

Storia passata e presente della carta

Paper was invented by Chinese and became very popular in Europe since it started to be obtained from wood instead of tatters. Today has mostly the same origin, but part of it is recycled from waste paper which become other cardboards or newspapers and so on. Is it possible to reuse recovered paper for other purpose? Chinese people used it also to decorate temples and houses and in the last 40 years cellulose is being used to insulate walls. Shigeru Ban has courageously tried to use it intensely as construction material and other architects – also through self-construction – are testing its qualities.

3.1.1 Breve storia della carta

Secondo le cronache storiche cinesi la prima tipologia di carta fu creata da Ts'ai Lun nel 105 d.C., quando questi presentò al suo imperatore alcuni fogli realizzati a partire da stracci.

La carta fu perfezionata già dal contemporaneo Tso Tsui-yi e la si riconobbe immediatamente come un materiale straordinariamente versatile: di supporto alla scrittura, ma anche come contenitore e come decorazione architettonica per ornare case e templi.

Si diffuse nel resto del mondo per le sue caratteristiche che, pur seconde a quelle della pergamena, si rilevarono più convenienti nel rapporto qualità/prezzo. Ma l'uso degli stracci rendeva la produzione della carta dipendente da un continuo approvvigionamento, nient'affatto costante, cosicché periodicamente la qualità prodotta peggiorava e il prezzo aumentava a livelli insostenibili.

Solo nel 1844 Gottlob Keller ideò la

soluzione di sfibrare il legno anziché gli stracci e Meillier e Tilghman diedero il loro contributo riuscendo a produrre la cellulosa: il primo nel 1852 partendo da paglia posta a cuocere con soda caustica; il secondo usando legno e una soluzione di bisolfito di calcio, sostituita da Dahl nel 1883 con il solfato¹.

3.1.2 Produzione della carta oggi

Le molte tipologie di carta che col tempo sono state create e oggi vengono prodotte rispondono a precise ricette², secondo un processo di fabbricazione piuttosto complesso, la cui evoluzione più recente risponde alle necessità ambientali di un minore uso di legno, di acqua e di energia e di una produzione meno impattante di scarti di lavorazione.

La carta odierna è un prodotto costituito da fibre vegetali³ e sostanze di carica minerali inerti.

3.1.1 La produzione originaria della carta a partire da stracci è stata sostituita dalla cellulosa del legno, usata ancora oggi

¹ Rossi, 2004

² Con *ricetta* si intende una dosatura degli elementi che comporranno il prodotto finale secondo precise proporzioni

³ Fibre di cellulosa, vasi e lignina. La lignina è il collante naturale che tiene unite le fibre ed è quindi la sostanza sulla quale si deve agire per separare le fibre da utilizzare per scopi cartari.

3.1.2 La cellulosa viene ricavata da lavorazioni di sfibratura meccanica o chimica del legno, che dà luogo a rese e qualità differenti

Viene prodotta principalmente a partire dal legno e «si calcola che il 30% della produzione annuale di legno serva proprio per produrre la carta» (Ancient Forest Team, 2004). Un'altra parte del legname impiegato è invece di recupero e a basso costo, derivante da scarti di produzione di segherie, fabbriche di imballaggi o mobili, oppure tronchi di piccola pezzatura non utilizzabili per lavorazioni qualitativamente superiori⁴.

Le essenze fibrose necessarie vengono spappolate in acqua da un'apposita macchina, il *pulper*.

La diversa combinazione delle fibre, lunghe o corte⁵, delignificate o contenenti lignina, costituirà la differenza macroscopica fra i diversi tipi di carte e cartoni.

Il diverso modo di affrontare industrialmente la lignina - e quindi di separare le fibre vegetali - dà luogo alla distinzione fra i tipi di fibre cartarie, che possono essere:

- **cellulose**. In esse il legno - scortecciato e ridotto in pezzetti (*chips*) per facilitare l'impregnazione - viene sottoposto a un attacco di sostanze chimiche: in ambiente alcalino (idrato di sodio) per la fabbricazione degli strati esterni del cartone ondulato o di altre carte con elevate caratteristiche meccaniche e buona resistenza (cellulosa al solfato o *Kraft*, dal tedesco *forte*); in ambiente acido (solfito) per ottenere cellulose al solfito.

La resa in fibra delle cellulose è del 40-45% sul legno secco e dal punto di vista qualitativo la carta risultante è ottima, sia come resistenza meccanica sia come grado di purezza e di bianco raggiungibile;

- **paste semichimiche**. Sono prodotte partendo da chips prevalentemente di latifoglia, con un ciclo produttivo simile alla produzione di cellulosa,

ma - complice una cottura solo parziale - con una resa del 60% circa e una fibra di cellulosa ancora parzialmente lignificata.

Le caratteristiche qualitative sono intermedie tra le cellulose e le paste ad alta resa e vengono perciò impiegate nella produzione di carta da giornale, da stampa e nel cartone ondulato;

- **paste chemitermomeccaniche o chemimeccaniche**. Vengono dette ad alta resa poiché questa è dell'85-90%: il risparmio si realizza grazie al minor consumo della materia prima - un legno comunque meno pregiato - al minor impiego di energia elettrica e ai costi inferiori di depurazione, con conseguenti vantaggi ambientali non indifferenti.

Sono utilizzate per produrre quasi tutti i tipi di carta e cartoni, dal *tissue* (fazzolettini igienici, carta assorbente, tovaglioli, etc.) alle carte patinate;

- **paste meccaniche**. È il metodo più tradizionale e semplice per produrre paste cartarie per via esclusivamente meccanica attraverso uno sfibratore, con una resa fino al 90-95%.

