegatura.

fonte: http://montanari.racine.ra.it/iper_agenda21/carta/tipologie.htm

CARTA PER IMBALLAGGI

TIPO DI CARTA	U T I L I Z Z O	PROCEDIMENTO	PROPRIETÀ
Carta regalo metallizzata	Per confezioni regalo	Si ottiene con pasta chimica applicando su una faccia una patina di polvere metallizzata.	Resistente allo strappo, alla trazione, alla piegatura. Molto liscia e lucida e abbastanza impermeabile.
 **Carta oleata**	Per avvolgere alimenti grassi. Usata come barriera a vapore	Si ottiene con pasta di cellulosa impregnata di sostanza oleosa (olio di vasellina).	Traslucida, liscia, oleata, impermeabile ai grassi, idrorepellente, molto resistente allo strappo.
 **Carta accoppiata**	Per liquidi alimentari	Si ottiene con pasta meccanica applicando su una faccia una patina di polvere metallica (alluminio, stagno).	Impermeabile, resistente allo scoppio, allo strappo, alla piegatura.
Carta paglia alimenti	Per avvolgere alimenti, solitamente utilizzata assieme alla carta oleata	E' ottenuta con paglia di grano.	Colore giallo, spessore consistente, resiste alla piegatura, è assorbente.
Carta per alimenti	Viene usata come busta per alimenti (es. salumi)	Pasta meccanica applicando sulla faccia esterna del foglio una patina metallizzata.	Impermeabile non fa passare l'aria e la luce Resiste allo strappo, alla piegatura e allo scoppio.
Carta crespa	Per confezioni regalo, fiocchi e festoni	Si ottiene da pasta di cellulosa colorata	Molto elastica, ruvida. Molto resistente alla trazione, allo scoppio e alla piegatura. Assorbe molto.

fonte: http://montanari.racine.ra.it/iper_agenda21/carta/tipologie.htm

	TIPO DI CARTA	UTILIZZO	PROCEDIMENTO	PROPRIETÀ
CARTA PER IMBALLAGGI	Carta da pacco	Per pacchi	Pasta meccanica (si impiegano scarti di canapa)	Resistente allo strappo e alla piegatura, molto robusta.
CARTONE E CARTONCINO	Cartoncino bristol	Per usi grafici e modellismo	Si ottiene unendo insieme fogli di carta velina e aggiungendo caolino per renderlo opaco.	Grammatura 200 g per m^2. Resiste allo strappo, alla trazione e abbastanza la piegatura.
	Cartone pressato	Per imballaggi di oggetti non ingombranti e per scatole da confezione.	Si ottiene da paste meccaniche e da paste di fibra riciclata comprimendo insieme più fogli. Lo spessore varia da 0,5 a 2 mm.	Grammatura superiore ai 200 g per m^2. Molto resistente alla trazione, allo strappo e alla pressione.
	Cartoncino ondulato	Impiegato per piccole confezioni alimentari.	Pasta meccanica e fibre riciclate, sovrapponendo 2 fogli uno dei quali ondulato.	Resistente allo strappo e alla trazione. Resiste abbastanza alla pressione e alla piegatura.
	Cartone ondulato	Impiegato per piccole confezioni alimentari.	Pasta meccanica e fibre riciclate, è formato da un foglio ondulato centrale racchiuso tra due fogli piani.	Molto resistente allo strappo e alla trazione. Resistente alla pressione e alla piegatura.
	Cartone impermeabilizzato	Impiegato per piatti, bicchieri, vassoi.	Pasta meccanica, impermeabilizzando una superficie con un bagno di cera.	Molto resistente allo strappo, alla pressione, alla trazione e impermeabile ai liquidi.

fonte: http://montanari.racine.ra.it/iper_agenda21/carta/tipologie.htm

CARTE SPECIALI

TIPO DI CARTA	U T I L I Z Z O	PROCEDIMENTO	PROPRIETÀ
Carta da forno	Per cucinare alimenti	Si ottiene con la pasta chimica con aggiunta di sostanze minerali e termoresistenti.	Molto resistente al calore, alla trazione e alla piegatura. E' impermeabile ai liquidi.
Carta per stampa fotografica	Per stampe fotografiche	Si ottiene da pasta di cellulosa pura applicando su una faccia un'emulsione d'argento (fotosensibile).	Sensibile alla luce, resistente alla trazione e allo strappo Impermeabile e resistente agli agenti chimici.
Carta carbone	Per ottenere scritti in più copie	Si ottiene con pasta chimica applicando su una faccia una patina di paraffina colorata che viene ceduta per pressione al foglio adiacente.	Sottile, leggera, resistente allo strappo.
Carta vetrata	Per levigare superfici	Si ottiene con pasta meccanica, su una faccia si fanno aderire sostanze abrasive.	Ruvida, resistente allo strappo, grammatura elevata.
Carta vetrata	Per usi grafici e uffici tecnici	Si ottiene con pasta chimica raffinatissima e oli speciali che la rendono trasparente.	Trasparente, liscia, rigida, resistente allo strappo e alla piegatura. Buon grado di pulizia e cancellabilità, impermeabile.
Cartoncino da parati	Per rivestire pareti e arredi	Si ottiene con pasta meccanica e successivamente lavorata con motivi ornamentali.	Resistente allo strappo e alla piegatura, opaca e impermeabile.

fonte: http://montanari.racine.ra.it/iper_agenda21/carta/tipologie.htm

	TIPO DI CARTA	U T I L I Z Z O	PROCEDIMENTO	PROPRIETÀ
CARTE SPECIALI	**Carta per usi igienici**	Fazzoletti, scottex, carta igienica, tovaglie.	Si ottiene con pasta chimica ad alto contenuto di cellulosa non collata.	Molto assorbente, soffice, grammatura bassa, l'eventuale crespatura serve per l'elasticità.
	Carta pergamena	Per documenti, rilegature di libri e al posto della vera pergamena.	Si ottiene con pasta chimica senza colla e trattata con acido solforico.	Traslucida, impermeabile, abbastanza resistente allo strappo, alla trazione e alla piegatura.

fonte: http://montanari.racine.ra.it/iper_agenda21/carta/tipologie.htm

1.5 L'IMPATTO AMBIENTALE

"*Per "impatto ambientale" si intende un insieme degli effetti causati da un evento, un'azione o anche un comportamento sull'ambiente nel suo complesso, con la conseguenza di un cambiamento osservabile o misurabile nell'ambiente, che può incidere positivamente o negativamente sulla salute dell'uomo o su una risorsa naturale, causato direttamente dalle attività di un'operazione (sviluppo di un prodotto o servizio e la sua produzione)."*[4]

Ammesso che non esistono attività di produzione/trasformazione industriale che non impattino l'ambiente, nel caso dell'industria cartaria le principali fonti di alterazione sono da ricercarsi nel reperimento delle materie prime e nel loro trattamento.
La materia prima più usata attualmente per la produzione di carta è il legno, contribuendo così alla deforestazione.
All'interno del ciclo di vita della carta (fig. 1.5.1) il processo di produzione e di riciclaggio presentano aspetti delicati, correlati ai processi di stampa con cui è sottoposto il materiale cartaceo da recuperare. Il processo di di sbiancamento della cellulosa, in particolare, prevede l'impiego di composti ossidanti, spesso derivati del cloro, che, se non trattati in modo corretto risultano inquinanti, ovvero se dispersi o non opportunamente trattati. Oggi si tende a fare sempre più uso dell'acqua ossigenata, recuperando poi le acque di scarico per utilizzarle nel ciclo successivo, rendendo così più sostenibile questa fase.
Esistono tuttavia delle soluzioni per una maggiore sostenibilità ambientale:
- produzione di carta riciclata;
- *forest management*: l'abbattimento esclusivo di alberi piantati allo scopo e il loro successivo reimpianto.

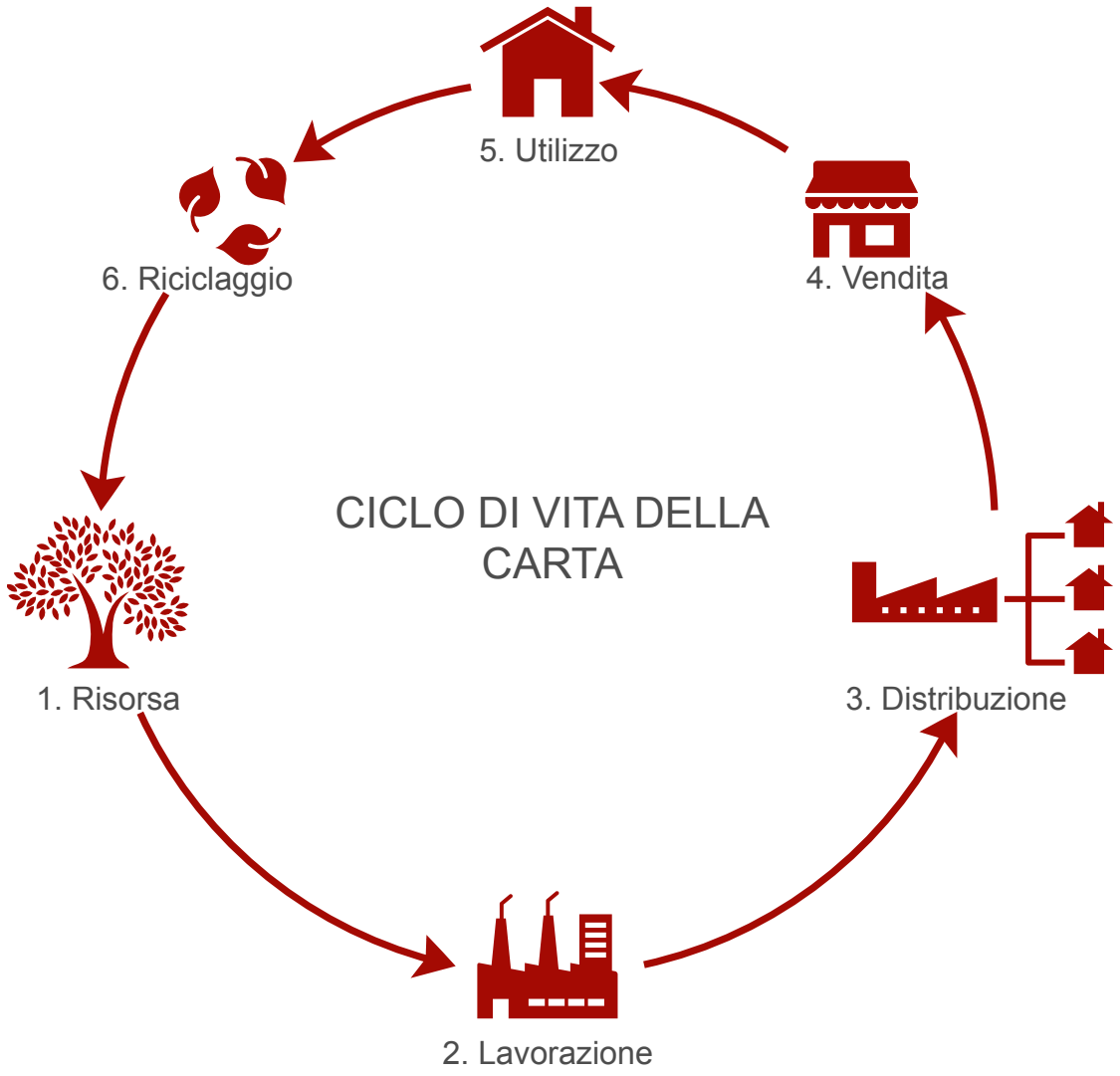


Fig. 1.5.1 Ciclo di vita della carta

4: http://www.officart.com/immagini_adm/impatto_amb.pdf

La carta, assieme agli altri rifiuti, dà problemi di smaltimento. Il vantaggio principale però della materia cellulosica è la sua riciclabilità, infatti, la carta recuperata può essere trattata e riutilizzata come materia prima seconda per la produzione di nuova carta.
La lavorazione della carta da macero in materia prima si sviluppa in tre fasi:
- raccolta e stoccaggio (in questa fase è particolarmente rilevante che le amministrazioni locali richiedano e organizzino la raccolta differenziata dei rifiuti);
- selezionamento (per separare la fibra utilizzabile dai materiali estranei (spaghi, plastica, metalli);
- sbiancamento (per eliminare gli inchiostri).
La cellulosa contenuta nella carta-rifiuto, dopo i trattamenti appena citati, può essere considerata nuovamente materia prima, e quindi idonea a rientrare nel ciclo di produzione.

Life Cycle Assessment (LCA)

Il Life Cycle Assessment (LCA) (fig. 1.5.2) è uno strumento analitico che quantifica l'impatto ambientale di prodotti, processi e attività considerando l'intero ciclo-vita:
- estrazione delle materie prime;
- produzione;
- trasporti;
- distribuzione;
- utilizzo e riutilizzo;
- manutenzione;
- recupero e/o riciclo;
- smaltimento finale.

Fig. 1.5.2 Life Cycle Assessment

Per valutare l'impatto ambientale di prodotti, processi e attività, è necessario analizzare:
- il consumo di materie prime;
- il consumo di energia;
- il consumo di acqua;
- le emissioni in aria;
- il rilascio di sostanze inquinanti in acqua;
- la produzione di rifiuti.

Produzione delle materie prime

Prima della produzione delle materie prime è opportuno considerare un'altra fase inclusa nel ciclo di vita: la piantagione degli alberi (fase che richiede molta acqua per le piante, combustibili fossili per i trattori e altre attrezzature e anche una fase che rilascia emissioni dovute all'uso di fertilizzanti). Il tipo di albero più comunemente utilizzato nell'industria della carta è l'eucalipto, in quanto è un albero con un tasso di crescita veloce (può essere raccolto in 5-7 anni) e anche perché è una specie che può crescere e adattarsi a molte condizioni diverse. Gli impatti del disboscamento selettivo per l'industria cartaria dipendono dall'intensità della rimozione e anche dalle attrezzature utilizzate (costruzione di rampe di carico, strade per i veicoli di trasporto). Dopo il taglio della pianta i rami vengono rimossi, i tronchi vengono tagliati in dimensioni adeguate e poi trasportati alla fabbrica.
Le risorse consumate in questo processo sono la vegetazione, i combustibili fossili e l'elettricità. I risultati sono la deforestazione, la perdita di biodiversità, il degrado del suolo e le emissioni di CO_2 dai combustibili.

Produzione della carta

La prima fase della lavorazione della carta vede la lavorazione delle materie prime, fase che può essere suddivisa in altre due fasi:
- preparazione del legno: dopo la consegna, i tronchi devono essere preparati prima di entrare nella cartiera. I tronchi vengono inviati allo *slasher*, dove vengono trasformati in trucioli di legno e poi, pronti per andare allo stabilimento di produzione della pasta di legno (EPA, 2010);
- spappolatura: durante il processo di spappolatura, la lignina viene rimossa; quindi i trucioli di legno possono essere separati in singole fibre di cellulosa.
Si tratta di un processo complesso e ci sono cinque modi diversi per realizzare questo processo: chimico, meccanico, semi-chimico, riciclo e altro (come spiegato al punto 1.2). Poiché la sostanza chimica è la più comune, sarà quella analizzata.

fonte: Pricewaterhouse Coopers, LCA of Paper and Pulp Industry (Life Cycle Thinking Life Cycle of Paper, Ilan Zugman, 2014)

La pasta di cellulosa chimica è un processo in cui la materia prima (cippato) viene "cotta" utilizzando soluzioni chimiche acquose e ad alta temperatura e pressione per estrarre le fibre di cellulosa.
La pasta di cellulosa Kraft e la pasta di cellulosa al solfito[5] sono le più utilizzate.

Il metodo di produzione della pasta di cellulosa Kraft utilizza idrossido (NaOH) e solfuro di sodio (Na_2S), che vengono miscelati con i trucioli di legno in una vasca di stoccaggio. Dopo questo passaggio, il contenuto viene messo sotto pressione in una vasca di soffiaggio e infine i trucioli di legno si disintegrano in "polpe". Il processo di produzione della polpa di solfito utilizza acido solforoso (H_2SO_3) e ione bisolfito (HSO_3). La Kraft è la più utilizzata perché la polpa risultante è più forte e anche perché l'efficienza del metodo al solfito dipende dal tipo di legno che viene utilizzato.
Le risorse consumate in questi due processi sono acqua, energia, combustibile e prodotti chimici. I risultati sono le emissioni di gas serra, gli effluenti tossici dell'acqua e i rifiuti solidi tossici.

La produzione della carta è caratterizzata da quattro fasi:
- sbiancamento: ha l'obiettivo di rimuovere il colore dalla pasta di cellulosa aggiungendo sostanze chimiche e aumentandone il grado di bianco. Alcuni prodotti chimici comunemente usati per questo scopo sono: biossido di cloro, perossido di idrogeno, ossigeno, ipoclorito caustico e ipoclorito di sodio. L'effluente di questa fase viene riutilizzato o inviato al trattamento;

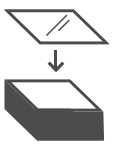
- recupero chimico: questo processo permette il recupero di quasi tutte le sostanze chimiche utilizzate durante il processo di macero e prevede la concentrazione del prodotto del macero kraft, la combustione dei composti organici, la riduzione dei composti inorganici e la ricostituzione del liscivio di cottura;

- essiccazione della pasta di cellulosa: la pasta di cellulosa deve essere essiccata solo in cartiere non integrate. Nelle cartiere integrate, viene utilizza la pasta di cellulosa prodotta in loco;

- fabbricazione della carta: l'ultima parte del processo consiste nella trasformazione della pasta in carta. Il processo è simile per tutti i tipi di pasta di legno. La pasta viene rimossa dal magazzino e posta nella macchina continua. Poi, utilizzando acqua, si forma una sospensione di pasta di cellulosa e il fango di cellulosa va all'interno della macchina continua. Con la pressione di un settore della macchina continua l'acqua viene drenata e il formato del foglio inizia a comparire. Poi il foglio viene messo all'interno di alcune cabine per l'asciugatura e il rivestimento.

Le risorse consumate in questi quattro processi sono acqua, energia, carburante e prodotti chimici. Questo processo comporta emissioni di gas serra, effluenti tossici dell'acqua e rifiuti solidi tossici.

Utilizzo
Dopo che i fogli sono stati asciugati e rivestiti, vengono messi all'interno di una macchina per la laminazione (calandra), dove il foglio viene pressato per ridurne lo spessore e avvolto in bobine. Poi la carta viene tagliata in diverse dimensioni (a seconda delle esigenze dei consumatori) e confezionata.



Le risorse consumate sono il carburante, l'energia e i materiali di imballaggio; gli output sono emissioni e rifiuti solidi.
Essendo la carta un materiale molto versatile, ha molti usi e funzioni (imballaggio, pulizia, stampa, informazione, materiale d'ufficio, comunicazione e altri usi). L'output è il rifiuto solido.

Il prodotto cartaceo finito entra in distribuzione tramite trasporto via terra o via mare. Questa fase richiede quindi risorse come il carburante, comportando molte emissioni.

5: Il processo al solfito produce pasta di legno che è quasi pura cellulosa fibre utilizzando vari sali di acido solforoso per estrarre la lignina da trucioli di legno in recipienti a pressione grandi chiamati digestori.

Smaltimento

Lo smaltimento della carta può avvenire in modi diversi: può essere riciclata, incenerita, compostata o inviata in discarica.

- Riciclaggio: l'obiettivo principale del riciclaggio della carta è quello di evitare l'utilizzo di fibre vergini nel processo, così da rendere possibile il processo di fabbricazione della carta utilizzando solo carta riciclata (fibra secondaria). Il riciclaggio riguarda l'intero processo, così da poter riutilizzare l'acqua e le sostanze chimiche.
- Discarica e incenerimento: una pratica molto comune nelle discariche è quella di incenerire lo scarto per produrre energia. E a volte, l'incenerimento può essere l'ultima parte del ciclo di vita; tuttavia la combustione della carta rilascia gas serra come metano e CO_2, e comporta anche il rischio di contaminare le acque sotterranee o i sistemi idrici limitrofi alle discariche laddove le strutture non siano munite di strati impermeabili per contenere i residui.
- Compostaggio: è un'alternativa allo smaltimento finale della carta da macero.

Le risorse consumate in questi processi sono energia e carburante. I risultati sono le emissioni e gli effluenti tossici.

Utilizzo di energia

Il processo di produzione della carta è molto energivoro, sia per il consumo di elettricità e di combustibili fossili. Dalla fase di estrazione fino allo smaltimento la combustione di combustibili fossili è costante e le risorse rinnovabili non vengono quasi mai utilizzate. Oltre ad esaurire le risorse non rinnovabili, la combustione di combustibili fossili genera una quantità non indifferente di gas serra nell'aria, che conseguentemente porta al riscaldamento globale e quindi al cambiamento climatico. L'impianto di trattamento delle acque reflue e il processo di produzione della pasta di cellulosa sono stati identificati come i maggiori responsabili di queste emissioni.

Utilizzo di risorse naturali

Dalla "culla alla tomba" la produzione della carta deve consumare una quantità enorme di risorse naturali. L'impoverimento delle foreste sembra un'attività inevitabile, così come l'uso dell'acqua. Una migliore gestione delle foreste e il riutilizzo dell'acqua devono essere una realtà per questo settore industriale.
La tabella sul *Life Cycle Stage* (pag. 38) fornisce una migliore comprensione di tutti gli impatti ambientali causati dalle fasi del ciclo di vita della produzione della carta. Si può evidenziare che gli impatti più forti provengono dalle fasi di produzione della carta. D'altra parte, gli impatti meno significativi di questo settore provengono dalla fase di smaltimento.

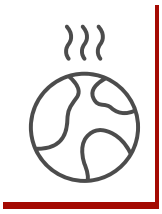
Impatti ambientali

La produzione di carta è il quinto più grande consumatore di energia al mondo (4% del consumo globale di energia) e il più grande utilizzatore di acqua per i processi industriali nel mondo.
La carta ha un impatto molto significativo sull'ambiente portando a riflettere su decisioni del settore e sui comportamenti, sia a livello personale che aziendale.
Il progresso tecnologico ha comportato un'elevata disponibilità di carta usa e getta incrementando così i livelli di consumo e di conseguenza la produzione di rifiuti.
Questi incrementi hanno portato risvolti negativi ambientali come l'inquinamento dell'acqua e dell'aria, discariche oberate e ovviamente hanno contribuito al cambiamento climatico globale, portando molti governi ad aumentare le normative.
Da qui è nata la tendenza a ridurre l'uso di acqua, il taglio netto dei consumi di combustibili fossili e le emissioni di gas a effetto serra, con l'obiettivo di ridurre gli impatti sull'inquinamento atmosferico e sull'approvvigionamento idrico.

fonte: Pricewaterhouse Coopers, LCA of Paper and Pulp Industry (Life Cycle Thinking Life Cycle of Paper, Ilan Zugman, 2014)

Durante il processo di sbiancamento le cartiere producono grandi quantità di diossine. Le diossine sono una delle sostanze chimiche più tossiche dell'atmosfera e il loro rilascio è totalmente proibito.

Gas serra e altre emissioni



Il ciclo di vita della carta è un processo che ha alti tassi di emissioni di gas serra. La maggior parte delle emissioni di CO_2 (anidride carbonica), SO_2 (biossido di zolfo) e NOx (ossidi di azoto) provengono dalle fasi in loco del processo di produzione della carta. Un'altra considerevole quantità di emissioni di NOx proviene dalla fase di trasporto. Le emissioni di SO_2 e di NO_2 potrebbero causare acidificazione. Il processo di produzione della pasta di cellulosa rilascia emissioni di COD (composti organici) biodegradabili, misurati come BOD, domanda di ossigeno biologico, o COD, domanda di ossigeno chimico, nell'acqua che se non vengono trattati correttamente, portano all'eutrofizzazione (fenomeno di arricchimento trofico di laghi, di stagni e, in genere, di corpi idrici a debole ricambio).

Impatti ambientali del ciclo di vita della carta

	INDICATORI	PRODUZIONE CARTA	STAMPA DELLA CARTA	LAMINAZIONE
Energia	Totale energia primaria consumata	+++		+
	Energia non rinnovabile	++		
	Energia rinnovabile	+++		
Aria	Emissioni gas effetto serra	+++		
	Acidificazione dell'aria	+++	+++	
	Foto-ossidanti chimici	++	+++	+++
	Tossicità per l'uomo	+++		+++
Acqua	Ecotossicità	+++	++	++
	Consumo	+++		
	Eutrofizzazione	+++		
Risorse	Impoverimento delle risorse non rinnovabili	++		+
Rifiuti	Produzione di rifiuti non pericolosi	+++	++	

fonte: Pricewaterhouse Coopers, LCA of Paper and Pulp Industry (Life Cycle Thinking Life Cycle of Paper, Ilan Zugman, 2014)

PRODUZIONE DI ALTRE MATERIE PRIME	PRODUZIONE	TRASPORTO	FINE VITA
++	++	++	
++	++	++	
+	+		
++	++	++	+
+	++	++	
++	++	++	+
+	++	++	
+	+	+	
+	++		
++	++		
++	++	++	
+	++		++

Suggerimenti per mezzi alternativi per un prodotto con minore impatto ambientale

- Smaltimento: incenerendo i rifiuti si può evitare lo smaltimento in discarica così come le emissioni del trasporto dei rifiuti. Tuttavia la quantità di emissioni dal materiale incenerito è superiore a quello del riciclaggio.

- Uso della fibra come materia prima secondaria: riciclando le fibre è possibile ridurre la deforestazione e di conseguenza tutti gli impatti che questa comporta. Le fibre prodotte da materie prime seconde possono essere utilizzate per un processo di spappolatura completamente nuovo, senza diminuzione della qualità del prodotto finale.

- Riutilizzo dell'acqua: la produzione richiede una delle maggiori quantità di acqua tra tutti i settori industriali. Con il riutilizzo dell'acqua è possibile avviare un nuovo processo con la stessa acqua, dopo averla trattata.

fonte: Pricewaterhouse Coopers, LCA of Paper and Pulp Industry (Life Cycle Thinking Life Cycle of Paper, Ilan Zugman, 2014)

- Miglioramenti biotecnologici: procedure biotecnologiche presenti creano la possibilità e l'opportunità di cambiare l'industria della carta e della cellulosa in una più rispettosa dell'ambiente. Gli studi in questo settore sono in aumento e alcuni risultati sono già stati dimostrati: "*xilanasi per l'aumento della candeggina; cellulasi per un migliore drenaggio; lipasi per la pece*", ecc. (Bajpai, 2012);

- Legislazione e applicazione per l'uso di sostanze chimiche: evitare la produzione di diossine nel trattamento al cloro (una delle sostanze chimiche più tossiche nell'atmosfera). L'utilizzo di diossine è vietato tuttavia, a causa della mancanza di monitoraggio, è ancora largamente utilizzato dalle industrie;

- Energia: è il maggiore contributore delle emissioni di gas serra. L'utilizzo di energie rinnovabili ridurrebbe sostanzialmente le emissioni. Le energie rinnovabili però sono costose, quindi una valida alternativa per minimizzare le emissioni è il passaggio dal petrolio al gas naturale.

Risorse a confronto: plastica vs. carta[6]

In Europa nel 2016 è stata rilevata una produzione di plastica di 60 milioni di tonnellate (*fonte: plastics - the facts 2017, Plastics Europe*) e 79 milioni di tonnellate di carta (*fonte: Eurostat*).

Le **plastiche** vengono prodotte da fonti non rinnovabili, in quanto derivano dal processo di raffinazione del petrolio o del gas metano. Il petrolio e il gas metano utilizzati per la produzione di materiali plastici corrispondono al 4-6% (*fonte: plastics - the facts)* del totale delle risorse estratte.
La **carta** invece, viene prodotta da fonti rinnovabili. Il legname utilizzato nel processo di produzione della carta, in Europa e nel Mondo, ammonta al 12% (*fonte: Assocarta – 'La carta fra luoghi comuni e realtà'*).
La maggior parte del legno utilizzato proviene dallo sfoltimento degli alberi.
L'industria cartaria europea, per sensibilizzarsi verso l'ambiente, utilizza legno proveniente da foreste gestite in modo sostenibile (certificazioni forestali FSC e PEFC).

L'impatto di produzione di buste di plastica e carta

Dati relativi alla produzione di 1000 buste[7]:

PARAMETRO	CARTA	PLASTICA
Consumo di energia	460 kWh	204 kWh
Emissioni di CO_2	2600 kg	550 kg
Consumi di acqua	3800 L	220 L
Rifiuti solidi	50 kg	7 kg
Rilascio di sostanze nocive in acqua	1,5 kg	0,05 kg

Risultati dell'LCA in merito alle emissioni di CO_2

La produzione di una busta di plastica emette la minor quantità di CO_2 rispetto alle buste in altri materiali.
I sacchetti di carta, di plastica spessa e di cotone dovrebbero essere riutilizzati almeno 3, 4 e 131 volte rispettivamente per garantire che abbiano un potenziale di riscaldamento globale inferiore rispetto ai sacchetti di polietilene ad alta densità convenzionali che non vengono riutilizzati. Il numero di volte che ciascuna busta dovrebbe essere riutilizzata, quando vengono utilizzate diverse proporzioni di borse da trasporto convenzionali (in polietilene ad alta densità), è indicato nella tabella (1.5.1)[8]:

Materiale	Monouso borsa di plastica	Secondo utilizzo della borsa di plastica come sacchetto della spazzatura	Borsa di plastica ri-utilizzata 3 volte e poi come sacchetto della spazzatura
Carta	3	4	9
Plastica spessa	4	5	12
Cotone	131	173	393

(Tabella 1.5.1) Numero di riutilizzi per compensare l'impatto ambientale (Environment Agency (2011) Life Cycle Assessment of Supermarket Carrier Bags.)

6: Plastica e carta, risorse a confronto. Tailor (Technology and Automation for Industry LabORatory), Università di Bologna. 2018
7: Muthu S.S. et al., Journal of fiber bioengineering and informatics, 2009, v. 1, no. 4, p. 307-320 An exploratory comparative study on eco-impact of paper and plastics bags
8: Environment Agency (2011) Life Cycle Assessment of Supermarket Carrier Bags.

Rapporto ambientale dell'industria cartaria italiana 2016[9]

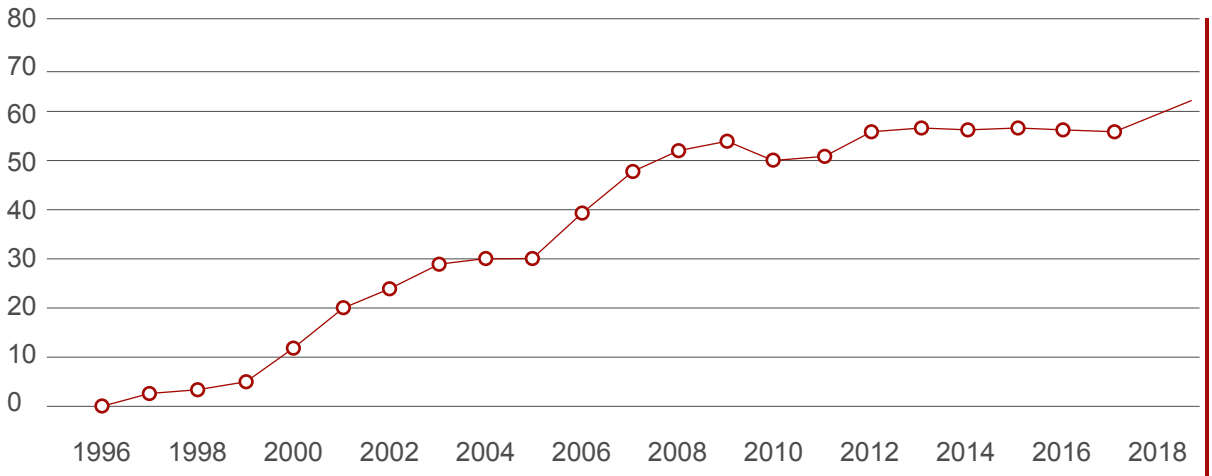
"Assocarta è l'Associazione imprenditoriale di categoria che aggrega, rappresenta e tutela le aziende che producono in Italia carta, cartoni e paste per carta."[10]

L'obiettivo dell'associazione è quello di comunicare e trasmettere alle imprese aderenti un atteggiamento responsabile, così da sensibilizzarle verso l'inquinamento e per potenziare le performance e la tutela ambientale.

Nel 1999 Assocarta redige un "Rapporto ambientale dell'industria cartaria" dove rappresentare i livelli di prestazione ambientale raggiunti dal settore cartario. Il rapporto viene redatto ogni anno e i dati documentati vengono raccolti tramite un questionario inviato a tutte le cartiere italiane aderenti.
Il primo documento venne redatto nel 1999, dove venne indagata la sfera ambientale e la produzione, riguardante gli anni 1995-1998, di un numero omogeneo di aziende. Le ricerche seguenti competono sempre ai due anni precedenti a quello dell'indagine stessa e indagano su un campione omogeneo di aziende produttrici di carta, cartone e paste per carta operanti in Italia.

Risulta fondamentale, per mettere in luce la tendenza negli anni dei parametri presi a riferimento e il percorso virtuoso intrapreso dall'industria cartaria italiana, confrontare i vari rapporti annuali.
L'ultimo rapporto è del 2019 ed indaga i dati relativi al biennio 2016-2017.

Dal rapporto è possibile osservare come è aumentato il numero di aziende che hanno sottoposto a certificazione i loro sistemi. Questo processo, iniziato nel 1997, ha subito una forte crescita; a dicembre 2018 infatti si contano 74 impianti certificati ISO 14001, in attività, che concorrono alla produzione di 6,7 tonnellate di carta, pari al 75% della produzione nazionale (fig. 1.5.3).



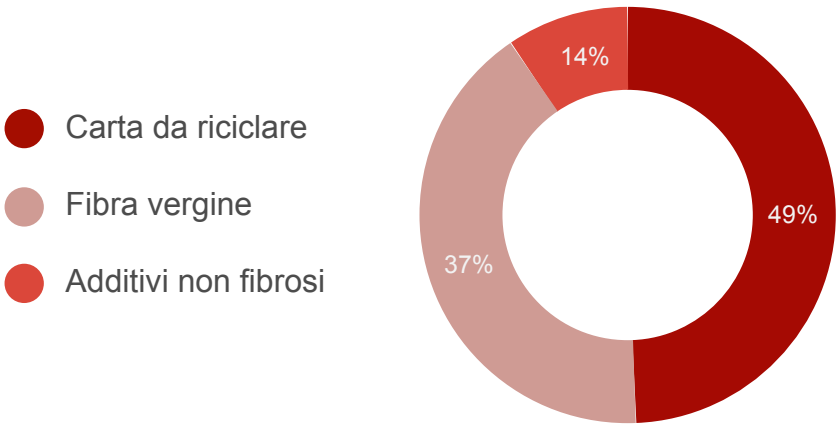
(Fig. 1.5.3) Siti certificati ISO 14001 nel periodo 1/1996 – 12/2018

I sistemi di gestione ambientale, in linea con le norme internazionali ISO 14001, mettono in luce l'integrazione delle pratiche per tutelare l'ambiente, nell'ottica di prevenire l'inquinamento, abbassando la produzione di rifiuti, il consumo energetico e i materiali.

La limitata disponibilità di aree forestali in Italia ha fatto si che l'impiego di fibre da materie prime seconde prendesse sempre più un ruolo primario nella produzione di carta riciclata, infatti negli ultimi anni la carta da macero rappresenta la prima fonte di fibre per i prodotti cartari italiani.
Le principali materie prime nell'industria cartaria sono gli additivi non fibrosi per il 14%, la carta da macero per il 49% e la fibra vegetale per il 37%[10]. Essendo tutti elementi naturali e rinnovabili, i prodotti cartari si rivelano riciclabili, biodegradabili e compostabili, rendendo così il settore cartario *circolare*.

9: Rapporto ambientale dell'industria cartaria italiana, dati 2016-2017. Assocarta - http://www.assocarta.it/it/pubblicazioni.html
10: http://www.assocarta.it/it/chi-siamo.html

Composizione delle materie prime per l'industria cartaria[11]



Ai fornitori del settore cartario viene richiesto di seguire degli standard con lo scopo di garantire una gestione volta alla sostenibilità ambientale, sociale ed economica. In Italia il 56% del legno e il 79% della pasta per carta vergine utilizzati dalle cartiere sono dotati di certificazione forestale.

Impatto di CO_2 (Carbon Footprint)

Il *Carbon Footprint* è un parametro che permette di stimare l'inquinamento di un prodotto, misurandolo in un equivalente dato di emissione nell'atmosfera di anidride carbonica (CO_2) in kg/ton di prodotto. L'impatto di CO_2 indica il valore di gas serra emesso da un prodotto durante il suo ciclo di vita.
Il ciclo di vita comprende tutti i materiali utilizzati, dalle relative emissioni di CO_2, i trasporti fino all'utilizzo finale del prodotto.

La CEPI (Confederation of European Paper Industries), l'associazione europea che rappresenta l'industria della carta, ha definito 10 sorgenti di anidride carbonica durante il processo produttivo della carta e del cartone [12]:

1. Rimozione e stoccaggio della CO_2 da biomassa nelle foreste
2. CO_2 da biomassa in prodotti di carta e cartone
3. Emissioni di gas a effetto serra dagli impianti di produzione di prodotti di carta e cartone
4. Emissioni di gas serra associate alla produzione di fibra di legno
5. Emissioni di gas a effetto serra associate alla produzione di altre materie prime/combustibili
6. Emissioni di gas a effetto serra associate all'acquisto e alla vendita di elettricità, vapore, calore, e acqua calda e fredda
7. Emissioni di gas a effetto serra associate al trasporto
8. Emissioni di gas a effetto serra associate all'uso del prodotto
9. Emissioni di gas a effetto serra associate al fine vita del prodotto
10. Emissioni di gas a effetto serra evitate (opzionale)

Le questioni relative al raggiungimento di un quadro comune sono state ampiamente descritte in questo documento, indicando le scelte per ogni elemento che devono essere fatte a diversi livelli del settore.

Pro Carton, L'approccio del packaging in cartone

Il cartone, è frutto di una risorsa naturalmente rinnovabile, compostabile e di facile riciclaggio, e nello specifico si avvale di un *sistema di produzione con emissioni basse*.

11: http://www.cepi.org
12: http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/environment/2017/NEWcarbon%20fo-otprint-final_1.pdf

Pro Carton[13] è l'Associazione Europea dei produttori di cartone. Il suo scopo principale è quello di promuovere l'uso di cartoni e cartoncini come mezzo di imballaggio economicamente ed ecologicamente equilibrato.

L'associazione si è occupata di raccogliere dati ambientali relativi al *packaging* in cartone, prodotto in Europa così da poter eseguire un *Life Cycle Inventory* (LCI, inventario del ciclo di vita) relativo ai dati medi dell'industria europea.
L'LCI permette di misurare gli effetti del *packaging* in cartone sull'ambiente nel tempo, e si è potuto così constatare il miglioramento continuo per quanto compete il processo produttivo dell'industria europea; l'indagine ha anche confermato quanto l'impatto ambientale di questo settore stia diminuendo.
Questo progresso è stato reso possibile grazie ad un uso più limitato di prodotti chimici e soprattutto alla sostituzione dei carburanti fossili con biomasse per generare energia. La scelta di abbandonare i carburanti tradizionali nei processi produttivi industriali ha contribuito all'abbassarsi delle emissioni di anidride carbonica, biossido di zolfo e ossido di azoto.

I miglioramenti nelle principali categorie di impatto ambientale dal 2005 al 2008[14]:

Consumo di risorse non rinnovabili (Depauperamento abiotico)	-10%
Emissioni che possono causare piogge acide (Acidificazione)	-6%
Emissioni in acqua che possono portare a una perdita di ossigeno (Eutrofizzazione)	-8%
Emissioni che possono danneggiare lo strato di ozono (Riduzione dello strato di ozono)	-9%
Emissioni che possono causare smog (Ossidazione fotochimica)	-12%
Riduzione dell'impronta al carbonio	**-7%**

Per calcolare l'impronta di CO_2 viene seguito il modello CEPI e grazie all'inventario di Pro Carton è possibile confrontare i dati relativi al ciclo di vita del prodotto con i dati medi dell'industria europea (che include fibre vergini, fibre riciclate e cartoni stampati).
I limiti dell'insieme dei dati analizzati si trovano nella fase iniziale, ovvero la pianta, e nella fase finale, la porta di uscita del trasformatore di cartone. Vengono quindi così escluse le emissioni di CO_2 dei produttori e rivenditori di merci oppure lo smaltimento finale del cartone alla fine del suo ciclo di vita.

Usando i dati LCI, Pro Carton è stata in grado di calcolare le impronte di CO_2 per il cartone in anni diversi: nel 2005, nel 2008 misurando così il miglioramento. Grazie a questa indagine è stato possibile verificare che l'impronta di CO_2 media dell'industria europea si è ridotta del 7%.

2005 *1.004 kg/tonnellata equival. CO_2 fossile*

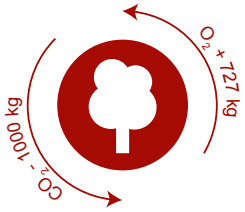
2008 *964 kg/tonnellata equival. CO_2 fossile*

2011 + *tendere al miglioramento continuo*

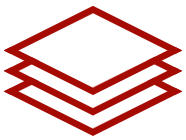
Pro Carton ha inoltre calcolato che in una tonnellata di cartone vengono immagazzinati 1.474 kg di anidride carbonica.
Il cartone è composto principalmente da legno e cellulosa. La cellulosa si ottiene grazie al processo di fotosintesi dalla conversione di Anidride Carbonica e acqua in zuccheri semplici e ossigeno. Nel processo, oltre alla polimerizzazione degli zuccheri per produrre la cellulosa, viene rilasciato ossigeno. Questo è il motivo perché in una tonnellata di cartone prodotto da fibre di legno è contenuta cellulosa (macromolecola costituita da *n* unità di glucosio) che ha immagazzinato 1.474 kg di anidride carbonica che è stata convertita in carbonio (402 kg di carbonio).[15]

$$\text{Fotosintesi: } 6[CO_2 + H_2O] \longrightarrow \underbrace{C_6H_{12}O_6}_{\text{glucosio nella biomassa}} + 6O_2$$

13: http:https://www.procarton.com/?lang=it
14,15: Cartone e impronta al carbonio, L'approccio del packaging in cartone al carbonio fossile e biogenico



Crescita di 1 m³
In media, un normale albero assorbe una tonnellata di CO_2 per ogni metro cubo di crescita ed emette 727 kg di ossigeno



Una tonnellata di cartone immagazzina 1.474 kg di CO_2

Le emissioni fossili per produrre una tonnellata di cartone convertito sono 964 kg di CO_2.

Fonte: ECCM (Edinburgh Centre for Carbon Management, Centro di Gestione delle Emissioni di CO_2 di Edimburgo)

Carbon footprint di cartone convertito[16]:

Descrizione dell'impronta di CO_2 di 1 tonnellata di cartone convertito. indicato come potenziale di riscaldamento globale (GWP) 100	**Emissioni gas a effetto serra (kg CO_2 /tonnellata di cartone)**
Immobilizzazione netta CO_2 biogenica in foreste gestite	
Emissioni gas a effetto serra dalla produzione e dal trasporto del cartone convertito	964
Emissioni associate alla fine vita	308
Emissioni evitate a fine vita	-145

Certificazioni
La nascita di organizzazioni non governative e società certificatrici ha permesso di regolamentare il fare ecologia, ovvero tutelare e controllare l'ambiente. Questo è stato reso possibile grazie all'introduzione di regole che potessero controllare l'impatto ambientale della produzione industriale, analizzando tutto il processo di vita di un prodotto.
Alcune certificazioni sono: Ecolabel UE, Totally Chlorine Free (TCF), Elementary Chlorine Free (ECF), Nordic Ecolabel, Forest Stewardship Council (FSC), Pan European Forestry Certification (PEFC), Blue Aangel.

Le certificazioni *Blue Angel* e *Ecolabel UE* riguardano le carte riciclate, e certificano la fonte della carta da macero, la percentuale di parte riciclata, il processo riguardante lo sbiancamento, e la produzione.

Le certificazioni *FSC* e *PEFC*, essendo certificazioni forestali, competono sia all'impianto dell'albero che al taglio finale.

Per garantire che non venga fatto un uso improprio di queste certificazioni, la catena di custodia (COC) controlla l'intero percorso del prodotto (dalla pianta al consumatore finale), monitorando i soggetti intermedi e certificandoli.

Le certificazioni *TCF* (Totally Chlorine Free) e *ECF* (Elementary Chlorine Free) controllano l'impiego del cloro nel processo di sbiancamento delle cellulose, accertandosi che sia bandito totalmente o utilizzato esclusivamente in forma di suoi sali entro il limite previsto.

16: Cartone e impronta al carbonio, L'approccio del packaging in cartone al carbonio fossile e biogenico

Le potenzialità di sviluppo

Il settore cartario italiano è considerato essere molto energivoro in quanto necessita grandi quantità sia di energia che di gas naturale (7 miliardi di kWh circa di energia elettrica e 2,5 miliardi di m^3 di gas, circa il 15% del consumo di gas industriale nazionale)[17]. Ciò è da ricondurre al sistema continuo adottato dalle cartiere, dove ogni processo della fabbricazione della carta avviene simultaneamente.
Il gas naturale viene impiegato per alimentare gli impianti di cogenerazione e per produrre il calore necessario all'asciugatura del foglio.
Il gas sta assumendo il ruolo di combustibile che sta supportando e supporterà la transizione del sistema elettrico verso un assetto con maggiore presenza di produzione di energia da fonte rinnovabile. La non prevedibilità delle fonti rinnovabili e la loro impossibilità di coprire tutte le ore dell'anno dovuta alla disponibilità della fonte specifica (sole o vento) anche quando accoppiate a sistemi di accumulo, rendono necessario coprire il carico nazionale con la fonte fossile meno inquinante ovvero il gas naturale.

Le potenzialità di sviluppo del settore cartario possono essere riassunte nei punti seguenti che costituiscono un vero e proprio *Green New Deal*[18] del settore in dieci mosse:
- promuovere la cogenerazione ad alta efficienza con l'obiettivo di renderla *carbon neutral*: essa fornisce fabbisogni che non possono essere coperti con altre fonti, evita le perdite di distribuzione dell'energia elettrica, affianca i servizi da fonte rinnovabile dando sicurezza e continuità al sistema elettrico, evita l'impiego di grandi spazi per generare potenza equivalente a un impianto convenzionale;
- valorizzare il gas come combustibile pulito per la transizione energetica;
- utilizzare in maniera ancora più efficace le misure esistenti per l'efficienza e il risparmio energetico;
- meno tasse e più investimenti, ad esempio adottare una misura Industria 4.0 estesa all'Economia Circolare;
- sbloccare le autorizzazioni sull'*end of waste* ("fine rifiuto"), da cui dipendono investimenti e il miglioramento ambientale del sistema Italia;
- aumentare la capacità di riciclo dell'Italia in campo cartario: si deve e si può fare;
- aumentare la capacità di gestione degli scarti del riciclo e dei sottoprodotti: è un capitolo importante di qualsiasi politica industriale in materia di Economia Circolare. Recuperare energia dagli scarti significa chiudere il ciclo del riciclo e ridurre l'impiego di fonti fossili;
- promuovere la sostenibilità e la riciclabilità dei materiali: la carta è un materiale naturale che coniuga l'impiego di materie rinnovabili con il riciclo dei prodotti a fine vita;
- promuovere la qualità delle raccolte differenziate lungo tutto la filiera con criteri *end of waste* in linea con gli standard merceologici utilizzati a livello internazionale;
- adottare sistemi di responsabilità del produttore che incentivino l'efficienza e l'efficacia, quindi la competitività del sistema Italia, perfezionando quanto già previsto nel campo dei rifiuti di imballaggio.

Il *packaging* cellulosico è un altro punto cardine della sostenibilità, in quanto può svolgere un ruolo determinante, spostando così l'attenzione sul rendere più performanti i prodotti cellulosici, per esempio riducendo la grammatura media portando così un grosso risparmio di risorse, introdurre nuovi *packaging bio-based* per migliorare la qualità della raccolta differenziata (sia organico che carta). Inoltre la sostituzione di alcune tipologie di *packaging* alimentare con soluzioni compostabili comporterebbe un beneficio in termini di miglior gestione del rifiuto alimentare sia all'interno della grande distribuzione che in ambiente domestico.

17,18: 2019; l'Italia del riciclo - Fondazione per lo sviluppo sostenibile FISE UNICIRCULAR, Unione Imprese Economia Circolare

1.6 IL RICICLAGGIO DELLA CARTA

Standard EN 643[19]

Lo Standard EN 643 racchiude l'elenco europeo delle classi di carta e cartone per il riciclaggio, pubblicato nella sua ultima revisione nel 2014.
Il termine "carta e cartone per il riciclaggio" è definito come "*carta e cartone a base di fibre naturali adatti al riciclaggio; costituiti da carta e cartone in qualsiasi forma o prodotto realizzati prevalentemente con carta e cartone, che possono includere altri componenti che non possono essere rimossi mediante cernita a secco, come rivestimenti, laminati, legature a spirale, ecc.*"

Materiali proibiti
La norma EN 643 definisce i materiali proibiti come "*qualsiasi materiale che rappresenti un pericolo per la salute, la sicurezza e l'ambiente, come i rifiuti medici, i prodotti contaminati per l'igiene personale, i rifiuti pericolosi, i rifiuti organici, compresi gli alimenti, il bitume, le polveri tossiche e simili*". Contrariamente ai materiali indesiderati, per i quali sono stati introdotti livelli massimi di tolleranza, i materiali proibiti non sono affatto consentiti. La loro presenza deve essere notificata direttamente al fornitore e il carico deve essere restituito.

Materiali indesiderati
Per materiale indesiderato si intende "*materiale non adatto alla produzione di carta e cartone*" e può comprendere i seguenti elementi:
- componenti non cartacei;
- carta e cartone dannoso per la produzione;
- carta non adatta alla disinchiostrazione (se applicabile).

Requisiti generali
La norma EN 643 invita ad utilizzare il "*Sistema europeo di identificazione dei documenti recuperati*" (RPID). Questo sistema permette di stabilire l'identificazione della carta da riciclare acquistata, ricevuta, immagazzinata e consumata nelle cartiere. L'obiettivo finale dell'RPID è quello di migliorare la tracciabilità della fornitura della cartiera per migliorare la sicurezza dei processi di produzione della carta e dei prodotti.
La norma EN 643 afferma:
- la carta per il riciclaggio proveniente da sistemi di raccolta multimateriale deve essere contrassegnata in modo specifico;
- la carta raccolta, dalla raccolta differenziata dei rifiuti, non è adatta all'uso nell'industria della carta;
- il materiale indesiderato è inteso come materiale non adatto alla produzione di carta e cartone, e chiarisce che questo può comprendere i diversi elementi delineati nella definizione di materiale indesiderato.

La presente norma ha come obiettivo di stabilire una nomenclatura delle qualità normate europee di carta da macero definendone sia il contenuto sia ciò da cui devono essere eventualmente esenti. Lo Standard EN 643 definisce le qualità di carta più comunemente commercializzate nei mercati europei, classificandole secondo:
- Gruppo A: qualità ordinarie;
- Gruppo B: qualità medie;
- Gruppo C: qualità superiori;
- Gruppo D: qualità kraft.

Carta e cartone pregiudizievoli per la produzione
In questa categoria rientra tutto il materiale cartaceo trattato in modo tale da non essere idoneo nella fabbricazione della carta e del cartone, o dannoso o ancora la cui presenza rende inutilizzabile l'intera partita di carta da macero.

19: http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/recycling/2013/CEPI_EN%20643_brochure_FINAL_0.pdf

Lista della qualità della carta da macero[20]

Gruppo A

A 0 - Carta da macero (non selezionata): comprende materiali non selezionati e alla rinfusa provenienti dalla raccolta presso le famiglie, senza garanzie di assenza di materiali inutilizzabili.
A 1 - Carte e cartoni misti (non selezionati): misto di diverse qualità di carta e cartone, senza limitazione del contenuto di fibre corte.
A 2 - Carta e cartoni misti (selezionati): misto di diverse qualità di carta e cartone, contenente meno del 40% di giornali e riviste.
A 3 - Fustellati di cartone: refili ed altri cascami di cartoni rigidi o di cartoni misti senza cartone paglia o ondulato.
A 4 - Macero di grandi magazzini: imballaggi di carta e cartoni usati, costituiti per almeno il 70% da cartone ondulato e il resto costituito da cartoni piani e carta da imballaggio.
A 5 - Macero di cartone ondulato: casse e fogli usati o refili di cartone ondulato.
A 6 - Refili nuovi di cartone ondulato: refili nuovi di cartone ondulato, esenti da qualsiasi altra carta e da qualsiasi traccia di materiali inutilizzabili; essi sono schiacciati o triturati e sono garantiti esenti di contatto con qualsiasi altro prodotto.
A 7 - Resi illustrati: reriodici o riviste invenduti, con o senza dorsi collati. Spaghi tollerati.
A 8 - Resa quotidiani e riviste senza dorso collato: misto di quotidiani, di periodici e di riviste invenduti, senza dorsi collati. Spaghi tollerati.
A 9 - Giornali e riviste misti: misto di quotidiani, di periodici e di riviste contenenti almeno il 50% di giornali, con o senza dorsi collati. Spaghi tollerati.
A 10 - Giornali e riviste misti senza dorso collato: misto di giornali, di periodici e di riviste contenenti almeno il 60% di giornali, senza dorso collato. Spaghi tollerati.
Macero di carta da ufficio triturata. (non selezionata)
A 11 - Giornalame: giornali, riviste, cataloghi, stampati, periodici e elenchi, con o senza punti metallici; esenti da copertine rigide.
A 12 - Carta da macero da ufficio triturata (non selezionata): macero di carta da ufficio triturata. (non selezionata)

Gruppo B

B 1 - Giornali letti : giornali letti, contenenti meno del 5% di inserti colorati o prospetti pubblicitari.
B 2 - Rese giornali: giornali invenduti, stampati su carta da giornale bianca, esenti da inserti o da materiale illustrato aggiunto a posteriori. Spaghi tollerati.
B 3 - Fustellati di cartone multistrato con una copertina bianca: refili ed altri cascami nuovi di cartone duplex o mutiplex con almeno una copertina bianca e l'interno o il retro grigio.
B 4 - Refili colorati misti: refili di stampa o di riviste, senza limitazione di colore, di carte a base di pasta meccanica o patinate.
B 5 - Refili di edizione: refili bianchi, stampati di colori diversi, composti in massima parte di carte a base di pasta meccanica con e senza dorsi collati.
B 6 - Refili di edizione senza colla: refili bianchi, stampati di colori diversi, composti in massima parte di carte a base di pasta meccanica; esenti da dorsi collati.
B 7 - Archivio colorato: corrispondenza a base di carta per stampa e per scrivere, di vari colori, con o senza stampa. Esente da copertine rigide e carta cartone.
B 8 - Libri di carta bianca, senza pasta meccanica: libri senza copertina rigida, di carta bianca senza pasta meccanica, stampati soltanto in nero. Non contengono più del 10% di carta patinata.
B 9 - Scarti di libri: scarti di stampa di libri, di carta senza pasta meccanica, stampati in bianco e nero, esenti da copertine.
B 10 - Opuscoli superiori collati: periodici e riviste, bianchi o colorati, patinati o non patinati, esenti da copertine rigide, colle, vernici, inchiostri ed adesivi non solubili, carte per manifesti, etichette o pezzi di etichette. Possono comprendere circolari densamente stampate e ritagli colorati. Contenuto in pasta meccanica minore del 10%.
B 11 - Carte autocopianti bianche: carte autocopianti bianche.
B 11 - Carte autocopianti bianche: carte autocopianti bianche.
B 12 - Carte autocopianti colorate: carte autocopianti colorate.
B 13 - Cartone bianco politenato: cartone bianco politenato proveniente dalla produzione di imballaggi di cartone per liquidi alimentari.

20: http://www.paperwebstore.com/normamacero.asp

B 14 - Cartone politenato: cartone politenato che può comprendere cartone greggio proveniente dalla produzione di imballaggi di cartone per liquidi alimentari.
B 15 - Moduli in continuo con pasta meccanica: moduli in continuo con pasta meccanica; possono contenere fibre riciclate.

Gruppo C
C 1 - Refili di stampati misti di colore chiaro: refili misti di colore chiaro di carta per stampa e per scrivere, contenenti almeno il 50% di carte senza pasta meccanica.
C 2- Refili di stampati misti di colore chiaro, senza pasta meccanica: refili misti di colore chiaro di carta per stampa e per scrivere, contenenti almeno il 90% di carte senza pasta meccanica.
C 3 - Schede meccanografiche colorate: schede meccanografiche colorate, stampate, senza pasta meccanica.
C 4 - Moduli in continuo, bianchi, senza pasta meccanica, stampa non ad impatto: moduli in continuo, bianchi, senza pasta meccanica, stampa non ad impatto (laser).
C 5 - Schede meccanografiche di colore giallastro: schede meccanografiche di colore giallastro, stampate, senza pasta meccanica, con un massimo dell'1% di schede di marcatura. Se sono fornite in scatole originali su pallets, massimo del 5% di schede di marcatura colorate.
C 6 - Archivio bianco misto: carte per scrivere e per stampa bianche, selezionate, provenienti da archivi di ufficio, contenenti un minimo per balle del 60% di carte senza pasta meccanica, esenti da registri di cassa, di carta carbone, da adesivi insolubili in acqua: possono contenere un massimo del 3% di carte autocopianti colorate.
C 7 - Archivio bianco senza pasta meccanica: carte per scrivere bianche, selezionate, senza pasta meccanica, provenienti da archivi di ufficio ed esenti registri di cassa, da carta carbone, da adesivi insolubili in acqua; possono contenere un massimo del 3% di carte autocopianti colorate.
C 8 - Moduli in continuo bianchi senza pasta meccanica: moduli in continuo, senza pasta meccanica, bianchi, con un massimo del 3% di carte autocopiante colorate.
C 9 - Moduli in continuo bianchi senza pasta meccanica e senza colorazione: moduli in continuo, senza pasta meccanica, bianchi, senza carte autocopianti colorate.
C 10 - Cartoni multistrato bianco stampato: ritagli nuovi di cartone multistrato bianco, senza strati grigi, stampato leggermente.
C 11 - Cartone multistrato bianco senza stampa: ritagli nuovi di cartone multistrato bianco, non stampati, senza strati grigi.
C 12 - Bianco giornale da quotidiani: refili e fogli di carta da giornale bianca, non stampata esente da carta da periodici.
C 13 - Bianco giornale da periodici: refili e fogli di carta per riviste bianca, non stampata, esente da carta da quotidiani.
C 14 - Bianco patinato con pasta meccanica: refili e fogli di carte patinate bianche, con pasta meccanica, non stampate.
C 15 - Bianco patinato senza pasta meccanica: refili e fogli di carte patinate bianche, senza pasta meccanica, non stampate.
C 16 - Refili bianchi con pasta meccanica: refili e fogli di carta bianca, non stampata, con pasta meccanica, esente da bianco giornale da quotidiani e periodici; possono contenere un massimo del 20% di carte patinate.
C 17 - Refili bianchi misti: refili e fogli di carta bianca, non stampata, esente da bianco giornale da quotidiani e periodici, con un massimo del 60% di carta senza pasta meccanica; possono contenere un massimo del 10% di carte patinate.
C 18 - Refili bianchi senza pasta meccanica: refili e fogli di carta bianca, senza pasta meccanica, non stampata; possono contenere un massimo del 5% di carte patinate.
C 19 - Refili bianchi senza pasta meccanica, non patinati: refili e fogli di carta bianca, senza pasta meccanica, non stampata esente da carte patinate.

Gruppo D
D 0 - Ondulato greggio: casse, fogli e ritagli di cartone ondulato, con le copertine in kraft o testliner.
D 1 - Ondulato kraft II: casse, fogli e ritagli di cartone ondulato, con le copertine in kraft o testliner, ma con almeno una copertina in kraft.
D 2 - Ondulato kraft I: casse, fogli e ritagli di cartone ondulato, con le solo copertine in kraft e l'interno ondulato in plastica chimica o semichimica.
D 3 - Sacchi kraft usati: sacchi kraft usati, non spolverati, utilizzati per contenere per esempio dei materiali da costruzione o concimi chimici, ad esclusione di materie coloranti o con odore persistente.
D 4 - Sacchi kraft usati puliti: sacchi kraft usati, puliti, la cui utilizzazione precedente non necessita di spolveratura o che sono stati spolverati meccanicamente, con esclusione delle carte impregnate di un odore persistente.
D 5 - Kraft usato: carta e cartone kraft usati di colore naturale o bianco.
D 6 - Kraft nuovo: refili e altri scarti di carta e cartone kraft nuovi di colore naturale.
D 7* - Unbleached kraft: unbleached kraft, printed or unprinted, one-side PE coated or PE laminated.

La raccolta differenziata[21]

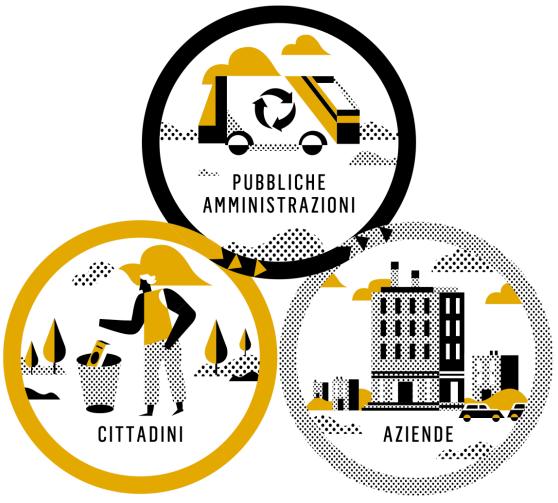
La raccolta differenziata consiste nel sottrarre alla discarica materiali, come carta e cartone, e dare loro nuova vita grazie ad un processo di riciclo. Oltre a produrre materie prime secondarie, il processo contribuisce alla protezione dell'ambiente, a ridurre gli sprechi, economizzare le risorse, creando occupazione.
Grazie alla raccolta differenziata si innesca un processo virtuoso che grazie al quale imballaggi, cartoni, sacchetti e giornali non esauriscono il loro ciclo di vita ma rientrano nel ciclo produttivo e di consumo, sotto nuove forme.

Comieco, con Conai e gli altri Consorzi di filiera,sono stati i pionieri di questo processo che permette alla carta di essere un prodotto circolare diventando così protagonista di questa rivoluzione silenziosa alimentando, negli anni, l'impegno per il cambiamento.
Nel processo di riciclo, ogni attore (fig. 1.6.1) coinvolto, ha il proprio compito: il cittadino si occupa di differenziare i materiali in carta e cartone, al Comune compete la raccolta dei materiali trasmettendoli poi alla piattaforma di selezione, dove avviene la trasformazione in una nuova materia prima.

Il riciclo della carta e del cartone, così strutturato, richiede la garanzia di un continuo approvvigionamento di materiale, nonché del flusso economico a sostegno delle operazioni di raccolta.

Pubbliche Amministrazioni
Organizzano e forniscono il servizio di raccolta di rifiuti urbani perseguendo obiettivi di raccolta differenziata.

Cittadini
Conferiscono in modo corretto gli imballaggi cellulosici negli appositi contenitori.



Aziende
Costituiscono la filiera del riciclo di carta e cartone: piattaforme di selezione, cartiere e cartotecniche.

Fig. 1.6.1 Gli attori coinvolti nella raccolta differenziata

21: http://www.cartierecardella.it/resource/files/comiecosostenibile.pdf

Dalla carta alla carta

Tramite il servizio di raccolta e riciclo dei rifiuti di imballaggio, il materiale cartaceo, derivante dalla raccolta differenziata, viene inoltrato alle “piattaforme”, presenti oggi in tutte le regioni d’Italia.
Circa il 22% della massa totale dei *rifiuti*[22] è costituita dalla carta o cartone, rispettivamente il 13% è carta e il 9 % è cartone. Il recupero della carta da macero per produrre altra carta (riciclata) esiste già da molti anni, con questo procedimento venivano inizialmente recuperati solo gli scarti della produzione industriale e piccole quantità di carta proveniente dai cittadini.
Ora però, a seguito dell’entrata in vigore del Decreto Ronchi[23] e l’istituzione dei Consorzi obbligatori, risulta necessario intensificare il più possibile le raccolte differenziate avendo cura di separare la carta e i cartoni dagli altri tipi di rifiuti.
In questi impianti avviene in un primo momento la cernita dei materiali, dove si procede con l’eliminazione di tutti i materiali estranei, ovvero non cellulosici, quando presenti: vetro, plastica, metalli vari, ecc. Nelle piattaforme, il materiale cartaceo, viene confezionato in grandi balle di carta da macero pressata. Successivamente le balle vengono mandate alle cartiere dove, in base al prodotto richiesto vengono macerate con un’aggiunta percentuale variabile di fibra vergine, formando così una pasta omogenea da utilizzare per produrre nuovamente carte e cartoni per i più diversi utilizzi. I prodotti verranno poi raccolti e selezionati, e nuovamente riciclati.
Le fasi che competono il recupero della carta da macero sono:
- spappolamento;
- cernita in sospensione acquosa;
- centrifugazione;
- vagliatura.

Di fronte alla produzione di “nuova carta”, le percentuali di materia di riciclo, come già citato, è variabile, dipendendo infatti dalle come caratteristiche richieste dal prodotto finale.
Alcuni esempi:
- carta da giornali; fino al 35% di carta da macero;
- carta per libri; fino al 25% di carta da macero;
- carta e cartone per imballaggi; fino al 90% di carta da macero.

Per migliorare le caratteristiche o dare precise proprietà come maggiore resistenza o colore, alla pasta si aggiungono prodotti additivi, come sostanze aggreganti collose, coloranti, ecc.
Nell’industria cartaria, per esempio, è spesso richiesto un prodotto idoneo alla scrittura, quindi un foglio di carta chiara, dove quindi è richiesto un processo di sbiancamento (fig. 1.6.2).
Per la carta da macero stampata è richiesto un pretrattamento di deinchiostrazione, che avviene in due fasi in modo da avere un prodotto di qualità migliore. La prima fase riguarda la deinchiostrazione che avviene utilizzando una vasca di flottazione. Il processo richiede la generazione di una schiuma mediante iniezione di aria in presenza di additivi chimici e soda caustica, con aggiunta di silicato di sodio e perossido di idrogeno, per migliorare la lucentezza ed il grado di bianco.
L’efficienza del processo è incrementato mediante la ricircolazione del liquido dall’alto al basso della vasca.

Fig. 1.6.2 Cellulosa prima e dopo lo sbiancamento

22: Un rifiuto per legge è qualsiasi sostanza od oggetto di cui il proprietario si liberi spontaneamente od obbligatoriamente; nella vita quotidiana, quando decidiamo che un oggetto non ci serve più lo buttiamo nella spazzatura, trasformandolo in rifiuto.
23: Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio. (Decreto Ronchi) Testo coordinato (aggiornato, da ultimo, alla Legge 15 dicembre 2004, pubblicata su GU n. 302 del 27 dicembre 2004).
fonte: Comieco, il ciclo della carta,”Comieco”, http://www.comieco.org/media/sala-stampa/il-ciclo-della-carta.pdf

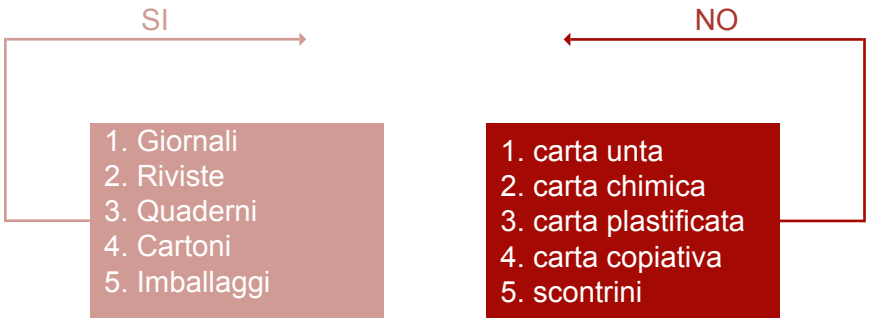
La sospensione di fibre deinchiostrate, viene nuovamente diluita in modo da poter essere sottoposta alla fase di “setacciatura”, fase in cui vengono rimosse impurità di piccole dimensioni.
Il materiale viene quindi inviato in un cilindro ispessitore, prima dello stadio di dispersione.
Il materiale ispessito viene quindi man mano disidratato in modo da essere adatto alla fase di impasto, dove vengono rotti i legami tra l’inchiostro e le fibre della carta stampata.
A seguito della fase di deinchiostrazione, il materiale viene inserito in un secondo cilindro ispessitore, e successivamente inviato alla fase di miscelazione con gli altri materiali costituenti l’impasto.

Il riciclo della carta si sviluppa attraverso determinate fasi[24]:

Fasi	Descrizione
Raccolta differenziata	Imballaggi di carta e cartone, depliant, giornali, riviste, provenienti dalla raccolta differenziata costituiscono la carta da macero.
Selezione	In questa fase viene effettuata la cernita dei materiali, l’eliminazione delle impurità (plastica, spille metalliche, etc.) e nella pressatura dei maceri in grandi balle.
Spappolamento	Le balle di maceri vengono poste in una macchina (pulper) la cui vasca colma d’acqua separa fra loro le fibre; sul fondo della vasca pale rotanti provocano un moto vorticoso e sfaldano il materiale. Il risultato è una poltiglia di fibre in sospensione.
Trattamento specifico dei maceri	La pasta ottenuta viene sottoposta ad alcuni trattamenti specifici atti ad eliminare tutti gli eventuali contaminanti ancora presenti (colle, ferro, paraffina, plastica, vetro, etc.) che possono creare produttivi e condizionare il livello qualitativo del prodotto finito. Un ulteriore trattamento è quello della “disinchiostrazione”, ovvero l’eliminazione di inchiostri, smalti, e vernici per ottenere una carta più bianca possibile.
Raffinazione	L’obiettivo principale di questa fase è aumentare i legami tra le fibre per conferire al foglio resistenza e solidità; attraverso un’azione di frusta e una successiva azione di taglio, le fibre vengono rese più elastiche e flessibili.
Miscelazione	Consiste nell’unire le materie prime fibrose alle altre materie di natura non fibrosa, quali additivi ausiliari di processo

24: Comieco, il ciclo della carta,”Comieco”, http://www.comieco.org/media/sala-stampa/il-ciclo-della-carta.pdf

Non sono riciclabili i prodotti di carta unti o sporchi, la carta chimica, copiativa o plastificata, gli scontrini ecc.



I codici di riciclo sono indicati secondo la direttiva europea 94/62/CE[25]:

Codici universali di riciclaggio		
20 PAP	#20 PAP	Cartone ondulato: scatoloni contenenti i mobili da montare
21 PAP	#21 PAP	Cartone non ondulato: confezioni alimentari (fast-food)
22 PAP	#22 PAP	Carta: carta di giornale, sacchetti di carta
	#23 - #39PAP	Altri tipi di carta

Il riciclaggio della carta da macero presenta anche alcuni svantaggi in quanto può essere riciclata un numero limitato di volte (5 o 6 cicli) in base allo stato di conservazione del materiale. Il progressivo deterioramento della carta ne rende impossibile l'ulteriore riutilizzo.
L'entropia misura la quantità di energia non più disponibile in un sistema chiuso e isolato. Una parte della carta riciclata viene progressivamente perduta a causa della frammentazione in piccole parti che sfuggono alla raccolta differenziata e si disperdono nell'ambiente o tra gli altri rifiuti non riciclabili. È un problema che accomuna tutte le risorse rinnovabili e riciclabili. Il riciclaggio completo non è possibili per i limiti fisici della materia.