Alla sfibratura segue una raffinazione che varia a seconda dell'essenza di legno impiegata, consistente in una serie di sbattimenti e compressioni delle fibre che, ancor più imbibite di acqua, aumentano la loro plasticità, creano un maggior numero di legami e pongono le basi per la formazione di un foglio resistente.

Vengono quindi aggiunte colla e allume per regolare l'assorbimento dell'inchiostro e dare una resistenza minima alla bagnatura, e apposite sostanze di carica che conferiscano opacità, maggiore levigatura e migliore stampabilità.

L'impasto risultante viene pressato

⁴ Gazzà, 2004

⁵ Le fibre lunghe provengono da legni di resinoso (pino, abete, larice), mentre le fibre corte derivano da legni di latifoglia (faggio, betulle, eucalipto, pioppo).

per creare dei fogli, che vengono asciugati per evaporazione su superfici riscaldate⁶ e allestiti come carta in rotolo (per stampa in roto-offset o in rotocalco) oppure come carta in formato (per stampa in offset piano).

3.1.3 La carta riciclata

La carta può essere ri-creata usando fibre secondarie (altrimenti dette fibre di recupero) provenienti da carta da macero⁷ riciclata per un numero limitato di volte⁸ e unita a fibra vergine⁹.

In Italia «i materiali cellulósici rappresentano tra il 25 ed il 30% dei rifiuti solidi urbani e tale quota è crescente» (Cariolaro, 2004) e il loro riciclo rappresenta una dovuta soluzione sotto il profilo ambientale, oltreché economico: meno carta nelle discariche dà meno costi di smaltimento e grazie al suo riciclo

nelle cartiere si riduce il consumo di materie prime vergini, energia e acqua¹⁰ per produrre fibre cartarie.

Una volta raccolta, la carta da macero deve essere selezionata e purificata il più possibile dai materiali contaminanti.

Segue lo spappolamento e la depurazione dai contaminanti fini, la disinchiostrazione per lavaggio e flottazione ed, eventualmente, lo sbiancamento, l'inspessimento e la dispersione, volti ad aumentare la tonalità di bianco ed eliminare contaminanti ancora presenti¹¹.

Ottenuta la pasta necessaria a creare la carta, segue l'aggiunta di minerali¹² affinché riempino gli interstizi tra le fibre e l'apporto di collanti¹³ per le carte per usi grafici; infine continuano le normali fasi caratteristiche della produzione con materie prime vergini, che consistono nelle lavorazioni di drenaggio e di essiccazione.

3.1.3 Le fibre della carta sono riciclabili, previa depurazione

⁶ Sanesi, 2004

⁷ In inglese *recovered paper* o *waste paper*.

⁸ «Le fibre di carta riciclate possono essere riutilizzate in media fino a sette volte» (La Stampa, 2012)

⁹ Assocarta, 2004

¹⁰ «Il consumo medio di acqua per tonnellata di carta prodotta può assumersi intorno a 40-50 metri cubi (fino ai 45, possibili per certi prodotti finali)» (Medugno, 2004)

¹¹ Di Franco, 2004

¹² Caolino, ossido di titanio, talco, carbonato di calcio, barite, etc.

¹³ Amidi, cere o resine.

I benefici di raccolta e riciclo di carta e cartone in Italia

La tabella riporta il costo energetico della produzione di carta e cartone - «fatto 100 il valore dell'energia richiesta per la produzione di un'unità-massa di alluminio» (Apicella & Aversa, 2004) - e mostra come sotto il profilo economico il riciclo sia una scelta conveniente.

Tipologie di rifiuti	Energia recuperata dall'incenerimento	Energia per la produzione da materiale vergine	Energia per la produzione da materiale riciclato	Risparmio di energia nel riciclo
Carta di giornali	8	27	22	5
Cartone	7	17	17	0

Dati più accurati considerano anche l'aspetto ambientale e dimostrano come la scelta sia davvero conveniente: «dal 1999 al 2010 la raccolta e il riciclo di carta e cartone hanno portato al Paese benefici netti per 3,5 miliardi di euro» (Comieco, 2011) sia considerando il *costo differenziale raccolta differenziata* (cioè il maggior costo della raccolta differenziata rispetto a quella indifferenziata), sia il *costo da mancata generazione energetica* (ottenibile attraverso l'incenerimento della carta, a prezzo di un notevole inquinamento dell'aria), sia i *benefici ambientali per emissioni di CO₂ evitate* (grazie al minor uso di materie prime vergini e di riduzione dello smaltimento di rifiuti, monetizzato ai prezzi medi di mercato annui dei certificati di emissione di CO₂), sia i *benefici economici da mancato smaltimento* (costi evitati di discarica, compostaggio, termovalorizzazione) sia il *valore della materia prima generata*, sia il *beneficio sociale per occupazione generata* (cioè l'indotto creato dalle attività di raccolta e riciclo).

In termini quantitativi e non monetari la raccolta e il riciclo hanno evitato la creazione di 222 discariche da 90540 tonnellate (in totale 20,1 milioni di tonnellate di rifiuti evitate), con un minor consumo di energia per 15 milioni di TEP (tonnellata equivalente di petrolio) e minori emissioni di CO₂ per un totale di 55 milioni di tonnellate (Comieco, 2011).

Dal riciclo della carta rimangono come rifiuto i fanghi residui di lavorazione, che possono essere reimpiegati per produrre altra carta, ma anche nell'industria dei laterizi e nei conglomerati edilizi, nei cementifici, per i ripristini ambientali e per la copertura di discariche, in rilevati e sottofondi stradali o riutilizzati in cartiera per la produzione di energia¹⁴.

3.1.4 Tipologie di carta

I prodotti cartari possono essere suddivisi in sei categorie:

- *carta da stampa*, che comprende la carta per giornali e guide telefoniche, per offset, per rotocalco e per roto-offset;
- *carta da scrivere e per ufficio*;
- *carta da imballaggio* (con l'esclusione degli imballaggi di cartone);
- *articoli igienico-sanitari*;
- *carta per uso industriale*;
- *cartone e cartoncino*, che comprendono cartoni a un getto, a più strati, ondulati, carta da onda, cartone pressato e cartonlegno¹⁵.

3.1.5 La carta da stampa

Viene usata per produrre la carta di più ampio uso, di supporto a testi stampati quali libri, settimanali, quotidiani e periodici in genere (come i cataloghi commerciali e i volantini pubblicitari): l'impiego non solo massiccio, ma anche temporalmente limitato, ne fa la tipologia di carta presente in quantitativo preponderante tra i rifiuti.

Essa deve rispondere a precisi requisiti di «economicità, minimo spessore, giusto rapporto tra peso e volume, resistenza all'uso, alla luce, al tempo, rigidità, finitura superficiale colore. [...] A questo

scopo è molto importante anche il contenuto igrometrico della carta. La carta lascia la cartiera con un ben preciso contenuto d'acqua in modo che durante il processo di stampa non abbia né a perdere né ad aumentare il contenuto di umidità garantendo così il massimo della stabilità dimensionale» (Garavaglia, 2004). Nonostante il processo di essiccamento al quale è sottoposta, la carta contiene quindi tra il 2 ed il 6% di acqua¹⁶.

Le carte da stampa possono essere della categoria *naturale*, cioè a *fibra nuda*, così detta perché sulla loro superficie non vengono stese patine che ne modifichino le caratteristiche superficiali, oppure possono essere della categoria *patinata*, cioè a *fibra ricoperta* da uno o più strati di patina.

3.1.6 Alcuni materiali componenti la carta da stampa

Tutti i tipi di inchiostro sono composti da una sostanza colorante, un veicolo e additivi¹⁷, la cui diversa componente percentuale dà luogo a diversi comportamenti in fase di stampa:

- la *sostanza colorante* dà il proprio colore al veicolo attraverso i pigmenti e i coloranti (solubili);
- il *veicolo* tiene in sospensione il pigmento e lo trasferisce sulla carta a solidificarsi – per la stampa offset si tratta di un olio minerale, mentre per la stampa flessografica si usa l'acqua;
- gli *additivi* servono a migliorare l'inchiostro dandogli ulteriori caratteristiche fisiche¹⁸.

La patina presente su alcune pubblicazioni è una miscela di pigmenti minerali di ridotte dimensioni particellari¹⁹ e leganti²⁰, che hanno lo scopo di legare i

3.1.6 La carta da stampa è realizzata a partire da cellulosa, ma può essere composta anche di inchiostri, patine e cloro

¹⁴ Assocarta, 2004

¹⁵ Assocarta, 2004

¹⁶ Medugno, 2004

¹⁷ Di Franco, 2004

¹⁸ Di Pietro, 2005

¹⁹ Carbonato di calcio, caolino, talco (Sanesi, 2004)

²⁰ Si utilizzano principalmente lattici a base stirene butadiene e/o a base acrilica, oppure amido o, in misura minore, proteine vegetali e alcool polivinilico (Sanesi, 2004)

pigmenti tra loro e con la superficie del foglio. Nella patina vi è un ben definito contenuto in solidi insieme alla tinta desiderata, affinché questa possa essere uniformemente distribuita sulla superficie del supporto cartaceo così da ottenere brillantezza e uniformità di stampa, un bianco più elevato e una lisciatura superiore. Le cariche minerali, presenti in tutti i tipi di carta, possono costituire fino al 50% in peso delle carte patinate, pur non dando alcun contributo alla loro resistenza²¹.

Nella carta è presente il cloro, come in un qualunque materiale naturale. Può esservene di aggiunto durante la fase di sbiancamento²², ma le definizioni di paste Ecf (*Elemental chlorine free*) o di Tcf (*Totally chlorine free*) si possono riferire soltanto al processo di sbiancamento e non possono certificare che la carta stessa sia in assoluto priva di cloro.

3.1.7 Il cartone

Il cartone è stato brevettato nel XIX secolo come nuovo tipo di imballaggio in sostituzione del legno, e la sua produzione prevede ancora un utilizzo prevalente per lo stesso scopo.

A seconda delle caratteristiche richieste può essere prodotto con percentuali dallo 0 al 100% di carte di fibra vergine, seppure sia più comune l'uso delle qualità inferiori della carta da macero, pressate in fogli e assemblate accoppiando tre o più strati legati da un collante²³.

La forma di onda continua, che può costituire uno o più strati interni, viene sagomata mediante pressione di un foglio e ha lo scopo di conferire rigidità al sistema.

Per rispondere a questa funzione – ma con necessità diverse – si

possono avere:

- due copertine e un'onda (il cosiddetto *cartone a onda semplice*);
- due copertine e due onde separate da un foglio teso (*cartone a doppia onda* o *cartone doppio*);
- due copertine e tre onde separate da due fogli tesi (*cartone a tripla onda*).

Queste onde possono avere diverse altezze, dalle più alte (individuate dalle lettere A se di 4,5 mm di spessore e K se di 5 mm di spessore), alle onde medie (C > 3,5 mm), alle onde basse (B > 2,5 mm) fino alle micro onde (E > 1,2 mm., F > 0,8 mm).

Le diverse tipologie di cartone possono essere classificate anche la differente carta tesa utilizzata²⁴ () e le carte per ondulazione²⁵.