Costi e benefici del riciclaggio della carta

Considerando l'impatto economico del riciclaggio della carta risulta meno oneroso rispetto all'incenerimento.
Il costo dell'incenerimento di una tonnellata di rifiuti varia, a seconda dei costi di raccolta e dell'impianto, tra 96 e 192 euro/tonnellata, mentre la lavorazione della carta da macero varia tra 64 e 96 euro/tonnellata[26].
La carta riciclata però non produce un pari peso di carta "nuova" (fig. 1.6.3), poiché in base al prodotto da fabbricare è necessaria sempre una determinata percentuale di cellulosa fresca, proveniente da alberi), e che il procedimento ha i propri costi - economici, energetici e di inquinamento.
Esistono però eccezioni:
- le fabbriche che producono carta per giornali, da carta da giornali riciclata, non utilizzano più cellulosa fresca;
- il costo della materia prima riciclata rimane comunque più basso di quello della pasta di legno, e i relativi scarti possono essere impiegati come materiale combustibile nel processo di fabbricazione, rendendo così la produzione meno impattante;
- il riciclaggio riduce la quantità di rifiuti in circolazione, abbattendo così i costi di stoccaggio e il relativo spreco di spazio, l'inquinamento da incenerimento, e il disboscamento, anche se il *forset management* tutela gli alberi impiegati nella produzione della carta, garantendo la provenienza da vivai a coltivazione programmata, ovvero dove è certificato il taglio e il relativo reimpianto.

25: La carta, Prof.ssa R. D'Imporzano
26: Tecnologia - La carta, Istituto Italiano Edizioni Atlas

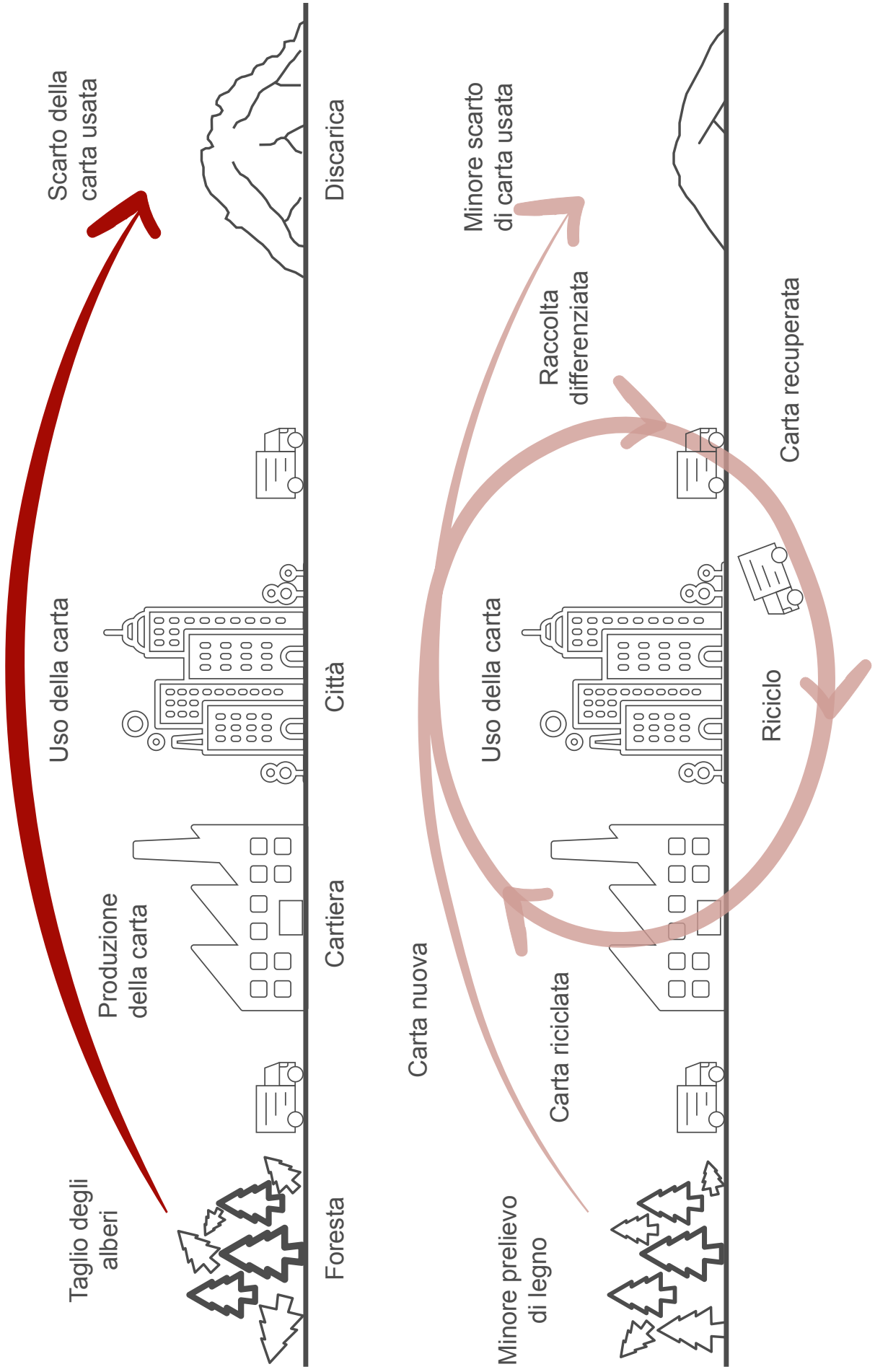


Fig. 1.6.3 L'impatto ambientale del riciclaggio della carta

fonte: UFAFP, Ufficio Federale svizzero dell'Ambiente, delle Foreste e del Paesaggio

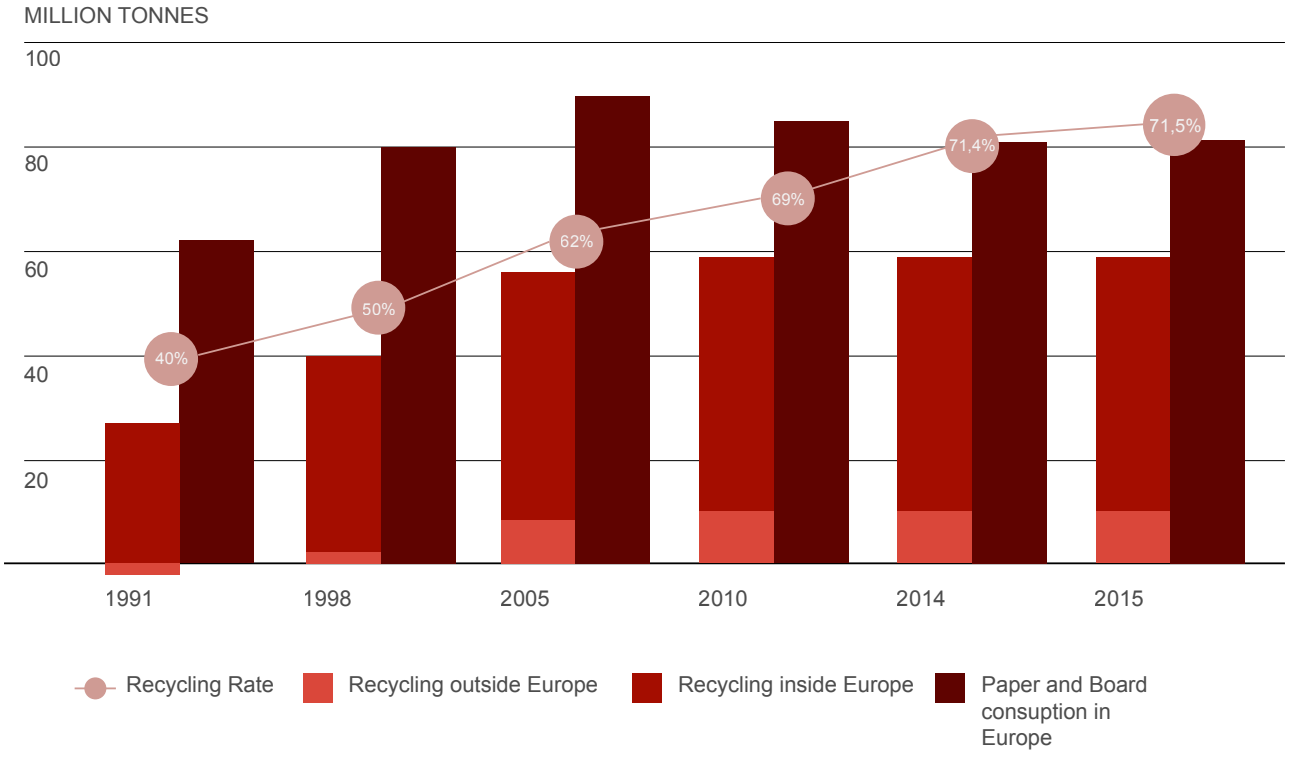
1.7 LA RACCOLTA: DALL'EUROPA A TORINO

In Europa

La raccolta di carta e cartoni usati è il primo passo nel processo di riciclo. Esistono diversi sistemi di raccolta, a livello nazionale e regionale. In Europa una crescente quantità di carta usata viene fornita dalle società di gestione dei rifiuti. Ciò sta contribuendo ad aumentare la disponibilità di carta per il riciclo e a ridurre la quantità di carta destinata alle discariche.
Fino a qualche tempo fa, a parte vecchi giornali e riviste, la maggior parte della carta da riciclo proveniva da fonti industriali e commerciali, poiché più pulita ed economica da raccogliere. Dato che la domanda di carta per riciclaggio è costantemente cresciuta, la sfera domestica e lavorativa è stata sfruttata in larga misura.
Il sistema di raccolta deve essere efficiente in termini di costi e organizzato in modo da poter ottenere i volumi e le qualità di carta riciclata necessari per il riciclaggio. Le cartiere che dipendono dalla carta per il riciclaggio devono avere la garanzia di un approvvigionamento regolare. La carta da riciclare deve essere raccolta separatamente dagli altri materiali. È importante che sia tenuta separata dagli altri rifiuti, in quanto la carta contaminata non è accettabile per il riciclaggio. Se, in via eccezionale, la carta viene raccolta insieme ad altri materiali riciclabili, tale carta per il riciclaggio deve essere contrassegnata in modo specifico.
Occorre inoltre tenere conto delle esigenze del produttore di carta: un imballaggio può utilizzare tipi di carta mista per il riciclaggio, mentre un produttore di carta da stampa (grafica) può utilizzare solo determinati tipi di carta per il riciclaggio. Pertanto, la carta da riciclare viene di solito smistata e classificata e poi consegnata ad una cartiera.

L'EPRC (European Paper Recycling Council) nasce nel novembre del 2000 per monitorare il riciclaggio della carta su scala europea. Viene pubblicata ogni cinque anni una Dichiarazione Europea sul recupero della carta. Secondo il Monitoring Report del 2016-2020 l'Europa ricicla il 74 % di carta consumata.

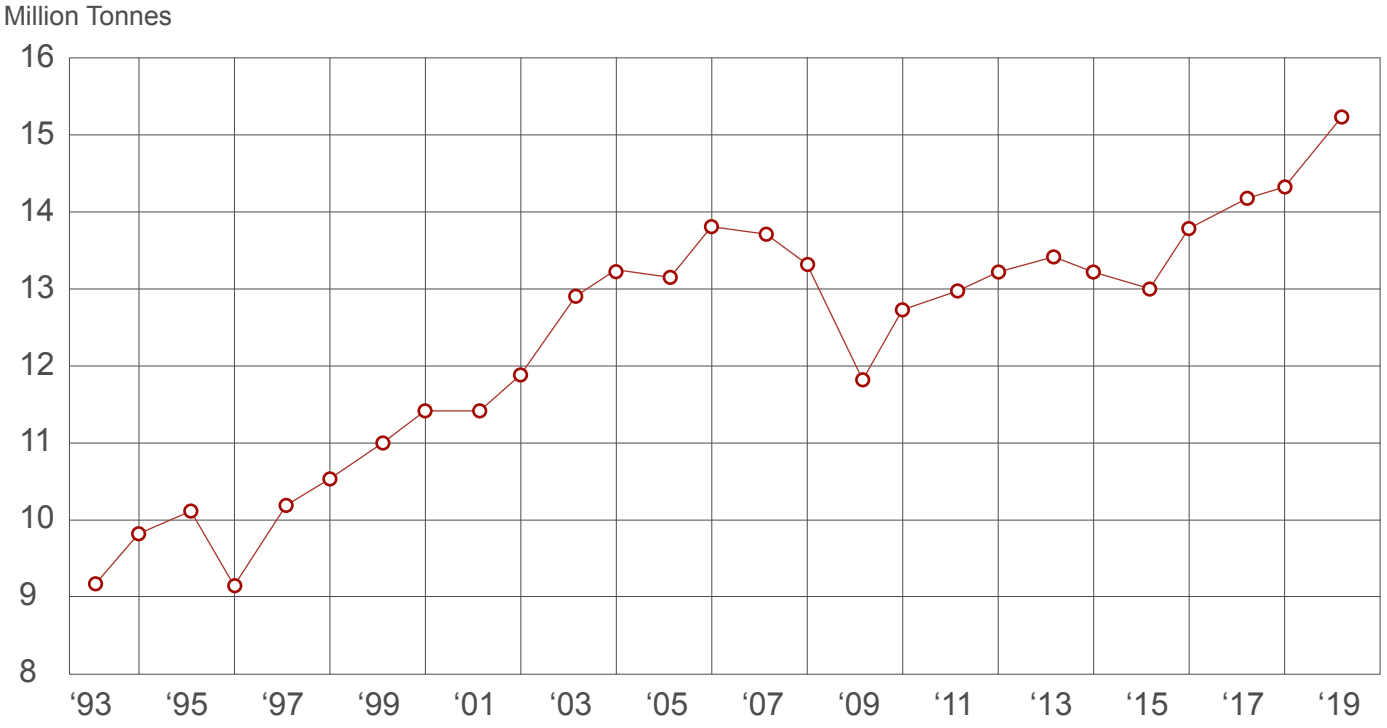
Riciclo della carta in Europa, 1991-2015[27]



In Europa la carta ed il cartone sono i materiali più riciclati, raggiungendo una percentuale di riciclo dell'81,1%, superano quella dell'acciaio (74%), del vetro (70%), e dell'alluminio (67%).

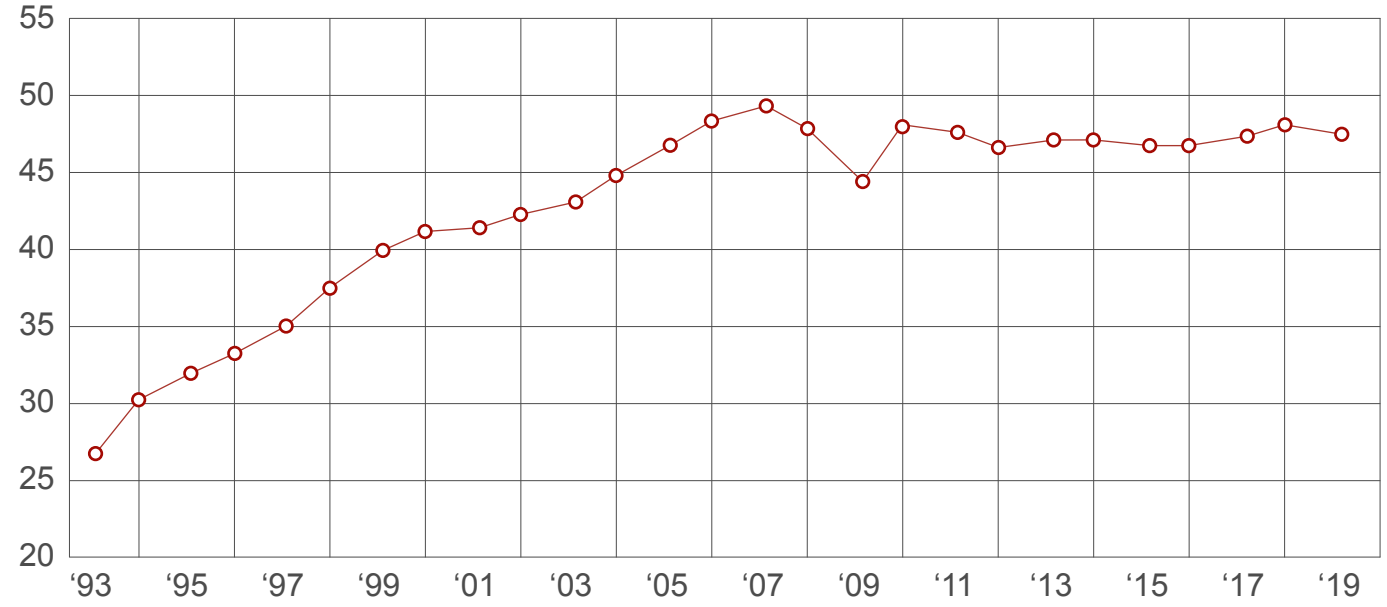
27: European Paper Recycling Council_The platform of the paper recycling chain

Produzione di pasta di cellulosa nei paesi Cepi[28](Confederation of European Paper Industries), che nel 2019 sono: Austria, Belgio, Repubblica Ceca, Finlandia, Francia, Germania, Italia, Norvegia, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Repubblica Ceca, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Regno Unito, Ungheria.



L'utilizzo di carta per il riciclaggio da parte delle aziende cartarie dell'area Cepi è diminuito di circa lo 0,4% rispetto al livello del 2018, raggiungendo i 48,6 milioni di tonnellate. Il 96% della carta europea per l'utilizzo a fini di riciclo viene smaltita a livello nazionale. Le esportazioni sono diminuite di quasi il 10% secondo le statistiche preliminari.

Utilizzo della carta per il riciclaggio nei paesi di Cepi[29]

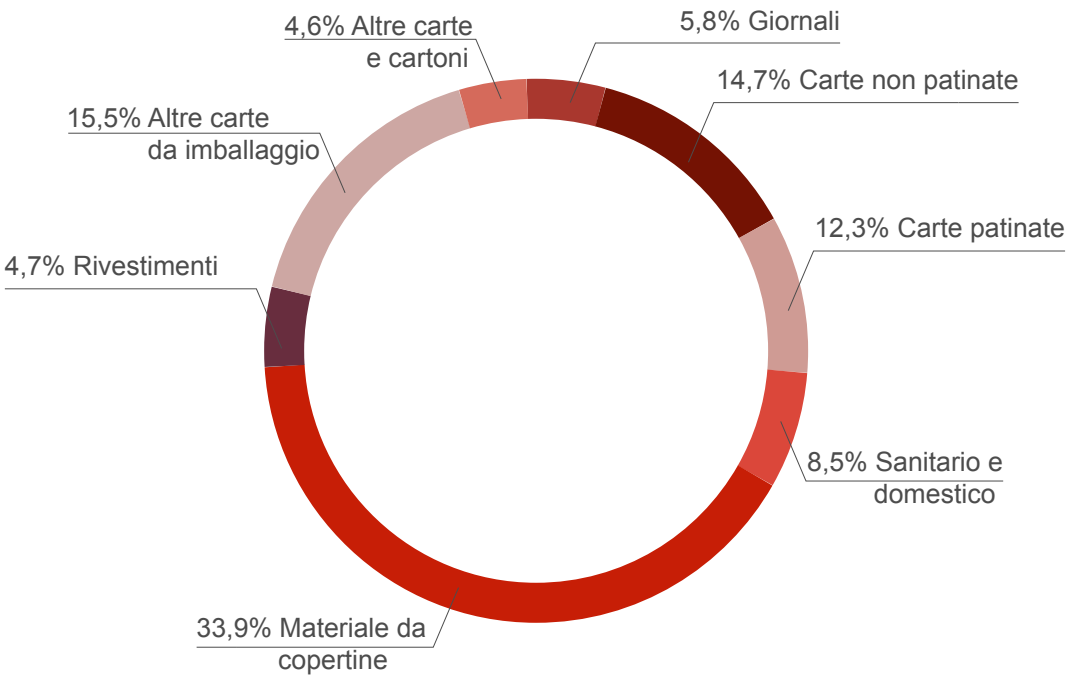


28,29: Preliminary Statistics 2019, CEPI

Nel 2019 la produzione di carta e cartone ha registrato una tendenza al ribasso, in contrasto con il dinamismo della produzione di pasta di cellulosa sul mercato[30].

La produzione di carta e cartone dei paesi membri di Cepi è diminuita del 3,0% nel 2019, rispetto all'anno precedente, secondo i dati preliminari. La produzione totale nel 2019 ha raggiunto 89,5 milioni di tonnellate, per la prima volta dal 2009, al di sotto dei 90 milioni di tonnellate. Il 2019 ha visto l'entrata in funzione di nuove capacità produttive e l'ammodernamento di quelle esistenti, ma le chiusure e i minori ritmi operativi di produzione hanno trascinato verso il basso la produzione di carta e cartone.
Questa tendenza al ribasso è stata osservata in molte altre parti del mondo. Cina, Stati Uniti, Giappone, Corea e Canada hanno registrato un calo della produzione tra il 2% e il 4%, in contrasto con la crescita dei paesi emergenti - India, Indonesia, Brasile e Russia. Di conseguenza, la produzione globale di carta e cartone è diminuita di circa il 2,0% nel 2019, secondo le prime stime.

Produzione di carta e cartone, per tipo, nei paesi del Cepi nel 2019[31]:



Si stima che la produzione dei vari tipi di imballaggio è rimasta invariata rispetto al 2018, nonostante la tendenza in atto verso la leggerezza e l'efficienza delle risorse e alcuni cambiamenti dei tipi osservati - principalmente dalle qualità grafiche a quelle di imballaggio. All'interno della gamma dei prodotti di imballaggio, i materiali per casse - utilizzati principalmente per l'imballaggio per il trasporto e scatole in cartone ondulato - sono l'unico tipo ad aver registrato un aumento (+1,4%). La produzione di cartone e di altri tipi di cartone da imballaggio - come i piccoli imballaggi per merci o le copertine di libri - è diminuita dell'1,3%. La produzione delle qualità di imballaggio - utilizzate per la produzione di sacchetti di carta - ha registrato un calo di circa l'1,7%.
La produzione ne risente in quanto misurata in tonnellate. La quota delle qualità di imballaggio rappresenta il 54,1% (52,5% nel 2018) della produzione totale di carta e cartone, mentre le qualità grafiche rappresentano il 32,8% (34,9% nel 2018).
La produzione dei produttori di carta per uso sanitario e domestico è aumentata di circa l'1,0% rispetto al 2018 e ha rappresentato l'8,5% della produzione totale. La produzione di tutte le altre qualità di carta e cartone - principalmente per usi industriali e speciali - è diminuita del 3,6%, con una quota del 4,6% della produzione totale di carta e cartone.[32]

30,31,32: Preliminary Statistics 2019, CEPI

In Italia

In Italia vengono annualmente utilizzati 9 milioni di tonnellate di materiale cellulosico: il 30% del totale dei rifiuti nazionali è rappresentato da carta e cartone.
Dei rifiuti prodotti:
- il 64% viene riciclato
- il 14% viene bruciato per produrre energia
- il 22% serve per altri usi (caminetti) o finisce in discarica

Dal punto di vista economico, il riciclaggio è meno oneroso che l'incenerimento. Rilevante dire però che la carta riciclata non produce un pari peso di carta "nuova", in quanto per fare una tonnellata di carta nuova è necessaria anche una certa percentuale di cellulosa fresca, proveniente da alberi, e questo procedimento ha costi economici, energetici e di inquinamento.
Tuttavia:
- il costo della materia prima riciclata è notevolmente più basso di quello della pasta di legno e la produzione è meno inquinante;
- il riciclaggio riduce la quantità di rifiuti da trattare, i relativi costi di stoccaggio.

Tutti i materiali a base di cellulosa, terminato il loro ciclo di vita, possono essere reimpiegati. La carta una volta recuperata può essere reimpiegata come *materia prima secondaria* (MPS) per la produzione di nuova carta.

L'Italia del riciclo, 2019 - Carta e cartone[33]

Negli anni tra il 2009 e il 2018 in Italia si conta un aumento del 21%, ovvero 690 kt del riciclaggio degli imballaggi, passando quindi da 3.291 kt a 3.981 kt. Un altro dato da mettere in luce riguarda gli imballaggi immessi al consumo, dove si conta un aumento dell'1%, passando quindi dall'80% all'81%, in linea con l'obiettivo europeo che prevede il 75% di riciclaggio degli imballaggi per il 2025 e dell'85% entro il 2030.
"*A livello europeo il tasso di riciclo degli imballaggi in carta e cartone rispetto all'immesso al consumo è passato dall'83% del 2009 all'85% del 2017 (ultimo anno disponibile): l'Italia, rispetto alle principali economie europee, si attesta al terzo posto, dopo Francia (98%) e Germania (88%).*
In questi dieci anni il riciclo della carta e del cartone è cresciuto lentamente perché già dieci anni fa aveva una performance alta: il tasso di riciclo ha infatti già superato l'obiettivo previsto al 2025. Si registra un freno all'ulteriore crescita del settore a causa degli alti costi energetici che le cartiere devono sostenere e al problema irrisolto del recupero degli scarti del riciclo." - *L'Italia del Riciclo, 2019 - Elaborazione Ecocerved*

Ecocerved, società consortile del sistema italiano delle Camere di Commercio che opera nel campo dei sistemi informativi per l'ambiente, grazie ai dati MUD (Modello unico di dichiarazione ambientale), svolge un approfondimento riguardante la produzione di MPS per alcuni flussi di rifiuti. Il MUD è richiesto a quegli impianti che recuperano rifiuti che, dal 2014, sono infatti tenuti a dichiarare l'entità dell'*end of waste* e/o materiali secondari, ai sensi dell'art. 184-ter del D.Lgs.152/2006.

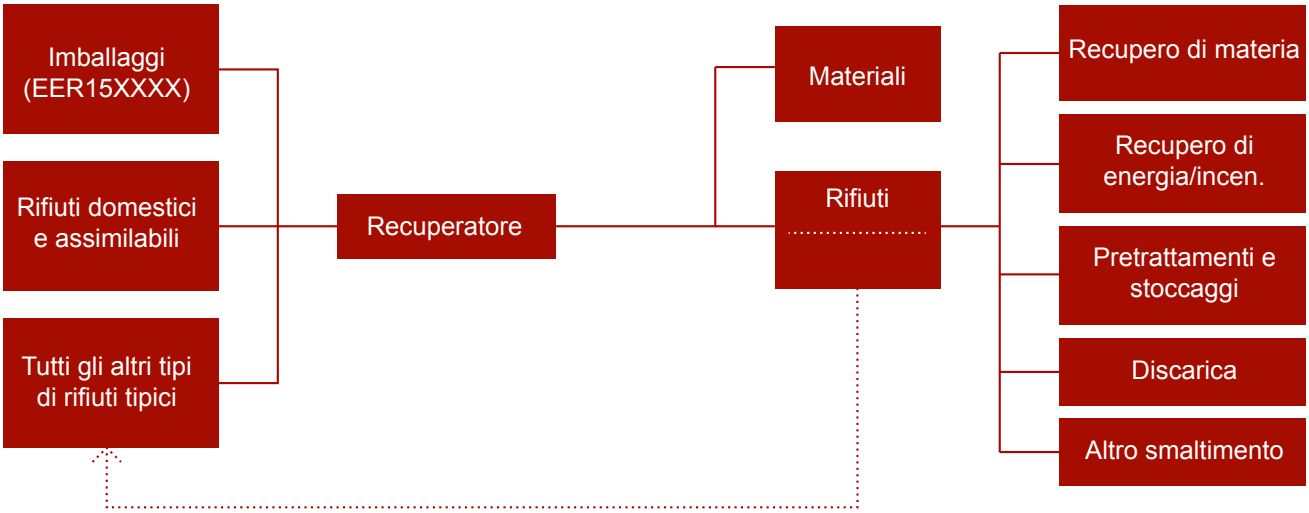
Il 2020, secondo Ecocerved, sarà l'anno dove protagonista sarà l'*economia circolare*, un sistema che dovrebbe ispirare tutti i sistemi produttivi dei Paesi dell'Unione Europea. Il punto cardine della circolarità è il riciclo dei rifiuti in quanto, proprio grazie alle materie di scarto avviene la produzione di materie prime seconde, assieme alle materie prime vergini. La simbiosi industriale permette inoltre di recuperare residui e scarti di lavorazione: quello che un'impresa valuta come sottoprodotto/rifiuto, può essere invece un input per un'altra impresa.
L'approfondimento svolto mira quindi a fare una stima delle quantità di rifiuti convertiti in MPS[34], in Italia, sia per quantificare la capacità produttiva delle aziende, ma anche di valutare l'effettivo contributo all'economia circolare.

33: L'Italia del Riciclo, 2019 - Elaborazione Ecocerved
34: una sostanza qualificata come rifiuto che, a seguito di determinate operazioni di recupero, potrà cessare di essere considerata tale diventando così una materia prima secondaria. Direttiva 98/2008/CE.

La quantità di MPS prodotta rispetto all'input dei rifiuti si aggira attorno al 67% e il seguente rapporto evidenzia la resa media di processo. Il materiale che ha la maggior resa è la carta con un 90%, vetro e legno hanno una rispettiva resa del 75% e 80%, e segue poi la gomma con il 65%. (fonte: Ecocerved)

I rifiuti che competono al processo di recupero dei materiali (carta, vetro, plastica e legno) si dividono in tre tipologie: imballaggi (EER 15XXXX), rifiuti domestici e assimilabili (EER 20XXXX), tutti gli altri rifiuti tipici (speciali).

Schema generale di produzione di un materiale secondario[35]



Produzione di MPS e variazione rispetto al 2014, per tipo di materiale secondario prodotto (t e %) - 2017 e 2017/2014[36]

Materiale secondario	Produzione MPS	Variazione % 2017/2014
Carta	5.103.689	+10,0%
Vetro	1.982.656	+10,3%
Plastica	895.849	+9,7%
Legno	2.456.017	+11,1%
Gomma	78.914	
Organico	1.565.105	+43,2%
Totale	**12.082.230**	

Quantità di rifiuti in ingresso ai recuperatori e distribuzione per provenienza, in relazione al materiale secondario prodotto (t e %) - 2017[37]

Materiale secondario	Rifiuti in ingresso ai recuperatori che producono MPS (t)	Imballaggi (%)	Domestici e assimilabili (%)	Tutti gli altri tipici (%)
Carta	5.517.601	55	39	6
Vetro	2.525.694	63	4	33
Plastica	1.125.918	37	<1	63
Legno	3.267.063	13	13	74
Gomma	123.843	-	-	100
Organico	5.381.931	-	84	16
Totale	**17.942.050**			

Quando si parla di materia prima secondaria è importante inquadrare la resa, ovvero il rapporto tra la quantità di MPS in output rispetto alla quantità di rifiuti in input (tabella 1.7.1), che varia in base al raggruppamento merceologico considerato.

Materiale secondario	Resa (%)
Carta	92
Vetro	78
Plastica	80
Legno	75
Gomma	64
Organico	29
Totale	**67**

Tabella 1.7.1 Resa MPS

fonte: L'Italia del Riciclo, 2019 - Elaborazione Ecocerved
35,36,37: Elaborazione Ecocerved su dati MUD 2018

Il materiale con la maggior resa è la carta con un valore superiore al 90%. Questo valore indica che, sottoponendo a trattamenti volti la recupero di 100 kg di materiale di scarto (tipici e misti), si producono 92 kg di MPS di carta.

Dal trattamento dei rifiuti, volti a creare MPS, si generano flussi di scarti di output, divisibili in due categorie, che vengono dati in gestione:
- per il reimpiego, ovvero per generare le MPS (nel 2017 850 kt)
- per altre attività non finalizzate a produzione di MPS (nel 2017 1,8 Mt per un totale di 2,6 Mt).

In questo passaggio si evidenzia la circolarità del settore del riciclo dove infatti il rifiuto, pur rimanendo tale, costituisce un output per alcune imprese, mentre diventa input per altre. Il *tasso di circolarità* è quantificato un 5% (850 kt su un totale di 1,8 Mt).

Quantità di rifiuti in output in relazione al materiale secondario prodotto (t) – 2017[38]

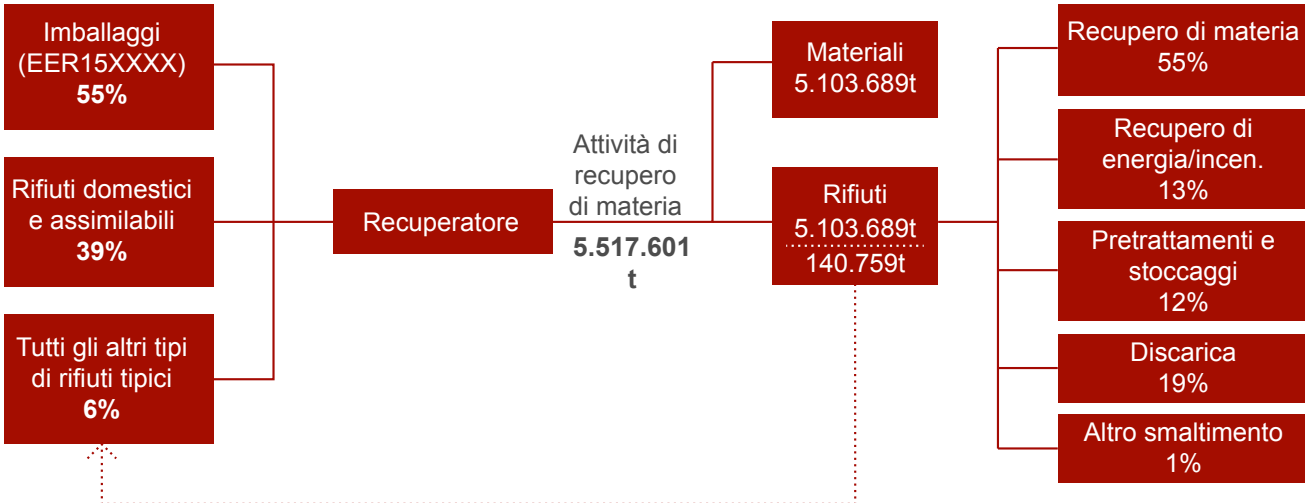
Materiale secondario	Rifiuti reimpiegati per produrre MPS (t)	Rifiuti conferiti ad altre attività (t)	Totale rifiuti in output (t)
Carta	140.759	382.247	523.006
Vetro	204.561	177.324	381.885
Plastica	76.806	237.622	314.428
Legno	276.376	116.570	392.946
Gomma	2.252	79.757	82.009
Organico	150.424	770.129	920.553
Totale	**851.178**	**1.763.649**	**2.614.827**

I rifiuti che invece non interessano la produzione di MPS, per la maggior parte, subiscono comunque altre operazioni di recupero. Il materiale che ha la maggior percentuale di avvio ad attività di recupero è la carta, con il 55%. I materiali che invece sono destinati all'attivitò di recupero di energia o incenerimento, sono il legno e la gomma, con una percentuale del 40%.

Destinazione di gestione dei rifiuti conferiti in relazione al materiale secondario prodotto (%) - 2017[39]

Materiale secondario	Recupero di materia (%)	Recupero di energia e incenerimento (%)	Solo pretrattamenti e stoccaggi (%)	Discarica (%)	Altro smaltimento (%)
Carta	55	13	12	19	1
Vetro	43	1	12	43	<1
Plastica	40	9	41	7	2
Legno	31	39	30	1	<1
Gomma	43	44	9	3	<1
Organico	36	6	8	23	27

Schema generale di produzione del materiale secondario carta (t e %) - 2017[40]

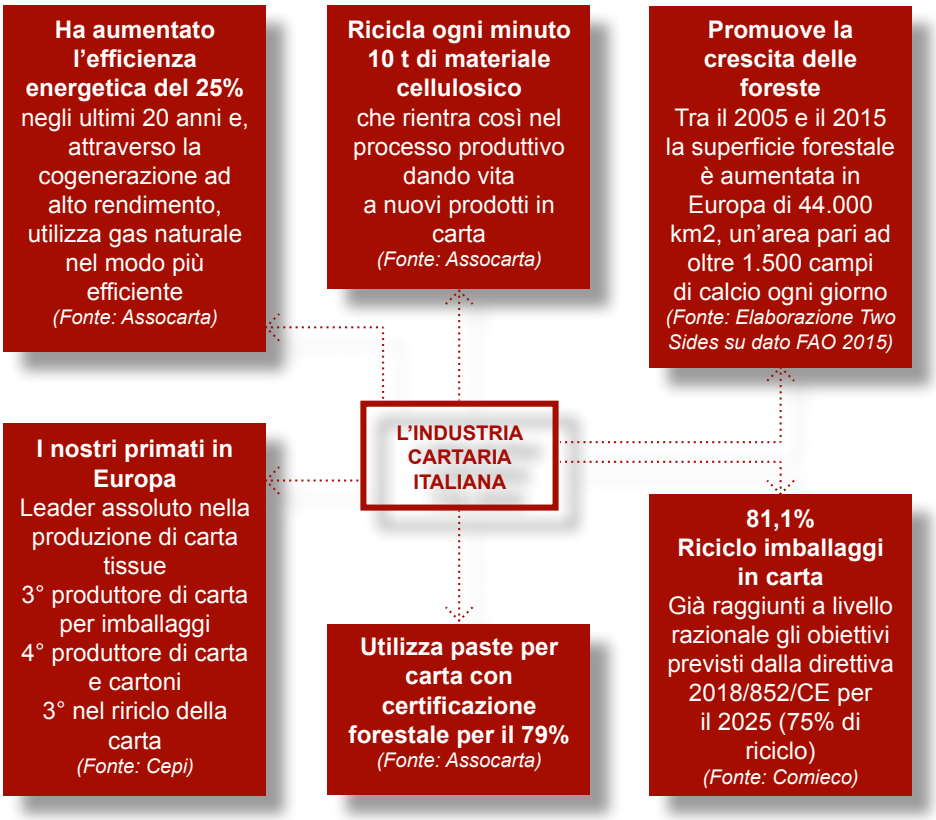


38: L'Italia del Riciclo, 2019 - Elaborazione Ecocerved
39,40: Elaborazione Ecocerved su dati MUD 2018

Dal rapporto di Ecocerved emerge che, anche se già da 10 anni sono in adozione le direttive comunitarie, nel sistema cartario italiano l'ampliamento della capacità produttiva del riciclo non ha del tutto raggiunto l'obiettivo di uno sviluppo mirato all' economia circolare. Uno dei fattori che ha contribuito al non completo raggiungimento di questo sistema è sicuramente da ricondursi agli alti costi energetici.

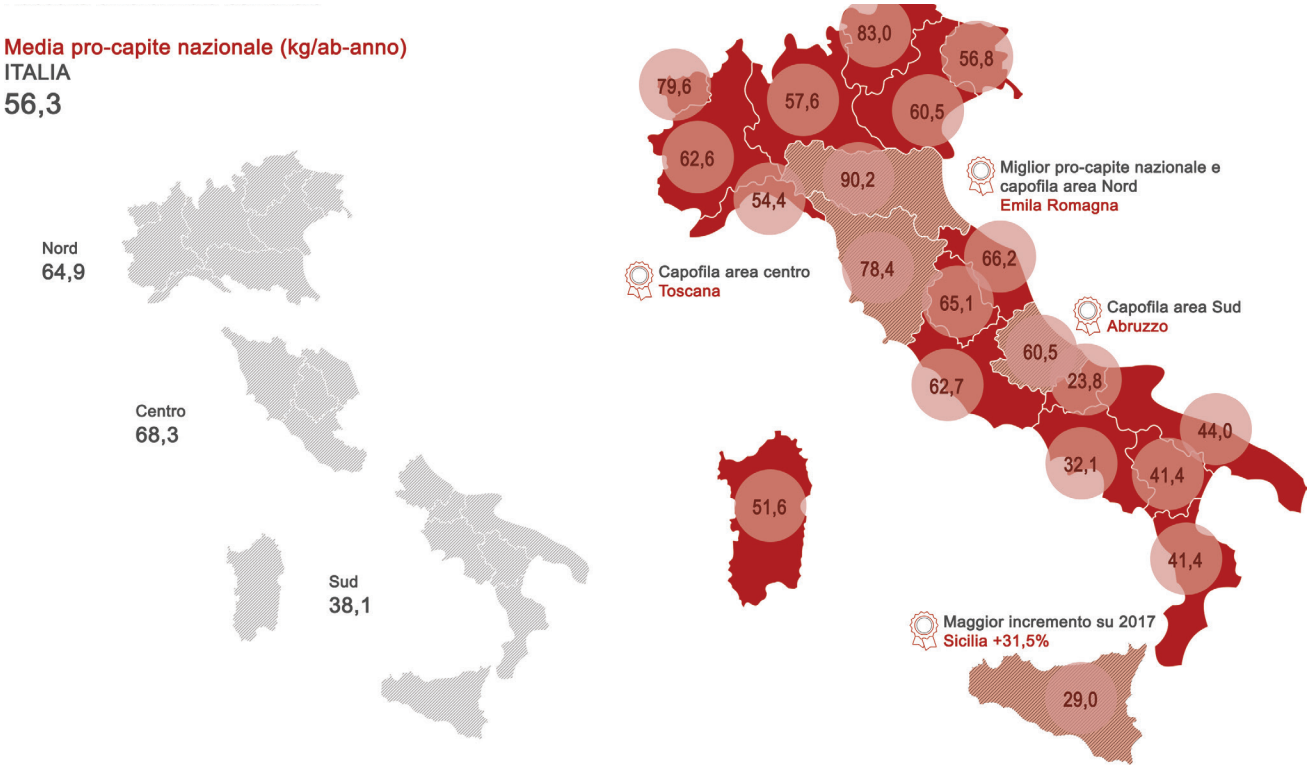
"Nel 2007 la discarica rappresentava il 21%, valore che, nel 2017, rimane quasi inalterato, aumentando di un punto percentuale (22%).
Diminuiscono i ripristini ambientali (dal 26% circa all'8%), mentre crollano anche le destinazioni verso altre industrie (cemento e laterizi dal 14 al 5%), e cresce la categoria delle cartiere (5% delle destinazioni). Segno che le cartiere non solo chiudono il ciclo del riciclo della carta, ma in qualche modo stanno cercando di offrire soluzioni al riciclo dei rifiuti del processo cartario." (fonte: 2019, L'Italia del riciclo - Ecocerved)

Industria cartaria italiana - alcuni fatti:



fonte: Elaborazione Ecocerved

Raccolta differenziata e riciclo di carta e cartone, 2018[41]:



Focus città metropolitane:
Torino, Milano, Firenze, Bari e Napoli rappresentano nell'insieme poco meno dell'11% degli abitanti e quasi il 13% dei rifiuti urbani prodotti in Italia.
Nel 2018:

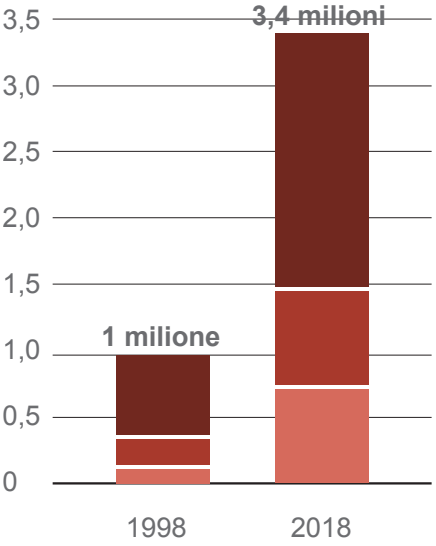
+ 4,0%
Raccolta differenziata

+ 2,2%
Produzione rifiuti urbani

+ 0,6%
Rifiuti indifferenziati

Trend storico:
nel loro insieme il tasso medio di raccolta differenziata complessiva è passato dal 18% del 2004 al 46,6% del 2018.

Raccolta differenziata comunale di carta e cartone. Serie storica 1998/2018[42]



Nord
1,8 milioni

Centro
800 mila

Sud
800 mila

Δ 2017/2018	Δ 2017/2018	Δ 1998/2018
+127 mila t	**3,9%**	**239%**

52 milioni t
di carta e cartone sottratti alle discariche dal 1998

600 mila t
di carta ancora intercettabili nella RD

41,42: 24° Rapporto, Raccolta, riciclo e recupero di carta e cartone. Luglio 2018

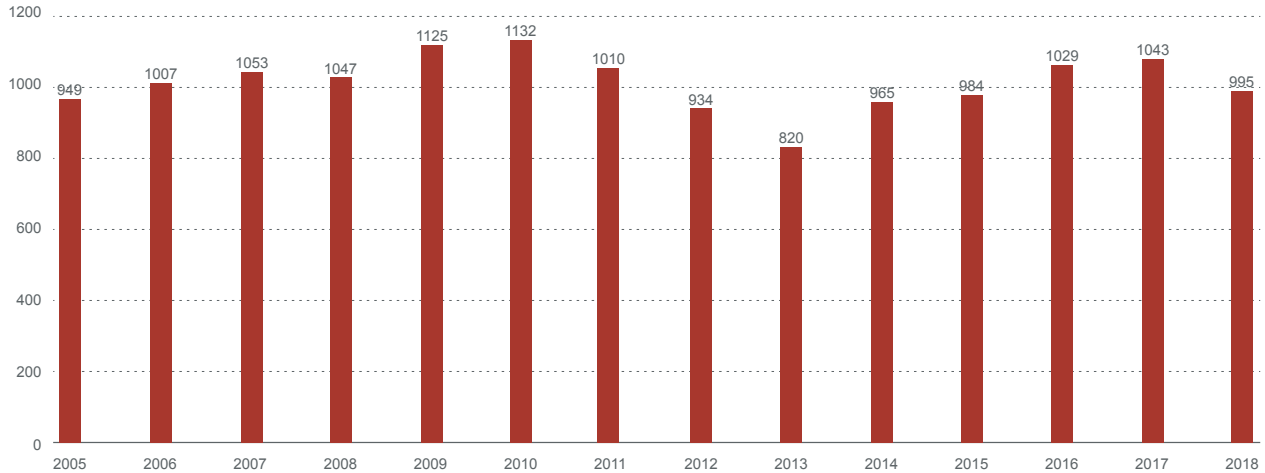
Comieco

Comieco, il consorzio Nazionale Recupero e Riciclo degli Imballaggi a base cellulosica, nasce nel 1985 per promuovere "l'imballaggio ecologico" per iniziativa di un gruppo di aziende del settore cartario.
L'obiettivo del consorzio è quello di riciclo dei rifiuti di imballaggi cellulosici previsto dalla direttiva 2004/12/CE, attraverso una politica di prevenzione e sviluppo della raccolta differenziata.
Comieco garantisce il riciclo del materiale cartaceo al 60% grazie alle cartiere convenzionate e per la quota restante tramite l'aggiudicazione di materiale in asta sulla base degli impianti assunti nel 2011 con l'AGCM.
Nel 2018 30 aziende hanno gestito circa 587 mila tonnellate di carta e cartone da macero. Il 98% di questo materiale è comunque stato avviato a riciclo presso impianti italiani.

"Nel 2018 oltre l'81% degli imballaggi cellulosici sono stati riciclati. Un risultato già oltre l'obiettivo previsto dalla UE per il 2025 (75%) e in linea con quello fissato al 2030 (85%). Se si considera il risparmio di risorse naturali e le emissioni di CO_2 evitate grazie al riciclo, la filiera cartaria si confrma un settore strategico per le politiche nazionali del Green New Deal."* - Amelio Cecchini, Presidente del Consorzio COMIECO

Copertura accordo quadro

Imballaggi in carta avviati a recupero da Comieco dal 2005 al 2018 (kt)

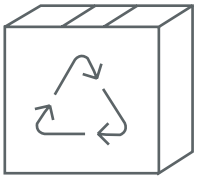


fonte: La gestione nazionale dei rifiuti di imballaggio

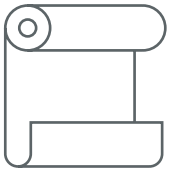
L'economia circolare della filiera cartaria[43]

Si conta, che dal 1998 ad oggi, la raccolta differenziata comunale di carta e cartone abbia subito un drastico aumento, quasi di tre volte.
Nel 2016 il Consorzio Comieco si è occupato di circa il 47% della raccolta comunale, con una duplice funzione:
- sussidiarietà al mercato al centro-nord dove il gestito è ca. il 37% della raccolta;
- sostegno allo sviluppo e garanzia di riciclo nell'area sud con una copertura del 75%.

Viene considerato un punto di forza la modalità di gestione per materiali nella filiera: non viene considerato solo l'imballaggio ma anche le frazioni merceologiche similari (carte grafiche, giornali, riviste, ecc.).
Carta e cartone sono il pilastro portante dell'economia circolare sul territorio italiano: infatti l'Italia è già in linea con i nuovi obiettivi previsti dal pacchetto *circular economy* per gli imballaggi. Il riciclo degli imballaggi cellulosici supera già oggi il target fissato al 2025 dalle nuove direttive europee.
Il tasso di circolarità della filiera cartaria nazionale risulta essere molto elevato; infatti il 55% della produzione cartaria proviene da fibre di riciclo grazie alla capacità industriale del paese.
Nel 2017 si è contato che il livello nazionale di utilizzo di macero nei processi produttivi è stato di circa 5 milioni di tonnellate, pari al 55% del fabbisogno complessivo.
Il tasso di circolarità in Italia supera la media europea: il tasso europeo è di 11,4%, il paese con il tasso più elevato è l'Olanda con il 26,7%, e subito dopo l'Italia con un tasso del 17,8%.

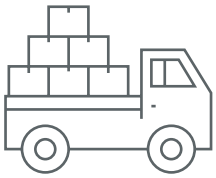


81,1%
Riciclo imballaggi cellulosici



+150 mila t
Consumo interno di macero

88,8%
Recupero imballaggi cellulosici



1,5 mln di t
Export interno

4,9 mln di t
Imballaggi cellulosici immessi al consumo

Prevenzione e gestione degli scarti:
Un tema sempre molto caldo riguarda la gestione degli scarti sul territorio italiano. Infatti molti prodotti di scarto, ricchi di energia e biomassa, non trovano impianti per il loro recupero e finiscono in discarica (per circa il 22% contro una media europea del 4%).

Prevenzione a monte:
- verificare la riciclabilità degli imballaggi attraverso una serie di criteri ambientali di valutazione;
- promuovere e incentivare imballaggi monomateriali e sempre più riciclabili soprattutto nell'*e-commerce*;
- dove non è possibile il riciclo promuovere il compostaggio.

Corretta gestione a valle:
- Incisiva politica di controlli della qualità a valle delle operazioni di recupero per minimizzare lo scarto in fase di riciclo.

43: 24° Rapporto Raccolta, riciclo e recupero di carta e cartone, 2018 - Luglio 2019, Comieco

Benefici diretti e indiretti del riciclo di imballaggi cellulosici gestiti - Dati 2018[44]:

Indicatori interni ai confini CONAI (gestito Comieco)				
Indicatore			**2018**	**totale 2005-2018**
Quantità imballaggi conferiti		kt	995	14.187
Frazioni a riciclo		kt	995	14.187
Frazioni a recupero energetico		kt	0	0
Frazioni ad altre forme di smaltimento		kt	0	0
Benefici ambientali			**2018**	**totale 2005-2018**
Indicatore				
Materia prima secondaria da riciclo		kt	995	14.187
Energia elettrica prodotta da recupero energetico		TJ	995	14.187
Energia termica prodotta da recupero energetico		TJ	0	0
Risparmio energia primaria da riciclo		TJ	0	0
Evitata produzione di CO_2 da riciclo		kt CO_2 eq	12.564	
Evitata produzione di CO_2 da recupero energetico		kt CO_2 eq	904	
Valore economico			0	
Indicatore			**2018**	**totale 2005-2018**
Benefici diretti	Valore economico della materia prima prodotta da riciclo		30	794
	Valore economico dell'energia prodotta da recupero energetico		0	0
Benefici indiretti	Valore economico della CO_2 evitata		27	385
Benefici complessivi			**57**	**1.179**

44: 24° Rapporto Raccolta, riciclo e recupero di carta e cartone, 2018 - Luglio 2019, Comieco

Riciclo e recupero degli imballaggi cellulosici in Italia nel 2018[45]:

4,9 mln di t
Imballaggi cellulosici immessi al consumo

10 t
Di macero riciclate ogni minuto

81,1%
Tasso di riciclo imballaggi cellulosici

88,8%
Tasso di recupero imballaggi cellulosici

88,8%
Produzione cartaria Δ2017/2018

-0,1%
Export netto Δ2017/2018

Nel 2018 sono state differenziate circa 3,4 milioni di tonnellate di materiale cellulosico, con intercettazione di nuova raccolta differenziata pari al 127mila tonnellate. Di tutta la carta e cartone provenienti da racconta differenziata dai Comuni italiani, il 42,5% viene gestito da Comieco ed equivale a 1,44 milioni di tonnellate. L'impegno economico per il servizio di raccolta differenziata in convenzione, verso i comuni e gestori, ha superato 97,5 milioni di euro.

La filiera di carta, cartone e cartoncino diventa uno dei pilastri dell'economia circolare, in quanto la produzione di materiale cellulosico raggiunge numeri consistenti, per rispondere alle crescenti esigenze del mercato (es. *e-commerce* e *food delivery*).

Benefici ambientali e socio-economici della gestione di Comieco nel 2018[46]:

45: La gestione nazionale dei rifiuti di imballaggio
46: 24° Rapporto Raccolta, riciclo e recupero di carta e cartone, 2018 - Luglio 2019, Comieco

In Piemonte

La raccolta differenziata di carta e cartone in Piemonte:

Regione	RD carta 2017	RD carta 2018	Δ 2017/2018	Δ 2017/2018
	t	t	t	%
Piemonte	265.959	277.530	11.571	4,4

e conta una raccolta pro-capite media di 62,6 kg/ab anno.

Dati sulla raccolta differenziata per provincia, 2016:

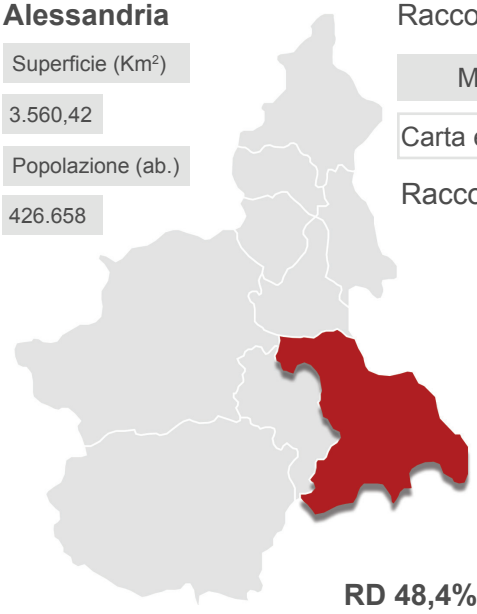
Alessandria

Superficie (Km²)

3.560,42

Popolazione (ab.)

426.658

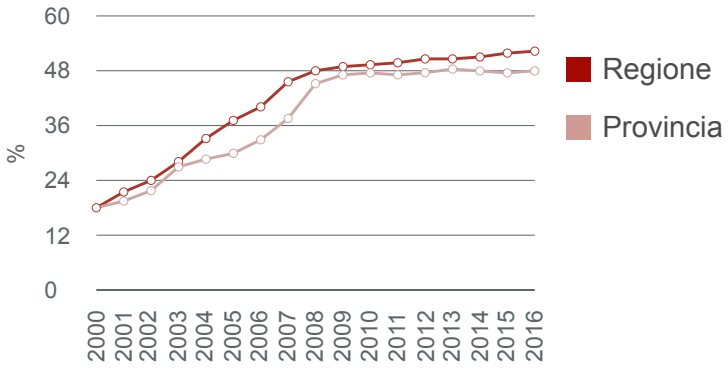


RD 48,4%

Raccolta differenziata annuale:

Materiale	Totale t/a	RD %	Quantità pro capite totale (kg/ab)
Carta e cartone	26.284	11,6	61,6

Raccolta differenziata rispetto alla media regionale:



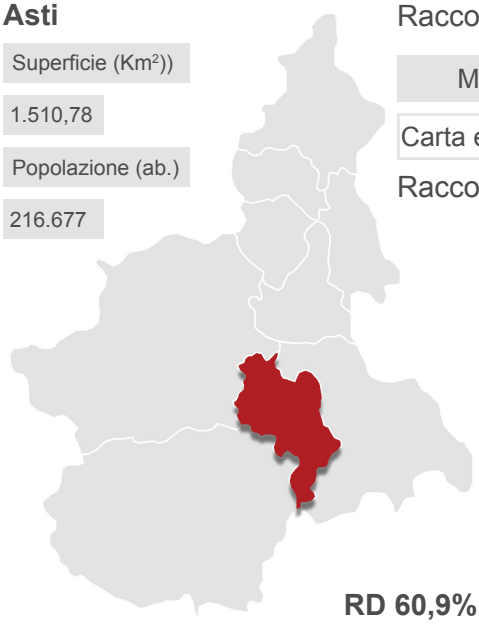
Asti

Superficie (Km²))

1.510,78

Popolazione (ab.)

216.677

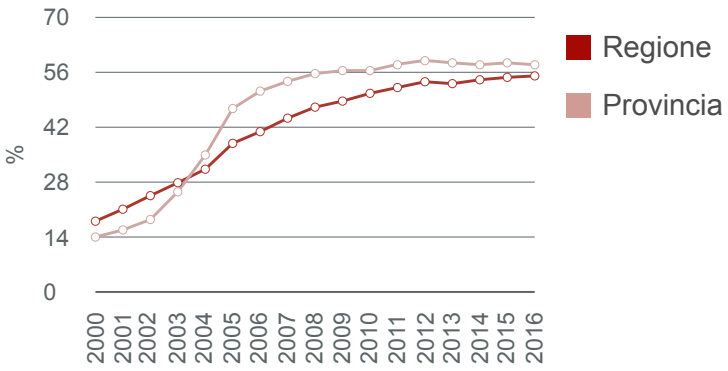


RD 60,9%

Raccolta differenziata annuale:

Materiale	Totale t/a	RD %	Quantità pro capite totale (kg/ab)
Carta e cartone	11.419	12,9	52,7

Raccolta differenziata rispetto alla media regionale:



fonte: http://www.sistemapiemonte.it/webruc/raccoltaRifiutiAction.do

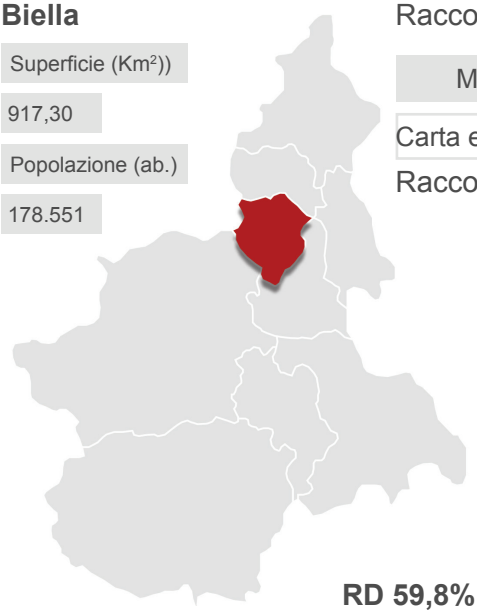
Biella

Superficie (Km²))

917,30

Popolazione (ab.)

178.551

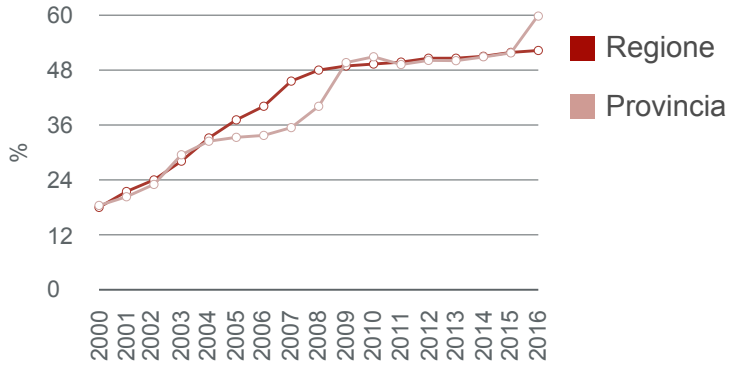


RD 59,8%

Raccolta differenziata annuale:

Materiale	Totale t/a	RD %	Quantità pro capite totale (kg/ab)
Carta e cartone	14.603	17,9	81,8

Raccolta differenziata rispetto alla media regionale:



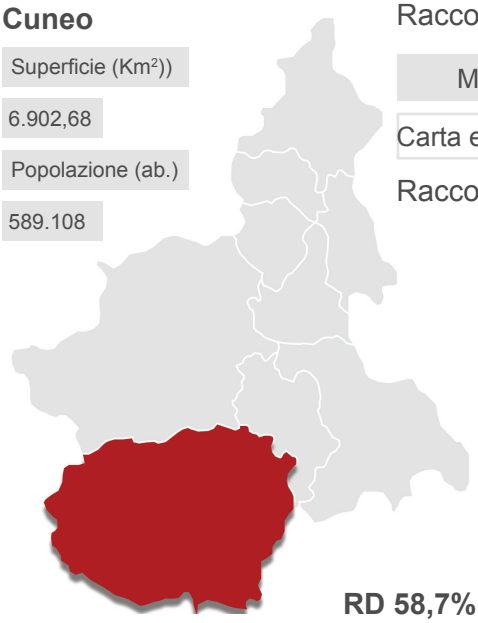
Cuneo

Superficie (Km²))

6.902,68

Popolazione (ab.)

589.108

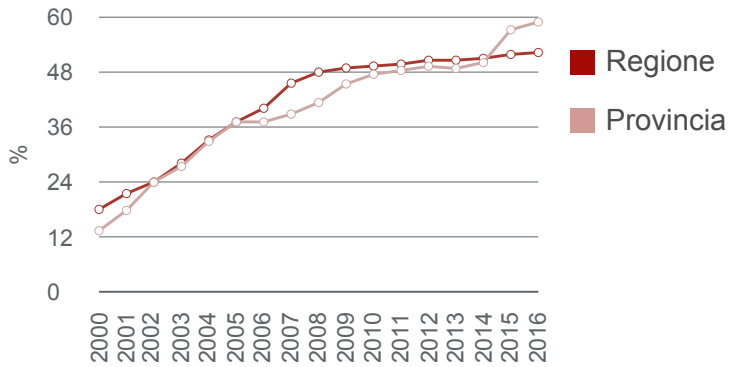


RD 58,7%

Raccolta differenziata annuale:

Materiale	Totale t/a	RD %	Quantità pro capite totale (kg/ab)
Carta e cartone	39.552	15,2	67,1

Raccolta differenziata rispetto alla media regionale:



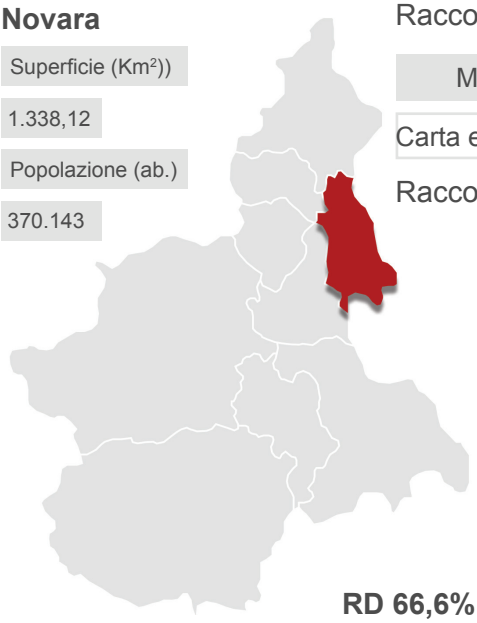
Novara

Superficie (Km²))

1.338,12

Popolazione (ab.)

370.143

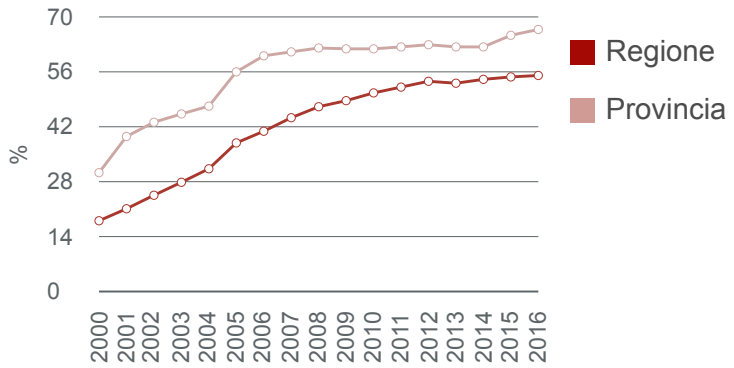


RD 66,6%

Raccolta differenziata annuale:

Materiale	Totale t/a	RD %	Quantità pro capite totale (kg/ab)
Carta e cartone	21.632	12,8	58,4

Raccolta differenziata rispetto alla media regionale:



fonte: http://www.sistemapiemonte.it/webruc/raccoltaRifiutiAction.do

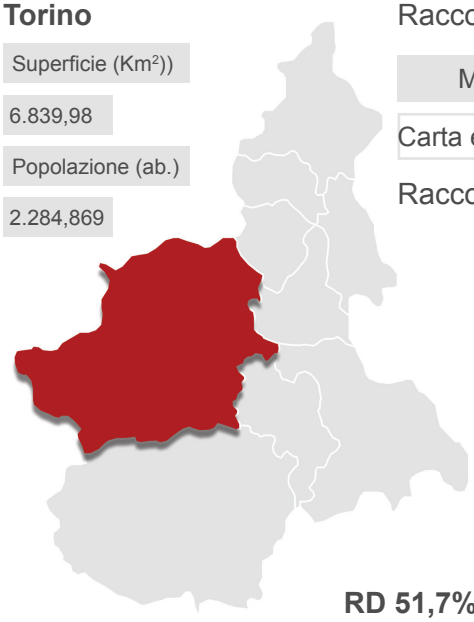
Torino

Superficie (Km²))

6.839,98

Popolazione (ab.)

2.284,869

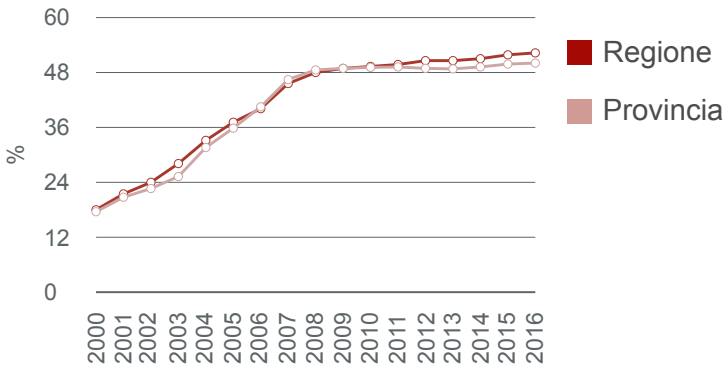


RD 51,7%

Raccolta differenziata annuale:

Materiale	Totale t/a	RD %	Quantità pro capite totale (kg/ab)
Carta e cartone	137.715	13,4	60,5

Raccolta differenziata rispetto alla media regionale:



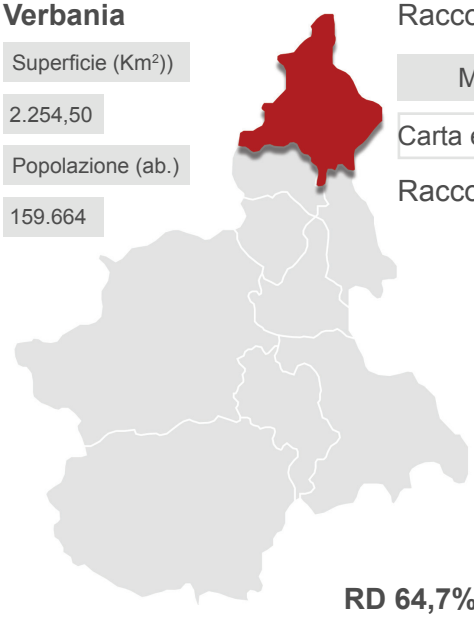
Verbania

Superficie (Km²))

2.254,50

Popolazione (ab.)

159.664

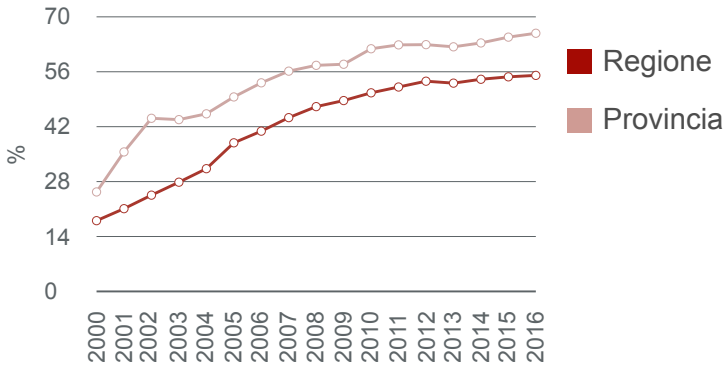


RD 64,7%

Raccolta differenziata annuale:

Materiale	Totale t/a	RD %	Quantità pro capite totale (kg/ab)
Carta e cartone	11.292	13,7	70,7

Raccolta differenziata rispetto alla media regionale:



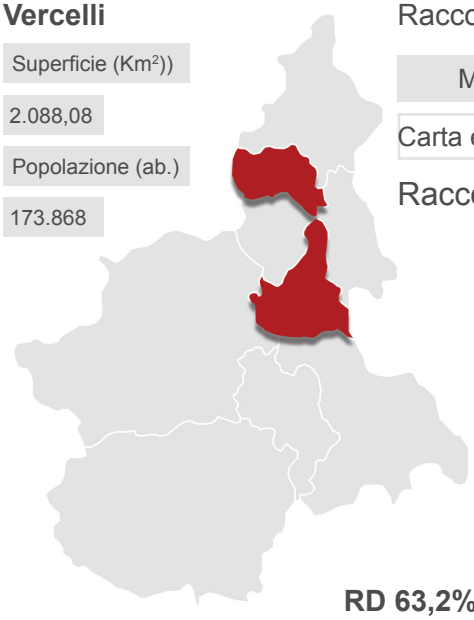
Vercelli

Superficie (Km²))

2.088,08

Popolazione (ab.)