3.1.8 Il riuso di carta e cartone nell'ambiente costruito

La carta può essere un ottimo isolante ma anche un sorprendente materiale da costruzione, come Shigeru Ban ha rivelato in molte opere costituite da una struttura in tubi di cartone: lungi dall'essere fragili, come si potrebbe supporre, hanno mostrato caratteristiche simili al bambù – materiale già di uso tradizionale in molte parti del mondo – essendo però riciclabili e sagomabili delle forme e dimensioni volute.

Un trattamento che permetta – con poca spesa e con mezzi a livello industriale già esistenti – di riusare il cartone in architettura è stata esplorata da più autori: in particolare uno studio, svolto nel 1980 da Massimo Foti, ha raccolto alcune idee giungendo a una proposta di “cartone armato”²⁶.

Le proprietà del cartone presentano una serie di qualità, alcune piuttosto

3.1.7 Il cartone, ideale per l'imballaggio, ha due copertine e una o più onde volte a diminuire gli impatti, separate da fogli tesi

²¹ Gazza, 2004

²² In luogo del cloro si può usare anche l'ozono o il perossido di idrogeno

²³ La carta per copertine – quella piana che nella stratigrafia del cartone racchiude le onde – può essere composta da un'elevata percentuale di fibre vergini di conifera nel caso della carta Kraft (circa l'80%), mentre per la Liner-Test deriva da recupero il 100% della cellulosa impiegata. La carta per ondulazione se di tipo S usa un'elevata percentuale di fibre vergini di latifoglie (superiore al 65%), mentre nel caso della semichimica Medium o Fluting il 100% del materiale deriva da recupero (Lucense, 2011).

²⁴ Kraft, Liner e Test

²⁵ Carte semichimiche S o SS e Medium M o Fluting F, a seconda delle caratteristiche meccaniche

²⁶ Volume scritto a quattro mani con Maria Grazia Forgnone e pubblicato dalla Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino; Foti, M. & Forgnone, M.G., 1980. *Costruire con il "cartone"*. Torino: Centro Stampa del Politecnico di Torino

Composizione strutturale del cartone

Le caratteristiche delle ondulazioni (altezza, numero dei fogli) determinano la capacità di un cartone di resistere a una pressione più o meno elevata, alla compressione e alla perforazione. Il mantenimento della forma delle onde garantisce anche la protezione del prodotto contenuto nell'imballaggio di cartone, poiché esse agiscono come ammortizzatrici degli urti.

Conoscere le caratteristiche del cartone attraverso le ondulazioni che lo compongono permette di progettare più agevolmente un eventuale riuso (Di Pietro, 2005).

La *microonda* viene usata per cartoni sui quali è necessario effettuare uno stampaggio, perché il cartone ha uno spessore inferiore 2,5 mm.

MICROONDA	min	max
Spessore (mm.)	1,1	1,4
Grammatura (gr/mq)	350	500
Resistenza scoppio (KPa) ¹	400	700
Resistenza compressione (KN/m) ²	2	6

L'onda bassa (compresa tra 2,5 e 3,4 mm) e l'onda media (tra 3,5 e 4,4 mm) danno una buona resistenza alla compressione in piano, ma non a quella verticale. L'onda media è più diffusa perché bilancia una buona qualità delle prestazioni a fronte di un consumo di carta - e quindi di un prezzo - relativamente basso.

1 ONDA	min	max
Spessore (mm.)	2,8	5,6
Grammatura (gr/mq)	280	1100
Resistenza scoppio (KPa) ¹	400	1600
Resistenza compressione (KN/m) ²	3	8

L'onda alta - caratteristica di un cartone spesso più di 4,5 mm - aumenta la resistenza alla compressione verticale e il potere ammortizzante, a fronte di una resistenza alla compressione in piano relativamente minore e di costi maggiori.

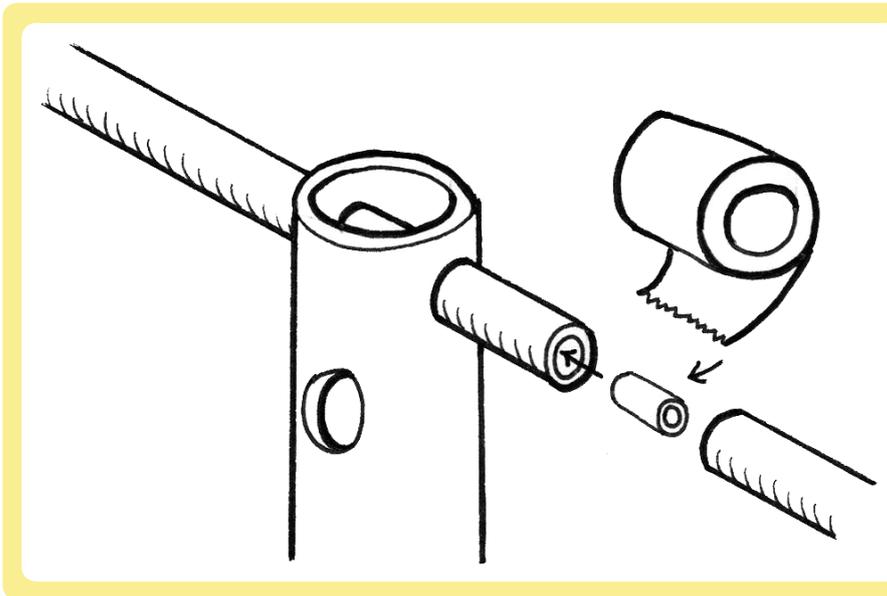
2 ONDE	min	max
Spessore (mm.)	5	9,1
Grammatura (gr/mq)	670	1400
Resistenza scoppio (KPa) ¹	600	3000
Resistenza compressione (KN/m) ²	5	20

3 ONDE	min	max
Spessore (mm.)	8,8	13
Grammatura (gr/mq)	1100	2600
Resistenza scoppio (KPa) ¹	20	65
Resistenza compressione (KN/m) ²	15	30

¹ Capacità del cartone di resistere alla pressione concentrata in un determinato punto. Norma di riferimento UNI EN ISO 2759:2001

² Massima forza verticale che un campione sopporta prima di essere schiacciato. Norma di riferimento UNI EN ISO 3037:1998

³ Energia che occorre affinché un oggetto acuminato perfori il cartone. Norma di riferimento UNI 8444:1983
Tabelle tratte da Lucense, 2011.