173.868

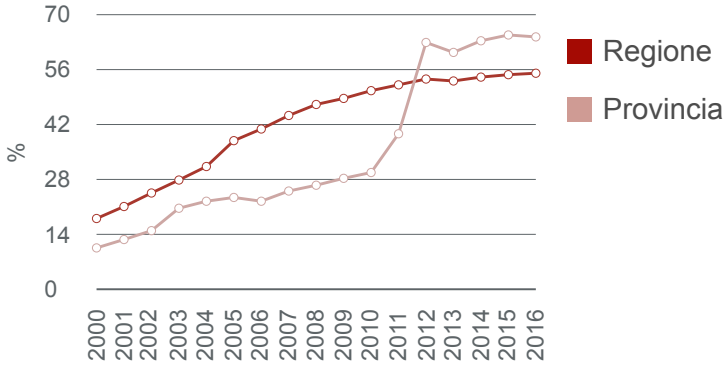


RD 63,2%

Raccolta differenziata annuale:

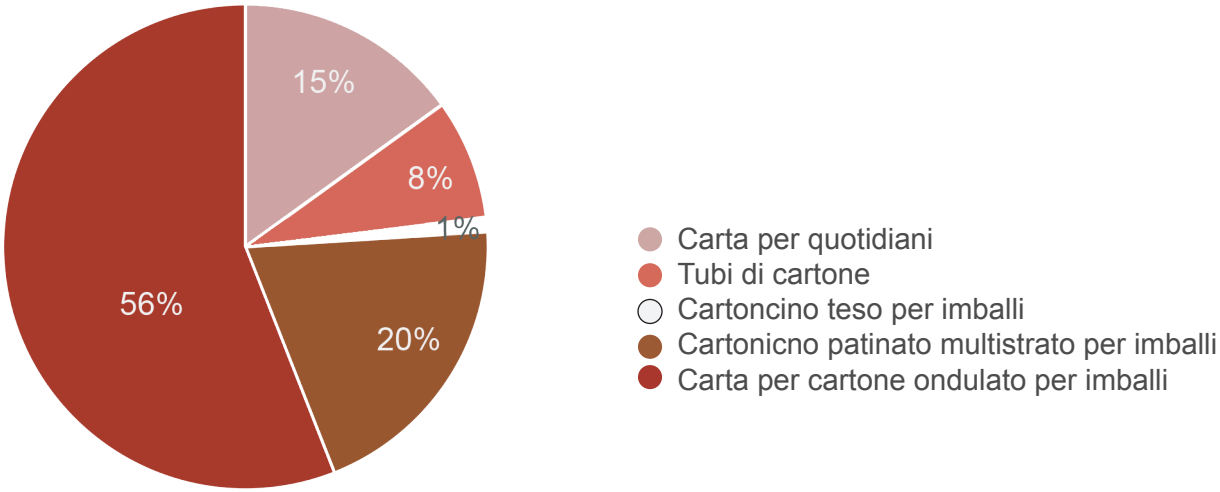
Materiale	Totale t/a	RD %	Quantità pro capite totale (kg/ab)
Carta e cartone	10.681	13,7	61,4

Raccolta differenziata rispetto alla media regionale:



fonte: http://www.sistemapiemonte.it/webruc/raccoltaRifiutiAction.do

Materiali prodotti con carta/cartone proveniente da raccolta differenziata in Piemonte[47]:



In Torino

Servizio Cartesio - Raccolta carta e cartone

Il servizio di raccolta differenziata di carta e cartone viene effettuato nella città metropolitana di Torino per conto di Amiat S.p.a (Azienda Multiservizi Igiene Ambientale Torino).

"Il servizio è svolto con un sistema porta a porta ed è rivolto, senza costi aggiuntivi, a tutti coloro che pagano la tassa raccolta rifiuti: privati, uffici, ditte, grandi utenze…".

La carta e il cartone raccolti vengono consegnati ai maceri che hanno aderito al consorzio nazionale recupero e riciclo a base cellulosica (Comieco) siti nella Città.

Il Progetto Cartesio nasce nel 1993 su iniziativa congiunta di Legambiente e il Gruppo Abele.
Nel 1995 vince il primo appalto con la città di Torino. Il Progetto contava quell'anno 50 persone e 32 mezzi.
Oggi conta 160 persone con 130 mezzi.

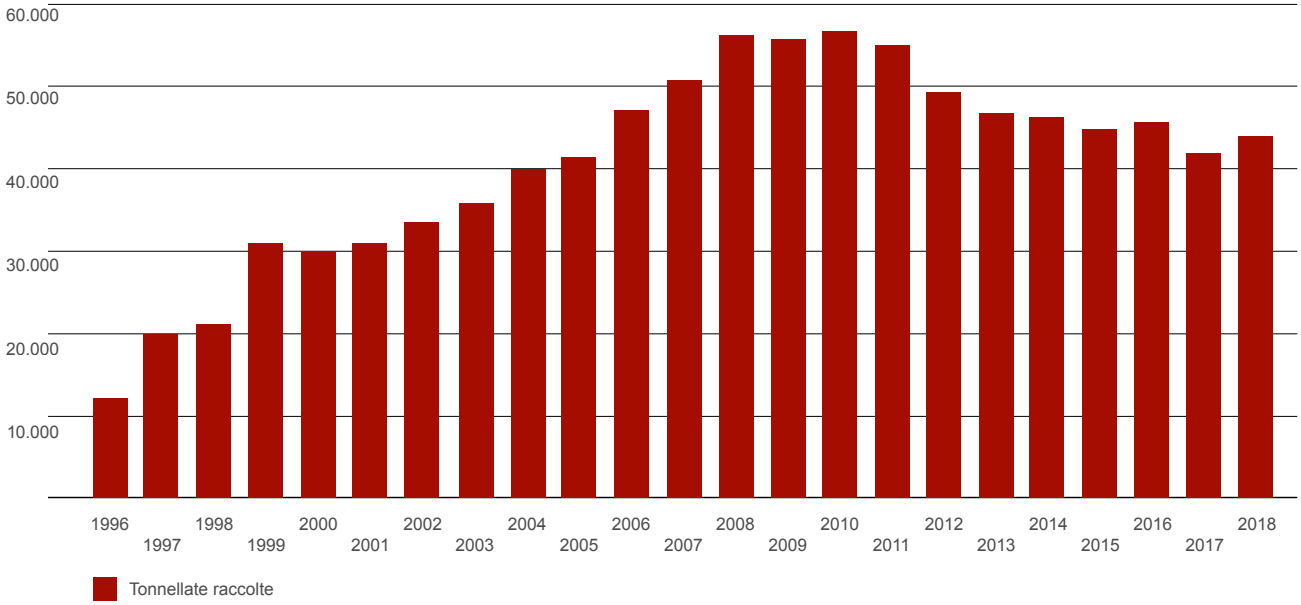
Il servizio Cartesio fornisce:
- raccolta settimanale presso tutte le utenze domestiche distribuite sulle 10 circoscrizioni (oltre 900.000 abitanti serviti "porta a porta")
- passaggi personalizzati in base alle esigenze presso tutte le utenze non domestiche distribuite sulle 10 circoscrizioni (negozi, uffici, ditte, ecc.)
- circa 78.000 utenze servite con una frequenza minima settimanale
- circa 42.000 abitazioni private e condomini
- circa 36.000 utenze commerciali

La carta raccolta viene poi consegnata ai maceri convenzionati della città per poi essere riciclata.

"…con una tonnellata di carta riciclata vengono risparmiati circa 18 alberi, grazie al Servizio Cartesio sono risparmiati ogni anno circa un milione di alberi."

47: http://www.comune.torino.it/ambiente/rifiuti/cosa_rifiuti/carta-e-cartone.shtml

Tonnellate di carta e cartone raccolte dal 1996 al 2018 in Torino[48]:



Analisi dei flussi[49]

"*Il flusso di carta e cartone viene principalmente assorbito da impianti provinciali (circa 94%).*
Il D.M. 05/02/98 Allegato 1, modificato poi dal D.M. 186/2006, disciplina:
- tipologia: rifiuti di carta, cartone e cartoncino, inclusi poliaccoppiati, anche di imballaggi;
- provenienza: attività produttive; raccolta differenziata di rifiuti urbani (RU), altre forme di raccolta in appositi contenitori su superfici private; attività di servizio;
- caratteristiche del rifiuto: rifiuti, costituiti da: cartaccia derivante da raccolta differenziata, rifiuti di carte e cartoni non rispondenti alle specifiche delle norme UNI-EN 643.

Attività di recupero:
- riutilizzo diretto nell'industria cartaria [R3];
- messa in riserva [R13] per la produzione di materia prima secondaria per l'industria cartaria mediante selezione, eliminazione di impurezze e di materiali contaminati, compattamento in conformità alle seguenti specifiche [R3]: impurezze quali metalli, sabbie e materiali da costruzione, materiali sintetici, carta e cartoni collati, vetro, carte prodotte con fibre sintetiche, tessili, legno, pergamena vegetale e pergamino nonché altri materiali estranei, max 1% come somma totale; carta carbone, formaldeide non superiore allo 0,1% in peso; fenolo non superiore allo 0,1% in peso;

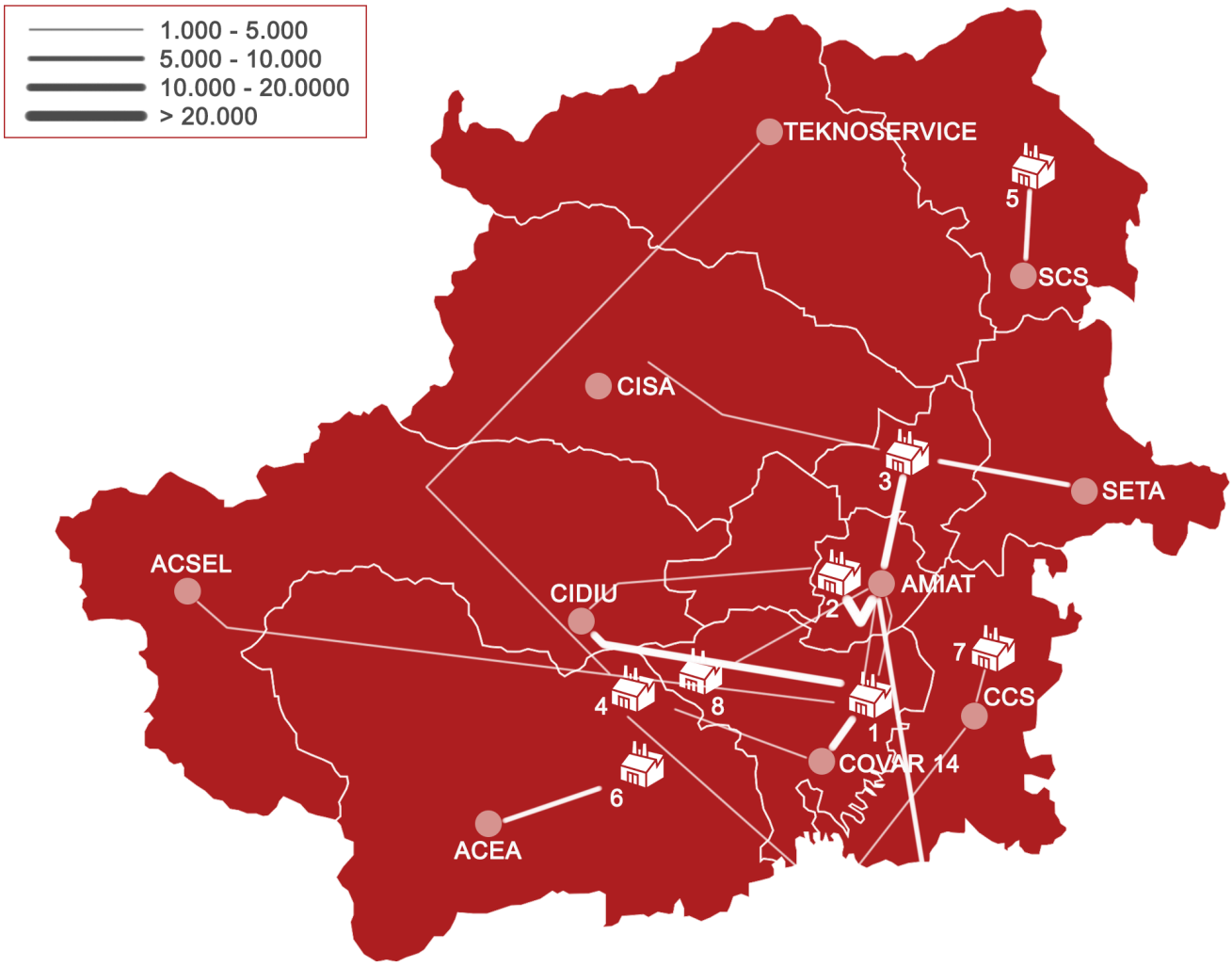
Caratteristiche delle materie prime e/o dei prodotti ottenuti:
- carta, cartone e cartoncino nelle forme usualmente commercializzate;
- materie prime secondarie per l'industria cartaria rispondenti alle specifiche delle norme UNI-EN 643.

Il materiale lavorato in uscita, se possiede quindi le caratteristiche previste dal D.M. 5/2/98 Allegato 1, non viene più considerato rifiuto, ma materia prima secondaria"

Carta e cartone trattati	2010 (t)	2011 (t)	2012 (t)	2013 (t)	2014 (t)	2015 (t)	2016 (t)	2016 (%)
NELLA C.M. TO	143.796	141.358	126.246	122.666	120.789	115.976	114.223	94%
FUORI DALLA C.M.	900	818	3.600	2.997	4.709	4.165	7.621	6%
TOTALE	144.696	142.176	129.846	125.663	125.498	120.141	121.843	100%

48: https://www.cooparcobaleno.net/servizi-ambientali/cartesio/
49: Rapporto sullo stato del sistema di gestione dei rifiuti - Dicembre 2017

Flussi di carta avviati a recupero[50]:
(flussi superiori a 1000t)



Impianto	Comune	Pr	Quantità (t)	% mercato	Rif. in cartina
CMT SPA	La Loggia	TO	34.292	28%	1
ITALMACERI SRL	Torino	TO	29.337	24%	2
CARTAMACERO DI BERTOLINO & C SAS	Leinì	TO	26.679	22%	3
TEKNOSERVICE SRL	Piossasco	TO	7.853	6%	4
CONSORZIO AMBIENTE E TERRITORIO_ SOC. COOP. SOCIALE ONLUS	Ivrea	TO	6.552	5%	5
CARTIERE ENRICO CASSINA SNC	Pinerolo	TO	5.655	5%	6
EFFE ERRE FIORASO RECUPERI SNC	Chieri	TO	2.327	2%	7
ECOPIEMONTE	Orbassano	TO	1.439	1%	8

50: Rapporto sullo stato del sistema di gestione dei rifiuti - Dicembre 2017

Flussi di carta e cartone ad impianti di recupero, 2016:

Consorzio conferitore	Impianto di destinazione	Comune	Pr	Quantità (t)
ACEA	CARTIERE ENRICO CASSINA snc	PINEROLO	TO	5.656
	TEKNOSERVICE SRL	PIOSSASCO	TO	976
BACINO 16	CARTAMACERO DI BERTOLINO & C sas	LEINÌ	TO	9.384
	ITALMACERI srl	TORINO	TO	913
	PIEMONT MACERI srl	MAPPANO	TO	88
	CMT spa	LA LOGGIA	TO	1
BACINO 18	ITALMACERI srl	TORINO	TO	26.841
	CARTAMACERO DI BERTOLINO & C sas	LEINÌ	TO	12.901
	BENASSI srl	GUARENE	CN	6.384
	CMT S.p.A.	LA LOGGIA	TO	4.920
	ECOPIEMONTE	ORBASSANO	TO	1.439
CADOS - ACSEL	CMT S.p.A.	LA LOGGIA	TO	4.815
CADOS - CIDIU	CMT S.p.a	LA LOGGIA	TO	11.480
	ITALMACERI srl	TORINO	TO	1.583
	CIDIU	COLLEGNO	TO	0,32
CCA - TEKNOSERVICE	TEKNOSERVICE srl	PIOSSASCO	TO	2.689
CCA - SCS	CONSORZIO AMBIENTE E TERRITORIO_	IVREA	TO	1.237
	SOC.COOP.SOCIALE ONLUS	PIOSSASCO	TO	6.552
CCS	TEKNOSERVICE srl	CHIERI	TO	3.182
	EFFE ERREFIORASO RECUPERI snc	LEINÌ	TO	2.327
CISA	CARTAMACERO DI BERTOLINO & C sas	LA LOGGIA	TO	4.395
COVAR 14	CMT S.p.A.	PIOSSASCO	TO	13.076
	TEKNOSERVICE srl		TO	1.006
TOTALE CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO				**121.843**

N.B. La discrepanza del flusso di carta e cartone rispetto ai dati totali di RD del materiale cartaceo riportati nella tabella [n] è giustificata dal fatto che il flusso di raccolta è composto anche da una quantità di rifiuti assimilati agli urbani, ma smaltiti direttamente dai produttori tramite ditte private senza avvalersi del servizio pubblico, quantitativi di cui non è noto con precisione l'impianto di avvio al recupero.

Grazie ai dati rilevati nell'ambito del Progetto Recupero, condotto dalla Regione Piemonte a partire dall'anno 2005, il recupero della carta in termini di MPS/semilavorati nella allora Provincia di Torino nell'anno 2013 è stato pari al 95%, al di sopra della già elevata media regionale del 90%.

Recupero effettivo dei rifiuti cartacei in Provincia di Torino - "Progetto Recupero/Riciclo garantito" Regione Piemonte:

anno	*kg ab/anno raccolti*	*kg ab/anno recuperati*	*% recuperata*
2005	51,9	48,5	93%
2006	58,6	56,8	97%
2007	62,4	61,1	98%
2008	65,3	63,7	97%
2009	64,6	63,2	98%
2010	64,5	63,6	99%
2011	64,1	62,9	98%
2012	59,2	56,1	95%
2013	59,7	56,2	94%

fonte: Rapporto sullo stato del sistema di gestione dei rifiuti - Dicembre 2017

02

2.1 L'architettura di carta pag. 76
Gli architetti: Shigeru Ban e altri
Il tubo
Il cartone
Il cartone ondulato
Pannello a nido d'ape
Profili a U e a L
L'impiego dei componenti cartacei
Altri prodotti a base di carta

2.2 Esempi di edifici realizzati con il riuso della carta pag. 88
Alvar Aalto Exhibition
Library of a Poet
Paper Dome
Paper House
Paper Log House
Japan Pavillon, Expo
Wikkelhouse
Westborough School Club
Carthome
Oktavilla Contor
Das Papierhaus
Recycled Paper Theater

2.3 Esempi di materiali realizzati con il riuso della carta pag. 114
Pannelli carta da macero e tapioca
Pannelli di cartone ondulato
Pannelli da scarti di cartiera e cotone
Pannelli Honext
Pareti in carta
Papercrete
Areogel da carta da macero
Mattone in carta
Mattone da Papercrete
Plaspaper

2.1 L'ARCHITETTURA DI CARTA

Il campo dell'architettura è ormai fortemente caratterizzata da esempi dove spicca l'applicazione di materiali alternativi a quelli tradizionali.
Nel caso della carta e del cartone, si trovano realizzati isolanti, pannelli, tubi e non solo.
Il materiale cartaceo può infatti essere utilizzato in edilizia per:
- tubi
- pannelli strutturali e non
- isolanti
- conglomerati cementizi a base di carta
- prodotti utilizzati per le finiture (es. carta da parati)

I seguenti prodotti hanno caratteristiche specifiche che li differenziano distinguendo le varie applicazioni. Sono anche accomunati però da alcune proprietà, tipiche di carta e cartone, come la leggerezza, il loro essere ricavati da carta riciclata, oltre che ad essere a loro volta riciclabili.
I vantaggi dell'utilizzare la carta in edilizia sono sicuramente l'economicità, la rapidità di montaggio e installazione. Un campo dove il materiale cartaceo infatti domina su altri materiali costruttivi è nelle strutture temporanee o di emergenza.

In base al prodotto utilizzato si evidenziano le proprietà di isolamento termico, acustico e strutturali. Per esempio i tubi di cartone, nelle prove di resistenza a trazione, compressione e flessione, sono risultati più che prestanti.
Il vero limite di applicabilità della carta è rappresentato dalla sua scarsa durabilità, sicuramente inferiore rispetto a quella di altri materiali.

Nell'approfondire esempi contemporanei di utilizzo di carta e cartone in architettura, protagonista è indubbiamente il lavoro dell'architetto giapponese Shigeru Ban, pioniere nell'uso di questo materiale.

Gli architetti: Shigeru Ban e altri

L'architetto giapponese Shigeru Ban nasce a Tokyo nel 1957. Frequenta la Southern California Institute of Architecture e la Cooper Union School of Architecture dove consegue la laurea nel 1984.
Nel 1985 apre il suo studio a Tokyo; inizia così un'intensa attività professionale, didattica e scientifica.
Il suo operato architettonico è noto in tutto il mondo per l'impiego avanguardistico di materiali poveri come cartone e bambù, "*declinando la tradizione costruttiva nipponica con la lezione modernista (…) e legando il suo nome all'ideazione di strutture temporanee per le popolazioni vittime di disastri naturali*" (Treccani).
Nel 1995 fonda l'Ong *Voluntary Architects' Network*, organizzazione che si occupa di aiutare popolazioni colpite da calamità naturali attraverso la realizzazione di moduli abitativi temporanei, ripari, centri comunitari e luoghi spirituali.

"A concrete-and-steel building can be temporary. It can be taken down or destroyed by an earthquake. But paper can last. It's a question of love. If a building is loved, it becomes permanent."

"For me, there's no difference between what's temporary and what's definitive. I built the church in Kobe, which was supposed to be temporary, and people liked it so much that there's a version of it still there today - unlike some concrete buildings that were just built for money and that can be destroyed from one day to the next. Concrete can be very fragile during earthquakes."

"I'm not inventing anything new, i'm just using existing material differently."

"Architecture is not about designing something from a free, fanciful idea. It is about discovering and establishing one's own principle, some kind of regularity - finding an individual formula to apply to one's building."

"I believe that the material doesn't need to be strong to be used to build a strong structure. The strength of the structure has nothing to do with strength of the material."

fonte: Città sottili, luoghi e prodotti di cartone. - Costruire con il cartone

L'approccio metodologico di Ban, così distante dal clima che regnava negli anni '80 in un Giappone che era focalizzato su grandi investimenti di carattere economico-finanziario, vede architetture realizzate con materiali dal basso costo, riciclabili, ma comunque durevoli.
L'architetto si afferma così su scala internazionale; partecipa infatti al progetto per la ricostruzione del World Trade Center di New York, arrivando tra i finalisti.

Ban sviluppa la *Paper Tube Structure*, struttura in tubi di cartone, oggi considerata struttura portante, riconosciuta e utilizzabile in Giappone dal 1993.
Inizialmente l'impiego di questa innovazione strutturale, che vuole evidenziare la leggerezza e la libertà creativa, viene impiegata in case unifamiliari e poi in strutture leggere per creare coperture curve.

Nel 2004 Peter Stutchbury e Richard Smith partecipano al concorso "House of the Future" (fig. 2.1.1), dove l'obiettivo richiesto era presentare progetti di edifici con tecnologie innovative a materiali tradizionali; gli architetti presentano la *Cardboard House*, ovvero la casa di cartone, progetto che esplicita una riduzione della tecnologia e la semplificazione delle esigenze. Dimostrando che è possibile riciclare il 100% dei componenti edilizi a costi estremamente bassi, la *Cardboard House* rappresenta una sfida diretta all'industria dell'edilizia abitativa per ridurre i costi delle abitazioni e dell'ambiente.
Stutchbury e Smith, lavorando in collaborazione con l'unità di ricerca Ian Buchan Fell Housing dell'Università di Sydney, vedono questo progetto come una vera e propria opzione abitativa temporanea.

Fig. 2.1.1 Cardboard House, Sydney

Una casa di cartone richiede meno risorse e incoraggia le persone a spostare i loro preconcetti sulla "casa tipica australiana". Molti australiani amano il campeggio durante le vacanze, spostando facilmente il loro stile di vita dalla rigidità della casa urbana alla libertà del campeggio.
Le peculiarità della *Cardboard House* sono l'economicità e la trasportabilità, proprio per questo motivo potrebbe essere utilizzata in una grande varietà di applicazioni.

Il cartone non è un materiale da costruzione tradizionale, tuttavia l'introduzione di tecniche innovative di incollaggio, taglio e costruzione hanno fornito l'opportunità di considerare questo materiale, leggero e riciclabile, versatile.

Il materiale impiegato nel progetto è per l'85% riciclato e tutti i prodotti sono al 100% riciclabili, il che rende la casa di cartone un'ottima opzione ecosostenibile per l'edilizia abitativa. La struttura della *Carboard House* è realizzata in cartone riciclato, mentre il tetto è reso impermeabile da una copertura in polietilene ad alta densità.

Lo studio tedesco Dartz & Dartz Architekten nel 2008 ha vinto il concorso internazionale di architettura "spazi di lavoro mobili", pubblicizzato dalla Zollverein Development Company mbH e dalla Zollverein School of Management and Design. L'obiettivo del concorso era quello di creare spazi temporanei per le *start-up* dell'industria del design, con soluzioni spaziali intelligenti e l'impiego di materiali innovativi.
L'idea principale del progetto "PHZ2" (fig. 2.2.2) si basa sull'utilizzo di carta di scarto di materie prime secondarie. Il materiale da imballaggio dei supermercati (tipo di carta: carta dei grandi magazzini) viene raccolto

Fig. 2.1.2 PHZ2, Dartz & Dartz

fonte: Città sottili, luoghi e prodotti di cartone. - Costruire con il cartone
fonte: https://5osa.com/70
fonte: https://divisare.com/projects/168264-dratz-dratz-architekten-anja-backer-phz2

separatamente e pressato ad alta pressione in balle. Le balle di carta da macero utilizzate hanno dimensioni di 1,40 m x 1,10 m x 0,80 m e un peso di circa 500 kg. In totale vengono utilizzate 550 balle con un peso totale di 275 tonnellate.

L'idea, quanto riportano gli architetti, è nata per caso. Infatti la scelta di utilizzare carta da macero è da ricollegarsi all'estetica del materiale, elemento che ha affascinato a tal punto gli architetti, da diventare protagonista in "PHZ2". L'insolita variegatura, le diverse sensazioni e gli innumerevoli marchi, che suggeriscono una forte familiarità, sono stati, tra l'altro, decisivi per la scelta del materiale per la progettazione e la costruzione di nuovi tipi di edifici. Inoltre, l'obiettivo del concorso era quello di sviluppare un concetto di costruzione basato su temi attuali per l'ambiente, la sostenibilità e l'efficienza energetica. Un'ulteriore intenzione degli architetti era infatti di dare un impulso di riflessione su come affrontare l'architettura temporanea in futuro.

"*Siamo stati in grado di utilizzare le risorse dell'industria e di utilizzare carta riciclata. Sulla base dell'industria della carta e dell'imballaggio, che produce cartoni per i prodotti nei supermercati, all'azienda di riciclaggio, dove attingiamo alla circolazione, e prendiamo in prestito il materiale per l'architettura temporanea, i mobili e gli spazi pubblicitari tridimensionali, per poi restituirlo alla circolazione del riciclaggio. Quindi un riciclaggio del riciclaggio!*" - Dartz & Dartz Architekten

Le caratteristiche positive del materiale permettono di offrire un design che combina le proprietà portanti e isolanti in un unico prodotto. Inoltre, i costi di costruzione, rispetto alla costruzione convenzionale, possono essere ridotti fino al 40%.

Il volume dell'area Zollverein ha dimensioni esterne di 40x9 m e una superficie di 185 m^2. A causa del carattere innovativo, gli architetti hanno deciso di progettare l'edificio in chiave multifunzionale (fig. 2.1.3).

Fig. 2.1.3 *PHZ2, Dartz & Dartz*

Sono immaginabili mostre, conferenze stampa, presentazioni di prodotti, sfilate di moda o, grazie alle eccellenti proprietà di isolamento acustico, concerti. La forma dell'edificio è ispirata al modello di architettura storica della mastaba (predecessore della piramide egiziana).
Il progetto ha vinto il primo posto al concorso, e il primo prototipo è stato costruito ad Essen, Germania. In questa prima realizzazione, per ragioni di sicurezza, è stata prevista una struttura portante di supporto in legno, che però si è dimostrata non essere necessaria confermando così la resistenza dei blocchi di carta e direttamente così anche l'efficienza del progetto.
Grazie delle caratteristiche prevalentemente positive, è stato fatto un brevetto internazionale. "PHZ2" è il primo edificio costruito con balle di carta straccia.

Il tubo[1]

L'elemento cartaceo che può essere riutilizzato in edilizia è il tubo di cartone ad uso industriale; è reperibile sia dalla filiera tessile che da quella cartotecnica, inteso quindi rifiuto urbano, in varie forme:
- tubo con altezza 1 m, diametro 0,16 m;
- tubo con altezza 1 m, diametro 0,24 m;
- tubo con altezza 1 m, diametro 0,08 m.

I tubi di cartone hanno la caratteristica di consentire un ampio spettro di applicazioni, dove eccellono le prestazioni fisico-meccaniche, grazie alle loro caratteristiche:
- disponibilità di diversi diametri e spessori;
- lunghezze particolari (per i tubi a spirale), fino a 10 metri;
- finitura esterna personalizzabile (impermeabilizzazione, colore, disegni).

1: Città sottili, luoghi e prodotti di cartone. - Costruire con il cartone

Altra caratteristica che rende avvincente l'utilizzo dei tubi è l'elevata percentuale di fibra riciclata nella produzione (fino al 100%), e di cariche, che conferiscono al materiale una buona resistenza al fuoco. Una caratteristica che può risultare limitante nell'impiego dei tubi è il peso. Infatti i tubi di grandi dimensioni, possono raggiungere pesi abbastanza importanti rendendo così il trasporto e la messa in opera più difficoltosi.

La produzione di tubi in cartone può avvenire con due diverse modalità, dando come *output* due differenti prodotti.
I tubi a spirale si formano tramite l'avvolgimento di strisce di cartone su un mandrino, così da creare una spirale, incollando uno strato sull'altro.

I tubi in parallelo, invece, vengono prodotti con sovrapposizione e incollaggio di fogli di cartone (fig. 2.1.4). Questi ultimi sono destinati all'industria tessile.
I tubi sono prodotti arrotolando più strati di cumuli di carta, avvolti a spirale, su un mandrino.[2]

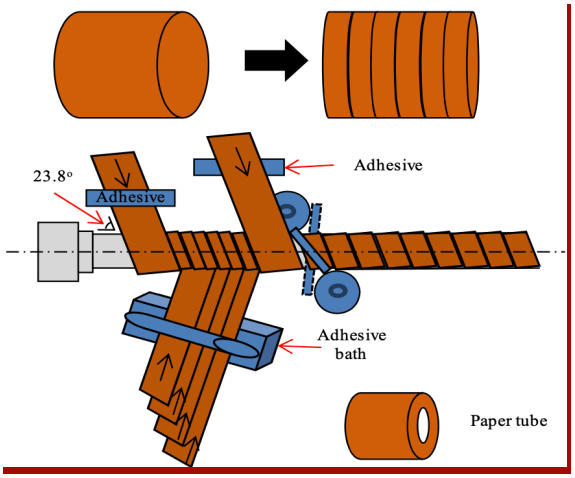


Fig. 2.1.4 Produzione dei tubi di cartone

Gli strati sono incollati insieme da amido o polivinilacetato (PVA). Lo spessore della parete del tubo dipende dal numero di pali, ma può arrivare fino a 16 mm. Sono comunemente disponibili tubi di diametro fino a 600 mm. Lo strato interno ed esterno delle pareti del tubo può essere realizzato con carta diversa da quella interna, per dare una carta trattata, colorata o più resistente sulla superficie. La resistenza del tubo non è limitata dal processo di fabbricazione, ma dal trasporto.

Tubi per l'industria
Diametro interno (mm): min 40 - max 600
Spessore (mm): min 1100 - max 2600
Lunghezza fino a (mm): 10000

R*esistenza a compressione (kN/m):* min 4 - max 25

Tubi di supporto per tissue, film plastici, imballaggi e confezione
Diametro interno (mm): min 12 - max 500
Spessore (mm): min 0,5 - max 20
Lunghezza fino a (mm): 6300

Tubi per spedizioni
Diametro interno (mm): min 60 - max 76
Spessore (mm): min 1,5 - max 12
Lunghezza fino a (mm): 1200

2: Evaluation of mechanical properties of paper tubes, proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2013 November 15-21, 2013, San Diego, California, USA

Percentuale di fibra riciclata

La produzione dei tubi di cartone avviene quasi esclusivamente con carta da macero, il cartone utilizzato infatti ha origine al 100% da fibre riciclate. Il tubo ha quindi una composizione al 90-95% di materia riciclata e il restante 5-10% è costituito da collanti, resine riciclabili, o carte speciali. Per alcune applicazioni, l'avvolgimento interno ed esterno possono essere realizzati con carta kraft prodotto con fibra vergine, che incide per un 5% sul totale di fibra impiegata. (*fonte: il tubo in cartone - Assografici*)

Peso

Di seguito sono riportati, in modo indicativo, i pesi dei tubi con spessori che variano dai 15 mm ai 20 mm.[3]

Diametro interno	*Diametro esterno*	*Peso*
80 mm	100 mm	2,25 kg/ml
100 mm	120 mm	2,75 kg/ml
320 mm	350 mm	14,25 kg/ml

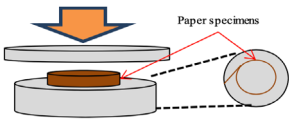
Proprietà meccaniche del cartone

Prova a trazione

Il cartone viene tagliato (250 mm in lunghezza e 15 mm di spessore). Il test è stato eseguito su 10 campioni su una macchina di prova universale. La resistenza alla trazione relativa è stata definita come forza massima sulla larghezza dell'unità. I risultati sono riportati nella tabella seguente[4]:

Type	Direction	Relative Tensile Strength (KN/m)											CV
		NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10	Average	
A	0°	28.4	28.5	28.8	28.4	29.1	28.5	28.6	28.8	28.4	29.0	28.7	1.2%
	90°	14.6	14.4	14.6	14.2	14.2	14.5	14.2	14.5	14.4	14.6	14.4	1.4%
B	0°	38.9	36.6	38.8	38.2	39.1	38.4	38.6	39.0	37.2	38.1	38.3	3.3%
	90°	19.0	19.2	18.8	18.7	19.2	19.0	19.1	19.0	18.9	19.3	19.0	1.6%
C	0°	39.8	39.3	38.5	36.9	36.8	38.7	39.4	37.9	37.0	38.5	38.3	3.9%
	90°	20.2	20.7	20.2	21.0	20.7	20.5	21.2	21.0	20.2	20.7	20.6	2.4%

Thickness (mm): A: 0.50 mm; B: 0.75 mm; C: 1.00 mm

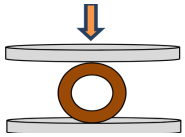


Prova a compressione

Nella prova a compressione, il cartone è stato tagliato a 152,4 mm di lunghezza e 12,7 mm di altezza. In questo caso è stata utilizzata la stessa macchina di prova universale, sempre su 10 campioni. Il metodo di prova ed i risultati della prova sono illustrati nella tabella seguente[5]:

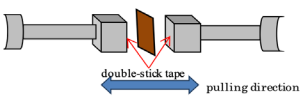
Type	Direction	Relative compressive Strength (Ring crush, KN/m)											CV
		NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10	Average	
A	0°	1480.0	1480.0	1460.0	1520.0	1540.0	1520.0	1500.0	1510.0	1510.0	1480.0	1500.0	2.7%
	90°	1100.0	1200.0	1150.0	1200.0	1190.0	1170.0	1180.0	1120.0	1150.0	1180.0	1164.0	3.4%
B	0°	2120.0	2090.0	2170.0	2060.0	2170.0	2150.0	2100.0	2150.0	2120.0	2140.0	2127.0	2.6%
	90°	1510.0	1540.0	1660.0	1630.0	1630.0	1650.0	1590.0	1590.0	1630.0	1640.0	1607.0	3.7%
C	0°	2320.0	2240.0	2470.0	2410.0	2430.0	2420.0	2400.0	2410.0	2360.0	2420.0	2388.0	4.8%
	90°	1780.0	1770.0	1870.0	1750.0	1830.0	1800.0	1820.0	1770.0	1790.0	1810.0	1799.0	3.3%

Thickness (mm): A: 0.50 mm; B: 0.75 mm; C: 1.00 mm



Prova a compressione laterale

La prova di compressione laterale è stata eseguita utilizzando una macchina di prova universale. Il processo di danneggiamento durante la prova di compressione:



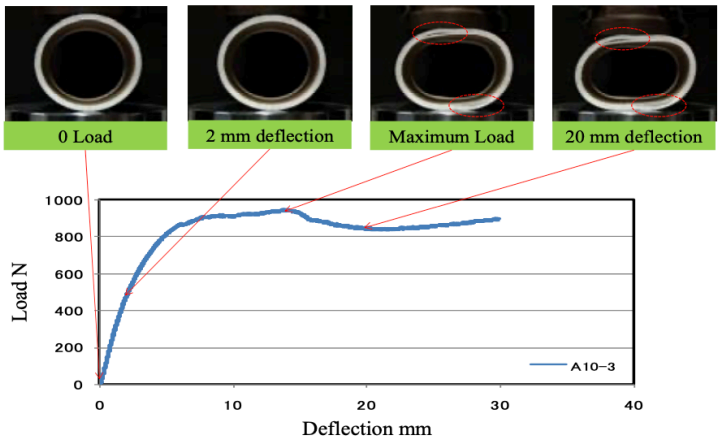
Proprietà di pelatura

È stata effettuata una prova di peeling della carta. La carta è stata tagliata a 25 mm di lunghezza e 25 mm di larghezza.

3: Città sottili, luoghi e prodotti di cartone. - Costruire con il cartone

4,5: Evaluation of mechanical properties of paper tubes, proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2013 November 15-21, 2013, San Diego, California, USA

Il processo di danneggiamento durante la prova di compressione:



Poiché lo spessore ha un effetto significativo sui risultati di compressione e i dieci provini hanno uno spessore diverso, il rapporto tra il carico di picco e lo spessore di ogni tipo di provino è stato considerato come resistenza alla compressione laterale relativa. I risultati nella tabella seguente [6]:

Type	Lateral compression peak load (N)											CV
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	NO.10	Average	
A-5	268.8	301.5	305.8	247.8	290.1	302.6	300.0	304.4	275.4	285.5	288.2	10.0%
A-10	946.0	980.7	928.9	993.7	958.9	956.0	960.7	972.1	951.0	921.5	957.0	3.8%
B-5	517.3	530.5	513.5	519.9	507.8	495.8	511.7	529.2	534.0	532.1	519.2	3.7%
B-10	1347.5	1318.8	1327.0	1297.3	1359.6	1324.6	1351.8	1319.0	1345.0	1312.0	1330.3	2.3%
C-5	687.2	679.9	662.5	674.0	658.1	668.3	678.7	663.6	658.5	679.7	671.0	1.6%
C-10	1614.8	1638.2	1618.8	1581.2	1632.9	1644.5	1601.5	1594.5	1603.8	1581.7	1611.2	2.0%

Comportamento alla frattura del tubo di carta

I provini di carta sono composti da 5 o 10 strati, allo stesso tempo, ogni strato è composto da una struttura laminare (fig. 2.1.5).

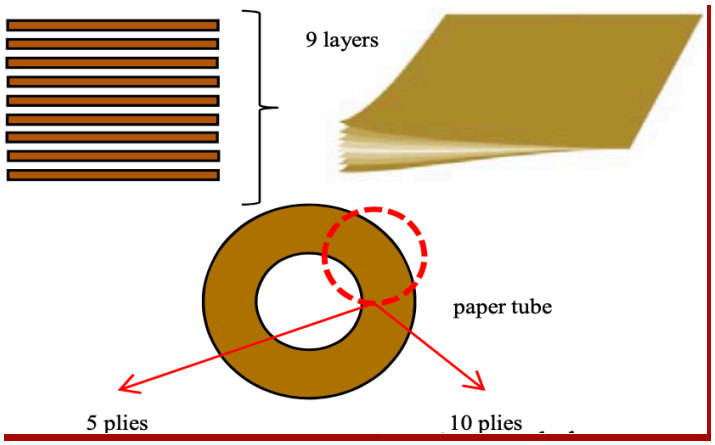


Fig. 2.1.5 Struttura del tubo di cartone

Dall'osservazione di campioni danneggiati, la delaminazione è la causa principale che porta al guasto. A causa della particolare struttura del cartone e del tubo di carta, la delaminazione può manifestarsi in due tipologie: tipo interlaminare e tipo intralaminare. La delaminazione di tipo interlaminare si verifica tra diversi strati e la delaminazione di tipo intralaminare si verificava tra diversi strati.
Così aumentare la proprietà di compressione e la proprietà di pelatura del cartone interno del tubo di carta può migliorare la proprietà di compressione laterale del tubo di carta.

6: Evaluation of mechanical properties of paper tubes, proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2013 November 15-21, 2013, San Diego, California, USA

Proprietà dei tubi utilizzati dall'architetto Shigeru Ban:

Progetti	Dimensione tubi	Contenuto di umidità (%)	Resistenza a compressione	Modulo assiale di young	Resistenza a flessione
Library of a Poet	Ø esterno 100 mm Ø interno 75 mm		10,12 MPa	1,82 GPa	
Paper House	Ø esterno 280 mm Ø interno 250 mm lunghezza 600 mm	8,8	11,17 MPa	2,36 GPa	16,82 MPa
Paper Dome	Ø esterno 291 mm Ø interno 250 mm lunghezza 600 mm	10,0	9,74 MPa	2,07 GPa	14,9 MPa
Japan Pavillon	Ø esterno 120 mm Ø interno 76 mm lunghezza 240 mm	8,7	9,53 MPa	1,57 GPa	14,5 MPa

Raccomandazioni di Buro Hapold[7] sulle proprietà meccaniche dei tubi di carta:
- massima resistenza a compressione, tensione e flessione: 0,8 MPa
- il carico all'attacco non deve superare 1,4 MPa.
- resistenza massima dell'adesivo per il peeling: 0,3 MPa
- modulo di Young 1-1,5 GPa

Durante la realizzazione della *Paper House* progettata da Shigeru Ban, sono state effettuate prove su cinque tubi di carta, ciascuno della lunghezza di 400 mm. I tubi sono stati testati con il metodo del cuscinetto di flessione a tre punti. Quando un tubo è stato sottoposto al carico massimo, la deformazione era di 124 mm al centro del tubo. La prova di flessione ha portato alla formazione di rughe diagonali corrispondenti alla direzione in cui la carta è avvolta intorno al tubo. Esse sono apparse solo sotto compressione (nella parte superiore del tubo).
La resistenza media alla flessione è stata di 15,79 MPa, pari a 1,42 di resistenza alla compressione. Il modulo di Young è stato di 2,18 GPa, che è pari al 92% del modulo di Young a compressione. Il contenuto medio di umidità dei tubi è stato dell'8,9%.

Il cartone[8]

Cartone è un termine generico applicato ad alcuni tipi di carta caratterizzati da una rigidità relativamente elevata. Il primo cartone è stato prodotto in Inghilterra all'inizio del XIX secolo a scopo di imballaggio. Nella seconda metà dell'Ottocento furono inventate le scatole pieghevoli, così come la fustellatura meccanica e la cordonatura degli spazi vuoti.
Si possono distinguere i seguenti tipi di cartone:
- cartoncino (cartone prodotto per la produzione di cartoni con buone proprietà di piegatura e rigatura);
- truciolato (cartone di carta da macero di bassa qualità);
- cartone solido (cartone costituito da uno o più strati dello stesso materiale)
- cartone di fibra solida (con una grammatura superiore a 600 g/m^2, che può essere rifinito con un rivestimento di carta Kraft o un altro tipo di carta resistente).

Il cartone ha un'alta densità. Il materiale può avere una struttura omogenea o può essere prodotto da più strati. Il cartone può essere rifinito con un rivestimento di carta speciale (es. carta impermeabile). Lo spessore del cartone può variare da 0,25 mm a 4 mm. La sua grammatura varia da 224 g/m^2 a 1.650 g/m^2. Il cartone solido è caratterizzato da un'elevata resistenza e rigidità.
Il comportamento strutturale del cartone è influenzato dal numero di strati, dalla direzione delle fibre (longitudinale o trasversale) e dal tipo di adesivo utilizzato.

I test condotti da Julia Schonwalder[9] presso la TU Delft hanno dimostrato che, a seconda della composizione del materiale e del tipo di adesivo utilizzato, il cartone ha una resistenza alla trazione

7: società di servizi professionali britannica che fornisce consulenza ingegneristica
8: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka
9: PhD Candidate, Delft University of Technology, Faculty of Architecture, Structural Mechanics Group

compresa tra 9,7 e 29,8 MPa in direzione longitudinale e tra 5,9 e 15,5 MPa in direzione trasversale.

La sollecitazione alla flessione variava da 3,7 MPa per una trave di cartone massiccio a 20 strati laminata con acetato di polivinile, piegata orizzontalmente a 32,1 per una trave di cartone massiccio a 8 strati laminata con colla per legno, piegata verticalmente.

Il cartone ondulato[10]

Il cartone ondulato è stato inventato e brevettato a metà dell'800, ed il suo utilizzo principale è stato quello dell'imballaggio. Il cartone ondulato è una composizione a sandwich di due strati piatti di carta con uno strato di cartone ondulato (detto anche *fluting*) nel mezzo. Gli strati vengono poi laminati insieme (fig. 2.1.6).

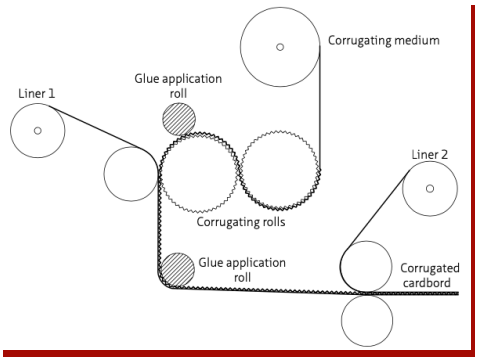


Fig. 2.1.6 Schema produzione del cartone ondulato

Lo spessore della fustellatura può variare da 0,8 mm a 4,8 mm, e la sua grammatura sarà compresa tra 80 e 180 g/m^2, mentre le fodere hanno una grammatura che va da 115 a 350 g/m^2. I tipi di carta più popolari utilizzati nella produzione di *liner* sono il *Kraftliner* (fatto di carta Kraft) e il *testliner* (fatto di carta riciclata). Il supporto ondulato (fluting) è fatto di carta riciclata, nota anche come carta Wellenstoff, o di carta vergine, realizzata con il metodo della pasta semichimica.
È un materiale che si caratterizza per vari fattori: leggerezza, resistenza alla compressione e fonoassorbenza.
Ci sono però alcune caratteristiche del cartone ondulato che risultano essere dei deterrenti in quanto ne limitano l'utilizzo, come:
- difficoltà di utilizzo in situazioni umide o laddove sia richiesta la "lavabilità" del prodotto;
- difficoltà di utilizzo in prodotti che richiedano una particolare resistenza al fuoco.

In commercio, non sono presenti prodotti realizzati con carte già sottoposte a trattamenti, e il trattamento fatto sul prodotto finito presenta particolari difficoltà a causa della struttura del cartone stesso; altro aspetto critico è la riciclabilità del materiale compromessa da un eventuale trattamento con vernici speciali.
A seconda del numero di onde (fig. 2.1.7) si parla di:
- onda semplice: 2 copertine e 1 onda;
- doppia onda: 2 copertine, 2 onde e un foglio teso frapposto tra le due onde;
- tripla onda: 2 copertine, 3 onde e due fogli tesi frapposti tra le tre onde.

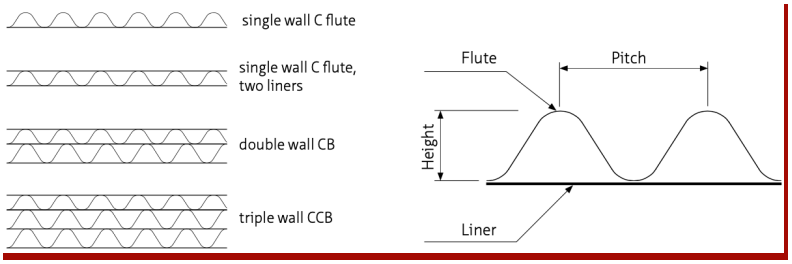


Fig. 2.1.7 Tipologie di cartone ondulato

Il cartone si distingue anche in relazione al tipo di carta impiegata per le copertine, nello specifico alla composizione e alle caratteristiche meccaniche della stessa. Si possono avere carte Kraft, Liner e Test.
Anche le carte utilizzate per l'ondulazione si differenziano in base alle caratteristiche meccaniche; sono identificabili carte semichimiche (S o SS) e Medium (M) o Fluting (F).

10: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

Percentuale di fibra riciclata
Il cartone può essere costituito dallo 0% al 100% di materiale riciclato.
Carte per copertine: Kraft (carta prodotta con l'80% di fibra vergine, Liner - Test (100% di carta da macero)).
Carte per ondulazione: Tipo S (carta prodotta con l'65% di fibra vergine), uso semichimica Medium o Fluting (100% di carta da macero).

Pannelli a nido d'ape[11]

I pannelli a nido d'ape sono pannelli a sandwich cellulari a bassa densità.
Sono costituiti da tre strati (fig. 2.1.8): due rivestimenti e uno strato centrale, che hanno una struttura a nido d'ape (fig. 2.1.9). I pannelli possono essere realizzati in carta o in altri materiali come cartone di fibra, compensato, alluminio, resine o altri metalli e polimeri. I pannelli a nido d'ape sono stati introdotti nell'industria all'inizio del 1900. Da allora la loro applicazione si è diffusa in diversi settori industriali, tra cui l'edilizia e la produzione di mobili.

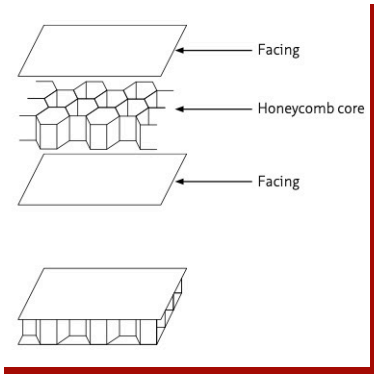


Fig. 2.1.8 Struttura del pannello a nido d'ape

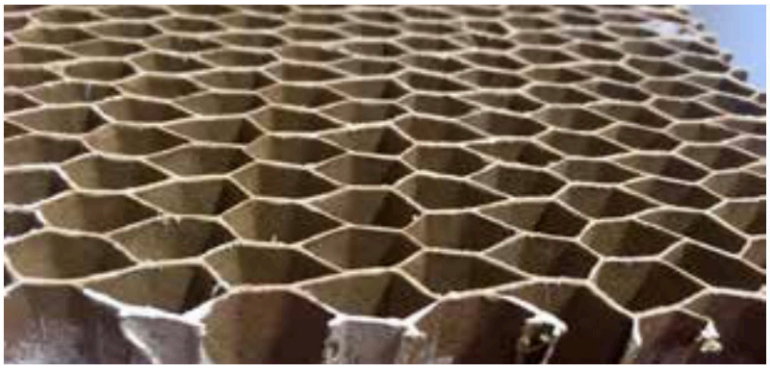


Fig. 2.1.9 Anima del pannello a nido d'ape

I pannelli a nido d'ape sono spesso utilizzati nei mobili, soprattutto come riempitivo di piani di tavoli e scaffali. Sono anche un materiale comunemente usato come riempitivo di porte.
Nell'industria dell'imballaggio, i pannelli a nido d'ape, essendo materiali biodegradabili, hanno iniziato a sostituire i prodotti in schiuma utilizzati come imballaggi interni. Sono anche utilizzati nell'industria automobilistica, come pannelli sandwich composti da un'anima di cartone a nido d'ape e da strati di finitura in fibre di vetro o fibre naturali.
I pannelli a nido d'ape in cartone sono prodotti in due fasi. Prima si prepara l'anima a nido d'ape. Poi viene accoppiata ai rivestimenti.

In un processo di produzione tradizionale, l'anima a nido d'ape viene prodotta dalla laminazione di fogli di carta mediante linee di colla stampate su fogli piatti (fig. 2.1.10). I fogli vengono poi impilati uno sopra l'altro. Dopo l'indurimento della colla, il blocco di fogli di carta viene tagliato a fette. Infine, le fette vengono staccate, espandendosi in un nucleo esagonale a nido d'ape. Lo stress residuo nei favi di carta viene rilassato dopo l'espansione a caldo.

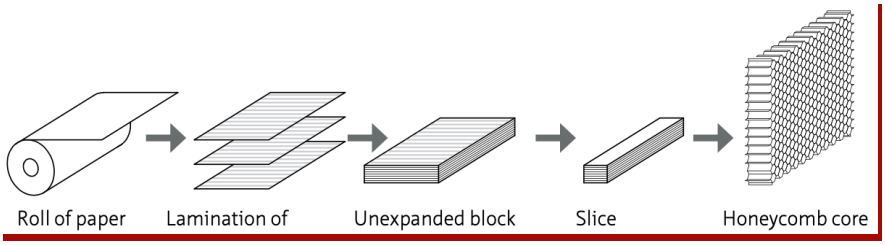


Fig. 2.1.10 Produzione dell'anima del pannello a nido d'ape (metodo classico)

11: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

Il secondo metodo, chiamato anche processo di produzione del nucleo a nido d'ape ondulato, utilizza fogli di cartone ondulato, che vengono prima incollati l'uno all'altro, poi affettati ed espansi (fig. 2.1.11). Il secondo processo risulta in celle più piccole.

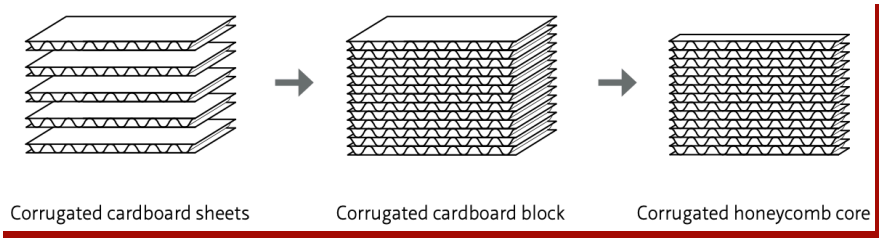


Fig. 2.1.11 Produzione di anime a nido d'ape da cartone ondulato

La dimensione dei pannelli a nido d'ape prodotti, come sopra descritto, dipende dalle dimensioni della carta di supporto, che tipicamente è 1.200 mm. La lunghezza dipende dalla lunghezza della macchina, che in genere raggiunge i 24.000 mm. L'altezza dei pannelli varia da 8 a 100 mm.
Il tipo di carta più diffuso per la produzione di pannelli è la carta Kraft o carta riciclata con una grammatura compresa tra 140 g/m^2 e 300 g/m^2.
I pannelli a nido d'ape sono caratterizzati da un'elevata resistenza alla compressione in direzione Z, cioè perpendicolare alla superficie, che può arrivare fino a 100 kN/m^2.

Profili a U e a L[12]

I profili a U e a L in cartone sono costituiti da più strati di carta pressata, laminata e rivestita da uno strato di finitura, che può essere colorata, lucida o stampata. Gli strati di carta, che possono pesare fino a 450 g/m2 e spessi 0,7 mm, sono laminati con adesivo liquido a base d'acqua. Le flange (A e B) possono essere comprese tra 35 mm e 100 mm e possono avere uno spessore (T) da 2 a 10 mm (fig. 2.1.12). I profili sono prodotti in lunghezze (L) (fig. 2.1.13) che vanno da 50 mm a 10 m. I profili sono utilizzati principalmente per il trasporto, come mezzo per proteggere i bordi delle merci trasportate, ad esempio libri o mobili.

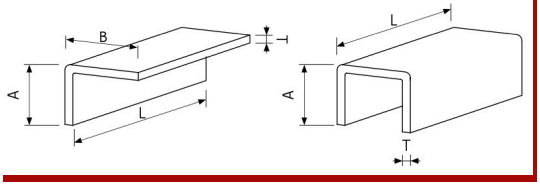


Fig. 2.1.12 Dimensione dei profili ad U e a L

Fig. 2.1.13 Trave in cartone a da profili a U

I test condotti presso la TU Delft[13] hanno dimostrato che la resistenza alla compressione dei profili realizzati con cartone riciclato raggiungeva gli 8,53 MPa. Il modulo di Young è risultato essere di 1,28 GPa.

Altri prodotti a base di carta[14]

Attualmente esistono molti altri prodotti cartacei che possono essere utilizzati nel design e nell'architettura.

- Il *nanopaper* è costituito da fibrille di cellulosa che sono state ridotte a dimensioni nanometriche. Nel suo processo di produzione le cellule di legno vengono disciolte e raffinate. Queste particelle più piccole mostrano migliori proprietà adesive e creano una carta più omogenea con cavità, che aumentano la resilienza del prodotto. Questo materiale estremamente resistente allo strappo viene prodotto senza additivi, quindi i fondamenti sono gli stessi della carta normale.

- La *carta vulcanizzata* è prodotta da fogli di carta da bagno in cloruro di zinco, che rende la superficie della carta gommosa e appiccicosa. Poi i fogli di carta vengono pressati insieme e il cloruro di zinco

12,13,14: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

viene sciacquato via. La carta vulcanizzata è resistente all'acqua, molto resistente e durevole e non contiene additivi come colle, leganti o resine. Può essere utilizzata come elemento strutturale leggero.

- I *pannelli di costruzione trasparenti* sono realizzati in acetato di cellulosa. La cellulosa trasparente è prodotta sciogliendo la polpa in soda e disolfuro di carbonio.

- *Monifex* sono i pannelli a nido d'ape, leggeri e permeabili all'aria.

- Il *Kraftplex* è un pannello contenente pura cellulosa. Il suo materiale e le sue proprietà di modellatura sono simili a quelle dei metalli e delle materie plastiche. Il Kraftplex è fatto di fibre di legno dolce da una società tedesca chiamata Well, che utilizza solo la pressione dell'acqua e il calore durante il processo di produzione, senza additivi chimici, candeggina o adesivi.

- I *pannelli di cellulosa pressati* sono prodotti da fogli di carta, che vengono pressati insieme ad alte temperature e a grande pressione. Durante questo processo la cellulosa si fonde in una sostanza rigida.

- La produzione della *carta ceramica* viene utilizza la carta standard che viene arricchita con alluminio, polvere di silicio e lattice. La carta può essere modellata e piegata come la carta tipica. Viene poi trattata ad una temperatura di 1.600°C, dopo di che gli ingredienti della carta vengono bruciati, dando luogo ad una materia concentrata e solida. Ha una buona resistenza alla pressione, alle sostanze chimiche e alle alte temperature.

- La *carta resistente al fuoco* viene prodotta aggiungendo cristalli di semi alla pasta. Durante il processo di essiccazione si crea un legame chimico tra la matrice di cristalli e la matrice di fibre di cellulosa. Con questa tecnologia si possono realizzare diversi tipi di prodotti, come il cartone laminato, la schiuma di carta e i pannelli isolanti in carta.

- Il *mattone di carta* (fig. 2.1.14) è un'invenzione di WooJai Lee, un designer coreano-Kiwi, Paesi Bassi. I mattoni sono fatti di giornali riciclati, che vengono impastati, mescolati con colla e modellati in mattoni. Secondo le parole del designer, "robusti come veri mattoni, combinano un piacevole aspetto marmorizzato con il calore e la morbida tattilità della carta.

Fig. 2.1.14 Mattone di carta

L'impiego dei componenti cartacei[15]

Questi elementi possono essere impiegati come parte in un sistema tecnologico per l'involucro edilizio; uno dei metodi più interessanti del reimpiego è la realizzazione di *partizioni verticali di chiusura esterna opache* messi in opera legando i tubi di cartone a secco con l'utilizzo di graffe. I tubi utilizzati sono sottoposti a trattamenti ignifughi e impermeabilizzanti per raggiungere i requisiti di legge.
La parete (fig. 2.1.15) è formata da moduli composti ciascuno da una fila di tubi da 0,24 m di diametro, alti 1 m, disposti verticalmente, riempiti di terra per conferire resistenza meccanica e stabilità; la fila successiva è data da tubi di 0,16 m di diametro, alti 1 m, che contengono l'isolante (paglia, lana di pecora) per rispettare i limiti prestazionali di trasmittanza dettati dal D.lgs. 312/06.

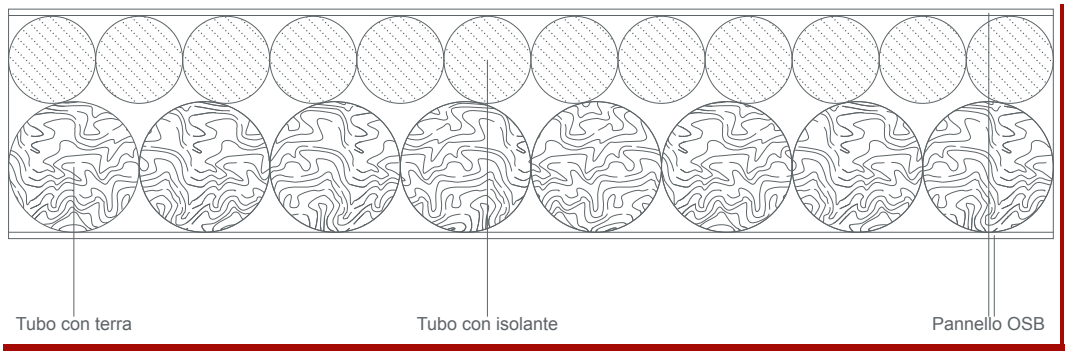


Fig. 2.1.15 Sezione del modulo composto da 20 tubi

15: Uso Disuso Riuso, criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiale per l'edilizia

La finitura, sia interna che esterna, della parete può essere realizzata con un pannello OSB impermeabilizzato da 0,015 m, risolvendo così i disagi dati dalle infiltrazioni di aria. Sulla superficie interna è possibile applicare sul pannello OSB delle lastre di gesso che aumentano maggiormente le già elevate prestazioni di benessere igrotermico ed acustico, di stabilità meccanica oltre al miglioramento del livello di sicurezza in caso di incendio e dell'aspetto estetico.
Il sistema costruttivo sopra descritto può essere utilizzato anche per la realizzazione dei tramezzi interni che, non necessitando di materiale isolante, sono costituiti da una sola fila di tubi di diametro 0,16 m, o addirittura inferiore, riempiti con terra, disposti verticalmente e legati sempre a secco con l'impiego di graffe e rifiniti con l'applicazione di pannelli OSB intonacati.

Un altro impiego si vede nelle strutture portanti dove i tubi compongono lo scheletro strutturale (fig. 2.1.15), grazie alla loro elevata resistenza a compressione. In molteplici esempi si vede che i giunti tra i tubi sono realizzati con elementi metallici che hanno il ruolo di cerniera tra due o più tubi così da creare delle trame strutturali.

Fig. 2.1.15 Paper bridge, Shigeru Ban

Le *balle di carta* (fig. 2.1.16) sono un altro tipo di impiego del materiale. Vengono legate e rese impermeabili tramite trattamento. Tendenzialmente le balle sono profonde 1m e alte 70 cm, la lunghezza invece è variabile. Possono arrivare a pesare fino a 450 kg e formare dei muri molto spessi. I muri così realizzati hanno ottime proprietà isolanti; le balle possono essere rinforzate con strutture in legno o in acciaio.

Fig. 2.1.16 Balle di carta

2.2 ESEMPI DI EDIFICI REALIZZATI CON IL RIUSO DELLA CARTA

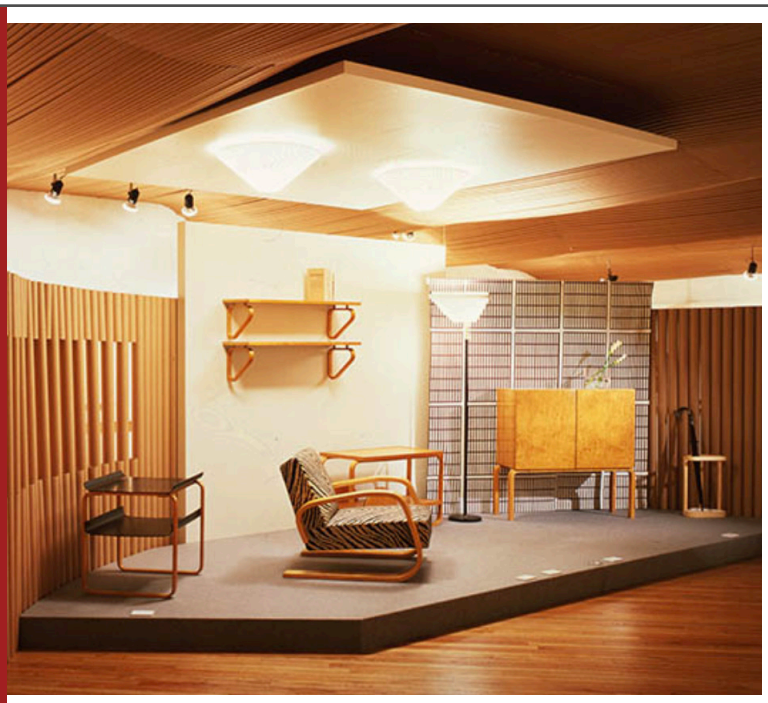
Il cartone e la carta sono utilizzati come materiale strutturale da circa 150 anni, il che permette di fare alcune osservazioni sulle caratteristiche specifiche dei progetti realizzati. Si possono distinguere cinque categorie funzionali per quanto riguarda il livello di complessità, le dimensioni, la composizione del materiale, il budget e la durata dei progetti:

- arredamento, *interior design*, design industriale, arti e mestieri e prodotti per l'uso quotidiano. Generalmente questi prodotti possono essere utilizzati solo per circa cinque anni;
- padiglioni espositivi, scenografie, oggetti per eventi temporanei come fiere, mostre, grandi eventi sportivi, ecc. Tali strutture sono costruite per un utilizzo temporaneo fino a un anno;
- case ed edifici utilizzati da clienti privati. La durata di vita di tali edifici è stimata tra i venti e i cinquant'anni;
- edifici pubblici come scuole, università, club sportivi e gallerie. Tali strutture sono costruite per durare venti anni o in modo permanente;
- architettura di emergenza e di soccorso, destinata a persone che hanno perso la loro casa a causa della povertà, dell'esclusione sociale, di catastrofi naturali e di disastri causati dall'uomo. La durata di vita di tali edifici dovrebbe essere di cinque anni, ma in pratica, molti di essi sono utilizzati per un periodo di tempo più lungo.

Geolocalizzazione dei casi studio

Alvar Aalto Exhibition

1



Anno: 1986
Luogo: Tokyo, Giappone
Architetti: Shigeru Ban Architects

È una delle prime opere di Shigeru Ban dove il cartone ricopre anche un ruolo strutturale. Ban viene incaricato dell'allestimento di una mostra a Tokyo sui mobili di Alvar Aalto. L'impiego del materiale cartaceo è dettato dallo scarso budget e dalla volontà dell'architetto di non utilizzare materiali costosi per un'esposizione temporanea. I tubi vengono impiegati per pannelli a soffitto, partizioni e supporti espositivi. L'esplorazione del materiale in questa mostra segna l'inizio della *Paper Architecture.*

fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

SHIGERU

B
A
N

Approfondimento tecnologico[16]

I tubi di carta, realizzati come elementi di forma per colonne circolari in calcestruzzo, vengono utilizzati, nella “Alvar Aalto Exhibition” come elemento strutturale. Quarantotto di questi tubi (325 mm di diametro, 15 mm di spessore e 4 m di altezza) sono trattati con paraffina impermeabilizzante e montati su una base circolare di calcestruzzo prefabbricato. Sono stati poi irrigiditi con un composto di colla e uniti all’estremità superiore da un anello di compressione in legno. Il tetto è costituito da un tessuto per tende appeso a un filo di tensione disposto a raggiera. Dopo lo smontaggio della struttura, si analizzò la resistenza dei tubi di carta. Nonostante siano stati sottoposti a sei mesi di vento e pioggia, l’indurimento della colla e la moderata esposizione ai raggi ultravioletti hanno in realtà aumentato la resistenza alla compressione dei tubi.

fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

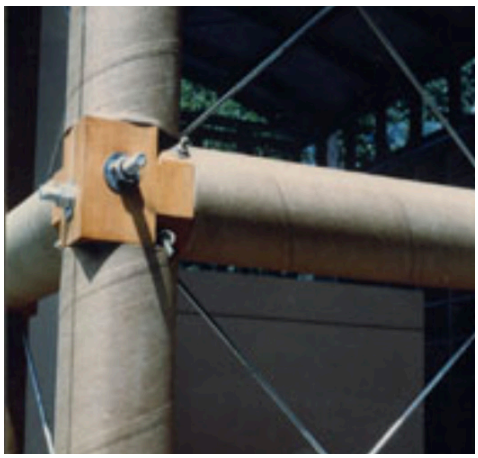
16: https://makemistakesoften.wordpress.com/shigeru-ban/alvar-aalto-exhibition/

Library of a Poet

2

Anno: 1991
Luogo: Zushi, Giappone
Architetti: Shigeru Ban Architects

La biblioteca è stata costruita come un annesso ad una casa precedentemente ampliata e migliorata da Ban. Il progetto è stato influenzato dal Padiglione Odawara, che il proprietario aveva visto. Egli riteneva che una biblioteca in carta sarebbe stata la più adatta a ospitare libri di carta. È il primo edificio "permanente" in tubi di cartone giuntati con elementi in legno.
L'intera parete anteriore della biblioteca è in vetro. Il vetro espone la vista, a colpo d'occhio, dell'intero sistema strutturale. Anche se l'interno di 35 m^2 è ridotto all'essenziale - libri e un posto per scrivere - fornisce un'esperienza straordinariamente ricca.



fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

SHIGERU

B
A
N

Approfondimento tecnologico[17]

L'edificio si sviluppa su un piano ed è composto da sei sostegni a capriate in tubi di carta che sostengono un tetto ad arco anch'esso composto da tubi di carta (fig. 2.1). Gli archi del tetto sono legati con due travi orizzontali in tubo di carta con tondini di acciaio all'interno (fig. 2.2). I tubi di carta (100 mm di diametro e 12,5 mm di spessore), sono stati sottoposti a prove, le quali hanno mostrato che i tubi di carta si deformavano a seconda delle diverse temperature e dei diversi livelli di umidità, ma la deformazione a causa dello spostamento era minima. I tubi di carta sono collegati da blocchi di legno 100x100 mm rinforzati con tondini di acciaio post-tensionati in diagonale e all'interno dei tubi (fig. 2.2). La struttura dei tubi di carta è all'interno dell'edificio, dove è protetta dalle condizioni atmosferiche, esternamente dal tetto e dalle pareti vetrate. La struttura è posta su una soletta in cemento armato. Le quattro librerie in legno a tutta altezza sono state installate indipendentemente dai tubi di carta su entrambe le pareti longitudinali.

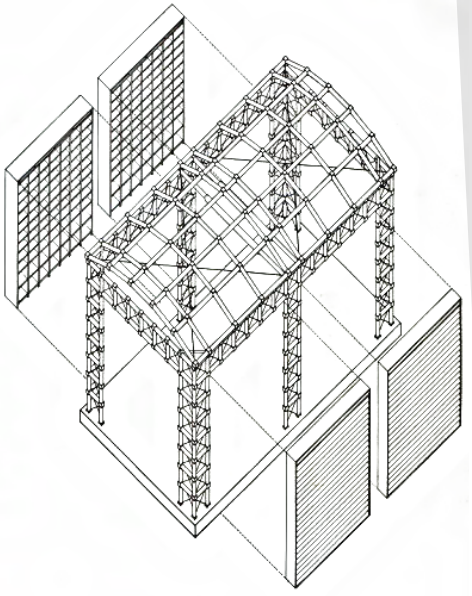


Fig. 2.1 Esploso assonometrico Library of a Poet

Le librerie sono a sbalzo dal pavimento e assorbono le forze del vento laterali. Sono inoltre isolate termicamente e rifinite dall'esterno, fungendo così da pareti esterne.

La struttura utilizzata per creare la "Library of a Poet" è una struttura ibrida composta da capriate in tubo di carta e librerie prefabbricate. I tubi trasportano per lo più carichi morti e carichi verticali dal tetto, mentre gli scaffali portano le forze laterali. La combinazione delle due diverse strutture ha permesso a Ban di utilizzare tubi e collegamenti relativamente piccoli. I tubi di carta sono collegati da blocchi di legno e da controventature in acciaio, il che permette di non dover usare connessioni a vite o bulloni tra il legno e la carta, perché la carta è abbastanza fragile e si strappa facilmente quando viene usata in tali connessioni.

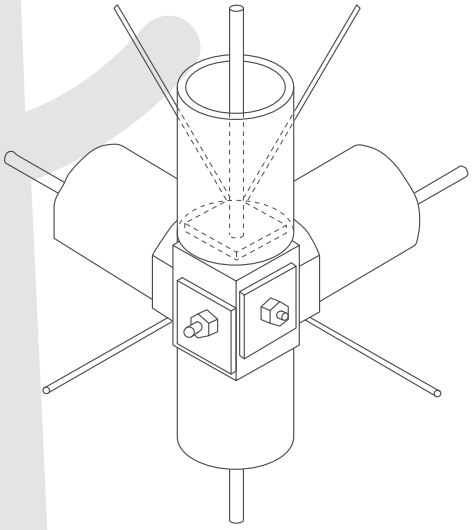


Fig. 2.2 Dettaglio collegamento tubo

fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

17: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

Paper Church

3

Anno: 1995
Luogo: Kobe, Giappone
Architetti: Shigeru Ban Architects

Questo centro comunitario è stato costruito da volontari della chiesa la cui casa di culto è stata distrutta dal terremoto di Kobe nel 1995. I materiali sono stati donati da diverse aziende e la costruzione è stata completata in sole cinque settimane dai 160 volontari. L'obiettivo primario del progetto della chiesa infatti era una struttura a basso costo, facile da montare, che potesse essere rapidamente e semplicemente eretta per fornire un luogo di culto alle vittime del terremoto. Dopo dieci anni la "Paper Church" è stata smantellata nel giugno 2005 e ricostruita a Taiwan nel 2008.

fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

SHIGERU

Approfondimento tecnologico[18]
La bellezza della chiesa è la modestia dei materiali. L'interno della chiesa, la cui pianta ellittica fa riferimento alle chiese italiane del XVII secolo progettate dal Bernini, si sviluppa come un volume rettangolare (10x15 m) in lamelle di plastica trasparente che racchiude un ovale di 58 tubi di carta alti 5 metri, di 330 millimetri di diametro, che sostengono un tetto a tenda di tessuto bianco rivestito di teflon. I tubi di carta sono costituiti da strati laminati di carta riciclata dello spessore di 15 mm e fissati al pavimento per mezzo di pioli in legno a croce (fig. 3.1). Lungo l'asse lungo dell'ovale le colonne dei tubi di carta sono distanziate tra loro in modo da formare una goccia per l'altare e uno schermo per lo spazio di stoccaggio oltre. Sul lato d'ingresso le colonne tubolari di carta sono distanziate a una distanza maggiore per consentire l'ingresso e la continuità tra interno ed esterno, in modo che quando le porte sono aperte lo spazio della chiesa si estende all'esterno, delimitato anche dall'ampio tetto a sbalzo che fa parte di un'aggiunta successiva.

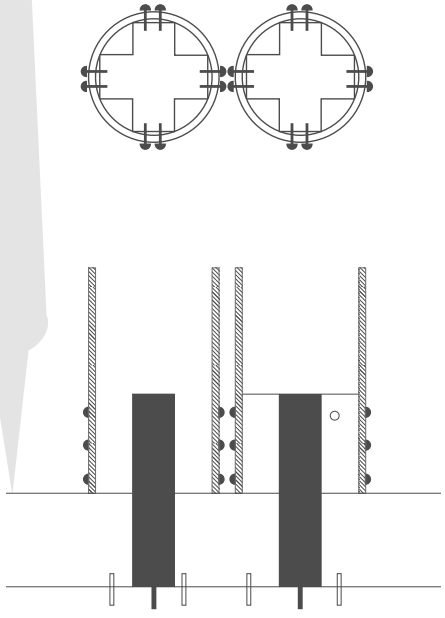


Fig. 3.1 Dettaglio collegamento a croce in legno pavimento-tubo

fonte: http://www.shigeruban architects.com/works.html

18: http://www.galinsky.com/buildings/paperchurch/

Paper Log House

4

Anno: 1995
Luogo: Kobe, Giappone
Architetti: Shigeru Ban Architects

Nell'anno 1995 Shigeru Ban ha dato vita al Voluntary Architects Network, una fondazione non governativa il cui scopo era quello di costruire strutture di aiuto per le vittime di calamità naturali/disastri causati dall'attività umana. Le unità abitative, realizzate in risposta al terremoto che colpì la città di Kobe in Giappone, sono case di emergenza economiche, resistenti e durevoli, realizzate con poche decine di tubi di cartone. Le fondazioni sono composte da casse di birra riempite di sacchi di sabbia. Le pareti sono costruite con tubi di 108 mm di diametro e 4 mm di spessore, inseriti in una guida di legno. I tubi sono riempiti di giornali e trattati con vernici poliuretaniche per resistere all'acqua. Lo spazio che si crea tra un tubo e l'altro viene colmato da una schiuma autoadesiva impermeabile. Le coperture sono in un tessuto impermeabile e apribile per consentire la regolazione del passaggio dell'aria.
L'edificio è progettato in modo tale da poter essere facilmente costruito e smontato, quindi riutilizzabile.

fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

SHIGERU

B A N

Approfondimento tecnologico[19]

La Paper Log House (fig. 4.1) ha una superficie al piano terra di 6x6 m. La sua struttura è stata realizzata con tubi di carta del diametro di 108 mm e dello spessore di 4 mm, posti uno accanto all'altro e collegati tra loro con nastro di spugna autoadesivo. Per un ulteriore supporto, nei tubi di cartone sono state inserite orizzontalmente delle aste di acciaio. Le pareti sono state fissate alle assi del pavimento per mezzo di picchetti di legno (fig. 4.2). La tavola di base era posta su fondamenta costituite da casse di birra e riempite con sacchi di sabbia (fig. 4.3). Il tetto è coperto da una membrana di PVC tesa su un telaio di tubi di carta.
I frontoni del tetto sono apribili per ottenere un flusso d'aria. La costruzione della "Paper Log House" è semplice e può essere gestita da non professionisti. I tubi di carta sono stati trattati con una vernice a base di poliuretano.

Nel 1995 a Kobe sono state costruite ventisette case di tronchi di carta. I rifugi sono stati costruiti anche in altre parti del mondo. Diciassette unità sono state costruite in Turchia nel 2000, venti unità a Bhuj in India nel 2001 e alcune unità a Daanbantayan nelle Filippine nel 2014. Sia la soluzione turca che quella indiana differiscono leggermente dalle case originali di Kobe. In Turchia i tubi di carta sono stati riempiti con carta straccia per migliorare l'isolamento termico. La mancanza di casse di birra in India ha fatto sì che le fondamenta fossero costruite con le macerie lasciate dalle macerie degli edifici distrutti, coperte da uno strato di pavimentazione in terra. Le volte del tetto in India sono state realizzate con stuoie di canna con un telone posto su costole di bambù. La veranda aggiunta alla casa offriva uno spazio esterno ombreggiato.

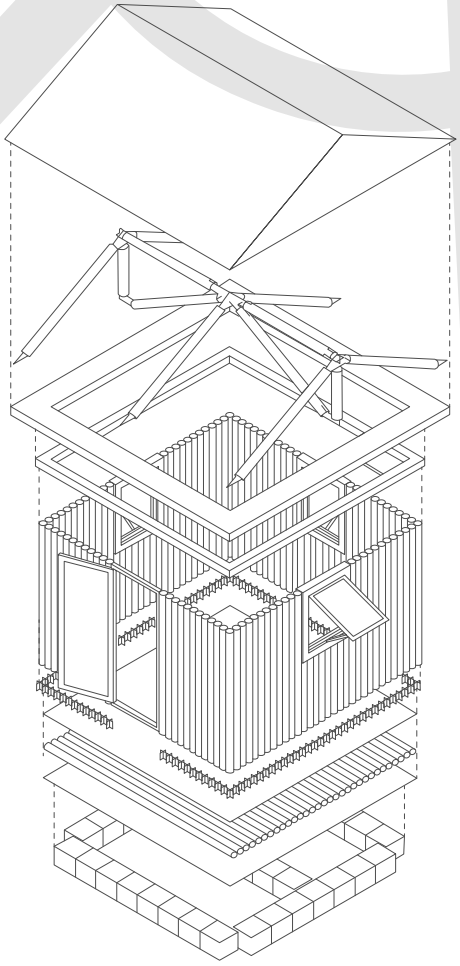
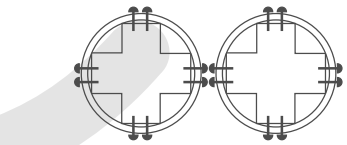


Fig. 4.1 Esploso assonometrico Paper Log House



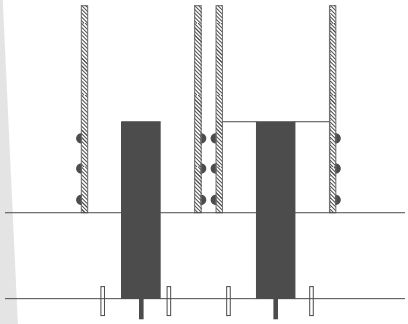


Fig. 4.2 Dettaglio collegamento a croce in legno pavimento-tubo

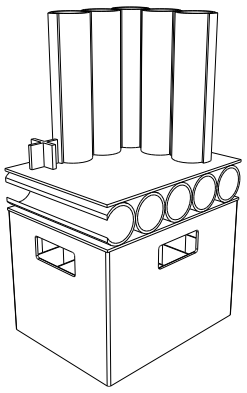


Fig. 4.3 Dettaglio fondazione

19: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

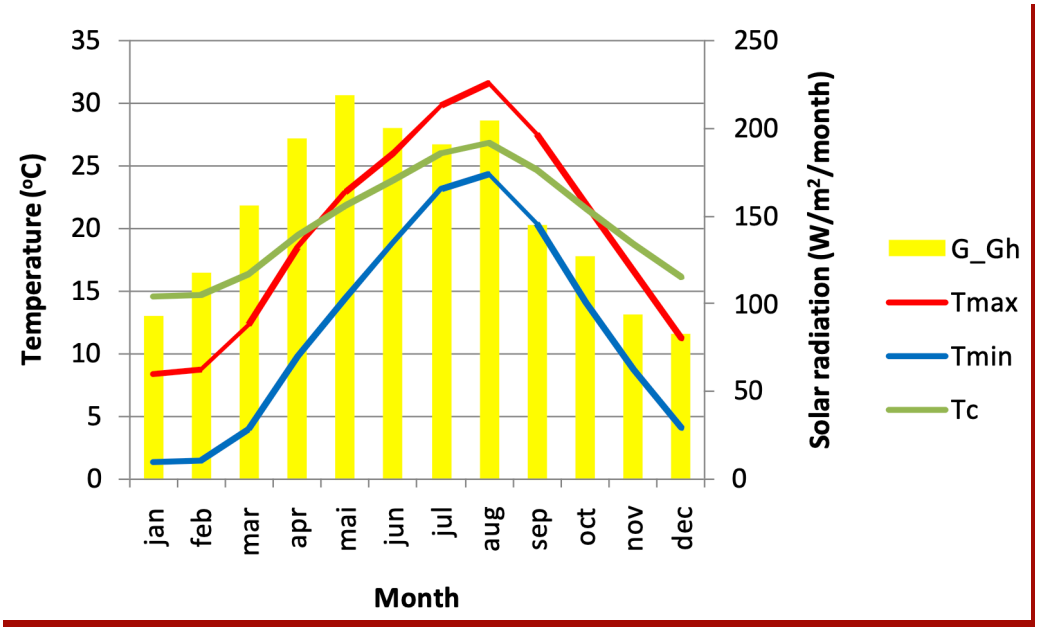
fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

fonte: https://www.researchgate.net/profile/Mirian_Vaccari2/publication/332120001_Enviromental_Assessment_of_Cardboard/links/5ca22eba299bf1116955ed9/Environmental-Assessment-of-Cardboard.pdf

Approfondimento Paper Log House[20]

Dettagli di progetto
Data di completamento: 1995 (Kobe)
Tempo di costruzione: 8 ore (prime 6 abitazioni), 1 mese (21 abitazioni) in Kobe
Costruito da: volontari - 10 volontari + un capo cantiere per abitazione (Kobe)
studenti di architettura e abitanti del luogo
Stato: in utilizzo dalla data di costruzione
Durata prevista dell'edifico: sconosciuta

Localizzazione e dati climatici:
Luogo: Kobe (Giappone)
Kaynasli (Turchia)
Bhuj (India)
Dati climatici:



Design dell'edificio
Dimensioni: 4000 mm x 4000 mm (16 m^2) - Kobe
4000 mm x 6000 mm (24 m^2) - Kaynasli
3200 mm x 4900 mm (15,68 m^2) - Bhuj

Tecnologia
Fondazione: casse di birra riempite di sabbia (Kobe, Kaynasli)
detriti di edifici demoliti (Bhuj)
Struttura/muri: tubi di cartone (diametro 100 mm, spessore 4mm, lunghezza 2 m)
Copertura: tubi di cartone (diametro 100 mm), membrana protettiva, rivestita esternamente in PVC, internamente in tessuto
Pavimento: tubi di cartone (diametro 100 mm), pannelli in legno lamellare (Kobe, Kaynasli), pavimento in terra (Bhuj)
Collegamenti: legno lamellare
Materiali aggiuntivi: carta straccia, vetroresina e fogli di plastica per l'isolamento (Kaynasli)
Vernici e rivestimenti per resistenza al fuoco e all'acqua: rivestimenti (non specificati nel documento), nastro di spugna impermeabile autoadesivo (Kobe), sigillante per telai di finestre
Servizi: non ci sono servizi (bagno, cucina) all'interno del modulo abitativo e nei documenti non ci sono tracce di un impianto elettrico

20: Environmental Assessment of Cardboard as a Building Material, Mirian Vaccari MSc in Energy Efficient and Sustainable Building September, 2008

Strategie di design

Diagnosi climatica: Nel valutare l'importanza relativa delle condizioni invernali fredde e di quelle estive calde e umide, occorre considerare i seguenti fattori:
- la protezione personale dal freddo;
- il riscaldamento può essere fornito da dispositivi semplici e relativamente poco costosi;
- la prevenzione della penetrazione del vento in un edificio in inverno può essere realizzata con semplici soluzioni progettuali (finestre e porte esterne appropriate);
- un'efficace ventilazione incrociata può essere fornita solo se la velocità del vento intorno all'edificio ha un valore minimo (circa 1 m/s) e se l'aria può fluire liberamente attraverso l'edificio dalle aperture di ingresso a quelle di uscita;
- i materiali isolanti possono ridurre notevolmente il consumo di energia per il riscaldamento. I materiali con proprietà di ritenzione del calore sono meno efficaci nel modificare le temperature interne quando si considera il comfort estivo.

Orientamento dell'edificio: l'edificio è simmetrico ed è posizionato con vari orientamenti nel sito

Posizionamento finestre: le finestre sono posizionate su tre lati, il quarto lato è occupato dalla porta. Questo sistema permette una ventilazione incrociata.

Ombreggiatura: le pareti non sono ombreggiate in quanto non ci sono sbalzi

Strategie di raffrescamento e riscaldamento: il tetto e il soffitto sono tenuti separati in estate per consentire la circolazione dell'aria e chiusi in inverno per trattenere l'aria calda

Matrice di valutazione per il progetto della decostruzione

Elemento	Materiale/ metodo	Collegati a	Opzione di fine vita	Rilevanza ambientale e spiegazione dell'opzione di fine vita più probabile e della conformità alle linee guida
Fondazione	Casse di birra riempite di sabbia	Telaio in legno laminato e pannelli in legno laminato (pavimento)	Smaltimento - discarica Riciclo naturale (sabbia) Rielaborare Riuso (casse di birra)	Le casse di birra possono essere restituite alla manifattura da cui sono state affittate
Struttura/ pareti/ struttura di copertura	Tubi di cartone con terminazioni in legno lamellare	Tubi collegati al pavimento attraverso le terminazioni in legno laminato e al tetto attraverso un telaio in legno laminato	Smaltimento - discarica Riciclo industriale (tubi) Rielaborare Riuso (pannelli di legno)	I tubi vengono rivestiti manualmente una volta all'anno. Tra i tubi è stato applicato un nastro di spugna impermeabile autoadesivo. Non sono state trovate considerazioni sui rivestimenti e sulla spugna autoadesiva per quanto riguarda il riciclaggio. I pannelli laminati possono essere riutilizzati circa cinque volte prima che il deterioramento della superficie impedisca un ulteriore utilizzo. La combustione può rilasciare gas nocivi come l'acido cianidrico dalle resine poliuretaniche.
Copertura e soffitto	Struttura del tetto di carico in tubi di cartone	Collegato alla struttura del tetto	Smaltimento - discarica Riciclo industriale (PVC) Rielaborare Riuso (pannelli di legno)	Il PVC può essere riciclato con successo, ma la sua struttura varia (a causa delle quantità e degli additivi) e la miscelazione che avviene nel riciclo comporta una diminuzione della qualità
Pavimento	Tubi di cartone posti sotto a pannelli di legno lamellare	Legno laminato in tubi (pareti) terminazioni ed elementi di collegamento	Smaltimento - discarica Riciclo industriale (tubi) Rielaborare Riuso (pannelli di legno)	Come la struttura e le pareti
Componenti riciclabili (peso): 94% **Componenti riciclabili (volume): 88%**				

fonte: Environmental Assessment of Cardboard as a Building Material, Mirian Vaccari, MSc in Energy Efficient and Sustainable Building September, 2008

Paper House

5

Anno: 1995
Luogo: Yamanakako, Giappone
Architetti: Shigeru Ban Architects

L'edificio sorge sul lago Yamanaka ed è caratterizzato da una configurazione a S composta da 110 tubi di carta che definiscono le aree interne ed esterne della casa di carta. Questo è stato il primo progetto in cui i tubi di carta sono stati autorizzati per l'uso come base strutturale in un edificio permanente. Dieci tubi di carta sostengono il carico verticale e gli ottanta tubi interni sopportano le forze laterali. I tubi di carta esterni, che circondano il cortile, sono separati dalla struttura e fungono da schermo. La zona giorno nel grande cerchio è priva di arredi o dettagli, a parte il bancone della cucina isolato, le porte scorrevoli e gli armadi mobili. Quando le ante perimetrali sono aperte, il tetto, sostenuto dal colonnato di tubi di carta, viene enfatizzato visivamente e si crea una continuità spaziale tra lo spazio della galleria circostante e la terrazza esterna.

fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

SHIGERU

Approfondimento tecnologico[21]

I confini della casa sono delimitati da un'ampia superficie del tetto di 10x10 m^2 e racchiusi da pannelli vetrati scorrevoli che sono un riferimento ai tradizionali pannelli *shoji* (tipiche pareti scorrevoli giapponesi). L'interno può essere diviso in stanze separate da pareti scorrevoli per una zona privata e uno spazio abitativo. La purezza dell'edificio è accentuata dalle linee orizzontali del tetto e del pavimento e dalle linee verticali dei tubi di carta. Nella galleria che circonda lo spazio abitativo, un tubo di carta (1.270 mm di diametro) funge da toilette e un unico tubo (280 mm di diametro) segna l'ingresso della casa. Un cerchio più piccolo, composto da 29 tubi posizionati esternamente, comprende il bagno e il giardino (fig. 5.1). Un totale di ottanta tubi di carta con un diametro esterno di 280 mm (15 mm di spessore e 2.700 mm di lunghezza) sono posizionati all'interno dell'edificio.

Dieci di questi tubi portano le forze verticali dal tetto e 80 tubi portano le sollecitazioni laterali sulla struttura causate dal vento e dai terremoti.

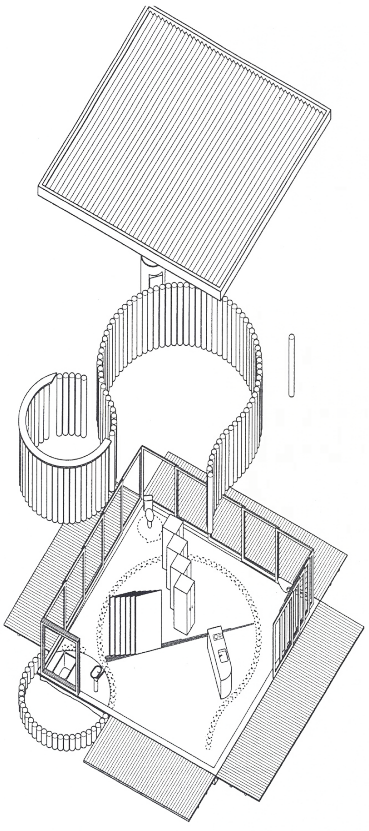


Fig. 5.1 Esploso assonometrico Paper House

Sebbene le forze siano diverse in direzione verticale e laterale, tutti i tubi di carta hanno le stesse dimensioni per preservare la purezza e l'eleganza del design. Ogni tubo è collegato, in quanto a sbalzo dal pavimento, al collegamento a croce in legno mediante dodici viti a testa cilindrica (fig. 5.2). I connettori in legno sono ancorati alla fondazione. Nell'ottobre e nel novembre 1991 sono stati condotti test preliminari su tubi di carta presso la Waseda University di Tokyo. La resistenza a breve termine dei tubi di carta è stata testata per determinare se potevano resistere alla flessione e alla compressione assiale e se erano abbastanza resistenti per un collegamento legno-carta tramite vite a tronco. Poiché anche l'umidità gioca un ruolo importante con questo tipo di materiale, è stato misurato anche il contenuto di umidità. Il contenuto medio di umidità del materiale era dell'8,8%. I test hanno mostrato che la resistenza alla flessione era di 161,3 kg/cm^2 e alla compressione di 113,9 kg/cm^2.

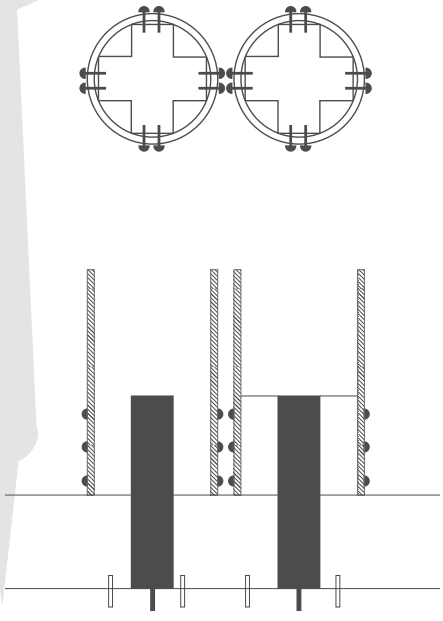


Fig. 5.2 Dettaglio collegamento a croce in legno pavimento-tubo

fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

21: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

Japan Pavillon

6

Anno: 2000
Luogo: Hannover, Germania
Architetti: Shigeru Ban Architects

Con la consulenza di Frei Otto viene realizzato il padiglione giapponese dell'Expo di Hannover: un ampio spazio voltato creato con tubi legati tra loro con nastri di tela per formare una struttura reticolare, ricoperta poi esternamente da uno strato di carta traslucida. Il tema principale dell'Expo di Hannover è stato l'ambiente e il concetto di base del Padiglione del Giappone è stato quello di creare una struttura che, una volta smantellata, producesse il minor numero possibile di rifiuti industriali. L'obiettivo era quello di riciclare o riutilizzare quasi tutti i materiali che entravano nella costruzione nell'edificio.

fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

SHIGERU

B A N

Approfondimento tecnologico[22]

La prima idea strutturale fu quella di un arco a tunnel di tubi di carta, idea che venne scartata per gli alti costi dei giunti in legno. Shigeru Ban propone in questo progetto un guscio a griglia con lunghi tubi di carta e senza giunti. L'arco del tunnel sarebbe stato lungo circa 73,8 m, largo 25 m e alto 15,9 m. Il fattore più critico era lo sforzo laterale lungo il lato lungo, così invece di un semplice arco è stato realizzato un guscio a griglia di linee curve tridimensionali con rientranze nelle direzioni di altezza e larghezza, che sono più forti per rispondere allo sforzo laterale.

Un altro obiettivo era quello di costruire il padiglione usando metodi semplici, per cui si è optato per giunzioni di tessuto o nastro metallico (fig. 6.1). Il giunto permette un movimento tridimensionale, così da consentire ai tubi di carta di ruotare per disegnare una leggera curva ad S. Il Buro Happold, che ha supervisionato la costruzione, ha proposto dei giunti metallici in cui inserire dei cavi di rinforzo in diagonale per tendere la griglia dei tubi di carta e permettere ai tubi di carta di muoversi in tre dimensioni (fig 6.2).

Per quanto riguarda la copertura, inizialmente fu proposto un rivestimento in PVC, utilizzato nelle membrane convenzionali, scartato poiché non può essere riciclato ed emette diossina quando viene bruciato. La struttura è stata quindi rivestita con una membrana di carta, prodotta appositamente in Giappone per resistere al fuoco e all'acqua. Le due pareti terminali semicircolari, avendo bisogno di una resistenza planare, sono state rinforzate con archi di legno che permettono di bloccare le estremità del guscio della griglia del tubo di carta, e tendendo i cavi a 60° gradi dalle fondamenta è stato possibile raggiungere la resistenza planare richiesta. Su questa superficie è stata attaccata una griglia di pettini di carta a forma di triangoli equilateri, a cui sono state attaccate delle feritoie per la ventilazione e la membrana di copertura. Le fondamenta sono costituite da scatole composte da un'intelaiatura in acciaio e da tavole di appoggio, che sono state riempite di sabbia per un facile riutilizzo dopo lo smontaggio.

Il padiglione Giappone segna un primato, in quanto è la struttura in cartone, mai realizzata prima, più grande del mondo.

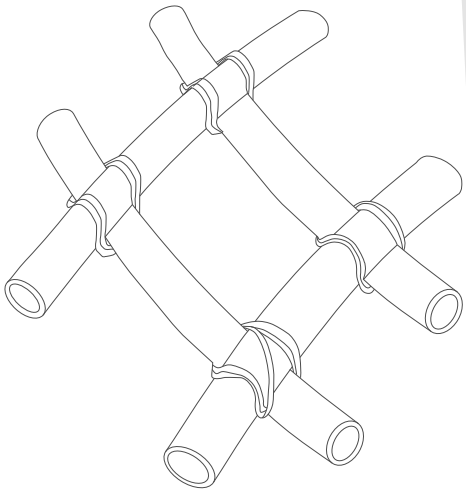


Fig. 6.1 Dettaglio collegamento tubi con fascia di tessuto

Fig. 6.2 Dettaglio collegamento tubi con cavi di rinforzo

fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

22: https://www.world-architects.com/en/shigeru-ban-architects-tokyo/project/japan-pavilion-expo-2000

Wikkelhouse

7

Anno: 2012
Luogo: Amesterdam, Olanda
Architetti: Fiction Factory

Wikkelhouse è un concetto flessibile. Protagonista è il "cartone in fibra vergine", realizzato con alberi scandinavi. Questo cosiddetto *goldboard*, viene avvolto intorno a un enorme stampo, e strato per strato viene aggiunta la colla ecologica ottenendo così il segmento profondo 1,2 m, lungo 4,6 m e alto 3,5 m. In questo modo si crea una struttura a sandwich resistente e isolante. Con questo processo di avvolgimento l'isolamento termico e di costruzione vengono integrati in modo sostenibile. Successivamente ogni segmento viene rifinito con una pellicola protettiva e rivestito infine con listelli di legno.
I singoli segmenti possono essere collegati tra loro in una casa, in uno stand fieristico, in uno *showroom* o in un ufficio tramite collegamenti invisibili. La Wikkelhouse può essere posizionata in un giorno e può essere fornita con facciate in vetro o chiusa. È un design unico e contemporaneo, che crea spazi vivibili, unici e creativi.

fonte: https://www.fictionfactory.nl/en/wikkelhouse/

FICTION FACTORY

Approfondimento tecnologico[23]

Wikkelhouse è composta da segmenti prefabbricati, ciascuno lungo 4,6 m e alto 3,5 m. Ogni segmento è largo 1,2 m, (fig. 7.1) secondo i normali standard di produzione di cartone ondulato. Ogni segmento copre un'area utile di 5 m^2. I segmenti sono prodotti avvolgendo e laminando 24 strati di cartone ondulato, tenuti in posizione da telai di legno. I telai servono come elemento strutturale chiave. Il cartone ondulato arrotolato passa attraverso diversi rulli che lo guidano ad un nastro trasportatore, dove è ricoperto di colla. Spostandosi avanti e indietro, il nastro trasportatore regola la tensione del rotolo, in base alla forma irregolare della casa.

Un sistema di frenatura determina la tenuta della carta intorno allo stampo. Il primo strato di cartone è fissato ai due telai di legno. Una volta che 24 strati sono stati avvolti intorno allo stampo, lo stampo si ripiega verso l'interno.

Successivamente, i segmenti vengono ricoperti dall'esterno con tessuto impermeabile e traspirante e rivestiti con assi di legno, che vengono avvitati ai telai laterali in legno (fig. 7.2). All'interno, il cartone ondulato è rivestito di compensato. Un segmento pesa circa 500 kg.

I segmenti sono uniti da filettature in acciaio che passano attraverso le pareti e attraverso le fessure nei telai di legno (fig. 7.3).

Le fessure sono usate anche come scarico per l'umidità derivante dall'essiccazione della colla.

Inoltre, la superficie è sigillata dove si collegano i vari segmenti.

In Wikkelhouse gli strati laminati di cartone ondulato monofacciale fungono da elemento strutturale principale. La struttura principale si basa su 24 strati di cartone ondulato laminato, che funge da pavimento, pareti e tetto della casa, tutto in uno. La struttura in legno è utilizzata principalmente per mantenere il cartone in posizione durante il processo di produzione, come elemento di collegamento e come sistema di sicurezza in caso di danneggiamento dell'anima in cartone.

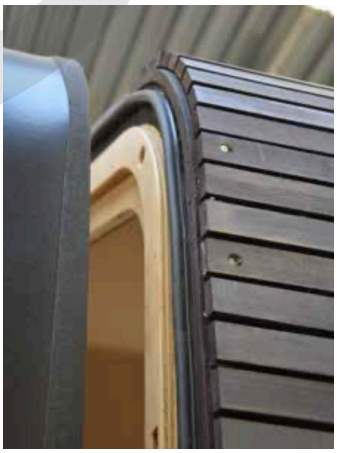


Fig. 7.2 Connessione del telaio in legno e sigillatura del cartone ondulato

Fig. 7.1 Segmento della "Wikkel House"

Fig. 7.3 Modello del pacchetto del segmento (sezione)

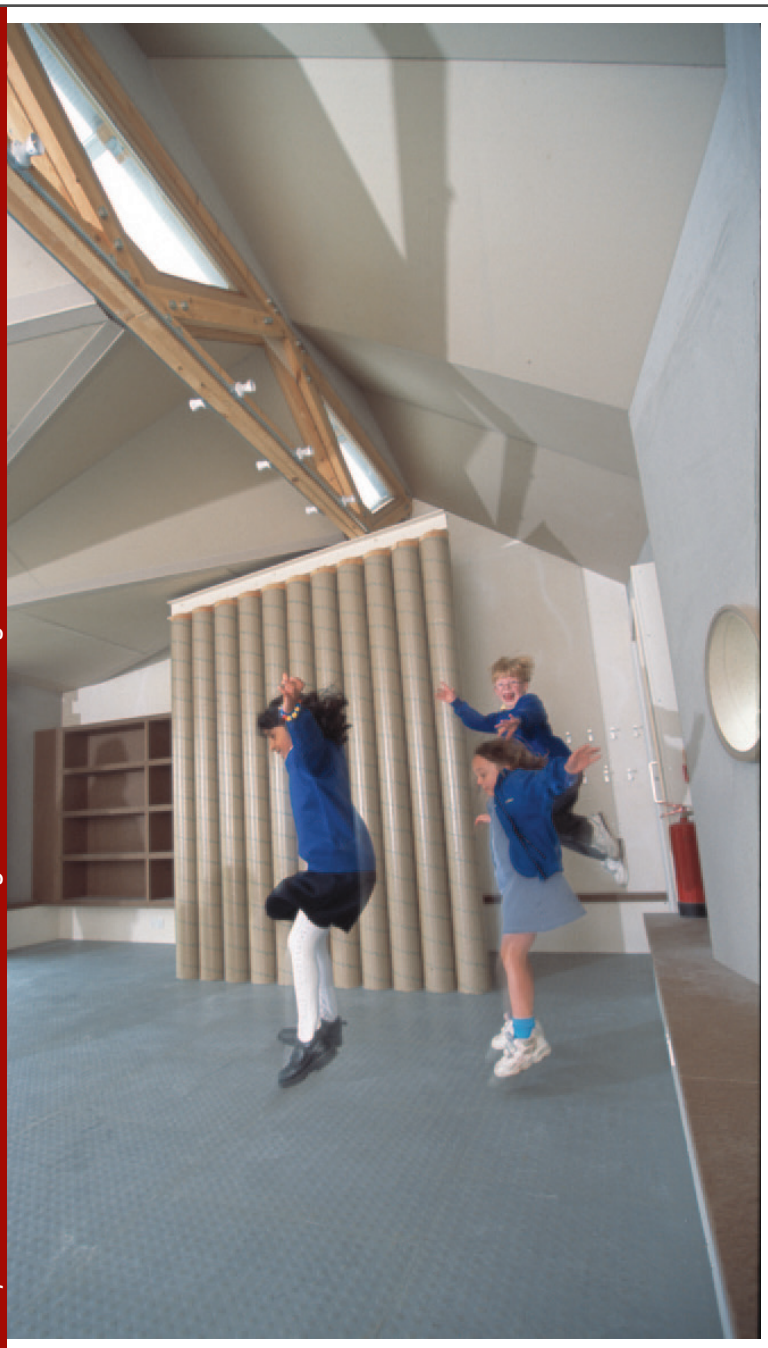
fonte: https://www.fictionfactory.nl/en/wikkelhouse/

23: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

Westborough School Club

8

COTTRELL & VERMEULEN



Anno: 2002
Luogo: Westcliff on Sea, UK
Architetti: Cottrell & Vermeulen

Il progetto consiste nella realizzazione di una scuola elementare dove gli architetti esplorano la versatilità del tubo di cartone, concentrandosi sulle prestazioni strutturali. Nel progettare Cottrell & Vermeulen hanno voluto ispirarsi agli origami, che oltre ad aver caratterizzato la composizione, sono stati posizionati in facciata come decoro.
I materiali impiegati sono per il 90% riciclati. I tubi di cartone, utilizzati sia come elementi verticali strutturali che come partizioni interne, sono stati prodotti da carta riciclata proveniente dalla raccolta del materiale cartaceo utilizzato dai bambini. I tubi sono stati poi bordati con elementi lignei per aumentare la solidità, ma anche per facilitarne l'assemblaggio.
La realizzazione si è svolta sull'arco di due anni, un anno impiegato in ricerca, sei mesi per la costruzione di prototipi e i sei mesi rimanenti per la costruzione. La natura prefabbricata degli elementi del progetto ha reso minima la produzione di rifiuti in fase di cantiere, ma soprattutto ha facilitato e velocizzato la realizzazione della scuola.

fonte: https://www.cv-arch.co.uk/westborough-cardboard-building/

Approfondimento tecnologico[24]

La struttura dell'edificio è composta da due tipi di elementi: tubi di carta e pannelli sandwich. (fig. 8.1)

La parete e i pannelli del tetto sono una composizione stratificata di quattro pannelli di cartone pieno alternati, di 4 mm di spessore ciascuno, e tre pannelli a nido d'ape a loro volta di 50 mm di spessore. Gli strati dei pannelli sono stati inseriti in un telaio di legno e laminati insieme (fig. 8.2). Per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'umidità e dal contatto con l'acqua, i pannelli sono stati rivestiti con uno strato di polietilene all'interno e con carta da costruzione impermeabile all'esterno.

Poiché il cartone è un materiale relativamente fragile, gli strati esterni della parete e dei pannelli del tetto è stato rivestito con pannelli in fibrocemento di 16 mm per evitare che vengano danneggiati dalle attività ludiche svolte all'interno dell'edificio, dalla grandine o dalla pioggia.

Le giunzioni utilizzate tra gli elementi di cartone sia nelle colonne che nei pannelli vengono realizzati con elementi in legno prefabbricati e incollati al cartone. I pannelli delle pareti e del tetto sono semplicemente collegati da telai di legno che richiedono solo poche viti per essere mantenuti in posizione. Tutte le superfici esposte sono state trattate con un trattamento antincendio per ridurre il rischio di danni.

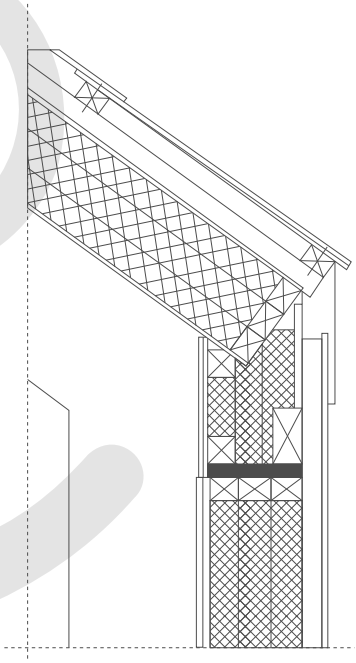


Fig. 8.2 Dettaglio tecnologico, nodo parete-copertura

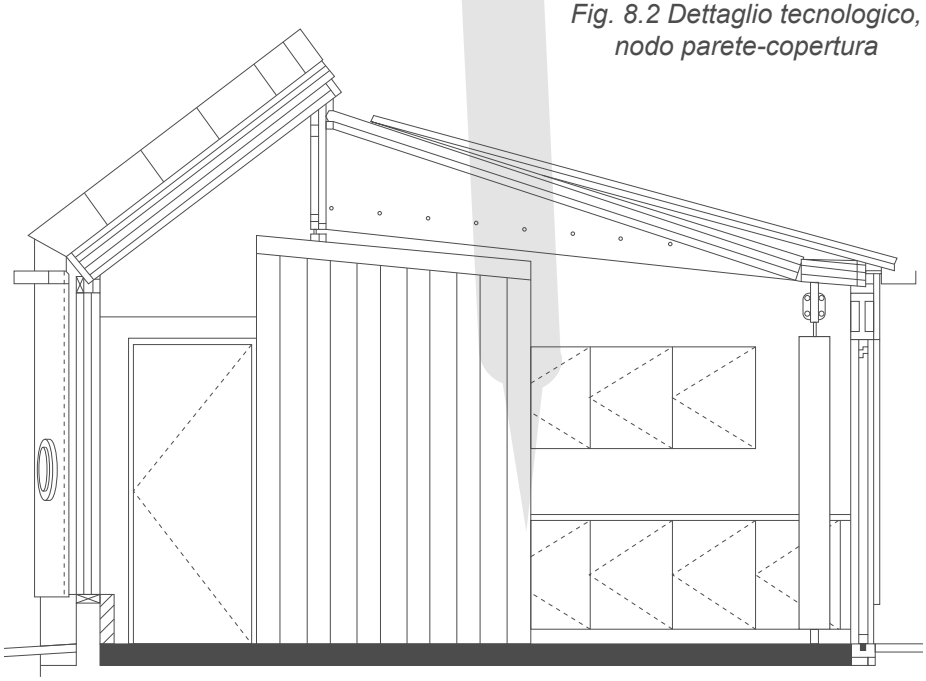


Fig. 8.1 Sezione struttura Westborough School

fonte: https://www.cv-arch.co.uk/westborough-cardboard-building/

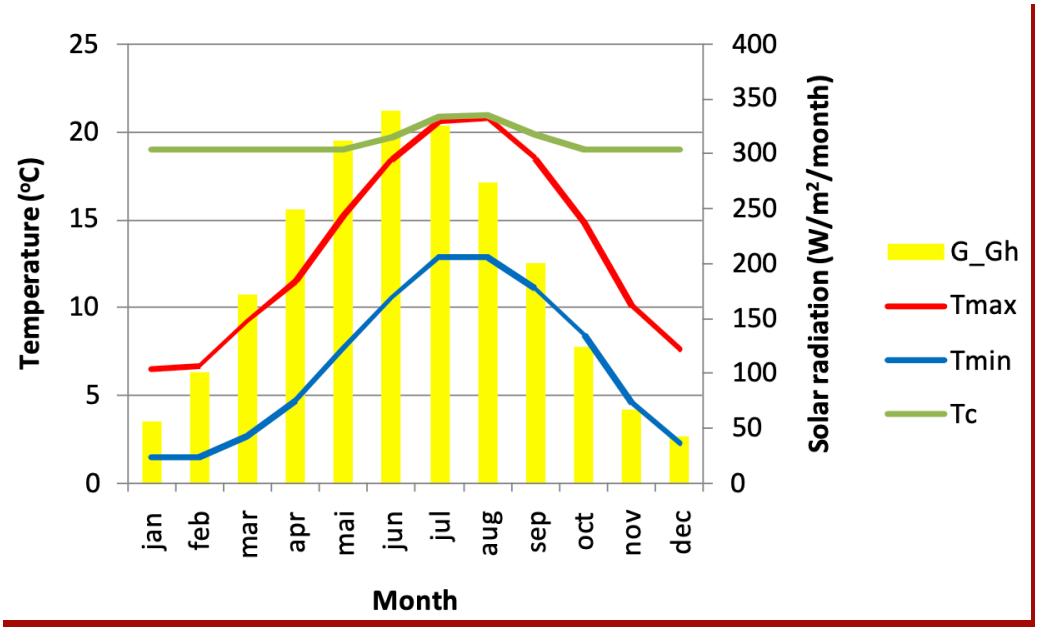
24: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

Approfondimento Westborough School Club[25]

fonte: https://www.researchgate.net/profile/Mirian_Vaccari2/publication/33212001_Enviromental_Assessment_of_Cardboard/links/5ca22eba299bf1116955ed9/Environmental-Assessment-of-Cardboard.pdf

Dettagli di progetto
Data di completamento: 2002
Tempo di costruzione: 6 mesi
Costruito da: The Franklin Building Group
Stato: in utilizzo dalla data di costruzione
Durata prevista dell'edifico: 20 anni

Localizzazione e dati climatici:
Luogo: Westcliff on Sea, United Kingdom
Dati climatici:



Design dell'edificio
Dimensioni: 15000 mm x 6000 mm (90 m^2)

Tecnologia
Fondazione: cemento
Struttura: 7 tubi di cartone (diametro 183 mm) come pilastro per sostenere la trave di legno
2 muri composti da 11 tubi di cartone (diametro 183 mm) come parte di supporto del tetto
travi di legno (luce 15 metri)
M*uri:* pannelli in fibracemento (per l'esterno), pannelli in cartone solido (sp. 6 mm)
3 pannelli (2 pannelli in cartone solido (sp. 2 mm), 1 cartone a nido d'ape (sp. 50 mm)) + barriera a vapore; dimensione pannelli: 1500 mm x 2000 mm. Valore U: 0,3 W/m^2K
Copertura: stessi panelli utilizzati per i muri
Pavimento: calcestruzzo, isolamento in celotex e pavimenti in gomma
Collegamenti: legno con viti di fissaggio
Materiali aggiuntivi: copertura del sito fino a quando la costruzione non era a tenuta stagna, alluminio (copertura), acciaio (graffette e piastre per il tetto), colla nei pannelli, pannelli (Sasmox, Miracle Board, Sundeala, Eternit, Tectan)
Vernici e rivestimenti per resistenza al fuoco e all'acqua: ignifugo (non specificato), rivestimento: miscela di fibrocemento, barriera al vapore integrata all'interno del pannello protetta dallo strato superiore, rivestimento in polietilene e ritardante d'acqua
Servizi: gli impianti di servizio e la raccolta dell'acqua piovana sono esterni alle pareti. I fissaggi per l'illuminazione sono situati sulla trave di legno

25: Environmental Assessment of Cardboard as a Building Material, Mirian Vaccari MSc in Energy Efficient and Sustainable Building September, 2008

Strategie di design

Diagnosi climatica:

Nelle regioni fredde, gli edifici vengono riscaldati continuamente per mesi durante l'inverno, quindi la preoccupazione principale è quella di ridurre al minimo le perdite di calore dall'edificio:

- l'installazione di elementi di isolamento alle pareti, al tetto e alle finestre (la massa termica ha un impatto minore sul consumo di energia per il riscaldamento, si aspettano negli edifici riscaldati da sistemi solari passivi);
- un'efficace barriera al vapore sul lato interno delle pareti esterne e l'isolamento del soffitto per prevenire la migrazione del vapore nei materiali isolanti;
- le pareti e le finestre esposte a sud possono essere utilizzate come elementi di apporto solare. Il riscaldamento solare passivo sarà principalmente sotto forma di guadagno diretto attraverso le finestre.

I problemi di comfort estivo in queste regioni sono minori rispetto ai problemi invernali e si presume che basti una buona ventilazione per garantire il comfort interno

Orientamento dell'edificio: le facciate principali sono orientate verso Sue e Nord

Posizionamento finestre: 4 piccole finestre non apribili sono posizionate a Sud e 3 esposte a Nord, porte vetrate scorrevoli sono a Nord

Ombreggiatura: le pareti dell'edificio non sono ombreggiate in quanto non ci sono sbalzi. L'edificio è ombreggiato da alberi nella facciata sud

Strategie di raffrescamento e riscaldamento: impianto di riscaldamento a pavimento e caldaia a gas

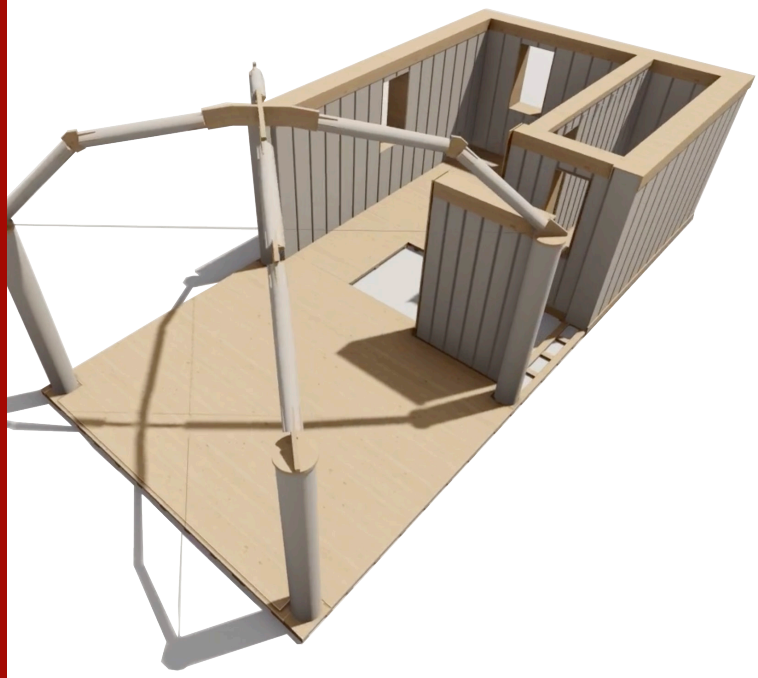
Matrice di valutazione per il progetto della decostruzione

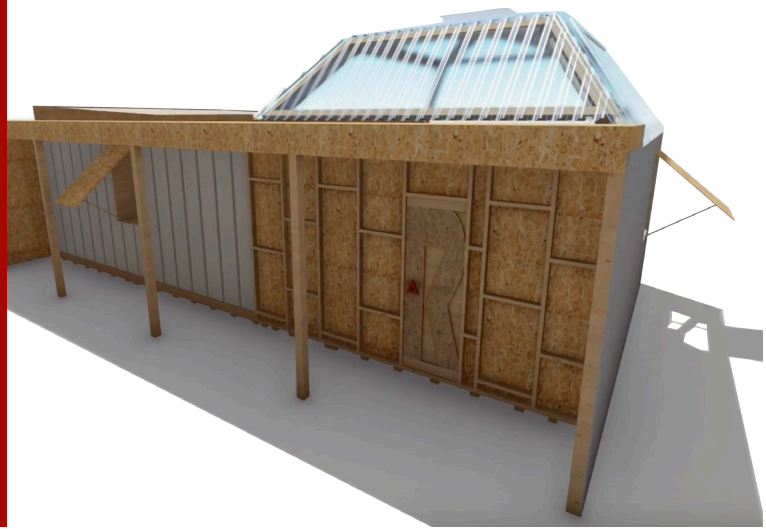
Elemento	Materiale/ metodo	Collegati a	Opzione di fine vita	Rilevanza ambientale e spiegazione dell'opzione di fine vita più probabile e della conformità alle linee guida
Fondazione	Soletta in cemento armato	Pareti, struttura e pavimento in gomma	Smaltimento - discarica Downcycle Rielaborare Riuso (nuovo edificio)	Le materie prime necessarie per il calcestruzzo sono scarse. La lastra di cemento può essere riutilizzata per un nuovo edificio se questo viene rimosso.
Struttura	Tubi di cartone e legno: legno collegato al cartone in fase di fabbricazione. Legno utilizzato per i collegamenti	Pilastri collegati al pavimento e alla trave in legno. Trave in legno collegata alla copertura	Smaltimento - discarica Riciclo industriale (tubi)/ riciclo naturale (legno) Rielaborare Riuso	Le sostanze chimiche idrorepellenti vengono rimosse nel processo di re-pulitura/riciclaggio dei tubi. Non sono state trovate considerazioni riguardo alle colle e al trattamento antincendio, anche se le colle utilizzate sono colle a base di acqua (amido o PVA)
Pareti	Componenti prefabbricati con il legno già incollato. Legno utilizzato per i collegamenti,	Pavimento e copertura	Smaltimento - discarica Riciclo industriale (tubi)/ riciclo naturale (legno) Rielaborare Riuso	Il rivestimento chimico idrorepellente e lo strato di plastica vengono rimossi nel processo di ripulitura, consentendo così il riciclaggio. All'interno e all'esterno, ci sarà uno strato superiore protettivo: superficie esterna: uno schermo antipioggia o una piastrella (pannello in policarbonato o in fibrocemento), e all'interno come bacheca per le aule (pannello morbido su cartone). Questo strato esterno potrebbe dover essere sostituito ogni pochi anni. Né il policarbonato né il cartone di fibrocemento sono riciclati o riciclabili.
Copertura	Come le pareti	Pareti e trave in legno		
Pavimento	Pavimento in gomma e isolamento in Celotex	Fondazione (soletta in cemento armato)	Smaltimento - discarica Riciclo industriale (gomma del pavimento)/ Rielaborare Riuso	I pavimenti sono riciclati e riciclabili. L'isolamento non è riciclabile.

Componenti riciclabili (peso): 7%
Componenti riciclabili (volume): 38%

Carthome

9





Anno: 2018
Luogo: Siracusa, Italia
Architetti: React Studio

L'intervento si colloca nel comune di Pachino (SR), una delle zone a massimo rischio di desertificazione d'Italia, in un'area di margine fra spazi agricoli e costruito, nei pressi della quale sorge un centro accoglienza per rifugiati. L'obiettivo principale del progetto è coinvolgere le realtà dei soccorsi umanitari che operano nell'area, innestandoli nel tessuto urbano con un sistema d'aggregazione per piccoli insiemi e, nel rispetto dell'assetto paesistico, creando una sorta di filtro tra ambiente rurale e urbanizzazione.
Il progetto prevede, quindi, un'aggregazione di moduli di unità abitative, raggruppabili in diverse modalità. A partire dalla cellula base costituita dalla singola unità, è possibile generare un tessuto complesso ma modulare. L'unità abitativa è composta da un volume interno compatto e da una pelle esterna che filtra l'impatto dell'illuminazione solare sul primo. Il volume abitativo è caratterizzato dalla suddivisione netta fra zona notte e zona giorno, fra cui è interposto un piccolo patio che ospita la vasca di raccolta delle acque meteoriche. Lo sfruttamento di sistemi si ventilazione naturale e schermature, il riutilizzo dell'acqua e l'installazione di pannelli fotovoltaici hanno reso l'abitazione energeticamente autosufficiente.

REACT STUDIO

fonte: https://www.gruppomoba.com/it/chi-siamo/progetto-carthome

ELDING OSCARSON

10

Oktavilla Contor

Anno: 2009
Luogo: Stoccolma, Svezia Architetti: Elding Oscarson

Il progetto dell'architetto concerne gli uffici della rivista Oktavilla Contor, siti in una ex azienda tessile a Stoccolma. Elding Oscarson si è occupato della ristrutturazione di uno spazio di 160 m^2. L'edifico è caratterizzato da grandi finestre che danno agli uffici ampia luminosità. La parete divisoria, che rappresenta la peculiarità del progetto, è stata realizzata con i numeri invenduti della rivista.
L'architetto ha creato un modulo formato da più giornali impilati uno sull'altro, così da formare dei pacchetti, legati tra loro da fascette. Ogni modulo è affiancato e sovrapposto sfalsato orizzontalmente. L'apertura per il passaggio è stata ottenuta grazie ad un profilo in legno, collocato precedentemente, a cui si appoggiano i moduli.
La parete divide un open space con una sala riunioni. La scelta di usare i moduli di riviste come tamponamento, oltre al fattore estetico ha anche la funzione di isolare acusticamente.

fonte: https://www.archdaily.com/46836/oktavilla-elding-oscarson

Das Papierhaus

11

Anno: 2018
Luogo: Turingia, Germania
Architetti: Eckhard Feddersen

L'idea di una casa di carta è frutto dell'architetto berlinese Eckhard Feddersen. È specializzato in edifici sociali e ospedali. Con le sue idee si è rivolto a Fiber-Trommel-GmbH, un'azienda di imballaggi della Turingia. L'amministratore delegato Peter Pelikan e i suoi colleghi hanno costruito un prototipo con 55 m^2 di superficie abitabile, distribuiti su tre stanze. Pareti, soffitti e pavimenti sono composti da diversi elementi secondo il principio modulare. Questi a loro volta sono fatti di tubi di carta a sezione rettangolare.
Le loro cavità sono riempite con fiocchi di cellulosa per l'isolamento e incollate all'esterno. La casa di carta vuole essere un'alternativa per fornire alle persone bisognose un tetto sopra la testa in modo semplice e veloce. È economica, veloce da montare e completamente riciclabile.

ECKHARD FEDDERSEN

fonte: https://www.mdr.de/einfach-genial/eg-papier-haus-100.html

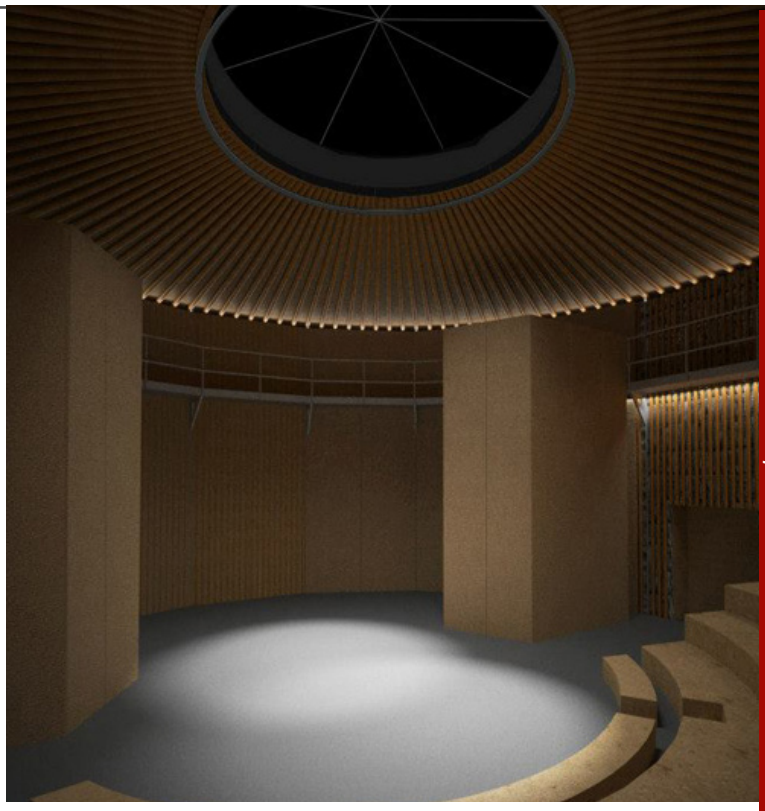
12

Recycled Paper Theater

Anno: non ancora realizzato
Luogo: Cardiff, UK
Architetti: Andrew Todd

ANDREW TODD

Lo Studio Andrew Todd costruirà a Cardiff (Galles) un teatro in carta e bambù. Le mura, spesse 60 cm, saranno realizzate con balle di carta riciclata e pressata, proveniente da giornali, riviste e carta da ufficio, mentre la struttura sarà sorretta da impalcature che 'ingabbieranno' l'edificio rendendolo più solido. La copertura sarà composta da una tenda riciclata dal materiale con cui si erigono i tendoni del circo, e si sosterrà grazie ad una cornice di bambù, mentre al centro rimarrà un oculus, da cui filtrerà la luce naturale. Il reticolato di bambù sarà visibile all'interno, aspetto che renderà il luogo caldo e accogliente.



fonte: https://inhabitat.com/studio-andrew-todd-unveils-plans-for-circular-theater-made-from-recycled-paper/

2.3 ESEMPI DI MATERIALI REALIZZATI CON IL RIUSO DELLA CARTA

Leggerezza, riciclabilità, economicità, transitorietà, naturalità, sostenibilità, curiosità, progettualità trasformazione, manualità, innovazione, temporaneità.
Tutti aggettivi che delineano l'utilizzo del materiale cellulosico che grazie alla creatività di designer, artisti e artigiani, vanno ad alimentare una sfera produttiva sostenibile, leggera che si declina in vari settori: dal *packaging* all'arredamento, dal *design for children* al *fashion design*, dall'allestimento all'architettura.
Il materiale cellulosico, carta, cartone e cartoncino, è protagonista della nostra quotidianità. Viene spesso utilizzato senza considerare che tutti i prodotti di fatto non esistono in natura, ma sono il risultato diretto dell'ingegno e dell'abilità dell'uomo.
Nel corso del tempo anche le performance dei prodotti a base cellulosica sono cambiate: materiali tradizionali favoriscono la ricerca e diventano un mezzo che porta allo sviluppo e permette di raccontare la creatività di un paese.

L'innovazione deve essere anche sostenibile: la filiera cartaria ha precocemente accettato la sfida della sostenibilità dei propri prodotti nell'intero ciclo di vita, ha progressivamente aumentato l'utilizzo del macero e ha certificato filiere e materiali. Le fibre vegetali, tramite raccolta differenziata, vengono trasformate dall'industria in un materia prima secondaria, riappropriandosi così di uno nuovo ciclo di vita.
I materiali cellulosici si prestano quindi sempre più ad essere protagonisti di innovazioni, sia nell'ambito degli imballaggi, che negli oggetti, ma soprattutto nei materiali architettonici. La trasformazione di carta in nuovi materiali, oltre al vantaggio dato dal prodotto finale ottenuto, permette di implementare l'efficienza dell'uso delle risorse e quindi favorire l'**economia circolare** (fig. 2.3.1) auspicata dalle recenti norme europee.

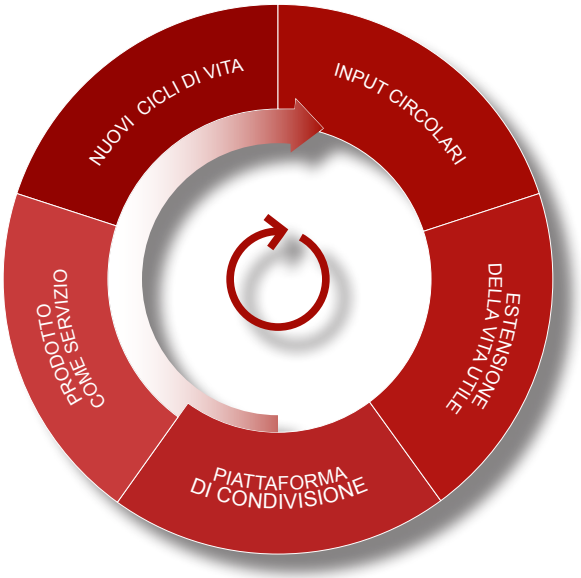


Fig. 2.3.1 La circolarità

La carta e le sue metamorfosi nella contemporaneità
La carta viene considerata oggi non più solo come una semplice sostanza ma viene valutata come il risultato di un processo evoluto di produzione: prima materia informe e pastosa; poi "manufatto", "artefatto", quindi "prodotto industriale". Si è di fronte ad un sistema complesso riguardabile sotto molteplici punti di vista. Come prodotto, dal punto di vista merceologico, gli scenari contemporanei di utilizzo sono in continua espansione.
Non in ultima istanza, la carta, oggi, è il concentrato finale di una complessa tecnologia produttiva: fabbricata, per secoli, artigianalmente, oggi è disponibile in ampia varietà di tipi e grande quantità di prodotti grazie ad un processo di meccanizzazione sempre più spinto ed innovativo che ne ha fatto un materiale dalla forte impronta industriale.

fonte: Uso Disuso Riuso, criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiale per l'edilizia

REDUCE
REUSE
RECYCLE

Pannelli carta da macero e tapioca

Anno: 2018
Luogo: Semarang, Indonesia
Tipo: Articolo su rivista

Introduzione
I materiali da costruzione in un edificio occupano fisicamente più del 90%. In conformità con le disposizioni e le normative di molti paesi, la costruzione di edifici richiede la certificazione "green" come regolamento per l'edilizia verde. Uno dei modi per rientrare nei parametri "green" è l'uso di materiali da costruzione ecologici. Pannelli per pareti in carta da macero e tapioca "Perva" può essere una alternativa possibile.
Il prodotto di scarto dei pannelli compositi è la tapioca.

Utilizzo
Questa ricerca mira a testare l'efficacia di un nuovo materiale da costruzione per pareti mai fatto prima. Ciò ha portato all'innovazione di una materia prima di facile reperibilità, mantenendo la resistenza e stabilità del muro.

Preparazione
Il primo passo è stato quello di formare un materiale che potesse essere fatto da carta e tapioca, come materie prime principali. La collaborazione di questi due materiali è stata possibile in quanto entrambi sono derivati da elementi cellulosici organici e incorporati quindi in modo adesivo.
La carta, in unità di fogli, ha un peso leggero, ma impilata, il peso risulta essere nettamente più consistente e, tra un foglio e l'altro non rimane alcuna cavità.
La forma della grana della carta è in grado di ovviare a ciò.
I granuli di carta che sono ancora intrappolati nell'aria all'interno e il granulo di carta vengono uniti in grandi quantità, consentendo così la presenza di molte cavità tra di loro.
La carta sprecata viene rimescolata manualmente diventando poltiglia e poi asciugata all'aria aperta.
In formazione aggregata, i granuli di carta vengono poi mescolati con la tapioca.
La farina di tapioca viene usata come liquido colloidale. La tapioca colloide viene cotta e portata ad ebollizione, con un fornello a gas, per un tempo di cottura totale di 15 minuti. Si mescola prestando attenzione che ogni granello di carta sia rivestito con tapioca colloidale, in quanto mezzo di incollaggio adesivo.

Fig. 1.1 Modello parete carta – tapioca

I nuovi materia li da costruzione in prova sono stati condotti sotto forma di dimensionamento 50 x 50 x 50 mm^3.

La stampa è stata effettuata manualmente basandosi sul peso umano e sull'essiccazione del riscaldamento solare rinnovabile.

Caratteristiche tecniche
Il prodotto formato (fig. 1.1), quando applicato come componente di un muro dell'edificio, avrebbe una superficie molto vulnerabile agli agenti esterni, come calore, pioggia, onde sonore, pressione e umidità dell'aria. Alcuni possono essere prevenuti, ma in generale potrebbero causare danni e persino la distruzione del materiale.
Pertanto, il materiale formato richiede una protezione superficiale per anticipare. Alcuni materiali sono in grado di collaborare con i materiali di base, tra cui cemento, intonaco di malta di cemento e sabbia, colla PVAC, emulsione di intonaco da parete.

fonte: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 213 (2018) 012040

Selezione dei materiali di rivestimento delle superfici[26]:

SURFACE COATING & SAMPLE MOCK-UP50X50X50 MM	CEMENT PASTE	MORTAR CEMENT – SAND (1 : 2)	PLAMUUR WALL WHITE CEMENT – PVAC	WALL PAINT EMULSION
A	Sticking almost full The coating is broken a little corner Strong hard	Less sticky The coating is intact Strong hard	Sticking full The coating is intact Strong hard enough	Sticking full The coating is intact Soft soft
B	Sticking full A broken middle crack coating Strong hard	Stick full The coating is broken a bit Strong hard	Sticking full The coating is intact Strong hard enough	Sticking full The coating is intact Soft soft
C	Sticking apart The coating is intact Strong hard	Stick full The coating is intact Strong hard	Sticking almost full The coating is broken corner Strong hard enough	Sticking full The coating is intact Soft soft
EXPERIMENTAL RESULT	MIXED MIDDLE PERFECT	MIXED MIDDLE PERFECT	MIXED MIDDLE PERFECT	MIXED PERFECTLY

Selezione di materiali compositi per pannelli compositi[27]:

MATERIALS & ASPEK	MORTAR PASTE CEMENT SAND (1 : 2) Thick 3 – 4 cm	LAYER CALSIUM CEMENT BOARD Thick 3 mm	LAYER GRC BOARD Glass Fibre Reinforce Concrete Thick 3 mm	PASTE PAINT ACRYLIC THIXOTROPIC (waterproof coating) Thick 0.5 mm
The level of rigidity	Hard enough	Easily broken	Hard	Soft
Power level	Strong	Strong enough	Strong	Not very strong
Level of stiffness	Very stiff	Rigid	Very stiff	Bending
Waterproof level	Dainty	Simply impermeable	Very impeccable	Simply impermeable
Sticky media	Wire netting & interlocking cement paste	PVAC Glue	PVAC Glue	PVAC on the substance
Ease of workmanship	Need special skills	Easy simple	Easy simple	Quite hard & plated
DECISION	**NOT RECOMMENDED**	**RECOMMENDED** (2)	**RECOMMENDED** (1)	**NOT RECOMMENDED**

Conclusioni

La produzione è stata effettuata manualmente con attrezzature di stampa e a mano, in quanto la realizzazione non richiedeva competenze particolari. Pertanto, l'aspetto dalla produzione alla costruzione dell'edificio può essere considerato come ecologico.
Dallo studio di tutti gli aspetti, tra cui i materiali, i processi di produzione e i produttori coinvolti fino alla fase di costruzione, sono stati classificati come ecologici e di conseguenza quindi anche il Perva Composite Panel, risultato di questa ricerca, conseguendo anche una fattibilità nell'edilizia ecologica. Il pannello composito, Perva Composite Panel, può essere utilizzato come un unico componente edilizio per sostenere la realizzazione di edifici ecologici e può essere presentato nella proposta di "Green Building Certification".

26,27: Wall Panel Of Waste Paper Tapioca 'Perva' Answering The Ecologic Building Material Challenge

fonte: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 213 (2018) 012040

Pannelli in cartone ondulato

Anno: 2013
Luogo: Bratislava, Slovacchia
Tipo: Articolo su rivista

Anima di cartone OCC

Introduzione
A causa dell'assenza di società che, oggi in Slovacchia, trattano la carta da macero di cartone ondulato in fibra e vecchi cartoni ondulati, una grande quantità di questa non viene utilizzata. Una delle possibilità è quella di produrre pannelli strutturali o termici e isolanti da questo materiale di scarto. In questo articolo vengono introdotti i metodi di produzione di vari tipi di cartone a seconda del metodo di utilizzo. I pannelli strutturali possono essere utilizzati nell'industria dell'arredamento, nella produzione di pannelli termici e isolanti adatti all'isolamento termico degli edifici o come blocchi da costruzione, ad esempio pareti divisorie. Vengono discussi due modi per utilizzare i vecchi cartoni ondulati.

Il cartone ondulato OCC viene prodotto come prodotto semilavorato della produzione di carta con l'ulteriore utilizzo come riempimento di anime in una vasta gamma di prodotti in legno per l'industria di arredamento. L'anima del cartone è costituita da sottili strisce con giunti di testa uniti in lunghezze infinita. Dopo l'equalizzazione dello spessore viene aggiunto uno strato di carta riciclata da entrambi i lati (test liner). La copertura con materiali di grande superficie e un ulteriore trattamento finale della superficie (con vernici) consente di creare pannelli da costruzione per ambienti asciutti con spessori notevolmente più elevati, tipici dell'attuale design dei mobili. Proprietà tipiche del nuovo prodotto di sviluppo sono: Densità circa 200 kg/m^3, spessore da 30 a 100 mm e larghezza 600 mm, lunghezza infinita. Come materiale di rivestimento superficiale viene utilizzata carta riciclata di circa 150 g/m^2.

Utilizzo
I pannelli isolanti per l'isolamento termico e acustico esterno ed interno sono il secondo modo per utilizzare materiale ecologico.

Preparazione
In questo progetto i pannelli isolanti sono stati preparati in quattro modi da OCC in scala da laboratorio:
1. mediante l'incollaggio di cartone ondulato a strati di fibra primaria e/o secondaria;
2. mediante l'incollaggio di un cartone ondulato a strati preparato a partire da una miscela di cartone primario e/o
fibre secondarie e/o fibre inorganiche; 3. mediante l'incollaggio di un cartone ondulato preparato con fibre inorganiche;
4. mediante la loro reciproca combinazione.

L'umidità dell'aria penetra nel legno e nei materiali di base della carta con influenza sull'ambiente interno.

La penetrazione può essere controllata nel materiale stratificato. I materiali umidi hanno una maggiore permeabilità termica. I canali longitudinali influenzano la penetrazione del vapore acqueo. La resistenza alla diffusione del pannello in legno-fibra di legno μ è nell'intervallo 1-5.
In generale, è noto che nelle nostre condizioni climatiche è importante che la costruzione di circonferenze verticali sia perfettamente penetrabile per l'umidità e quindi crei le condizioni per un clima naturale negli interni.

Le anime dei cartoni di OCC sono state prodotte in laboratorio. L'OCC è stato tagliato manualmente in strisce larghe. Lo spessore totale dell'anima è di 50 mm. Una soluzione adesiva è stata spruzzata sulle strisce su entrambi i lati. Le strisce sono state messe in uno stampo con larghezza limitata utilizzando giunti di testa. Per il rivestimento è stato usato un rivestimento testliner. (Tab. 2.1)

I pannelli di isolamento termico sono stati realizzati in laboratorio con l'incollaggio manuale di cartone ondulato a due, tre e cinque strati. È stata mantenuta la simmetria dal centro della tavola verso la sua superficie. Il numero di strati è stato selezionato per ottenere sempre lo spessore desiderato del

fonte: Wood Research_ Reuse Of Old Corrugated Cardboard In Constructional And Thermal Insulating Boards

Pannelli di isolante termico ricavato da vecchio cartone ondulato.

cartone.

Caratteristiche tecniche

Gli isolamenti a base di carta hanno un vantaggio rispetto agli isolamenti a base di legno a bassa densità. La colla viene applicata sulla superficie esterna del cartone ondulato e i pannelli ondulati, a due o tre strati, vengono collegati in modo da ottenere un pannello isolante compatto autoportante e dimensionalmente stabile dello spessore richiesto.
La resistenza a flessione ha un parametro di utilizzabilità che deve essere determinato con precisione a causa della fragile struttura del materiale. L'incollaggio di singoli strati di cartone ondulato e la loro stratificazione è la base della produzione di tali pannelli. Per produrre i pannelli è possibile utilizzare anche l'OCC o il cartone primario. La struttura del cartone ondulato è costituita da canali chiusi che forniscono le sue proprietà isolanti.

Conclusioni

Le proprietà di isolamento termico sono state valutate sulla base di un coefficiente di conducibilità termica λ.

L'uso della colla Duvilax BD- 20 e della colla UHU si è rivelato la scelta migliore. Le proprietà dei pannelli preparati sono state valutate in prove di piegatura. Il prodotto base del cartone ondulato a strati è il cartone a doppio strato.
Il cartone a triplo strato e il cartone a cinque strati sono stati utilizzati per confronto come soluzione alternativa in caso di migliori proprietà termoisolanti. Per la costruzione è importante che le superfici su entrambi i lati siano uguali.
I pannelli sono stati testati per resistenza a flessione e per conducibilità termica.
Nella prova a flessione è importante che avvenga perpendicolarmente sulla parte flettente dello strato superiore del campione. Nel caso in cui avvenga perpendicolarmente alla parte flettente della parte superiore del campione, i valori sono molto più bassi.