I tubi di cartone usati da Shigeru Ban - qui nella riproduzione di un nodo costruttivo, ripresa dai suoi schizzi - sono un materiale creato con una particolare forma per determinati scopi architettonici: può essere quindi realizzato a partire da carta riciclata ma non è di riuso, bensì è stato adattato ad un uso per esso inconsueto.
[disegno I. Caruso, 2012]

note e ovvie, che è interessante elencare:

- «è leggero
- costa poco
- si può avere negli spessori voluti
- si piega facilmente
- si fora facilmente
- si incolla facilmente
- si può unire facilmente con graffe, ganci, punti metallici, ecc.
- si può unire con bulloni leggeri di materie plastiche, legno, ecc.
- si può unire con spaghi, corde, fili metallici, fili di nylon, ecc.
- si può facilmente trasportare,

impaccando i vari fogli è fondamentalmente costituito da materiale di recupero si può riciclare.» (Foti & Forgnone, 1980)

Ha ovviamente alcune importanti caratteristiche negative:

- «può assorbire l'acqua
- può bruciare
- può avere un ridotto potere di resistenza agli urti
- può avere un ridotto potere di resistenza alla compressione
- può avere un ridotto potere di resistenza all'abrasione, ai tagli

3.1.8 Il cartone può essere facilmente assemblato con varie tecniche, ma deve subire alcuni trattamenti per un uso in ambito costruttivo

Il riuso della carta come isolante

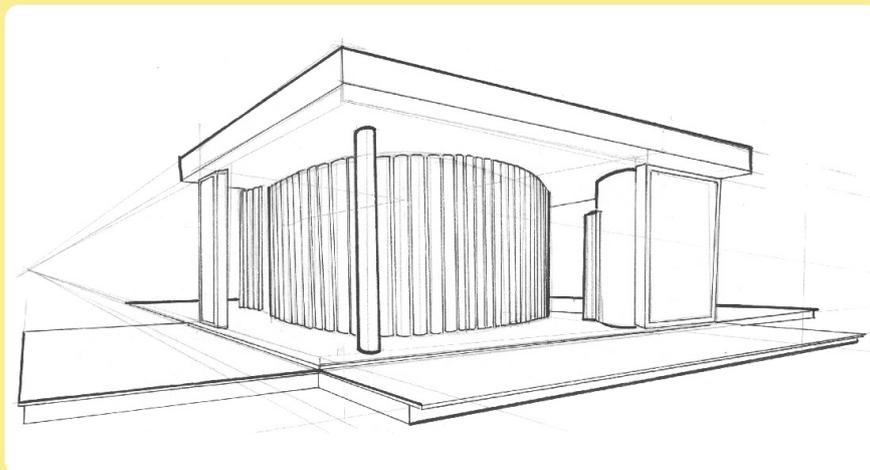
La carta è stata utilizzata come isolante fin da quando è diventata un oggetto di produzione di massa a costi bassi, facilmente reperibile.

«Nessun sonno vale quello all'aria aperta con una calda coperta e un buon strato di carta sotto di te. (Più sotto che sopra, questo è il segreto dei vagabondi per starsene al caldo di notte)» scriveva il fondatore dello scoutismo in un testo del 1922 (Baden-Powell, 2000), confermato dalla testimonianza di Wataru Kawase, che all'età di 82 anni viveva in un cartone da venti: «Sono ottimi da ogni punto di vista: tengono l'aria, non fanno passare il freddo, sono relativamente morbidi» (Viale, 1994).

Più recentemente dal Messico si riporta l'uso in autocostruzione di appallottolare la carta per riempire intercapedini di solai, sottotetti e murature (Scudo & Rogora, 2005).

L'evoluzione del riuso della carta come isolante è giunto alla produzione industriale dei fiocchi di cellulosa. «La materia prima consiste solo in carta selezionata fornita da fabbriche di smaltimento specializzate. [...] la carta selezionata [viene sottoposta] a vari processi di macinazione e sfibratura con aggiunta di un dosaggio preciso di additivi ignifughi e fungicidi. Il procedimento avviene in maniera pneumatica per consentire l'aspirazione di particelle di polveri sottili indesiderate ed è sufficientemente delicato per mantenere l'alta elasticità propria della cellulosa. Infatti la struttura di ogni singolo fiocco di cellulosa [...] non è come quella di un ritaglio di carta ma assomiglia piuttosto a quella di un tampone di ovatta» (Cellulosewerk Angelbachtal, 2011).

La *Paper House* è situata sul lago Yamanaka a Yamanashi (Giappone) ed è un'opera di Shigeru Ban del 1995. I tubi di cartone che la costituiscono hanno dimensione 270 cm di altezza, un diametro di 27,5 cm e uno spessore di 14,8 cm. «This was the first project in which paper tubes were authorized for use as a structural basis in a permanent building.» (Shigeru Ban Architects, 2012)
[disegno I. Caruso, 2012]



può avere un ridotto potere di isolamento termico
può avere un ridotto potere di isolamento acustico» (Foti, & Forgnone, 1980), e senza dubbio queste incidono notevolmente sulle possibilità d'uso. In condizioni di umidità elevata l'utilizzo può rendersi possibile con l'impiego di cartoni pre-trattati che ne migliorano le prestazioni, così come un trattamento ex post può migliorare la prestazione di reazione al fuoco, ma l'uso di additivi e vernici intumescenti può compromettere la futura riciclabilità del cartone impiegato²⁷.

3.1.9 Costruire con il cartone

Il primo e forse il più significativo esempio di uso del cartone sotto forma di tubi risale a Casa Crouch a Troy, stato di New York, 1976. Martin Pawley e sei studenti al quarto anno di architettura al Rensselaer Polytechnic Institute costruirono un'abitazione di 56 m² con una struttura composta da 560 tubi di cartone. Questi tubi non erano stati creati appositamente per un uso architettonico - come invece userà fare Shigeru Ban per le

sue costruzioni - ma erano ciò che rimanevano delle bobine di carta adoperate per stampare il giornale locale, che ne consumava 150 a settimana²⁸.

L'architetto Shigeru Ban arriverà con le sue opere una ventina di anni più tardi, con la Paper House del 1995 e, soprattutto, con lo splendido Japanese Pavillion all'Expo 2000 di Hannover, che in modo spettacolare ha reso celebri nel mondo se stesso e le potenzialità dei tubi di cartone come strutture portanti.

Nello stesso anno (2000-2001) ebbe un buon successo di critica²⁹ anche la Westborough Primary School a Southend, nel Regno Unito, a cura di Buro Happold e dello studio Cottrell & Vermeulen Architecture. La scuola è stata progettata per una vita utile di 20 anni e si prefissò l'obiettivo dell'uso del 90% di materiali riciclati o facilmente riciclabili, ma non si giunse che al 50% perché vennero infine adoperate (in quantitativi maggiori rispetto a quelli previsti) parti in legno vergine.

Anche in questo caso il cartone venne preparato appositamente per diventare una struttura architettonica, con trattamenti per renderlo resistente all'acqua già in

3.1.9 Pawley ebbe l'idea di usare tubi di cartone per costruire; Ban ebbe la genialità di realizzare un intero padiglione per celebrare questa possibilità architettonica

²⁷ Lucense, 2011

²⁸ Foti, 1982a

²⁹ Vedi Bahamón & Sanjinés, 2010 e Addis, 2010 e Braulin & Chioetto, 2005 e Scudo & Rogora, 2005

sede di produzione³⁰ o con soluzioni approntate sul cantiere³¹. Il comportamento della struttura non fu quello che ci si attendeva e numerose modifiche vennero intraprese durante la costruzione – come del resto è comprensibile nel caso di un edificio così sperimentale – ma l’edificio assolse bene al suo compito di coinvolgere la comunità locale e di sensibilizzare al tema della sostenibilità ambientale.

3.1.10 Papercrete (o padobe o fibrous cement o fibercrete)

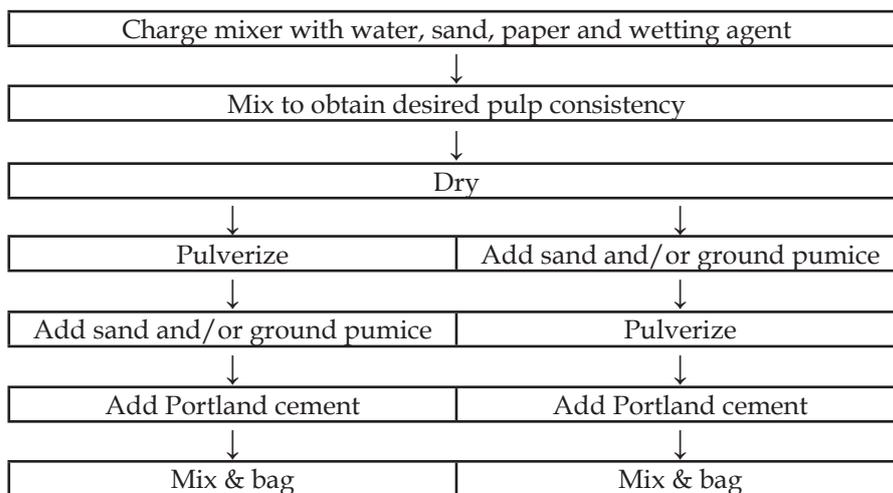
L’uso di carta come materiale da costruzione ha anche una variante che sta a metà strada tra il riuso e il riciclo. Secondo alcuni già nel 1928³² e sicuramente a partire dagli anni ’80 sono cominciati diversi esperimenti per unire carta al cemento e, quasi contemporaneamente, per provare anche l’unione di carta e terra.

La finalità è stata riassunta da Eric Patterson – uno dei pionieri del settore – nel suo brevetto del 1994, nel quale dà all’idea del blocco in

cemento e carta lo scopo «to provide an advantageous, long-term use for waste paper products [...] to provide a new and improved method of making building materials from discarded paper products [...] to provide a use for waste paper products which may be performed with approximately 90% of available waste paper as compared to the 15% usable by conventional recycling processes [...] to provide a method of constructing building blocks which are lighter and more cost-effective than conventional earthen or cement building blocks, but which have a higher “R” insulating factor» (Patterson, 1992).

Un utilizzo intensivo di carta da macero sarebbe quindi considerabile come a lungo termine per il fatto di essere il rifiuto stesso inglobato nelle mura della costruzione, alle quali la cellulosa fornirebbe migliori capacità di isolamento rispetto ad analoghi, pesanti blocchi in calcestruzzo.

Un brevetto più recente ha ripreso le idee di Patterson e ha proposto il seguente schema (Brock, 2009).



Esso è volto alla commercializzazione in sacchi della miscela asciutta carta-cemento, possibile solo dopo aver ridotto la carta in cellulosa con l’acqua, averla unita alla sabbia

e averla fatta adeguatamente asciugare; solo dopo questo processo si può aggiungere il cemento senza che questo cominci a fare presa.