Proprietà dei pannelli isolanti di cartone ondulato in base all'adesivo applicato (tab 2.1):

Sample	Volumetric weight ($kg.m^{-3}$)	Board thickness (mm)	Flexural strength (MPa)	Coefficient of thermal conductivity ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	Adhesive amount per 1 m^2 (g)	Used OCC
0	98.3	18.30	0.00	0.045	0	double layer
18	101.2	18.10	1.20	0.045	55	double layer
19	104.1	18.47	1.41	0.045	80	double layer
20	105.0	17.45	1.42	0.045	100	double layer
21	106.9	17.96	1.46	0.046	122	double layer
22	110.5	18.38	1.46	0.047	144	double layer
24	163.5	18.20	2.51	0.052	100	triple layer
25	109.7	18.71	1.67	0.049	100	five layer
26	119.9	19.20	1.73	0.050	100	mixed 5-2-3-2-5

fonte: Reuse Of Old Corrugated Cardboard In Constructional And Thermal Insulating Boards

Pannelli da scarti di cartiera e cotone

Anno: 2012
Luogo: Maharashtra, India
Tipo: Articolo su rivista

Introduzione
I cascami di cotone derivano dalla lavorazione meccanica del cotone grezzo nei filatoi. Le cartiere riciclano il 30% del totale della pasta di cellulosa e della carta in India. Con l'85% di efficienza media di riciclo delle cartiere, viene prodotto annualmente circa il 15% di rifiuti. Gli scarti delle cartiere di riciclo e i cascami di cotone possono essere utilizzati per produrre mattoni dagli scarti sopracitati con aggiunta di cemento, "Waste Crete Bricks". Aiuta nella gestione dei rifiuti solidi, generando entrate aggiuntive e a guadagnare crediti di carbonio. Sono stati preparati e testati Waste Crete Bricks con un contenuto variabile di rifiuti di cotone (1-5 in peso %), rifiuti di Paper Mills Recycle Paper Mills (89-85 in peso %) e contenuto fisso di cemento Portland (10 in peso %) secondo la norma IS 3495 (Parte 1-3): standard del 1992.

Utilizzo
Produzione di mattoni più leggeri ed economici, rispetto ai mattoni classici in argilla, che possono essere usati per pareti divisorie interne.

Preparazione
Per la produzione di mattoni di dimensioni 230x105x80 mm^3 è stata utilizzata una pressa idraulica ad azionamento manuale (fig. 3.1). Sono stati preparati diversi lotti di miscela di scarti di cartiera (PW), scarti di cotone (CW) e cemento. In totale sono stati fatti sessanta campioni, ciascuno composto da percentuali variabili di PW, CW e cemento. Il set di campioni A ha l'85% di PW, 5% di CW e 10% di cemento, il set di campioni B ha l'87% di PW, 3% di CW e 10% di cemento, mentre il set di campioni C ha l'89% di PW, 1% di CW e 10% di cemento. Tutte le composizioni del campione sono state preparate con consistenza uniforme (22 ± 1%). Le informazioni dettagliate sulla composizione finale della miscela sono presentate nella tabella (tab. 3.1):

Sr No.	Sample	Cement (g)	Water (g)	CW (g)	PW (g)	Total (g)
1	A	90	2305	45	760	3200
2	B	90	2300	30	780	3200
3	C	90	2301	9	800	3200

Sample A: 85% PW + 10% Cement + 5% CW.
Sample B: 87% PW + 10% Cement + 3% CW.
Sample C: 89% PW + 10% Cement + 1% CW.

Tab. 3.1 Dettagli delle composizioni

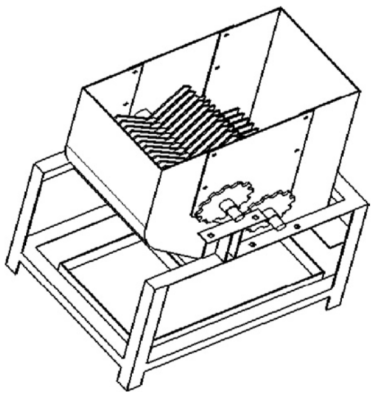


Fig. 3.1 Miscelatore

Per miscelare in modo omogeneo le diverse composizioni di PW, CW e cemento è stato utilizzato un miscelatore apposito. Il CW ottenuto dal mulino è costituito da fibre molto corte. Vengono mescolate con altre materie prime nel miscelatore così come ottenute dal mulino.
Poiché il PW e il CW sono di natura fibrosa e grumosa, le pale del miscelatore sono state progettate in modo tale da tagliare la massa di PCW ad ogni rotazione. È risultato che il PW si sparge uniformemente all'interno delle miscele, formando una impasto omogeneo con il CW e il cemento. Per ottenere un impasto omogeneo, l'acqua viene spruzzata ad intermittenza dalla pompa ad aria sugli impasti mentre il miscelatore gira. Una volta spruzzata l'acqua, si procede ad ulteriori 5 minuti di miscelazione. Successivamente, le miscele fresche vengono immesse negli stampi in acciaio (fig. 3.2).
Allo stampo vengono aggiunti quasi 3200 g del 70% di miscela. La parte superiore dello stampo presenta una perforazione uniforme

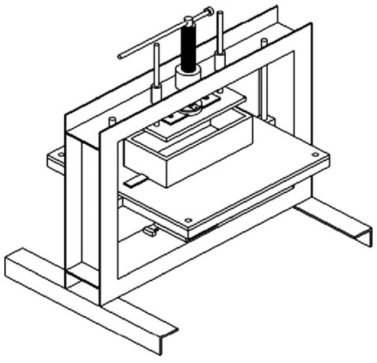


Fig. 3.2 Stampi in acciaio

fonte: Reuse of cotton and recycle paper mill waste as building material

composta da fori di 3 mm per facilitare il rilascio di umidità. La miscela viene pressata nello stampo fino a rimuovere il 25 ± 4% dell'umidità iniziale.
I mattoni vengono poi estratti e conservati per l'essiccazione al sole e all'aria fino a quando l'umidità è ridotta di un ulteriore 15 ± 3%. I mattoni semi-essiccati vengono poi ulteriormente pressati fino a quando il contenuto di umidità è ridotto del 10 ± 2% e poi conservati per l'essiccazione finale al sole e all'aria.
Al fine di preservare la levigatezza della superficie durante l'asciugatura, i mattoni vengono realizzati in due fasi. Seguendo questa procedura, sono stati preparati 60 campioni (A, B e C) ciascuno con composizione variabile di PW, CW e cemento. La tabella (tab. 3.2) mostra il bilancio dettagliato dei materiali di ogni composizione del campione.

Sample	A	B	C	Average (%)
Weight (wt) of wet PW, gm	3200	3200	3200	
Wt of dry PW, gm	760	780	800	
Wt of cement, gm	90	90	90	
Wt of cotton waste, gm	45	30	9	
Water, gm	2305	2300	2301	
Wt of wet brick after P1, gm	2738	2710	2689	
Amount of water removed by partial solar drying, gm	610	619	602	15 ± 3[a]
Wt of wet brick before P2, gm	2128	2091	2087	
Wt of wet brick after P2, gm	1926	1877	1846	
Amount of water removed during P2, gm	202	214	241	10 ± 2[a]
Wt of dry brick, gm	948	976	983	
Amount of water removed by partial solar drying, gm	935	971	946	42 ± 5[a]
Wt of dry material, gm	896	896	896	
Wt of water in brick, gm	52	80	87	8 ± 2[a]
Wt of water removed by pressing, gm	664	704	752	35 ± 5[a]
Wt of water removed by evaporation, gm	1545	1590	1548	57 ± 5[a]

[a] Values based on initial water content.

Tab. 3.2 Bilancio dei materiali

Caratteristiche tecniche
La resistenza alla compressione dei mattoni è stata determinata utilizzando la macchina per prove di compressione (CTM). Tre campioni di ogni posizione sono stati sottoposti ad una prova di resistenza a compressione e sono state registrate le resistenze medie. La prova di resistenza alla compressione, la prova di assorbimento d'acqua e l'efflorescenza sono state eseguite secondo la norma IS 3495 (Parte 1-3): 1992. Le proprietà fisiche come il peso specifico, il contenuto di umidità di vuoto e di equilibrio e la variazione dimensionale all'essiccazione sono state determinate secondo le linee guida IS 1077: 1992. La densità dei blocchi e il movimento dell'umidità per i blocchi vuoti e solidi sono stati misurati secondo la IS: 2185 (Parte 1): 1979.

Conclusioni
Vengono studiate le proprietà fisiche e meccaniche dei campioni di mattoni con PW, CW e cemento.
Le osservazioni effettuate durante le prove mostrano che i mattoni, con l'aggiunta dell'1-5% di CW e del 10% di cemento al PCW, mostrano una resistenza alla compressione di 21-23 MPa (con un ritiro del 30%) che è maggiore rispetto ai mattoni d'argilla e soddisfa le esigenze di un materiale da costruzione da utilizzare nelle applicazioni strutturali interne. Questi mattoni sotto pressione si restringono ma non mostrano improvvise fratture fragili. I test dimostrano che l'85% PW-5% CW-10% di cemento è quella ottimale.

fonte: Reuse Of Old Corrugated Cardboard In Constructional And Thermal Insulating Boards

Pannelli Honext

Anno: 2019
Luogo: Barcellona, Spagna
Tipo: Risorsa online

Introduzione
I pannelli Honext (fig. 4.1) sono realizzati con rifiuti cellulosici, a base di un materiale naturale e sempre riciclabile con eccellenti proprietà. Spiccano la lunga durata, la resilienza e la sostenibilità. Nello specifico:

Non tossico
Non emette formaldeide né altri composti organici volatili (VOC).

Isolamento acustico
Ha buone proprietà isolanti. L'indice di isolamento acustico varia a seconda dello spessore e della densità delle tavole.

Resistente all'umidità
È un materiale resistente all'umidità e al vapore acqueo.

Resistente al fuoco
La reazione al fuoco varia a seconda della densità delle tavole, dalla classe C alla classe B.

Isolamento termico
Fornisce un buon isolamento termico, a seconda della densità delle tavole.

Resistenza a compressione
Maggiore resistenza alla flessione e, allo stesso tempo, molto più leggero dei materiali utilizzati per le partizioni.

Un approccio completamente circolare

"È tempo di ripensare gli sprechi e di riconoscere il loro potenziale."

Può essere tagliato, forato e levigato. Gli utensili e i sistemi di fissaggio utilizzati per Honext sono identici a quelli utilizzati per il legno.

Utilizzo
Pannello per partizioni interne.

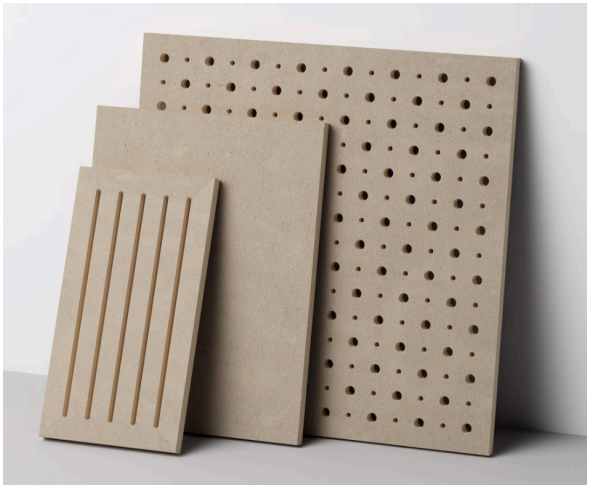


Fig. 4.1 Pannelli Honext

Produzione

1_*Standardizzazione delle materie prime*: vengono analizzati, selezionati e classificati i rifiuti in base alla loro composizione per ottenere un prodotto standard. In base alla qualità dei rifiuti, si aggiunge più fibre di cellulosa post-consumo.

2_ *Trattamento enzimatico ispirato dalla natura*: sulla base delle ricerche fatte, l'azienda ha identificato gli enzimi utilizzati per la lavorazione della cellulosa. L'aggiunta di questi enzimi nel processo permette di generare legami più forti tra le fibre di cellulosa.

fonte: https://honextmaterial.com

RETHINK WASTE

Fig. 4.2 Fase di trasformazione meccanica

3_*Trasformazione meccanica:* vengono mescolati additivi sani e atossici alle fibre di cellulosa riciclate. Una volta aggiunti, il materiale viene compresso e modellato in cartone bagnato (fig. 4.2).

4_*Essiccazione e generazione di materiale:* il cartone bagnato viene alimentato attraverso un tunnel di essiccazione. Attraverso un flusso d'aria e una temperatura elevata, l'acqua rimanente viene fatta evaporare.

5_*Riciclaggio:* quando il pannello raggiunge la sua fine vita, dopo anni di utilizzo, il ciclo può essere ripetuto. Il materiale viene reimmesso nel processo, e può essere utilizzato per generare un nuovo lotto di pannelli Honext.

Caratteristiche tecniche[28]

Pannello densità 400 kg/m3:

Spessore	1 cm
Dimensioni	12x24 cm^2
Conduttività termica	λ=0.08 W/mK
Resistenza a flessione	8 MPa
Incollaggio interno	0,2 MPa
Spessore rigonfiamento dopo immersione 24h	10%
Espansione/reazione al variare dell'umidità 30%	0%
Contenuto di umidità a 20° e 65% RH	7%
Reazione al fuoco	Classe C
Emissioni formaldeide	E0

Pannello densità 700 kg/m3:

Spessore	1 cm
Dimensioni	12x24 cm^2
Conduttività termica	λ=0.03 W/mK
Resistenza a flessione	15 MPa
Incollaggio interno	0,33 MPa
Spessore rigonfiamento dopo immersione 24h	7%
Espansione/reazione al variare dell'umidità 30%	0%
Contenuto di umidità a 20° e 65% RH	7%
Reazione al fuoco	Classe C
Emissioni formaldeide	E0

fonte: https://honextmaterial.com

28: https://honextmaterial.com/wp-content/uploads/2019/12/HONEXT-MATERIAL-SPECS-ENG.pdf

Pareti in carta

Anno: 2014
Luogo: Nottingham, UK
Tipo: Risorsa online

Introduzione
Le notevoli qualità della carta come materiale da costruzione sono ben dimostrate dalla compressione dei mobili in cartapesta stampata da Jennens & Bettridge negli anni Quaranta del XIX secolo. In questo testo viene indagata come questa tecnologia possa essere aggiornata in un momento in cui la sostenibilità è in cima all'agenda. Lo studio verte sul rivestimento della carta da macero triturata a secco con leganti solubili in acqua e poi pressata a caldo ottenendo un materiale molto resistente, chiamato "Paplam" (fig. 5.1), perché comprende una matrice di fili di carta orientati in modo casuale laminati insieme. Poiché il *paplam* è realizzato con carta asciutta piuttosto che con pasta umida, la trasformazione della carta in forme di prodotti durevoli è più veloce e pulita.
I benefici ecologici aumentano quando il materiale secondario viene utilizzato per realizzare prodotti che hanno una durata maggiore rispetto a quelli fatti di carta.

Fig. 5.1 Paplam, materiale costituito da carta triturata e da agente incollante al silicato di sodio (per resistenza al fuoco e all'acqua)

Utilizzo
Il *paplam* ha proprietà simili a quelle dell'MDF (pannello di fibra a media densità) e può essere stampato a compressione in una varietà di forme di prodotti che si trovano nell'industria del mobile e dell'automobilistica.

Produzione
Il Regno Unito ricicla circa il 64% di carta straccia, ma un foglio di carta può essere riciclato solo 5-6 volte.
Pertanto, il riciclaggio converte il 20-30% di tutta la carta riciclata in un rifiuto problematico, chiamato fango.
La produzione della carta ha anche un forte impatto sulle risorse idriche locali.

La pasta di produzione finale comprende il 99,5% di acqua e alcuni tipi di carta riciclata devono essere prima disinchiostrati.
Il *paplam* potrebbe contribuire a mitigare i costi di riciclaggio indesiderati trasformando le qualità appropriate di carta da macero in un aggregato di stampaggio. Le sue caratteristiche legnose lo rendono adatto a modellare componenti e prodotti più grandi per l'uso in ambienti interni.

Il *paplam* ha aspetti simili a quelli del truciolato, richiede infatti l'applicazione di rivestimenti superficiali per renderlo idoneo all'utilizzo da parte del consumatore. La potenziale varietà di trattamenti superficiali e di intarsi per i prodotti di carta stampata è ampiamente dimostrata dai mobili vittoriani. Il fatto che i trefoli in *paplam* siano laminati al 20% in peso con leganti idrosolubili significa che devono essere rivestiti per l'uso in zone umide, come la maggior parte dei legni artificiali. Tali rivestimenti possono essere applicati dopo lo stampaggio, oppure stampati inserendo strati pretagliati contro superfici di stampi scelti. La ricerca fino ad oggi si è limitata alla produzione di questa matrice di base in laboratorio e studierà in seguito come applicare al meglio i rivestimenti adatti.

Le resine idrosolubili sono state scelte per realizzare un materiale che può essere scomposto con relativa facilità alla fine della vita del prodotto, sia per il compostaggio che per il riciclaggio. Nonostante la sua scarsa reputazione per le emissioni, la resina urea formaldeide (UF), ampiamente utilizzata per legare i legni artificiali, si rompe rapidamente quando viene immersa in acqua. Questa rottura permette di recuperare le fibre componenti e di riutilizzarle per la produzione di altro materiale. In alternativa, un gruppo di ricerca ha diffuso rifiuti di truciolato come pacciame su terreni agricoli, ai quali l'urea viene lentamente restituita come fertilizzante. Entrambi gli approcci sono quelli che potrebbero essere applicati al *paplam*, a condizione che i rivestimenti scelti siano

fonte: https://www.iom3.org/materials-world-magazine/feature/2015/jan/01/wasting-paper

rimovibili e, idealmente, riciclabili.

Le principali resine utilizzate nel progetto di ricerca sono UF a basse emissioni, silicato di sodio, amido e nuovi adesivi di soia. Di questi, l'UF offre ancora le migliori prestazioni e la migliore lavorabilità, mentre il silicato di sodio migliora significativamente la resistenza al fuoco.

Caratteristiche tecniche

La debolezza dei fogli mostra che il materiale può essere formato solo comprimendo i fili di carta rivestiti di resina in tutte e tre le dimensioni. Poiché lo stampaggio a compressione è un processo molto più lento rispetto alla pressatura a rulli, questo non può essere un concorrente dei pannelli truciolari.

Tuttavia, la natura altamente pieghevole della carta umida fa sì che possa essere modellata in varie forme. Lo stampaggio a compressione permette anche di pressare il composto a pressioni superiori ai 4,5 MPa utilizzati per i pannelli truciolari. Questo rende possibile lo stampaggio del *paplam* in un prodotto resistente quanto i termoplastici rigidi come l'ABS (acrilonitrile butadiene stirene).

Il paplam mostra la notevole proprietà di allungarsi senza rompersi completamente dopo aver raggiunto la sua resistenza allo snervamento. I grafici prodotti dalle prove di piegatura in quattro punti mostrano le differenze registrate, tra un campione di carta e dei trucioli, preparato e modellato esattamente allo stesso modo. Il campione utilizza un filo di carta di 18-28 mm e il legno utilizza trucioli di legno dolce di 2-5 mm. I grafici mostrano come i campioni di trucioli si rompono al limite di snervamento, ma i campioni di *paplam* si deformano senza rompersi.
Queste differenze contribuiscono a spiegare la maggiore durezza del *paplam* poiché comprende una matrice di filamenti lamellari concatenati, non ha venature e meno vuoti attraverso i quali possono propagarsi le fratture.
I campioni prodotti da trefoli più lunghi hanno circa il 30-45% di modulo di flessione migliore e una migliore resistenza a flessione.

I trefoli lunghi hanno un'area di contatto più ampia fornendo una forza migliore di legame.

La durezza e la resistenza alla flessione del rendono il *paplam* molto adatto ai prodotti nel settore edile, come pannelli per pavimenti e pareti. La scelta del materiale cartaceo rappresenta una fase importante. Finora, è stata usata la carta per ufficio in quanto l'utilizzo di questo tipo di carta evita una costosa fase di produzione. Tuttavia, la carta da ufficio è un materiale di scarto di qualità superiore e si stanno studiando anche tipi meno pregiati.

Conclusioni

La carta è un materiale indispensabile, ma ciò non significa che debba essere sempre riciclata a tutti i costi. La forza e la resistenza di questo nuovo materiale potrebbe rendere la carta un concorrente non solo di molti legnami forestali, ma anche di alcuni termoplastici. Concludendo, le proprietà uniche del *paplam* potrebbero aggiungere valore ai prodotti fabbricati, oltre ad alleviare i problemi ambientali che i materiali concorrenti non hanno.[29]

fonte: https://www.iom3.org/materials-world-magazine/feature/2015/jan/01/wasting-paper

29: Wasting paper? Research by Dr. Anthony Crabbe and Dr. Anton Ianakiev of Nottingham Trent University, UK

Papercrete

Anno: 2018
Luogo: Gujarat, India
Tipo: Tesi di ricerca

Introduzione
Il *papercrete* (fig. 6.1), conosciuto anche come cartacemento, è un composto formato da carta, sabbia e cemento.
Per ottenere l'impasto, è necessario mischiare insieme i componenti aggiungendo acqua, fino ad ottenere un impasto fluido, per poi versare il tutto in appositi stampi per formare dei blocchi, dove poi il *papercrete* verrà lasciato ad asciugare.
Una volta seccato il *papercrete* è un materiale leggero (l'80% dell'impasto è costituito da aria) con un ottimo potere isolante (R=0,8 m2K/w per centimetro di spessore), conserva la sua forma anche se bagnato ha una resistenza a compressione di circa 20 kg/cm^2. Il *papercrete* viene considerato un'alternativa ai tradizionali materiali da costruzione soprattutto per il basso costo dei materiali che lo compongono, fatta eccezione per il cemento.
Viene brevettato nel 1928 ma non viene utilizzato fino al 1983, in quanto era un materiale troppo economico e semplice da realizzare per entrare in commercio ed essere quindi fonte di profitto.

Fig. 6.1 Mattone di papercrete

Utilizzo
Il *papercrete* è un materiale da costruzione sperimentale, sostenibile grazie al ridotto utilizzo di cemento e all'utilizzo di carta riciclata che sostituisce una certa porzione di cemento, nella miscela classica del calcestruzzo.
Ha numerosi vantaggi nel campo delle costruzioni, in particolare per le basse emissioni di gas serra (*carbon footprint* [30]), l'utilizzo di materiale riciclato, la bassa energia incorporata, l'alto rapporto resistenza/peso, l'alto isolamento termico, l'alto assorbimento acustico, l'estetica e il rapporto costo-efficacia.

Produzione
I principali materiali utilizzati per la preparazione della miscela di carta e calcestruzzo sono carta da macero (carta di giornale), cemento Portland OPC-53, sabbia, acqua potabile e terra.
In questa ricerca [n] vengono sperimentate quattro miscele differenti.

- 50% di pasta di carta bagnata/ 30% di terra umida/ 10% di sabbia asciutta/ 10% di cemento Portland;

- 60% di pasta di carta bagnata/ 20% di terra umida/ 15% di sabbia asciutta/ 15% di cemento Portland;

- 65% di pasta di carta bagnata/ 25% di terra umida/ 10% di cemento Portland;

- 70% polpa di carta bagnata / 15% terra umida / 15% cemento Portland.

Le fasi principali per la preparazione dei blocchi:
- viene utilizzato un setaccio per rimuovere tutto l'aggregato grossolano dalla sabbia e dal terreno;
- il giornale triturato viene bagnato in acqua nella vasca di polimerizzazione e una macchina a motore, battipasta, viene utilizzata per ottenere la pasta di carta bagnata;
- il terreno, la sabbia, la polpa e il cemento vengono mescolati in una massa più uniforme e consistente con l'aiuto di una betoniera. La macchina miscelatrice lavora per circa 3 o 4 minuti per ottenere il calcestruzzo cartaceo;
- gli stampi in legno vengono ingrassati con olio bruciato (in alternativa nastro adesivo sugli stampi) per aiutare a liberare i blocchi, una volta asciugati;
- la miscela di *papercrete* viene poi versata negli stampi e compattata, tramite vibrazione vengono rimossi i vuoti per ottenere una maggiore densità, con risultato finale un prodotto più forte e più duraturo.

30: La carbon footprint è una misura che esprime in CO_2 equivalente il totale delle emissioni di gas ad effetto serra associate direttamente o indirettamente ad un prodotto, un'organizzazione o un servizio.

fonte: Research Gate_Paper Crete: A Sustainable Building Material

- la miscela viene poi livellata per ottenere dimensioni e finiture soddisfacenti;
- dopo 40 ore, il cartacemento raggiunge una resistenza sufficiente.

I blocchi, una volta tolti dai casseri, vengono lasciati liberi per un ulteriore aumento della resistenza e per sviluppare capacità di carico.

Caratteristiche tecniche

Resistenza a compressione: le prove di resistenza a compressione (su cubi di *papercrete* di 15 cm x 15 cm x 15 cm) hanno rivelato una resistenza media a compressione di 0,57 N/mm^2 dopo 3 giorni di preparazione del cubo.

Peso e densità: la densità del materiale aumenta con l'aumento della percentuale di cemento nell'impasto e si riduce con l'aumento della quantità di carta nell'impasto. Il peso medio di 8 cubi è si 3,624 kg, quindi la densità del blocco è di circa 1,07 gm/cc. Risultato che conferma la leggerezza del *papercrete* rispetto alle unità di muratura standard in calcestruzzo o mattoni.

Ritiro: il restringimento misurato è tra l'8-9% in ogni blocco.

Assorbimento d'acqua: l'assorbimento d'acqua dei blocchi è di circa il 30%

Tempo di asciugatura: sono necessarie almeno 40 ore per l'asciugatura del *papercrete* prima che possa essere tolto dagli stampi. Infine dovrebbe essere asciugato al sole per 4 giorni prima dell'uso per una migliore resistenza. Oppure può essere messo in forno a circa 70 °C (una temperatura più alta può portare alla segregazione del materiale) per 40 ore dopo la colata.

Il *papercrete* può essere prodotto sfruttando l'energia solare. L'unica energia necessaria è quella per la miscelazione. È un materiale molto leggero e ha notevoli qualità isolanti, sia termiche che acustiche.
Può essere facilmente modellato una volta indurito ed essiccato. Il vantaggio più importante del *papercrete* è la riduzione del cemento nell'impasto. La *carbon footprint* è molto bassa durante la produzione, si tratta quindi di un materiale ecologico e leggero.

Conclusioni

Il materiale ha alcuni limiti nella sua applicazione.
Il *papercrete* è un materiale fragile. Si espande e si contrae frequentemente portando a crepe, rigonfiamenti e deformazioni e ha una resistenza alla trazione molto bassa. È difficile esercitare un controllo di qualità dei lotti di miscela e ottenere una superficie liscia. Vi è anche un importante problema di stabilità dimensionale. Non è impermeabile e ignifugo e questo non è auspicabile per le applicazioni edilizie. La produzione di unità di calcestruzzo cartaceo utilizza un grande quantitativo d'acqua. La durabilità è un altro importante problema dovuto alla tendenza della carta a degradarsi a causa dell'azione termica, biologica e chimica.

fonte: Research Gate_Paper Crete: A Sustainable Building Material

fonte: Paper Crete: A Sustainable Building Material, Jil Tushar Sheth, Saransh Joshi_CEPT University, Ahmedabad,

Aerogel da carta riciclata

Anno: 2019
Luogo: Singapore, Singapore
Tipo: Articolo

Introduzione
Le fibre di cellulosa vengono ricavate da cartone riciclato, carta e altri materiali simili, provenienti da raccolta differenziata. I rifiuti di carta raccolti richiedono poi un trattamento per rimuovere contaminanti, come inchiostro e sporcizia, attraverso tecniche di filtrazione o di separazione meccanica.
In questo articolo[31], si parla di *aerogel* (fig. 7.1) di cellulosa che spicca perché ecologico, economico, facile da installare e da maneggiare, e molto stabile in condizioni ambientali. Gli isolanti in *aerogel* sono quattro volte più efficienti delle fibre di vetro, più economici e rappresentano la scelta più ovvia per la maggior parte delle applicazioni di isolamento.
Il trasferimento di calore nei materiali porosi, come gli *aerogel*, si basa su tre processi:
- conduzione del calore nella fase solida;
- convezione del calore attraverso la fase gassosa presente nella struttura porosa dell'*aerogel*;
- radiazione di calore.

Gli *aerogel* possono migliorare le prestazioni di isolamento termico perché sono altamente porosi con una struttura a pori piccoli e, di conseguenza, una densità molto bassa.
Gli *aerogel* di cellulosa riciclata hanno una conducibilità termica molto bassa di 0,032 Wm-1K-1, paragonabile ad altri buoni isolanti termici come il cotone (0,04 Wm-1K-1) e la lana di pecora (0,039 Wm-1K-1).
Inoltre, possono essere dotati di proprietà idrofobiche grazie al rivestimento con trimetossimetilsilano (MTMS) a 70°C per 2- 4 ore.
Il materiale opaco che ne risulta è altamente poroso, 98,2% di aria, è flessibile e abbastanza resistente.

Utilizzo
Il materiale potrebbe trovare applicazione come isolante per pareti in edifici.
Oltre a mantenere il calore contenuto all'interno della struttura, resisterebbe all'accumulo di umidità, aggiungerebbe resistenza alle pareti e occuperebbe meno spazio rispetto agli isolanti tradizionali, come la lana di vetro. Potrebbe anche essere usato come una forma di imballaggio protettivo, o in spugne medicali per le ferite.

Produzione
Per realizzare un campione di 1 cm di *aerogel*, cellulosa 1,0 peso %, la quantità di miscela deve raggiungere uno spessore di circa 1,5 cm per far fronte al ritiro, alla perdita d'acqua e compensare l'affondamento delle fibre di cellulosa sul fondo dello stampo durante il congelamento.
Vengono utilizzati 1,2 litri d'acqua deionizzata e 12 g di fibre di cellulosa.
Il reagente della miscela viene mescolato accuratamente e posto in un processore ad ultrasuoni per 15 minuti a 200 W. Il processore ad ultrasuoni disperde le fibre di cellulosa in modo uniforme nella soluzione. La sospensione ottenuta viene lasciata raffreddare a temperatura ambiente grazie ad un bagno d'acqua. Dopo di che, il reticolante di Kymene (2,4 g di Kymene diluito con 6 ml di acqua deionizzata) viene aggiunto alla miscela e sonicato per altri 15 min. Dopo il processo di sonicazione completato, il campione della miscela viene versato nello stampo e messo in congelatore per una notte. Successivamente il campione viene messo nel liofilizzatore ad una temperatura di -90◦C. Dopo la liofilizzazione, il campione viene messo in forno per 3 ore a 120°C.
Dopo il processo di indurimento, i campioni di aerogel di cellulosa vengono messi in una scatola a tenuta d'aria contenente il prodotto chimico metiltrimetossisilano in forno a 80°C per un giorno. La resina chimica Kymene 557H wet strength viene aggiunta per migliorare la resistenza del materiale facilitando la formazione di reticolazione tra le fibre della carta. La sostanza chimica contiene gruppi di ammonio quaternario che si assorbono sulle fibre di carta caricate negativamente e continuano a formare reticolazioni tra di loro.

Fig. 7.1 Aerogel da carta riciclata

fonte: https://gizmodo.com/scientists-can-make-aerogel-from-waste-paper-1758220500

fonte: https://www.researchgate.net/publication/335914262_Recycled_Cellulose_Aerogels_from_Paper_Waste_for_a_Heat_Insulation_Design_of_Canteen_Bottles

Le molecole del polimero reticolano, formando una rete di cellulosa che fornisce forza durante il processo di gelificazione.
I prodotti a base di polimene *wet-strength*[32] possono anche rafforzare i legami esistenti tra fibra e fibra, che aumentano ulteriormente la forza dell'aerogel di cellulosa. Pertanto, la resistenza del materiale continua ad aumentare anche dopo il completamento del campione di aerogel.
Il microscopio elettronico a scansione (SEM) conferma che il campione ha una rete altamente porosa di fibre uniformi di circa 8μm di diametro. Ciò implica che le fibre di cellulosa sono legate in modo uniforme tramite legame con l'idrogeno e legame covalente per formare una rete porosa 3D.

I pori nell'aerogel di cellulosa hanno una dimensione nell'intervallo 40-200 μm e un'alta porosità di oltre il 95%.
I valori sono inferiori rispetto all'aerogel di cellulosa fatto da fibre di nano cellulosa, probabilmente a causa della struttura microporosa dell'aerogel di cellulosa riciclata rispetto alla rete non porosa dell'aerogel di nanocellulosa o dell'aerogel di cellulosa batterica.

Caratteristiche tecniche
Gli *aerogel* sono materiali porosi e leggeri, tradizionalmente realizzati in gel di silice. Sono sintetizzati sostituendo il liquido all'interno del gel con il gas. Gli *aerogel* di silice sono di solito trasparenti con bassa densità e bassa conducibilità termica.

Conclusioni
Oltre agli *aerogel* idrofobici, il team NUS (National University of Singapore) ha reso gli *aerogel* idrofili, non rivestiti con MTMS, per assorbire i fluidi polari come acqua e alcool. Questi potrebbero essere usati per creare pannolini biodegradabili e salviette igieniche. Infondendo l'*aerogel* di cellulosa con una soluzione di nanoparticelle metalliche i ricercatori sono stati anche in grado di creare film sottili magnetici con capacità di peso di 30 tonnellate per metro quadrato.

"La sostituzione di materiali sorbenti convenzionali con l'*aerogel* è considerata una concreta alternativa per la biodegradabilità e l'elevata capacità di assorbimento del materiale.
Le proprietà idrorepellente permettono loro di essere adattabili sia al clima secco che a quello piovoso e la loro struttura rimane stabile per circa sei mesi in clima tropicale. Essendo estremamente forti, aumentano la resistenza dell'edificio. Inoltre, questi aerogel sono leggeri e sottili, con il risultato di pareti più sottili, aumentando così lo spazio edificabile."[33]

fonte: https://www.researchgate.net/publication/335914262_Recycled_Cellulose_Aerogels_from_Paper_Waste_for_a_Heat_Insulation_Design_of_Canteen_Bottles

31: https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/11468/Paper-Waste-Transformed-into-Cellulose-Aerogel.aspx
32: Gli additivi a base di kymene wet-strength comprendono una famiglia di prodotti che hanno dimostrato di migliorare significativamente la resistenza all'umidità della carta.
33: https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/11468/Paper-Waste-Transformed-into-Cellulose-Aerogel.aspx

Mattone in carta

Anno: 2018
Luogo: Andhra Pradesh, India
Tipo: Articolo

Introduzione
Secondo i dati dell'Open Government Data (OGD) per le baraccopoli, il mattone costituisce il 53% di tutti i materiali predominanti utilizzati per la costruzione di muri nell'Andhra Pradesh, il che lo rende il bene principale nella costruzione di abitazioni per i meno abbienti nelle città e nelle aree urbane.

Alcuni dei materiali maggiormente disponibili come rifiuti nelle aree urbane sono le bottiglie di carta e di PET. Se utilizzati per la costruzione di abitazioni, questi materiali possono ridurre drasticamente i costi e salvare l'ambiente dall'inquinamento urbano. L'impiego analizzato in questo articolo è come potenziale materiale da costruzione per la costruzione di edifici a basso costo. Con questo orientamento, è stato condotto un approccio per affrontare le questioni e le sfide legate all'uso di bottiglie di carta e plastica come materiale utilizzato per la costruzione di muri.

La produzione globale di carta è di circa 407 milioni di tonnellate nel 2014, di cui il 47% proviene dai paesi asiatici. Circa il 45% della carta viene sprecata e finisce nella spazzatura. Inoltre, circa il 50% dei rifiuti prodotti dalle aziende è costituito da carta. Ogni anno la carta rappresenta il 25% dei rifiuti delle discariche e il 33% dei rifiuti urbani. L'attuale recupero e utilizzo della carta da macero da parte delle cartiere in India è di circa 3,0 milioni di tonnellate all'anno, il che si traduce in un recupero del 27% del totale della carta e del cartone consumati, che è troppo poco se confrontato con i tassi di recupero nei paesi sviluppati come la Germania (73%), la Svezia (69%), il Giappone (60%), l'Europa occidentale (56%), gli Stati Uniti (49%) e l'Italia (45%).
Oltre a causare la deforestazione, la carta influisce sull'ambiente attraverso l'inquinamento. La carta è la terza causa di inquinamento dell'aria nel mondo industriale. La produzione della carta comporta l'uso di candeggine a base di cloro, coloranti, vernici. Questi materiali tossici sono difficili da degradare, cioè non possono essere degradati dai batteri. Ciò comporta la contaminazione sia dell'acqua che del suolo.

Riciclando una tonnellata di carta si possono risparmiare fino a 17 alberi e circa 26.500 litri d'acqua[6]. Per questo motivo, è fortemente raccomandato il riutilizzo della carta da macero in modo sicuro, rispettoso dell'ambiente ed economico come materiale da costruzione per i poveri della città.

Utilizzo
Materiale da costruzione.

Produzione
I materiali impiegati per i mattoni di carta (fig. 8.1) oltre alla carta da macero sono cemento Portland e bottiglie in PET (polietilentereftalato).
1.La carta da macero viene sminuzzata in piccoli pezzi di carta;
2. La carta triturata (carta straccia) viene immersa in acqua e tagliata in piccoli pezzi;
3. Questi pezzi sono convertiti in granuli e vengono mescolati con la boiacca di cemento Portland in proporzione 8:2
del rapporto carta-cemento rispettivamente;
4. La miscela preparata viene versata in uno stampo di compensato di dimensioni
20 cm x 10 cm x 10 cm;
5. La miscela, una volta versata nello stampo, viene lasciata indurire per 24 ore.

Una volta pronto il mattone viene sottoposto a varie prove.

Caratteristiche tecniche
La resistenza del mattone sviluppato è calcolata mediante test di assorbimento e prova di compressione e prova di resistenza al fuoco con compressore, serbatoio dell'acqua e forno elettrico.

1) *Test di assorbimento*
Il test di assorbimento dell'acqua è stato condotto sul mattone di carta per trovare l'assorbimento d'acqua del materiale. Il peso a secco del mattone di carta è stato annotato come 1,601 kg (W1), il mattone di carta è stato lasciato in acqua per 24 ore per l'assorbimento dell'acqua. Dopo 24 ore il mattone di carta è stato estratto e l'acqua in

fonte: Low Cost Paper Brick For Financially Marginalized Section Of Urban Poor

fonte: https://www.researchgate.net/publication/326697555_PAPER_BRICK

RESEARCH GATE

Fig. 8.1 Campione del mattone di carta

eccesso è stata drenata e pesata e registrata come 2,156 kg (W2). L'assorbimento d'acqua è calcolato con la seguente equazione:

$$[(W_2-W_1)/(W_2)]*100$$

Risultato: L'assorbimento d'acqua è stato registrato al 34,6%.

2) *Test di compressione*
La prova di resistenza a compressione sui mattoni è stata effettuata per determinare la capacità di carico sotto compressione. Questa prova è stata effettuata con l'aiuto di una macchina per prove di compressione.
Questa prova è stata effettuata con l'aiuto di una macchina per prove di compressione. Si è osservato che il campione è stato in grado di sopportare un carico di 500 kg di carico di compressione.

3) *Test di resistenza al fuoco*
Il campione è stato realizzato per essere sottoposto alla prova di resistenza al fuoco in un forno elettrico ad una temperatura di 150 °C . Dopo 4 ore di riscaldamento lo stato fisico del mattone si è mostrato essere buono, senza alcuna deformazione, verificando così la sua resistenza al fuoco.

Conclusioni
La ricerca ha dimostrato che il mattone realizzato può essere una valida alternativa al mattone tradizionale I risultati sperimentali mostrano che c'è un ampio margine per lo sviluppo di materiali da costruzione alternativi ed economici.

fonte: Low Cost Paper Brick For Financially Marginalized Section Of Urban Poor

fonte: https://www.researchgate.net/publication/326697555_PAPER_BRICK

Mattone da Papercrete

Anno: 2017
Luogo: Bhopal, India
Tipo: Articolo

Introduzione

L'obiettivo principale del seguente progetto è quello di indagare sulla possibilità di sostituire i mattoni da costruzione convenzionali con un mattone da costruzione innovativo e alternativo, che soddisfi le seguenti caratteristiche:
- richiesta di mercato;
- convenienza;
- rispetto dell'ambiente;
- leggerezza;
- resistenza al fuoco;
- facilmente producibile.

T. Subramani ha condotto un'indagine sperimentale sul *papercrete* (pag. 122), e ha concluso che l'uso di rifiuti cartacei per la produzione di un mattone composito a basso costo e leggero si presta come materiale da costruzione. L'indagine condotta ha investigato l'ottimizzazione della miscela per i mattoni di *papercrete* in funzione della resistenza alla compressione, del peso unitario e dell'assorbimento d'acqua.
Il cemento (tab. 9.1)[34], in campo edilizio, è continuamente utilizzato, sebbene sia sempre più attuale l'esigenza di un ambiente ecologico, e per avvicinarsi a questo obiettivo si stanno sempre più sviluppando idee innovative per minimizzare l'utilizzo di materiali fortemente inquinanti. Il *papercrete* infatti è un materiale composito innovativo realizzato con carta da macero, la quale è un parziale sostitutivo del cemento Portland. Infatti questo prodotto non solo riduce la quantità di cemento, ma rende anche i materiali da costruzione ecologici.
La raccolta dei materiali è il passo fondamentale e costituisce il punto cardine di ogni progetto.

Tab. 9.1 Componenti del cemento

Property			
SiO_2 content (%)	21.9	CaO content (%)	63
Al_2O_3 content (%	6.9	MgO content (%)	2.5
Fe_2O_3 content (%)	3	SO_3 content (%)	1.7

Utilizzo

I materiali di scarto sono stati utilizzati per produrre mattoni da costruzione.

Produzione

Come la produzione del *papercrete (pag. 122).*

Caratteristiche tecniche

Dopo aver raccolto tutti i materiali, è stato preparato uno stampo in acciaio dalle dimensioni 230 mm X 110 mm X 80 mm. Una volta ottenuti i mattoni sono state effettuate varie prove per confermare le proprietà dei mattoni e i risultati della prova sono stati confrontati con i risultati esistenti e standard. Sono stati effettuati i seguenti test per verificare la resistenza del mattone.

Test di compressione (tab. 9.2)[35]
Il test è stato effettuato dopo il 14°, 21° e 28° giorno dalla data di fusione del mattone di *papercrete*. I mattoni hanno la caratteristica di comprimersi come la gomma. Pertanto, durante la prova, bisogna prestare molta attenzione, perché nel *papercrete* il carico deve essere applicato solo fino a metà compressione. I mattoni di *papercrete* hanno un comportamento elastico e una minore fragilità, per questo motivo la struttura non crolla completamente, solo le facce esterne si sono crepate e si sono staccate.

Tab. 9.2 Test a compressione

No of days	No. of Samples	Compressive Strength	Avg. Compressive st.
14 days	Sample 1	4.76 N/mm2	5.08N/mm2
	Sample 2	5.42 N/mm2	
	Sample 3	5.06 N/mm2	
21 days	Sample 1	7.19 N/mm2	7.44N/mm2
	Sample 2	7.21 N/mm2	
	Sample 3	7.93 N/mm2	
28 days	Sample 1	11.17 N/mm2	11.04N/mm2
	Sample 2	10.43 N/mm^2	
	Sample 3	11.51 N/mm^2	

Peso
Il peso (tab. 9.3)[36] dei mattoni di argilla convenzionale varia da 3 a 4 kg, ma il peso dei mattoni di Papercrete varia da 1 a 2 kg. Tutti i mattoni sono stati pesati in una pesatrice elettronica ben condizionata. I mattoni di Papercrete a base di sabbia hanno un peso di soli 2/3 rispetto al tradizionale mattone di argilla. Spiccano quindi per leggerezza risultando utili per ridurre il costo totale della costruzione grazie alla riduzione del carico morto totale della struttura.

fonte: https://www.academia.edu/35607048/Experimental_Study_of_Waste_Paper_to_Produce_Environmental_Eco-_Friendly_Brick

34,35,36: Experimental Study of Waste Paper to Produce Environmental Eco-Friendly Brick

ACADEMIA.EDU

Tab. 9.3 Prova di peso

S.N	NO OF DAYS	WEIGHT
1	14days	1.90kg
2	21days	1.85kg
3	28days	1.81kg

Prova di assorbimento dell'acqua

La prova di assorbimento (tab. 9.4)[37] dell'acqua è necessaria per verificare se i mattoni sono adatti o meno per le aree in cui è presente acqua. Come da standard i mattoni non devono assorbire acqua più del 20% del suo peso originale.

Tab. 9.4 Prova di assorbimento all'acqua

S.N	SAMPLE	% OF WATER ABSORPTION(24 hours)	Avg %
1	Sample1	28.5	27.33
2	Sample2	26	
3	Sample3	27.5	

Prova di durezza

I test è stato effettuato incidendo la superficie del mattone e ha dimostrato che i mattoni di cemento fibroso sono sufficientemente duri.

Chiodatura

I mattoni di *papercrete* sono meno duri rispetto ai mattoni di argilla convenzionale. Pertanto, questo test è stato eseguito inserendo una vite e un chiodo; i risultati sono stati più che sufficienti.

Prova del fuoco

Dal test è stato osservato che i mattoni di cemento fibroso non bruciano a fiamma libera, ma si sono ridotti in cenere dopo aver bruciato per diverse ore.

Se i mattoni vengono ricoperti di intonaco nella parte interna e esteriormente con lo stucco, i mattoni non bruciano. L'unico punto debole è all'interno del blocco.

Conclusioni

Dai risultati ottenuti sono state tratte le seguenti conclusioni:

Considerando l'auspicabile resistenza alla compressione dimostrata dal campione testato, è chiaro che il *papercrete* è idoneo per ottenere un blocco di calcestruzzo leggero ed ecologico con l'uso di un numero inferiore di risorse naturali. Anche se i risultati ottenuti durante la prova di compressione hanno dimostrato che i mattoni di *papercrete* sono accettabili solo per pareti non portanti.

La capacità di assorbimento dell'acqua del mattone di carta di Creta è risultata essere superiore al 20%, il che lo rende non adatto tuttavia, fornendo un rivestimento impermeabile può essere utilizzato anche come parete esterna.

Grazie al peso inferiore e alla maggiore flessibilità, questi mattoni sono potenzialmente il materiale ideale per le regioni a rischio sismico.

Il *papercrete* ha un'elevata resistenza al fuoco, un buon assorbimento acustico, una buona resistenza termica con un valore R compreso tra 2 e 3 per pollice.

Si è visto che utilizzando i mattoni di carta di Creta in una costruzione di edifici, il costo totale è stato ridotto dal 20% al 50%.

fonte: https://www.academia.edu/35607048/Experimental_Study_of_Waste_Paper_to_Produce_Environmental_Eco-_Friendly_Brick

37: *Experimental Study of Waste Paper to Produce Environmental Eco-Friendly Brick*

Plaspaper

Anno: 2020
Luogo: Torino, Italia
Tipo: Tesi di ricerca

Introduzione
Plaspaper (o +carta) è un intonaco fatto da un legante (argilla o calce) più carta e sabbia. *Plaspaper* risponde alla necessità di avere un basso indice di sviluppo umano (HDI), a basso costo e una protezione isolante per le pareti interne, grazie all'uso di carta straccia e meno legante - che spesso è costoso. Per testare questo nuovo intonaco sono state effettuate diverse prove utilizzando vari tipi di carta (carte da stampa e da imballaggio, cartoni), diversi leganti (cemento, calce, argilla e gesso) e diverse quantità di questi ingredienti mescolati insieme. Una prova EN 12664:2001 è stata condotta per determinare la resistenza termica di due intonaci che hanno utilizzato argilla e calce come legante e sono stati quindi chiamati carta da intonaco di argilla e carta da calce.

Utilizzo
Intonaco.

Produzione
I materiali utilizzati per il *plaspaper:*
- cellulosa a partire da carta a fibra nuda;
- cellulosa a partire da cartone;
- cellulosa a partire da carta a fibra coperta;
- cellulosa a partire da fiocchi di cellulosa derivanti da scarti di lavorazione di cartiera;
- cellulosa a partire da carta di diversa origine;

I leganti:
- cemento;
- calce;
- argilla;
- sabbia;
- gesso.

Sono state fatte varie sperimentazioni:
- "prima sperimentazione: sono stati utilizzati 50 g di cemento, al quale sono stati uniti 125 g di cellulosa da carta a fibre nude, ancora imbevuta d'acqua, e 125 g di sabbia (fig. 10.1).
La scarsità di acqua è un problema per molti paesi a basso sviluppo umano, ma è necessaria per trasformare la carta in cellulosa. Per evitare sprechi si è perciò evitato di aggiungerne ulteriori quantitativi nella preparazione della malta, seppure questa scelta può influire negativamente sulla facilità di posa."

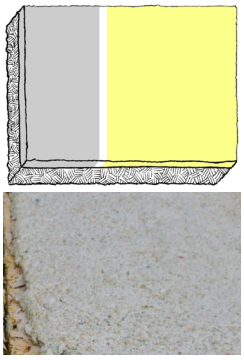


Fig. 10.1 Prima sperimentazione

- "ottava sperimentazione: sono stati utilizzati i diversi materiali in proporzioni uguali, in modo da aumentare e superare il quantitativo di carta (25%) citato in alcune sperimentazioni di *papercrete*.
Si sono perciò predisposte: 1 parte di calce, 1 parte di sabbia, 1 parte di cellulosa (derivante da carta a fibre nude) per un peso di 150 g (fig. 10.2).
Una volta bagnata, la cellulosa è tornata ad essere un impasto facilmente miscellabile con gli altri materiali, in maniera non dissimile dalle precedenti sperimentazioni.
Questo risultato ha confermato il proposito di asciugare la cellulosa per poterla pesare a secco e impastarla successivamente con il legante e la sabbia."

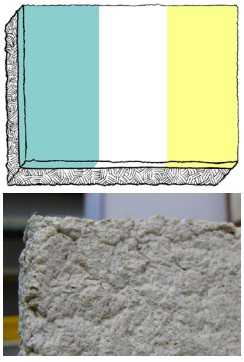


Fig. 10.2 Ottava sperimentazione

- "quattordicesima sperimentazione: ha avuto lo scopo di riequilibrare attraverso il rapporto 1:1:1 la percentuale di argilla, cellulosa e sabbia. Si sono potute verificare eventuali differenze con la dodicesima sperimentazione e il suo rapporto, piuttosto simile, di 4 parti di

fonte: Riusare senza rifiutare. I rifiuti come innovazione tecnologica per l'edilizia nei pvs (e non solo)

argilla e 3 di sabbia e di cellulosa, avendo già constatato che si può diminuire il quantitativo di argilla senza inconvenienti.
A cinque giorni di distanza il campione si è indurito in modo soddisfacente.
Trasferita la sperimentazione a una temperatura di circa 30° l'intonaco ha raggiunto un indurimento completo dopo 14 giorni."

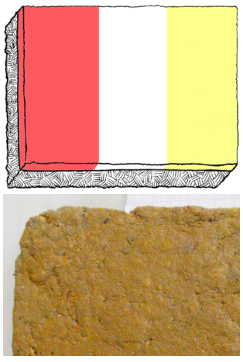


Fig. 10.3 Ottava sperimentazione

Caratteristiche tecniche
-

Conclusioni
"Definite le tipologie di *plaspaper* con le quali procedere a ulteriori sperimentazioni si è scelto di effettuare prima una verifica in sito, realizzando un intonaco su una parete.
Le sedici sperimentazioni erano state messe in opera su tavolette di OSB e poi poste ad asciugare in posizione verticale: questo procedimento non dava alcuna indicazione sull'adesione al supporto, né sull'eventuale resistenza agli agenti atmosferici.
Era facile intuire che un intonaco a base carta avrebbe assorbito facilmente l'umidità, ma – al di là di una prova ad hoc, fatta in un secondo tempo – non era immaginabile il comportamento della malta e non era possibile sapere preventivamente se essa si sarebbe sfaldata o se il legante sarebbe stato sufficiente a mantenerne la forma.
Se i mattoni vengono ricoperti di intonaco nella parte interna e esteriormente con lo stucco, i mattoni non bruciano. L'unico punto debole è all'interno del blocco.
Alcune delle sedici sperimentazioni sono state simili per tipologia o quantitativi di materiale impiegato, ma nella scelta su quali sottoporre a una quarta fase di sperimentazioni si è reputato che le più interessanti fossero l'ottava sperimentazione (a base calce) e la quattordicesima (a base argilla).
In entrambi i casi si è utilizzato lo stesso, uguale rapporto tra i leganti, la cellulosa e la sabbia, seppure si fosse verificato come moderati cambiamenti nella composizione non portassero a risultati molto differenti.
È stata la facilità nel preparare le proporzioni, il bilanciato dosaggio dei tre componenti (ognuno a suo modo prezioso, perché costoso o di difficile reperibilità) e il risultato finale ottenuto (in termini di recupero di materia e di diminuzione dell'uso di legante) che ha reso queste sperimentazioni preferibili rispetto alle loro varianti."

"Analizzando i vari campioni si è giunti alla conclusione che il lime *plaspaper* ha avuto il comportamento migliore, come ci si attendeva: in tre mesi e mezzo non ha mostrato deterioramenti della superficie – se si escludono le fessurazioni capillari, presenti fin dal suo indurimento – né è venuta meno la sua adesione al muro in calcestruzzo."[38]

fonte: Riusare senza rifiutare. I rifiuti come innovazione tecnologica per l'edilizia nei pvs (e non solo)

38: Plaspaper: un intonaco di calce o argilla più carta

03

3.1 Il tubo pag. 138
La versatilità del componente
Limiti e vantaggi

3.2 Il mattone pag. 148
L'impiego

3.3 Il pannello pag. 150
Nemunoki Children's Art Museum
Westborough School Club
Cardboard House
The Profile: Select Your Needs

3.1 IL TUBO

Nell'industria delle costruzioni, i tubi di cartone sono stati ampiamente utilizzati fin dagli anni '50 come stampi per le colonne di cemento. Più recentemente, tuttavia, sono stati utilizzati come strutture architettoniche. Negli ultimi 20 anni, i tubi di cartone sono stati interessanti per gli architetti non solo perché sono un'opzione a basso costo, riciclabile al 100% e sostenibile dal punto di vista ambientale, ma anche perché hanno le proprietà meccaniche necessarie per resistere ai carichi strutturali.

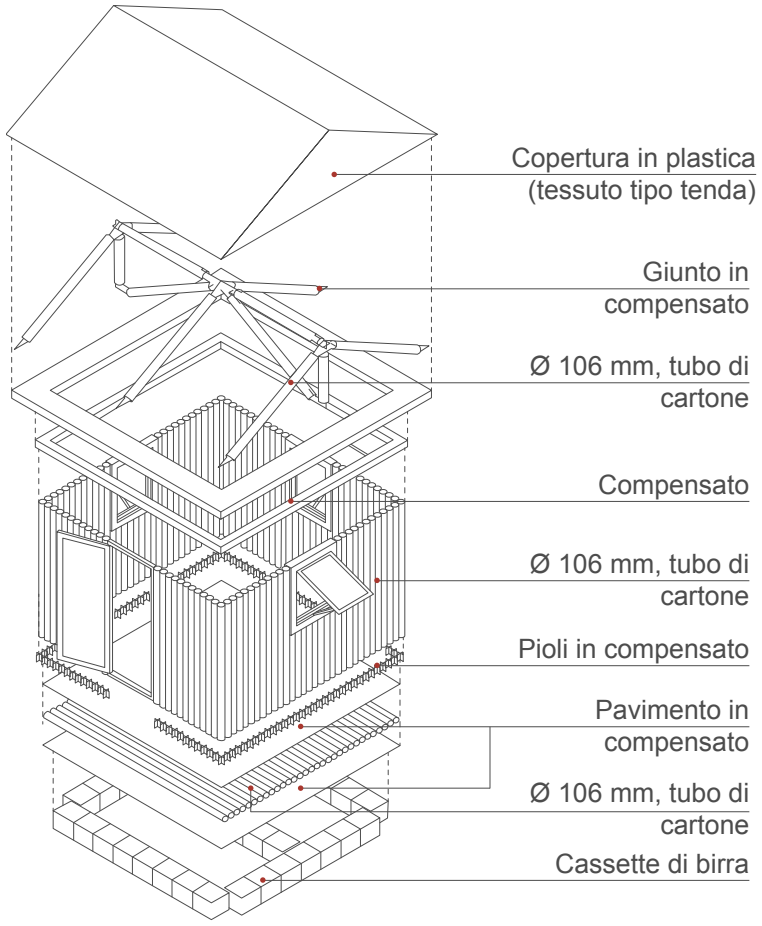
Secondo una ricerca dell'architetto Gabriela Barros dell'Università Municipale di São Caetano do Sul[1], la convenienza del materiale non si ferma qui. Essendo leggero, non richiede fondazioni molto robuste, riducendo i tempi e i costi di costruzione. Poiché il processo di installazione viene effettuato con raccordi e fascette, è facile da smontare e rimontare. Inoltre, la forma tubolare offre la possibilità di incorporare sistemi idraulici ed elettrici e ottimizza la resistenza termica e acustica (in funzione della parete d'aria all'interno dei tubi).

Il pioniere di questa tecnologia, Shigeru Ban, ha eseguito prove di laboratorio e ha identificato che i tubi di cartone resistono a 10 MPa se sottoposti a compressione e a 15 MPa in flessione.

La versatilità del componente

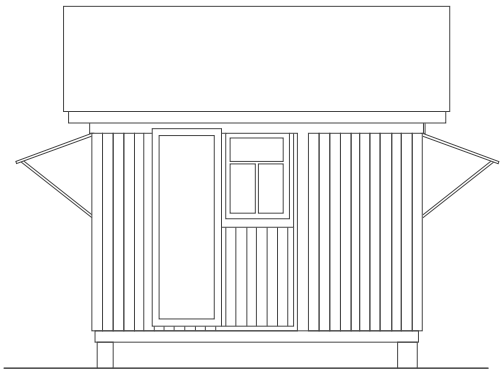
Grazie allo studio della "*Paper Log House*" dell'architetto Ban, è possibile analizzare i vari impieghi strutturali del tubolare di cartone.

Esploso assonometrico, Paper Log House[2]

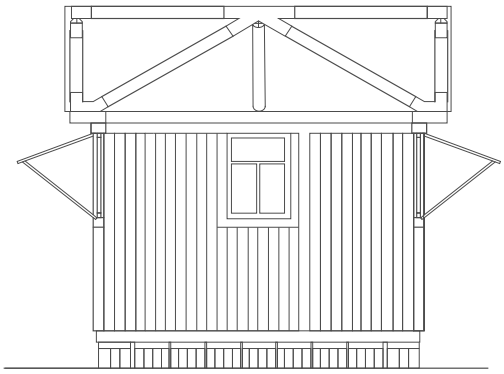


1: https://www.archdaily.com/913567/cardboard-from-industrial-workhouse-to-shigeru-bans-master-material

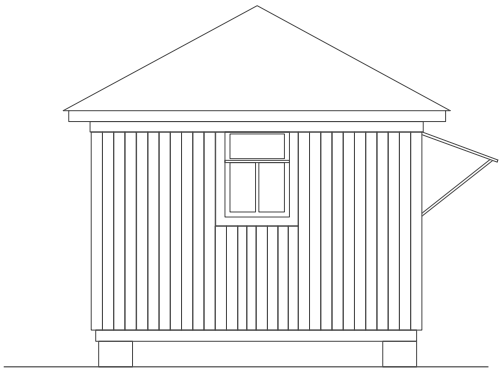
2: Edifici per l'emergenza nella storia delle costruzioni, di Santi Maria CasconeMassimo CaporlinguaGiuseppe RussoNicoletta Tomasello



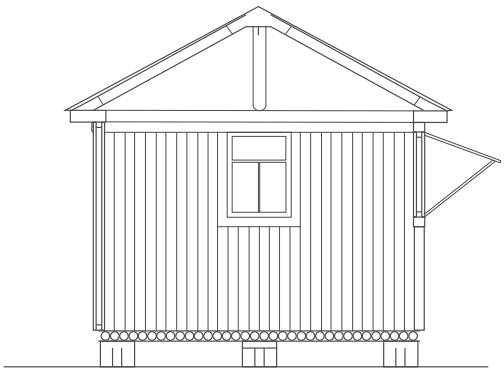
Prospetto laterale



Sezione laterale

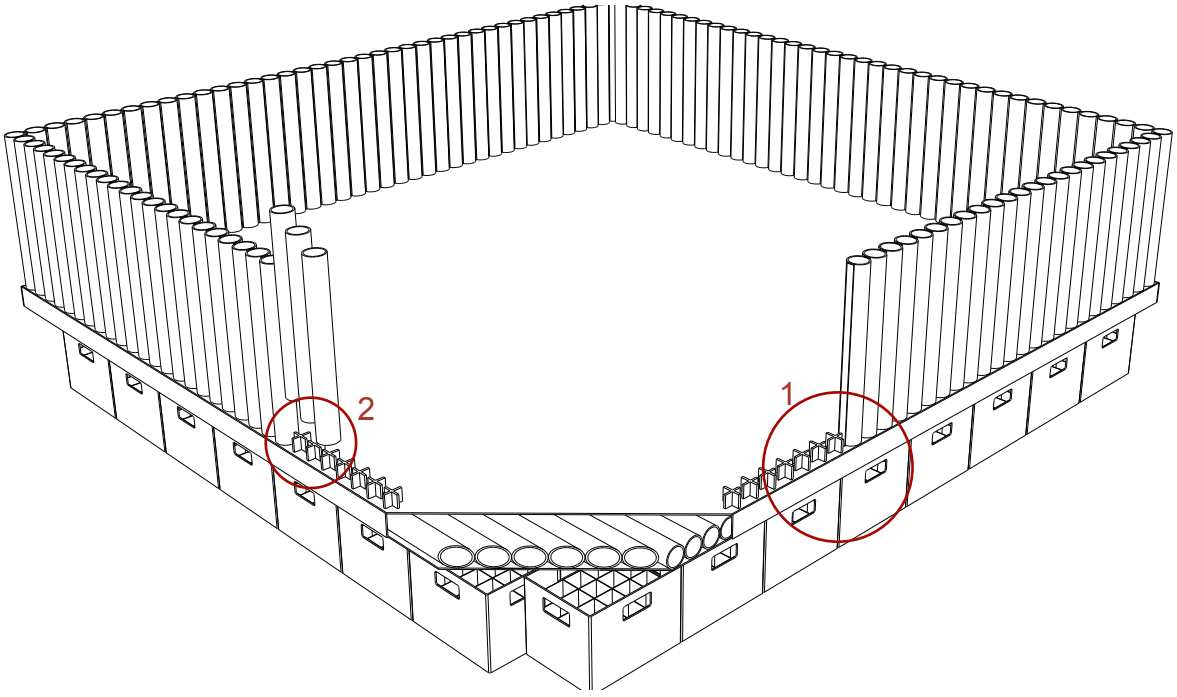


Prospetto frontale



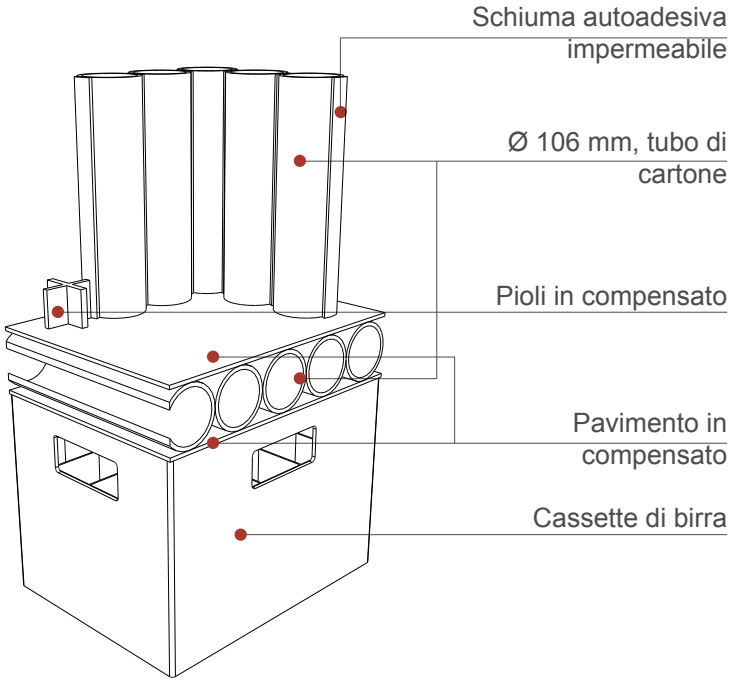
Sezione frontale

Nodo fondazione-muro



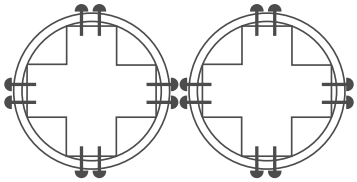
fonte: https://martinyblog.wordpress.com/2016/06/10/research-shigeru-ban/

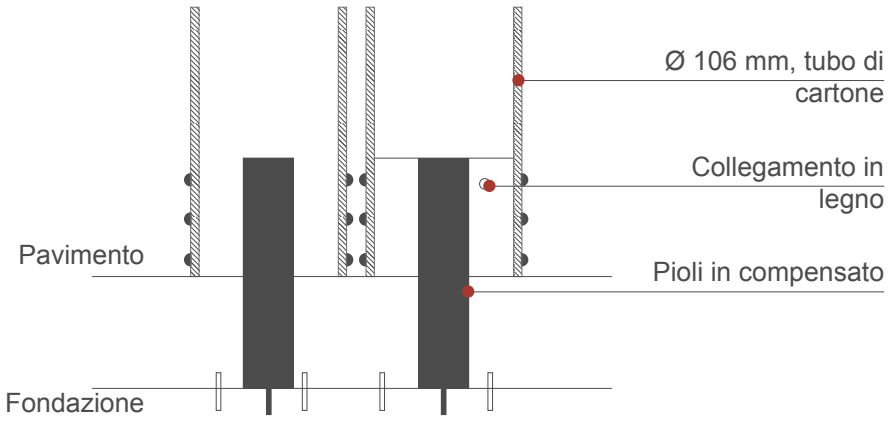
1)



Dettaglio nodo solaio-muro, Paper Log House

2)

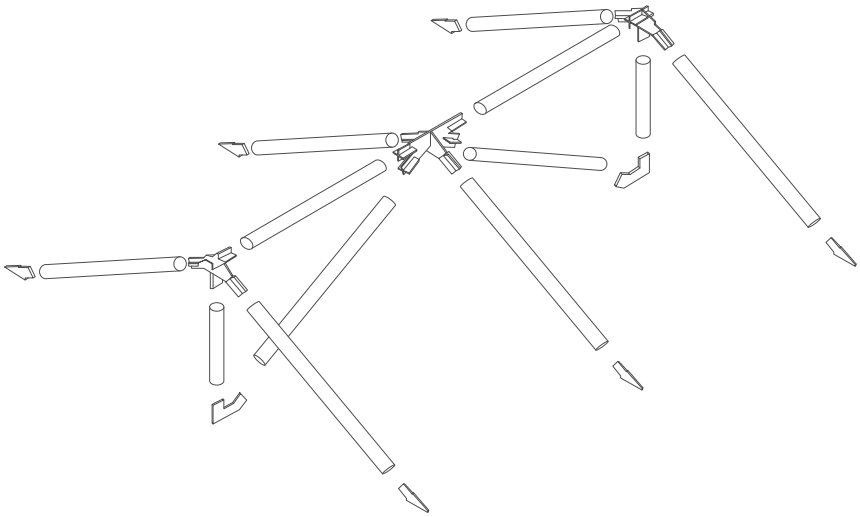




Dettaglio nodo tubo-fondazione, Paper Log House

fonte: https://martinyblog.wordpress.com/2016/06/10/research-shigeru-ban/

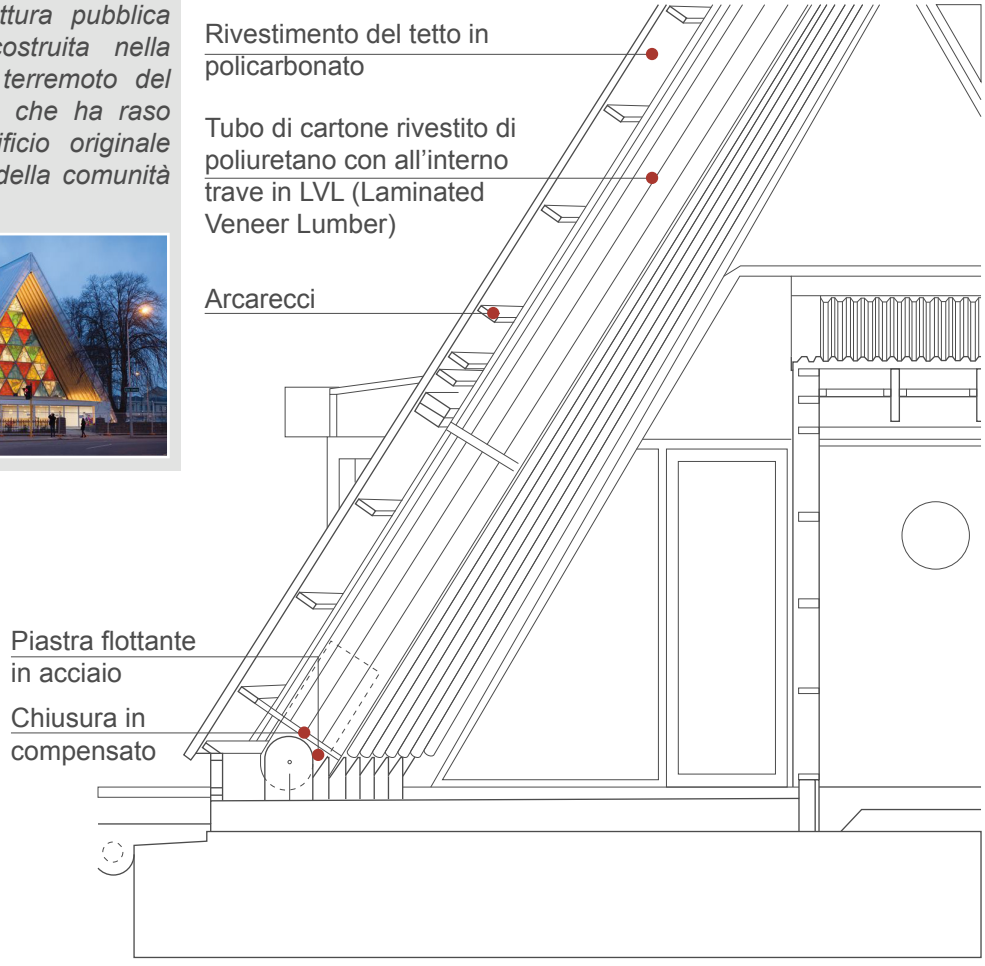
Copertura



Dettaglio collegamenti copertura, Paper Log House

Vista interna, Paper Log House - Shigeru Ban

La cattedrale "Cardboard Cathedral" di Christchurch (Nuova Zelanda), progettata da Shigeru Ban Architects e completata nel 2013, è stata la prima struttura pubblica ad essere costruita nella città dopo il terremoto del febbraio 2011 che ha raso al suolo l'edificio originale e gran parte della comunità circostante.

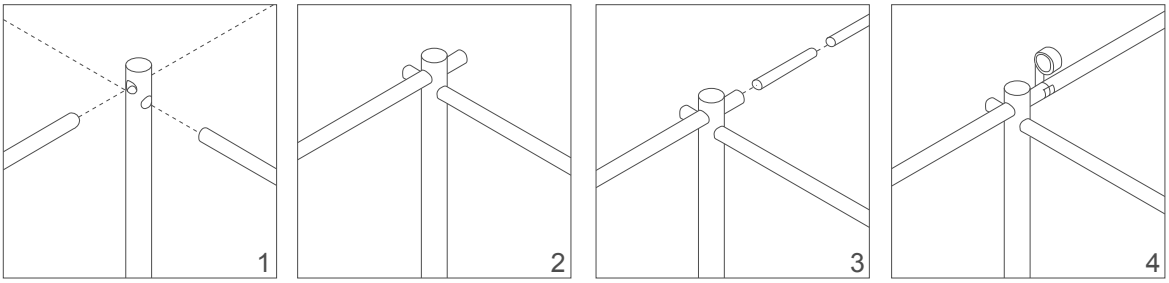


Dettaglio copertura, The Christchurch Cathedral

fonte: http://arquitetura.weebly.com/uploads/3/0/2/6/3026071/ufpr2014_shigeru_ban.pdf
fonte: https://www.architectmagazine.com/technology/detail/paper-tubes-and-shipping-containers-shape-a-new-zealand-church_o

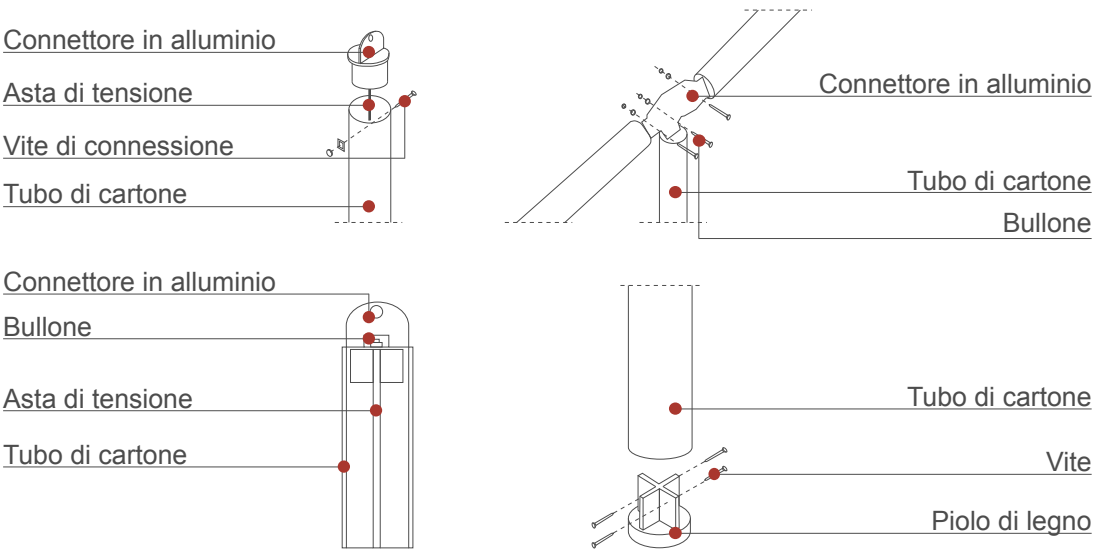
Collegamenti

1) *Collegamento tipo 1*: tubo-tubo. Questa tipologia di collegamento viene utilizzata sempre dall'architetto giapponese S. Ban per realizzare un sistema di partizione per creare degli alloggi di emergenza, che permettessero un minimo di privacy, in riposta al terremoto che colpì il Giappone nel 2011. La caratteristica di questo tecnologia è l'economicità, infatti il collegamento dei tubi è realizzato per incastro, e i tubi vengono collegati tra loro grazie al nastro adesivo. Questo sistema permette di creare degli spazi modulari divisi tra loro da tende, fissate alla struttura dei tubi.



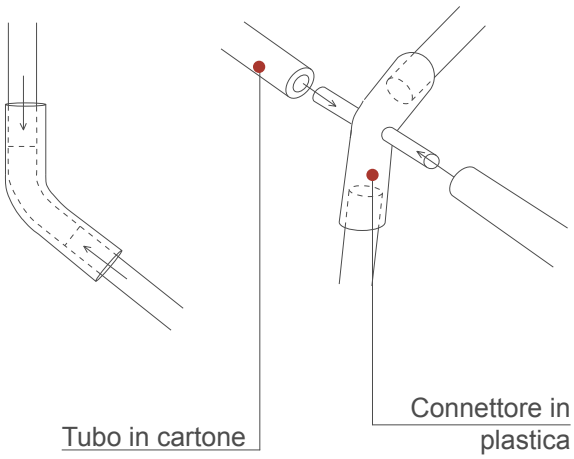
Shigeru Ban, Mock-up of Paper Partition System / East Japan Earthquake

2) *Collegamento tipo 2:* tubo-alluminio



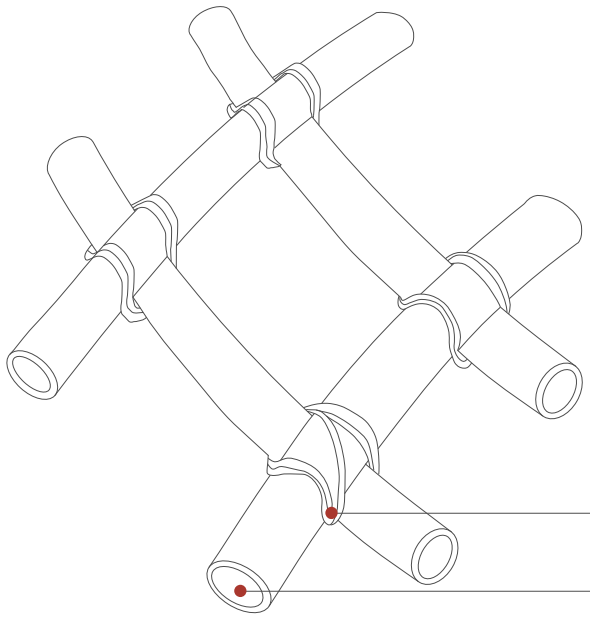
fonte: http://www.shigerubanarchitects.com/SBA_NEWS/SBA_news_5.htm
fonte: https://portfolio.cept.ac.in/fd/group-b-2588-2-monsoon-2018/book-cafe-at-c-g-road-ahmedabad-monsoon-2018-pg180382

3) *Collegamento tipo 3*: tubo-plastica, utilizzato nelle strutture a tenda



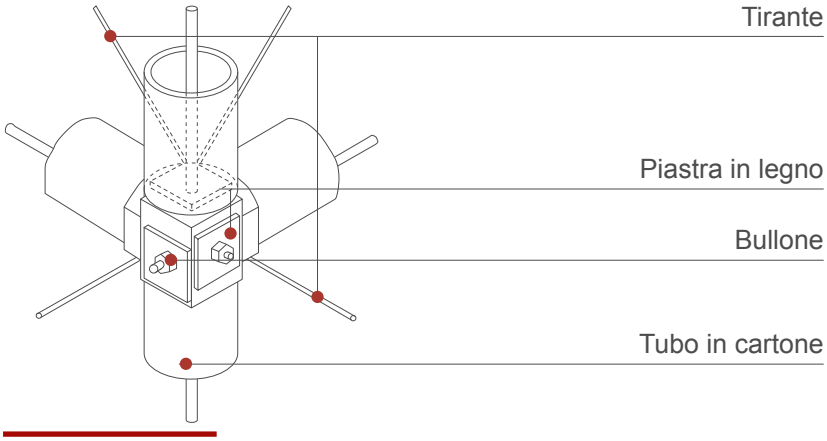
Shigeru Ban, Mock-up of UNHCR shelter for Congolese refugees

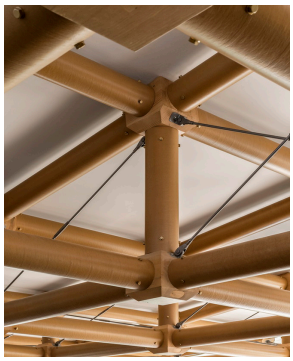
4) *Collegamento tipo 4*: tubo-tessuto, utilizzato per coperture curve



Shigeru Ban, Japan Pavillon Expo 2000

5) *Collegamento tipo 5*: tubo-legno (bullonatura)

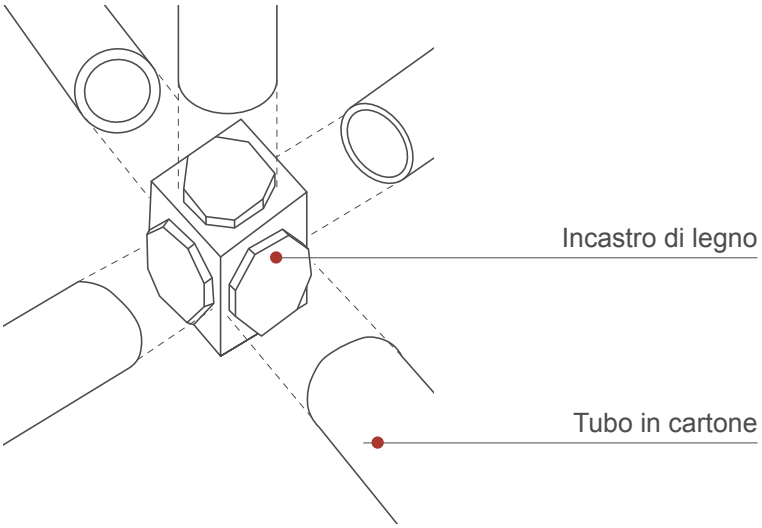




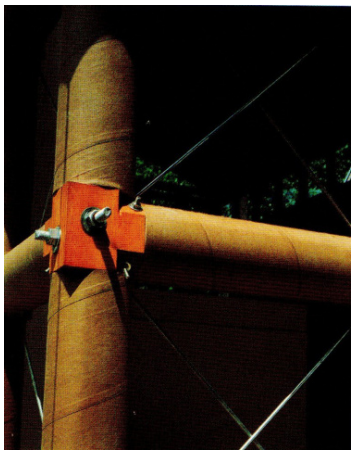
Shigeru Ban, IE Paper Pavillon Madrid, 2013

fonte: https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-emergency-shelters/
fonte: https://news.artnet.com/art-world/shigeru-ban-build-shelters-nepal-earthquake-survivors-299831
fonte: https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-japan-pavilion-expo-2000/
fonte: https://www.archdaily.com/354471/ie-paper-pavilion-shigeru-ban-architects/515c3571b3fc4b9d4f000057_ie-paper-pavilion-shigeru-ban-architects_sban09-jpg/

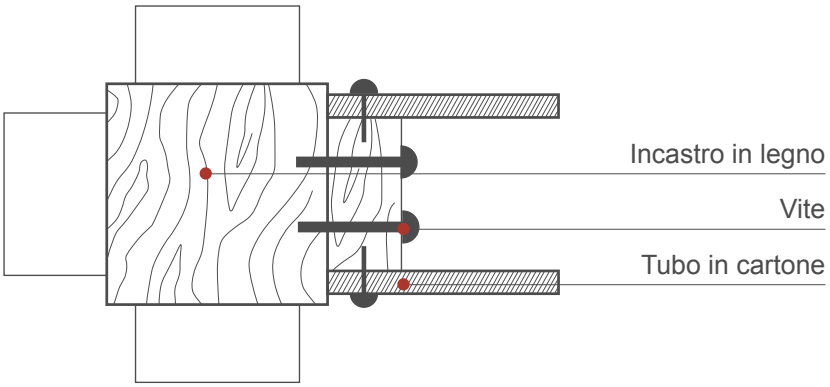
6) *Collegamento tipo 6*: tubo-legno (incastro)



Vista esplosa

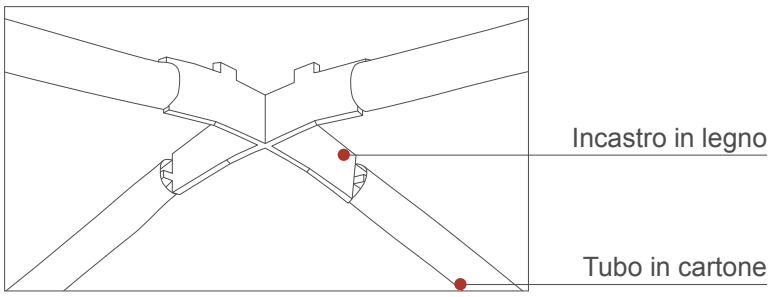


Shigeru Ban, Library of a poet



Vista in pianta

7) *Collegamento tipo 7*: tubo-legno incastro

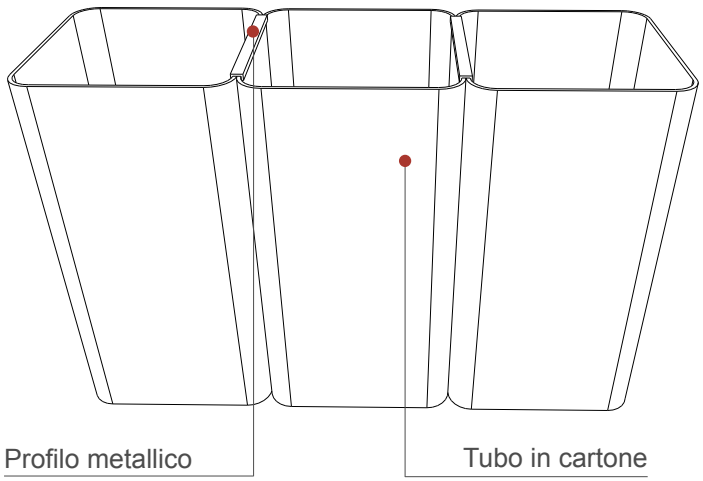


Dettaglio collegamento copertura

React Studio, Carthome

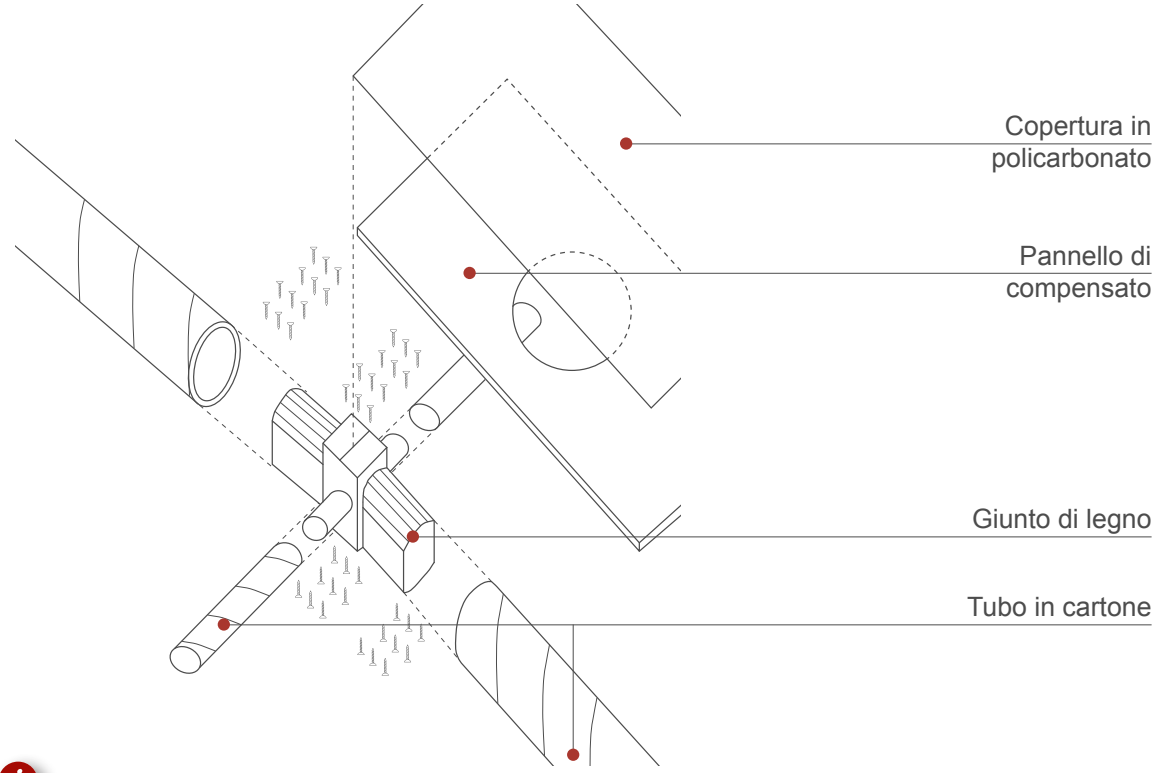
fonte: https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-library-of-a-poet/library-of-a-poet_3/
fonte: https://www.gruppomoba.com/it/chi-siamo/progetto-carthome

8) *Collegamento tipo 8*: tubo quadrato-profilo metallico



React Studio, Carthome (vista interna)

9) *Collegamento tipo 9*: tubo-giunto in legno



A causa delle condizioni del sito e delle condizioni d'uso, è stato creato un grande tetto ad arco che si estende per 27 m, 8 m di altezza al centro e che copre uno spazio largo 23 m. Poiché i tubi di carta non potevano essere curvati, l'intero arco è stato diviso in moduli di 1,8 x 0,9 m. La stabilità laterale è stata ottenuta grazie all'uso di compensato strutturale al posto di controventature metalliche. Ogni pannello di compensato è trafitto da un cerchio reso il più grande possibile senza comprometterne l'integrità strutturale, in modo da far entrare la luce naturale attraverso i pannelli di policarbonato ondulato che ricoprono la cupola. Per ridurre al minimo l'espansione e la contrazione dei tubi di carta causata dall'umidità nel tempo, i tubi sono impermeabilizzati con un uretano liquido e trasparente.

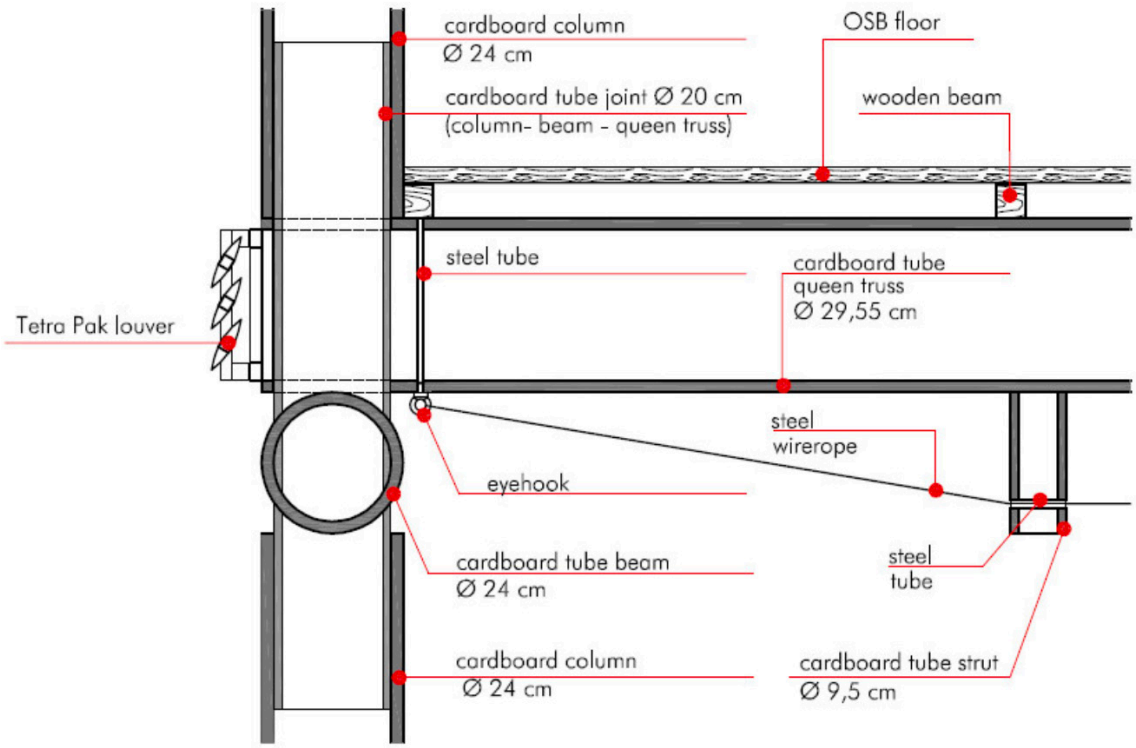
Shigeru Ban, Paper Dome

fonte: https://www.gruppomoba.com/it/chi-siamo/progetto-carthome
fonte: Paper structures.Case studies, TU Delft

Collegamenti in un'ottica di disassemblaggio
(Ricerca a cura di Mirian Vaccari, 2008)

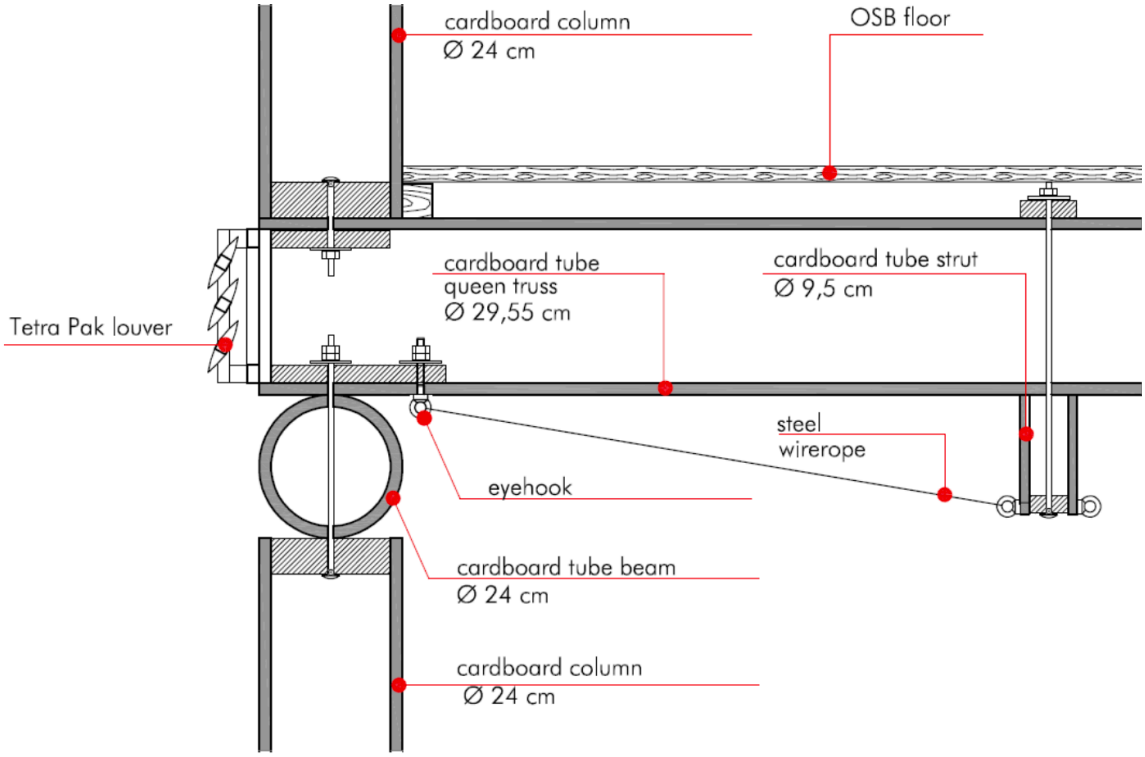
La progettazione e il dettaglio delle connessioni è l'area più difficile da controllare durante la fabbricazione e la costruzione ed è spesso anche un punto in cui il cartone è collegato a diversi materiali generalmente più rigidi e resistenti (principalmente acciaio o legno) e l'interazione di questi materiali deve essere attentamente studiata.
Gribbon e Foerster (ingegneri strutturali) propongo tre diversi tipi di collegamenti; i primi due collegamenti proposti sono a colla o bulloni.
Una connessione ben incollata, che utilizza colla ad alta resistenza, è più resistente del cartone. Quindi, l'intersezione tra il cartone standard e l'elemento di connessione sarà il punto più debole del progetto. Le colle possono essere a base di PVA o epossidica. Per quanto riguarda l'imbullonamento, il guasto si verifica a causa della diversa resistenza dei bulloni sono le rondelle e gli elementi di cartone. Questo può portare alla concentrazione delle sollecitazioni e, in caso di rottura, allo strappo del cartone.
Il terzo tipo di collegamento può essere ottenuto piegando o manicottando gli elementi di cartone l'uno nell'altro. Il vantaggio è quello di collegare elementi simili a bassa resistenza, riducendo così il rischio di connessione di stress evitando colle o bulloni. È anche questo tipo di collegamento che permette di smontare l'edificio più facilmente. Allo stesso modo, la geometria degli spigoli dei componenti in relazione al progetto di connessione determinerà se i componenti possono essere smontati o meno. I migliori fissaggi sono quelli che sono di per sé durevoli, e contribuiscono a preservare l'integrità strutturale e la finitura degli elementi di costruzione da unire, durante il processo di decostruzione.

Il collegamento originale della struttura (capriata, trave e colonna) dell'abitazione di cartone è costituito da tubi di cartone che vengono incollati alla struttura principale. Tuttavia, i componenti incollati non sono in linea con la strategia di riutilizzo, in quanto le possibilità di smontaggio sono poche.



Collegamento originale (capriata, trave colonna)

fonte: Enviromental Assessment of Cardboard as a building material, Mirian Vaccari



Collegamento proposto (capriata, trave colonna)

Per un'ottica di riutilizzo è quindi preferibile utilizzare connessioni meccaniche piuttosto che quelle chimiche, e la prima proposta è quindi quella di rimuovere la colla dalla connessione originale, semplicemente inserendo i tubi di cartone nei tubi dalla struttura. Tuttavia, poiché l'esecuzione dei fori nelle travi e nelle travi a traliccio può non essere facile e l'area di contatto tra questi elementi è ridotta al minimo, questa potrebbe risultare essere non la soluzione migliore.

La seconda proposta è di utilizzare connettori in Tetra Pak riciclato o in legno e bulloni per unire l'intera struttura. Anche se la seconda proposta è chiaramente più facile da montare e smontare, aumenta il numero di tipi di materiali. Quindi, entrambe le opzioni dovrebbero essere testate in prototipi, in modo che il loro comportamento meccanico e la loro durata possano indicare la decisione sui collegamenti insieme alle linee guida per la progettazione per la decostruzione.

Limiti e vantaggi

L'impiego del tubo di cartone presenta alcuni svantaggi, come la scarsa resistenza all'acqua, al fuoco e specialmente la facilità all'usura. Grazie allo sviluppo tecnologico e allo studio di additivi chimici e naturali sono stati fatti grandi progressi tanto da rendere l'elemento tubolare una valida alternativa come materiale da costruzione.
Il tubo infatti, essendo versatile, flessibile ed ecologico rappresenta la scelta ideale per strutture temporanee, per la facilità di stoccaggio, di trasporto, rapidità di montaggio, per il basso costo e soprattutto è un materiale leggero. Sicuramente la forma tubolare vincola il progettista sia sulla forma che sulla tecnologia.
Al contempo però il tubo presenta dei vantaggi, che derivano dalle caratteristiche proprie dell'elemento, come il peso. Infatti la leggerezza del materiale permette un risparmio nel peso della struttura e di conseguenza economia nelle opere di fondazione, nei costi di trasporto, nel montaggio e nella manutenzione. La forma tubolare si presta al meglio nelle strutture reticolari, ma offre vantaggi anche in costruzioni all'aperto, dove il tubo è direttamente esposto all'azione del vento. Infatti la superficie cilindrica riduce il carico del vento del 25% circa rispetto ad una superficie piana.
Altro vantaggio che caratterizza l'elemento, dal punto di vista statico, è dato dai nodi di convergenza delle aste, dove si ha un'ottima centratura degli sforzi con l'asse baricentrico del tubo.[1]

fonte: Enviromental Assessment of Cardboard as a building material, Mirian Vaccari
1: Ideas start with paper: Shigeru Ban e il tubo di cartone

3.2 IL MATTONE

La pasta di carta viene sottoposta a trattamento di solidificazione e poi modellata per diventare un mattone di carta. Trasformando la pasta di cellulosa di scarto in un materiale ad alta densità, può ora essere utilizzata come materiale da costruzione. Le proprietà di base dei mattoni di carta sono la resistenza ai carichi, la facilità di muratura, l'impermeabilità, l'ecosostenibilità e l'utilizzo sia in ambienti interni che esterni.

La designer Li Xiao-Ming di Arch Studio ha realizzato un mattone 42 x 21 x 7 cm^3 (fig. 3.2.1) dalle seguenti caratteristiche:
- superficie densa;
- peso medio;
- elevata resistenza alla compressione (10-30 MPa);
- moderata forza di estensione (1-3 MPa);
- un buon punto di rottura (2-4 MPa).

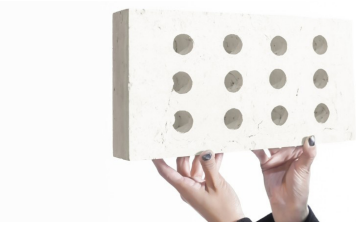
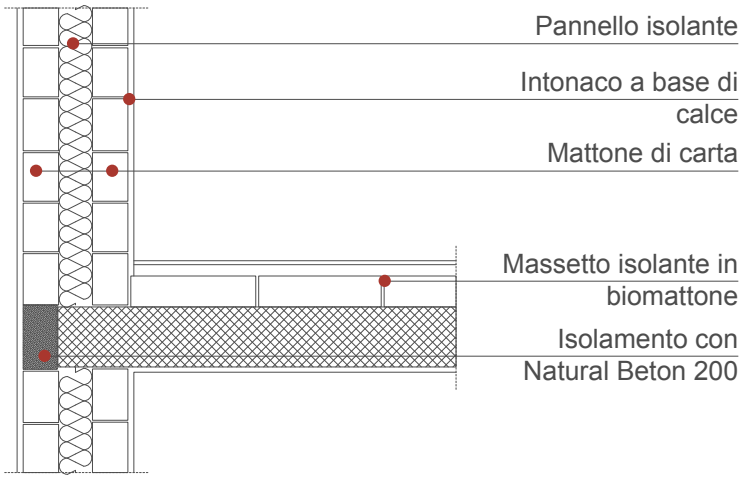


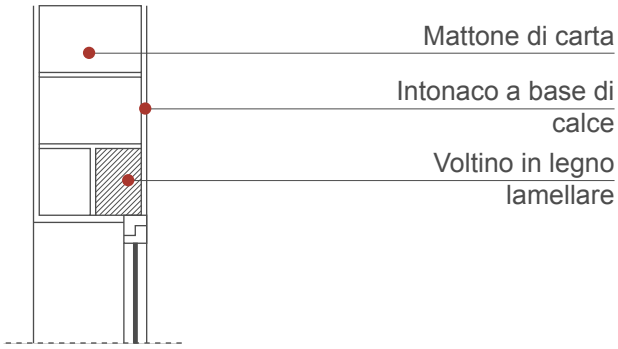
Fig. 3.2.1 Mattone di carta riciclata

L'impiego

Essendo il mattone un prodotto ancora poco conosciuto, non ci sono riferimenti di dettagli tecnologici esistenti; gli esempi sotto riportati vedono l'impiego del biomattone in calce-canapa.

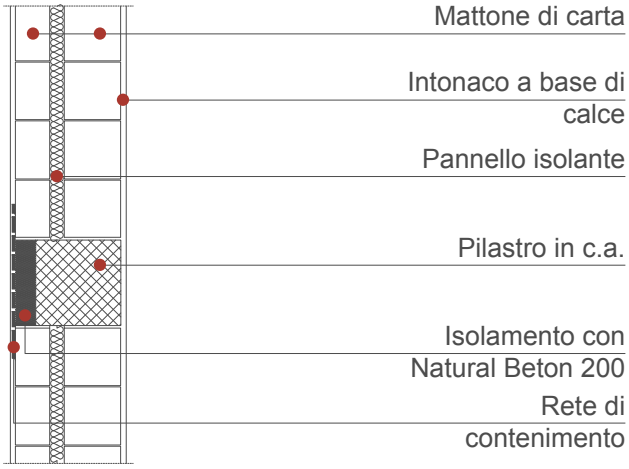


Sezione verticale muro perimetrale



Sezione trasversale (dettaglio voltino per muro di tamponamento)

fonte: https://www.domusweb.it/it/notizie/2017/02/15/paper_brick.html
fonte: https://www.equilibrium-bioedilizia.it/sites/default/files/allegati/Manuale%20Tecnico%20del%20Biomattone%20Equilibrium.pdf



Sezione longitudinale muro perimetrale

Il team della TU Delft ha proposto una soluzione alternativa che vede l'impiego dei mattoni di cartone, collegati tra loro e allo strato sottostante, tramite alette e colla. Questa soluzione è un'interpretazione moderna della muratura tradizionale, ma allo stesso tempo è molto più leggera e meno durevole. Il problema principale è costituito dall'utilizzo della colla per collegare i mattoni di cartone, che di conseguenza aumenta notevolmente il tempo necessario per la costruzione. Questa tecnica viene chiamata *sistema di impilamento (fig. 3.2.2)*.

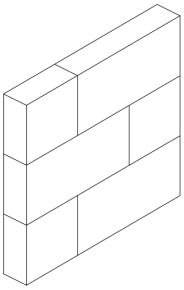


Fig. 3.2.2 Sistema di impilamento

fonte: https://www.equilibrium-bioedilizia.it/sites/default/files/allegati/Manuale%20Tecnico%20del%20Biomattone%20Equilibrium.pdf
fonte: Jerzy F. Latka, 2017, Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping

3.3 IL PANNELLO

Sistema a pannelli - consiste in pannelli a parete prefabbricati che vengono collegati tra loro. Questo sistema è caratterizzato dalla velocità di montaggio, dal numero minimo di interventi necessari in cantiere e dall'elevata flessibilità. Tuttavia, c'è un fattore limitante, ovvero il peso dei pannelli. Nella ricerca effettuata[3] dalla TU Delft infatti viene citato che secondo il codice edilizio olandese, il peso massimo che può essere trasportato da una sola persona è di 25 kg. L'alternativa proposta vede l'utilizzo di pannelli a nido d'ape con un rivestimento in cartone. I bordi profilati sono a forma di H. Il processo di montaggio è a secco, il che significa che non è richiesto l'uso di collanti. I pannelli possono essere riciclati dopo la demolizione.
Gli scienziati della TU Delft hanno confrontato tre tipi di materiali (cartone, legno e sabbia calcarea) utilizzati per la produzione di un metro quadrato di parete divisoria per quanto riguarda gli oneri ambientali, le risorse, la quantità di energia e di acqua utilizzata per la produzione, il peso e il potenziale di smontaggio e riciclaggio. Di seguito sono riportati i risultati del confronto:

Confronto tra cartone, legno e pietra calcarea in partizione per m² [4]

	Materiale	Positivo — Negativo
Peso	Cartone	●●●
	Legno	●●●●●
	Sabbia calcarea	●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●
Esaurimento	Cartone	●●◖
	Legno	●●
	Sabbia calcarea	●●●●●●●●●●●●●●●
Contenuto energetico	Cartone	●●●●●●●●●●●●●●◖
	Legno	●●●●●●●●●●●
	Sabbia calcarea	●●●●●●●●●●●●●●◖
Emissioni	Cartone	●●●●●●●●●●●●●●◖
	Legno	●●●●●●●●●●●◖
	Sabbia calcarea	●●●●●●●●●●●●●●◖
Utilizzo di acqua	Cartone	●●●●●
	Legno	●●
	Sabbia calcarea	●●●●●●●●●●●●
Riciclaggio	Cartone	●●◖
	Legno	●●●●●
	Sabbia calcarea	●●●●●●●●●●●●
Smontaggio	Cartone	●●
	Legno	●●●
	Sabbia calcarea	●●●●●●●●●●●●●●●●●●
Rifiuto	Cartone	●●
	Legno	●●●●◖
	Sabbia calcarea	●●●●●●●●●●●●●●●

3,4: Jerzy F. Latka, 2017, Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping

L'autore della tesi "Paper in architecture" Jerzry F. Latka ha condotto ulteriori ricerche confrontando diversi tipi di pareti divisorie nell'ambito della sua ricerca di dottorato. Il tipo di pareti divisorie più popolare in Polonia è stato confrontato con un potenziale nuovo prodotto sul mercato dell'edilizia: le pareti in cartone. La parete è stata progettata come una parete divisoria prefabbricata composta da diversi strati di pannelli a nido d'ape installati in un telaio strutturale di cartone. Sono state confrontate caratteristiche di base come il tempo di montaggio, lo spessore, il peso e il prezzo. I valori sono stati poi calcolati per un metro quadrato di parete senza strati di finitura.[5]

Comparazione del pannello di cartone con altri tipi tradizionali di partizioni per m²

Tipo di parete/ caratteristiche	**Parete di pannelli in cartone**	**Parete in mattoni pieni di ceramica**	**Blocchi di calcestruzzo poroso 150mm**	**Parete in cartongesso**
Spessore	150mm	150mm	150mm	150mm
Peso	12-20 kg	220 kg	195-225 kg	50-90 kg
Isolamento acustico	45 dB	46 dB	50-56 dB	55 dB
Valore U (m^2K/W)	0.8-0.5	5.13	2.13	0.60-0.35
Resistenza al fuoco (minuti)	30	120	180	30-120
Tipo di connessione	Viti	Malta	Malta	Viti
Prezzo al m^2	21-28 €	28-35 €	28-30 €	21-47 €

Si può osservare che le pareti divisorie in cartone sono più leggere, più economiche e più veloci da montare. Tuttavia, i loro livelli di isolamento acustico e di resistenza al fuoco sono più bassi. Il prezzo delle partizioni tradizionali è stato controllato sul mercato polacco dell'edilizia nell'aprile 2017 dalla ricerca locale. Le proprietà e il prezzo delle pareti divisorie in cartone sono stati stimati sulla base dei dati disponibili (prezzo per elemento, simulazione al computer per il valore U, riferimenti a prodotti simili per quanto riguarda l'isolamento acustico e la resistenza al fuoco).[6]

Grazie allo studio del "*Nemunoki Children's Art Museum*" di Shigeru Ban è possibile vedere l'impiego dei pannelli, come struttura portante, assieme all'elemento tubolare di cartone.

Nemunoki Children's Art Museum
Anno: 1999
Luogo: Kakegawa, Shizuoka, Giappone
Area: 320 m^2
Durata: permanente
Tipo: edificio pubblico

Fig. 3.3.1 Vista interna del Nemunoki Children's Art Museum

Nel suo progetto Shigeru Ban ha applicato il reticolo di pannelli (fig. 3.3.1) con struttura a nido d'ape come un elemento leggero di irrigidimento e rinforzo della costruzione del tetto. I pannelli a nido d'ape utilizzati come struttura del tetto sono stati rivestiti con PVC traslucido e servono anche come cassoni per evitare che la luce diretta del sole penetri dall'alto. Il prodotto utilizzato nella costruzione del museo non è un tipico pannello a nido d'ape, che si ottiene incollando la superficie superiore e inferiore con la griglia a nido d'ape in mezzo.

5,6: Jerzy F. Latka, 2017, Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping

I pannelli a nido d'ape utilizzati nel Museo sono composti da due sotto-pannelli modellati aperti da un lato. Due pannelli secondari vengono poi incollati insieme, creando un materiale molto più resistente.
La struttura del reticolo (fig. 3.3.2) del tetto è basata su un triangolo equilatero, con pareti lunghe 3.000 mm e alte 600 mm. Questa unità di base è irrigidita da una divisione triangolare di 1.000 mm all'interno.

I pannelli a nido d'ape vengono collegati da piastre di alluminio che vanno a formare triangoli a 60°. I pannelli di compensato sono collocati all'interno dei pannelli a nido d'ape per rinforzare il collegamento dei bulloni con piastre di alluminio (fig. 3.3.3).

Il reticolo del tetto con disegno triangolare è collegato da quattro tipi di giunti in alluminio:
- i giunti che collegano sei tavole ad un tubo esagonale pressofuso che è stato collegato con il pilastro;
- i giunti che collegano i pannelli a nido d'ape 3.000x600 mm da due direzioni;
- i giunti che collegano sei pannelli a nido d'ape da 1.000x600 mm ad un tubo triangolare pressofuso con un angolo di 60°;
- i giunti che collegano sei pannelli a nido d'ape ad un tubo esagonale pressofuso.

L'intera struttura del tetto è composta da 64 unità di base triangolari le cui pareti sono lunghe 3.000 mm. L'uso di una struttura del tetto basata su una griglia triangolare ha permesso all'architetto di usare tipi limitati di connessioni e di creare una struttura planare leggera e rigida. Le pareti completamente vetrate e le coperture in PVC traslucido proteggono i pannelli di grigliato dall'impatto degli agenti atmosferici.

Nel settembre e nell'ottobre 1998 sono state condotte una serie di prove sui pannelli a griglia. I pannelli sono stati testati per la tensione, la compressione, i momenti flettenti e la resistenza all'adesione tra il compensato e le pellicole dei pannelli grigliati.
Le prove sono state effettuate a diversi livelli di umidità (60% e 90%).
I test hanno mostrato che i pannelli con anima in grigliato avevano un contenuto di umidità del 9,5% ad un livello di umidità relativa del 60% e un contenuto di umidità del 15,8% ad un livello di umidità relativa del 90%.

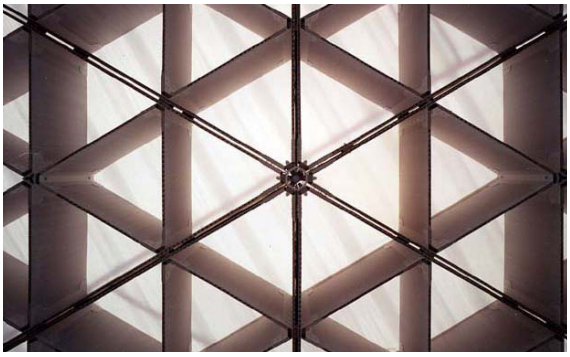
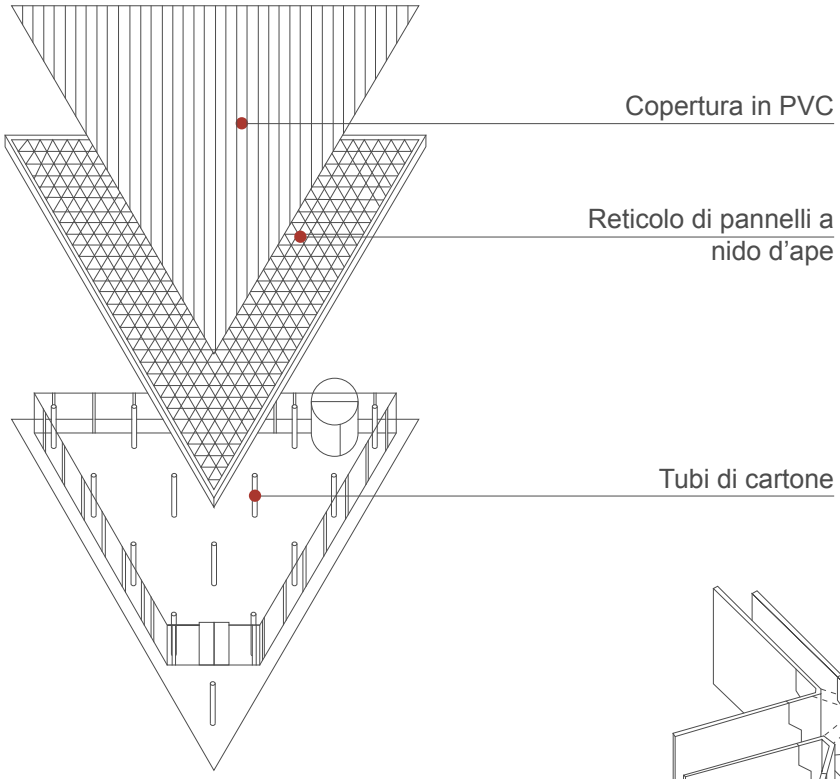


Fig. 3.3.2 Reticolo di pannelli con struttura a nido d'ape

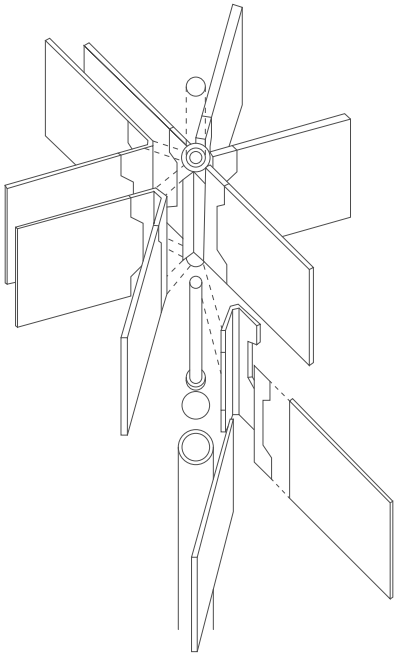
Allo stesso tempo, la resistenza alla compressione del pannello con un contenuto di umidità del 15,8% è scesa al 61% rispetto alla resistenza alla compressione del pannello con un contenuto di acqua del 9,5%.
I pannelli a nido d'ape sono più resistenti alle forze equamente distribuite perpendicolari al piano.
Da queste prove risulta che una combinazione di pannelli ondulati con ondulazione in direzione verticale e pannelli a nido d'ape potrebbe aumentare la rigidità sia in direzione verticale che laterale.

fonte:Jerzy F. Latka, 2017, Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping

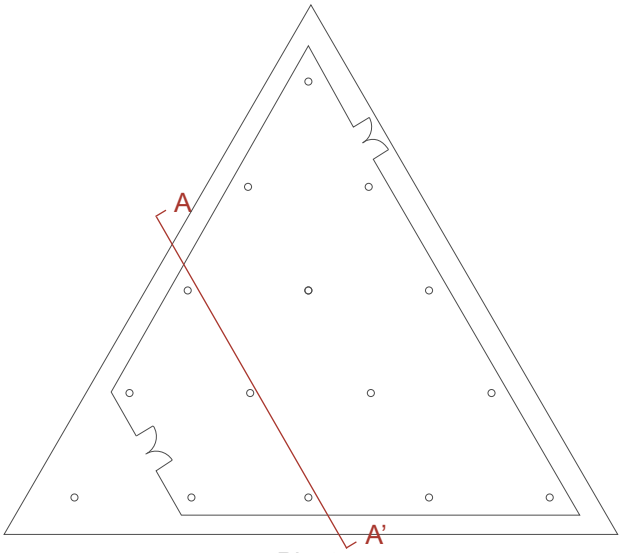
Elaborati grafici[7]



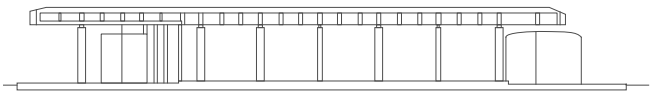
Esploso assonometrico



Dettaglio incastro pannelli



Pianta



Sezione A-A'

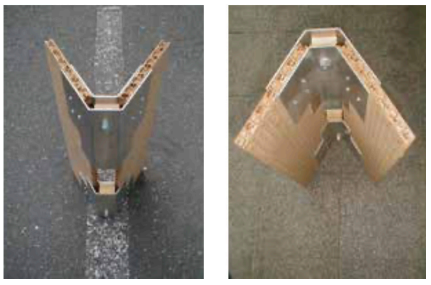
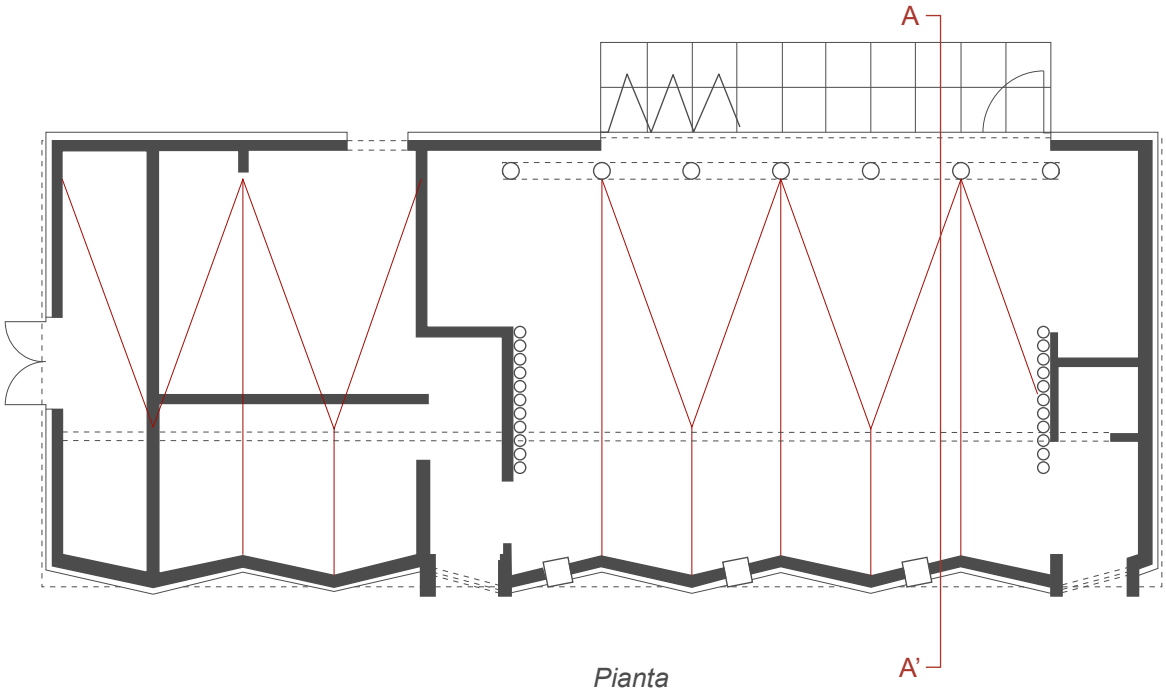


Fig. 3.3.3 Connettori in alluminio

7: http://www.shigerubanarchitects.com/works/1999_nemunoki-childrens-art-museum/index.html
fonte: Jerzy F. Latka, 2017, Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping

Westborough School Club

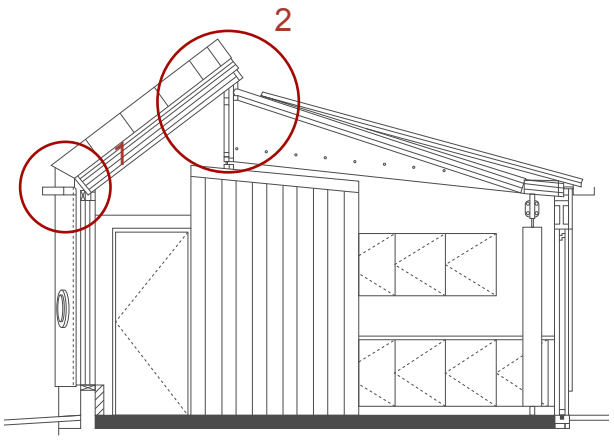
La struttura dell'edificio è composta da due tipi di elementi: tubi di carta e pannelli sandwich. Due pareti interne sono composte da undici tubi di carta che si trovano uno accanto all'altro e che trasportano la struttura a capriate del tetto. Altri sette tubi di carta sono stati posti in fila, ad intervalli. Questi prendono i carichi dal tetto, sul lato dove appare una grande apertura per le porte scorrevoli della parete nord.



Pianta

La parete e i pannelli del tetto sono una composizione stratificata di quattro pannelli di cartone pieno alternati, di 4 mm di spessore ciascuno, e tre pannelli a nido d'ape a loro volta di 50 mm di spessore. Gli strati dei pannelli sono stati inseriti in un telaio di legno e laminati insieme. Le dimensioni dei pannelli hanno un'altezza massima di 2,7 m e una larghezza di 1,5 m. Per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'umidità e dal contatto con l'acqua, i pannelli sono stati rivestiti con uno strato di polietilene all'interno e con carta da costruzione impermeabile all'esterno. Grazie alla barriera al vapore all'interno e alla barriera all'acqua traspirante all'esterno, il flusso del vapore acqueo nel cartone viene ridotto al minimo e il vapore viene così lasciato fuoriuscire dal cartone.

Poiché il cartone è un materiale relativamente fragile, gli strati esterni della parete e dei pannelli del tetto è rivestito con pannelli in fibrocemento di 16 mm per evitare che vengano danneggiati dalle attività ludiche svolte all'interno dell'edificio, dalla grandine o dalla pioggia. Sono stati prodotti otto diversi tipi di pannelli per la costruzione a piastre piegate che formano sia le pareti che il tetto della scuola elementare di Westborough.



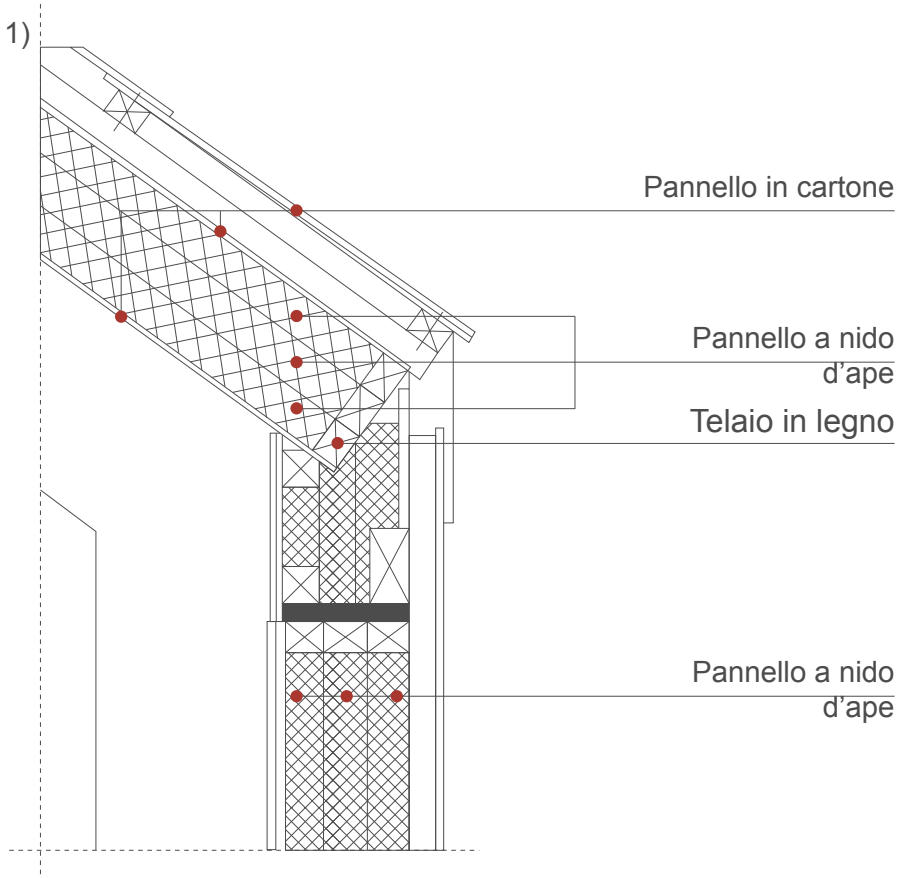
Sezione A-A'

Dettaglio pannelli di copertura

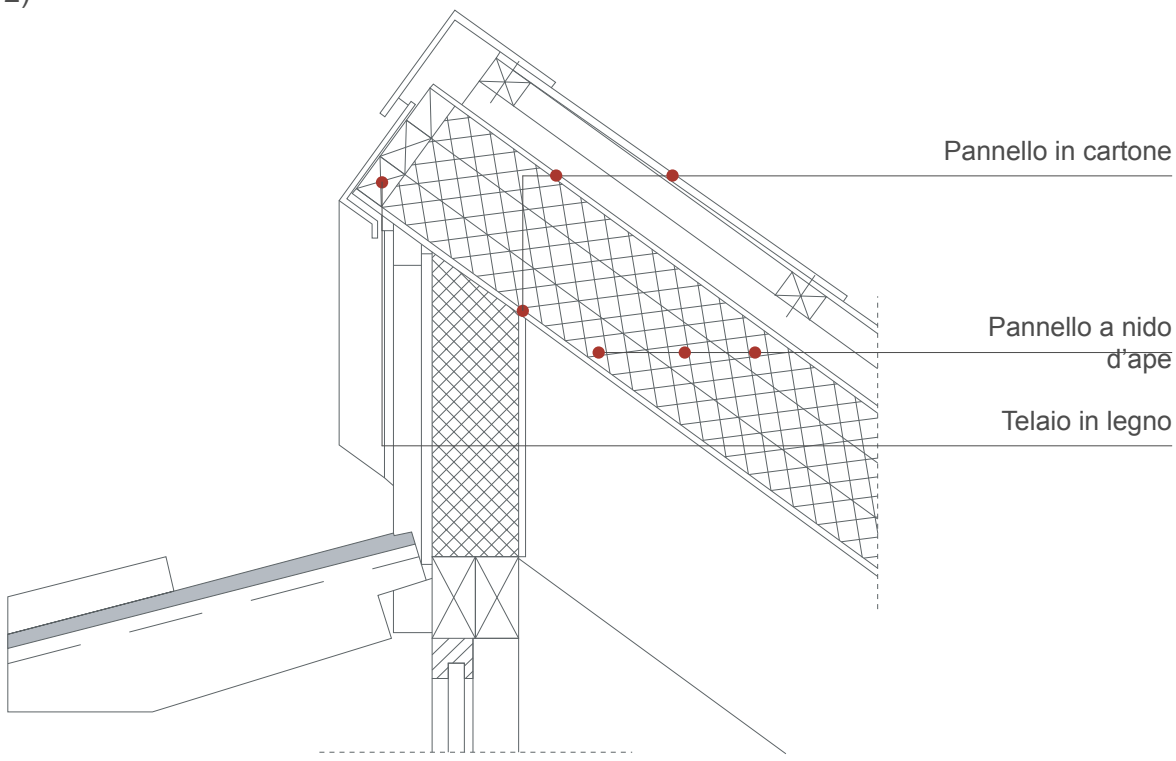
fonte: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

Le giunzioni utilizzate tra gli elementi di cartone sia nelle colonne che nei pannelli vengono realizzate con elementi in legno prefabbricati e incollati al cartone. I pannelli delle pareti e del tetto sono semplicemente collegati da telai di legno che richiedono solo poche viti per essere mantenuti in posizione. Tutte le superfici esposte sono state trattate con un trattamento antincendio per ridurre il rischio di danni.

1)



2)



fonte: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

Cardboard House

Architetti: Peter Stutchbury and Richard Smith, Ian Buchan Fell Housing Research Unit of Sydney University
Anno: 2004
Luogo: Sydney, Australia
Area: 32,4 m^2
Durata: 1.5 anni
Tipo: abitazione

Nel 2004, gli architetti australiani Peter Stutchbury e Richard Smith, in collaborazione con l'Università di Sydney, hanno progettato e costruito la "Cardboard House". Il progetto faceva parte della mostra "Houses of the Future", le case del futuro. A sei team di architetti è stato chiesto di progettare una proposta per i concetti abitativi del futuro con ambiziosi esperimenti fisici. Le case progettate dovevano essere "portatili" e consistere di un unico materiale. Sono state presentate sei proposte, ognuna delle quali realizzata con un materiale diverso (cemento, cartone, vetro, argilla, acciaio e legno).
La "Cardboard House" ha dimostrato di essere una soluzione a basso consumo energetico, leggera, facile da trasportare e di facile montaggio, ma soprattutto riciclabile. Come hanno scritto gli architetti nella loro presentazione al Centre for Affordable Housing, "*la casa di cartone rappresenta la riduzione della tecnologia, la semplificazione delle esigenze e l'integrazione del buon senso per realizzare un edificio che possa realisticamente essere considerata una proposta per l'abitare del futuro*".
L'idea degli autori era quella di creare una struttura temporanea, composta per l'85% da materiali riciclati, che potesse essere completamente riciclata in cartone dopo il suo periodo di utilizzo (fig. 3.3.4).

Fig. 3.3.4 Cardboard House

L'edificio è costituito da telai portali in cartone a forma di A incastro con travi distanziatrici orizzontali in cartone. Sei portali creano cinque campate di 1,8 m ciascuna. Semplici elementi ad incastro danno luogo ad una struttura rigida e poco tecnologica. La casa può essere ampliata sia in larghezza che in lunghezza.

fonte: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

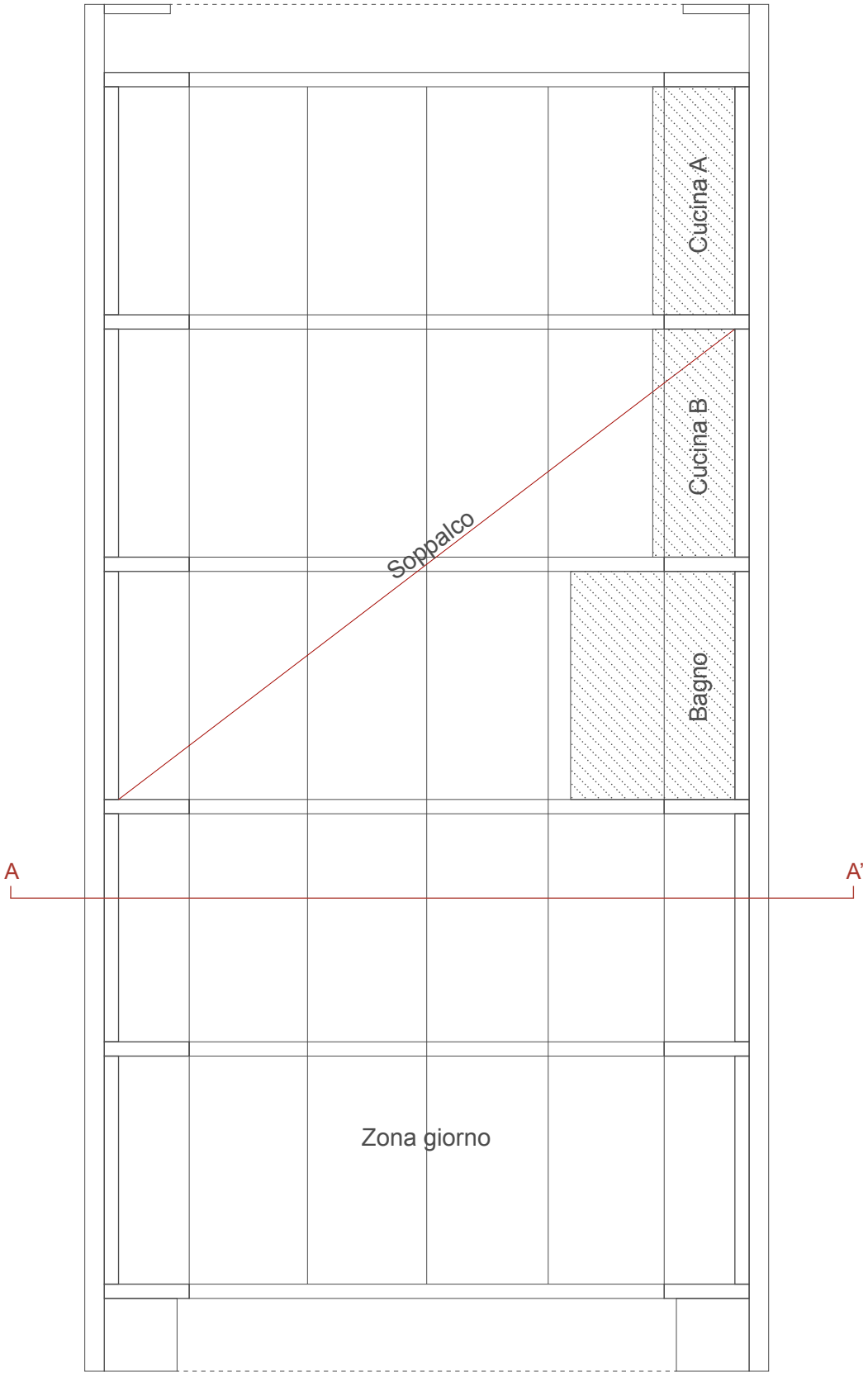
L'open space contiene locali di servizio come la cucina e il bagno, con un soppalco per dormire al piano superiore e una sezione di soggiorno su un lato (fig. 3.3.5). Lo spazio aperto consente una ventilazione trasversale e una regolazione flessibile per i cicli stagionali. L'energia è fornita dai pannelli fotovoltaici che generano una potenza di 12 V.

Fig. 3.3.5 Vista interna dei portali, Cardboard House

Il materiale utilizzato nel progetto è cartone di fibra laminata da 60 mm (cartone pieno). Ciascuno dei telai ad A è composto da due travi di 5.100x600x60 mm^3 e da una corona semicircolare. Nove distanziatori orizzontali (10.200x600x60 mm^3) sono stati incastrati in ciascuno dei telai. Limitare il numero di fissaggi tra gli elementi è stato reso possibile incastrando parti della struttura. Gli elementi sono tenuti insieme da piastre di bloccaggio in cartone di 10 mm di spessore, tubi in PET da 50 mm e barre filettate in nylon M12.
Il rivestimento esterno della "Cardboard House" è realizzato in polietilene ad alta densità, che permette anche di immagazzinare le acque grigie nelle vasche sotto il pavimento.
L'intera struttura (con un peso di circa 2.000 kg) può essere trasportata da un veicolo commerciale. La casa di cartone è stata assemblata da un gruppo di persone che ha utilizzato un'impalcatura, ma senza attrezzature speciali. Il costo per unità è di circa 35.000 dollari australiani, pari a 21.500 euro nel 2005. La struttura è stata esposta per circa un anno e mezzo in tre mostre tenute nel 2004 e nel 2005.

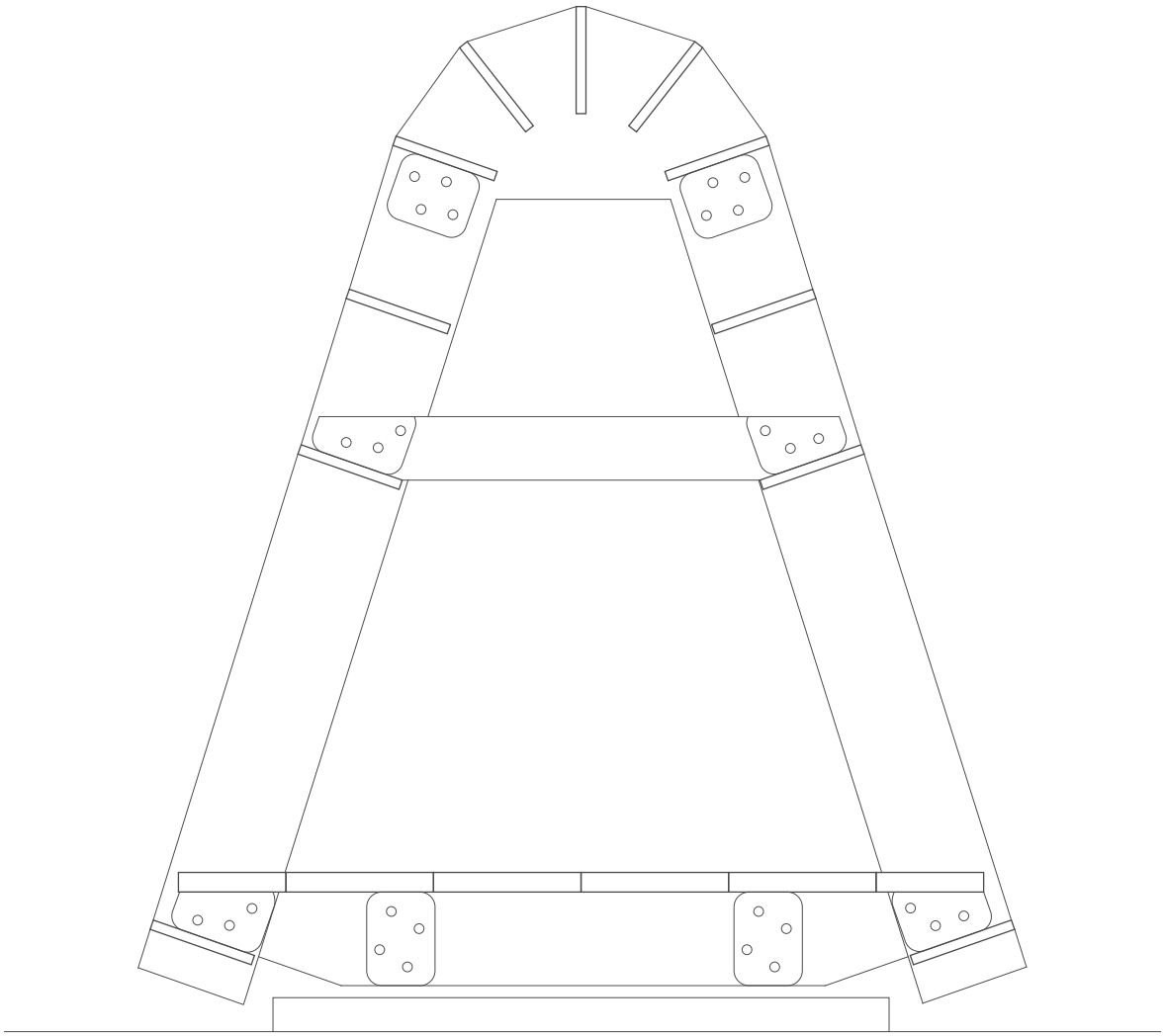
fonte: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka

Elaborati grafici

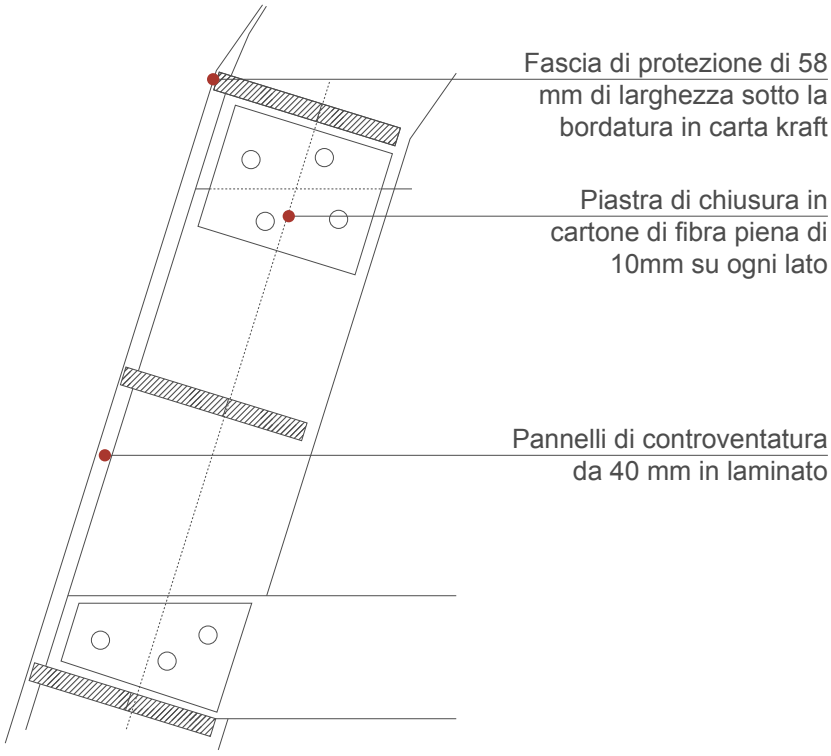


Pianta

fonte: Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping Jerzy F. Latka



Sezione A-A'



Dettaglio del collegamento tra il telaio ad A e i distanziatori orizzontali

fonte: Jerzy F. Latka, 2017, Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping

The Profile: Select Your Needs

Tipo di struttura: Struttura a trave-colonna
Realizzazione: Gennaio 2015
Luogo: TU Delft
Autori: Eline Blom, Louisa de Ronde, Rafael Silveira, Benjamin Baron
Design: Jerzy Latka
Supervisione della prototipazione: Marcel Bilow, Jerzy Latka

Il rifugio è progettato dagli studenti della TU Delft ed è composto da componenti strutturali (portali), che per alternanza creano uno schema interno diverso a seconda delle esigenze dei futuri utenti. Il modulo è composto da due portali che vengono combinati per formare un'unica sezione con una larghezza di 1,20 m (fig. 3.3.6).