3.1.10 Il papercrete prevede l'unione della carta con il cemento, in un riuso ideale per l'autocostruzione

³⁰ «In the manufacture of the cardboard from pulp, additives can be introduced into the pulp mix that render the board water-resistant» (Addis, 2010)

³¹ «it was decided to deal with the possible problem by applying a PVC or aluminium foil vapour barrier to the surface of the cardboard to limit ingress of moisture into the load-bearing elements. [...] A polymer vapour barrier was applied on the inside, and a breathable building paper water barrier applied on the outside face» (Addis, 2010)

³² Scudo & Rogora, 2005. Gli autori sostengono l’esistenza di un brevetto, riprendendo analoghe affermazioni rinvenibili nel libro *Building with Papercrete and Paper Adobe* di Gordon Solberg e, soprattutto, in *The Art of Natural Building. Design, Construction, Resources* (Kennedy, 2010). Da una ricerca presso lo United States Patent and Trademark Office non ho riscontrato l’esistenza di questo brevetto, che pure non posso escludere.

³³ «It's so new that people haven't even settled on a name for it yet Mike McCain calls it fibrous cement. Eric Patterson, who independently discovered it in 1990, calls it padobe. Other people call it papercrete. This is the name I eventually settled on» (Solberg, 2001) e del resto è questo il nome con il quale oggi la miscela è conosciuta. Si può trovare anche la versione *fibercrete* (Office of Border Environmental Protection, 2012).

³⁴ Alcune annotazioni dall'European Journal of Scientific Research: «Papercrete is a better thermal insulation with thermal conductivity coefficient [...] can sustain up to 2 hours a maximum temperature of 1030°C [...] Papercrete infill is a good sound absorber [...] papercrete is ductile materials as it undergoes ductile fracture compared to conventional mortar» (Bashar, 2009)

³⁵ McElroy, Thompson & Williams, 2010

Sarebbe possibile usare queste idee per un intonaco?

L'idea di Patterson prevede l'uso di carta e cemento per creare blocchi e accenna solo alla possibilità di creare intonaci.

Il brevetto di Brock non ne fa affatto menzione, nonostante la sua proposta di creare sacchi già preparati di carta-cemento si presterebbe all'uso.

Ciò è probabilmente dovuto al fatto che finora in letteratura non è mai stato quantificato con esattezza il giusto rapporto tra i materiali che compongono la miscela, e quindi sarebbe assai difficile crearne una adattabile ai vari usi: né del resto converrebbe crearla, vista la facilità con la quale può essere preparata in autocostruzione.

Questa idea di una miscela di carta (*paper*) e cemento (*concrete*) che si sono spartiti i due inventori si chiama *papercrete*³³ e, come si diceva, è un'idea sicuramente precedente ai brevetti statunitensi. Recentemente

ha iniziato ad essere studiata in maniera più accurata³⁴ e ad essere dunque proposta in progetti di ricostruzione.

Ad esempio in Messico: «Many homes within informal settlements of Tijuana experience poor thermal comfort during the winter months due to lack of insulation and infiltration of cold air throughout the entire building envelope. [...] Papercrete is comprised of waste paper and cement. The material can be easily formed into blocks and used for the construction of walls and roofs. Tijuana generates a considerable amount of paper waste though its numerous manufacturing facilities, office use, and newspapers. Very little of this paper waste is recycled into additional post consumer products. Papercrete takes advantage of this abundant waste material» (La Roche & al., 2007); oppure ad Haiti³⁵.

Poiché viene utilizzato un materiale dall'uso piuttosto comune, come

La ricetta del papercrete

«Nel caso del miscelatore "standard" da 750 litri possiamo considerare la seguente miscela: 600 litri d'acqua; circa 30 chili di carta; da 20 a 85 chili di cemento; da 0 a 30 chili di sabbia» (Scudo & Rogora, 2005)

La *Papercrete Formula* di Solberg, dopo aver onestamente ammesso che «There is no one "right" formula. Experiment and see what works best for you» (Solberg, 2001) è abbastanza simile e per un mixer da 200 galloni (757,08 litri) prevede 605 litri di acqua, 27 kg di carta, 21 kg di cemento, circa 2 kg di calce (utilizzabile se lo si ritiene opportuno, dato che «makes the mix set up faster, and makes a stickier stucco that adheres better») e 30 kg di sabbia. Considerando il peso a secco e senza considerare la calce si ha il 34,68% di carta, il 27,17% di cemento e il 38,15% di sabbia.

Data l'incertezza sui quantitativi adoperabili nella proposta di Scudo & Rogora, o le varianti caso per caso concesse (ad esempio «da 20 a 85 chili di cemento»), si è fatta una media e valutato in percentuale a che cosa corrisponda, considerando: 600 l di acqua (circa 600 kg in peso), 35 kg di carta, 50 kg di cemento (una media tra i 20-75 kg indicati) e 15 kg di sabbia (media tra gli 0-30 kg), per un peso totale di 700 kg. In percentuale significano: 85,72% di acqua, 5% di carta, 7,14% di cemento e 2,14% di sabbia. Il quantitativo di carta corrisponderebbe ad un «50% del volume del prodotto finito», ottenibile grazie all'evaporazione dell'acqua che avviene «non appena la miscela fa presa lasciando milioni di piccoli alveoli che sono il motivo della leggerezza e delle proprietà isolanti del papercrete» (Scudo & Rogora, 2005).

Al contenuto di sabbia (che può andare da 30 a 0 kg) viene imputata una eventuale diminuzione della resistenza termica.

Il rapporto tra carta e cemento sul peso a secco è quindi nell'ordine di 1:1,5 e conferma una serie di sperimentazioni mostrate su internet, che prevedono per il papercrete un rapporto 1:1 tra carta e cemento, anche in assenza di sabbia.