Fig. 3.3.6 Modello di una sezione

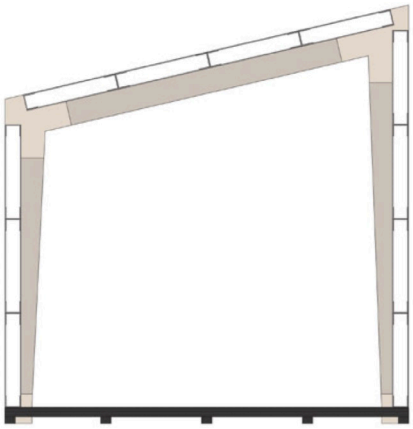


Fig. 3.3.7 Sezione del portale

Le sezioni possono essere collegate l'una all'altra in diverse configurazioni, a seconda delle esigenze degli utenti. Ogni sezione è composta da quattro diversi componenti principali: profili strutturali, componenti dell'involucro (tetto e facciata), componenti del pavimento e componenti della facciata corta.
Ogni portale strutturale è costituito da tre elementi: due colonne e una trave (fig. 3.3.7). Le colonne hanno spessori diversi in relazione ai momenti flettenti. Le travi e le colonne sono composte da dieci strati laminati di lastre di cartone ondulato da 6,4 mm, rinforzati con compensato da 10 mm nei punti di collegamento. Il compensato impedisce ai bulloni di strappare il cartone attraverso i carichi puntuali.

Negli elementi verticali (colonne) vengono incorporati diversi mobili. Questi elementi forniscono alla struttura una maggiore stabilità, soprattutto in relazione alle forze laterali. Gli elementi dell'involucro (cioè gli elementi della facciata e del tetto) sono composti da telai con profilo a U tenuti insieme da connettori triangolari in legno (fig. 3.3.8, 3.3.9).

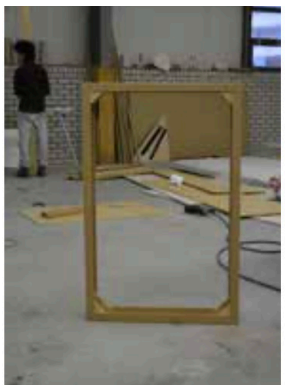


Fig. 3.3.8 Telaio della facciata

Fig. 3.3.9 Collegamento del telaio della facciata

fonte: Jerzy F. Latka, 2017, Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping

Gli elementi angolari che collegano gli elementi di facciata con gli elementi del tetto sono composti da pannelli a nido d'ape rivestiti con una finitura resistente all'acqua, e da profili a L posti sui loro bordi.
Gli elementi del pavimento sono costituiti da cartone rivestito su entrambi i lati con OSB (Oriented Strand Board o pannello a scaglie da 9 mm). Questa soluzione a sandwich permette al pavimento di distribuire uniformemente i carichi sulla superficie. Vengono proposte due diverse tipologie di pannelli del pavimento, una per i climi più caldi, e un'altra per i climi più freddi. La soluzione per i climi caldi è un pannello composto da OSB e tre strati di pannelli a nido d'ape di 2 cm. La versione con il valore di isolamento più elevato è composta da pannelli OSB e profili a U in cartone di dimensioni 120x80x5 mm^3. In questo modo si crea una griglia a pavimento che viene riempita con materiale isolante o terreno locale per migliorare le prestazioni termiche. Entrambi i tipi di pannelli del pavimento sono sostenuti da cinque travi nella parte inferiore (fig. 3.3.10, 3.3.11).

Fig. 3.3.10 Stratigrafia del pavimento composto da pannello OSB e pannello di cartone a nido d'ape

Fig. 3.3.11 Stratigrafia del pavimento composto da pannello OSB e con profilo a U con cavità per l'isolamento termico

La facciata corta è l'elemento finale fissato nella struttura. La componente della facciata corta è divisa in tre elementi unici. Ognuno di questi tre elementi viene diviso in tre parti che sono composte e collegate tra loro nello stesso modo degli elementi longitudinali della facciata. I profili a U vengono utilizzati come telaio, coperti da un pannello a nido d'ape e da uno strato di Tetra Pak sopra di esso.

La struttura viene assemblata sezione per sezione. Ciascuna delle sezioni è composta da due profili strutturali, undici pannelli di facciata, due elementi angolari e un elemento a pavimento. Il montaggio vede come prima fase la posa del pavimento, poi i tre elementi di sezione (due pareti e un tetto, ciascuno composto da travi o colonne e componenti dell'involucro) messi insieme in posizione orizzontale sul sito. Successivamente, vengono collocati in posizione verticale e montati sull'elemento a pavimento. Una volta completata questa sequenza, si può procedere alla posa di un'altra sezione, continuando così con la sequenza di montaggio, fino a quando il riparo non ha la configurazione desiderata dall'utente finale (fig. 3.3.12).

Fig. 3.3.12 Sequenza di montaggio del rifugio

fonte: Jerzy F. Latka, 2017, Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping

04

4.1 L'area di progetto pag. 164
- Contesto territoriale
- Inserimento nel territorio e relazione con il tessuto urbano
- Accessibilità

4.2 Soluzione proposta e giustificazione delle scelte architettoniche e progettuali pag. 166
- Scelte compositivo-progettuali
- Spazi per lo studio
- Soluzioni tecnologiche e risparmio energetico
- La normativa

4.3 Elementi tecnologici pag. 170
- Struttura

4.4 Soluzioni sostenibili pag. 177
- Impianti
- Raccolta delle acque
- Luce naturale e artificiale
- Sistema di controllo e monitoraggio
- La decostruzione
- Matrice di valutazione per il progetto della decostruzione

4.5 Elaborati grafici pag. 182

4.1 L'AREA DI PROGETTO

Il luogo designato ad accogliere l'aula studio temporanea del Politecnico di Torino è inserito in un contesto che condivide sia una forte identità urbanizzata che naturale, leggermente antropizzato, si pone nel "parco Millefonti" di Torino, tra Corso Unità D'Italia e il Fiume Po, a nord di "Italia '61".

Contesto territoriale

Il sito si colloca nella Circoscrizione 8, nel quartiere Lingotto. Il parco Millefonti, assieme ad Italia '61 e a Le Vallere costituiscono un continuum di verde e di acqua, dove è fortemente accentuata la contrapposizione con la sponda destra idrografica che è considerata, sotto un punto di vista paesaggistico, più debole in quanto il parco si riduce ad una striscia discontinua e quasi esigua, fino alla sua scomparsa.
L'orografia del terreno ha uno sviluppo morbido, sale lievemente verso Ovest e si sviluppa a Nord su un territorio piuttosto pianeggiante.
Il lotto è a stretto contatto (a Sud) con l'attraversamento pedonale della passerella "Turin Marathon" che permette il collegamento delle due sponde del fiume, da Corso Moncalieri a Corso Unità D'Italia.

Inserimento nel territorio e relazione con il tessuto urbano

Il principio insediativo del progetto si pone come obiettivo l'intenzione di integrare il nuovo polo didattico al tessuto circostante e di creare una relazione tra l'edificio ed i suoi spazi interni con il contesto territoriale. L'intento progettuale ha come obiettivo integrare l'elemento architettonico alla topografia del lotto, senza andare ad alterare la morfologia e l'identità del luogo, adottando quindi scelte progettuali non impattanti.

La soluzione architettonica adottata è quella di un edificio con un impatto ambientale minimo, dove la scelta di materiali ha un ruolo fondamentale per evidenziare la sostenibilità ambientale dell'edificio.
Per mantenere un legame con il sito, senza andare a creare un intervento troppo drastico, l'edificio viene posto su una fondazione con la tecnologia *Balloon Frame*, che risulta essere vantaggiosa in quanto l'elevata pre-fabbricabilità evita sprechi di materiale, si possono contenere i tempi di costruzione e di cantierizzazione. La maggiore flessibilità in fase di posa, grazie alla estrema leggerezza dei materiali e l'eccellente resa antisismica sono altre due caratteristiche che vedono favorevole questa scelta progettuale rispetto ad una tradizionale. Le caratteristiche del *Balloon Frame*, la sua duttilità e le elevate performance energetiche ne fanno sicuramente il sistema costruttivo ideale per edifici ad un piano.
Il nuovo volume, per relazionarsi con il contesto circostante pone un linguaggio architettonico, dai volumi semplici, chiari e riconoscibili.

Il progetto del polo didattico si insinua in una duplice realtà con il contesto prossimo, l'edificio infatti abbraccia a Ovest il reticolo urbano del quartiere Lingotto, e si proietta a Est verso il paesaggio fluviale del Po.
Il fronte Ovest dell'aula studio, ovvero il fronte di accesso, è protetto, da verde urbano che ha la funzione di filtro tra la strada e gli ambienti interni.
A Nord, dove si estende il parco "Millefonti" con percorsi pedonali, sono previste due uscite di emergenza.
A Sud, dove si trova il complesso SIOI (Societa' Italiana per l'Organizzazione Internazionale) e un'area sportiva attrezzata, delimitate dall'area di progetto da un percorso pedonale in linea con la passerella "Turin Marathon" sono previste altre due uscite di emergenza. L'affaccio Ovest, come già accennato prima, prevede l'ingresso principale al polo, mentre il lato Est, che è caratterizzato da una facciata completamente vetrata, prevede due accessi secondari. La facciata vetrata caratterizza l'edificio del nuovo polo didattico rendendolo riconoscibile e identitario.
Il progetto, per soddisfare le esigenze didattiche, prevede l'utilizzo di servizi e attrezzature della struttura come internet point, area stampa, area macchinette, e un ampio spazio studio, con postazioni che soddisfino il distanziamento sociale richiesto durante l'emergenza sanitaria.
È prevista una gestione degli ingressi, contingentati grazie all'ausilio di una applicazione che ne disciplinerà gli accessi. Nello specifico l'applicazione offerta dal Politecnico permetterà la registrazione, che tramite il numero di matricola, riconoscerà la validità di accesso allo studente.

Il nuovo polo didattico svolgerà la funzione di supporto alle aree studio del Politecnico, offrendo la possibilità di usufruire dei servizi dell'università in una zona che attualmente è carente di spazi idonei che soddisfino le esigenze dei fruitori.

Accessibilità

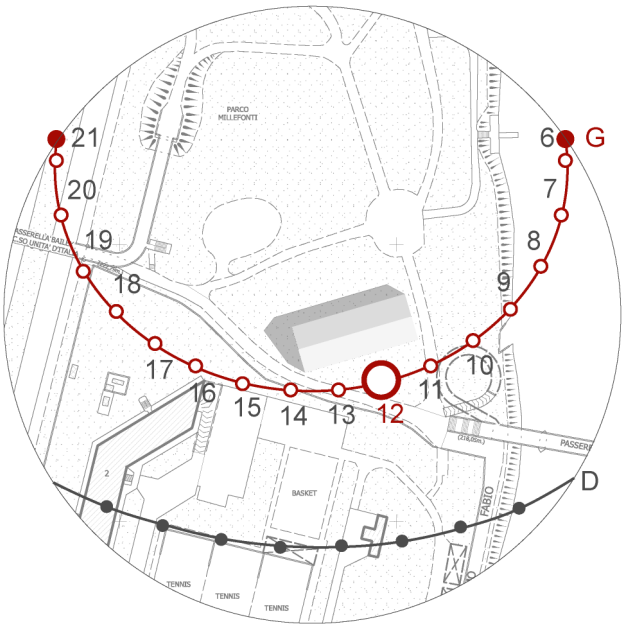
L'area interessata è collegata alla stazione ferroviaria di Porta Nuova e alle due sedi del Politecnico di Torino da

- M - 23 min. (da Porta Nuova)
- Linea Bus 67 - 26 min. (da Corso Marconi, zona Parco del Valentino)
- Linea Bus 42 - 31 min. (da Politecnico, Corso Duca degli Abruzzi)

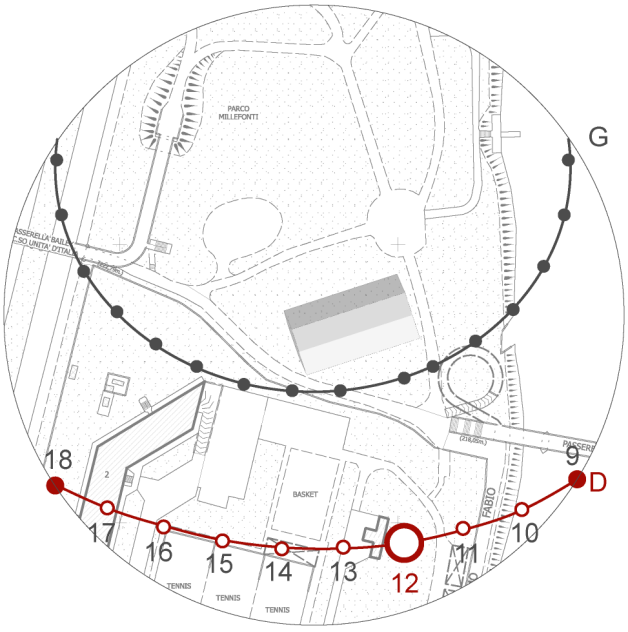
4.2 SOLUZIONE PROPOSTA E GIUSTIFICAZIONE DELLE SCELTE ARCHITETTONICHE E PROGETTUALI

Scelte compositivo-progettuali

Di seguito i principali concept che hanno posto le basi per le scelte progettuali:
- Integrazione con il paesaggio.
Minimo impatto ambientale per una struttura temporanea con previsione di durata di 5 anni.
- Orientamento del polo.
Massimo comfort luminoso e apporto solare. Il layout degli ambienti interni prevede l'ottimale ubicazione dell'aula. L'orientamento ad Est (18°) permette di godere del miglior orientamento in quanto l'intervento così posizionato si relaziona al meglio con i percorsi già esistenti e permette un affaccio diretto con il fiume Po. Viene così garantito il comfort luminoso all'interno dei principali spazi dedicati alla didattica. Aggetti coerentemente dimensionati, garantiscono un'idonea illuminazione degli ambienti evitando così effetti di abbagliamento.



21 giugno ore 12



21 dicembre ore 12

- Modularità architettonica.
Criteri per rendere semplice e veloce la realizzazione ed efficiente la gestione.
- Spazi didattici versatili.
Soluzioni per rendere adattabili gli spazi interni creando *cluster* per le varie esigenze dei fruitori. Sistema reso possibile da compartimentazioni mobili (fig. 4.2.1).

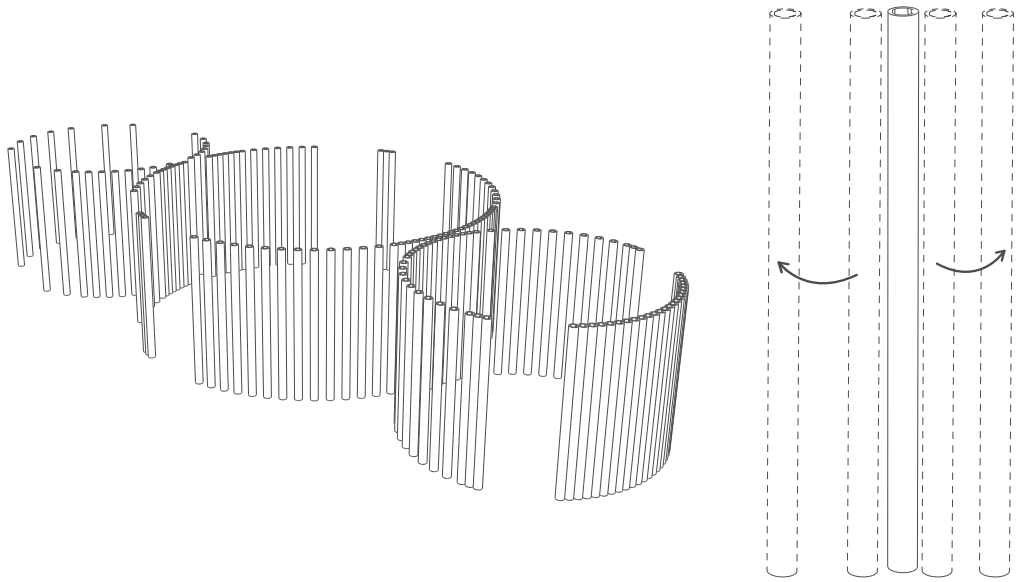


Fig. 4.2.1 Cluster formati da un sistema di tubi mobili

- Sostenibilità passiva per forma, volume, involucro.
L'orientamento dell'edificio è studiato per avere la migliore esposizione possibile, considerando il rapporto tra manufatto, caratteristiche naturali e antropiche del sito ed esposizione solare (illuminamento giornaliero e guadagni solari passivi).
Gli aggetti a protezione delle parete vetrata, ventilazione naturale, approvvigionamento delle acque piovane, rendono l'aula studio un edifico passivo.
- Sistemi costruttivi a secco e prefabbricati: struttura in cartone e legno.
Per la realizzazione del polo didattico si prevedono sistemi costruttivi a secco e prefabbricati *off-site*, in particolare gli elementi tubolari e i corrispettivi giunti in legno e i trattamenti dei tubi per renderli resistenti al fuoco e all'acqua, in modo da limitare le operazioni in cantiere in termini di tempo, costi e impatto ambientale.
- Uso di materiali ecologici e sostenibili.
Si prevede l'utilizzo di materiali con etichetta di sostenibilità EDP, ecologici e sostenibili. In particolare verranno utilizzati per la struttura portante tubi di cartone (Ø esterno 280 mm, Ø interno 250 mm) con reperibilità a km zero (es. Tubificio S.Anna srl di Chieri, Novero Imballaggi di Torino), o reperibili anche come scarto essendo utilizzati nell'industria tessile come anima per i tessuti. Le chiusure trasparenti dell'involucro saranno formate da elementi in vetro con infissi ad alte prestazioni energetiche (profili a taglio termico e vetri basso-emissivi).

Spazi per lo studio

L'interno dell'edifico è caratterizzato da materiali caldi, cartone e legno, andando così a formare un ambente caldo e accogliente, grazie anche alla generosa illuminazione naturale. Il fruitore si trova in uno spazio caratterizzato da tre *cluster* (fig. 4.2.2) posizionati al centro dell'aula studio, con tre diverse funzioni: area stampa, area polifunzionale e area internet point. I cluster sono frutto di un sistema di elementi tubolari (Ø esterno 100 mm, altezza 2000 mm) mobili, posizionati su una guida, che permette di spostare i singoli elementi per andare a creare aperture e chiusure in base alle esigenze (rumore, luce, o attività specifiche che richiedono una designazione degli spazi particolare).

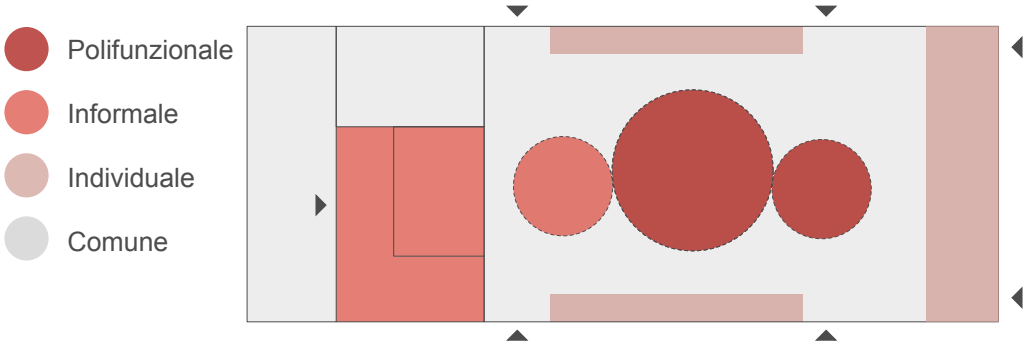
Fig. 4.2.2 Cluster delle funzioni

In questo modo questi spazi sono trasformativi, si adattano alle necessità attraverso arredi mobili, con il sistema di tubi che richiama il sistema delle pareti mobili.
Lo spazio che si staglia esternamente ai *cluster* ospita postazioni studio di diversa natura. Per essere in linea con il distanziamento sociale che domina ormai gli spazi che vedono obbligata l'aggregazione sociale, sono stati pensati dei *pod* studio (fig. 4.2.3) posizionati sul lato est dell'aula, in linea serpentinata per creare piccoli ambienti separati.

Fig. 4.2.3 Pod studio in linea serpentinata

Altre postazioni studio sono state posizionate sui lati Nord e Sud lungo le partizioni perimetrali, mantenendo tra una postazione e l'altra la distanza di un metro e mezzo. Ogni postazione studio è dotata di prese.
Grazie all'involucro vetrato il paesaggio vegetativo limitrofo esterno fa da cornice all'ambiente interno. Gli spazi sono pensati non in modo tradizionale, con partizioni tramite muri che genererebbero una divisione assoluta, ma divisioni non nette per garantire la permeabilità visiva degli ambienti.

L'aula studio viene intesa non solo come luogo specifico preposto al solo studio individuale, ma sono contemplati spazi per attività distribuite, diffuse, mobili.



Schematizzazione degli spazi in base alle attività

Spazio polifunzionale: luogo in cui i gruppi di studenti si raccolgono; area che permette soluzioni flessibili per lo svolgimento di attività differenziate: collaborare, discutere, elaborare.
Spazio informale: ambiente dedicato al relazionarsi con il prossimo, con area macchinette.
Spazio individuale: per il raccoglimento, la riflessione, la lettura; postazioni riparate e protette con strumenti di lettura/scrittura individuale.
Spazio comune: spazio dei fruitori (es. servizi igenici).

Soluzioni tecnologiche e per il risparmio energetico

Di seguito alcune soluzioni tecnologiche adottate nel progetto.
- La struttura portante è realizzata con tubi di cartone, essendo un materiale da costruzione sostenibile, ma soprattutto riciclabile.
- Data la natura temporanea dell'aula studio, la struttura di fondazione verrà realizzata con il sistema *Balloon Frame* che consente di realizzare rapidamente costruzioni economiche a partire dal legno (facilmente reperibile e trasportabile), senza ricorrere a mano d'opera specializzata.
- I tubi verranno trattati con più strati di un composto a basso contenuto di componenti organici volatili in poliuretano per dare resistenza all'acqua. La vernice viene distribuita sulla superficie esterna con pennelli garantendo la miglior prestazione, un'ottima resa e creando così una soluzione sostenibile. Verranno effettuati due strati di vernice *off-site* e, una volta posti in opera, verranno date due passate di vernice poliuretanica, per garantire una superficie uniforme. Lo strato impermeabile infatti diventa così una vera e propria pelle del tubo correggendo così possibili difetti o malfunzionamenti.
La parte del tubo che è a contatto diretto con il terreno verrà rivestito con un tubolare in ferro zincato alto 30 cm per garantire un'ulteriore protezione.
Per rendere il tubo resistente al fuoco verrà trattato con vernici trasparenti ignifughe che ritardano l'ignizione del fuoco. Il periodo di efficacia di tale prodotto non supera i 5 anni, quindi non necessita un secondo trattamento, prevedendo l'aula studio per un periodo non superiore agli anni citati.
Il trattamento antincendio si prevede nella fase in opera con le seguenti applicazioni: il solvente, il legante, il datore acido (catalizzatore ad azione disidratante), i composti carbonizzabili (basi generanti carbonio), agenti schiumogeni e gassificanti.
Il trattamento può essere effettuato a spruzzo, a pennello, a rullo o a pompa *airless*, a qualsiasi altezza, sia in verticale che orizzontale e con qualsiasi angolazione.
- Il verde che circonda l'edifico ha la funzione di barriera al rumore generato dal transito delle autovetture su Corso Unità D'Italia.
- L'affaccio a Est dell'aula è caratterizzato da una chiusura trasparente realizzata in doppio vetro satinato che consente l'ingresso della luce e impedisce l'incidenza diretta e fenomeni d'abbagliamento. Un aggetto della copertura di 1metro aiuta a smorzare ulteriormente l'abbagliamento.
- La scelta di tutti i materiali è stata ponderata in un'ottica non solo di performance ottimale, ma anche in previsione di un disassemblaggio e il conseguente riciclo dei materiali impiegati.

La normativa[1]

La normativa di riferimento:
Titolo V - EDILIZIA SCOLASTICA
Dal D.M. 236/89, punto 4.4 - Strutture sociali:
(omissis) Nelle strutture destinate ad attività sociali come quelle scolastiche, sanitarie, assistenziali, culturali e sportive, devono essere rispettate quelle prescrizioni di cui ai punti 4.1, 4.2 e 4.3, atte a garantire il requisito di accessibilità. (Omissis)

Tutte le scelte progettuali hanno tenuto conto della norma di riferimento sopracitata, a partire dall'accessibilità dell'edificio che costituisce il punto di frontiera e di mediazione tra l'ambiente esterno e quello interno. "*E', pertanto, importante che tale ambito sia adeguatamente protetto dagli agenti atmosferici, e presenti dei raccordi percorribili tra il piano di calpestio interno e quello di percorrenza esterno."*
Per essere conforme alla norma e rendere a tutti accessibile l'aula studio l'ingresso principale è dotato di una rampa, di adeguata pendenza (6%), utile a superare il dislivello. L'edificio infatti è caratterizzato da due livelli differenti, con la zona di accesso a quota +10cm dal piano campagna, e +30cm la zona studio. Per abbattere la barriera architettonica interna di 20cm, è stata predisposta una rampa con parapetto.
"Un altro importante elemento, ai fini dell'accessibilità all'edificio, è la porta di ingresso.
Tra i sistemi a battente e a scorrimento, manuale o automatico, è preferibile la combinazione "scorrimento automatico",che per essere azionato non richiede alcun impegno fisico o psichico da parte dell'utilizzatore, che attraversa liberamente questo elemento di frontiera.
Un'attenzione particolare deve, però, essere prestata alla manutenzione di tali meccanismi, per i problemi che deriverebbero dal mancato funzionamento o per situazioni di emergenza e quindi di esodo."

Pavimenti
Criteri progettuali (D.M. 236/89, 4.1.2)
I pavimenti devono essere di norma orizzontali e complanari tra loro e, nelle parti comuni e di uso pubblico, non sdrucciolevoli.
Eventuali differenze di livello devono essere contenute ovvero superate tramite rampe con pendenza adeguata in modo da non costituire ostacolo al transito di una persona su sedia a ruote.
Nel primo caso si deve segnalare il dislivello con variazioni cromatiche; lo spigolo di eventuali soglie deve essere arrotondato.
Nelle parti comuni dell'edificio, si deve provvedere ad una chiara individuazione dei percorsi, eventualmente mediante una adeguata differenziazione nel materiale e nel colore delle pavimentazioni.
Il pavimento scelto è Marmoleum solid (vedere scheda tecnica) che rispecchia le caratteristiche richieste per essere conforme alla norma.

Arredi fissi
Criteri progettuali (D.M. 236/89, 4.1.4)
La disposizione degli arredi fissi nell'unità ambientale deve essere tale da consentire il transito della persona su sedia a ruote e l'agevole utilizzabilità di tutte le attrezzature in essa contenute. Dev'essere data preferenza ad arredi non taglienti e privi di spigoli vivi.

Servizi igienici
È prevista l'accessibilità ad un w.c. ed un lavabo per ogni nucleo di servizi installato.
Criteri progettuali (D.M. 236/89, 4.1.6)
Nei servizi igienici devono essere garantite, con opportuni accorgimenti spaziali, le manovre di una sedia a ruote necessarie per l'utilizzazione degli apparecchi sanitari.
Deve essere garantito in particolare:
- lo spazio necessario per l'accostamento laterale della sedia a ruote alla tazza e, ove presenti, al bidet, alla doccia, alla vasca da bagno, al lavatoio alla lavatrice;
- lo spazio necessario per l'accostamento frontale della sedia a ruote al lavabo, che deve essere del tipo a mensola;
- la dotazione di opportuni corrimano e di un campanello di emergenza posto in prossimità della tazza e della vasca.

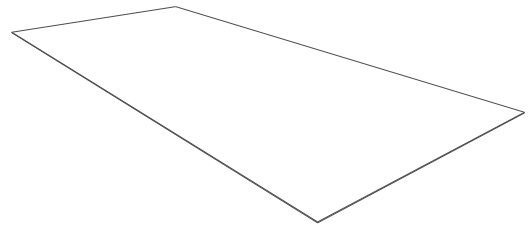
1: http://www.studioaltrospazio.it/public/pdf/21-DPR%20503-96%20(barriere%20architettoniche).pdf

4.3 ELEMENTI TECNOLOGICI

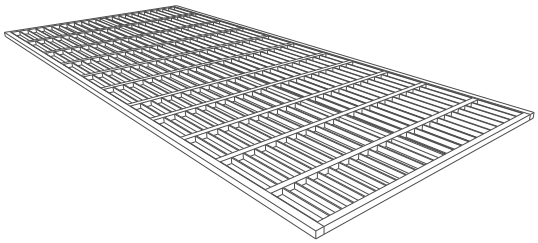
Struttura

"*Balloon Frame*: *sistema costruttivo standardizzato basato sull'utilizzazione di listelli provenienti direttamente dalla lavorazione industriale del legno, nelle loro dimensioni standard, affiancati a distanza modulare. L'assemblaggio delle parti avviene con l'impiego di chiodi d'acciaio, in sostituzione dei tradizionali incastri, consentendo l'eliminazione di manodopera specializzata e l'accelerazione dei tempi di costruzione. L'irrigidimento della struttura è ottenuto per mezzo di doghe di rivestimento o di copertura*."[2]

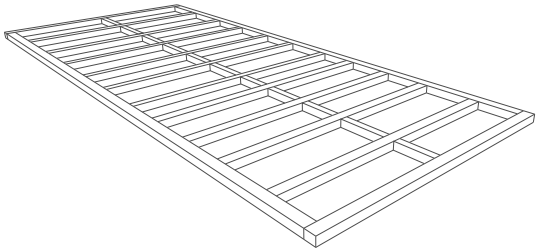
Le fondazioni sono realizzate con setti interrati di cemento armato. Il solaio controterra viene realizzato con travi in legno lamellare, poste ad un interasse di 40 cm. Sopra alle travi viene poi posto un tavolato (fig. 4.2.4), sopra il quale verrà posto a secco il massetto Calcix di 7 cm, dove passano gli impianti. Sopra il massetto infine viene posizionato il pavimento Marmoleum Solid, 97% di materie prime naturali, 72% di materie prime rapidamente rinnovabili, 43% di materiale riciclato [3].



Tavolato



Travi del solaio



Setti di fondazione in cemento armato

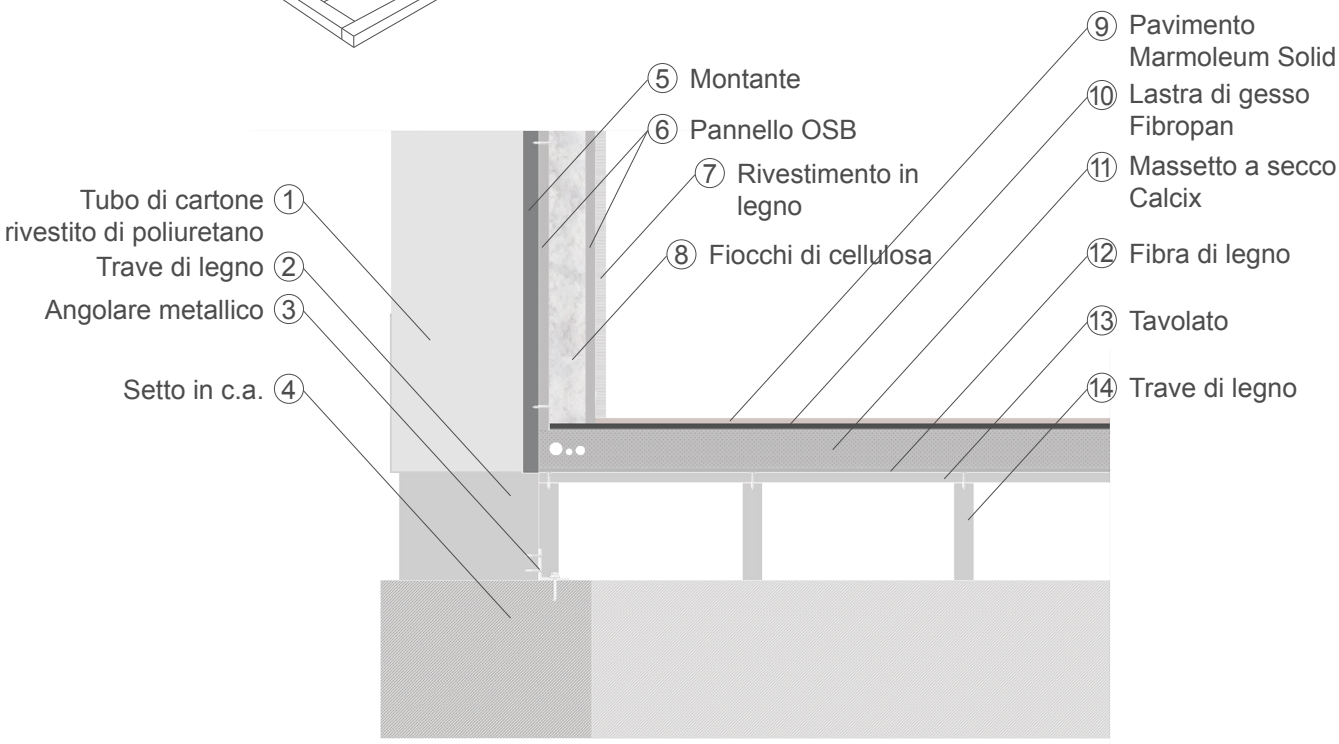


Fig. 4.2.4 Dettaglio solaio controterra

2: https://www.sapere.it/enciclopedia/balloon+frame.html
3: https://www.forbo.com/flooring/it-it/prodotti/linoleum/marmoleum-solid/b2k9mn#panel_100

La scelta progettuale di realizzare il solaio controterra a secco è dettata dalla scelta dei materiali in quanto vengono impiegati prodotti naturali certificati. Altro vantaggio che rende questa soluzione vantaggiosa è il peso limitato e la modalità di montaggio rapida, in quanto non non è richiesta l'attesa per l'asciugatura.
Riassumendo, i vantaggi della posa a secco sono:
- garanzia di stabilità nel tempo;
- rapidità d'esecuzione;
- immediata calpestabilità e rivestibilità;
- leggerezza;
- efficace isolamento termo-acustico.

Il massetto Calcix è composto da granuli (tra i 2 e i 6mm) di carbonato di calcio. È un massetto a secco livellante, completamente naturale, privo di leganti e facile da utilizzare.
Si posa a secco, offre una notevole inerzia termica; la struttura granulare conferisce ottime prestazioni sul piano acustico.[4]

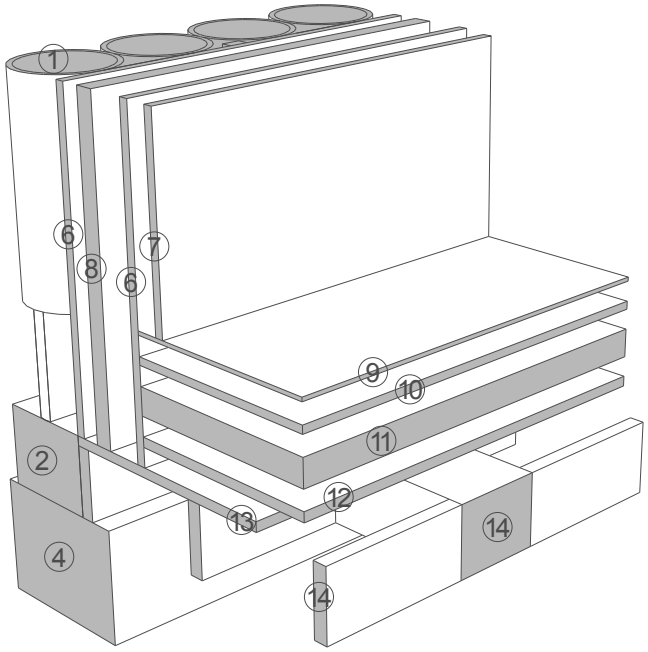
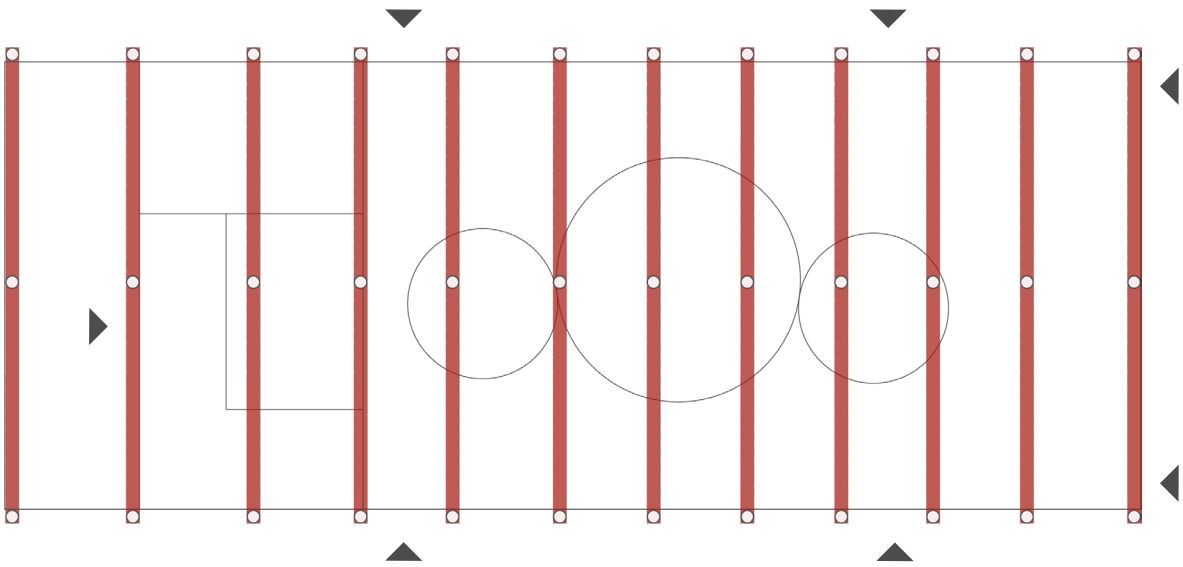


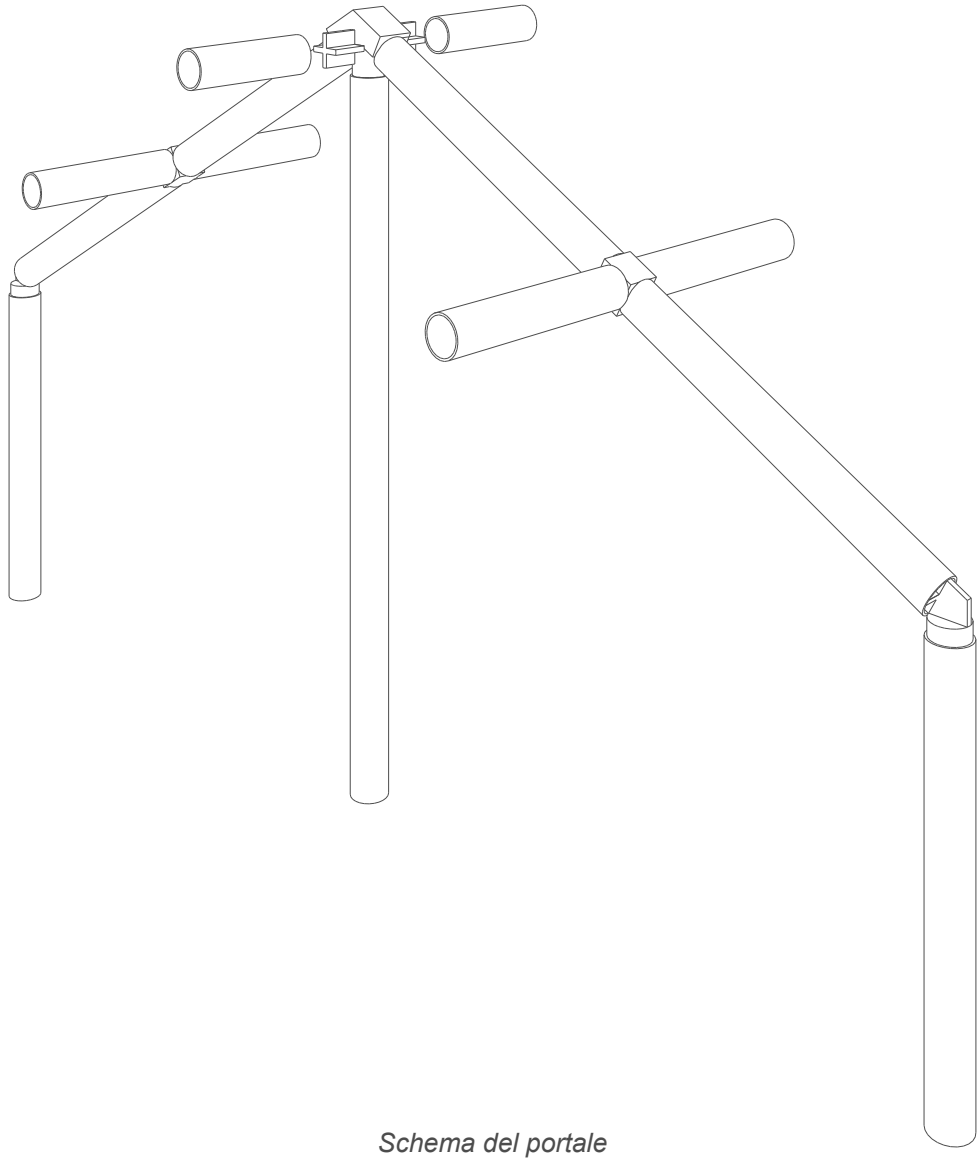
Fig. 4.2.5 Dettaglio esploso del solaio controterra

Il sistema strutturale vede invece l'impiego di tubi di cartone giuntati tramite collegamenti lignei che vanno a formare portali, con un interasse di 2 metri.

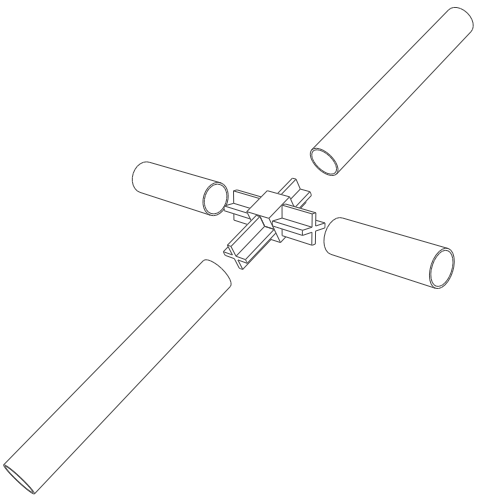


Posizionamento dei portali in pianta

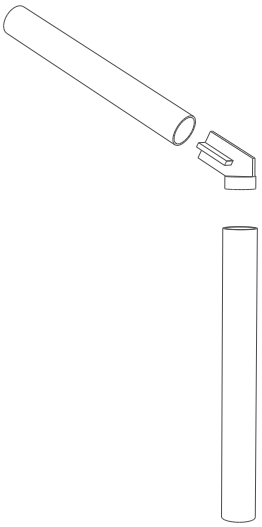
4:https://www.nordtex.it/granulato-calcareo-calcix/



Schema del portale



Nodo di collegamento dell'incrocio delle travi



Giunto angolare trave-pilastro

Gli elementi tubolari vengono collegati alla struttura di fondazione tramite elementi lignei (pioli) a croce fissati alle travi di fondazione mediante idonee piastre metalliche ancorate con barre filettate in acciaio. Una volta fissati i pioli, i tubi verranno inseriti e poi fissati con viti al supporto in legno (fig. 4.2.6, 4.2.7). Con l'elemento ligneo viene inserito anche il tubolare metallico di protezione per il tubo di carta.

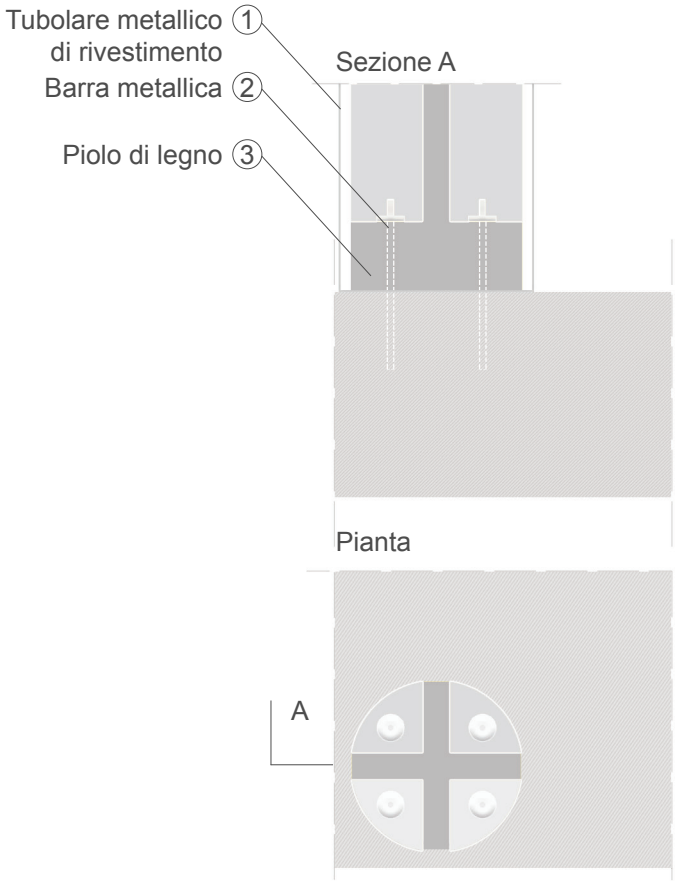


Fig. 4.2.6 Collegamento del sostegno ligneo alla fondazione

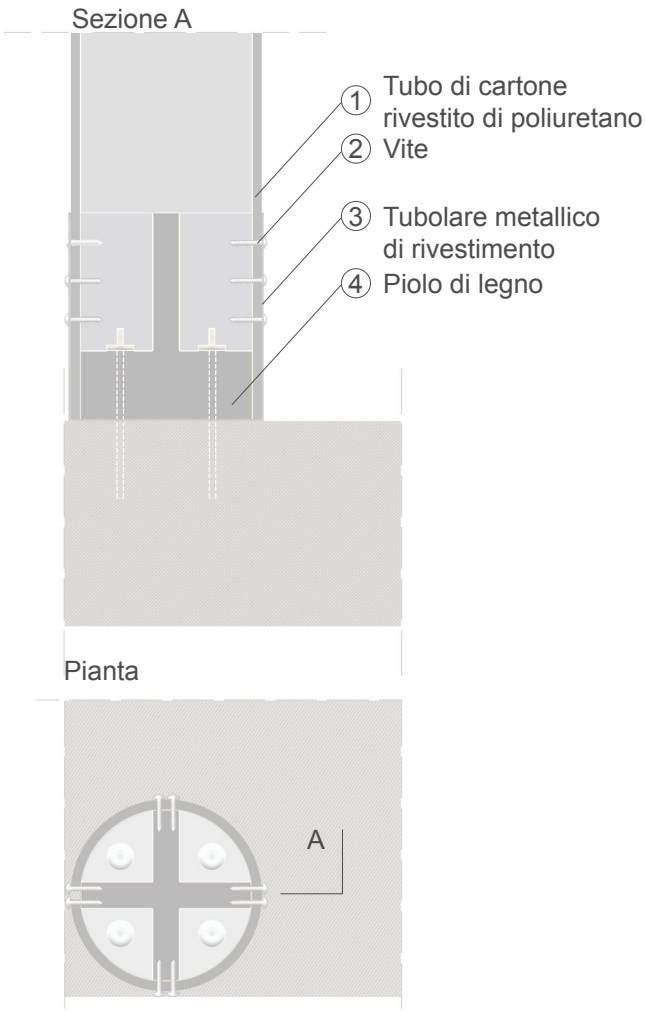


Fig. 4.2.7 Collegamento del tubo alla fondazione

La chiusura opaca verticale perimetrale (fig. 4.2.8) è caratterizzata dagli elementi tubolari di cartone con diametro Ø esterno 280 mm, Ø interno 250 mm, rivestiti di vernice poliuretanica per dare resistenza all'acqua e trattamenti ritardanti di fiamma (come descritto a pag. 164) collegati tra loro da un nastro di spugna autoadesivo impermeabile.

Le cavità dei tubolari e lo spazio che si crea tra un tubo e l'altro verranno colmati con fibra di cellulosa[5] come materiale isolante. La fibra di cellulosa è un materiale isolante naturale, che viene applicato a secco e si ricava da carta da macero (es. carta di giornale, tagliuzzata e sfibrata fino ad ottenere un materiale simile al piumino). In questa fase di lavorazione, per rendere la fibra resistente al fuoco, all'acqua e ad insetti, muffe, microbi e roditori, è necessario aggiungere sali minerali. La caratteristica della fibra di cellulosa è sicuramente la sua natura, infatti essendo un prodotto naturale è un materiale molto traspirante, e soprattutto è un materiale igroscopico, ovvero è in grado di assorbire l'umidità rendendo l'ambiente più secco per poi rilasciarla quando l'ambiente diventa meno umido, favorendo così la salubrità delle strutture e il benessere nelle abitazioni.

La fibra di cellulosa si ottiene dal legno e possedendo così ottime caratteristiche termiche. Durante i periodi caldi estivi la fibra di cellulosa raggiunge il più alto valore di inerzia termica tra gli isolanti naturali e sintetici portando così il massimo beneficio all'abitazione che in estate sarà più fresca, merito dell'enorme tempo di sfasamento dell'onda termica. Esistono delle normative Europee che disciplinano come deve essere prodotto l'isolante. La base del prodotto isolante deve essere pura al 95% cioè ricavata dalla trasformazione della carta da macero. La fibra di cellulosa viene inserita negli elementi tubolari tramite insufflaggio.

5: https://www.isolare.it/it/isolamento/isolamento-termico-in-fibra-di-cellulosa-domande-frequenti/caratteristiche-della-fibra-di-cellulosa/

Scheda tecnica[6] della fibra di cellulosa:

		Unità	Valore
Certificazioni tecniche	OIB		ETA-06/0076
Densità	libera in superficie su intercapedini	Kg/m³	28 38-65
Conducibilità termica	λD(23,50)	W/m°K	0,039
Inerzia termica	C	J/kg°K	2110
Resistenza alla diffusione del vapore		μ	1
Reazione al fuoco	EN-13501-1	100 mm	B-s2,d0
Resistenza al flusso d'aria	a 30 Kg/m³ a 50 Kg/m³	kPas/m²	5,3 25,1
Umidità al confezionamento			max. 12%
Assorbimento di umidità		% Peso/Volume	<15%
Stabilità nominale fibra sfusa	fino a 25 cm sopra i 25 cm	aumentare del	10% 15%
Grado di assestamento	libera in superficie su intercapedini	28 Kg/m³ 38 Kg/m³	8% max. 0%
Emissioni di odori			nessuno
Sviluppo Fumi			accettabile
Corrosivibiltà			non corrosivo
Temperatura max. d' impiego		°C	82
Certificato di conformità EU			1159-CBD-0138/06
Peso sacco		Kg	14

Questa soluzione isolante risulta essere vantaggiosa in quanto non richiede alcuna manutenzione.

La scelta progettuale è di lasciare a vista esternamente l'elemento del tubo cartaceo, i trattamenti infatti non ne vanno ad alterare la struttura morfologica. Questa scelta è dettata dalla volontà di rendere la tecnologia elemento di riconoscimento del polo didattico.
Internamente invece si è optato per un rivestimento in legno. Tra il rivestimento e i tubolari vengono inseriti dei pannelli OSB fissati a dei montanti (fig. 4.2.8), che a loro volta sono collegati all'estremità inferiore alle travi del solaio, e all'estremità superiore alla trave di bordo (fig. 4.2.9).

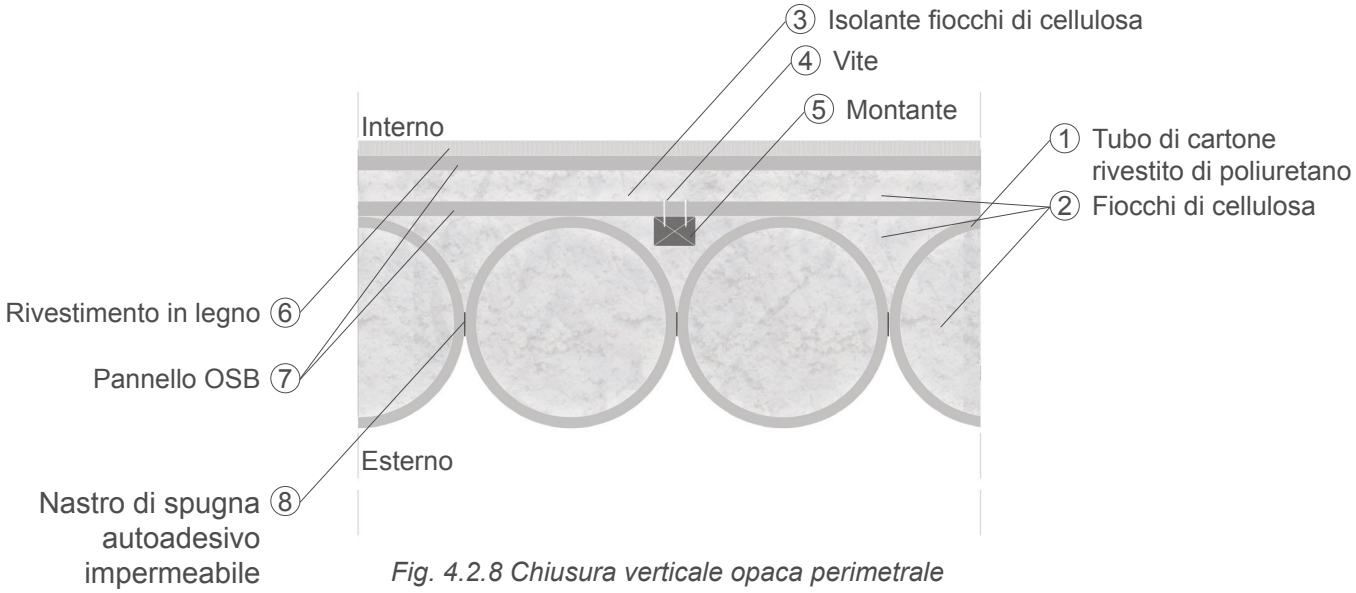


Fig. 4.2.8 Chiusura verticale opaca perimetrale

6: https://www.isolare.it/it/isolamento/fibra-di-cellulosa-caratteristiche-tecniche-term

Tra il pannello OSB e il rivestimento in legno viene inserito un'ulteriore strato isolante di 5 cm per dare continuità del fronte isolante.

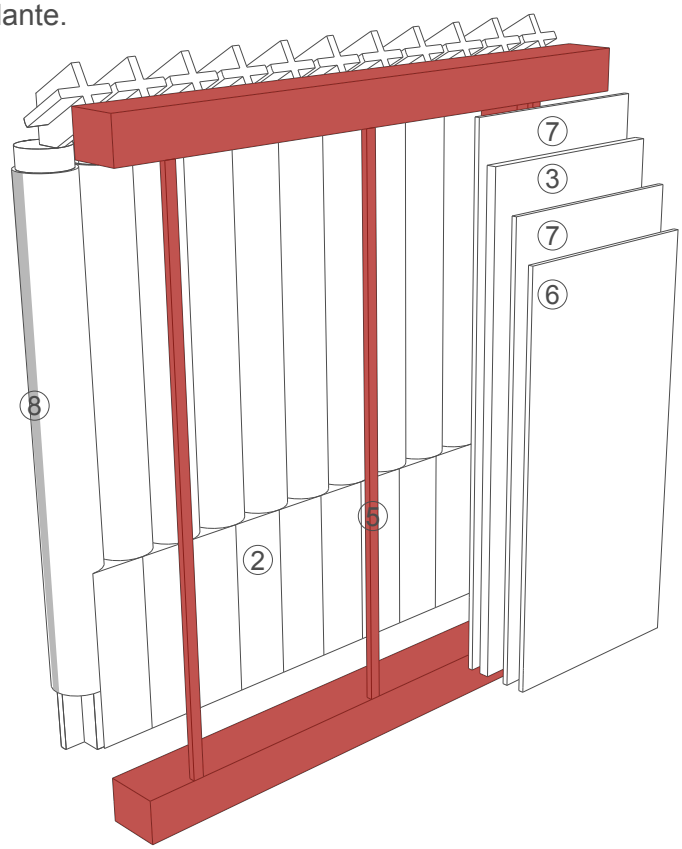


Fig. 4.2.9 Dettaglio telaio della chiusura perimetrale

La struttura di copertura (fig. 4.2.10) è costituita da due orditure: una primaria e una secondaria. L'orditura principale è formata dai tubolari dei portali che sorreggerà l'orditura secondaria costituita da tubolari di diametro Ø esterno 100 mm, Ø interno 75 mm (fig. 4.2.12) tenuti insieme tra loro da un nastro di spugna autoadesivo impermeabile. Il collegamento delle due orditure sarà realizzato con fascette di plastica (fig. 4.2.11) per evitare di forare i tubolari evitando così di creare dei ponti termici. I tubi dell'orditura secondaria infatti saranno isolati con fiocchi di cellulosa, seguendo la stessa procedura usata nella chiusura verticale opaca perimetrale.
Eccezione sarà fatta per il collegamento dove i tubi di diametro Ø 100 mm incrociano il collegamento ligneo dell'orditura secondaria. Infatti non verrà utilizzata la fascetta ma si utilizzeranno viti per giuntare i due collegamenti lignei.

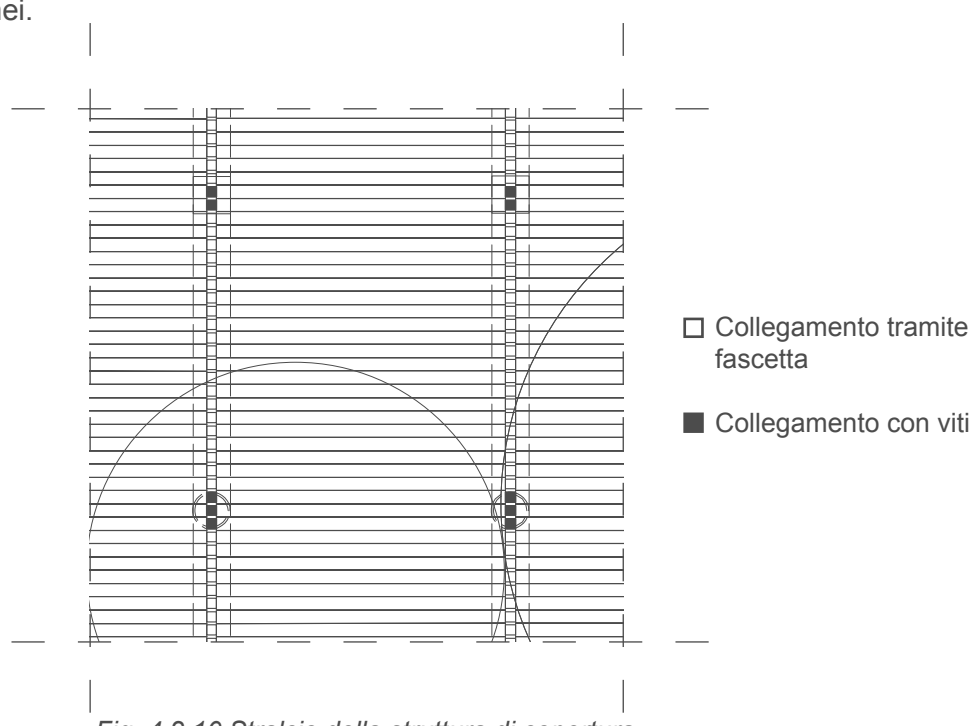


Fig. 4.2.10 Stralcio della struttura di copertura

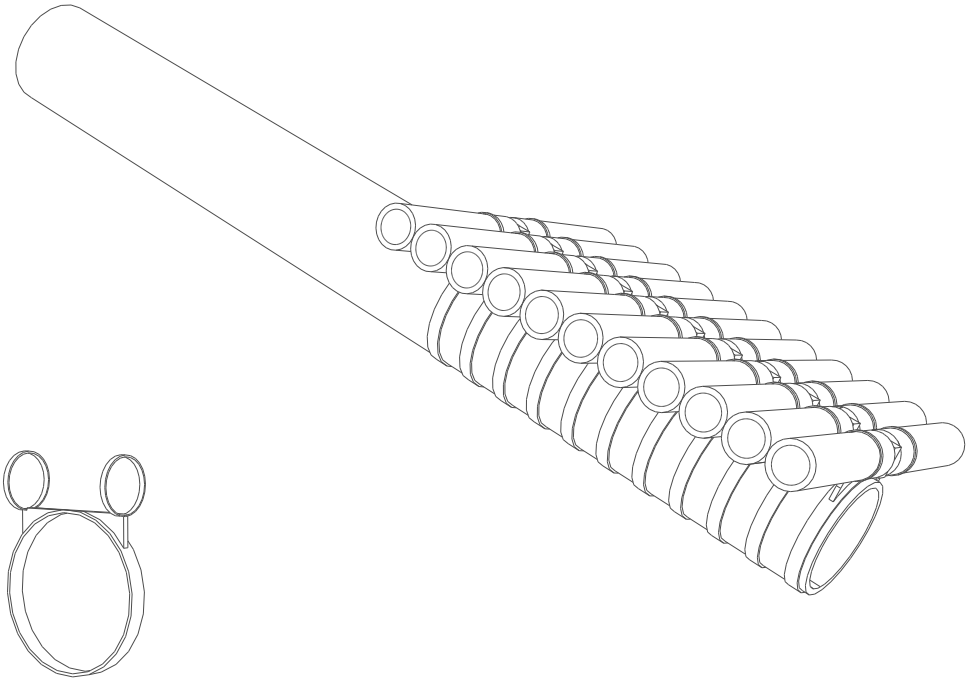


Fig. 4.2.12 Dettaglio collegamento dell'orditura primaria con l'orditura secondaria

Fig. 4.2.11 Fascetta di collegamento

La scelta progettuale prevede di lasciare interiormente la struttura a vista, mentre la parte esterna sarà finita con un pannello di protezione in fibrocemento. Tra i tubolari dell'orditura secondaria e il pannello di chiusura verranno inseriti due pannelli OSB che conterranno 5 cm di isolante di fiocchi di cellulosa per dare continuità del fronte isolante. L'isolante sarà anche inserito nelle cavità dei tubolari e negli spazi esterni per insufflaggio (fig. 4.2.13).

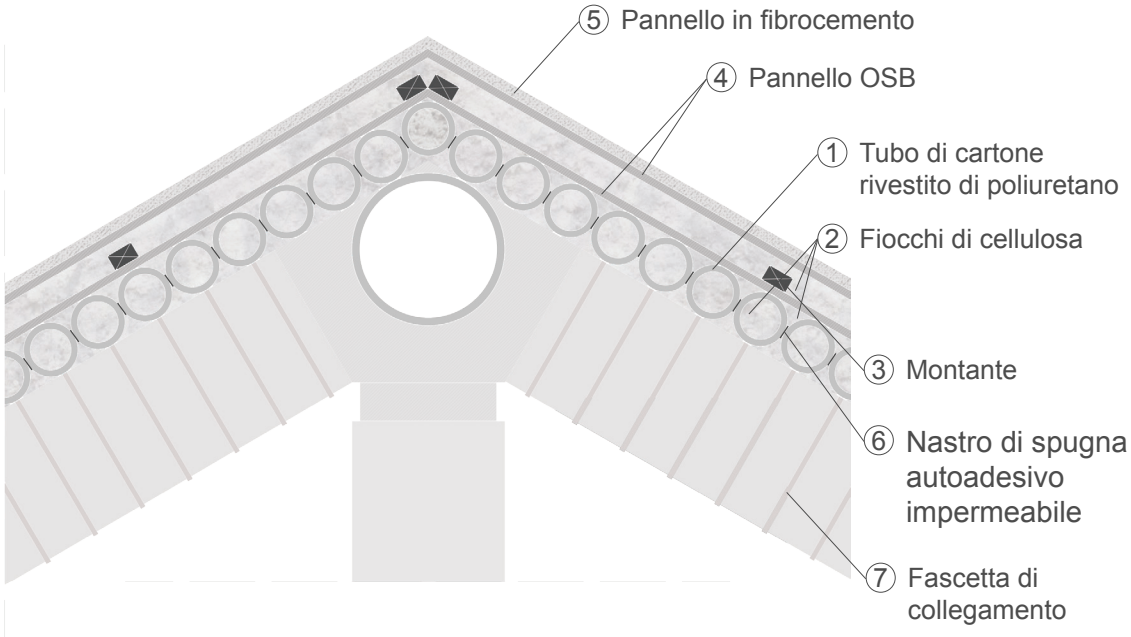


Fig. 4.2.13 Chiusura orizzontale opaca

4.4 SOLUZIONI SOSTENIBILI

Impianti

Dal punto di vista impiantistico verranno effettuate scelte progettistiche volte al risparmio energetico grazie ad accurate scelte impiantistiche. L'obiettivo sarà infatti il raggiungimento della Classe energetica "edificio ad energia quasi zero". Per raggiungere tale obiettivo l'attenzione sarà posta ai seguenti aspetti:
- "risparmio energetico" tecnico-economico-ambientale;
- coerenza normativa, per fabbisogni energetici e fonti rinnovabili;
- facilità di manutenzione grazie al raggruppamento delle centrali di produzione, alla ridotta dimensione del sistema distributivo della climatizzazione.

Per il sistema di condizionamento dell'edifico si opterà per la pompa di calore aria-aria che rappresenta un mezzo molto efficace e conveniente per provvedere sia al riscaldamento degli ambienti che dell'acqua da usare come fluido per i radiatori e come acqua calda sanitaria.
Questo sistema risulta essere vantaggioso in quanto la pompa di calore riesce a trasferire, per il riscaldamento, più energia di quanta ne consumi, in un rapporto di 3 o 4 kWh di calore trasmesso per ogni kWh di energia elettrica consumata.

Sistema pompa di calore aria-aria

Per rendere ancora più sostenibile questa scelta si prevede l'installazione di un impianto fotovoltaico nella copertura (fig. 4.2.14). Ciò garantisce il sostentamento energetico dell'edificio; si otterrà così un risparmio economico senza generare emissioni di CO_2 o altre sostanze inquinanti nell'ambiente. Si seguono i "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. (17A07439)"

"*2.3.3 Approvvigionamento energetico*
I progetti degli interventi di nuova costruzione (15) e degli interventi di ristrutturazione rilevante (16) ,inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione, ferme restando le norme e i regolamenti piu' restrittivi (es. regolamenti urbanistici e edilizi comunali, etc.), devono garantire che il fabbisogno energetico complessivo dell'edificio sia soddisfatto da impianti a fonti rinnovabili o con sistemi alternativi ad alta efficienza (cogenerazione o trigenerazione ad alto rendimento, pompe di calore centralizzate etc.) che producono energia all'interno del sito stesso dell'edificio per un valore pari ad un ulteriore 10% rispetto ai valori indicati dal decreto legislativo 28/2011, allegato 3, secondo le scadenze temporali ivi previste."[7]

Dimensionamento dell'impianto fotovoltaico:
si considera un consumo medio, nelle ore diurne, di circa 4.000 kWh/anno (10-12 kWh al giorno) da cui risulta essere idoneo un impianto di 3,6 Kwp, corrispondente circa a 30 metri quadrati occupati sulla falda inclinata a 30° orientata a Sud.
Ipotizzando la potenza del singolo pannello monocristallino di 200 W risultano necessari, per coprire il fabbisogno, 20 pannelli (4000/200=20).

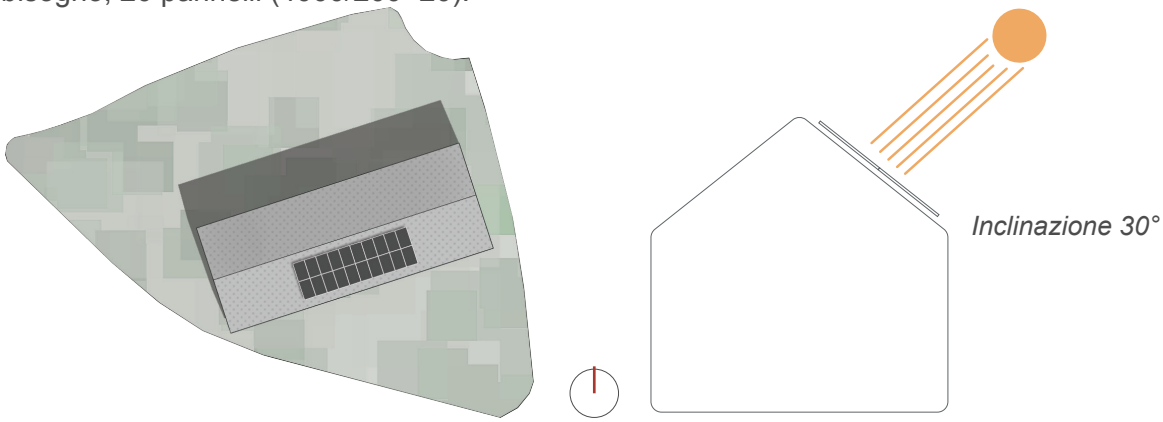


Fig. 4.2.14 Posizionamento pannelli solari

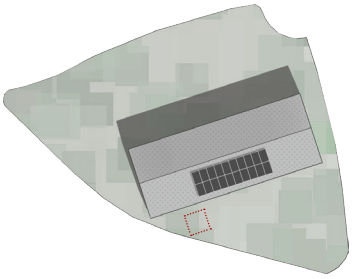
7: https://www.casaportale.com/public/uploads/16887-pdf1.pdf

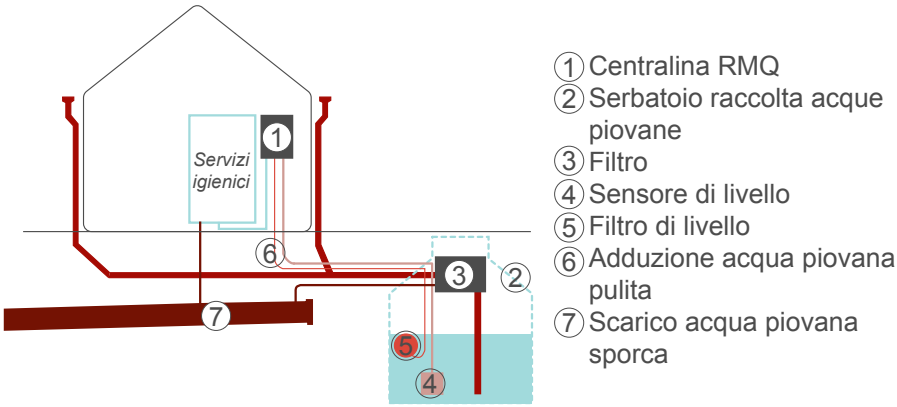
Per ottenere il miglior comfort termico la ventilazione naturale ha un ruolo importante. Grazie ai ricambi d'aria si crea l'effetto *free-cooling* notturno per il raffrescamento naturale estivo.

Raccolta delle acque

Per quanto riguarda la raccolta delle acque bianche si prevede una vasca di raccolta per il fabbisogno dei servizi igienici (fig. 4.2.15). Un sistema di gronde provvederà all'incanalamento delle acque alla vasca ipogea seguendo i "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. (17A07439)"

"2.3.4 Risparmio idrico
I progetti degli interventi di nuova costruzione (17) ,inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione e degli interventi di ristrutturazione importante di primo livello (18) ,ferme restando le norme e i regolamenti più restrittivi (es. regolamenti urbanistici ed edilizi comunali, etc.), deve prevedere:
- la raccolta delle acque piovane per uso irriguo e/o per gli scarichi sanitari, attuata con impianti realizzati secondo la norma UNI/TS 11445 «Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano - Progettazione, installazione e manutenzione» e la norma UNI EN 805 «Approvvigionamento di acqua - Requisiti per sistemi e componenti all'esterno di edifici» o norme equivalenti. Nel caso di manutenzione/ristrutturazione di edifici tale criterio e' applicato laddove sia tecnicamente possibile;
- l'impiego di sistemi di riduzione di flusso, di controllo di portata, di controllo della temperatura dell'acqua;
- l'impiego di apparecchi sanitari con cassette a doppio scarico aventi scarico completo di massimo 6 litri e scarico ridotto di massimo 3 litri. Gli orinatoi senz'acqua devono utilizzare un liquido biodegradabile o funzionare completamente senza liquidi;
Per gli edifici non residenziali deve essere inoltre previsto un sistema di monitoraggio dei consumi idrici."[8]





1. Centralina RMQ
2. Serbatoio raccolta acque piovane
3. Filtro
4. Sensore di livello
5. Filtro di livello
6. Adduzione acqua piovana pulita
7. Scarico acqua piovana sporca

Fig. 4.2.15 Posizionamento vasca di raccolta

Raccolta delle acque bianche tramite vasca di raccolta

Luce naturale e artificiale

La luce naturale penetra dagli affacci Ovest e Est. Il prospetto Ovest è caratterizzato da una vetrata che occupa metà del timpano, a differenza del lato esposto ad Est che invece è caratterizzato da una chiusura verticale completamente trasparente. Le vetrate sono costituite da doppio vetro satinato che consente l'ingresso della luce e impedisce l'incidenza diretta e fenomeni d'abbagliamento.
Un aggetto della copertura, sul lato Est dell'edificio, di 1m aiuta a smorzare ulteriormente l'abbagliamento.
Le seguenti scelte progettuali sono in linea con i "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. (17A07439)" che disciplinano al punto 2.3.5.3 i dispositivi di protezione solare da adottare.
L'illuminazione è progettata evitando passaggi bruschi da spazi molto luminosi ad ambienti bui, creando così una continuità ed una illuminazione direzionale uniformemente distribuita.
L'impianto di illuminazione prevede corpi illuminanti con sorgenti a basso consumo elettrico (LED). Per garantire il massimo comfort illuminotecnico e visivo e si prevede un sistema di sensori di presenza dove non è richiesta un'illuminazione fissa (es. servizi igienici, cluster e zona di accesso).
Per quanto riguarda l'illuminazione esterna, come soluzione progettuale, per ridurre al minimo l'inquinamento luminoso notturno, si prevede l'installazione di apparecchi completamente schermati, *full cut-off,* capaci di mantenere un flusso luminoso sotto i 90°.

8,9: https://www.casaportale.com/public/uploads/16887-pdf1.pdf

Una volta installati, questa soluzione infatti garantisce che i corpi illuminanti non emettano luce sopra un piano orizzontale passante per il centro della lampada.

Sistema di controllo e monitoraggio

Per essere in linea con "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. (17A07439)" è prevista l'installazione di un sistema di monitoraggio e controllo centralizzato degli impianti di produzione, regolazione e distribuzione in modo da avere una gestione controllata delle risorse energetiche.
Il sistema proposto è di tipo BACS (Building Automation and Control Systems) di classe A. Questo sistema risulta essere molto performante in quanto massimizza l'efficienza energetica degli impianti tecnici dell'edificio.

Viene predisposto un sensore di temperatura e umidità a parete per monitorare l'RH (umidità relativa tra il 10%-90%) nell'ambiente. L'apparecchio ha un una precisione di rilevamento del 3%.

La decostruzione

I "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. (17A07439)" disciplinano al punto 2.3.7 il fine vita dell'edificio.
"*I progetti degli interventi di nuova costruzione (23) , inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione devono prevedere un piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva dell'opera a fine vita che permetta il riutilizzo o il riciclo dei materiali, componenti edilizi e degli elementi prefabbricati utilizzati.*"[9]

Il *Design for Deconstruction* (DfD), talvolta chiamato *Design for Disassembly*, è un movimento che propone la ricerca e lo sviluppo di nuovi concetti di sistema strutturale che facilitino una costruzione realmente sostenibile attraverso la valutazione dell'intero ciclo di vita di un progetto.
Il che significa che in fase progettuale bisogna trovare delle strategie in un'ottica di riutilizzo o riciclo per ogni componente della struttura utilizzando i flussi di riciclo esistenti.
Si cercano quindi principi di progettazione che mirano alla prefabbricazione, al pre-montaggio e alla costruzione modulare, a dettagli di collegamento e sistemi di costruzione semplificati, a parti e materiali ridotti al minimo, alla facilità di smontaggio, alla flessibilità e all'adattabilità, all'uso di materiali riutilizzabili.

Al punto 2.4.1.1 sempre dei "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. (17A07439)" viene disciplinata la disassemblabilità.
"*Almeno il 50% peso/peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati, escludendo gli impianti, deve essere sottoponibile, a fine vita, a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile. Di tale percentuale, almeno il 15% deve essere costituito da materiali non strutturali;*
Verifica: il progettista dovrà fornire l'elenco di tutti i componenti edilizi e dei materiali che possono essere riciclati o riutilizzati, con l'indicazione del relativo peso rispetto al peso totale dei materiali utilizzati per l'edificio."[10]

Al punto 2.4.1.2 Materia recuperata o riciclata:
"Il contenuto di materia recuperata o riciclata nei materiali utilizzati per l'edificio, anche considerando diverse percentuali per ogni materiale, deve essere pari ad almeno il 15% in peso valutato sul totale di tutti i materiali utilizzati. Di tale percentuale, almeno il 5% deve essere costituita da materiali non strutturali. Per le diverse categorie di materiali e componenti edilizi valgono in sostituzione, qualora specificate, le percentuali contenute nel capitolo 2.4.2. Il suddetto requisito può essere derogato quando il componente impiegato rientri contemporaneamente nei due casi sotto riportati:
1) abbia una specifica funzione di protezione dell'edificio da agenti esterni quali ad esempio acque meteoriche (p. es membrane per impermeabilizzazione);
2) sussistano specifici obblighi di legge a garanzie minime di durabilità legate alla suddetta funzione.
Verifica: il progettista deve fornire l'elenco dei materiali costituiti, anche parzialmente, da materie recuperate o riciclate ed il loro peso rispetto al peso totale dei materiali utilizzati per l'edificio. La percentuale di materia riciclata deve essere dimostrata tramite una delle seguenti opzioni:
- una dichiarazione ambientale di Prodotto di Tipo III (EPD), conforme alla norma UNI EN 15804

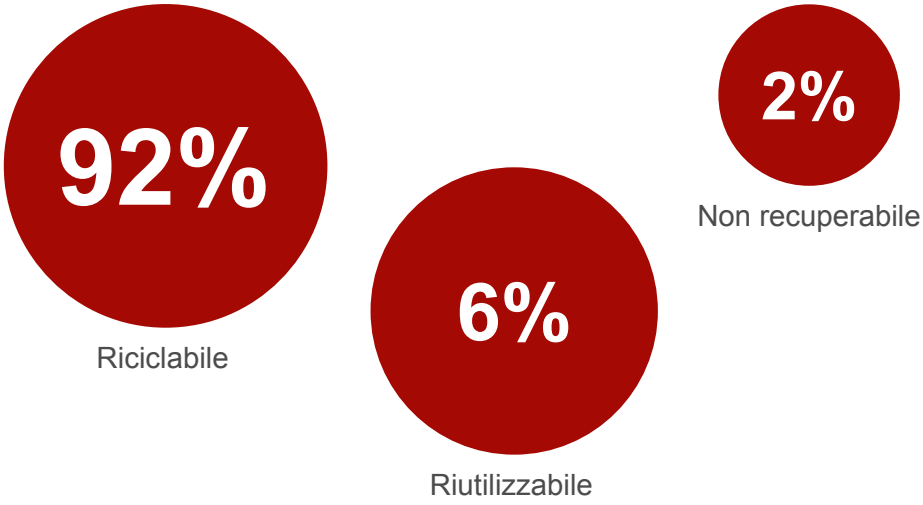
10: https://www.casaportale.com/public/uploads/16887-pdf1.pdf

e alla norma ISO 14025, come EPDItaly© o equivalenti;
- una certificazione di prodotto rilasciata da un organismo di valutazione della conformità che attesti il contenuto di riciclato attraverso l'esplicitazione del bilancio di massa, come ReMade in Italy®, Plastica Seconda Vita o equivalenti;
- una certificazione di prodotto rilasciata da un organismo di valutazione della conformità che attesti il contenuto di riciclato attraverso l'esplicitazione del bilancio di massa che consiste nella verifica di una dichiarazione ambientale autodichiarata, conforme alla norma ISO 14021.
Qualora l'azienda produttrice non fosse in possesso delle certificazioni richiamate ai punti precedenti, e' ammesso presentare un rapporto di ispezione rilasciato da un organismo di ispezione, in conformità alla ISO/IEC 17020:2012, che attesti il contenuto di materia recuperata o riciclata nel prodotto. In questo caso e' necessario procedere ad un'attività ispettiva durante l'esecuzione delle opere. Tale documentazione dovrà essere presentata alla stazione appaltante in fase di esecuzione dei lavori, nelle modalità indicate nel relativo capitolato."[11]

Matrice di valutazione per il progetto della decostruzione

Elemento	Materiale/metodo	Collegati a	
Fondazione	Setti in cemento armato, travi di legno lamellare e perlinato (*Balloon Frame).*	Telaio in legno laminato e pannelli in legno laminato (pavimento).	
Struttura/ pareti/ struttura di copertura	Tubi di cartone con terminazioni in legno lamellare. Le cavità dei tubi sono riempite di fiocchi di cellulosa per l'isolamento. Internamente le pareti sono costituite da un pannello OSB e da un rivestimento in legno.	Tubi collegati al pavimento attraverso le terminazioni in legno laminato e al tetto attraverso la trave di bordo in legno.	
Copertura	Struttura del tetto di carico in tubi di cartone. Orditura primaria tubi di cartone Ø esterno 280 mm, orditura secondaria Ø esterno 100 mm.	Collegato alla trave di bordo in legno.	
Pavimento	Massetto per impianti e finitura del pavimento Marmoleum solid.	Fondazione *Balloon Frame.*	

11: https://www.casaportale.com/public/uploads/16887-pdf1.pdf

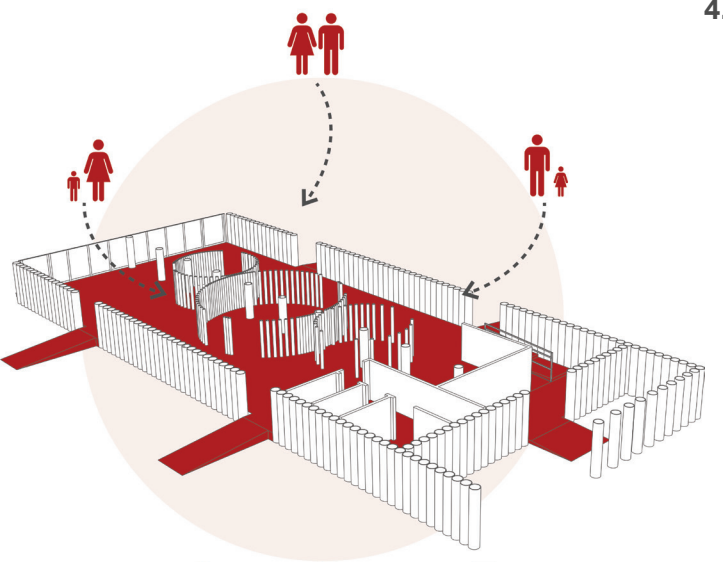


	Opzione di fine vita	Rilevanza ambientale e spiegazione dell'opzione di fine vita più probabile e della conformità alle linee guida
	Smaltimento - discarica Riciclo naturale Rielaborare Riuso (cemento, legno)	I setti di cemento possono essere riutilizzati per un nuovo edificio quando questo verrà rimosso. Le travi di legno lamellare possono anch'esse essere riutilizzate, dopo lo smontaggio, per un nuovo edificio.
	Smaltimento - discarica Riciclo industriale (tubi) Rielaborare Riuso (pannelli di legno)	I tubi vengono rivestiti manualmente una volta all'anno. Tra i tubi è stato applicato un nastro di spugna impermeabile autoadesivo. Il rivestimento chimico idrorepellente e lo strato di plastica vengono rimossi nel processo di ripulitura, consentendo così il riciclaggio. I pannelli laminati possono essere riutilizzati circa cinque volte prima che il deterioramento della superficie impedisca un ulteriore utilizzo. La combustione può rilasciare gas nocivi come il cianuro di idrogeno dalle resine isocyanate. I fiocchi di cellulosa sono smaltibili a costo zero, e con zero impatto ambientale perché sono costituiti da materiale riciclato selezionato, che è a sua volta completamente riutilizzabile e riciclabile.
	Smaltimento - discarica Riciclo industriale (tubi) Rielaborare Riuso	I tubi vengono rivestiti manualmente una volta all'anno. Tra i tubi è stato applicato un nastro di spugna impermeabile autoadesivo. Il rivestimento chimico idrorepellente e lo strato di plastica vengono rimossi nel processo di ripulitura, consentendo così il riciclaggio. I fiocchi di cellulosa sono smaltibili a costo zero, e con zero impatto ambientale perché sono costituiti da materiale riciclato selezionato, che è a sua volta completamente riutilizzabile e riciclabile. Esternamente il tetto viene rivestito da pannelli in fibrocemento che non sono riciclati e riciclabili.
	Smaltimento - discarica Riciclo industriale (tubi, pavimento) Rielaborare Riuso	Marmoluem Solid contiene il 43% di materiale riciclato. È realizzato con materie prime naturali e rinnovabili, è il pavimento resiliente più ecologico esistente sul mercato. Non contiene ftalati, né plastificanti, né oli minerali. Le materie prime principali utilizzate per la produzione del linoleum comprendono: - olio di semi di lino; - farina di legno, proveniente da foreste controllate; - iuta, il supporto di fibra naturale sul quale viene calandrato il linoleum. L'azienda produttrice Forbo ha iniziato un network per il recupero del materiale da vecchie installazioni. I ritagli e lo sfrido del materiale vengono raccolti e riportati in fabbrica, assicurando così il riciclo completo del prodotto.

Componenti riciclabili (volume): 92%

4.5 ELABORATI GRAFICI

SOSTENIBILITÀ SOCIALE

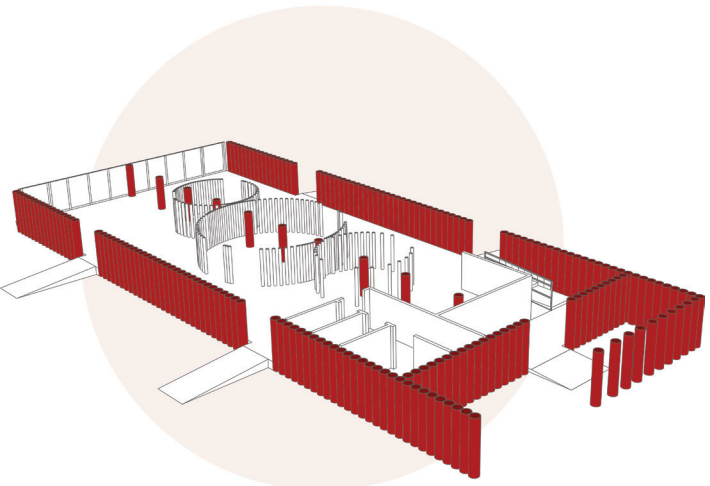


Scala umana

Spazio comune

Ingressi contingentati

SOSTENIBILITÀ ECONOMICA

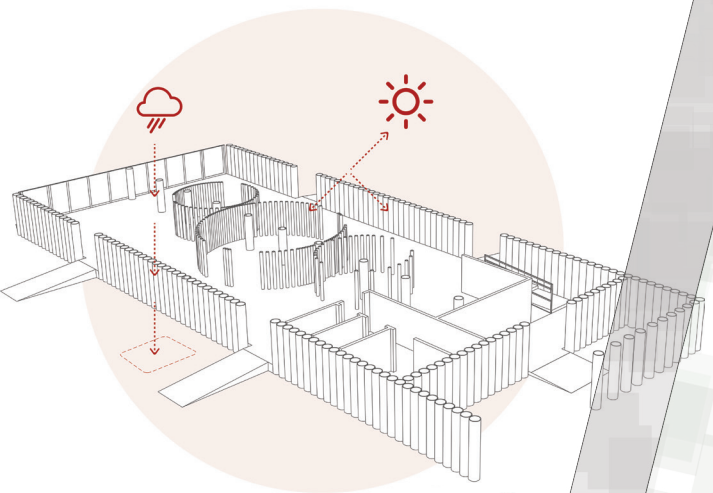


Ottimizzazione dei tempi di costruzione

Assemblaggio modulare

Tecnologia performante

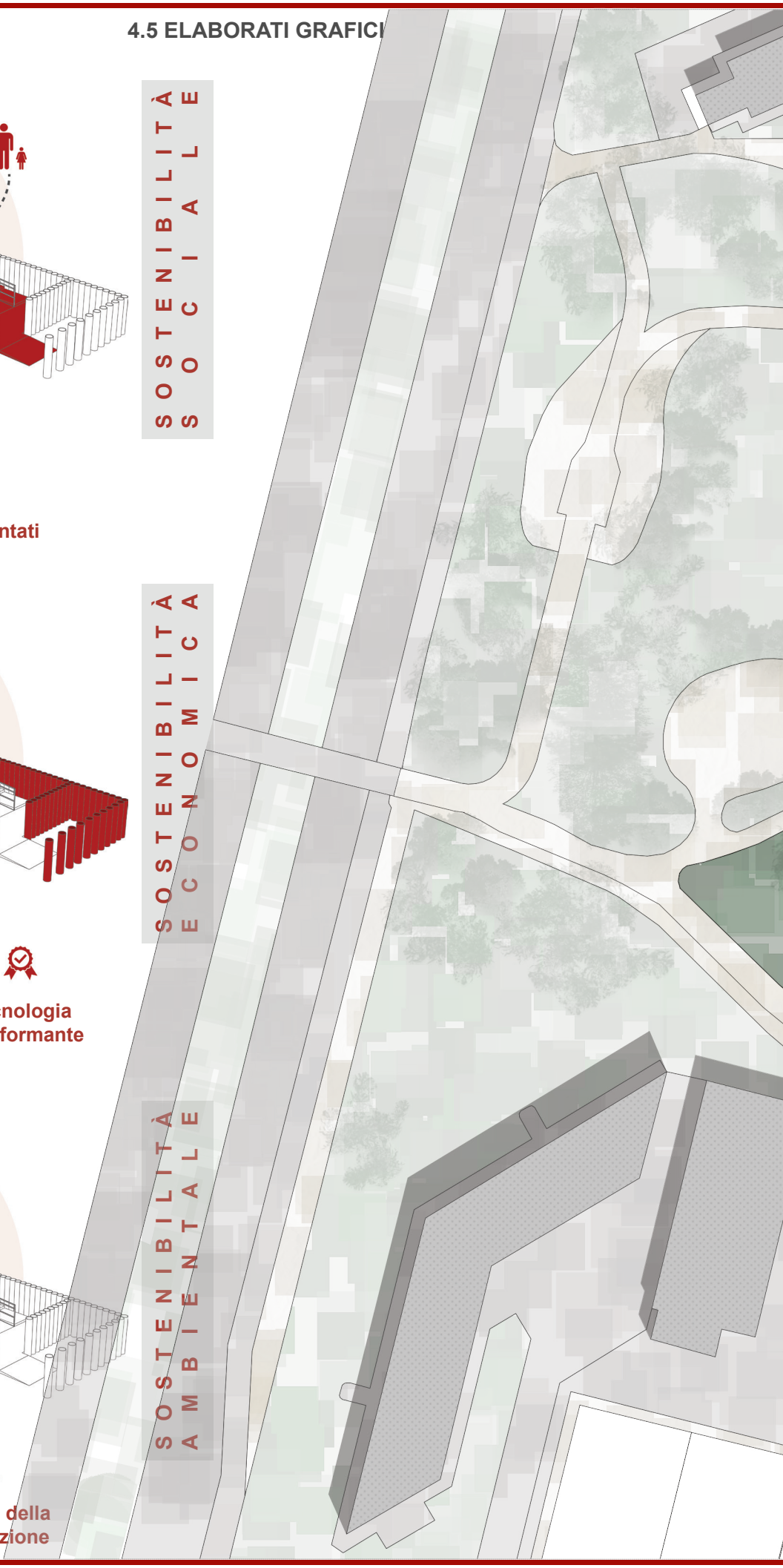
SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

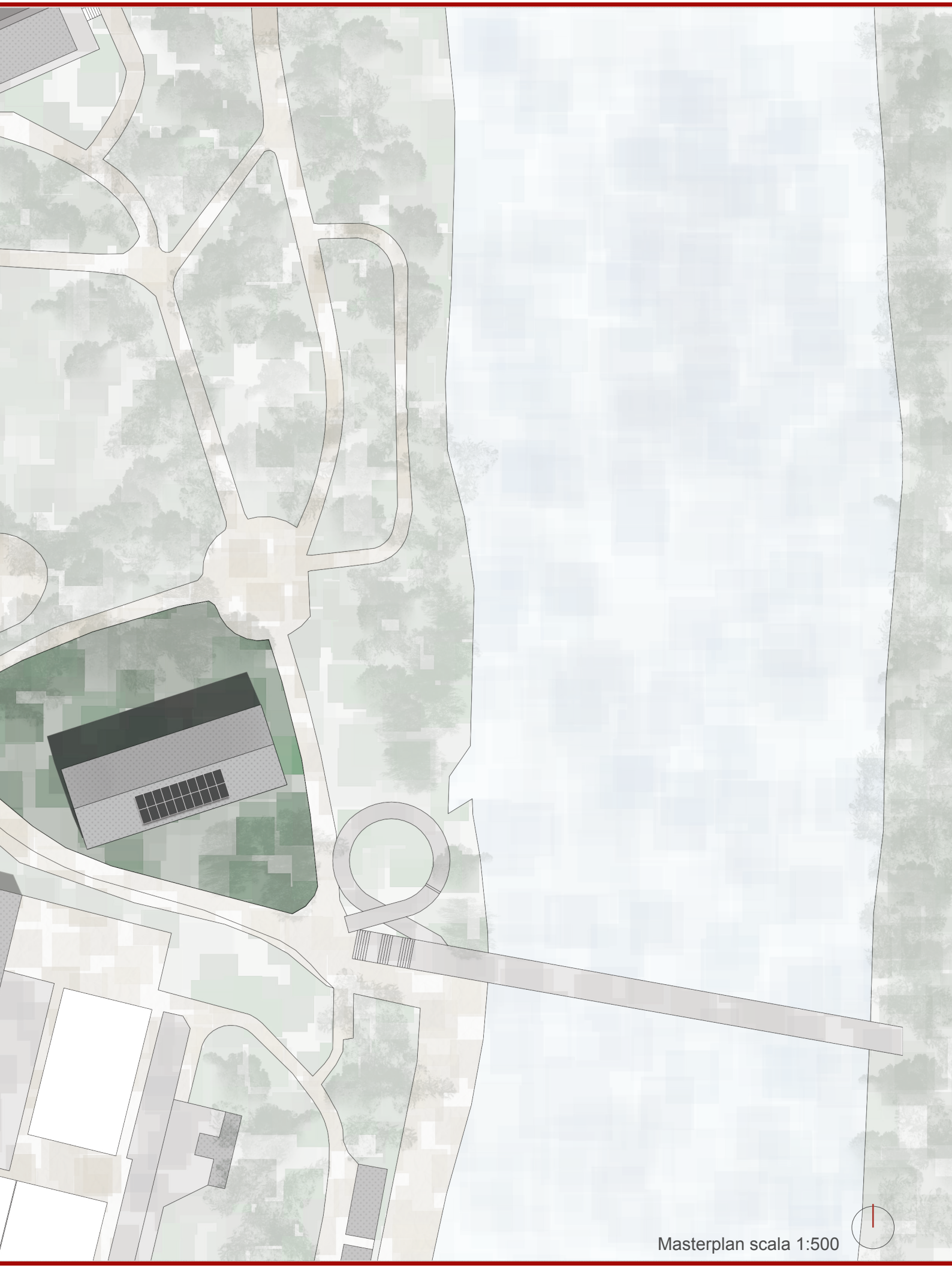


Energia solare

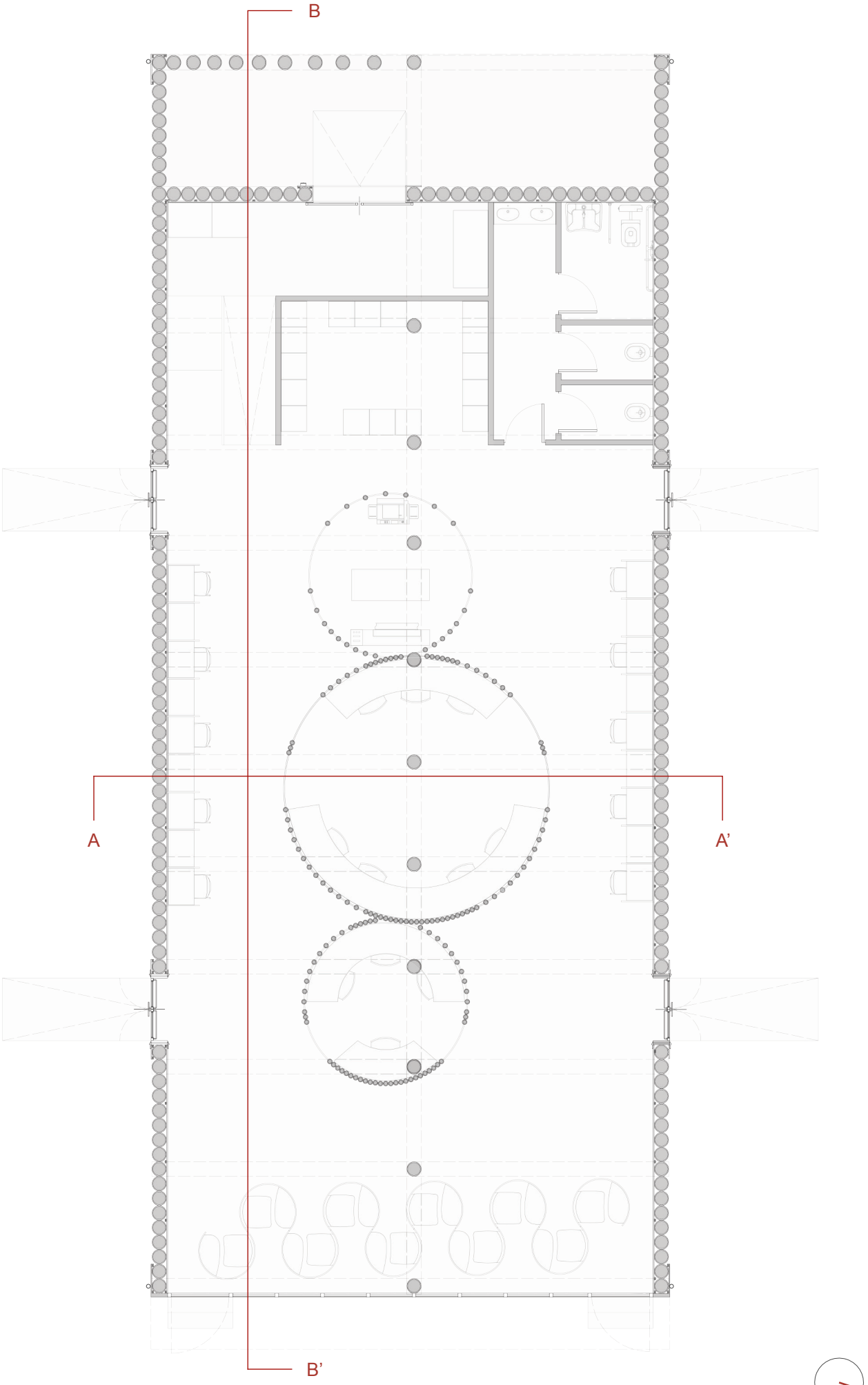
Raccolta delle acque

Gestione della decostruzione

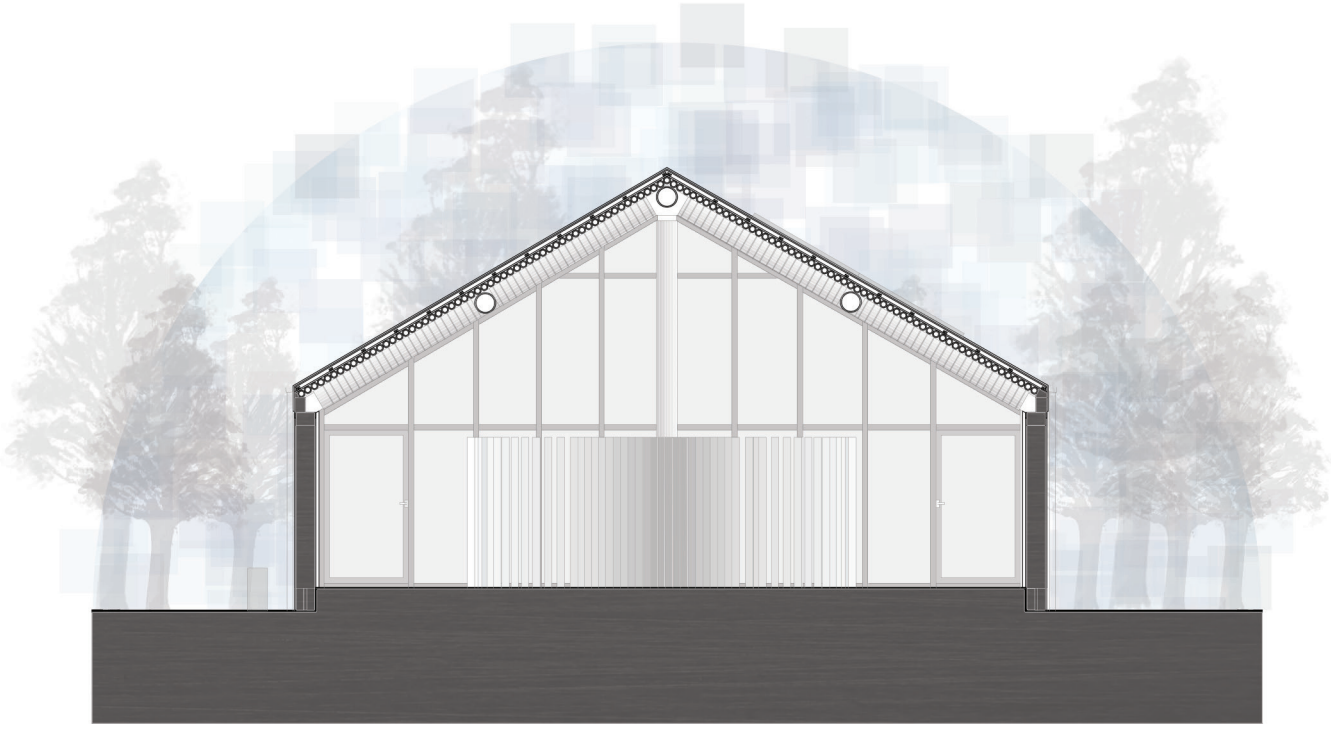




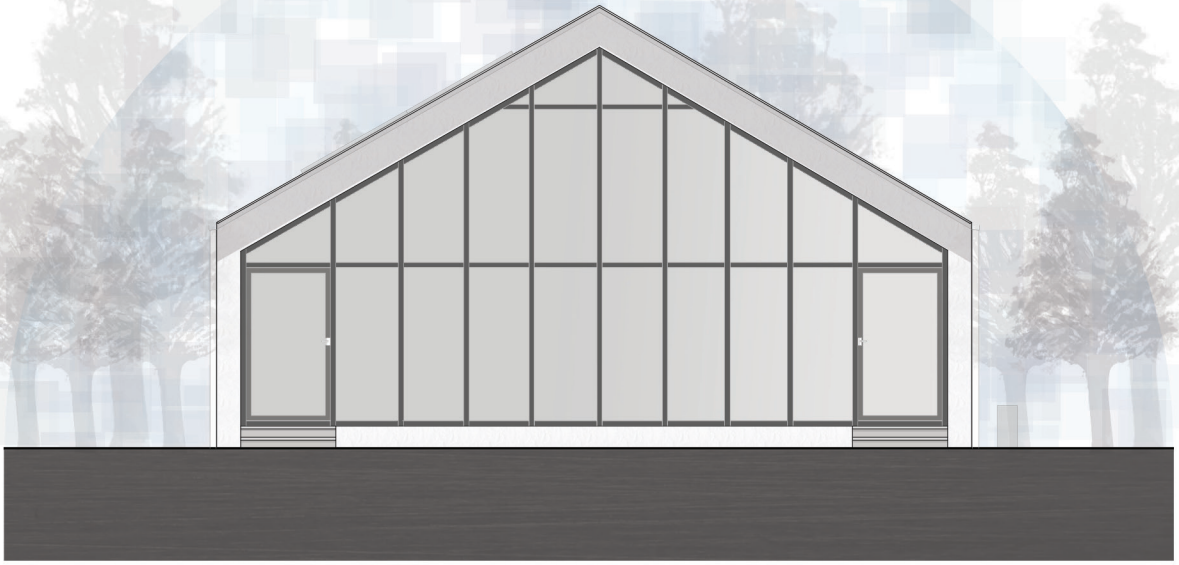
Masterplan scala 1:500

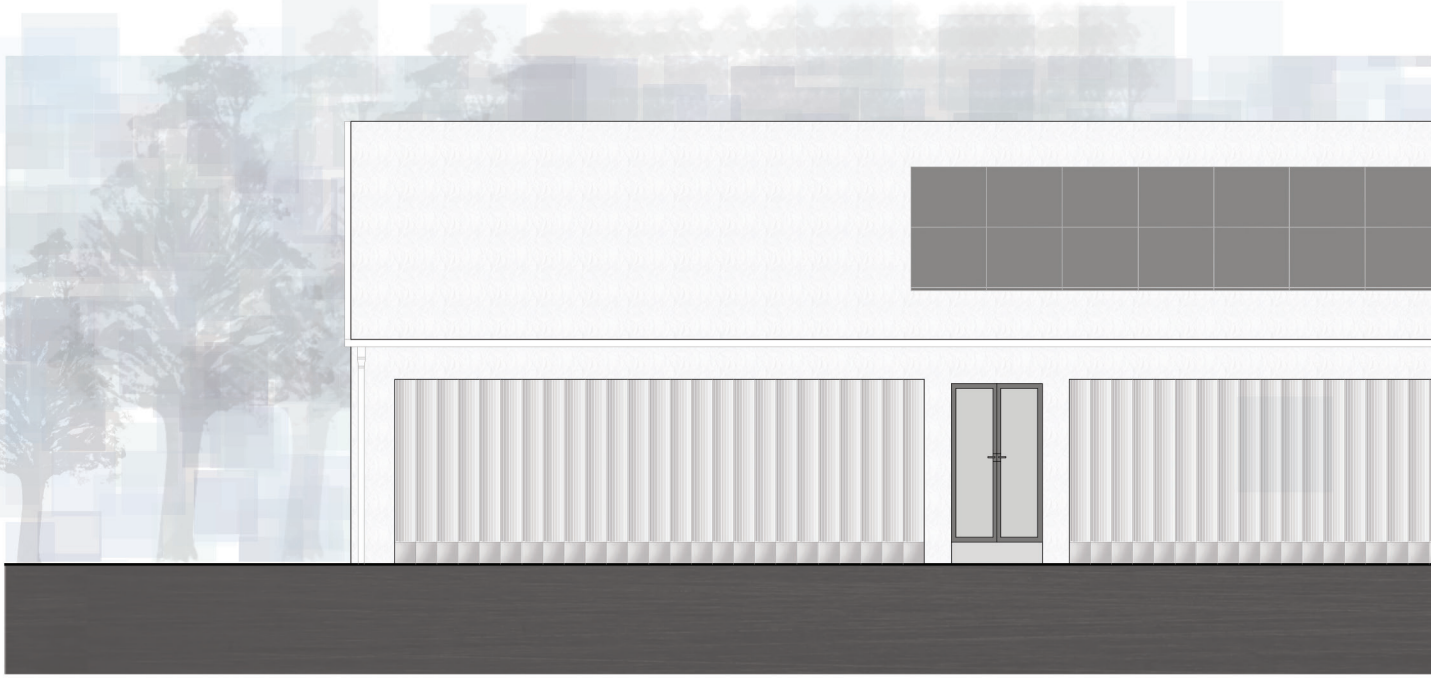


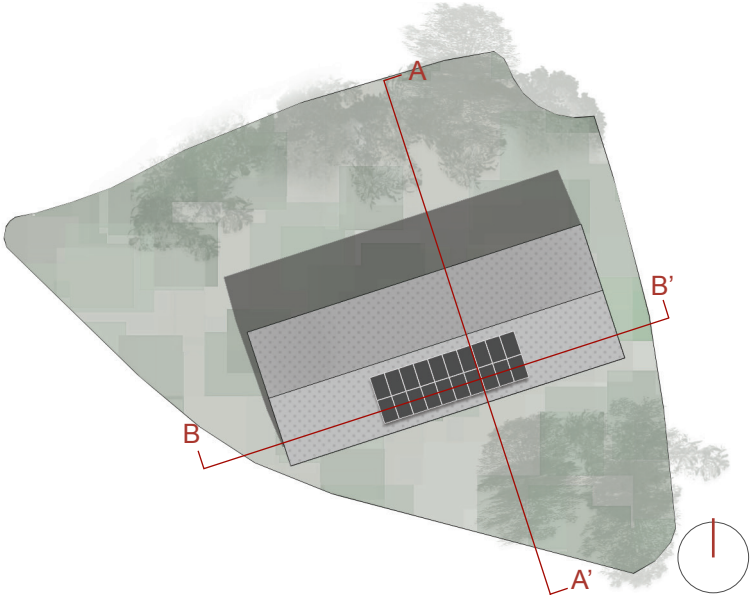
Pianta scala 1:100



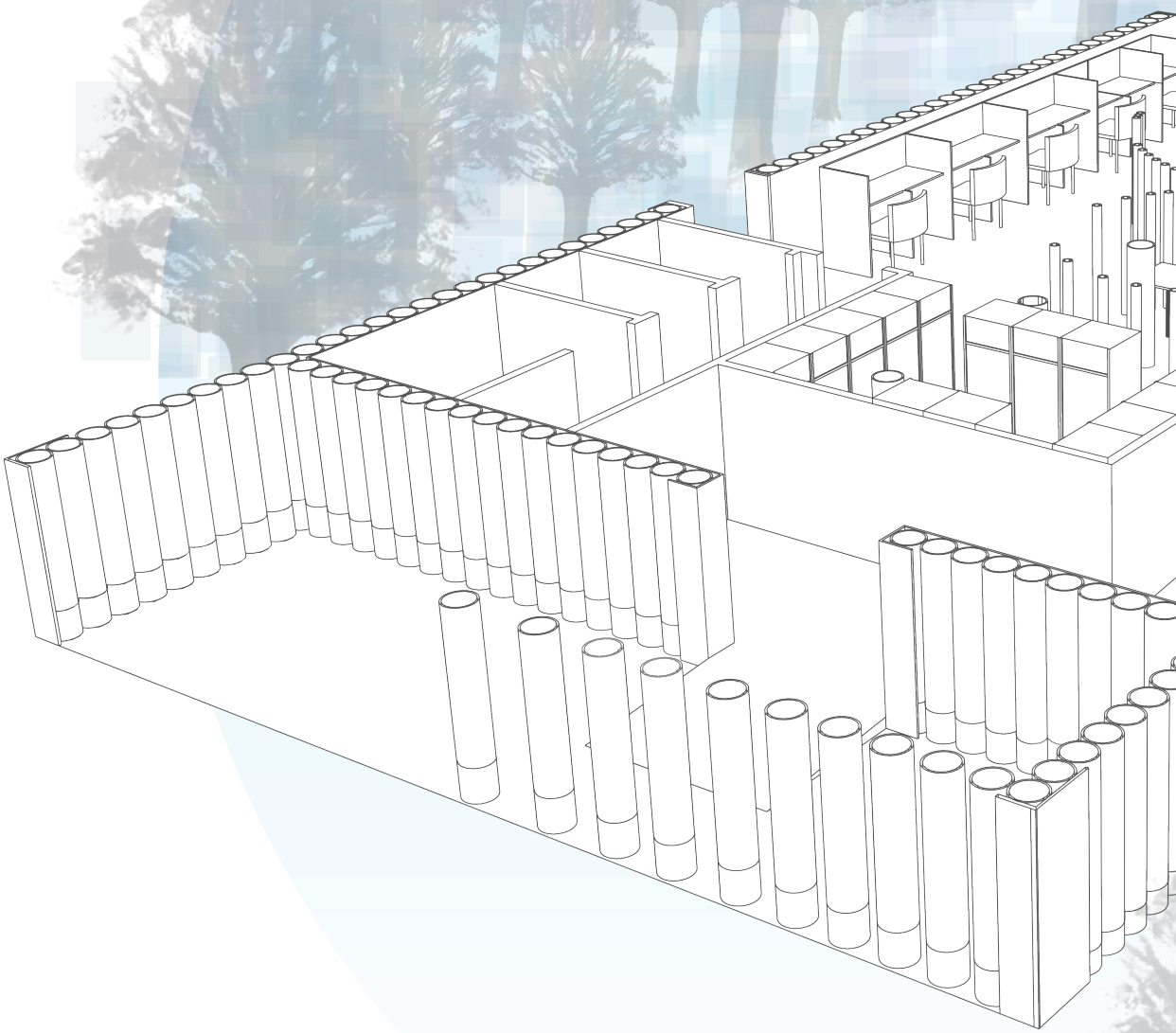
Prospetto Ovest scala 1:100
Sezione A-A' scala 1:100

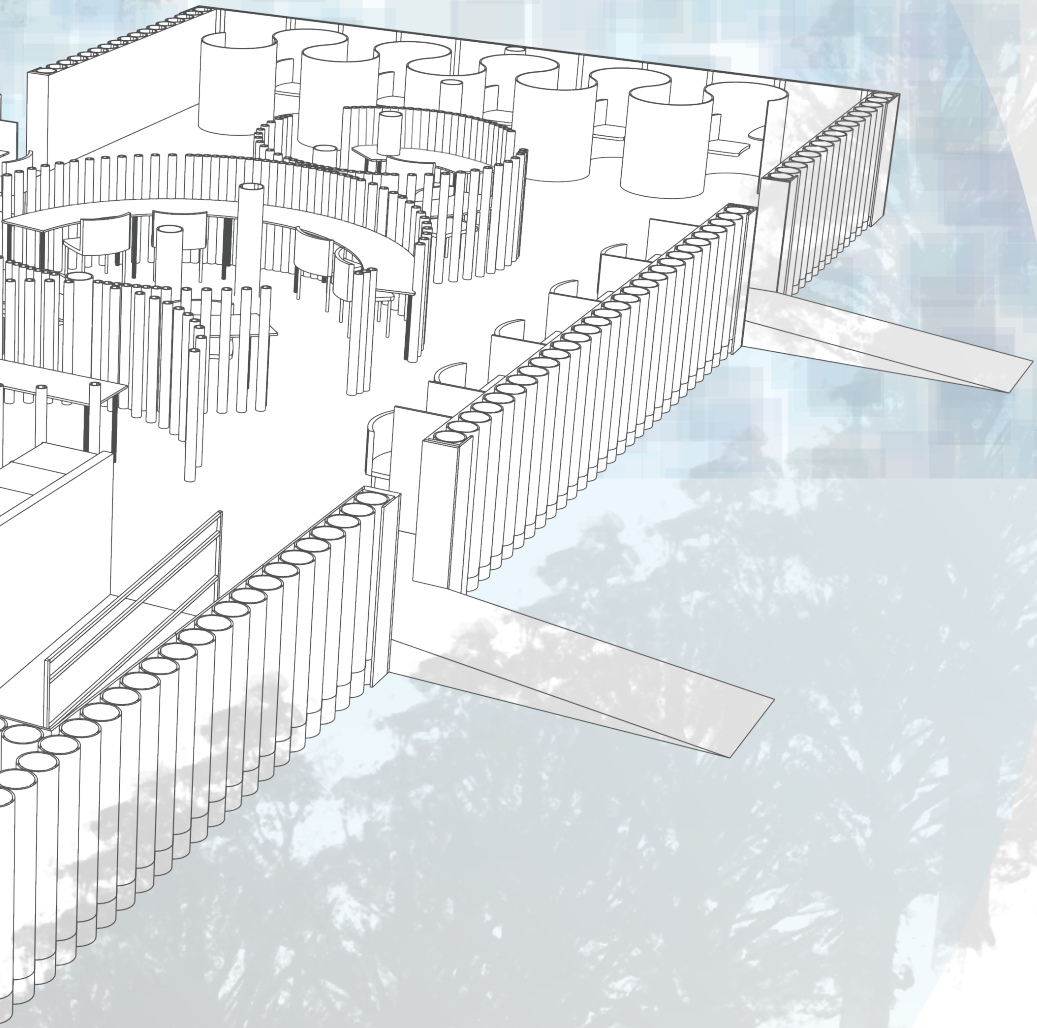






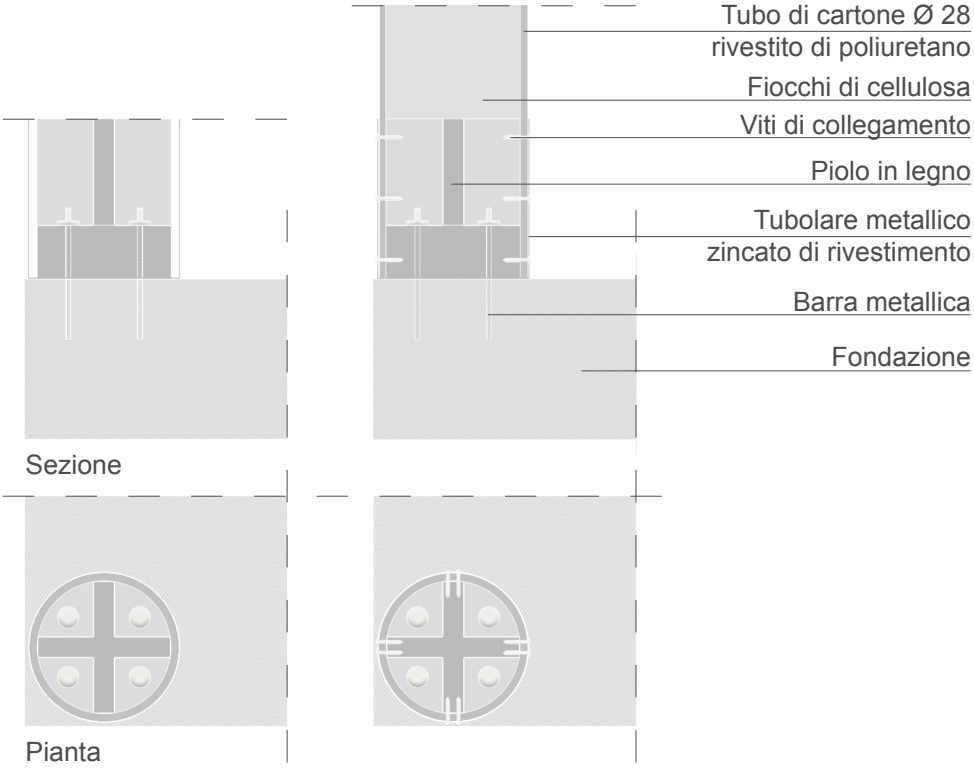
Prospetto Est scala 1:100
Prospetto Sud scala 1:100
Sezione B-B' scala 1:100



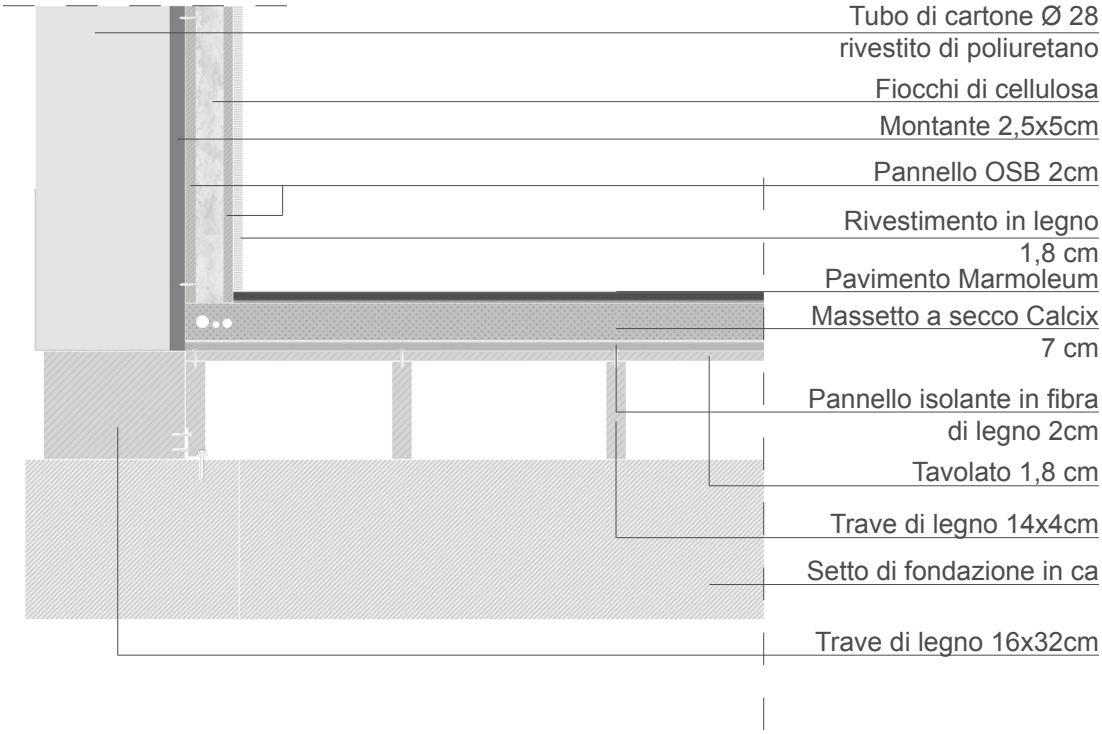


Assonometria

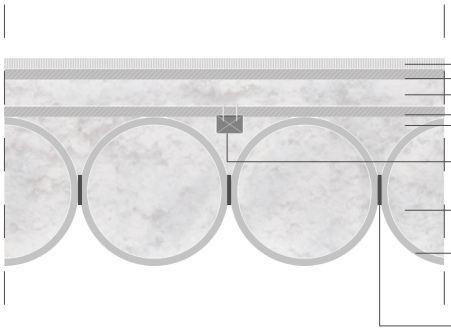
Dettaglio collegamento tubo perimetrale-fondazione



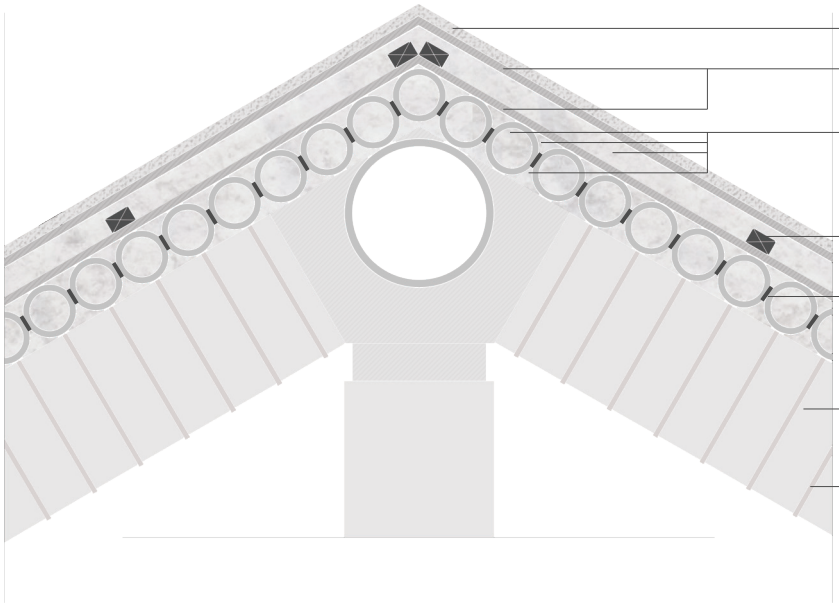
Dettaglio fondazione



Dettaglio muro perimetrale



Dettaglio copertura



Particolari costruttivi scala 1:20

CONCLUSIONI

05

L'interesse per la carta è nato dalla voglia di approfondire lo studio dei materiali per l'architettura sostenibile. Essendo la carta un materiale molto discusso, ma poco documentato, soprattutto sotto il profilo architettonico, è parso interessante andare ad indagare il prodotto, eseguendo una ricerca a 360°.
In fase di ricerca, infatti, è stato difficile trovare bibliografie che contenessero informazioni dettagliate, che potessero mettere in luce le potenzialità della carta, non intesa solo come materiale da scrittura. Proprio questa mancanza di informazioni dirette mi ha spinto a fare un'indagine completa, fornendomi così gli strumenti per descrivere la carta sotto vari profili.

Obiettivo della tesi è di far superare preconcetti radicati nel nostro immaginario, come la leggerezza o l'apparente scarsa resistenza del materiale e dare credito alla carta, che a tutti gli effetti, può essere impiegata in architettura, non solo per *interior design*, ma proprio come materiale strutturale.

Infatti il considerare la carta un materiale da costruzione alternativo all'acciaio o al cemento è un'idea ancora molto astratta, anche se già da decenni, la carta trova applicazione in architettura, soprattutto grazie al pioniere della *paper architecture* Shigeru Ban.
L'architetto giapponese, vincitore del Premio Pritzker nel 2014, già a fine degli anni '90 iniziò a realizzare edifici il cui corpo strutturale era costituito da tubi di cartone. I suoi lavori vogliono essere socialmente consapevoli, facendo uso di mezzi economici, leggeri al tatto e al tempo stesso fedeli al senso del bello.

Socialmente consapevole in quanto la carta impiegata proviene quasi essenzialmente da materia di riciclo. Questo fattore permette di ragionare in un'ottica di economia circolare, ovvero un sistema economico in grado di rigenerarsi da solo garantendo dunque ecosostenibilità.

I materiali cellulosici si prestano infatti sempre più ad essere protagonisti di innovazioni, sia nell'ambito degli imballaggi, che negli oggetti, ma soprattutto nei materiali architettonici. La trasformazione di carta in nuovi materiali, oltre al vantaggio dato dal prodotto finale ottenuto, permette di implementare l'efficienza dell'uso delle risorse e quindi favorire l'economia circolare auspicata dalle recenti norme europee.

La carta viene considerata oggi non più solo come una semplice sostanza ma viene valutata come il risultato di un processo evoluto di produzione: prima materia informe e pastosa; poi "manufatto", "artefatto", quindi "prodotto industriale". Si è di fronte ad un sistema complesso osservabile sotto molteplici punti di vista.

Fondamentale è stato indagare proprio il prodotto della carta, nello specifico l'ampio spettro di prodotti oggi presenti sul mercato che vedono l'impiego di carta da macero.

Si apre qui un grande campo di scenari, in particolare, l'elemento che può essere considerato dominante, è il tubo di cartone, costituito per il 95% da carta riciclata.

Il campo del riciclo offre innumerevoli soluzioni, volte alla salvaguardia dell'ambiente, e nello specifico al surriscaldamento globale. Infatti, trovare nel rifiuto una risorsa, segna un momento di svolta in una società sopraffatta dal consumismo.

"*Il rifiuto è un elemento controverso frutto della nostra modernità. Nella storia remota esistevano i cocci, i resti, gli oggetti e l'idea su come riutilizzarli in un quadro concettuale e operativo caratterizzato dall'efficacia e dall'essenzialità, il tutto strumentale ad un ciclo virtuoso. Poi, il passaggio del tempo ha fatto del waste, qualcosa a parte, un elemento altro da trattare, slegato dal suo contesto di produzione, un rimosso. Ma il rifiuto nella nostra società, nelle nostre città è presente, è assillante, è evidente: si aggrega e costruisce colline, ammucchi, altipiani. Ridisegna il paesaggio in cui è iscritto e trionfa nelle discariche simbolo del superfluo, dell'inadattabilità e della bulimia consumistica.*"

... "*Il rifiuto da problema a risorsa è più che una suggestione, è la possibilità che il progresso e l'evoluzione della tecnologia della progettazione dà a tutti gli attori di un determinato panorama sociale, di ripagare alle storture di un consumo irresponsabile e predatorio, nella falsa ideologia di vivere ospiti in un ambiente in grado di sanare da solo le ferite artificiali prodotte dall'uomo e l'opportunità di*

ristabilire nella modernità globalizzata un rapporto di rispetto e costruttivo con l'ambiente."
Simone Lupi (consigliere regione Lazio, componente VI Commissione Ambiente, Lavori Pubblici, Mobilità, Politiche della Casa e Urbanistica)

Va però ricordato che il riciclo "*non può essere né infinito né perpetuo"* come dice l'architetto Gianni Scudo.

Esistono vari approcci al materiale di scarto:
- il *recycling*: è l'operazione con la quale, terminato un ciclo di lavorazione, una parte delle materie prime di partenza viene reimmessa nel ciclo di lavorazione;
- il *downcycling* vede nella fase di trasformazione una perdita di valore nel prodotto finale in quanto non è possibile ottenere le stesse caratteristiche de prodotto originale;
- l'*upcycling* invece converte il rifiuto in un nuovo materiale dal valore superiore al suo originale.

Proprio su quest'ultima asserzione verte la tesi.

Le ricerche effettuate hanno infatti fornito gli strumenti per proporre una metodologia di progettazione che seguisse il filone della *Paper Architecture*, applicata ad un'aula studio temporanea situata nelle vicinanze di "Italia '61", all'interno del parco Millefonti.

Temporanea perché la carta, con la sua durata di vita più breve, rispetto a materiali tradizionali, è in grado di reagire in modo flessibile ai continui cambiamenti degli stili di vita sotto forma di edifici e strutture temporanee. La scelta progettuale comporta così costi contenuti, un risparmio di risorse, e a fine vita, una parte non indifferente del materiale risulta riciclabile.

È risultato, in fase di progetto, interessante proprio andare ad analizzare la decostruzione.
Il *Design for Deconstruction* (DfD), talvolta chiamato *Design for Disassembly*, è un movimento che propone la ricerca e lo sviluppo di nuovi concetti di sistema strutturale che facilitino una costruzione realmente sostenibile attraverso la valutazione dell'intero ciclo di vita di un progetto.
Il che si è tradotto nel trovare strategie in un'ottica di riutilizzo o riciclo per ogni componente della struttura utilizzando i flussi di riciclo esistenti.
Si cercano quindi principi di progettazione che mirano alla prefabbricazione, al pre-montaggio e alla costruzione modulare, a dettagli di collegamento e sistemi di costruzione semplificati, a parti e materiali ridotti al minimo, alla facilità di smontaggio, alla flessibilità e all'adattabilità, all'uso di materiali riutilizzabili.

Il più effimero metodo di costruzione della carta può essere quindi inteso come l'equivalente edilizio-culturale di una società in rapido cambiamento.

BIBLIOGRAFIA & SITOGRAFIA

06

Bibliografia

Pietro Carlo Pellegrini, 2008, *Città sottili. Luoghi e progetti di cartone*

Massimo Foti e Maria Grazia Forgnone, 1980, *Costruire con il "cartone"*

Alessandro Rogora, 2006, *Carta e cartone in edilizia*

Jerzy F. Latka, 2017, *Paper in architecture, research by design, engeneering and prototyping*

Elisa Pennacchia, Fabrizio Cumo, Adriana S. Sferra, 2015, *Uso Disuso Riuso, criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiale per l'edilizia*

Mirian Vaccari, 2015, *Enviromental Assessment of Cardboard as a building material*

Sitografia

Lavorazione carta riciclata: http://www.lci-srl.it

Le proprietà della carta: https://slideplayer.it/slide/10228736/

Das Papierhaus, Gerd Niemöller in German TV: https://www.youtube.com/watch?v=xlL57RlZ3Tc

La carta – Le materie prime: https://www.metaprintart.info/cultura-grafica/formazione/tecniche-di-stampa-formazione/445-corso_di_stampa_la_carta_i/

La composizione del materiale cartaceo: http://xoomer.virgilio.it/pfcalvini/01%20La%20carta.pdf

Comieco, Le nuove frontiere di carta e cartone: http://www.comieco.org/le-nostre-prospettive/design-della-prevenzione/news/le-nuove-frontiere-di-carta-e-cartone.aspx

Comieco, Costruire con il cartone: http://www.comieco.org/pubblicazioni/pubblicazioni-comieco/news/costruire-con-il-cartone.aspx

Progetto Carthome: https://www.youtube.com/watch?v=EHDRmro3-rI&feature=youtu.be

Das Haus aus Papier | Galileo Lunch Break: https://www.youtube.com/watch?v=XeBXZkoSiY8

Wikkelhouse: https://www.nonsoloambiente.it/sostenibilita/wikkelhouse-arriva-italia-la-casa-cartone-dura-100-anni

TU Darmstadt, BAMP!, Bauen mit Papier: https://www.tu-darmstadt.de/bauenmitpapier/startseite_1/index.de.jsp

Le proprietà della carta: http://www.editecnologia.altervista.org/Carta/ProprietaCarta2012.pdf

Cos'è e a cosa serve la kraft carta: https://www.sempreprontе.it/blog/cosè-e-cosa-serve-la-kraft-carta

Il ciclo di produzione della carta: http://www.dicorrado.eu/MAPPEGM/PDF%20ALUNNI/A1U2L2.pdf
https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00000700/731-gruppo1.pdf

LA CARTA Caratteristiche, tipologie, tecnologie di produzione, migliori tecniche disponibili per il controllo degli impatti: http://www.appa.provincia.tn.it/binary/pat_appa_restyle/pubblicazioni/LA_CARTA_sito.1426236696.pdf

La carta - La macchina continua: https://www.metaprintart.info/cultura-grafica/formazione/tecniche-di-stampa-formazione/464-la_carta_vii_la_macchina_continua/

La carta - Tipologie: http://montanari.racine.ra.it/iper_agenda21/carta/tipologie.htm

Dratz&Dratz Architekten - Progetto PHZ2: https://divisare.com/projects/168264-dratz-dratz-architekten-anja-backer-phz2

La carta ed il suo impatto ambientale: http://www.officart.com/immagini_adm/impatto_amb.pdf

LCA of Paper and Pulp Industry: https://www.academia.edu/10287251/LCA_of_Paper_and_Pulp_Industry

Rapporto ambientale dell'industria cartaria italiana 2019: http://www.assocarta.it/it/pubblicazioni.html

Procarton: https://www.procarton.com/?lang=it

Cepi: http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/recycling/2013/CEPI_EN%20643_brochure_FINAL_0.pdf

Norma Uni En 643/1995: http://www.paperwebstore.com/normamacero.asp

Osservatorio provinciale dei rifiuti: http://www.oprrieti.it

Sistema Piemonte, Gestione rifiuti: http://www.sistemapiemonte.it/webruc/raccoltaRifiutiAction.do

Città di Torino, Carta e cartone: http://www.comune.torino.it/ambiente/rifiuti/cosa_rifiuti/carta-e-cartone.shtml

Servizio Cartesio | Raccolta carta e cartone: https://www.cooparcobaleno.net/servizi-ambientali/cartesio/

The Cardboard House: https://5osa.com/70

Shigeru Ban Architects: http://www.shigerubanarchitects.com/works.html

The Cardboard House: https://makemistakesoften.wordpress.com/shigeru-ban/alvar-aalto-exhibition/

Shigeru Ban, Alvar Aalto Exhibition: http://www.galinsky.com/buildings/paperchurch/

The Cardboard House: https://www.world-architects.com/en/shigeru-ban-architects-tokyo/project/japan-pavilion-expo-2000

Wikkelhouse: https://www.fictionfactory.nl/en/wikkelhouse/

Westborough Cardboard Building: https://www.cv-arch.co.uk/westborough-cardboard-building/

Progetto Carthome: https://www.gruppomoba.com/it/chi-siamo/progetto-carthome

Progetto Oktavilla / Elding Oscarson: https://www.archdaily.com/46836/oktavilla-elding-oscarson

Das Papierhaus: https://www.mdr.de/einfach-genial/eg-papier-haus-100.html

Pannelli Honext: https://honextmaterial.com

Aerogel da carta riciclata: https://gizmodo.com/scientists-can-make-aerogel-from-waste-paper-1758220500

Cardboard: From Industrial Workhouse to Shigeru Ban's Master Material: https://www.archdaily.com/913567/cardboard-from-industrial-workhouse-to-shigeru-bans-master-material

Research: Shigeru Ban: https://martinyblog.wordpress.com/2016/06/10/research-shigeru-ban/

Paper Tubes and Shipping Containers Shape a New Zealand Church: https://www.architectmagazine.com/technology/detail/paper-tubes-and-shipping-containers-shape-a-new-zealand-church_o

Shigeru Ban, Paper Partition System 4 for Evacuation Facilities: http://www.shigerubanarchitects.com/SBA_NEWS/SBA_news_5.htm

Cept Portfolio, Joinery detail of paper tube: https://portfolio.cept.ac.in/fd/group-b-2588-2-monsoon-2018/book-cafe-at-c-g-road-ahmedabad-monsoon-2018-pg180382

March2, Shigeru Ban: building with paper - Emergency shelters: https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-emergency-shelters/

March2, Shigeru Ban: building with paper - Japan Pavillon Expo 2000: https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-japan-pavilion-expo-2000/

March2, Shigeru Ban: building with paper - Library of a Poet: https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-library-of-a-poet/library-of-a-poet_3/

March2, Shigeru Ban: building with paper - Library of a Poet: https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-library-of-a-poet/library-of-a-poet_3/

Equilibrium, Bioedilizia: https://www.equilibrium-bioedilizia.it/sites/default/files/allegati/Manuale%20Tecnico%20del%20Biomattone%20Equilibrium.pdf

Shigeru Ban, Nemunoki children's art Museum - Shizuoka, Japan, 1999: http://www.shigerubanarchitects.com/works/1999_nemunoki-childrens-art-museum/index.html

Balloon Frame: https://www.sapere.it/enciclopedia/balloon+frame.html

Marmoleum Solid: https://www.forbo.com/flooring/it-it/prodotti/linoleum/marmoleum-solid/b2k9mn#panel_100

Fiocchi di cellulosa: https://www.isolare.it/it/isolamento/isolamento-termico-in-fibra-di-cellulosa-domande-frequenti/caratteristiche-della-fibra-di-cellulosa/

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici. (17A07439): https://www.casaportale.com/public/uploads/16887-pdf1.pdf

La normativa scolastica: http://www.studioaltrospazio.it/public/pdf/21-DPR%20503-96%20(barriere%20architettoniche).pdf

Tesi

Marta Musitelli, *Sustainable smart insulation. Sviluppo di pannelli isolanti per edilizia in carta da macero e PCM,* Rel. Prof.ssa Barbara Del Curto, Politecnico di Milano, Corso di Laurea Magistrale in Design & Engineering, 2011

Chiara Malfatto, *L'architettura del reimpiego, Evoluzione del processo di progettazione architettonico e tecnologico*, Rel. Roberto Giordano, Paolo Mellano, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Architettura Per Il Progetto Sostenibile, 2016

Cecilia Ravizza, *Il reimpiego dei materiali in architettura. Il modulo earthship inserito nel parco Reland*, Rel. Mario Grosso, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Architettura Per Il Progetto Sostenibile, 2018

Maria Tibiletti Agnese Trotta, *Ideas start with paper: Shigeru Ban e il tubo di cartone*, Rel. Jean Marc Tulliani, Politecnico di Torino, Corso di Laurea in Architettura per il progetto, 2012

Ignazio Caruso, *Riusare senza rifiutare. I rifiuti come innovazione tecnologica per l'edilizia nei pvs (e non solo)*, Politecnico di Torino, Tesi di dottorato in innovazione tecnologica per l'ambiente costruito, 2013

Articoli

Research Gate, Mirian Vaccari, 2008, Enviromrntal Assessment of Cardboard: https://www.researchgate.net/profile/Mirian_Vaccari2/publication/332120001_Enviromental_Assessment_of_Cardboard/links/5ca22eba299bf11169555ed9/Enviromental-Assessment-of-Cardboard.pdf

IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, The 2nd International Conference on Sustainability in Architectural Design and Urbanism 29 August 2018, Semarang, Indonesia: https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/213/1

Research Gate, Drevarsky Vyskum/Wood Research, 2013, Reuse of old corrugated cardboard in constructional and thermal insulating Boards: https://www.researchgate.net/publication/321527307_REUSE_OF_OLD_CORRUGATED_CARDBOARD_IN_CONSTRUCTIONAL_AND_THERMAL_INSULATING_BOARDS

Research Gate, Development of alternate construction material, D. Rajput, S.S. Bhagade, S.P. Raut, R.V. Ralegaonkar, Sachin A. Mandavgane, 2012, Reuse of cotton and recycle paper mill waste as building material: https://www.researchgate.net/publication/236894494_Reuse_of_cotton_and_recycle_paper_mill_waste_as_building_material

Materials World magazine, Dr Anthony Crabbe and Dr Anton Ianakiev of Nottingham Trent University, UK, 2015, Wasting paper?: https://www.iom3.org/materials-world-magazine/feature/2015/jan/01/wasting-paper

Research Gate, Energy Technology, power engineering and environmental sustainability organised by Krishi SanskritiAt: Jawaharlal Nehru University, New Delhi, 2015, Paper Crete: A Sustainable Building Material: https://www.researchgate.net/publication/328433482_Paper_Crete_A_Sustainable_Building_Material

Research Gate, Advanced Aerogels Fabrication and Applications from Industrial Wastes, Lim Wen Zhen, Quoc B. Thai, Thanh X. Nguyen, Duyen K. Le, Jason Kai Wei Lee , Yee Qing Xiang and Hai M. Duong, 2019, Recycled Cellulose Aerogels from Paper Waste for a Heat Insulation Design of Canteen Bottles: https://www.researchgate.net/publication/335914262_Recycled_Cellulose_Aerogels_from_Paper_Waste_for_a_Heat_Insulation_Design_of_Canteen_Bottles

Research Gate, Affordable residential interiors., Sami Ur Rehman S, 2018, Paper Brick: https://www.researchgate.net/publication/326697555_PAPER_BRICK

Academia,IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 5, Issue 09, 2017, Experimental Study of Waste Paper to Produce Environmental Eco- Friendly Brick: https://www.academia.edu/35607048/Experimental_Study_of_Waste_Paper_to_Produce_Environmental_Eco-_Friendly_Brick

Un ringraziamento di cuore
Alla mia famiglia.
E a tutte le persone che mi sono state vicine in questo percorso di tesi.

Herzlichen Dank an meine Familie.