Se tale composizione può considerarsi conveniente sotto l'aspetto volumetrico - grazie al già citato aumento delle dimensioni per la presenza della carta - non si può giudicare altrettanto positivamente sotto l'aspetto ambientale ed economico un uso così massiccio di legante, maggiore anche rispetto a quello di un comune blocco di cemento.

il cemento, e un rifiuto come la carta da macero, si è iniziato ad adoperarlo anche per costruzioni a basso costo e a basso impatto ambientale. Per esempio a Nogales, Sonora (USA) per una madre con tre bambini: «This project reduced the amount of paper and cardboard waste going to the local landfill by eight tons. Participants estimate that they saved 100 trees in the construction process. This number of trees can sequester 1,200 lbs. of carbon dioxide and generate 1,800 lbs. of oxygen annually (Office of Border Environmental Protection, 2012)»³⁶.

3.1.11 *Fidobe*

Al *papercrete* è stata aggiunta la proposta di un'altra miscela che riprende l'idea di usare fibre per alleggerire e rinforzare blocchi, ma usando terra in luogo del cemento e della sabbia (come nei mattoni di terra cruda detti *adobe*), per dare vita al *fidobe* (*fibrous adobe*).

Rispetto ai normali *adobe*, il *fidobe* «has several advantages over regular adobe: it weighs less, has considerable insulation value, will hold a screw, and can be painted» (Solberg, 2002).

È più complesso definire una ricetta per il *fidobe* rispetto alle possibilità – che pure sono molte – date dal *papercrete*, perché l'argilla che funge da legante e che è contenuta nella terra varia in funzione del luogo in cui questa è stata raccolta.

Vi debbono essere dei quantitativi minimi di argilla presenti nel mattone ma, a differenza degli *adobe* o dei blocchi, quantità elevate³⁷ non causano le caratteristiche fratture dovute all'essiccazione in presenza di eccessivo legante, perché «the paper fibers hold the block together»

(idem).

L'unica avvertenza è che «the more clay you add, the heavier and stronger your block will be, but it will have less insulation value. I prefer a 4-to-1 ratio of dirt to paper, by weight, which yields a strong block that is reasonably lightweight» (idem): la quantità di argilla non deve quindi essere eccessiva per non diminuire le capacità di isolamento del *fidobe*.

Una caratteristica positiva condivisa da *fidobe* e *papercrete* è la difficoltà a bruciare, paragonata al legno in molte dimostrazioni effettuate con fiamma ossiacetilenica³⁸.

Un problema dovuto all'uso della carta nell'impasto è dato dai tempi di essiccazione dei blocchi, in particolare nel caso questi siano di terra. Le fibre della carta, ridotta in cellulosa con la macerazione in acqua e poi aggiunta in un impasto, assorbono grandi quantitativi d'acqua che solo molto lentamente asciugano tramite evaporazione. Ciò non comporta che *fidobe* e *papercrete* debbano essere usati solo in climi asciutti, ma significa che se la loro produzione avviene contestualmente al loro uso si deve costruire «only during the hottest, driest time of year»³⁹.

Questa peculiarità può essere parzialmente attenuata aggiungendo cemento all'impasto: si dà così luogo a un'ultima variante detta *adobe hybrid*, nella quale il *fidobe* viene stabilizzato per ottenere un *adobe* ibrido carta-cemento che sia più resistente e di più veloce essiccazione rispetto al *fidobe*, ma meno costoso e meno inquinante del *papercrete*.

Un esempio è stato dato nel 2006 dagli architetti Andrew Frear, Amy Green Bullington e Stephen Long di Rural Studio con la Christine House a Mason's Bend (Alabama, USA), per

3.1.11 Il *fidobe* è una variante più sostenibile ecologicamente (e, in molti paesi, anche economicamente) che prevede la creazione di mattoni in terra e carta

³⁶ Si veda anche la proposta di Hunter & Kiffmeyer, 2004.

³⁷ L'argilla, secondo Solberg (2002) «should be anywhere from 30 percent to 100 percent».

³⁸ Pare decisamente troppo ottimistica la pretesa ininfiammabilità raccontata da autori come Solberg (2002), a meno di usare quantitativi di legante talmente alti da rendere quasi ininfluenza la presenza di cellulosa: «Unless you add enough nonflammable material to the mix, both *papercrete* and *fidobe* will burn, slowly and without flame, like a charcoal briquette. My experiments show that *papercrete* made with a 4-to-1 ratio of cement to paper, by weight, will not burn, and *fidobe* made with 3 parts dirt to 1 part paper, by weight, won't burn».

³⁹ «Even here in the desert, during the hottest time of the year, *fidobe* blocks take two weeks to dry completely» (Solberg, 2002)

la quale hanno creato «a mixture of earth, newspaper pulp, and cement to make bricks of various sizes. This “adobe hybrid” – as the architects themselves describe it – is a simple modification of the traditional brick⁴⁰. It requires no special skills or machinery to make and provides excellent insulation» (Bahamón & Sanjinés, 2010). È interessante

notare come le cassaforma per creare i mattoni siano state scatole di recupero e contenitori di vario tipo, anche di cartone, cosicché le differenti dimensioni dei blocchi facessero assumere alla costruzione «a relationship with both vernacular architecture and the environment» (idem).

⁴⁰ La percentuale di terra impiegata è stata molto elevata, ma non viene specificato quanta di questa fosse argilla, limo, sabbia e/o ghiaia. «A mixture comprising 70 percent earth, 25 percent newspaper pulp, and 5 percent cement is made and poured into recycled cardboard boxes of various sizes» (Bahamón & Sanjinés, 2010)